



# Jaringan Sistem Komputer

**Jilid 1**



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

**Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM**

# Jaringan Sistem Komputer

Jilid 1

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM

## BIO DATA PENULIS



Penulis memiliki berbagai disiplin ilmu yang diperoleh dari Universitas (UNDIP) Semarang dan dari Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga (UKSW) Diponegoro Disiplin ilmu itu antara lain teknik elektro, komputer, manajemen dan ilmu sosiologi. Penulis memiliki pengalaman kerja pada industri elektronik dan sertifikasi keahlian dalam bidang Jaringan Internet, Telekomunikasi, Artificial Intelligence, Internet Of Things (IoT), Augmented Reality (AR), Technopreneurship, Internet Marketing dan bidang pengolahan dan analisa data (komputer statistik).

Penulis adalah pendiri dari Universitas Sains dan Teknologi Komputer (Universitas STEKOM ) dan juga seorang dosen yang memiliki Jabatan Fungsional Akademik Lektor Kepala (Associate Professor) yang telah menghasilkan puluhan Buku Ajar ber ISBN, HAKI dari beberapa karya cipta dan Hak Paten pada produk IPTEK. Penulis juga terlibat dalam berbagai organisasi profesi dan industri yang terkait dengan dunia usaha dan industri, khususnya dalam pengembangan sumber daya manusia yang unggul untuk memenuhi kebutuhan dunia kerja secara nyata.



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

## PENERBIT :

YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

JL. Majapahit No. 605 Semarang

Telp. (024) 6723456. Fax. 024-6710144

Email : penerbit\_ypat@stekom.ac.id



# Jaringan Sistem Komputer

Jilid 1

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

**PENERBIT :**

**YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK**

JL. Majapahit No. 605 Semarang

Telp. (024) 6723456. Fax. 024-6710144

Email : penerbit\_ypat@stekom.ac.id

# **JARINGAN SISTEM KOMPUTER jilid 1**

## **Penulis :**

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom., M.Si., MM.

## **ISBN :**

## **Editor :**

Dr. Joseph Teguh Santoso, S.Kom., M.Kom.

## **Penyunting :**

Dr. Mars Caroline Wibowo. S.T., M.Mm.Tech

## **Desain Sampul dan Tata Letak :**

Irdha Yuniarto, S.Ds., M.Kom.

## **Penebit :**

Yayasan Prima Agus Teknik Bekerja sama dengan  
Universitas Sains & Teknologi Komputer (Universitas STEKOM)

## **Redaksi :**

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. (024) 6723456

Fax. 024-6710144

Email : [penerbit\\_ypat@stekom.ac.id](mailto:penerbit_ypat@stekom.ac.id)

## **Distributor Tunggal :**

### **Universitas STEKOM**

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. (024) 6723456

Fax. 024-6710144

Email : [info@stekom.ac.id](mailto:info@stekom.ac.id)

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin dari penulis



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan semesta alam atas selesainya buku **“Jaringan Sistem Komputer Jilid 1”** ini. Jaringan komputer memberikan banyak manfaat bagi kehidupan umat manusia. Dengan semakin berkembangnya teknologi khususnya di bidang komputerisasi saat ini, pengetahuan dan penguasaan yang mendalam tentang sistem dan program komputer niscaya menjadi salah satu kebutuhan pokok bagi setiap individu agar tidak tertinggal dalam dinamisme perubahan teknologi.

Buku Jaringan Sistem Komputer merupakan buku yang memberikan pengetahuan secara lengkap dan jelas tentang pengertian dan dasar-dasar pemrograman jaringan komputer dan internet. Buku ini terdiri dari dua jilid yang saling melengkapi dan terorganisir dengan baik. Sehingga memudahkan para pembaca khususnya mahasiswa untuk lebih memahami dan memperdalam pengetahuan tentang seluk beluk jaringan komputer.

Buku Jaringan Sistem Komputer Jilid 1 ini mempelajari tentang dasar-dasar pemrograman jaringan internet dalam komputer yang menjadi dasar dalam sistem jaringan komputer. Setiap bagian dan bab-bab yang ada dalam buku Jilid 1 ini disusun secara jelas dan sistematis untuk memudahkan dalam memahami buku ini. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam buku ini, sehingga masukan dan saran sangat diharapkan untuk menyempurnakan buku ini.

Semarang, 1 Januari 2022

Penulis

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM

# DAFTAR ISI

<b>Kata Pengantar .....</b>	<b>v</b>
<b>Daftar Isi .....</b>	<b>vi</b>

## **BAGIAN I Pengantar Jaringan dan Aplikasi Internet**

<b>Bab 1 Pendahuluan .....</b>	<b>1</b>
1.1 Pertumbuhan Jaringan Komputer .....	1
1.2 Kompleksitas Jaringan.....	3
1.3 Aspek Utama Jaringan .....	3
1.4 Bagian Publik dan Pribadi Internet .....	6
1.5 Jaringan, Interoperabilitas, Dan Standar .....	7
1.6 Suite Protokol dan Model Layering .....	8
1.7 Mekanisme Pengolahan Data dalam Layering .....	10
1.8 Header dan Layer .....	11
1.9 ISO dan Model Interkoneksi Sistem Terbuka OSI .....	12
1.10 Inside Scoop .....	12
1.11 Ulasan Penjelasan Isi Buku .....	13
1.12 Ringkasan .....	13
<b>Bab 2 Trend Internet .....</b>	<b>15</b>
2.1 Berbagi Sumber Daya.....	14
2.2 Perkembangan Internet .....	16
2.3 Perubahan dari Berbagi Sumber Daya ke Komunikasi .....	18
2.4 Dari Teks ke Multimedia .....	19
2.5 Tren Terbaru .....	19
2.7 Ringkasan .....	20
<b>Bab 3 Aplikasi Internet dan Pemrograman Jaringan .....</b>	<b>22</b>
3.1 Pendahuluan .....	22
3.2 Dua Paradigma Dasar Komunikasi Internet .....	23
3.3 Komunikasi Berorientasi Koneksi .....	24
3.4 Model Interaksi Client-Server .....	24
3.5 Karakteristik Klien dan Server .....	25
3.6 Program Server dan Komputer Kelas Server .....	25
3.7 Permintaan, Tanggapan, dan Arah Aliran Data .....	26
3.8 Banyak Klien dan Banyak Server .....	26
3.9 Identifikasi Server dan Demultiplexing .....	27
3.10 Server Bersama .....	28
3.11 Ketergantungan Melingkar Antar Server .....	28
3.12 Interaksi Peer-To-Peer .....	29
3.13 Pemrograman Jaringan dan API Soket .....	30

3.14	Soket, Deskriptor, dan Jaringan I/O .....	30
3.15	Parameter dan API Soket .....	30
3.16	Panggilan Soket pada Klien dan Server .....	31
3.17	Fungsi Soket yang Digunakan oleh Klien dan Server .....	31
3.18	Fungsi Koneksi yang Hanya Digunakan oleh Klien .....	33
3.19	Fungsi Soket yang Hanya Digunakan Oleh Server .....	33
3.20	Fungsi Soket yang Digunakan dengan Paradigma Pesan .....	35
3.21	Fungsi Soket Lainnya .....	36
3.22	Soket, Utas, dan Pewarisan .....	37
3.23	Ringkasan .....	37
<b>Bab 4</b>	<b>Aplikasi Internet Tradisional .....</b>	<b>39</b>
4.1	Protokol Lapisan Aplikasi .....	39
4.2	Representasi dan Transfer .....	41
4.3	Protokol Web .....	42
4.4	Representasi Dokumen dengan HTML .....	42
4.5	Uniform Resource Locator dan Hyperlink .....	44
4.6	Transfer Dokumen Web dengan HTTP .....	45
4.7	Caching pada Browser .....	47
4.8	Arsitektur Peramban .....	48
4.9	Protokol Transfer File (FTP) .....	49
4.10	Paradigma Komunikasi FTP .....	50
4.11	Surat Elektronik .....	51
4.12	Protokol Transfer Surat Sederhana (SMTP) .....	52
4.13	ISP, Server Mail, dan Akses Mail .....	55
4.14	Protokol Akses Surat (POP, IMAP) .....	55
4.15	Standar Representasi Email (RFC2822, MIME) .....	56
4.17	Nama Domain yang Dimulai Dengan www .....	59
4.18	Hirarki DNS dan Model Server .....	60
4.19	Resolusi Nama .....	60
4.20	Caching dalam Server DNS .....	61
4.21	Jenis Entri DNS .....	63
4.22	Alias dan Catatan Sumber Daya CNAME .....	63
4.23	Singkatan dan DNS .....	64
4.24	Nama Domain Internasional .....	64
4.25	Representasi yang Dapat Diperluas (XML) .....	65
4.26	Ringkasan .....	66

## **BAGIAN II Komunikasi Data Dasar-Dasar Media, Encoding, Transmisi, Modulasi, Multiplexing, Koneksi, dan Akses Jarak Jauh**

<b>Bab 5</b>	<b>Ikhtisar Komunikasi Data .....</b>	<b>69</b>
5.1	Esensi Komunikasi Data .....	69
5.2	Motivasi Dan Ruang Lingkup Mata Pelajaran .....	70
5.3	Potongan Konseptual Sistem Komunikasi .....	71
5.4	Subtopik Komunikasi Data .....	73



5.5	Ringkasan .....	73
<b>Bab 6</b>	<b>Sumber Informasi dan Sinyal .....</b>	<b>75</b>
6.1	Sumber Informasi .....	75
6.2	Sinyal Analog Dan Digital .....	76
6.3	Sinyal Periodik Dan Aperiodik .....	76
6.4	Gelombang Sinus Dan Karakteristik Sinyal .....	77
6.5	Sinyal Komposit .....	77
6.6	Pentingnya Sinyal Komposit Dan Fungsi Sinus .....	79
6.7	Representasi Domain Waktu dan Frekuensi .....	79
6.8	Bandwidth Sinyal Analog .....	80
6.9	Sinyal Digital Dan Level Sinyal .....	81
6.10	Baud Dan Bit Per Detik .....	82
6.11	Mengubah Sinyal Digital Menjadi Analog .....	83
6.12	Bandwidth Sinyal Digital .....	84
6.13	Sinkronisasi Dan Kesepakatan Tentang Sinyal .....	84
6.14	Pengkodean Baris .....	85
6.15	Encoding Manchester Digunakan Dalam Jaringan Komputer .....	86
6.16	Mengubah Sinyal Analog Menjadi Digital .....	87
6.17	Teorema Nyquist Dan Laju Sampling .....	89
6.18	Teorema Nyquist Dan Transmisi Sistem Telepon .....	89
6.19	Pengodean Dan Kompresi Data .....	89
6.20	Ringkasan .....	90
<b>Bab 7</b>	<b>Media Transmisi .....</b>	<b>92</b>
7.1	Transmisi Terpandu dan Tidak Terpandu .....	92
7.2	Taksonomi Berdasarkan Bentuk Energi .....	93
7.3	Radiasi Latar Belakang dan Kebisingan Listrik .....	94
7.4	Kabel Tembaga Twisted Pair .....	95
7.5	Perisai: Kabel Koaksial dan Twisted Pair Terlindung .....	96
7.6	Kategori Kabel Twisted Pair .....	97
7.7	Media Menggunakan Energi Cahaya dan Serat Optik .....	98
7.8	Jenis Serat dan Transmisi Cahaya .....	99
7.9	Serat Optik Dibandingkan dengan Kabel Tembaga .....	100
7.10	Teknologi Komunikasi Inframerah .....	100
7.11	Komunikasi Laser Point-to-Point .....	101
7.12	Komunikasi Elektromagnetik (Radio) .....	102
7.13	Perambatan Sinyal .....	102
7.14	Jenis Satelit .....	103
7.15	Satelit Komunikasi GEO .....	103
7.16	Cakupan GEO Bumi .....	104
7.17	Satelit dan Gugus Orbit Bumi Rendah (LEO) .....	105
7.18	Pertukaran Antara Jenis Media .....	106
7.19	Mengukur Media Transmisi .....	106
7.20	Pengaruh Kebisingan pada Komunikasi .....	106
7.21	Signifikansi Kapasitas Saluran .....	107
7.22	Ringkasan .....	108

<b>Bab 8</b>	<b>Keandalan dan Pengodean Saluran .....</b>	<b>110</b>
8.1	Tiga Sumber Utama Kesalahan Transmis.....	110
8.2	Pengaruh Kesalahan Transmisi Pada Keandalan Data dan Pengkodean Saluran ..	111
8.3	Dua Strategi untuk Menangani Kesalahan Saluran .....	112
8.4	Blokir Dan Kode Kesalahan Konvolusi .....	112
8.5	Contoh Kode Kesalahan Blok: Pemeriksaan Paritas Tunggal .....	113
8.6	Matematika Kode Kesalahan Blok Dan $(n,k)$ Notasi .....	114
8.7	Jarak Hamming: Ukuran Kekuatan Kode .....	115
8.8	Jarak Hamming Antar String dalam Buku Kode .....	115
8.9	Tradeoff Antara Deteksi Kesalahan dan Overhead .....	116
8.10	Koreksi Kesalahan Dengan Paritas Baris Dan Kolom (RAC) .....	116
8.11	Checksum 16-Bit yang Digunakan Di Internet .....	117
8.12	Cyclic Redundancy Codes (CRC) .....	118
8.13	Implementasi Perangkat Keras yang Efisien dari CRC .....	120
8.14	Mekanisme Permintaan Ulang Otomatis (ARQ) .....	121
8.15	Ringkasan .....	121
<b>Bab 9</b>	<b>Mode Transmisi .....</b>	<b>123</b>
9.1	Taksonomi Mode Transmisi .....	123
9.2	Transmisi Paralel .....	124
9.3	Transmisi Serial .....	124
9.4	Urutan Transmisi: Bit dan Bytes .....	125
9.5	Waktu Transmisi Serial .....	126
9.6	Transmisi Asinkron .....	126
9.7	RS-232 Transmisi Karakter Asinkron .....	126
9.8	Transmisi Sinkron .....	127
9.9	Byte, Blok, Dan Frame .....	128
9.10	Transmisi Isochronous .....	129
9.11	Transmisi Simplex, Half-Duplex, dan Full-Duplex .....	129
9.12	Peralatan DCE dan DTE .....	130
9.13	Ringkasan .....	131
<b>Bab 10</b>	<b>Modulasi dan Modem .....</b>	<b>132</b>
10.1	Pembawa, Frekuensi, dan Propagasi .....	132
10.2	Skema Modulasi Analog .....	132
10.3	Modulasi Amplitudo .....	133
10.4	Modulasi Frekuensi .....	134
10.5	Modulasi Pergeseran Fase .....	135
10.6	Modulasi Amplitudo Dan Teorema Shannon .....	135
10.7	Modulasi, Input Digital, dan Shift Keying .....	135
10.9	Phase Shift Keying .....	135
10.10	Pergeseran Fase Dan Diagram Konstelasi .....	137
10.11	Modulasi Amplitudo Kuadrat .....	137
10.11	Perangkat Keras Modem Untuk Modulasi Dan Demodulasi .....	138
10.12	Modem Optik Dan Frekuensi Radio .....	140
10.13	Modem Dial-up .....	140
10.14	QAM Diterapkan Untuk Dialup .....	141
10.15	Modem Dialup 10.16 V.32 dan V.32bis .....	141

10.16 Ringkasan .....	142
<b>Bab 11 Multiplexing dan Demultiplexing (Penyaluran) .....</b>	<b>144</b>
11.1 Konsep Multiplexing .....	144
11.2 Jenis Dasar Multiplexing .....	145
11.3 Multiplexing Divisi Frekuensi (FDM) .....	145
11.4 Menggunakan Rentang Frekuensi Per Saluran .....	147
11.5 Hirarki FDM .....	148
11.6 Multiplexing Divisi Panjang Gelombang (WDM) .....	149
11.7 Time Division Multiplexing (TDM) .....	150
11.8 TDM Sinkron .....	150
11.9 Peningkatan yang Digunakan Dalam Sistem Telepon Versi TDM .....	151
11.10 Hierarkis TDM .....	151
11.11 Masalah Dengan TDM Sinkron: Slot Tidak Terisi .....	152
11.12 TDM Statistik .....	153
11.13 Multiplexing Terbalik .....	153
11.14 Multiplexing Divisi Kode .....	154
11.15 Ringkasan .....	156
<b>Bab 12 Teknologi Akses dan Interkoneksi .....</b>	<b>158</b>
12.1 Teknologi Akses Internet: Hulu Dan Hilir .....	158
12.2 Teknologi Narrowband dan Broadband .....	159
12.3 Loop Lokal Dan ISDN .....	160
12.4 Teknologi Digital Subscriber Line (DSL) .....	160
12.5 Karakteristik dan Adaptasi Lokal Loop .....	161
12.6 Kecepatan Data ADSL .....	162
12.7 Instalasi dan Pemisah ADSL .....	163
12.8 Teknologi Modem Kabel .....	163
12.9 Kecepatan Data Modem Kabel .....	164
12.10 Instalasi Modem Kabel .....	164
12.11 Serat Hibrida .....	164
12.12 Teknologi Akses yang Menggunakan Serat Optik .....	165
12.13 Terminologi Modem Head-End Dan Tail-End .....	166
12.14 Teknologi Akses Nirkabel .....	166
12.15 Koneksi Berkapasitas Tinggi Di Inti Internet .....	167
12.16 Pemutusan Sirkuit, DSU / CSU, dan NIU .....	168
12.17 Standar Telepon Untuk Sirkuit Digital .....	168
12.18 Terminologi DS Dan Tarif Data .....	169
12.19 Sirkuit Kapasitas Tertinggi (Standar STS) .....	169
12.20 Standar Pembawa Optik .....	170
12.21 Akhiran C .....	170
12.22 Jaringan Optik Sinkron (SONET) .....	170
12.23 Ringkasan .....	171
<b>BAGIAN III Paket Switching dan Teknologi Jaringan</b>	
<b>Bab 13 Jaringan Area Lokal: Paket, Frame, dan Topologi.....</b>	<b>175</b>
13.1 Pengalihan Sirkuit.....	175



13.2	Pergantian Paket .....	176
13.3	Jaringan Paket Lokal dan Area Luas .....	177
13.4	Standar Untuk Format Dan Identifikasi Paket .....	178
13.5	Model dan Standar IEEE 802 .....	179
13.6	Jaringan Point-To-Point dan Multi-Akses .....	180
13.7	Topologi LAN.....	180
13.9	Identifikasi Paket, Demultiplexing, Alamat MAC.....	182
13.10	Alamat Unicast, Broadcast, dan Multicast .....	183
13.11	Siaran, Multicast, dan Pengiriman Multi-Titik yang Efisien .....	184
13.12	Bingkai dan Pembungkaiian .....	184
13.13	Byte dan Bit .....	186
13.14	Ringkasan .....	187
<b>Bab 14</b>	<b>Sub-Lapisan IEEE MAC .....</b>	<b>189</b>
14.1	Taksonomi Mekanisme Untuk Multi-Akses .....	189
14.2	Alokasi Saluran Statis Dan Dinamis.....	190
14.3	Protokol Penyaluran .....	191
14.4	Protokol Akses Terkendali .....	192
14.5	Protokol Akses Acak .....	194
14.7	Ringkasan .....	198
<b>Bab 15</b>	<b>Teknologi LAN Berkabel (Ethernet dan 802.3) .....</b>	<b>200</b>
15.1	Ethernet .....	200
15.2	Format Bingkai Ethernet .....	200
15.3	Bidang Jenis Ethernet Dan Demultiplexing .....	201
15.4	Versi Ethernet IEEE (802.3) .....	202
15.5	Koneksi LAN dan Kartu Antarmuka Jaringan .....	202
15.6	Evolusi Ethernet Dan Pengkabelan Thicknet .....	203
15.7	Kabel Ethernet Thinnet .....	203
15.8	Kabel dan Hub Ethernet Twisted Pair .....	204
15.9	Topologi Ethernet Fisik Dan Logika .....	205
15.10	Pengkabelan Di Gedung Perkantoran .....	205
15.12	Varian Twisted Pair Ethernet Dan Kecepatan .....	206
15.12	Konektor dan Kabel Twisted Pair .....	207
15.13	Ringkasan .....	208
<b>Bab 16</b>	<b>Teknologi Jaringan Nirkabel .....</b>	<b>209</b>
16.1	Taksonomi Jaringan Nirkabel .....	209
16.2	Jaringan Area Pribadi (PAN) .....	210
16.3	Pita Nirkabel ISM Digunakan oleh LAN dan PAN .....	210
16.4	Teknologi LAN Nirkabel Dan Wi-Fi .....	210
16.5	Teknik Spread Spectrum .....	211
16.6	Standar LAN Nirkabel Lainnya .....	212
16.7	Arsitektur LAN Nirkabel .....	213
16.9	Tumpang Tindih, Asosiasi, Dan Format Bingkai 802.11.....	213
16.10	Koordinasi Antar Titik Akses .....	214
16.11	Akses Bebas Pertikaian dan Perdebatan .....	215
16.12	Teknologi MAN Nirkabel dan WiMax .....	216

16.13 Teknologi Dan Standar PAN .....	218
16.14 Teknologi Komunikasi Jarak Pendek Lainnya .....	219
16.15 Teknologi WAN Nirkabel .....	220
16.16 Cluster Sel Dan Penggunaan Kembali Frekuensi.....	222
16.17 Generasi Teknologi Seluler.....	223
16.18 Teknologi Satelit VSAT .....	226
16.19 Satelit GPS.....	227
16.20 Radio Perangkat Lunak Dan Masa Depan Nirkabel.....	227
16.21 Ringkasan .....	228
<b>Bab 17 Ekstensi LAN: Modem Fiber, Repeater, Bridge, dan Switch.....</b>	<b>230</b>
17.1 Batasan Jarak Dan Desain LAN .....	230
17.2 Ekstensi Modem Fiber .....	230
17.4 Repeater .....	231
17.4 Bridges And Bridging .....	232
17.5 Learning Bridges And Frame Filtering .....	232
17.6 Keunggulan Bridge .....	233
17.7 Distributed Spanning Tree .....	234
17.8 Switching Dan Layer 2 Switch .....	235
17.10 Sakelar VLAN .....	237
17.11 Bridge Digunakan Dengan Perangkat Lain .....	237
17.12 Ringkasan .....	238
<b>Bab 18 Teknologi WAN dan Perutean Dinamis .....</b>	<b>239</b>
18.1 Rentang Besar Dan Jaringan Area Luas .....	239
18.2 Arsitektur WAN Tradisional .....	241
18.3 Merancang WAN .....	242
18.4 Paradigma Store And Forward .....	243
18.5 Addressing dalam WAN .....	243
18.6 Penerusan Hop Berikutnya .....	244
18.7 Kemandirian Sumber .....	247
18.7 Pembaruan Perutean Dinamis Dalam WAN .....	247
18.8 Rute Default .....	248
18.9 Rute Default .....	249
18.10 Perhitungan Rute Terdistribusi .....	250
18.11 Perhitungan Jalur Terpendek Dalam Grafik .....	253
18.12 Masalah Perutean .....	254
18.13 Ringkasan .....	255
<b>Bab 19 Teknologi Jaringan Dulu dan Sekarang .....</b>	<b>256</b>
19.1 Koneksi Dan Teknologi Akses.....	256
19.3 Teknologi WAN .....	259
19.4 Ringkasan .....	262
<b>Daftar Pustaka .....</b>	

# **BAGIAN I**

## **Pengantar Jaringan dan Aplikasi Internet**



---

### **Bab ini akan membahas tentang:**

- Perkembangan jaringan komputer
- Fungsi komputer dalam media komunikasi global
- Aplikasi dan pemrograman komputer
- Jenis - Jenis Jaringan Komputer

### **1.1 Pertumbuhan Jaringan Komputer**

Jaringan komputer telah berkembang pesat. Sejak tahun 1970-an, komunikasi komputer telah berubah dari topik penelitian esoteris menjadi bagian penting dari infrastruktur. Jaringan digunakan dalam setiap aspek bisnis, termasuk periklanan, produksi, pengiriman, perencanaan, penagihan, dan akuntansi. Akibatnya, sebagian besar perusahaan memiliki banyak jaringan. Sekolah, di semua tingkatan kelas dari SD hingga pasca sarjana, menggunakan jaringan komputer untuk memberikan siswa dan guru akses instan ke informasi online. Kantor pemerintah federal, negara bagian, dan lokal menggunakan jaringan, seperti halnya organisasi militer. Singkatnya, jaringan komputer ada di mana-mana.

Pertumbuhan dan penggunaan Internet global adalah salah satu fenomena yang paling menarik dan menggairahkan dalam jaringan. Pada tahun 1980, Internet merupakan proyek penelitian yang melibatkan beberapa lusin situs. Saat ini, Internet telah berkembang menjadi sistem komunikasi produksi yang menjangkau semua negara berpenduduk di dunia. Banyak pengguna memiliki akses Internet berkecepatan tinggi melalui modem kabel, DSL, atau teknologi nirkabel.

Munculnya dan kegunaan jaringan telah menciptakan perubahan ekonomi yang dramatis. Jaringan data telah membuat telecommuting tersedia bagi individu dan telah mengubah komunikasi bisnis. Selain itu, seluruh industri muncul yang mengembangkan teknologi jaringan, produk, dan layanan. Pentingnya jaringan komputer telah menghasilkan permintaan di semua industri untuk orang-orang dengan lebih banyak keahlian jaringan. Perusahaan membutuhkan pekerja untuk merencanakan,

memperoleh, menginstal, mengoperasikan, dan mengelola sistem perangkat keras dan perangkat lunak yang membentuk jaringan komputer dan internet. Selain itu, pemrograman komputer tidak lagi terbatas pada komputer individu — pemrograman jaringan diperlukan karena semua programmer diharapkan untuk merancang dan mengimplementasikan perangkat lunak aplikasi yang dapat berkomunikasi dengan aplikasi di komputer lain.

## 1.2 Kompleksitas Jaringan

Karena jaringan komputer adalah bidang yang aktif dan menggairahkan, subjeknya tampak rumit. Banyak teknologi yang ada, dan setiap teknologi memiliki fitur yang membedakannya dari yang lain. Perusahaan terus menciptakan produk dan layanan jaringan komersial, seringkali dengan menggunakan teknologi dengan cara baru yang tidak konvensional. Akhirnya, jaringan tampak kompleks karena teknologi dapat digabungkan dan saling berhubungan dalam banyak cara.

Jaringan komputer bisa sangat membingungkan bagi pemula karena tidak ada teori dasar tunggal yang menjelaskan hubungan di antara semua bagian. Beberapa organisasi telah menciptakan standar jaringan, tetapi beberapa standar tidak sesuai dengan yang lain. Berbagai organisasi dan kelompok penelitian telah berusaha untuk mendefinisikan model konseptual yang menangkap esensi dan menjelaskan nuansa di antara sistem perangkat keras dan perangkat lunak jaringan, tetapi karena rangkaian teknologi beragam dan berubah dengan cepat, model menjadi sangat sederhana sehingga tidak membedakan antara detail. atau begitu kompleks sehingga tidak membantu menyederhanakan subjek. Kurangnya konsistensi di lapangan telah menghasilkan tantangan lain bagi pemula: alih-alih terminologi yang seragam untuk konsep jaringan, beberapa kelompok masing-masing mencoba untuk membuat terminologi mereka sendiri. Para peneliti berpegang teguh pada terminologi yang tepat secara ilmiah. Grup pemasaran korporat sering mengaitkan produk dengan istilah teknis umum atau menciptakan istilah baru hanya untuk membedakan produk atau layanan mereka dari produk atau layanan pesaing. Dengan demikian, istilah teknis mudah dikacaukan dengan nama produk populer. Untuk menambah kebingungan lebih lanjut, para profesional terkadang menggunakan istilah teknis dari satu teknologi ketika mengacu pada fitur analog dari teknologi lain. Akibatnya, selain kumpulan besar istilah dan akronim yang mengandung banyak sinonim, jargon jaringan mengandung istilah yang sering disingkat, disalahgunakan, atau dikaitkan dengan produk.

## 1.3 Aspek Utama Jaringan

Untuk menguasai kompleksitas dalam jaringan, penting untuk mendapatkan latar belakang yang luas yang mencakup lima aspek utama dari subjek:

- Aplikasi Jaringan dan Pemrograman Jaringan
- Komunikasi Data
- Teknologi Pertukaran Paket dan Jaringan
- Internetworking Dengan TCP/IP
- Konsep dan Teknologi Jaringan Tambahan

### 1.3.1 Aplikasi Jaringan dan Pemrograman Jaringan

Layanan dan fasilitas jaringan yang diminta pengguna masing-masing disediakan oleh perangkat lunak aplikasi — program aplikasi di satu komputer berkomunikasi melalui jaringan dengan program aplikasi yang berjalan di komputer lain. Layanan aplikasi jaringan mencakup jangkauan luas yang

mencakup email, transfer file, penelusuran web, panggilan telepon suara, database terdistribusi, dan telekonferensi audio dan video. Meskipun setiap aplikasi menawarkan layanan khusus dengan bentuk antarmuka pengguna sendiri, semua aplikasi dapat berkomunikasi melalui satu jaringan bersama. Ketersediaan jaringan dasar terpadu yang mendukung semua aplikasi membuat pekerjaan programmer jauh lebih mudah karena programmer hanya perlu mempelajari satu antarmuka ke jaringan dan satu set fungsi dasar — set fungsi yang sama digunakan di semua program aplikasi yang berkomunikasi melalui jaringan.

Seperti yang akan kita lihat, adalah mungkin untuk memahami aplikasi jaringan, dan bahkan mungkin untuk menulis kode yang berkomunikasi melalui jaringan, tanpa memahami teknologi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan untuk mentransfer data dari satu aplikasi ke aplikasi lainnya. Tampaknya begitu seorang programmer menguasai antarmuka, tidak diperlukan pengetahuan lebih lanjut tentang jaringan. Namun, pemrograman jaringan analog dengan pemrograman konvensional. Meskipun pemrograman konvensional dapat membuat aplikasi tanpa memahami kompiler, sistem operasi, atau arsitektur komputer, pengetahuan tentang sistem yang mendasarinya dapat membantu pemrograman membuat program yang lebih andal, benar, dan efisien. Demikian pula, pengetahuan tentang sistem jaringan yang mendasari memungkinkan seorang programmer untuk menulis kode yang lebih baik.

### **Poin Penting** \_\_\_\_\_

Seorang programmer yang memahami mekanisme dan teknologi jaringan yang mendasarinya dapat menulis aplikasi jaringan yang lebih andal, benar, dan efisien.

### **1.3.2 Komunikasi Data**

Istilah komunikasi data mengacu pada studi tentang mekanisme dan teknologi tingkat rendah yang digunakan untuk mengirim informasi melalui media komunikasi fisik, seperti kabel, gelombang radio, atau berkas cahaya. Komunikasi data terutama merupakan domain Teknik Elektro, yang mempelajari bagaimana merancang dan membangun berbagai sistem komunikasi. Komunikasi data berfokus pada cara menggunakan fenomena fisik untuk mentransfer informasi. Jadi, banyak ide dasar yang diturunkan dari sifat-sifat materi dan energi yang telah dipelajari oleh fisikawan. Sebagai contoh, kita akan melihat bahwa serat optik yang digunakan untuk transfer data berkecepatan tinggi bergantung pada sifat cahaya dan pantulannya pada batas antara dua jenis materi.

Karena berhubungan dengan konsep fisik, komunikasi data mungkin tampak agak tidak relevan dengan pemahaman kita tentang jaringan. Secara khusus, karena banyak istilah dan konsep mengacu pada fenomena fisik, subjek ini mungkin hanya berguna bagi para insinyur yang merancang fasilitas transmisi tingkat rendah. Misalnya, teknik modulasi yang menggunakan bentuk energi fisik, seperti radiasi elektromagnetik, untuk membawa informasi tampaknya tidak relevan dengan desain dan penggunaan protokol. Namun, kita akan melihat bahwa beberapa konsep kunci yang muncul dari komunikasi data mempengaruhi desain banyak lapisan protokol. Dalam kasus modulasi, konsep bandwidth berhubungan langsung dengan throughput jaringan.

Sebagai kasus khusus, komunikasi data memperkenalkan gagasan multiplexing yang memungkinkan informasi dari berbagai sumber untuk digabungkan untuk transmisi di media bersama dan kemudian dipisahkan untuk pengiriman ke beberapa tujuan. Kita akan melihat bahwa multiplexing tidak terbatas pada transmisi fisik — kebanyakan protokol menggabungkan beberapa bentuk multiplexing. Demikian pula, konsep enkripsi yang diperkenalkan dalam komunikasi data merupakan dasar dari sebagian besar keamanan jaringan.

## **Poin Penting** \_\_\_\_\_

*Meskipun berhubungan dengan banyak detail tingkat rendah, komunikasi data memberikan dasar konsep di mana sisa jaringan dibangun.*

### **1.3.3 Paket Switching Dan Teknologi Jaringan**

Pada 1960-an, sebuah konsep baru merevolusi komunikasi data: packet switching. Jaringan komunikasi awal telah berevolusi dari telegraf dan sistem telepon yang menghubungkan sepasang kabel fisik antara dua pihak untuk membentuk sirkuit komunikasi. Meskipun koneksi mekanis kabel digantikan oleh sakelar elektronik, paradigma yang mendasarinya tetap sama: membentuk sirkuit dan kemudian mengirim informasi melintasi sirkuit. Packet switching mengubah jaringan secara mendasar, dan memberikan dasar untuk Internet modern: alih-alih membentuk sirkuit khusus, packet switching memungkinkan banyak pengirim untuk mengirimkan data melalui jaringan bersama. Pergantian paket dibangun di atas mekanisme komunikasi data mendasar yang sama dengan sistem telepon, tetapi menggunakan mekanisme yang mendasarinya dengan cara baru. Packet switching membagi data menjadi blok-blok kecil, yang disebut paket, dan termasuk identifikasi penerima yang dituju dalam setiap paket. Perangkat di seluruh jaringan masing-masing memiliki informasi tentang bagaimana mencapai setiap tujuan yang mungkin. Ketika sebuah paket tiba di salah satu perangkat, perangkat tersebut memilih jalur untuk mengirim paket sehingga paket tersebut akhirnya mencapai tujuan yang benar.

Secara teori, packet switching sangatlah mudah. Namun, banyak desain yang mungkin, tergantung pada jawaban atas pertanyaan dasar. Bagaimana tujuan diidentifikasi, dan bagaimana pengirim dapat menemukan identifikasi tujuan? Seberapa besar seharusnya sebuah paket? Bagaimana jaringan mengenali akhir dari satu paket dan awal dari paket lain? Jika banyak komputer mengirim melalui jaringan, bagaimana mereka dapat berkoordinasi untuk memastikan bahwa masing-masing menerima kesempatan yang adil untuk mengirim? Bagaimana packet switching dapat disesuaikan dengan jaringan nirkabel? Bagaimana teknologi jaringan dapat dirancang untuk memenuhi berbagai persyaratan untuk kecepatan, jarak, dan biaya ekonomi? Banyak jawaban telah diajukan, dan banyak teknologi packet switching telah dibuat.

## **Poin Penting** \_\_\_\_\_

Karena setiap teknologi jaringan dibuat untuk memenuhi berbagai persyaratan kecepatan, jarak, dan biaya ekonomi, banyak teknologi packet switching yang ada. Teknologi berbeda dalam rincian seperti ukuran paket dan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi penerima.

### **1.3.4 Internetworking dengan TCP/IP**

Pada 1970-an, revolusi lain dalam jaringan komputer muncul: konsep Internet. Banyak peneliti yang menyelidiki packet switching mencari teknologi packet switching tunggal yang dapat menangani semua kebutuhan. Pada tahun 1973, Vinton Cerf dan Robert Kahn mengamati bahwa tidak ada satu pun teknologi packet switching yang dapat memenuhi semua kebutuhan, terutama karena memungkinkan untuk membangun teknologi berkapasitas rendah untuk rumah atau kantor dengan biaya yang sangat rendah. Solusinya, mereka menyarankan, adalah berhenti mencoba menemukan satu solusi terbaik, dan sebaliknya, jelajahi interkoneksi banyak teknologi packet switching menjadi satu kesatuan yang berfungsi. Mereka mengusulkan agar seperangkat standar dikembangkan untuk interkoneksi semacam itu, dan standar yang dihasilkan dikenal sebagai TCP/IP Internet Protocol Suite (biasanya disingkat TCP/IP). Konsepnya, yang sekarang dikenal sebagai inter-networking, sangat kuat. Ini memberikan dasar dari Internet global, dan merupakan bagian penting dari studi jaringan komputer.

Salah satu alasan utama keberhasilan standar TCP/IP terletak pada toleransi heterogenitasnya. Alih-alih mencoba mendikte rincian tentang teknologi packet switching, seperti ukuran paket atau metode yang digunakan untuk mengidentifikasi tujuan, TCP/IP mengambil pendekatan virtualisasi yang mendefinisikan paket jaringan-independen dan skema identifikasi jaringan-independen, dan kemudian menentukan bagaimana paket virtual dipetakan ke setiap jaringan yang mungkin mendasarinya.

Menariknya, kemampuan TCP/IP untuk mentolerir jaringan packet switching baru adalah motivasi utama untuk evolusi berkelanjutan dari teknologi packet switching. Seiring pertumbuhan Internet, komputer menjadi lebih kuat dan aplikasi mengirim lebih banyak data, terutama gambar grafis dan video. Untuk mengakomodasi peningkatan penggunaan, para insinyur menemukan teknologi baru yang dapat mengirimkan lebih banyak data dan memproses lebih banyak paket dalam waktu tertentu. Ketika mereka ditemukan, teknologi baru dimasukkan ke dalam Internet bersama dengan teknologi yang ada. Artinya, karena Internet mentolerir heterogenitas, para insinyur dapat bereksperimen dengan teknologi jaringan baru tanpa mengganggu jaringan yang ada.

### **Poin Penting** \_\_\_\_\_

*Internet dibentuk dengan menghubungkan beberapa jaringan packet switching. Internetworking secara substansial lebih kuat daripada teknologi jaringan tunggal karena pendekatan ini memungkinkan teknologi baru untuk digabungkan setiap saat tanpa memerlukan penggantian teknologi lama.*

## **1.4 Bagian Publik dan Pribadi Internet**

Meskipun berfungsi sebagai sistem komunikasi tunggal, Internet terdiri dari bagian-bagian yang dimiliki dan dioperasikan oleh individu atau organisasi. Untuk membantu memperjelas kepemilikan dan tujuan, industri jaringan menggunakan istilah jaringan publik dan jaringan pribadi.

### **1.4.1 Jaringan Publik**

Jaringan publik dijalankan sebagai layanan yang tersedia untuk pelanggan. Setiap individu atau perusahaan yang membayar biaya berlangganan dapat menggunakan jaringan. Sebuah perusahaan yang menawarkan layanan komunikasi dikenal sebagai penyedia layanan. Konsep penyedia layanan cukup luas, dan melampaui Penyedia Layanan Internet (ISP). Sebenarnya, terminologi tersebut berasal dari perusahaan yang menawarkan layanan telepon suara analog.

### **Poin Penting** \_\_\_\_\_

*Jaringan publik dimiliki oleh penyedia layanan, dan menawarkan layanan kepada individu atau organisasi mana pun yang membayar biaya berlangganan.*

Penting untuk dipahami bahwa istilah publik mengacu pada ketersediaan layanan secara umum, bukan pada data yang ditransfer. Secara khusus, banyak jaringan publik mengikuti peraturan ketat pemerintah yang mengharuskan penyedia untuk melindungi komunikasi dari pengintaian yang tidak disengaja.

### **Poin Penting** \_\_\_\_\_

*Istilah publik berarti layanan yang tersedia untuk masyarakat umum; data yang ditransfer melalui jaringan publik tidak diungkapkan kepada pihak luar.*



## 1.4.2 Jaringan Pribadi

Jaringan pribadi dikendalikan oleh satu kelompok tertentu. Meskipun mungkin tampak langsung, perbedaan antara bagian publik dan pribadi dari Internet bisa jadi tidak kentara karena kontrol tidak selalu menyiratkan kepemilikan. Misalnya, jika perusahaan menyewa sirkuit data dari penyedia dan kemudian membatasi penggunaan sirkuit untuk lalu lintas perusahaan, sirkuit tersebut menjadi bagian dari jaringan pribadi perusahaan.

### Poin Penting \_\_\_\_\_

*Suatu jaringan dikatakan private jika penggunaan jaringan dibatasi pada satu kelompok. Jaringan pribadi dapat mencakup sirkuit yang disewa dari penyedia.*

Vendor peralatan jaringan membagi jaringan pribadi menjadi empat kategori:

- Konsumen
- Kantor Kecil / Rumah Kantor (*Small Office / Home Office /SOHO*)
- Usaha Kecil Menengah (UKM)
- Perusahaan Besar

Karena kategorinya berhubungan dengan penjualan dan pemasaran, maka istilah tersebut didefinisikan secara longgar. Meskipun dimungkinkan untuk memberikan deskripsi kualitatif dari setiap jenis, seseorang tidak dapat menemukan definisi yang tepat. Dengan demikian, paragraf di bawah ini memberikan karakterisasi yang luas dari ukuran dan tujuan daripada ukuran rinci.

**Konsumen** - Salah satu bentuk jaringan pribadi yang paling murah terdiri dari LAN yang dimiliki oleh individu - jika seseorang membeli sakelar LAN yang murah dan menggunakan sakelar tersebut untuk memasang printer ke PC, individu tersebut telah membuat jaringan pribadi. Demikian pula, router nirkabel merupakan jaringan pribadi yang mungkin dibeli dan dipasang oleh konsumen.

**Kantor Kecil / Rumah Kantor (SOHO)** - Jaringan SOHO sedikit lebih besar dari jaringan konsumen. Jaringan SOHO yang khas menghubungkan dua atau lebih komputer, satu atau lebih printer, router yang terhubung ke Internet, dan mungkin perangkat lain, seperti mesin kasir. Sebagian besar instalasi SOHO menyertakan catu daya cadangan baterai dan mekanisme lain yang memungkinkannya beroperasi tanpa gangguan.

**Usaha Kecil Menengah (UKM)** - Jaringan UKM dapat menghubungkan banyak komputer di beberapa kantor di sebuah gedung, dan juga dapat menyertakan komputer di fasilitas produksi (misalnya, di departemen pengiriman). Seringkali jaringan UKM berisi beberapa sakelar Layer-2 yang saling berhubungan oleh router, menggunakan koneksi Internet broadband, dan mungkin termasuk titik akses nirkabel.

**Perusahaan Besar** - Jaringan perusahaan besar menyediakan infrastruktur TI yang dibutuhkan untuk perusahaan besar. Jaringan perusahaan besar yang khas menghubungkan beberapa situs geografis dengan beberapa bangunan di setiap situs, menggunakan banyak sakelar dan router Layer-2, dan memiliki dua atau lebih koneksi Internet berkecepatan tinggi. Jaringan perusahaan biasanya mencakup teknologi kabel dan nirkabel.

### **Poin Penting** \_\_\_\_\_

*Jaringan pribadi dapat melayani konsumen individu, kantor kecil, bisnis kecil-menengah, atau perusahaan besar.*

## **1.5 Jaringan, Interoperabilitas, Dan Standar**

Komunikasi selalu melibatkan setidaknya dua entitas, satu yang mengirim informasi dan yang lain menerimanya. Faktanya, kita akan melihat bahwa sebagian besar sistem komunikasi packet switching berisi entitas perantara (yaitu, perangkat yang meneruskan paket). Poin penting yang perlu diperhatikan adalah agar komunikasi berhasil, semua entitas dalam jaringan harus setuju tentang bagaimana informasi akan direpresentasikan dan dikomunikasikan. Perjanjian komunikasi melibatkan banyak detail. Misalnya, ketika dua entitas berkomunikasi melalui jaringan kabel, kedua belah pihak harus menyepakati voltase yang akan digunakan, cara yang tepat bahwa sinyal listrik digunakan untuk mewakili data, prosedur yang digunakan untuk memulai dan melakukan komunikasi, dan format pesan. Kami menggunakan istilah interoperabilitas untuk merujuk pada kemampuan dua entitas untuk berkomunikasi, dan mengatakan bahwa jika dua entitas dapat berkomunikasi tanpa kesalahpahaman, mereka beroperasi dengan benar. Untuk memastikan bahwa semua pihak yang berkomunikasi menyetujui rincian dan mengikuti seperangkat aturan yang sama, satu set spesifikasi yang tepat dituliskan.

### **Poin Penting** \_\_\_\_\_

*Komunikasi melibatkan banyak entitas yang harus menyepakati detail mulai dari tegangan listrik yang digunakan hingga format dan makna pesan. Untuk memastikan bahwa entitas dapat beroperasi dengan benar, aturan untuk semua aspek komunikasi ditulis.*

Mengikuti terminologi diplomatik, kami menggunakan istilah protokol komunikasi, protokol jaringan, atau protokol untuk merujuk pada spesifikasi untuk komunikasi jaringan. Protokol yang diberikan menentukan detail tingkat rendah, seperti jenis transmisi radio yang digunakan dalam jaringan nirkabel, atau menjelaskan mekanisme tingkat tinggi seperti pesan yang dipertukarkan oleh dua program aplikasi. Kami mengatakan bahwa protokol dapat menentukan prosedur yang harus diikuti selama pertukaran. Salah satu aspek terpenting dari protokol menyangkut situasi di mana kesalahan atau kondisi tak terduga terjadi. Jadi, sebuah protokol biasanya menjelaskan tindakan yang tepat untuk diambil untuk setiap kemungkinan kondisi abnormal (misalnya, respons diharapkan, tetapi tidak ada respons yang datang).

### **Poin Penting** \_\_\_\_\_

*Protokol komunikasi menentukan rincian untuk satu aspek komunikasi komputer, termasuk tindakan yang harus diambil ketika kesalahan atau situasi yang tidak terduga muncul. Protokol yang diberikan dapat menentukan detail tingkat rendah, seperti tegangan dan sinyal yang akan digunakan, atau item tingkat tinggi, seperti format pesan yang dipertukarkan oleh program aplikasi.*

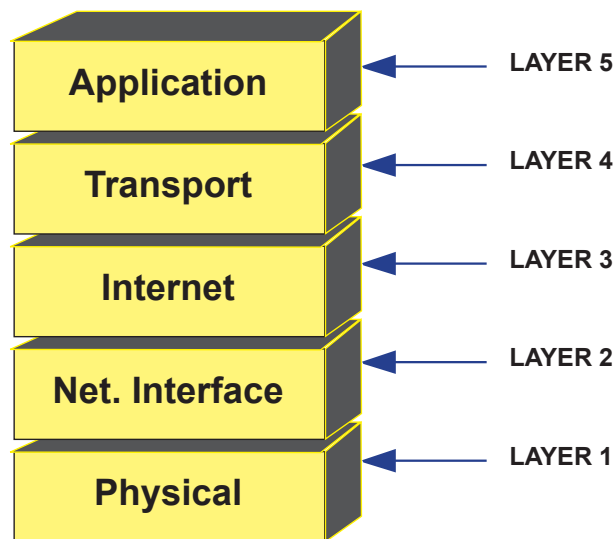
## **1.6 Suite Protokol dan Model Layering**

Satu set protokol harus dibangun dengan hati-hati untuk memastikan bahwa sistem komunikasi yang dihasilkan lengkap dan efisien. Untuk menghindari duplikasi usaha, misalnya, setiap protokol harus menangani bagian komunikasi yang tidak ditangani oleh protokol lain. Bagaimana seseorang dapat menjamin bahwa protokol akan bekerja sama dengan baik? Jawabannya terletak pada rencana

desain keseluruhan: alih-alih membuat setiap protokol dalam isolasi, protokol dirancang dalam set kooperatif lengkap yang disebut suite atau keluarga. Setiap protokol dalam suite menangani satu aspek komunikasi; bersama-sama, protokol dalam suite mencakup semua aspek komunikasi, termasuk kegagalan perangkat keras dan kondisi luar biasa lainnya. Selanjutnya, seluruh suite dirancang untuk memungkinkan protokol bekerja sama secara efisien.

Abstraksi mendasar yang digunakan untuk mengumpulkan protokol menjadi satu kesatuan yang utuh dikenal sebagai model layering. Intinya, model layering menggambarkan bagaimana semua aspek masalah komunikasi dapat dipartisi menjadi bagian-bagian yang bekerja sama. Setiap bagian dikenal sebagai lapisan; terminologi muncul karena protokol dalam suite diatur ke dalam urutan linier. Membagi protokol ke dalam lapisan membantu perancang dan pelaksana protokol mengelola kompleksitas dengan memungkinkan mereka untuk berkonsentrasi pada satu aspek komunikasi pada waktu tertentu.

Gambar 1.1 mengilustrasikan konsep dengan menunjukkan model layering yang digunakan dengan protokol Internet. Tampilan visual dari figur yang digunakan untuk mengilustrasikan layering telah memunculkan istilah sehari-hari stack. Istilah ini digunakan untuk merujuk pada perangkat lunak protokol di komputer, seperti dalam "apakah komputer itu menjalankan tumpukan TCP/IP?"



Gambar 1.1 Model layering yang digunakan dengan protokol Internet (TCP/IP).

Bab-bab selanjutnya akan membantu kita memahami layering dengan menjelaskan protokol secara rinci. Untuk saat ini, cukup mempelajari tujuan dari setiap lapisan dan bagaimana protokol digunakan untuk komunikasi. Bagian selanjutnya merangkum peran lapisan; bagian selanjutnya membahas bagaimana data melewati lapisan saat komputer berkomunikasi.

#### Layer 1: Fisik

Protokol di Layer Fisik menentukan detail tentang media transmisi yang mendasarinya dan perangkat keras terkait. Semua spesifikasi yang berkaitan dengan sifat listrik, frekuensi radio, dan sinyal termasuk dalam Layer 1.

#### Layer 2: Antarmuka Jaringan

Protokol di Layer Antarmuka Jaringan menentukan detail tentang komunikasi antara Layer protokol yang lebih tinggi, yang biasanya diimplementasikan dalam perangkat lunak, dan jaringan yang mendasarinya,

yang diimplementasikan dalam perangkat keras. Spesifikasi tentang alamat jaringan dan ukuran paket maksimum yang dapat didukung jaringan, protokol yang digunakan untuk mengakses media yang mendasarinya, dan pengalamatan perangkat keras termasuk dalam Layer 2.

#### Layer 3: Internet

Protokol di Layer Internet membentuk dasar fundamental untuk Internet. Protokol Layer 3 menentukan komunikasi antara dua komputer di Internet (yaitu, di beberapa jaringan yang saling berhubungan). Struktur pengalamatan Internet, format paket Internet, metode untuk membagi paket Internet besar menjadi paket-paket yang lebih kecil untuk transmisi, dan mekanisme pelaporan kesalahan termasuk dalam Layer 3.

#### Layer 4: Transportasi

Protokol di Layer Transport menyediakan komunikasi dari program aplikasi di satu komputer ke program aplikasi di komputer lain. Spesifikasi yang mengontrol kecepatan maksimum penerima dapat menerima data, mekanisme untuk menghindari kemacetan jaringan, dan teknik untuk memastikan bahwa semua data diterima dalam urutan yang benar termasuk dalam Layer 4.

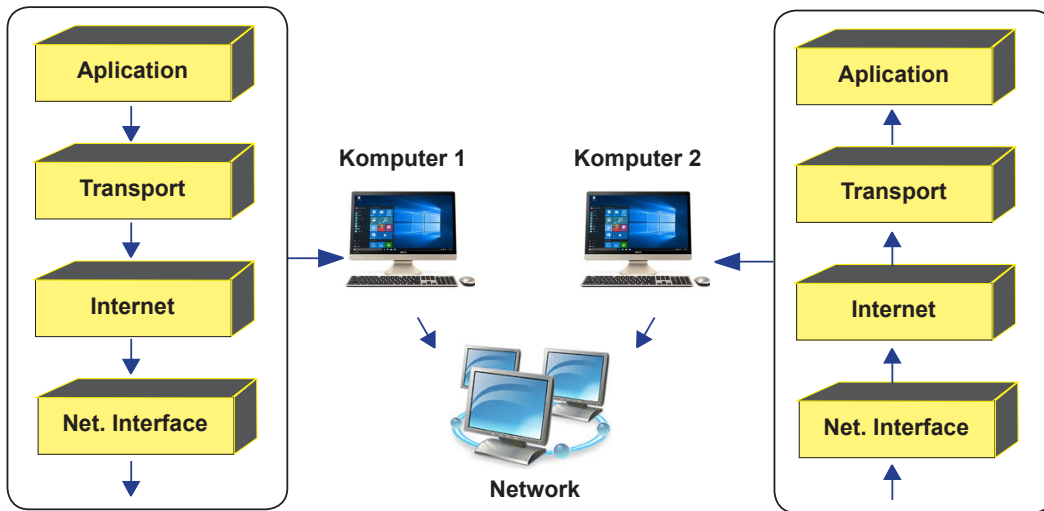
#### Layer 5: Aplikasi

Protokol di Layer atas tumpukan TCP/IP menentukan bagaimana sepasang aplikasi berinteraksi saat mereka berkomunikasi. Protokol Layer 5 menentukan detail tentang format dan arti pesan yang dapat dipertukarkan oleh aplikasi serta prosedur yang harus diikuti selama komunikasi. Spesifikasi untuk pertukaran email, transfer file, penjelajahan web, layanan telepon, dan telekonferensi video semuanya termasuk dalam Layer 5.

## 1.7 Mekanisme Pengolahan Data dalam Layering

Layering bukan hanya konsep abstrak yang membantu seseorang memahami protokol. Sebaliknya, implementasi protokol mengikuti model layering dengan melewati output dari protokol di satu lapisan ke input protokol di lapisan berikutnya. Selanjutnya, untuk mencapai efisiensi, daripada menyalin seluruh paket, sepasang protokol di lapisan yang berdekatan melewati pointer ke paket. Dengan demikian, data melewati antar lapisan secara efisien.

Untuk memahami bagaimana protokol beroperasi, pertimbangkan dua komputer yang terhubung ke jaringan. Gambar 1.2 mengilustrasikan protokol berlapis pada dua komputer. Seperti yang ditunjukkan gambar, setiap komputer berisi satu set protokol berlapis. Ketika sebuah aplikasi mengirim data, data ditempatkan dalam sebuah paket, dan paket keluar melewati setiap lapisan protokol. Setelah melewati semua lapisan protokol pada komputer pengirim, paket meninggalkan komputer dan ditransmisikan melalui jaringan fisik yang mendasarinya. Ketika mencapai komputer penerima, paket melewati lapisan protokol. Jika aplikasi pada komputer penerima mengirimkan respons, prosesnya dibalik. Artinya, respons melewati lapisan saat keluar, dan naik melalui lapisan di komputer yang menerima respons.

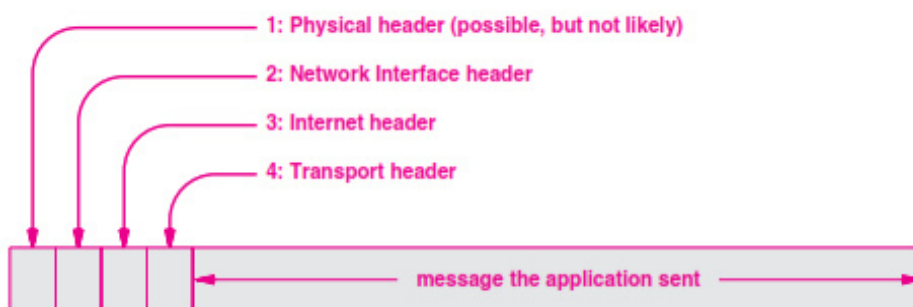


Gambar 1.2 Ilustrasi bagaimana data lewat di antara lapisan protokol ketika komputer berkomunikasi melalui jaringan. Setiap komputer memiliki seperangkat protokol berlapis, dan data melewati setiap lapisan.

## 1.8 Header dan Layer

Kita akan belajar bahwa setiap lapisan perangkat lunak protokol melakukan perhitungan yang memastikan pesan tiba seperti yang diharapkan. Untuk melakukan perhitungan tersebut, perangkat lunak protokol pada dua mesin harus bertukar informasi. Untuk melakukannya, setiap lapisan pada komputer pengirim menambahkan informasi tambahan ke dalam paket; lapisan protokol yang sesuai pada komputer penerima menghapus dan menggunakan informasi tambahan.

Informasi tambahan yang ditambahkan oleh protokol dikenal sebagai header. Untuk memahami bagaimana header muncul, pikirkan sebuah paket yang melintasi jaringan antara dua komputer pada Gambar 1.2. Header ditambahkan oleh perangkat lunak protokol saat data melewati lapisan pada komputer pengirim. Artinya, lapisan Transport menambahkan header, dan kemudian lapisan Internet menambahkan header, dan seterusnya. Jadi, jika kita mengamati sebuah paket yang melintasi jaringan, header akan muncul dalam urutan yang diilustrasikan pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Header protokol bersarang yang muncul pada paket saat paket berjalan melintasi jaringan antara dua komputer. Dalam diagram, awal paket (bit pertama yang dikirim melalui jaringan yang mendasarinya) ditampilkan di sebelah kiri.

Meskipun gambar menunjukkan header dengan ukuran yang sama, dalam praktiknya header tidak berukuran seragam, dan header layer fisik bersifat opsional. Kami akan memahami alasan perbedaan ukuran saat kami memeriksa konten header. Demikian pula, kita akan melihat bahwa



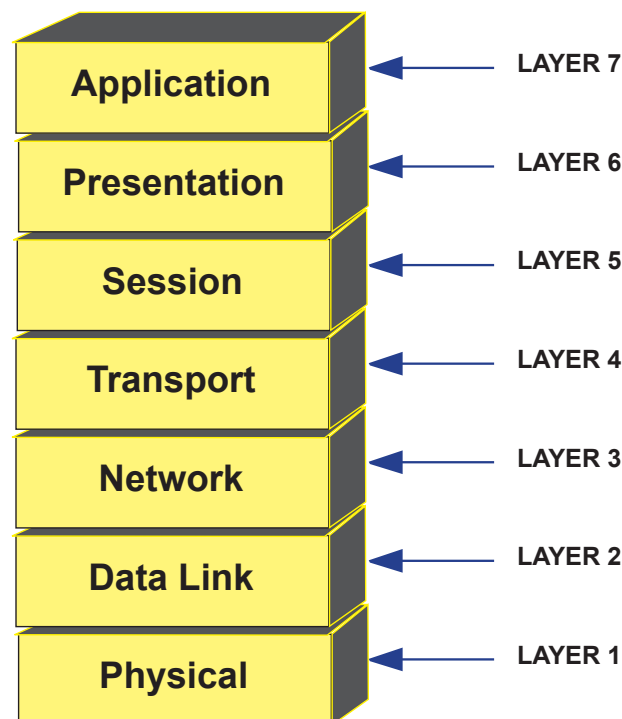
lapisan fisik biasanya menentukan bagaimana sinyal digunakan untuk mengirimkan data. Jadi, orang tidak berharap untuk menemukan header lapisan Fisik.

## 1.9 ISO dan Model Interkoneksi Sistem Terbuka OSI

Pada saat yang sama protokol Internet sedang dikembangkan, dua badan standar besar bersama-sama membentuk model referensi alternatif. Mereka juga menciptakan satu set protokol antar jaringan. Organisasi-organisasi tersebut adalah:

- *International Organization for Standardization (ISO)*
- *International Telecommunications Union, Telecommunication Standardization Sector (ITU-T)*

Model pelapisan ISO dikenal sebagai Model Referensi Tujuh Lapisan Interkoneksi Sistem Terbuka (*Open Systems Interconnection Seven-Layer Reference Model*). Kebingungan muncul dalam terminologi karena akronim untuk protokol, OSI, dan akronim untuk organisasi, ISO, serupa. Seseorang kemungkinan akan menemukan referensi untuk model tujuh lapis OSI dan model tujuh lapis ISO. Gambar 1.4 mengilustrasikan tujuh lapisan dalam model.



Gambar 1.4 Model tujuh lapisan OSI distandarisasi oleh ISO.

## 1.10 Inside Scoop

Seperti kebanyakan organisasi standar, ISO dan ITU menggunakan proses yang mengakomodasi sudut pandang sebanyak mungkin saat membuat standar. Akibatnya, beberapa standar tampaknya dirancang oleh komite yang membuat kompromi politik daripada oleh para insinyur dan ilmuwan. Model referensi tujuh lapis kontroversial. Itu memang dimulai sebagai kompromi politik. Selanjutnya, model dan protokol OSI dirancang sebagai pesaing untuk protokol Internet.

ISO dan ITU adalah badan standar besar yang menangani sistem telepon di seluruh dunia dan standar global lainnya. Protokol Internet dan model referensi dibuat oleh sekelompok kecil sekitar selusin

peneliti. Sangat mudah untuk melihat mengapa organisasi standar mungkin yakin bahwa mereka dapat mendikte seperangkat protokol dan semua orang akan beralih dari protokol yang dirancang oleh para peneliti. Pada satu titik, bahkan pemerintah AS yakin bahwa TCP/IP harus diganti dengan protokol OSI.

Akhirnya, menjadi jelas bahwa teknologi TCP/IP secara teknis lebih unggul dari OSI, dan dalam beberapa tahun, upaya untuk mengembangkan dan menyebarkan protokol OSI dihentikan. Badan standar dibiarkan dengan model tujuh lapis, yang tidak termasuk lapisan Internet. Akibatnya, selama bertahun-tahun, para pendukung model tujuh lapisan telah mencoba untuk meregangkan definisi agar sesuai dengan TCP/IP. Mereka berpendapat bahwa lapisan tiga dapat dianggap sebagai lapisan Internet dan beberapa protokol pendukung dapat ditempatkan ke dalam lapisan lima dan enam. Mungkin bagian yang paling lucu dari cerita ini adalah bahwa banyak insinyur masih menyebut aplikasi sebagai protokol lapisan 7, bahkan ketika mereka tahu bahwa lapisan lima dan enam tidak terisi dan tidak perlu.

## 1.11 Ulasan Penjelasan Isi Buku

Buku ini dibagi menjadi lima bagian besar. Setelah pengenalan singkat, bab di bagian pertama memperkenalkan aplikasi jaringan dan pemrograman jaringan. Pembaca yang memiliki akses ke komputer didorong untuk membuat dan menggunakan program aplikasi yang menggunakan Internet saat mereka membaca buku ini. Empat bagian lainnya menjelaskan cara kerja teknologi yang mendasarinya. Bagian kedua menjelaskan komunikasi data dan transmisi informasi. Ini menjelaskan bagaimana energi listrik dan elektromagnetik dapat digunakan untuk membawa informasi melalui kabel atau melalui udara, dan menunjukkan bagaimana data ditransmisikan.

Bagian ketiga dari buku ini ini berfokus pada packet switching dan teknologi paket. Ini menjelaskan mengapa jaringan komputer menggunakan paket, menjelaskan format umum paket, memeriksa bagaimana paket dikodekan untuk transmisi, dan menunjukkan bagaimana setiap paket diteruskan melalui jaringan ke tujuannya. Bagian ketiga buku ini juga memperkenalkan kategori dasar jaringan komputer, seperti Jaringan Area Lokal (LAN) dan Jaringan Area Luas (WAN). Ini mencirikan properti dari setiap kategori dan membahas contoh teknologi.

Bagian keempat dari buku ini ini mencakup internetworking dan TCP/IP Internet Protocol Suite yang terkait. Buku ini ini menjelaskan struktur Internet dan protokol TCP/IP. Ini menjelaskan skema pengalamatan IP, dan menjelaskan pemetaan antara alamat Internet dan alamat perangkat keras yang mendasarinya. Ini juga membahas perutean Internet dan protokol perutean. Bagian keempat mencakup deskripsi beberapa konsep dasar, termasuk: enkapsulasi, fragmentasi, kongesti dan kontrol aliran, koneksi virtual, terjemahan alamat, bootstrap, IPv6, dan berbagai protokol pendukung.

Bagian kelima dari buku ini mencakup berbagai topik yang tersisa yang berkaitan dengan jaringan secara keseluruhan, bukan bagian individu. Setelah satu bab tentang kinerja jaringan, bab-bab tersebut mencakup teknologi yang muncul, keamanan jaringan, dan manajemen jaringan.

## 1.12 Ringkasan

Kumpulan besar teknologi, produk, dan skema interkoneksi membuat jaringan menjadi subjek yang kompleks. Ada lima aspek kunci: aplikasi jaringan dan pemrograman jaringan, komunikasi data, packet switching dan teknologi jaringan, internetworking dengan TCP/IP, dan topik yang berlaku lintas lapisan, seperti keamanan dan manajemen jaringan.

Karena banyak entitas terlibat dalam komunikasi, mereka harus menyepakati detailnya, termasuk karakteristik listrik seperti tegangan serta format dan makna semua pesan. Untuk memastikan

interoperabilitas, setiap entitas dibangun untuk mematuhi seperangkat protokol komunikasi yang menentukan semua detail yang diperlukan untuk komunikasi. Untuk memastikan bahwa protokol bekerja sama dan menangani semua aspek komunikasi, seluruh rangkaian protokol dirancang pada waktu yang sama. Abstraksi pusat di sekitar protokol yang dibangun disebut model layering. Layering membantu mengurangi kompleksitas dengan memungkinkan seorang insinyur untuk fokus pada satu aspek komunikasi pada waktu tertentu tanpa mengkhawatirkan aspek lainnya. Protokol TCP/IP yang digunakan di Internet mengikuti model referensi lima lapis; perusahaan telepon dan Organisasi Standar Internasional mengusulkan model referensi tujuh lapis.

## Latihan

---

1. Berikan alasan pertumbuhan Internet dalam beberapa tahun terakhir.
2. Sebutkan sepuluh industri yang bergantung pada jaringan komputer.
3. Menurut teks, mungkinkah mengembangkan aplikasi Internet tanpa memahami arsitektur Internet dan teknologinya? Dukung jawaban Anda.
4. Aspek jaringan apa yang dirujuk oleh komunikasi data?
5. Apa itu packet-switching, dan mengapa packet-switching relevan dengan Internet?
6. Berikan sejarah singkat Internet yang menjelaskan kapan dan bagaimana internet dimulai.
7. Apa itu interoperabilitas, dan mengapa itu sangat penting di Internet?
8. Apa itu protokol komunikasi? Secara konseptual, apakah dua aspek komunikasi yang ditentukan oleh protokol?
9. Apa yang dimaksud dengan suite protokol, dan apa keuntungan dari suite?
10. Jelaskan model layering TCP/IP, dan jelaskan bagaimana model tersebut diturunkan.
11. Sebutkan lapisan-lapisan dalam model TCP/IP, dan berikan penjelasan singkat masing-masing.
12. Jelaskan bagaimana header ditambahkan dan dihapus saat data melewati model berlapis.
13. Buat daftar organisasi standardisasi utama yang membuat standar untuk komunikasi data dan jaringan komputer.
14. Berikan penjelasan singkat tentang lapisan dalam model Interkoneksi Sistem Terbuka ISO

---

### Bab ini akan membahas tentang:

- sejarah singkat Internet
- perubahan jaringan data dan Internet

### 2.1 Berbagi Sumber Daya

Jaringan komputer awal dirancang ketika komputer berukuran besar dan mahal, dan motivasi utamanya adalah berbagi sumber daya. Misalnya, jaringan dirancang untuk menghubungkan banyak pengguna, masing-masing dengan layar dan keyboard, ke komputer terpusat yang besar. Jaringan selanjutnya memungkinkan banyak pengguna untuk berbagi perangkat periferan seperti printer.

#### **Poin Penting**

---

*Jaringan komputer awal dirancang untuk memungkinkan berbagi sumber daya yang mahal dan terpusat.*

Internet adalah suatu jaringan komunikasi yang memiliki fungsi untuk menghubungkan antara satu media elektronik dengan media elektronik yang lain dengan cepat dan tepat. Jaringan komunikasi tersebut, akan menyampaikan beberapa informasi yang dikirim melalui transmisi sinyal dengan frekuensi yang telah disesuaikan. Untuk standar global dalam penggunaan jaringan internet sendiri menggunakan TCP / IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol). Internet pertama kali dibentuk pada tahun 1969 oleh proyek lembaga ARPA dengan nama ARPANET (Advanced Research Project Agency

Network) dari Departemen Pertahanan Amerika Serikat dengan tujuan awal dibentuknya ARPANET adalah untuk keperluan militer supaya data tidak tersentralisasi.

Penggunaan istilah internet mulai digunakan pada tahun 1982 dengan total 1000 komputer yang terhubung. Semakin tahun komputer yang terhubung semakin banyak hingga pada tahun 1986 diperkenalkan sistem yang mempunyai fungsi menyeragamkan pemberian nama domain yang dikenal dengan nama DNS (Domain Name System). Pada tahun 1990 Tim Berners Lee menemukan World Wide Web (www) yang bisa digunakan publik untuk mencari situs website. Dari tahun ke tahun perkembangan teknologi semakin pesat dan situs website pun semakin banyak. Saat ini tak hanya website berbagai aplikasi semakin banyak dan memudahkan aktivitas digital kita

Para peneliti membutuhkan komputer yang kuat, dan komputer itu sangat mahal. Anggaran ARPA tidak cukup untuk mendanai banyak komputer. Dengan demikian, ARPA mulai menyelidiki jaringan data — kemudian bahkan membeli komputer untuk setiap proyek, ARPA berencana untuk menghubungkan semua komputer dengan jaringan data dan merancang perangkat lunak yang memungkinkan peneliti menggunakan komputer mana pun yang paling cocok untuk melakukan tugas tertentu.

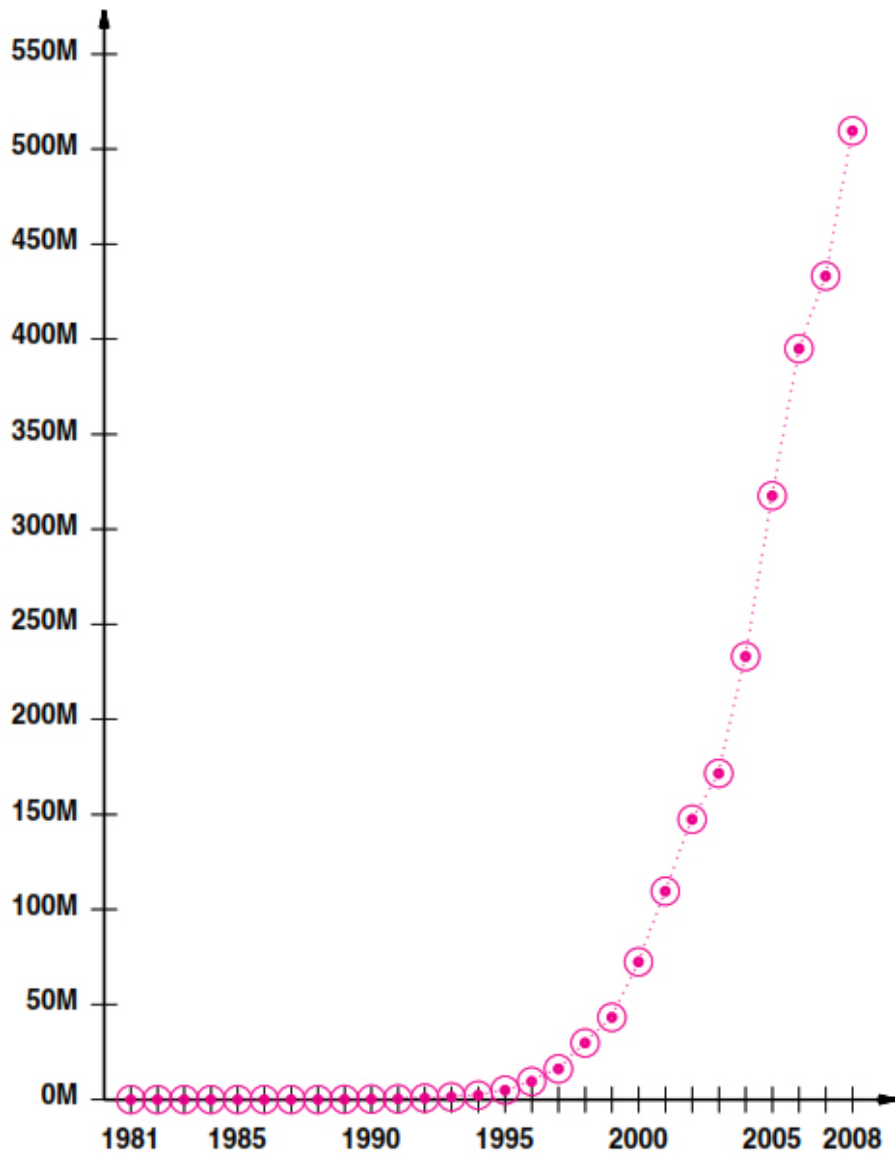
ARPA mengumpulkan beberapa pemikir terbaik yang tersedia, memfokuskan mereka pada penelitian jaringan, dan menyewa kontraktor untuk mengubah desain menjadi sistem kerja yang disebut AR-PANET. Penelitian itu ternyata revolusioner. Tim peneliti memilih untuk mengikuti pendekatan yang dikenal sebagai packet switching yang menjadi dasar untuk jaringan data dan Internet. ARPA melanjutkan proyek tersebut dengan mendanai proyek penelitian Internet. Selama tahun 1980-an, Internet berkembang sebagai upaya penelitian, dan selama tahun 1990-an, Internet menjadi sukses komersial.

## 2.2 Perkembangan Internet

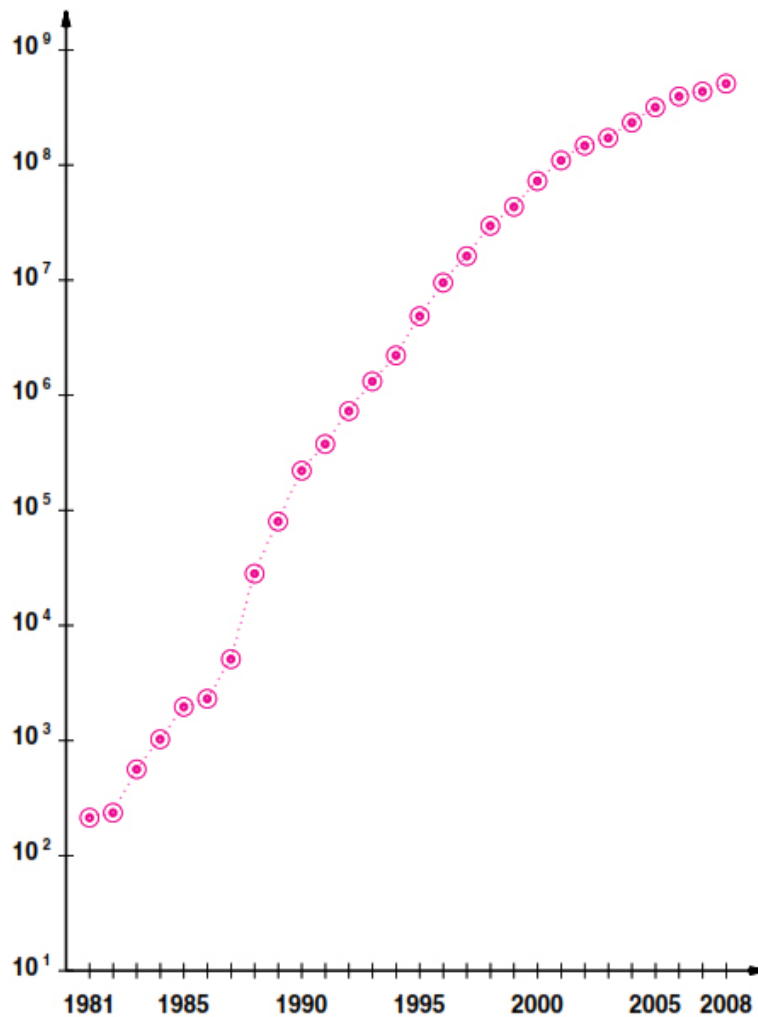
Dalam waktu kurang dari 30 tahun, Internet telah berkembang dari prototipe penelitian awal yang menghubungkan beberapa situs ke sistem komunikasi global yang meluas ke semua negara di dunia. Tingkat pertumbuhannya sangat fenomenal. Gambar 2.1 menggambarkan pertumbuhan dengan grafik jumlah komputer yang terhubung ke Internet sebagai fungsi dari tahun 1981 hingga 2008.

Grafik pada Gambar 2.1 menggunakan skala linier di mana sumbu y mewakili nilai dari nol hingga lima ratus lima puluh juta. Plot linier bisa menipu karena menyembunyikan detail kecil. Misalnya, grafik menyembunyikan detail tentang awal pertumbuhan Internet, sehingga tampak bahwa Internet tidak mulai tumbuh sampai kira-kira tahun 1994 dan sebagian besar pertumbuhan terjadi dalam beberapa tahun terakhir. Faktanya, tingkat rata-rata komputer baru yang ditambahkan ke Internet mencapai lebih dari satu per detik pada tahun 1998, dan telah meningkat pesat. Pada tahun 2007, lebih dari dua komputer ditambahkan ke Internet setiap detik. Untuk memahami tingkat pertumbuhan awal, lihat plot pada Gambar 2.2, yang menggunakan skala log.





Gambar 2.1 Pertumbuhan internet diplot sebagai jumlah komputer di Internet.



Gambar 2.2 Pertumbuhan internet diplot pada skala log.

Plot pada Gambar 2.2 mengungkapkan bahwa Internet telah mengalami pertumbuhan eksponensial selama lebih dari 25 tahun. Artinya, Internet telah berlipat ganda ukurannya setiap sembilan hingga empat belas bulan. Menariknya, tingkat pertumbuhan eksponensial telah sedikit menurun sejak akhir 1990-an karena persentase yang signifikan dari populasi di negara maju memperoleh akses.

### 2.3 Perubahan dari Berbagi Sumber Daya ke Komunikasi

Seiring pertumbuhannya, Internet berubah dalam dua cara yang signifikan. Pertama, kecepatan komunikasi meningkat secara dramatis — tautan tulang punggung di Internet dapat membawa 100.000 kali lebih banyak bit per detik daripada tautan tulang punggung di Internet asli. Kedua, aplikasi baru muncul yang menarik bagi masyarakat luas. Poin kedua jelas — Internet tidak lagi didominasi oleh ilmuwan dan insinyur, aplikasi ilmiah, atau akses ke sumber daya komputasi.

Dua perubahan teknologi memicu peralihan dari berbagi sumber daya ke aplikasi baru. Di satu sisi, kecepatan komunikasi yang lebih tinggi memungkinkan aplikasi mentransfer data dalam jumlah besar dengan cepat. Di sisi lain, munculnya komputer pribadi yang kuat dan terjangkau menyediakan daya komputasi yang dibutuhkan untuk komputasi kompleks dan tampilan grafis, menghilangkan sebagian besar permintaan untuk sumber daya bersama.

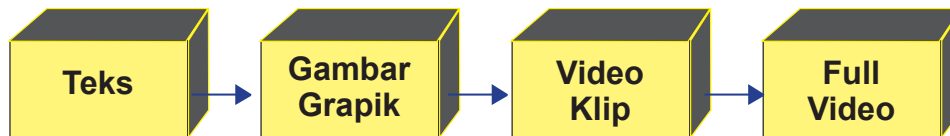
### **Poin Penting**

---

Ketersediaan komputasi berkecepatan tinggi dan teknologi komunikasi mengalihkan fokus Internet dari berbagi sumber daya ke komunikasi tujuan umum.

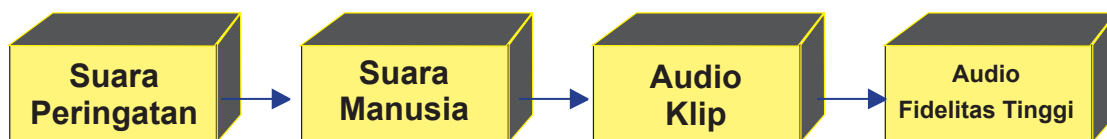
## **2.4 Dari Teks ke Multimedia**

Salah satu perubahan yang paling jelas terjadi pada data yang dikirim melalui Internet. Gambar 2.3 mengilustrasikan salah satu aspek dari pergeseran tersebut.



*Gambar 2.3 Pergeseran jenis data yang dikirim pengguna di Internet.*

Seperti yang ditunjukkan oleh gambar, komunikasi Internet pada awalnya melibatkan data tekstual. Secara khusus, pesan email terbatas pada teks yang ditampilkan dalam font lebar tetap. Pada 1990-an, komputer memiliki layar warna yang mampu menampilkan grafik, dan muncul aplikasi yang memungkinkan pengguna mentransfer gambar dengan mudah. Pada akhir 1990-an, pengguna mulai mengirim klip video, dan video full-motion menjadi layak. Gambar 2.4 mengilustrasikan bahwa transisi serupa telah terjadi pada audio.



*Gambar 2.4 Pergeseran audio yang dikirim pengguna di Internet.*

Kami menggunakan istilah multimedia untuk mengkarakterisasi data yang berisi kombinasi teks, grafik, audio, dan video. Banyak konten yang tersedia di Internet sekarang terdiri dari dokumen multimedia. Lebih jauh lagi, kualitas telah meningkat karena bandwidth yang lebih tinggi memungkinkan untuk mengomunikasikan video resolusi tinggi dan audio fidelitas tinggi.

### **Poin Penting**

---

Penggunaan internet telah beralih dari transfer dokumen tekstual statis ke transfer konten multimedia berkualitas tinggi.

## **2.5 Tren Terbaru**

Anehnya, teknologi jaringan baru dan aplikasi Internet baru terus bermunculan. Beberapa transisi yang paling signifikan telah terjadi sebagai sistem komunikasi tradisional, seperti jaringan telepon suara dan televisi kabel, pindah dari analog ke digital dan mengadopsi teknologi Internet. Selain itu, dukungan untuk pengguna seluler semakin cepat. Tabel 2.1 mencantumkan beberapa perubahan.

Tabel 2.1 Contoh transisi dalam jaringan dan Internet.

Teknologi	Perubahan
Sistem telepon	Beralih dari analog ke Voice over IP (VoIP)
Televisi kabel	Beralih dari pengiriman analog ke Internet Protocol (IP)
Seluler	Beralih dari layanan seluler analog ke digital (3G)
Akses Internet	Beralih dari akses kabel ke nirkabel (Wi-Fi)
Akses data	Beralih dari layanan terpusat ke terdistribusi (P2P)

Salah satu aspek yang paling menarik dari Internet muncul dari cara aplikasi Internet berubah meskipun teknologi yang mendasarinya pada dasarnya tetap sama. Misalnya, Tabel 2.2 mencantumkan jenis aplikasi yang telah muncul.

Tabel 2.2 Contoh aplikasi populer.

Aplikasi	Kegunaan
Telekonferensi berkualitas tinggi	Komunikasi bisnis-ke-bisnis
Sistem navigasi	Militer, industri perkapalan, konsumen
Jaringan sensor	Lingkungan, keamanan, pelacakan armada
Jejaring sosial	Konsumen, organisasi sukarelawan

Ketersediaan sistem telekonferensi berkualitas tinggi seperti Cisco's TelePresence sangat penting bagi bisnis karena sistem semacam itu memungkinkan pertemuan terjadi tanpa biaya perjalanan. Di banyak bisnis, mengurangi biaya perjalanan menurunkan biaya secara signifikan.

Aplikasi jejaring sosial seperti Facebook, Second Life, dan YouTube sangat menarik karena mereka telah menciptakan koneksi sosial baru — kumpulan orang yang saling mengenal hanya melalui Internet. Sosiolog menyarankan bahwa aplikasi tersebut akan memungkinkan lebih banyak orang untuk menemukan orang lain dengan minat yang sama, dan akan mendorong kelompok sosial kecil.

## 2.6 Ringkasan

Advanced Research Projects Agency (ARPA) mendanai sebagian besar penyelidikan awal ke dalam jaringan sebagai cara untuk berbagi sumber daya komputasi di antara para peneliti ARPA. Kemudian, ARPA mengalihkan fokusnya ke internetworking dan mendanai penelitian di Internet, yang telah berkembang pesat selama beberapa dekade.

Dengan munculnya komputer pribadi berkecepatan tinggi dan teknologi jaringan berkecepatan tinggi, fokus Internet berubah dari berbagi sumber daya menjadi komunikasi tujuan umum. Jenis data yang dikirim melalui Internet bergeser dari teks ke grafik, klip video, dan video full-motion. Transisi serupa terjadi di audio, memungkinkan Internet untuk mentransfer dokumen multimedia.

Teknologi internet berdampak pada masyarakat dalam banyak hal. Perubahan terbaru termasuk transisi telepon suara, televisi kabel, dan layanan seluler untuk menggunakan teknologi internet digital. Selain itu, akses Internet nirkabel dan dukungan untuk pengguna ponsel menjadi penting.

Meskipun teknologi Internet yang mendasari tetap hampir tidak berubah, aplikasi baru terus muncul yang memberikan pengalaman yang ditingkatkan bagi pengguna Internet. Bisnis menggunakan sistem telekonferensi kelas atas untuk mengurangi biaya perjalanan. Jaringan sensor, peta, dan sistem navigasi memungkinkan pemantauan lingkungan, keamanan, dan perjalanan yang lebih mudah. Aplikasi jejaring sosial mendorong kelompok dan organisasi sosial baru.

## Latihan

---

1. Mengapa berbagi sumber daya komputasi penting di tahun 1960-an?
2. Plot pada Gambar 2.1 menunjukkan bahwa pertumbuhan Internet baru dimulai setelah tahun 1995. Mengapa angka tersebut menyenangkan?
3. Asumsikan bahwa seratus juta komputer baru ditambahkan ke Internet setiap tahun. Jika komputer ditambahkan pada tingkat yang seragam, berapa banyak waktu yang berlalu antara dua penambahan berturut-turut?
4. Perluas plot pada Gambar 2.2, dan perkirakan berapa banyak komputer yang akan terhubung ke Internet pada tahun 2020.
5. Pergeseran penggunaan Internet apa yang terjadi ketika World Wide Web pertama kali muncul?
6. Sebutkan langkah-langkah transisi dalam presentasi grafik dari Internet awal ke Internet saat ini.
7. Jelaskan evolusi audio yang terjadi di Internet.
8. Apa dampak teknologi Internet terhadap industri televisi kabel?
9. Teknologi Internet apa yang digunakan sistem telepon?
10. Mengapa peralihan dari akses Internet kabel ke akses Internet nirkabel signifikan?
11. Sebutkan empat aplikasi Internet baru, dan beri tahu kelompok-kelompok yang masing-masing penting.
12. Jelaskan aplikasi Internet yang Anda gunakan secara teratur yang tidak tersedia untuk orang tua Anda ketika mereka seusia Anda



---

### Bab ini akan membahas tentang:

- paradigma konseptual yang diikuti aplikasi ketika mereka berkomunikasi melalui Internet
- rincian Antarmuka Pemrograman Aplikasi socket (API socket) yang digunakan aplikasi Internet.

### 3.1 Pendahuluan

Internet menawarkan kepada pengguna beragam layanan yang mencakup penelusuran web, email, pesan teks, dan telekonferensi video. Anehnya, tidak ada layanan yang merupakan bagian dari infrastruktur komunikasi yang mendasarinya. Sebaliknya, Internet menyediakan mekanisme komunikasi Aplikasi Internet Dan Pemrograman Jaringan tujuan umum di mana semua layanan dibangun, dan layanan individu disediakan oleh program aplikasi yang berjalan di komputer yang terhubung ke Internet. Bahkan, dimungkinkan untuk merancang layanan yang sama sekali baru tanpa mengubah Internet.

Bab ini menunjukkan bahwa seseorang tidak perlu memahami detail komunikasi data atau protokol jaringan untuk menulis aplikasi inovatif — begitu seorang programmer menguasai beberapa konsep dasar, dimungkinkan untuk membangun aplikasi yang berkomunikasi melalui Internet. Bab berikutnya melanjutkan pembahasan dengan memeriksa contoh aplikasi Internet seperti email.

Meskipun pemrogram dapat memulai dengan mudah, dan memungkinkan untuk membuat aplikasi Internet tanpa mengetahui bagaimana jaringan beroperasi, memahami protokol dan teknologi jaringan memungkinkan pemrogram untuk menulis kode yang efisien dan andal yang memungkinkan aplikasi untuk diskalakan di banyak situs. Bagian selanjutnya dari teks memberikan informasi yang diperlukan dengan menjelaskan komunikasi data dan protokol yang digunakan untuk membentuk Internet.

## 3.2 Dua Paradigma Dasar Komunikasi Internet

Internet mendukung dua paradigma komunikasi dasar: stream paradigm dan message paradigm. Tabel 3.1 merangkum perbedaannya.

Tabel 3.1 Dua paradigma yang digunakan aplikasi Internet

Stream Paradigm	Message Paradigm
Berorientasi koneksi	Tanpa koneksi
Komunikasi 1-ke-1-	Komunikasi banyak-ke-banyak
Urutan byte individu	Urutan pesan individu
Transfer panjang yang berubah-ubah	Setiap pesan dibatasi hingga 64 Kbytes
Digunakan oleh sebagian besar aplikasi-	Digunakan untuk aplikasi multimedia
Dibangun di atas protokol TCP	Dibangun di atas protokol UDP

### 3.2.1 Aliran Transportasi dalam Internet

Aliran istilah menunjukkan paradigma di mana urutan byte mengalir dari satu program aplikasi ke yang lain. Faktanya, mekanisme Internet mengatur dua aliran antara sepasang aplikasi yang berkomunikasi, satu di setiap arah. Misalnya, browser menggunakan layanan streaming untuk berkomunikasi dengan server web: browser mengirim permintaan dan server web merespons dengan mengirimkan halaman. Jaringan menerima input dari salah satu aplikasi, dan mengirimkan data ke aplikasi lain.

Mekanisme aliran mentransfer urutan byte tanpa melampirkan makna ke byte dan tanpa menyisipkan batas. Secara khusus, aplikasi pengirim dapat memilih untuk menghasilkan satu byte pada satu waktu, atau dapat menghasilkan blok byte. Jaringan memilih jumlah byte yang akan dikirimkan setiap saat. Artinya, jaringan dapat memilih untuk menggabungkan blok yang lebih kecil menjadi satu blok besar atau dapat membagi blok besar menjadi blok yang lebih kecil.

#### Poin Penting

Meskipun mengirimkan semua byte secara berurutan, paradigma aliran tidak menjamin bahwa potongan byte yang diteruskan ke aplikasi penerima sesuai dengan potongan byte yang ditransfer oleh aplikasi pengirim.

### 3.2.2 Pengiriman Pesan dalam Internet

Mekanisme komunikasi Internet alternatif mengikuti paradigma pesan di mana jaringan menerima dan mengirimkan pesan. Setiap pesan yang dikirimkan ke penerima sesuai dengan pesan yang dikirimkan oleh pengirim; jaringan tidak pernah mengirimkan sebagian dari sebuah pesan, juga tidak menggabungkan beberapa pesan bersama-sama. Jadi, jika pengirim menempatkan tepat  $n$  byte dalam pesan keluar, penerima akan menemukan tepat  $n$  byte dalam pesan masuk.

Paradigma pesan memungkinkan pengiriman unicast, multicast, atau broadcast. Artinya, pesan dapat dikirim dari aplikasi di satu komputer secara langsung ke aplikasi di komputer lain, pesan dapat disiarkan ke semua komputer di jaringan tertentu, atau pesan dapat multicast ke beberapa komputer di jaringan. Selanjutnya, aplikasi di banyak komputer dapat mengirim pesan ke aplikasi tertentu.

Dengan demikian, paradigma pesan dapat menyediakan komunikasi 1-ke-1, 1-to-many, atau many-to-1. Anehnya, layanan pesan tidak memberikan jaminan apa pun tentang urutan pengiriman pesan atau apakah pesan tertentu akan tiba.

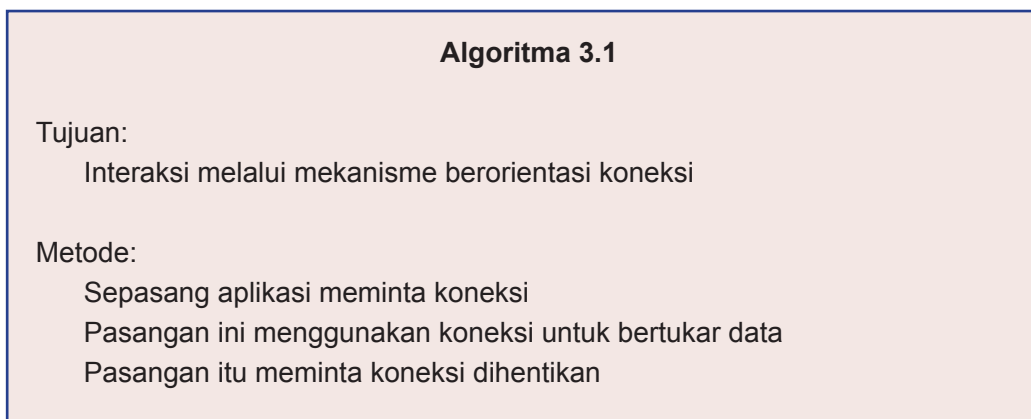
Layanan ini mengizinkan pesan menjadi:

- Lost (i.e., never delivered)
- Duplicated (more than one copy arrives)
- Delivered out-of-order

Seorang programmer yang menggunakan paradigma pesan harus memastikan bahwa aplikasi beroperasi dengan benar, bahkan jika paket hilang atau disusun ulang†. Karena sebagian besar aplikasi memerlukan jaminan pengiriman, pemrogram cenderung menggunakan layanan streaming kecuali dalam situasi khusus, seperti video, di mana multicast diperlukan dan aplikasi menyediakan dukungan untuk menangani pemesanan ulang dan kehilangan paket. Jadi, kita akan fokus pada paradigma aliran.

### 3.3 Komunikasi Berorientasi Koneksi

Layanan aliran Internet berorientasi pada koneksi, yang berarti layanan beroperasi secara analog dengan panggilan telepon: sebelum mereka dapat berkomunikasi, dua aplikasi harus meminta agar koneksi dibuat. Setelah dibuat, koneksi memungkinkan aplikasi mengirim data ke kedua arah. Akhirnya, ketika mereka selesai berkomunikasi, aplikasi meminta koneksi dihentikan. Algoritma 3.1 merangkum interaksi.



*Algoritma 3.1 Komunikasi melalui mekanisme berorientasi koneksi.*

### 3.4 Model Interaksi Client-Server

Langkah pertama dalam Algoritma 3.1 menimbulkan pertanyaan: bagaimana sepasang aplikasi yang berjalan pada dua komputer independen berkoordinasi untuk menjamin bahwa mereka meminta koneksi pada saat yang sama? Jawabannya terletak pada suatu bentuk interaksi yang dikenal sebagai model client-server. Satu aplikasi, yang dikenal sebagai server, dimulai terlebih dahulu dan menunggu kontak. Aplikasi lain, yang dikenal sebagai klien, mulai kedua dan memulai koneksi. Tabel 3.2 merangkum interaksi.

Tabel 3.2 Ringkasan model client-server.

Aplikasi Server	Aplikasi Klien
Mulai dulu	Mulai detik
Tidak perlu tahu klien mana yang akan menghubunginya	Harus tahu server mana yang harus dihubungi
Menunggu secara pasif dan sewenang-wenang lama untuk kontak dari klien	Memulai kontak setiap kali komunikasi diperlukan
Berkomunikasi dengan klien dengan mengirim dan menerima data	Berkomunikasi dengan server dengan mengirim dan menerima data
Tetap berjalan setelah melayani satu klien, dan menunggu yang lain	Dapat dihentikan setelah berinteraksi dengan server

Bagian selanjutnya menjelaskan bagaimana layanan tertentu menggunakan model client-server. Untuk saat ini, cukup untuk memahami bahwa meskipun menyediakan komunikasi dasar, Internet tidak memulai kontak dengan, atau menerima kontak dari, komputer jarak jauh; program aplikasi yang dikenal sebagai klien dan server menangani semua layanan.

### 3.5 Karakteristik Klien dan Server

Meskipun ada sedikit variasi, sebagian besar interaksi klien-server memiliki karakteristik umum yang sama. Secara umum, perangkat lunak klien:

- Merupakan program aplikasi arbitrer yang menjadi klien sementara saat akses jarak jauh diperlukan, tetapi juga melakukan komputasi lain
- Saya dipanggil langsung oleh pengguna, dan dijalankan hanya untuk satu sesi
- Berjalan secara lokal di komputer pribadi pengguna
- Secara aktif memulai kontak dengan server
- Dapat mengakses beberapa layanan sesuai kebutuhan, tetapi biasanya menghubungi satu server jarak jauh dalam satu waktu
- Tidak memerlukan perangkat keras komputer yang sangat kuat

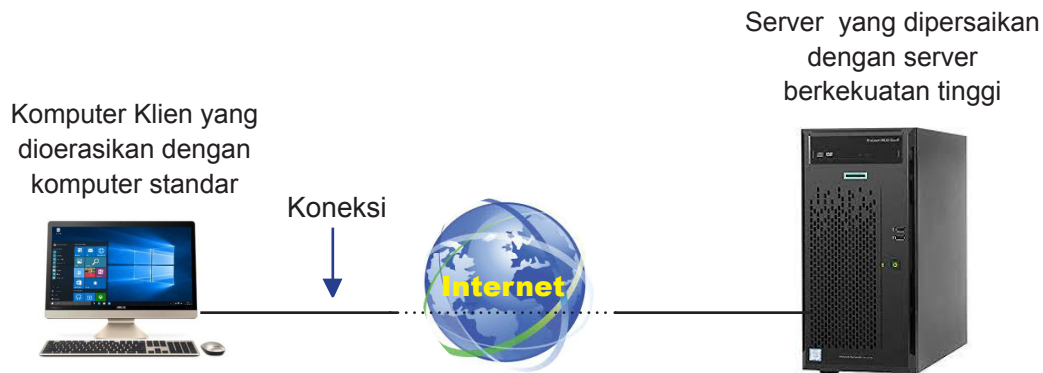
Sebaliknya, perangkat lunak server:

- Merupakan program istimewa dengan tujuan khusus yang didedikasikan untuk menyediakan satu layanan yang dapat menangani beberapa klien jarak jauh secara bersamaan
- Dipanggil secara otomatis saat sistem melakukan booting, dan terus dijalankan melalui banyak sesi
- Berjalan di komputer yang besar dan bertenaga
- Menunggu secara pasif untuk kontak dari klien jarak jauh yang sewenang-wenang
- Menerima kontak dari klien sewenang-wenang, tetapi menawarkan layanan tunggal
- Membutuhkan perangkat keras yang kuat dan sistem operasi yang canggih

### 3.6 Program Server dan Komputer Kelas Server

Kebingungan terkadang muncul atas istilah server. Secara formal, istilah ini mengacu pada program yang menunggu komunikasi secara pasif, dan bukan ke komputer yang menjalankannya. Namun, ketika komputer didedikasikan untuk menjalankan satu atau lebih program server, komputer

itu sendiri terkadang disebut server. Vendor perangkat keras berkontribusi pada kebingungan karena mereka mengklasifikasikan komputer yang memiliki CPU cepat, memori besar, dan sistem operasi yang kuat sebagai mesin server. Gambar 3.1 mengilustrasikan definisi.



Gambar 3.1 Ilustrasi klien dan server.

### 3.7 Permintaan, Tanggapan, dan Arah Aliran Data

Istilah klien dan server muncul dari pihak mana yang memulai kontak. Setelah kontak terjalin, komunikasi dua arah dimungkinkan (yaitu, data dapat mengalir dari klien ke server atau dari server ke klien). Biasanya, klien mengirimkan permintaan ke server, dan server mengembalikan respons ke klien. Dalam beberapa kasus, klien mengirimkan serangkaian permintaan dan server mengeluarkan serangkaian tanggapan (misalnya, klien database memungkinkan pengguna untuk mencari lebih dari satu item pada satu waktu).

#### **Poin Penting**

Informasi dapat mengalir di salah satu atau kedua arah antara klien dan server. Meskipun banyak layanan mengatur agar klien mengirim satu atau lebih permintaan dan server membalas tanggapan, interaksi lain dimungkinkan.

### 3.8 Banyak Klien Dan Banyak Server

Sebuah klien atau server terdiri dari program aplikasi, dan komputer dapat menjalankan beberapa aplikasi pada waktu yang sama. Akibatnya, komputer dapat menjalankan:

- Satu klien
- Satu server
- Beberapa salinan klien yang menghubungi server tertentu
- Beberapa klien yang masing-masing menghubungi server tertentu
- Beberapa server, masing-masing untuk layanan tertentu

Mengizinkan komputer untuk mengoperasikan banyak klien berguna karena layanan dapat diakses secara bersamaan. Misalnya, pengguna dapat membuka tiga jendela secara bersamaan dengan menjalankan tiga aplikasi: satu yang mengambil dan menampilkan email, yang lain terhubung ke layanan obrolan, dan yang ketiga menjalankan browser web. Setiap aplikasi adalah klien yang menghubungi server tertentu yang independen dari yang lain. Faktanya, teknologi memungkinkan pengguna untuk

membuka dua salinan dari satu aplikasi, masing-masing menghubungi server (misalnya, dua salinan browser web).

Mengizinkan komputer tertentu untuk mengoperasikan beberapa server berguna karena perangkat kerasnya dapat digunakan bersama. Selain itu, satu komputer memiliki overhead administrasi sistem yang lebih rendah daripada beberapa sistem komputer. Lebih penting lagi, pengalaman telah menunjukkan bahwa permintaan untuk server seringkali bersifat sporadis — server dapat tetap menganggur untuk jangka waktu yang lama. Server yang menganggur tidak menggunakan CPU saat menunggu permintaan tiba. Jadi, jika permintaan layanan rendah, mengkonsolidasikan server pada satu komputer dapat secara dramatis mengurangi biaya tanpa mengurangi kinerja secara signifikan.

### **Poin Penting**

Komputer tunggal yang kuat dapat menawarkan beberapa layanan pada saat yang sama; program server terpisah diperlukan untuk setiap layanan.

## **3.9 Identifikasi Server dan Demultiplexing**

Bagaimana cara klien mengidentifikasi server? Protokol Internet membagi identifikasi menjadi dua bagian:

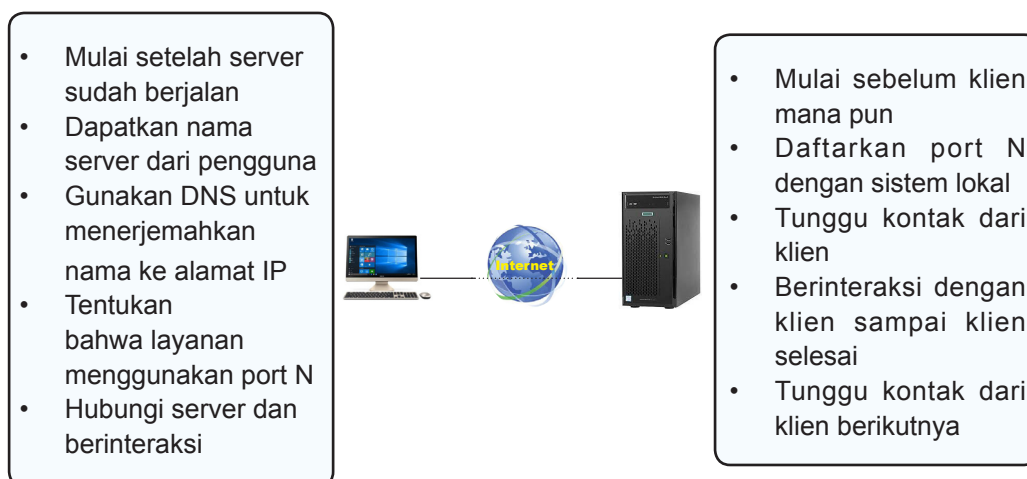
- Pengidentifikasi untuk komputer yang menjalankan server
- Pengidentifikasi untuk layanan tertentu di komputer

**Mengidentifikasi Komputer.** Setiap komputer di Internet diberi pengidentifikasi 32-bit unik yang dikenal sebagai alamat Protokol Internet (alamat IP)†. Saat menghubungi server, klien harus menentukan alamat IP server. Untuk memudahkan identifikasi server bagi manusia, setiap komputer juga diberi nama, dan Sistem Nama Domain yang dijelaskan di Bab 4 digunakan untuk menerjemahkan nama menjadi alamat. Jadi, pengguna menentukan nama seperti `www.cisco.com` daripada alamat integer.

**Mengidentifikasi Layanan.** Setiap layanan yang tersedia di Internet diberi pengidentifikasi 16-bit unik yang dikenal sebagai nomor port protokol (sering disingkat nomor port). Misalnya, email diberi nomor port 25, dan web diberi nomor port 80. Saat server memulai eksekusi, server mendaftarkan ke sistem lokalnya dengan menentukan nomor port untuk layanan yang ditawarkannya. Ketika klien menghubungi server jauh untuk meminta layanan, permintaan tersebut berisi nomor port. Jadi, ketika permintaan tiba di server, perangkat lunak di server menggunakan nomor port dalam permintaan untuk menentukan aplikasi mana di komputer server yang harus menangani permintaan tersebut.

Gambar 3.2 merangkum diskusi dengan mendaftar langkah-langkah dasar yang diambil klien dan server untuk berkomunikasi.





Gambar 3.4 Langkah-langkah konseptual yang diambil klien dan server untuk berkomunikasi.

### 3.10 Server Bersama

Langkah-langkah pada Gambar 3.4 menyiratkan bahwa server menangani satu klien pada satu waktu. Meskipun pendekatan serial bekerja dalam beberapa kasus sepele, sebagian besar server bersamaan. Artinya, server menggunakan lebih dari satu utas kontrol, untuk menangani banyak klien secara bersamaan.

Untuk memahami mengapa layanan simultan itu penting, pertimbangkan apa yang terjadi jika klien mengunduh film dari server. Jika server menangani satu permintaan pada satu waktu, semua klien harus menunggu saat server mentransfer film. Sebaliknya, server bersamaan tidak memaksa klien untuk menunggu. Jadi, jika klien kedua datang dan meminta unduhan singkat (misalnya, satu lagu), permintaan kedua akan segera dimulai, dan mungkin selesai sebelum transfer film selesai.

Detail dari eksekusi konkuren bergantung pada sistem operasi yang digunakan, tetapi idenya sederhana: kode server konkuren dibagi menjadi dua bagian, program utama (utas) dan penanganan. Utas utama hanya menerima kontak dari klien, dan membuat utas kontrol untuk klien. Setiap utas kontrol berinteraksi dengan satu klien, dan menjalankan kode pengendali. Setelah menangani satu klien, utas berakhir. Sementara itu, utas utama membuat server tetap hidup — setelah membuat utas untuk menangani permintaan, utas utama menunggu permintaan lain tiba.

Perhatikan bahwa jika  $N$  klien secara bersamaan menggunakan server bersamaan,  $N+1$  utas akan berjalan: utas utama menunggu permintaan tambahan, dan  $N$  utas masing-masing berinteraksi dengan satu klien. Kita dapat meringkas:

Server bersamaan menggunakan utas eksekusi untuk menangani permintaan dari beberapa klien secara bersamaan.

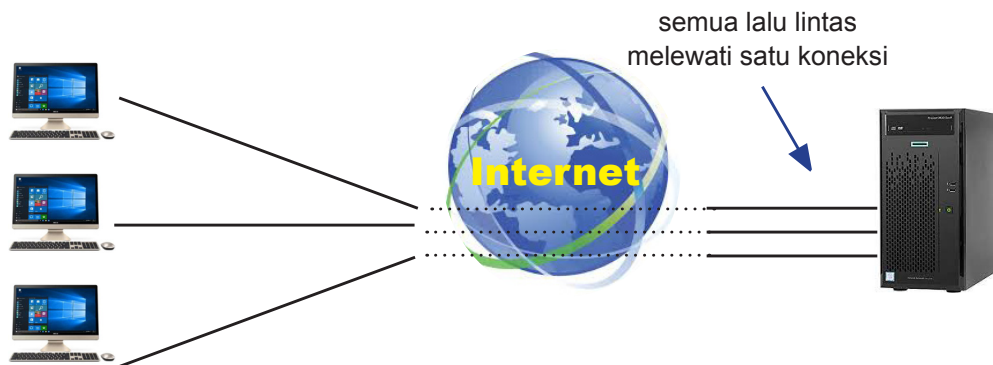
### 3.11 Ketergantungan Melingkar Antar Server

Secara teknis, setiap program yang menghubungi yang lain bertindak sebagai klien, dan setiap program yang menerima kontak dari yang lain bertindak sebagai server. Dalam praktiknya, perbedaannya kabur karena server untuk satu layanan dapat bertindak sebagai klien untuk layanan lain. Misalnya, sebelum dapat mengisi halaman web, server web mungkin perlu menjadi klien database. Server juga dapat menjadi klien dari layanan keamanan (misalnya, untuk memverifikasi bahwa klien diizinkan untuk mengakses layanan).

Tentu saja, programmer harus berhati-hati untuk menghindari ketergantungan melingkar di antara server. Misalnya, pertimbangkan apa yang dapat terjadi jika server untuk layanan X1 menjadi klien layanan X2, yang menjadi klien layanan X3, yang menjadi klien X1. Rantai permintaan dapat berlanjut tanpa batas hingga ketiga server menghabiskan sumber daya. Potensi sirkularitas sangat tinggi ketika layanan dirancang secara independen karena tidak ada pemrogram tunggal yang mengontrol semua server.

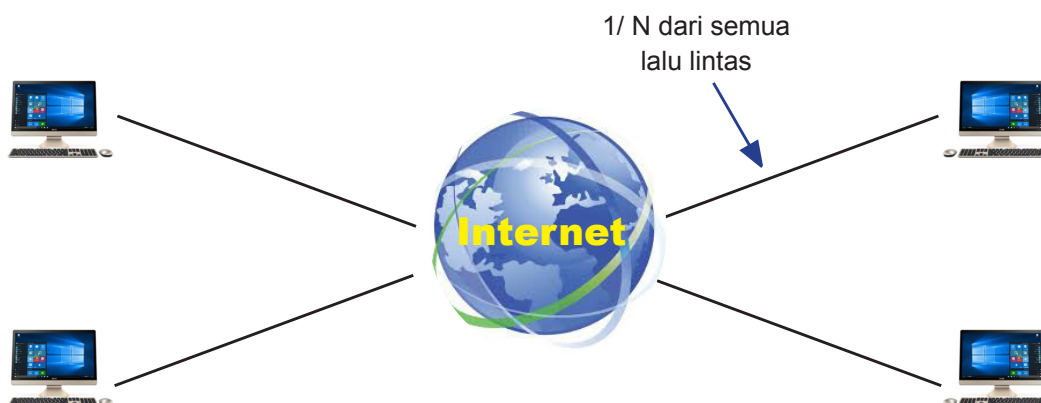
### 3.12 Interaksi Peer-To-Peer

Jika satu server menyediakan layanan tertentu, koneksi jaringan antara server dan Internet dapat menjadi hambatan. Gambar 3.2 mengilustrasikan arsitektur server



Gambar 3.2 Kemacetan lalu lintas pada desain yang menggunakan server tunggal.

Timbul pertanyaan, “dapatkah layanan Internet disediakan tanpa menciptakan hambatan sentral?” Salah satu cara untuk menghindari kemacetan membentuk dasar aplikasi berbagi file. Dikenal sebagai arsitektur peer-to-peer (p2p), skema ini menghindari penempatan data di server pusat. Secara konseptual, data didistribusikan secara merata di antara satu set N server, dan setiap permintaan klien dikirim ke server yang sesuai. Karena server yang diberikan hanya menyediakan  $1/N$  data, jumlah lalu lintas antara server dan Internet adalah  $1/N$  sebanyak arsitektur server tunggal. Dengan demikian, perangkat lunak server dapat berjalan di komputer yang sama dengan klien. Gambar 3.3 mengilustrasikan arsitekturnya.



Gambar 3.3 Interaksi dalam sistem peer-to-peer.

### 3.13 Pemrograman Jaringan dan API Soket

Antarmuka yang digunakan aplikasi untuk menentukan komunikasi dikenal sebagai Antarmuka Program Aplikasi (API)†. Meskipun detail yang tepat dari API bergantung pada sistem operasi, satu API tertentu telah muncul sebagai standar de facto untuk perangkat lunak yang berkomunikasi melalui Internet. Dikenal sebagai API soket, dan biasanya disingkat soket, API tersedia untuk banyak sistem operasi, seperti sistem Microsoft Windows serta berbagai sistem UNIX, termasuk Linux.

#### Poin Penting

Socket API adalah standar de facto untuk komunikasi Internet.

### 3.14 Soket, Deskriptor, dan Jaringan I/O

Karena awalnya dikembangkan sebagai bagian dari sistem operasi UNIX, soket API terintegrasi dengan I/O. Secara khusus, ketika aplikasi membuat soket untuk digunakan untuk komunikasi Internet, sistem operasi mengembalikan deskriptor bilangan bulat kecil yang mengidentifikasi soket. Aplikasi kemudian meneruskan deskriptor sebagai argumen ketika memanggil fungsi untuk melakukan operasi pada soket (misalnya, untuk mentransfer data melalui jaringan atau untuk menerima data yang masuk).

Di banyak sistem operasi, deskriptor soket terintegrasi dengan deskriptor I/O lainnya. Akibatnya, aplikasi dapat menggunakan operasi baca dan tulis untuk soket I/O atau I/O ke file. Untuk meringkas: Saat aplikasi membuat soket, sistem operasi mengembalikan deskriptor bilangan bulat kecil yang digunakan aplikasi untuk mereferensikan soket.

### 3.15 Parameter dan API Soket

Pemrograman soket berbeda dari I/O konvensional karena aplikasi harus menentukan banyak detail, seperti alamat komputer jarak jauh, nomor port protokol, dan apakah aplikasi akan bertindak sebagai klien atau sebagai server (yaitu, apakah akan memulai koneksi). Untuk menghindari fungsi soket tunggal dengan banyak parameter, perancang API soket memilih untuk mendefinisikan banyak fungsi. Intinya, aplikasi membuat soket, dan kemudian memanggil fungsi untuk menentukan detail. Keuntungan dari pendekatan soket adalah sebagian besar fungsi memiliki tiga atau lebih sedikit parameter; kelemahannya adalah seorang programmer harus ingat untuk memanggil beberapa fungsi saat menggunakan soket. Tabel 3.3 merangkum fungsi-fungsi utama dalam socket API.

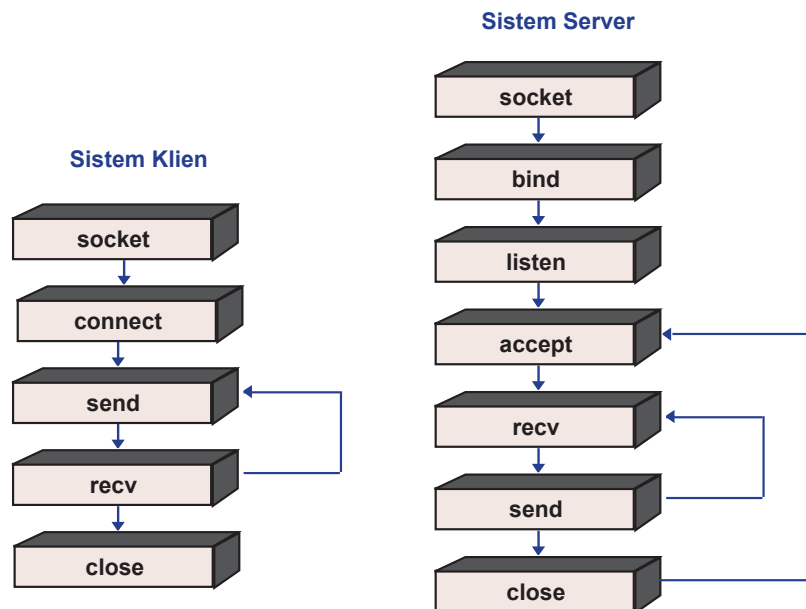
Tabel 3.3 Ringkasan fungsi utama dalam API soket

Nama	Pengguna	Fungsi
<b>accept</b>	server	Terima koneksi masuk
<b>bind</b>	server	Tentukan alamat IP dan port protokol
<b>close</b>	semua	putus komunikasi
<b>connect</b>	klien	Connect ke aplikasi jarak jauh
<b>getpeername</b>	server	Dapatkan alamat IP klien
<b>getsockopt</b>	server	Dapatkan opsi saat ini untuk soket
<b>listen</b>	server	Siapkan soket untuk digunakan oleh server
<b>recv</b>	semua	Menerima data atau pesan masuk

<b>recvmsg</b>	semua	Menerima data (paradigma pesan)
<b>rcvfrom</b>	semua	Menerima pesan dan addr pengirim.
<b>send (write)</b>	semua	Kirim data atau pesan keluar
<b>sendmsg</b>	semua	Kirim pesan keluar
<b>sendto</b>	semua	Kirim pesan (varian sendmsg)
<b>stsocket</b>	semua	Ubah opsi socket
<b>shutdown</b>	semua	Mengakhiri koneksi
<b>socket</b>	semua	Buat socket untuk digunakan oleh di atas

### 3.16 Panggilan Soket pada Klien dan Server

Gambar 3.4 mengilustrasikan urutan panggilan soket yang dibuat oleh klien dan server biasa yang menggunakan koneksi aliran. Pada gambar, klien mengirimkan data terlebih dahulu dan server menunggu untuk menerima data. Dalam praktiknya, beberapa aplikasi mengatur agar server mengirim terlebih dahulu (yaitu, mengirim dan menerima dipanggil dalam urutan terbalik).



Gambar 3.4 Ilustrasi urutan fungsi socket yang dipanggil oleh client dan server dengan menggunakan paradigma stream.

### 3.17 Fungsi Soket yang Digunakan oleh Klien dan Server

#### 3.17.1 Fungsi Soket

Fungsi soket membuat socket dan mengembalikan deskriptor bilangan bulat:

deskriptor = socket (protofamili, tipe, protokol)

Argumen profamily menentukan keluarga protokol yang akan digunakan dengan socket. Pengidentifikasi PF\_INET menentukan rangkaian protokol TCP/IP yang digunakan di Internet. Jenis argumen menentukan jenis komunikasi yang akan digunakan socket: transfer aliran ditentukan dengan nilai SOCK\_STREAM, dan transfer pesan tanpa koneksi ditentukan dengan nilai SOCK\_DGRAM.

Protokol argumen menentukan protokol transport tertentu yang digunakan dengan soket. Memiliki argumen protokol selain argumen tipe, memungkinkan suite protokol tunggal untuk menyertakan dua atau lebih protokol yang menyediakan layanan yang sama. Nilai yang dapat digunakan dengan argumen protokol bergantung pada keluarga protokol.

### 3.17.2 Fungsi Send (Kirim)

Baik klien dan server menggunakan fungsi kirim untuk mengirimkan data. Biasanya, klien mengirimkan permintaan, dan server mengirimkan respons. Kirim memiliki empat argumen:

`Send (soket, data, panjang, bendera)`

Soket argumen adalah deskriptor soket yang akan digunakan, data argumen adalah alamat dalam memori data yang akan dikirim, panjang argumen adalah bilangan bulat yang menentukan jumlah byte data, dan flag argumen berisi bit yang meminta opsi khusus.

### 3.17.3 Fungsi Recv

Seorang klien dan server masing-masing menggunakan `recv` untuk mendapatkan data yang telah dikirim oleh yang lain. Fungsi tersebut berbentuk:

`recv(soket, buffer, panjang, bendera)`

Soket argumen adalah deskriptor soket dari mana data akan diterima. Buffer argumen menentukan alamat di memori di mana pesan masuk harus ditempatkan, dan panjang argumen menentukan ukuran buffer. Terakhir, flag argumen memungkinkan pemanggil untuk mengontrol detail (misalnya, untuk mengizinkan aplikasi mengekstrak salinan pesan masuk tanpa menghapus pesan dari soket). `Recv` memblokir hingga data tiba, dan kemudian menempatkan byte data hingga panjangnya dalam buffer (nilai kembalian dari pemanggilan fungsi menentukan jumlah byte yang diekstraksi).

### 3.17.4 Membaca dan Menulis dengan Soket

Pada beberapa sistem operasi, seperti Linux, fungsi sistem operasi `read` and `write` dapat digunakan sebagai pengganti `recv` dan `send`. `Read` mengambil tiga argumen yang identik dengan tiga argumen pertama dari `recv`, dan `write` mengambil tiga argumen yang identik dengan tiga argumen pertama dari `send`. Keuntungan utama menggunakan membaca dan menulis adalah umum — program aplikasi dapat dibuat yang mentransfer data ke atau dari deskriptor tanpa mengetahui apakah deskriptor sesuai dengan file atau soket. Dengan demikian, seorang programmer dapat menggunakan file pada disk lokal untuk menguji klien atau server sebelum mencoba berkomunikasi melalui jaringan. Kerugian utama menggunakan membaca dan menulis adalah bahwa suatu program mungkin perlu diubah sebelum dapat digunakan pada sistem lain.

### 3.17.5 Fungsi Tutup

Fungsi tutup memberi tahu sistem operasi untuk menghentikan penggunaan soket†. Ini memiliki bentuk:

`tutup (soket)`

di mana soket adalah deskriptor untuk soket yang ditutup. Jika koneksi terbuka, tutup mengakhiri koneksi (yaitu, memberi tahu pihak lain). Menutup soket segera menghentikan penggunaan — deskriptor dilepaskan, mencegah aplikasi mengirim atau menerima data.

### 3.18 Fungsi Koneksi yang Hanya Digunakan oleh Klien

Panggilan klien terhubung untuk membuat koneksi dengan server tertentu. Bentuknya adalah:

```
connect (soket, address, addresslen)
```

Soket argumen adalah deskriptor soket yang digunakan untuk koneksi. Argument `saddress` adalah struktur `sockaddr` yang menentukan alamat server dan nomor port protokol<sup>‡</sup>, dan argumen `saddresslen` menentukan panjang alamat server yang diukur dalam byte.

Untuk soket yang menggunakan paradigma aliran, `connect` memulai koneksi tingkat transport ke server yang ditentukan. Server harus menunggu koneksi (lihat fungsi penerimaan yang dijelaskan di bawah).

### 3.19 Fungsi Soket yang Hanya Digunakan oleh Server

#### 3.19.1 Fungsi Bind

Saat dibuat, soket tidak berisi informasi tentang alamat lokal atau jarak jauh dan nomor port protokol. Server memanggil `bind` untuk memberikan nomor port protokol di mana server akan menunggu untuk dihubungi. `bind` mengambil tiga argumen:

```
bind (soket, localaddr, addrlen)
```

Soket argumen adalah deskriptor soket yang akan digunakan. Argumen `localaddr` adalah struktur yang menentukan alamat lokal yang akan ditetapkan ke soket, dan argumen `addrlen` adalah bilangan bulat yang menentukan panjang alamat.

Karena soket dapat digunakan dengan protokol arbitrer, format alamat tergantung pada protokol yang digunakan. API soket mendefinisikan bentuk umum yang digunakan untuk mewakili alamat, dan kemudian mengharuskan setiap keluarga protokol untuk menentukan bagaimana alamat protokol mereka menggunakan bentuk umum. Format umum untuk merepresentasikan sebuah alamat didefinisikan sebagai struktur `sockaddr`. Meskipun beberapa versi telah dirilis, sebagian besar sistem mendefinisikan struktur `sockaddr` untuk memiliki tiga bidang:

```
struct sockaddr {
    u_char  sa_len;           /* total length of the address */
    u_char  sa_family;       /* family of the address      */
    char    sa_data[14];     /* the address itself         */
};
```

Bidang `sa_len` terdiri dari satu oktet yang menentukan panjang alamat. Bidang `sa_family` menentukan keluarga yang memiliki alamat (konstanta simbolis `AF_INET` digunakan untuk alamat Internet). Terakhir, bidang `sa_data` berisi alamat. Setiap keluarga protokol mendefinisikan format alamat



yang tepat yang digunakan dengan bidang `sa_data` dari struktur `sockaddr`. Misalnya, protokol Internet menggunakan struktur `sockaddr_in` untuk menentukan alamat:

```
struct sockaddr_in {
    u_char  sin_len;          /* total length of the address */
    u_char  sin_family;      /* family of the address      */
    u_short sin_port;        /* protocol port number      */
    struct  in_addr sin_addr; /* IP address of computer    */
    char    sin_zero[8];     /* not used (set to zero)    */
};
```

Dua bidang pertama dari struktur `sockaddr_in` sama persis dengan dua bidang pertama dari struktur `sockaddr` umum. Tiga bidang terakhir menentukan bentuk yang tepat dari alamat Internet. Ada dua poin yang perlu diperhatikan. Pertama, setiap alamat mengidentifikasi komputer dan port protokol di komputer itu. Bidang `sin_addr` berisi alamat IP komputer, dan bidang `sin_port` berisi nomor port protokol. Kedua, meskipun hanya enam byte yang diperlukan untuk menyimpan alamat lengkap, struktur `sockaddr` generik menyimpan empat belas byte. Jadi, bidang terakhir dalam struktur `sockaddr_in` mendefinisikan bidang 8-byte dari nol, yang melapisi struktur dengan ukuran yang sama dengan `sockaddr`.

Kami mengatakan bahwa server memanggil mengikat untuk menentukan nomor port protokol di mana server akan menerima kontak. Namun, selain nomor port protokol, struktur `sockaddr_in` berisi bidang untuk alamat. Meskipun server dapat memilih untuk mengisi alamat tertentu, hal itu menyebabkan masalah ketika komputer multi-home (yaitu, memiliki beberapa koneksi jaringan) karena komputer memiliki beberapa alamat. Untuk mengizinkan server beroperasi pada host multi-rumah, API socket menyertakan konstanta simbolis khusus, `INADDR_ANY`, yang memungkinkan server menentukan nomor port sambil mengizinkan kontak di salah satu alamat komputer.

### **Poin Penting**

Meskipun struktur `sockaddr_in` menyertakan bidang untuk alamat, API socket menyediakan konstanta simbolis yang memungkinkan server menentukan port protokol di salah satu alamat komputer.

### **3.19.2 Fungsi Listen**

Setelah menggunakan `bind` untuk menentukan port protokol, server memanggil mendengarkan untuk menempatkan socket dalam mode pasif, yang membuat socket siap menunggu kontak dari klien. `listen` membutuhkan dua argumen:

`listen (socket, ukuran antrian)`

Socket argumen adalah deskriptor socket, dan ukuran antrian argumen menentukan panjang antrian permintaan socket. Sistem operasi membangun antrian permintaan terpisah untuk setiap socket. Awalnya, antrian kosong. Saat permintaan datang dari klien, masing-masing ditempatkan dalam antrian. Ketika server meminta untuk mengambil permintaan yang masuk dari socket, sistem mengekstrak permintaan berikutnya dari antrian. Panjang antrian penting: jika antrian penuh saat permintaan datang, sistem menolak permintaan tersebut.

### 3.19.3 Fungsi Accept

Panggilan server menerima untuk membuat koneksi dengan klien. Jika ada permintaan dalam antrian, terima pengembalian segera; jika tidak ada permintaan yang datang, sistem akan memblokir server sampai klien memulai permintaan. Setelah koneksi diterima, server menggunakan koneksi untuk berinteraksi dengan klien. Setelah selesai komunikasi, server menutup koneksi.

Fungsi accept memiliki bentuk:

```
newsock = menerima(soket, address, addresslen)
```

Soket argumen adalah deskriptor soket yang dibuat server dan diikat ke port protokol tertentu. Argumen address adalah alamat dari struktur tipe sockaddr, dan addresslen adalah pointer ke integer. Terima mengisi kolom argumen address dengan alamat klien yang membentuk koneksi, dan menetapkan addresslen ke panjang alamat. Akhirnya, accept membuat soket baru untuk koneksi, dan mengembalikan deskriptor soket baru ke pemanggil. Server menggunakan soket baru untuk berkomunikasi dengan klien, dan kemudian menutup soket setelah selesai. Sementara itu, soket asli server tetap tidak berubah — setelah selesai berkomunikasi dengan klien, server menggunakan soket asli untuk menerima koneksi berikutnya dari klien. Jadi, soket asli hanya digunakan untuk menerima permintaan, dan semua komunikasi terjadi melalui soket baru yang dibuat oleh accept.

## 3.20 Fungsi Soket yang Digunakan dengan Paradigma Pesan

Fungsi socket yang digunakan untuk mengirim dan menerima pesan lebih rumit daripada yang digunakan dengan paradigma stream karena banyak pilihan yang tersedia. Misalnya, pengirim dapat memilih apakah akan menyimpan alamat penerima di soket dan hanya mengirim data atau menentukan alamat penerima setiap kali pesan dikirimkan. Selanjutnya, satu fungsi memungkinkan pengirim untuk menempatkan alamat dan pesan dalam struktur dan meneruskan alamat struktur sebagai argumen, dan fungsi lain memungkinkan pengirim untuk meneruskan alamat dan pesan sebagai argumen terpisah.

### 3.20.1 Fungsi Soket Sendto dan Sendmsg

Fungsi sendto dan sendmsg memungkinkan klien atau server untuk mengirim pesan menggunakan soket yang tidak terhubung; keduanya membutuhkan penelepon untuk menentukan tujuan. Sendto menggunakan argumen terpisah untuk pesan dan alamat tujuan:

```
sendto(soket, data, panjang, bendera, destaddress, addresslen)
```

Empat argumen pertama sesuai dengan empat argumen fungsi send; dua terakhir menentukan alamat tujuan dan panjang alamat itu. Alamat tujuan argumen sesuai dengan struktur sockaddr (khususnya, sockaddr\_in). Fungsi sendmsg melakukan operasi yang sama seperti sendto, tetapi meningkatkan argumen dengan mendefinisikan struktur. Daftar argumen yang lebih pendek dapat membuat program yang menggunakan sendmsg lebih mudah dibaca:

```
sendmsg(soket, msgstruct, bendera)
```

Argument `msgstruct` adalah struktur yang berisi informasi tentang alamat tujuan, panjang alamat, pesan yang akan dikirim, dan panjang pesan:

```
struct msgstruct {           /* structure used by sendmsg */
    struct sockaddr *m_saddr; /* ptr to destination address */
    struct datavec *m_dvec;   /* ptr to message (vector) */
    int m_dvlength;          /* num. of items in vector */
    struct access *m_rights;  /* ptr to access rights list */
    int m_alength;           /* num. of items in list */
};
```

Detail struktur pesan tidak penting — ini harus dilihat sebagai cara untuk menggabungkan banyak argumen ke dalam satu struktur. Sebagian besar aplikasi hanya menggunakan tiga bidang pertama, yang menentukan alamat protokol tujuan, daftar item data yang membentuk pesan, dan jumlah item dalam daftar.

### 3.20.2 Fungsi `Recvfrom` Dan `Recvmsg`

Soket yang tidak terhubung dapat digunakan untuk menerima pesan dari sekumpulan klien yang berubah-ubah. Dalam kasus seperti itu, sistem mengembalikan alamat pengirim bersama dengan setiap pesan yang masuk (penerima menggunakan alamat tersebut untuk mengirim balasan). Fungsi `recvfrom` memiliki argumen yang menentukan lokasi untuk pesan masuk berikutnya dan alamat pengirim:

```
recvfrom(soket, buffer, panjang, bendera, sdraddr, saddrlen)
```

Empat argumen pertama sesuai dengan argumen `recv`; dua argumen tambahan, `sdraddr` dan `saddrlen`, digunakan untuk mencatat alamat Internet pengirim. Argumen `sdraddr` adalah penunjuk ke struktur `sockaddr` tempat sistem menulis alamat pengirim, dan argumen `saddrlen` adalah penunjuk ke bilangan bulat yang digunakan sistem untuk mencatat panjang alamat. Perhatikan bahwa `recvfrom` mencatat alamat pengirim dalam bentuk yang sama persis seperti yang diharapkan `sendto`, sehingga mudah untuk mengirimkan balasan.

Fungsi `recvmsg`, yang merupakan kebalikan dari `sendmsg`, beroperasi seperti `recvfrom`, tetapi membutuhkan lebih sedikit argumen. Ini memiliki bentuk:

```
recvmsg(soket, msgstruct, bendera)
```

di mana argumen `msgstruct` memberikan alamat struktur yang menyimpan alamat untuk pesan masuk serta lokasi untuk alamat Internet pengirim. Pesan yang direkam oleh `recvmsg` menggunakan format yang sama persis dengan struktur yang diperlukan oleh `sendmsg`, sehingga balasan menjadi mudah.

## 3.21 Fungsi Soket Lainnya

API soket berisi berbagai fungsi dukungan. Misalnya, setelah server menerima permintaan koneksi masuk, server dapat memanggil `getpeername` untuk mendapatkan alamat klien jarak jauh yang memulai koneksi. Klien atau server juga dapat memanggil `gethostname` untuk mendapatkan informasi tentang komputer yang dijalkannya.

Dua fungsi tujuan umum digunakan untuk memanipulasi opsi soket. Fungsi `setsockopt` menyimpan nilai dalam opsi soket, dan fungsi `getsockopt` memperoleh nilai opsi saat ini. Opsi digunakan terutama untuk menangani kasus khusus (misalnya, untuk meningkatkan ukuran buffer internal).

Dua fungsi menyediakan terjemahan antara alamat Internet dan nama komputer. Fungsi `gethostbyname` mengembalikan alamat Internet untuk komputer yang diberi nama komputer. Klien sering memanggil `gethostbyname` untuk menerjemahkan nama yang dimasukkan oleh pengguna ke alamat IP yang sesuai. Fungsi `gethostbyaddr` menyediakan pemetaan terbalik — diberikan alamat IP untuk komputer, ia mengembalikan nama komputer. Klien dan server dapat menggunakan `gethostbyaddr` untuk menerjemahkan alamat menjadi nama yang dapat dipahami pengguna.

### 3.22 Soket, Utas, Dan Pewarisan

API soket bekerja dengan baik dengan server bersamaan. Meskipun detailnya bergantung pada sistem operasi yang mendasarinya, implementasi API soket mematuhi prinsip pewarisan berikut: Setiap utas baru yang dibuat mewarisi salinan semua soket terbuka dari utas yang membuatnya.

Implementasi soket menggunakan mekanisme penghitungan referensi untuk mengontrol setiap soket. Saat soket pertama kali dibuat, sistem menetapkan jumlah referensi soket ke 1, dan soket ada selama jumlah referensi tetap positif. Ketika sebuah program membuat utas tambahan, utas mewarisi pointer ke setiap soket terbuka yang dimiliki program, dan sistem menambah jumlah referensi setiap soket dengan 1. Saat utas memanggil, sistem mengurangi jumlah referensi untuk stopkontak; jika jumlah referensi telah mencapai nol, soket dilepas.

Dalam hal server bersamaan, utas utama memiliki soket yang digunakan untuk menerima koneksi yang masuk. Ketika permintaan koneksi tiba, sistem membuat soket baru untuk koneksi baru, dan utas utama membuat utas baru untuk menangani koneksi. Segera setelah utas dibuat, kedua utas memiliki akses ke soket asli dan soket baru, dan jumlah referensi setiap soket adalah 2. Utas utama memanggil soket baru, dan utas layanan memanggil soket asli, mengurangi jumlah referensi masing-masing menjadi 1. Terakhir, ketika selesai berinteraksi dengan klien, utas layanan menutup soket baru, mengurangi jumlah referensi menjadi nol dan menyebabkan soket dihapus. Jadi, masa pakai soket di server bersamaan dapat diringkas: Soket asli yang digunakan untuk menerima koneksi ada selama utas server utama dijalankan; soket yang digunakan untuk koneksi tertentu hanya ada selama utas ada untuk menangani koneksi itu.

### 3.23 Ringkasan

Di Internet, semua layanan disediakan oleh aplikasi, yang menggunakan paradigma aliran atau paradigma pesan untuk berkomunikasi. Paradigma aliran menjamin untuk mengirimkan urutan byte secara berurutan, tetapi dapat memilih berapa banyak byte yang akan diteruskan ke penerima di setiap kumpulan. Paradigma pesan mempertahankan batasan, tetapi memungkinkan pesan hilang, diduplikasi, atau dikirim tidak sesuai pesan.

Model komunikasi dasar yang digunakan oleh aplikasi jaringan dikenal sebagai model client-server. Program yang secara pasif menunggu kontak disebut server, dan program yang secara aktif memulai kontak dengan server disebut klien.

Setiap komputer diberi alamat unik, dan setiap layanan, seperti email atau akses web, diberi pengidentifikasi unik yang dikenal sebagai nomor port protokol. Ketika server dimulai, itu menentukan nomor port protokol; saat menghubungi server, klien menentukan alamat komputer tempat server berjalan serta nomor port protokol yang digunakan server.

Satu klien dapat mengakses lebih dari satu layanan, klien dapat mengakses server di beberapa mesin, dan server untuk satu layanan dapat menjadi klien untuk layanan lain. Desainer dan pemrogram harus berhati-hati untuk menghindari ketergantungan melingkar di antara server.

Application Program Interface (API) menentukan detail tentang bagaimana program aplikasi berinteraksi dengan perangkat lunak protokol. Meskipun detailnya bergantung pada sistem operasi, API socket adalah standar de facto. Sebuah program membuat socket, dan kemudian memanggil serangkaian fungsi untuk menggunakan socket. Server yang menggunakan paradigma aliran memanggil fungsi socket: socket, ikat, dengarkan, terima, terima, kirim, dan tutup; klien memanggil socket, menghubungkan, mengirim, menerima, dan menutup.

Karena banyak server yang konkuren, socket dirancang untuk bekerja dengan aplikasi bersamaan. Saat utas baru dibuat, utas baru mewarisi akses ke semua socket yang dimiliki utas pembuat.

## Latihan

1. Apa dua paradigma komunikasi dasar yang digunakan di Internet?
2. Sebutkan enam ciri komunikasi aliran internet.
3. Sebutkan enam ciri komunikasi pesan Internet. Jika pengirim menggunakan
4. paradigma aliran dan selalu mengirimkan 1024 byte pada satu waktu, berapa ukuran blok yang dapat dikirimkan Internet ke penerima?
5. Jika pengirim ingin memiliki salinan dari setiap blok data yang dikirim ke tiga penerima, paradigma mana yang harus dipilih pengirim?
6. Apa tiga aspek mengejutkan dari semantik pengiriman pesan Internet?
7. Berikan algoritma umum yang digunakan sistem berorientasi koneksi.
8. Ketika dua aplikasi berkomunikasi melalui Internet, yang mana servernya?
9. Bandingkan dan kontraskan aplikasi klien dan server dengan meringkas karakteristik masing-masing.
10. Apa perbedaan antara komputer server dan komputer kelas server?
11. Bisakah data mengalir dari klien ke server? Menjelaskan.
12. Buat daftar kemungkinan kombinasi klien dan server yang dapat dijalankan oleh komputer tertentu.
13. Dapatkah semua komputer menjalankan beberapa layanan secara efektif? Mengapa atau mengapa tidak?
14. Apa dua pengidentifikasi yang digunakan untuk menentukan server tertentu?
15. Sebutkan langkah-langkah yang digunakan klien untuk menghubungi server setelah pengguna menentukan nama domain untuk server.
16. Fitur sistem operasi dasar apa yang digunakan server konkuren untuk menangani permintaan dari banyak klien secara bersamaan?
17. Masalah kinerja apa yang memotivasi komunikasi peer-to-peer?
18. Sebutkan dua sistem operasi yang menawarkan API socket.
19. Setelah socket dibuat, bagaimana aplikasi mereferensikan socket?
20. Apa saja fungsi utama dalam socket API?

21. Berikan urutan khas panggilan socket yang digunakan oleh klien dan server.
22. Untuk apa fungsi socket membaca dan menulis sesuai?
23. Apakah klien pernah menggunakan bind? Menjelaskan.
24. Mengapa konstanta simbolik INADDR\_ANY digunakan?
25. Apakah sendto digunakan dengan paradigma aliran atau pesan?
26. Misalkan socket terbuka dan utas baru dibuat. Apakah utas baru dapat menggunakan socket?
27. Periksa server web di Lampiran 1, dan bangun server yang setara menggunakan API socket.
28. Implementasikan API yang disederhanakan di Appendix 1 menggunakan fungsi socket



---

### Bab ini akan membahas tentang:

- layanan Internet didefinisikan oleh program aplikasi
- karakteristik model client-server yang digunakan program tersebut untuk berinteraksi
- aplikasi Internet standar, dan menjelaskan protokol transfer yang digunakan masing-masing

### 4.1 Protokol Lapisan Aplikasi

Setiap kali programmer membuat dua aplikasi yang berkomunikasi melalui jaringan, programmer menentukan detail, seperti:

- Sintaks dan semantik pesan yang dapat dipertukarkan
- Apakah klien atau server memulai interaksi
- Tindakan yang harus diambil jika terjadi kesalahan
- Bagaimana kedua belah pihak tahu kapan harus mengakhiri komunikasi

Dalam menentukan rincian komunikasi, seorang programmer mendefinisikan lapisan aplikasi. Ada dua jenis protokol lapisan aplikasi yang bergantung pada tujuan penggunaan:

**Komunikasi pribadi** - Protokol programmer membuat sepasang aplikasi yang berkomunikasi melalui Internet dengan maksud bahwa pasangan tersebut untuk penggunaan pribadi. Dalam kebanyakan kasus, interaksi antara dua aplikasi bersifat langsung, yang berarti seorang programmer dapat memilih untuk menulis kode tanpa menulis spesifikasi protokol formal.

**Layanan standar** - Layanan Internet didefinisikan dengan harapan bahwa banyak programmer akan membuat perangkat lunak server untuk menawarkan layanan atau perangkat lunak klien untuk mengakses layanan. Dalam kasus seperti itu, protokol lapisan aplikasi harus didokumentasikan secara independen dari implementasi apa pun, dan spesifikasinya harus tepat dan tidak ambigu sehingga semua klien dan server dapat beroperasi dengan benar.

Ukuran spesifikasi protokol tergantung pada kompleksitas layanan; spesifikasi untuk layanan sepele dapat masuk ke dalam satu halaman teks. Misalnya, protokol Internet menyertakan layanan aplikasi standar yang dikenal sebagai DAYTIME yang memungkinkan klien menemukan tanggal dan waktu lokal di lokasi server. Protokolnya sederhana: klien membentuk koneksi ke server, server mengirimkan representasi ASCII dari tanggal dan waktu, dan server menutup koneksi. Misalnya, server mungkin mengirim string seperti:

Sabtu 9 Sep 20:18:37 2008

Klien membaca data dari koneksi sampai akhir file ditemukan.

### **Poin Penting**

Untuk memungkinkan aplikasi untuk layanan standar untuk beroperasi, standar protokol lapisan aplikasi dibuat independen dari implementasi apa pun.

## **4.2 Representasi Dan Transfer**

Protokol lapisan aplikasi menentukan dua aspek interaksi: representasi dan transfer. Tabel 4.1 menjelaskan perbedaannya.

*Tabel 4.1 Dua aspek kunci dari protokol lapisan aplikasi.*

<b>Aspek</b>	<b>Keterangan</b>
Representasi data	Sintaks item data yang dipertukarkan, bentuk spesifik yang digunakan selama transfer, terjemahan bilangan bulat, karakter, dan file antar komputer
Transfer data	Interaksi antara klien dan server, sintaks dan semantik pesan, penanganan kesalahan pertukaran yang valid dan tidak valid, penghentian interaksi

Untuk layanan dasar, standar protokol tunggal dapat menentukan kedua aspek; layanan yang lebih kompleks menggunakan standar protokol terpisah untuk menentukan setiap aspek. Misalnya, protokol DAYTIME yang dijelaskan di atas menggunakan standar tunggal untuk menentukan bahwa tanggal dan waktu direpresentasikan sebagai string ASCII, dan transfer tersebut terdiri dari server yang mengirim string dan kemudian menutup koneksi. Bagian selanjutnya menjelaskan bahwa web menggunakan protokol terpisah untuk menggambarkan sintaks halaman web dan transfer halaman web.

## **Poin Penting**

---

Sebagai konvensi, kata Transfer dalam judul protokol lapisan aplikasi berarti bahwa protokol menentukan aspek transfer data komunikasi.

### **4.3 Protokol Web**

World Wide Web adalah salah satu layanan yang paling banyak digunakan di Internet. Karena Web itu kompleks, banyak standar protokol telah dirancang untuk menentukan berbagai aspek dan detail. Tiga standar utama tersebut adalah:

- HyperText Markup Language (HTML) - Standar representasi yang digunakan untuk menentukan isi dan tata letak halaman web
- Uniform Resource Locator (URL) - Sebuah standar representasi yang menentukan format dan arti dari pengidentifikasi halaman web
- HyperText Transfer Protocol (HTTP) - Protokol transfer yang menentukan bagaimana browser berinteraksi dengan server web untuk mentransfer data

### **4.4 Representasi Dokumen dengan HTML**

*HyperText Markup Language* (HTML) adalah standar representasi yang menentukan sintaks untuk halaman web. HTML memiliki ciri-ciri umum sebagai berikut:

- Menggunakan representasi tekstual
- Menjelaskan halaman yang berisi multimedia
- Mengikuti paradigma deklaratif daripada paradigma prosedural
- Memberikan spesifikasi markup alih-alih memformat
- Mengizinkan hyperlink untuk disematkan dalam objek arbitrer
- Mengizinkan dokumen menyertakan metadata

Meskipun dokumen HTML terdiri dari file teks, bahasa ini memungkinkan pro-rammer untuk menentukan halaman web kompleks yang berisi grafik, audio dan video, serta teks. Sebenarnya, untuk lebih akuratnya, desainer seharusnya menggunakan hypermedia dalam nama daripada hypertext karena HTML memungkinkan objek yang berubah-ubah, seperti gambar, untuk memuat link ke halaman web lain (kadang-kadang disebut hyperlink).

HTML diklasifikasikan sebagai deklaratif karena bahasa hanya memungkinkan seseorang untuk menentukan apa yang harus dilakukan, bukan bagaimana melakukannya. HTML diklasifikasikan sebagai bahasa markup karena hanya memberikan pedoman umum untuk tampilan dan tidak menyertakan instruksi pemformatan yang terperinci. Misalnya, HTML memungkinkan halaman untuk menentukan tingkat kepentingan heading, tetapi HTML tidak mengharuskan penulis untuk menentukan font, jenis huruf, ukuran titik, atau spasi yang tepat untuk heading†. Intinya, browser memilih semua detail tampilan. Penggunaan bahasa markup penting karena memungkinkan browser untuk menyesuaikan halaman dengan perangkat keras tampilan yang mendasarinya. Misalnya, halaman dapat diformat untuk tampilan resolusi tinggi atau resolusi rendah, layar besar atau perangkat genggam kecil seperti iPhone atau PDA.

## Poin Penting

*HyperText Markup Language adalah standar representasi untuk halaman web. Untuk mengizinkan halaman ditampilkan pada perangkat arbitrer, HTML memberikan panduan umum untuk tampilan dan memungkinkan browser memilih detail.*

Untuk menentukan markup, HTML menggunakan tag yang disematkan dalam dokumen. Tag, yang terdiri dari istilah yang diapit oleh simbol kurang dari dan lebih besar dari, menyediakan struktur untuk dokumen serta petunjuk pemformatan. Tag mengontrol semua tampilan; spasi putih (yaitu, baris tambahan dan karakter kosong) dapat disisipkan di titik mana pun dalam dokumen HTML tanpa efek apa pun pada versi terformat yang ditampilkan browser. Misalnya, dokumen HTML dimulai dengan tag <HTML>, dan diakhiri dengan tag </HTML>. Pasangan tag <HEAD> dan </HEAD> mengkurung kepala, sedangkan pasangan tag <BODY> dan </BODY> mengkurung tubuh. Di bagian kepala, tag <TITLE> dan </TITLE> mengkurung teks yang membentuk judul dokumen. Gambar 4.3 mengilustrasikan bentuk umum dari dokumen HTML.

```
<HTML>

<KEPALA>
<JUDUL>
teks yang membentuk judul dokumen
</TITLE>
</KEPALA>

<BODY>
badan dokumen muncul di sini
</BODY>

</HTML>
```

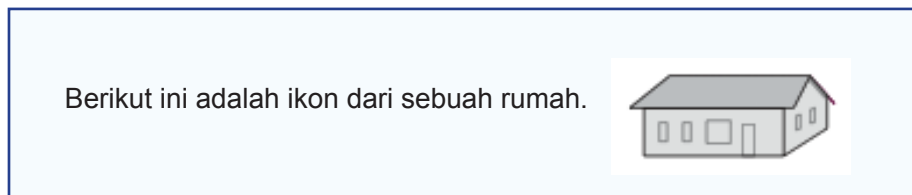
Gambar 4.1 Bentuk umum dokumen HTML.

menentukan bahwa file `house_icon.gif` berisi gambar yang harus dimasukkan browser ke dalam dokumen. Parameter tambahan dapat ditentukan dalam tag `IMG` untuk menentukan perataan gambar dengan teks di sekitarnya. Misalnya, Gambar 4.1 mengilustrasikan output untuk HTML berikut, yang menyelaraskan teks dengan bagian tengah gambar:

Berikut ini adalah ikon dari sebuah rumah.

```
<IMG SRC="house_icon.gif" ALIGN=tengah>
```

Browser memposisikan gambar secara vertikal sehingga teks sejajar dengan bagian tengah gambar.



Gambar 4.2 Ilustrasi perataan gambar dalam HTML.

## 4.5 Uniform Resource Locator dan Hyperlink

Web menggunakan bentuk sintaksis yang dikenal sebagai Uniform Resource Locator (URL) untuk menentukan halaman web. Bentuk umum dari URL adalah:

protokol:// nama\_komputer: port/ nama\_dokumen% parameter

di mana protokol adalah nama protokol yang digunakan untuk mengakses dokumen, computer\_name adalah nama domain komputer tempat dokumen berada, :port adalah nomor port protokol opsional tempat server mendengarkan, document\_name adalah nama opsional dari dokumen pada komputer yang ditentukan, dan %parameters memberikan parameter opsional untuk halaman tersebut.

Misalnya, URL <http://www.netbook.cs.purdue.edu/toc/toc01.htm> menetapkan protokol http, komputer bernama www.netbook.cs.purdue.edu, dan file bernama toc/toc01.htm. pengguna memasukkan menghilangkan banyak bagian.

Misalnya, URL: [www.netbook.cs.purdue.edu](http://www.netbook.cs.purdue.edu) menghilangkan protokol (diasumsikan http), port (diasumsikan 80), nama dokumen (diasumsikan index.html), dan parameter (diasumsikan tidak ada).

URL berisi informasi yang dibutuhkan browser untuk mengambil halaman. Browser menggunakan karakter pemisah titik dua, garis miring, dan persen, untuk membagi URL menjadi empat komponen: protokol, nama komputer, nama dokumen, dan parameter. Browser menggunakan nama komputer dan port protokol untuk membentuk koneksi ke server tempat halaman berada, dan menggunakan nama dokumen dan parameter untuk meminta halaman tertentu. Dalam HTML, tag jangkar menggunakan URL untuk menyediakan kemampuan hyperlink (yaitu, kemampuan untuk menautkan dari satu dokumen web ke dokumen web lainnya). Contoh berikut menunjukkan dokumen sumber HTML dengan jangkar yang mengelilingi nama Prentice Hall:

Buku ini diterbitkan oleh

```
<A HREF="http://www.prenhall.com"> Prentice Hall, </A>
```

salah satu penerbit besar buku teks Ilmu Komputer.

Jangkar merujuk URL <http://www.prenhall.com>. Saat ditampilkan di layar, input HTML menghasilkan:

Buku ini diterbitkan oleh Prentice Hall,

salah satu penerbit besar buku teks Ilmu Komputer.

## 4.6 Transfer Dokumen Web dengan HTTP

HyperText Transfer Protocol (HTTP) adalah protokol transfer utama yang digunakan browser untuk berinteraksi dengan server web. Dalam hal model client-server, browser adalah klien yang mengekstrak nama server dari URL dan menghubungi server. Sebagian besar URL berisi referensi protokol eksplisit `http://`, atau menghilangkan protokol sama sekali, dalam hal ini HTTP diasumsikan. HTTP dapat dicirikan sebagai berikut:

- Menggunakan pesan kontrol tekstual
- Mentransfer file data biner
- Dapat mengunduh atau mengunggah data
- Menggabungkan caching

Setelah membuat koneksi, browser mengirimkan permintaan HTTP ke server. Tabel 4.2 mencantumkan empat jenis permintaan utama:

Tabel 4.2 Empat jenis permintaan HTTP utama.

Permintaan	Keterangan
GET	Meminta dokumen; server merespons dengan mengirimkan informasi status diikuti dengan salinan dokumen
HEAD	Meminta informasi status; server merespons dengan mengirimkan informasi status, tetapi tidak mengirim salinan dokumen
POST	Mengirim data ke server; server menambahkan data ke item tertentu (misalnya, pesan ditambahkan ke daftar)
PUT	Mengirim data ke server; server menggunakan data untuk sepenuhnya mengganti item yang ditentukan (yaitu, menimpa data sebelumnya)

Bentuk interaksi yang paling umum dimulai ketika browser meminta halaman dari server. Browser mengirimkan permintaan GET melalui koneksi, dan server merespons dengan mengirimkan header, baris kosong, dan dokumen yang diminta. Dalam HTTP, permintaan dan header yang digunakan dalam respons masing-masing terdiri dari informasi tekstual. Misalnya, permintaan GET memiliki formulir berikut:

`GET /item versi CRLF`

di mana item memberikan URL untuk item yang diminta, versi menentukan versi protokol (biasanya HTTP/1.0 atau HTTP/1.1), dan CRLF menunjukkan dua karakter ASCII, carriage return dan linefeed, yang digunakan untuk menandakan akhir dari sebuah baris teks.

Informasi versi penting dalam HTTP karena memungkinkan protokol berubah namun tetap kompatibel ke belakang. Misalnya, ketika browser yang menggunakan protokol versi 1.0 berinteraksi dengan server yang menggunakan versi yang lebih tinggi, server akan kembali ke versi protokol yang lebih lama dan merumuskan respons yang sesuai.

### Poin Penting

*Saat menggunakan HTTP, browser mengirimkan informasi versi yang memungkinkan server untuk memilih versi protokol tertinggi yang mereka berdua pahami.*



Baris pertama dari header respons berisi kode status yang memberi tahu browser apakah server menangani permintaan tersebut. Jika permintaan salah dibentuk atau item yang diminta tidak tersedia, kode status menunjukkan masalahnya. Misalnya, server mengembalikan kode status terkenal 404 jika item yang diminta tidak dapat ditemukan. Saat memenuhi permintaan, server mengembalikan kode status 200; baris tambahan dari header memberikan informasi lebih lanjut tentang item seperti panjangnya, kapan terakhir diubah, dan tipe kontennya. Gambar 4.2 menunjukkan format umum baris dalam header respons dasar.

```

HTTP/1.0 status_code status_string CRLF
Server: server_identification CRLF
Terakhir Dimodifikasi: date_document_was_
changed CRLF
Panjang Konten: ukuran data CRLF
Tipe-Konten: document_type CRLF
CRLF
  
```

Gambar 4.2 Format umum baris dalam header respons dasar.

Kode status bidang adalah nilai numerik yang direpresentasikan sebagai string karakter digit desimal yang menunjukkan status, dan string status adalah penjelasan yang sesuai untuk dibaca manusia. Tabel 4.3 mencantumkan contoh kode status dan string yang umum digunakan. Identifikasi server lapangan berisi string deskriptif yang memberikan deskripsi server yang dapat dibaca manusia, mungkin termasuk nama domain server. Bidang ukuran data di header Content-Length menentukan ukuran item data berikutnya, diukur dalam byte. Bidang jenis dokumen berisi string yang menginformasikan browser tentang konten dokumen. String berisi dua item yang dipisahkan oleh garis miring: jenis dokumen dan representasinya. Misalnya, ketika server mengembalikan dokumen HTML, jenis dokumennya adalah teks/html, dan ketika server mengembalikan file jpeg, jenisnya adalah image/jpeg.

Tabel 4.3 Contoh kode status yang digunakan dalam HTTP

Status Code	Corresponding Status String
200	OK
400	Bad Request
404	Not Found

Gambar 4.4 menunjukkan contoh keluaran dari server web Apache. Item yang diminta adalah file teks yang berisi enam belas karakter (yaitu, teks ini adalah tes. ditambah karakter NEWLINE). Meskipun permintaan GET menetapkan HTTP versi 1.0, server menjalankan versi 1.1. Server mengembalikan sembilan baris header, baris kosong, dan konten file.

```
HTTP/1.1 200 Oke
Tanggal: Sab, 15 Mar 2008 07:35:25 GMT
Server: Apache/1.3.37 (Unix)
Terakhir Dimodifikasi: Sel, 1 Jan 2008
12:03:37 GMT ETag: "78595-81-3883bbe9"
Terima-Rentang: byte
Konten-Panjang: 16
Koneksi: tutup
Tipe-Konten: teks/polos

Ini adalah sebuah latihan
```

Gambar 4.4 Contoh respons HTTP dari server web Apache.

## 4.7 Caching pada Browser

Caching menyediakan pengoptimalan penting untuk akses web karena pengguna cenderung mengunjungi situs web yang sama berulang kali. Sebagian besar konten di situs tertentu terdiri dari gambar besar yang menggunakan standar Graphics Image Format (GIF) atau Joint Picture Encoding Group (JPEG). Gambar seperti itu sering kali berisi latar belakang atau spanduk yang tidak sering berubah.

### Poin Penting

---

*Peramban dapat mengurangi waktu pengunduhan secara signifikan dengan menyimpan salinan setiap gambar dalam cache pada disk pengguna dan menggunakan salinan yang disimpan dalam cache.*

Sebuah pertanyaan muncul: apa yang terjadi jika dokumen di server web berubah setelah browser menyimpan salinan di cache-nya? Yaitu, bagaimana browser dapat mengetahui apakah salinan cache-nya basi? Respon pada Gambar 4.8 berisi satu petunjuk: header Last-Modified. Setiap kali browser memperoleh dokumen dari server web, header menentukan kapan terakhir kali dokumen diubah. Peramban menyimpan informasi tanggal Terakhir-Dimodifikasi bersama dengan salinan cache. Sebelum menggunakan dokumen dari cache lokal, browser membuat permintaan HEAD ke server dan membandingkan tanggal Modifikasi Terakhir dari salinan server dengan tanggal Modifikasi Terakhir pada salinan cache. Jika versi yang di-cache kedaluwarsa, browser mengunduh versi baru. Algoritma 4.1 merangkum caching.

### Algoritma 4.1

Diberikan:

URL untuk item di halaman web

Memperoleh:

Salinan halaman

Metode:

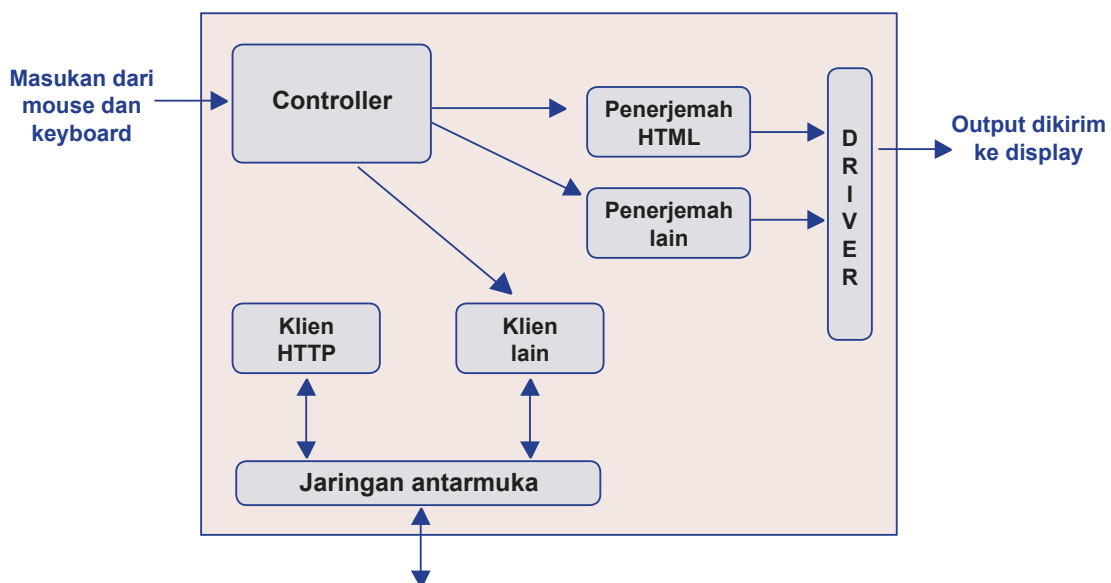
```
if (item tidak ada di cache lokal) {  
  Keluarkan permintaan GET dan tempatkan salinan di cache;  
} kalau tidak {  
  Keluarkan permintaan HEAD ke server;  
  if (item yang di-cache up-to-date) {  
    gunakan item yang di-cache;  
  } kalau tidak {  
    Keluarkan permintaan GET dan tempatkan salinan di cache;  
  }  
}
```

*Algoritma 4.1 Caching di browser digunakan untuk mengurangi waktu download.*

Algoritme menghilangkan beberapa detail kecil. Misalnya, HTTP memungkinkan situs web untuk menyertakan header No-cache yang menentukan item tertentu tidak boleh di-cache. Selain itu, browser tidak men-cache item kecil karena waktu untuk mengunduh item dengan permintaan GET kira-kira sama dengan waktu untuk membuat permintaan HEAD dan menyimpan banyak item kecil dalam cache dapat meningkatkan waktu pencarian cache.

## 4.8 Arsitektur Peramban

Karena menyediakan layanan umum dan mendukung antarmuka grafis, browser menjadi kompleks. Tentu saja, browser harus memahami HTTP, tetapi browser juga menyediakan dukungan untuk protokol lain. Secara khusus, karena URL dapat menentukan protokol, browser harus berisi kode klien untuk setiap protokol yang digunakan. Untuk setiap layanan, browser harus mengetahui cara berinteraksi dengan server dan cara menginterpretasikan respons. Misalnya, browser harus mengetahui cara mengakses layanan FTP yang dibahas di bagian selanjutnya. Gambar 4.5 mengilustrasikan komponen yang disertakan oleh browser.



Gambar 4.5 Arsitektur browser yang dapat mengakses beberapa layanan.

## 4.9 Protokol Transfer File (FTP)

File adalah abstraksi penyimpanan mendasar. Karena file dapat menampung objek arbitrer (misalnya, dokumen, spreadsheet, program komputer, gambar grafik, atau data), fasilitas yang mengirimkan salinan file dari satu komputer ke komputer lain menyediakan mekanisme yang kuat untuk pertukaran data. Kami menggunakan istilah transfer file untuk layanan semacam itu.

Transfer file melalui Internet rumit karena komputer bersifat heterogen, yang berarti bahwa setiap sistem komputer mendefinisikan representasi file, jenis informasi, penamaan, dan mekanisme akses file. Pada beberapa sistem komputer, ekstensi .jpg digunakan untuk gambar JPEG, dan pada sistem lainnya, ekstensinya adalah .jpeg. Pada beberapa sistem, setiap baris dalam file teks diakhiri oleh satu karakter LINEFEED, sementara sistem lain memerlukan CARRIAGE RETURN diikuti oleh LINEFEED. Beberapa sistem menggunakan garis miring (/) sebagai pemisah dalam nama file, dan yang lain menggunakan garis miring terbalik (\). Lebih lanjut, sistem operasi dapat menentukan sekumpulan akun pengguna yang masing-masing diberi hak untuk mengakses file tertentu. Namun, informasi akun berbeda antar komputer, sehingga pengguna X di satu komputer tidak sama dengan pengguna X di komputer lain.

Layanan transfer file yang paling banyak digunakan di Internet menggunakan File Transfer Protocol (FTP). FTP dapat dicirikan sebagai:

- Isi File Sewenang-wenang. FTP dapat mentransfer semua jenis data, termasuk dokumen, gambar, musik, atau video yang disimpan.
- Transfer Dua Arah. FTP dapat digunakan untuk mengunduh file (transfer dari server ke klien) atau mengunggah file (transfer dari server ke klien).
- Dukungan Untuk Otentikasi Dan Kepemilikan. FTP memungkinkan setiap file memiliki pembatasan kepemilikan dan akses, dan menghormati pembatasan tersebut.
- Kemampuan Untuk Menelusuri Folder. FTP memungkinkan klien untuk mendapatkan isi direktori (yaitu, folder).
- Pesan Kontrol Tekstual. Seperti banyak layanan aplikasi Internet lainnya, pesan kontrol yang dipertukarkan antara klien FTP dan server dikirim sebagai teks ASCII.

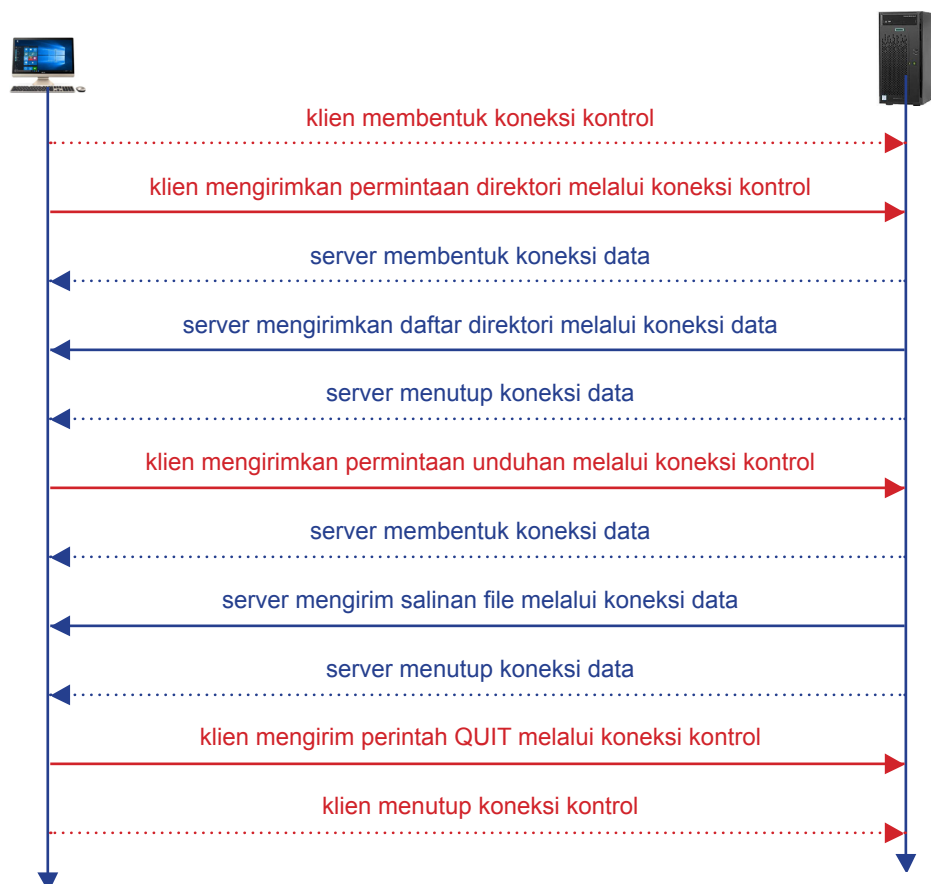
- Mengakomodasi Heterogenitas. FTP menyembunyikan rincian sistem operasi komputer individu, dan dapat mentransfer salinan file antara sepasang komputer yang sewenang-wenang.

Karena beberapa pengguna meluncurkan aplikasi FTP, protokol biasanya tidak terlihat. Namun, FTP dipanggil secara otomatis oleh browser ketika pengguna meminta unduhan file.

## 4.10 Paradigma Komunikasi FTP

Salah satu aspek yang paling menarik dari FTP muncul dari cara klien dan server berinteraksi. Secara keseluruhan, pendekatannya tampak mudah: klien membuat koneksi ke server FTP dan mengirimkan serangkaian permintaan yang ditanggapi oleh server. Tidak seperti HTTP, server FTP tidak mengirim tanggapan melalui koneksi yang sama di mana klien mengirim permintaan. Sebagai gantinya, koneksi asli yang dibuat klien, yang disebut koneksi kontrol, dicadangkan untuk perintah. Setiap kali server perlu mengunduh atau mengunggah file, server membuka koneksi baru. Untuk membedakannya dari koneksi kontrol, koneksi yang digunakan untuk mentransfer file disebut koneksi data.

Anehnya, FTP membalikkan hubungan klien-server untuk koneksi data. Artinya, saat membuka koneksi data, klien bertindak seperti server (yaitu, menunggu koneksi data) dan server bertindak seperti klien (yaitu, memulai koneksi data). Setelah digunakan untuk satu kali transfer, sambungan data ditutup. Jika klien mengirim permintaan lain, server membuka koneksi data baru. Gambar 4.6 mengilustrasikan interaksi tersebut.



Gambar 4.6 Ilustrasi koneksi FTP selama sesi biasa.

Angka tersebut menghilangkan beberapa detail penting. Misalnya, setelah membuat koneksi kontrol, klien harus masuk ke server. FTP menyediakan perintah USER yang dikirim klien untuk memberikan nama login, dan perintah PASS yang dikirim klien untuk memberikan kata sandi. Server mengirimkan respons status numerik melalui koneksi kontrol untuk memberi tahu klien apakah login berhasil. Klien hanya dapat mengirim perintah lain setelah login berhasil.

Detail penting lainnya menyangkut nomor port protokol yang akan digunakan untuk koneksi data. Berapa nomor port protokol yang harus ditentukan server saat menghubungkan ke klien? Protokol FTP memberikan jawaban yang menarik: sebelum membuat permintaan ke server, klien mengalokasikan port protokol pada sistem operasi lokalnya dan mengirimkan nomor port ke server. Artinya, klien mengikat ke port untuk menunggu koneksi, dan kemudian mengirimkan perintah PORT melalui koneksi kontrol untuk menginformasikan server tentang nomor port yang digunakan. Algoritma 4.2 merangkum langkah-langkahnya.

#### Algoritma 4.2

Diberikan:

Koneksi kontrol FTP

Meraih:

Transmisi item data melalui koneksi data FTP

Metode:

Klien mengirimkan permintaan untuk file tertentu melalui koneksi kontrol; Server menerima permintaan;

Klien mengalokasikan port protokol lokal, sebut saja X;

Klien mengikat ke port X dan bersiap untuk menerima koneksi; Klien mengirimkan "PORT X" ke server melalui koneksi kontrol; Server menerima perintah PORT dan permintaan item data; Klien menunggu koneksi data di port X dan menerima;

Server membuat koneksi data ke port X di komputer klien;

Server mengirimkan file yang diminta melalui koneksi data;

Server menutup koneksi data;

*Algoritma 4.2 Langkah-langkah yang diambil klien dan server FTP untuk menggunakan koneksi data.*

Transmisi informasi port antara sepasang aplikasi mungkin tampak tidak berbahaya, tetapi sebenarnya tidak, dan teknik ini tidak bekerja dengan baik dalam semua situasi. Secara khusus, transmisi nomor port protokol akan gagal jika salah satu dari dua titik akhir terletak di belakang perangkat Network Address Translation (NAT), seperti router nirkabel yang digunakan di tempat tinggal atau kantor kecil. Bab 23 menjelaskan bahwa FTP adalah pengecualian — untuk mendukung FTP, perangkat NAT mengenali koneksi kontrol FTP, memeriksa konten koneksi, dan menulis ulang nilai dalam perintah PORT.

## 4.11 Surat Elektronik

Meskipun layanan seperti pesan instan telah menjadi populer, email tetap menjadi salah satu aplikasi Internet yang paling banyak digunakan. Karena dibuat sebelum komputer pribadi dan PDA genggam tersedia, email dirancang untuk memungkinkan pengguna di satu komputer mengirim pesan langsung ke pengguna di komputer lain. Gambar 4.7 mengilustrasikan arsitekturnya, dan Algoritma 4.3 mencantumkan langkah-langkah yang diambil.



Gambar 4.7 Konfigurasi email asli dengan transfer langsung dari komputer pengirim langsung ke komputer penerima.

### Algoritma 4.3

Diberikan:

Komunikasi email dari satu pengguna ke pengguna lain. Menyediakan:  
Transmisi pesan ke penerima yang dituju.

Metode:

Pengguna memanggil aplikasi antarmuka dan menghasilkan pesan email untuk pengguna `x@destination.com`;

Pesan antrian program antarmuka email pengguna untuk transfer; Program transfer surat di komputer pengguna memeriksa antrian surat keluar, dan menemukan pesan;

Program transfer surat membuka koneksi ke `destination.com`; Program transfer surat menggunakan SMTP untuk mentransfer pesan; Program transfer surat menutup koneksi;

Server surat di `destination.com` menerima pesan dan menempatkan salinannya di kotak surat pengguna `x`;

Pengguna `x` di `destination.com` menjalankan program antarmuka surat, yang menampilkan kotak surat pengguna, termasuk pesan baru;

*Algoritma 4.3 Langkah-langkah yang dilakukan untuk mengirim email dalam paradigma aslinya.*

Seperti yang ditunjukkan oleh algoritme, bahkan perangkat lunak email awal pun dibagi menjadi dua bagian terpisah:



- Aplikasi antarmuka email secara konseptual
- Program transfer surat

Seorang pengguna memanggil aplikasi antarmuka email secara langsung. Antarmuka menyediakan mekanisme yang memungkinkan pengguna untuk menulis dan mengedit pesan keluar serta membaca dan memproses email masuk. Aplikasi antarmuka email tidak bertindak sebagai klien atau server, dan tidak mentransfer pesan ke pengguna lain. Sebagai gantinya, aplikasi antarmuka membaca pesan dari kotak surat pengguna (yaitu, file di komputer pengguna) dan menyimpan pesan keluar dalam antrian surat keluar (biasanya folder di disk pengguna). Program terpisah yang dikenal sebagai program transfer surat dan server surat menangani transfer. Program transfer surat bertindak sebagai klien untuk mengirim pesan ke server surat di komputer tujuan; server surat menerima pesan masuk dan menyimpan masing-masing di kotak surat pengguna yang sesuai.

Spesifikasi yang digunakan untuk email Internet dapat dibagi menjadi tiga kategori besar yaitu:

#### **Transfer**

Protokol yang digunakan untuk memindahkan salinan pesan email dari satu komputer ke komputer lain

#### **Access**

Protokol yang memungkinkan pengguna mengakses kotak surat mereka dan melihat atau mengirim pesan email

#### **Representation**

Protokol yang menentukan format pesan email saat disimpan di disk

## **4.12 Protokol Transfer Surat Sederhana (SMTP)**

Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) adalah protokol standar yang digunakan program transfer surat untuk mentransfer pesan surat melalui Internet ke server. SMTP dapat dicirikan sebagai:

- Mengikuti paradigma aliran
- Menggunakan pesan kontrol tekstual
- Hanya mentransfer pesan teks
- Mengizinkan pengirim menentukan nama penerima dan memeriksa setiap nama
- Mengirim satu salinan dari pesan yang diberikan

Aspek SMTP yang paling tidak terduga muncul dari pembatasannya terhadap konten tekstual. Bagian selanjutnya menjelaskan standar MIME yang memungkinkan email menyertakan lampiran seperti gambar grafik atau file biner, tetapi mekanisme SMTP yang mendasarinya terbatas pada teks.

Aspek kedua dari SMTP berfokus pada kemampuannya untuk mengirim satu pesan ke beberapa penerima di komputer tertentu. Protokol memungkinkan klien untuk membuat daftar pengguna satu per satu dan kemudian mengirim satu salinan pesan untuk semua pengguna dalam daftar. Artinya,

klien mengirim pesan "Saya memiliki pesan email untuk pengguna A," dan server menjawab "OK" atau "Tidak ada pengguna seperti itu di sini". Faktanya, setiap pesan server SMTP dimulai dengan kode numerik; jadi balasannya berbentuk "250 OK" atau "550 Tidak ada pengguna seperti itu di sini". Gambar 4.8 memberikan contoh sesi SMTP yang terjadi ketika pesan email ditransfer dari pengguna John\_Q\_Smith di komputer example.edu ke dua pengguna di komputer di suatu tempat.com.

```
Server: 220 somewhere.com Simple Mail Transfer Service Ready

Client: HELO example.edu
Server: 250 OK

Client: MAIL FROM:<John_Q_Smith@example.edu>
Server: 250 OK

Client: RCPT TO:<Mathew_Doe@somewhere.com>
Server: 550 No such user here

Client: RCPT TO:<Paul_Jones@somewhere.com>
Server: 250 OK

Client: DATA
Server: 354 Start mail input; end with <CR><LF>.<CR><LF>
Client: ...sends body of mail message, which can contain
Client: ...arbitrarily many lines of text
Client: <CR><LF>.<CR><LF>
Server: 250 OK

Client: QUIT
Server: 221 somewhere.com closing transmission channel
```

*Gambar 4.8 Contoh sesi SMTP.*

Pada gambar, setiap baris diberi label Klien: atau Server: untuk menunjukkan apakah server atau klien yang mengirim jalur; protokol tidak menyertakan label. Perintah HELO memungkinkan klien untuk mengotentikasi dirinya sendiri dengan mengirimkan nama domainnya. Akhirnya, notasi <CR><LF> menunjukkan carriage return diikuti oleh linefeed (yaitu, end-of-line). Dengan demikian, isi pesan email diakhiri dengan garis yang terdiri dari titik tanpa teks atau spasi lainnya. stilah Sederhana dalam namanya menyiratkan bahwa SMTP disederhanakan. Karena pendahulu SMTP sangat kompleks, para desainer menghilangkan fitur yang tidak perlu dan berkonsentrasi pada dasar-dasarnya.

### 4.13 ISP, Server Mail, dan Akses Mail

Ketika Internet diperluas untuk mencakup konsumen, sebuah paradigma baru muncul untuk email. Karena sebagian besar pengguna membiarkan komputer mereka berjalan terus menerus dan tidak tahu cara mengkonfigurasi dan mengelola server email, ISP mulai menawarkan layanan email. Intinya, ISP menjalankan server email dan menyediakan kotak surat untuk setiap pelanggan. Alih-alih perangkat lunak email tradisional, setiap ISP menyediakan perangkat lunak antarmuka yang memungkinkan pengguna untuk mengakses kotak surat mereka. Gambar 4.9 mengilustrasikan susunannya.



Gambar 4.9 Konfigurasi email di mana ISP menjalankan server email dan menyediakan akses pengguna ke kotak surat.

Akses email mengikuti salah satu dari dua bentuk:

- Aplikasi antarmuka email tujuan khusus
- Peramban web yang mengakses halaman web email

Pendekatan browser web sangat mudah: ISP menyediakan halaman web khusus yang menampilkan pesan dari kotak surat pengguna. Dengan demikian, pengguna meluncurkan browser web standar dan mengakses ISP. Halaman web meminta pengguna untuk ID login dan kata sandi, yang digunakan server web untuk mengidentifikasi kotak surat pengguna. Server web mengambil pesan dari kotak surat, dan menampilkan pesan sebagai halaman web. Keuntungan utama menggunakan halaman web untuk email muncul dari kemampuan membaca email dari komputer mana pun — pengguna tidak perlu menjalankan aplikasi antarmuka email khusus.

Keuntungan menggunakan aplikasi surat khusus terletak pada kemampuan untuk mengunduh seluruh kotak surat ke komputer lokal. Mengunduh sangat penting bagi pengguna seluler yang memiliki laptop. Saat laptop terhubung ke Internet, pengguna dapat menjalankan program email yang mengunduh seluruh kotak surat ke laptop. Pengguna kemudian dapat memproses email saat laptop terputus dari Internet (misalnya, saat berada di pesawat). Setelah konektivitas Internet diperoleh kembali, perangkat lunak pada laptop berkomunikasi dengan server di ISP untuk mengunggah email yang telah dibuat pengguna dan mengunduh email baru apa pun yang mungkin telah tiba di kotak surat pengguna.

### 4.14 Protokol Akses Surat (POP, IMAP)

Protokol telah dibuat yang menyediakan akses email. Sebuah protokol akses berbeda dari protokol transfer karena akses hanya melibatkan satu pengguna berinteraksi dengan kotak surat tunggal, sedangkan protokol transfer memungkinkan pengguna untuk mengirim email ke pengguna lain. Protokol akses memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Menyediakan akses ke kotak surat pengguna
- Izinkan pengguna untuk melihat header, mengunduh, menghapus, atau mengirim pesan individual

- Klien berjalan di komputer pribadi pengguna
- Server berjalan pada komputer yang menyimpan kotak surat pengguna

Kemampuan untuk melihat daftar pesan tanpa mengunduh isi pesan sangat berguna dalam kasus di mana hubungan antara pengguna dan server email lambat. Misalnya, pengguna yang menjelajah di ponsel mungkin melihat header dan menghapus spam tanpa menunggu untuk mengunduh konten pesan.

Berbagai mekanisme telah diusulkan untuk akses email. Beberapa ISP menyediakan perangkat lunak akses email gratis untuk pelanggan mereka. Selain itu, dua protokol akses email standar telah dibuat yaitu:

- POP3 - Post Office Protocol version 3
- IMAP - Internet Mail Access Protocol

Meskipun mereka menawarkan layanan dasar yang sama, kedua protokol berbeda dalam banyak detail. Secara khusus, masing-masing menyediakan mekanisme otentikasi sendiri yang diikuti pengguna untuk mengidentifikasi diri mereka sendiri. Otentikasi diperlukan untuk memastikan bahwa pengguna tidak mengakses kotak surat pengguna lain.

## 4.15 Standar Representasi Email (RFC2822, MIME)

Ada dua standar representasi email yang penting:

- RFC2822 Mail Message Format
- Multi-purpose Internet Mail Extensions (MIME)

**Format Pesan Email RFC2822-** Standar format pesan email mengambil namanya dari dokumen standar IETF Request For Comments 2822. Formatnya sederhana: pesan email direpresentasikan sebagai file teks dan terdiri dari bagian header, baris kosong, dan badan. Baris header masing-masing memiliki bentuk:

Kata kunci: informasi

di mana kumpulan kata kunci didefinisikan untuk menyertakan From:, To:, Subject:, Cc:, dan seterusnya. Selain itu, baris header yang dimulai dengan huruf besar X dapat ditambahkan tanpa memengaruhi pemrosesan email. Dengan demikian, pesan email dapat menyertakan baris header acak seperti:

Acara TV X-Terburuk: acara realitas apa pun

**Ekstensi Surat Internet Serbaguna (MIME)** - Ingatlah bahwa SMTP hanya mendukung pesan teks. Standar MIME memperluas fungsionalitas email untuk memungkinkan transfer data non-teks dalam sebuah pesan. MIME menentukan bagaimana file biner dapat dikodekan menjadi karakter yang dapat dicetak, disertakan dalam pesan, dan diterjemahkan oleh penerima. Meskipun memperkenalkan standar pengkodean Base64 yang telah menjadi populer, MIME tidak membatasi pengkodean ke bentuk tertentu. Sebaliknya, MIME mengizinkan pengirim dan penerima untuk memilih pengkodean yang nyaman. Untuk menentukan penggunaan pengkodean, pengirim menyertakan baris tambahan di

header pesan. Selanjutnya, MIME memungkinkan pengirim untuk membagi pesan menjadi beberapa bagian dan untuk menentukan pengkodean untuk setiap bagian secara independen. Jadi, dengan MIME, pengguna dapat mengirim pesan teks biasa dan melampirkan gambar grafik, spreadsheet, dan klip audio, masing-masing dengan penyandiannya sendiri. Sistem email penerima dapat memutuskan bagaimana memproses lampiran (misalnya, menyimpan salinan di disk atau menampilkan salinan).

Faktanya, MIME menambahkan dua baris ke header email: satu untuk menyatakan bahwa MIME telah digunakan untuk membuat pesan dan satu lagi untuk menentukan bagaimana informasi MIME disertakan dalam isi. Misalnya, baris header:

```
Versi MIME: 1.0  
Content-Type: Multipart/Campuran; Batas=Mime_separator
```

tentukan bahwa pesan dibuat menggunakan MIME versi 1.0, dan baris yang berisi pemisah Mime akan muncul di badan sebelum setiap bagian pesan. Ketika MIME digunakan untuk mengirim pesan teks standar, baris kedua menjadi:

```
Tipe-Konten: teks/polos
```

MIME kompatibel dengan sistem email yang tidak memahami standar atau penyandian MIME. Tentu saja, sistem seperti itu tidak memiliki cara untuk mengekstrak lampiran non-teks — mereka memperlakukan tubuh sebagai satu blok teks.

### **Poin Penting**

*Standar MIME menulis ipkan baris header tambahan untuk memungkinkan lampiran non-teks dikirim dalam pesan email. Lampiran dikodekan sebagai huruf yang dapat dicetak, dan garis pemisah muncul sebelum setiap lampiran.*

## **4.16 Sistem Nama Domain (DNS)**

Domain Name System (DNS) menyediakan layanan yang memetakan nama simbolik yang dapat dibaca manusia ke alamat komputer. Peramban, perangkat lunak surat, dan sebagian besar aplikasi Internet lainnya menggunakan DNS. Sistem ini memberikan contoh interaksi client-server yang menarik karena pemetaan tidak dilakukan oleh satu server. Sebaliknya, informasi penamaan didistribusikan di antara satu set besar server yang terletak di situs di Internet. Kapanpun program aplikasi perlu menerjemahkan nama, aplikasi menjadi klien dari sistem penamaan. Klien mengirim pesan permintaan ke server nama, yang menemukan alamat yang sesuai dan mengirim pesan balasan. Jika tidak dapat menjawab permintaan, server nama untuk sementara menjadi klien server nama lain, sampai ditemukan server yang dapat menjawab permintaan tersebut.

Secara sintaksis, setiap nama terdiri dari urutan segmen alfanumerik yang dipisahkan oleh titik. Misalnya, komputer di Departemen Ilmu Komputer di Universitas Purdue memiliki nama domain:

mordred.cs.purdue.edu

dan sebuah komputer di Cisco, Incorporated memiliki nama domain:

`anakin.cisco.com`

Nama domain bersifat hierarkis, dengan bagian paling penting dari nama di sebelah kanan. Segmen paling kiri dari sebuah nama (mordred dan anakin dalam contoh) adalah nama dari sebuah komputer individu. Segmen lain dalam nama domain mengidentifikasi grup yang memiliki nama tersebut. Misalnya, segmen purdue memberi nama universitas, dan cisco memberi nama perusahaan. DNS tidak menentukan jumlah segmen dalam sebuah nama. Sebaliknya, setiap organisasi dapat memilih berapa banyak segmen yang akan digunakan untuk komputer di dalam organisasi dan apa yang diwakili oleh segmen tersebut.

Sistem Nama Domain tidak menentukan nilai untuk segmen yang paling signifikan, yang disebut domain tingkat atas (TLD). Domain tingkat atas dikendalikan oleh Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN), yang menunjuk satu atau beberapa pendaftar domain untuk mengelola domain tingkat atas tertentu dan menyetujui nama tertentu. Beberapa TLD bersifat generik, yang berarti tersedia secara umum. TLD lain dibatasi untuk kelompok atau lembaga pemerintah tertentu. Berikut ini dicantumkan contoh domain DNS tingkat atas.

- `aero` : Industri transportasi udara
- `arpa` : Domain infrastruktur
- `asia` : Untuk atau tentang Asia
- `biz` : Bisnis
- `com` : organisasi komersial
- `coop` : Asosiasi /perkumpulan
- `edu` : Institusi pendidikan
- `gov` : Pemerintah
- `info` : Informasi
- `int` : Organisasi perjanjian internasional
- `jobs` : Pekerjaan dan sumber daya manusia
- `mil` : militer
- `mobi` : Penyedia konten seluler
- `museum` : Museum
- `name` : Perorangan
- `net` : Pusat dukungan jaringan utama
- `org` : Organisasi non-komersial
- `pro` : Profesional yang dipercaya
- `travel` : Perjalanan dan pariwisata
- `country code` : Bangsa yang berdaulat

Sebuah organisasi mengajukan permohonan untuk sebuah nama di bawah salah satu domain tingkat atas yang ada. Misalnya, sebagian besar perusahaan A.S. memilih untuk mendaftar di bawah domain `com`. Dengan demikian, sebuah perusahaan bernama Foobar mungkin meminta untuk diberikan domain foobar di bawah domain tingkat atas `com`. Setelah permintaan disetujui, Foobar Corporation akan diberikan domain:

`foobar.com`

Setelah nama ditetapkan, organisasi lain bernama Foobar dapat mengajukan permohonan forfoobar.biz atau foobar.org, tetapi tidak foobar.com. Selanjutnya, foobar.com telah ditetapkan, Perusahaan Foobar dapat memilih berapa banyak level tambahan untuk ditambahkan dan arti masing-masing. Jadi, jika Foobar memiliki lokasi di pantai Timur dan Barat, orang mungkin menemukan nama-nama seperti:

computer1.east-coast.foobar.com

atau Foobar dapat memilih hierarki penamaan yang relatif datar dengan semua komputer diidentifikasi berdasarkan nama dan nama domain perusahaan:

computer1.foobar.com

Selain struktur organisasi yang sudah dikenal, DNS memungkinkan organisasi untuk menggunakan pendaftaran geografis. Misalnya, Corporation For National Research Initiatives mendaftarkan domain:

cnri.reston.va.us

karena korporasi tersebut berlokasi di kota Reston, Virginia di Amerika Serikat. Jadi, nama komputer di perusahaan diakhiri dengan .us, bukan .com.

Beberapa negara asing telah mengadopsi kombinasi nama domain geografis dan organisasi. Misalnya, universitas di Inggris Raya mendaftarkan di bawah domain:

ac.uk

di mana ac adalah singkatan dari academic, dan uk adalah kode negara resmi untuk Inggris Raya.

#### 4.17 Nama Domain yang Dimulai dengan www

Banyak organisasi menetapkan nama domain yang mencerminkan layanan yang disediakan komputer. Misalnya, komputer yang menjalankan server untuk File Transfer Protocol mungkin diberi nama:

ftp.foobar.com

Demikian pula, komputer yang menjalankan server web, mungkin diberi nama:

www.foobar.com

Nama-nama seperti itu bersifat mnemonik, tetapi tidak diperlukan. Secara khusus, penggunaan www untuk menamai komputer yang menjalankan server web hanyalah sebuah konvensi — komputer arbitrer dapat menjalankan server web, bahkan jika nama domain komputer tidak mengandung www. Selain itu, komputer yang memiliki nama domain yang diawali dengan www tidak diperlukan untuk menjalankan server web.

#### **Poin Penting**

---

*Menggunakan label pertama dalam nama domain untuk menunjukkan layanan (mis., www) hanyalah sebuah konvensi untuk membantu manusia.*



## 4.18 Hirarki DNS dan Model Server

Salah satu fitur utama Sistem Nama Domain adalah otonomi — sistem ini dirancang untuk memungkinkan setiap organisasi menetapkan nama ke komputer atau mengubah nama tersebut tanpa memberi tahu otoritas pusat. Untuk mencapai otonomi, setiap organisasi diizinkan untuk mengoperasikan server DNS untuk bagian hierarkinya. Dengan demikian, Universitas Purdue mengoperasikan server untuk nama yang diakhiri dengan `purdue.edu`, dan IBM Corporation mengoperasikan server untuk nama yang diakhiri dengan `ibm.com`. Setiap server DNS berisi informasi yang menghubungkan server ke server nama domain lainnya naik dan turun hierarki. Selanjutnya, server tertentu dapat direplikasi, sehingga ada banyak salinan fisik server. Replikasi sangat berguna untuk server yang sering digunakan, seperti server root yang menyediakan informasi tentang domain tingkat atas. Dalam kasus seperti itu, administrator harus menjamin bahwa semua salinan dikoordinasikan sehingga mereka memberikan informasi yang sama persis.

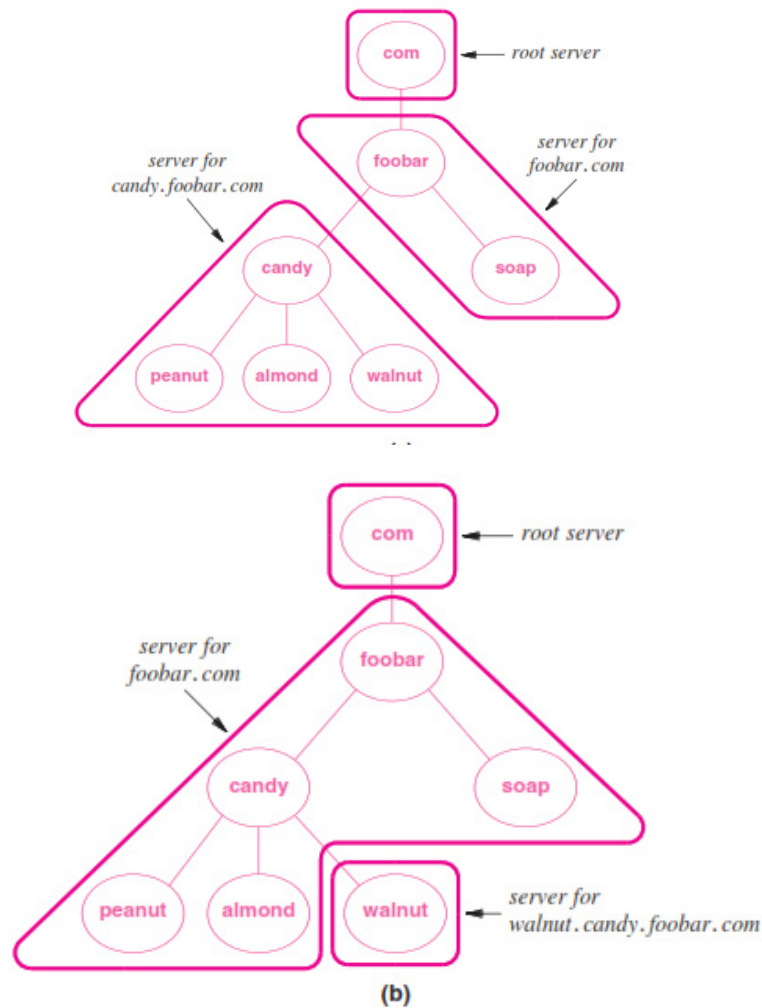
Setiap organisasi bebas memilih detail servernya. Misalnya, sebuah organisasi kecil yang hanya memiliki beberapa komputer dapat membuat kontrak dengan ISP untuk menjalankan server DNS. Sebuah organisasi besar yang menjalankan servernya sendiri dapat memilih untuk menempatkan semua nama untuk organisasi tersebut dalam satu server fisik, atau dapat memilih untuk membagi namanya di antara beberapa server. Misalnya, Gambar 4.17 mengilustrasikan bagaimana Hipotetis Foobar Corporation mungkin memilih untuk menyusun server jika korporasi memiliki divisi permen dan divisi sabun.

## 4.19 Resolusi Nama

Penerjemahan nama domain menjadi alamat disebut resolusi nama, dan nama tersebut dikatakan diselesaikan ke alamat. Perangkat lunak untuk melakukan terjemahan dikenal sebagai penyelesai nama (atau hanya penyelesai). Di API socket, misalnya, resolver dipanggil dengan memanggil fungsi `gethostbyname`. Penyelesai menjadi klien, menghubungi server DNS, dan mengembalikan jawaban ke pemanggil.

Setiap resolver dikonfigurasi dengan alamat satu atau lebih server nama domain lokal. Penyelesai membentuk pesan permintaan DNS, mengirim pesan ke server lokal, dan menunggu server mengirim pesan balasan DNS yang berisi jawabannya. Penyelesai dapat memilih untuk menggunakan aliran atau paradigma pesan saat berkomunikasi dengan server DNS; kebanyakan resolver dikonfigurasi untuk menggunakan paradigma pesan karena menerapkan lebih sedikit overhead untuk permintaan kecil.

Sebagai contoh resolusi nama, pertimbangkan hierarki server yang diilustrasikan Gambar 4.10a, dan asumsikan komputer di divisi sabun menghasilkan permintaan untuk nama `chocolate.candy.foobar.com`. Penyelesai akan dikonfigurasi untuk mengirim permintaan ke server DNS lokal (yaitu, server untuk `foobar.com`). Meskipun tidak dapat menjawab permintaan, server mengetahui untuk menghubungi server `candy.foobar.com`, yang dapat menghasilkan jawaban.



Gambar 4.10 Hirarki DNS hipotetis dan dua kemungkinan pemberian nama ke server.

## 4.20 Caching di Server DNS

Lokalitas prinsip referensi yang membentuk dasar untuk caching berlaku untuk Sistem Nama Domain dalam dua cara:

- Spasial: Pengguna cenderung mencari nama komputer lokal lebih sering daripada nama komputer jarak jauh
- Temporal: Seorang pengguna cenderung mencari kumpulan nama domain yang sama berulang kali

Kita telah melihat bagaimana DNS mengeksplotasi lokalitas spasial: penyelesaian nama menghubungi server lokal terlebih dahulu. Untuk mengeksplotasi lokalitas temporal, server DNS menyimpan semua pencarian. Algoritma 4.4 merangkum proses.

Menurut algoritme, ketika permintaan tiba untuk nama di luar set yang menjadi otoritas server, interaksi klien-server lebih lanjut akan terjadi. Server untuk sementara menjadi klien dari server nama lain. Ketika server lain mengembalikan jawaban, server asli menyimpan jawaban dan mengirimkan salinan jawaban kembali ke resolver tempat permintaan tersebut tiba. Jadi, selain mengetahui alamat semua server di bawah hierarki, setiap server DNS harus mengetahui alamat server root.

Pertanyaan mendasar dalam semua caching berkaitan dengan lamanya waktu item harus di-cache — jika item di-cache terlalu lama, item tersebut akan menjadi basi. DNS memecahkan masalah dengan mengatur server otoritatif untuk menentukan batas waktu cache untuk setiap item. Jadi, ketika server lokal mencari nama, responsnya terdiri dari Catatan Sumber Daya yang menentukan batas waktu cache serta jawaban. Setiap kali server menyimpan jawaban, server menghormati batas waktu yang ditentukan dalam Catatan Sumber Daya.

#### Algoritma 4.4

Diberikan:

Pesan permintaan dari penyelesaian nama DNS

Menyediakan:

Pesan tanggapan yang berisi alamat

Metode:

```
Ekstrak nama, N, dari permintaan if ( server adalah otoritas untuk N ) {  
  Formulir dan kirim tanggapan kepada pemohon;  
  else if ( jawaban untuk N ada di cache ) {  
    Formulir dan kirim tanggapan kepada pemohon;  
    else { /* Perlu mencari jawaban */  
      if (server otoritas untuk N diketahui) { Kirim permintaan ke server otoritas;  
        } kalau tidak {  
          Kirim permintaan ke server root;  
        }  
      Terima respons dan tempatkan di cache;  
      Formulir dan kirim tanggapan kepada pemohon;  
    }  
  }
```

*Algoritma 4.4 Langkah-langkah yang diambil server DNS untuk menyelesaikan sebuah nama.*

#### Poin Penting

*Karena setiap Catatan Sumber Daya DNS yang dihasilkan oleh server otoritatif menentukan batas waktu cache, item dapat dihapus dari cache DNS saat menjadi basi.*

Caching DNS tidak berhenti pada server: resolver juga dapat men-cache item. Sebenarnya, perangkat lunak resolver di sebagian besar sistem komputer menyimpan jawaban dari pencarian DNS, yang berarti bahwa permintaan yang berurutan untuk nama yang sama tidak perlu menggunakan jaringan karena resolver dapat memenuhi permintaan dari cache pada disk lokal.

## 4.21 Jenis Entri DNS

Setiap entri dalam database DNS terdiri dari tiga item: nama domain, jenis catatan, dan nilai. Jenis rekaman menentukan bagaimana nilai akan diinterpretasikan (misalnya, bahwa nilainya adalah alamat IP). Lebih penting lagi, kueri yang dikirim ke server DNS menentukan nama domain dan tipe; server hanya mengembalikan pengikatan yang cocok dengan jenis kueri. Jenis utama memetakan nama domain ke alamat IP. DNS mengklasifikasikan binding seperti tipe A, dan pencarian tipe A digunakan oleh aplikasi seperti FTP, ping, atau browser. DNS mendukung beberapa tipe lain, termasuk tipe MX yang menentukan Mail eXchanger. Saat mencari nama di alamat email, SMTP menggunakan tipe MX. Jawaban yang dikembalikan server cocok dengan tipe yang diminta. Dengan demikian, sistem email akan menerima jawaban yang cocok dengan tipe MX.

### Poin Penting

*Setiap entri di server DNS memiliki tipe. Saat penyelesai mencari nama, penyelesai menentukan jenis yang diinginkan, dan server DNS hanya mengembalikan entri yang cocok dengan jenis yang ditentukan.*

Sistem jenis DNS dapat menghasilkan hasil yang tidak diharapkan karena alamat yang dikembalikan dapat bergantung pada jenisnya. Misalnya, perusahaan dapat memutuskan untuk menggunakan nama perusahaan.com untuk layanan web dan email. Dengan DNS, perusahaan dapat membagi beban kerja antara komputer yang terpisah dengan memetakan pencarian tipe A ke satu komputer dan mengetik pencarian MX ke komputer lain. Kerugian dari skema tersebut adalah bahwa tampaknya berlawanan dengan intuisi manusia — dimungkinkan untuk mengirim email ke korporasi.com bahkan jika tidak mungkin untuk mengakses server web atau melakukan ping ke komputer.

## 4.22 Alias Dan Catatan Sumber Daya CNAME

DNS menawarkan jenis CNAME yang analog dengan tautan simbolis dalam sistem file — entri tersebut menyediakan alias untuk entri DNS lain. Untuk memahami bagaimana alias dapat berguna, misalkan Foobar Corporation memiliki dua komputer bernama hobbles.fooobar.com dan calvin.fooobar.com. Selanjutnya anggaplah Foobar memutuskan untuk menjalankan server web pada hobi komputer, dan ingin mengikuti konvensi menggunakan nama www untuk komputer yang menjalankan server web organisasi. Meskipun organisasi dapat memilih untuk mengganti nama komputer hobbles, ada solusi yang jauh lebih mudah: organisasi dapat membuat entri CNAME untuk www.fooobar.com yang menunjuk ke hobbles. Setiap kali resolver mengirimkan permintaan untuk www.fooobar.com, server mengembalikan alamat komputer hobbles.

Penggunaan alias sangat nyaman karena memungkinkan organisasi mengubah komputer yang digunakan untuk layanan tertentu tanpa mengubah nama atau alamat komputer. Misalnya, Foobar Corporation dapat memindahkan layanan webnya dari komputer hobbles ke komputer calvin dengan memindahkan server dan mengubah catatan CNAME di server DNS — kedua komputer mempertahankan nama asli dan alamat IP mereka. Penggunaan alias juga memungkinkan organisasi untuk mengaitkan beberapa alias dengan satu komputer. Dengan demikian, Foobar corporation dapat menjalankan server FTP dan server web di komputer yang sama, dan dapat membuat catatan CNAME:

www.fooobar.com  
ftp.fooobar.com

## 4.23 Singkatan dan DNS

DNS tidak menyertakan singkatan — server hanya merespons nama lengkap. Namun, sebagian besar resolver dapat dikonfigurasi dengan serangkaian sufiks yang memungkinkan pengguna menyingkat nama. Misalnya, setiap resolver di Foobar Corporation mungkin diprogram untuk mencari nama dua kali: sekali tanpa perubahan dan sekali dengan akhiran foobar.com ditambahkan. Jika pengguna memasukkan nama domain lengkap, server lokal akan mengembalikan alamat, dan pemrosesan akan dilanjutkan. Jika pengguna memasukkan nama singkatan, penyelesaian pertama akan mencoba untuk menyelesaikan nama dan akan menerima kesalahan karena tidak ada nama tersebut. Penyelesai kemudian akan mencoba menambahkan sufiks dan mencari nama yang dihasilkan. Karena resolver berjalan di komputer pribadi pengguna, pendekatan ini memungkinkan setiap pengguna untuk memilih urutan sufiks yang dicoba.

Tentu saja, mengizinkan setiap pengguna untuk mengonfigurasi penyelesaian mereka untuk menangani singkatan memiliki kelemahan: nama yang dimasukkan pengguna tertentu dapat berbeda dari nama yang dimasukkan pengguna lain. Jadi, jika pengguna berkomunikasi nama satu sama lain (misalnya, dengan mengirimkan nama domain dalam pesan email), masing-masing harus berhati-hati untuk menentukan nama lengkap dan bukan singkatan.

## 4.24 Nama Domain Internasional

Karena menggunakan rangkaian karakter ASCII, DNS tidak dapat menyimpan nama dalam abjad yang tidak direpresentasikan dalam ASCII. Secara khusus, bahasa seperti Rusia, Yunani, Cina, dan Jepang masing-masing berisi karakter yang tidak memiliki representasi ASCII. Banyak bahasa Eropa menggunakan tanda diakritik yang tidak dapat direpresentasikan dalam ASCII.

Selama bertahun-tahun, IETF memperdebatkan modifikasi dan ekstensi DNS untuk mengakomodasi nama domain internasional. Setelah mempertimbangkan banyak proposal, IETF memilih pendekatan yang dikenal sebagai Internationalizing Domain Names in Applications (IDNA). Alih-alih memodifikasi DNS yang mendasarinya, IDNA menggunakan ASCII untuk menyimpan semua nama. Artinya, ketika diberi nama domain yang berisi karakter non-ASCII, IDNA menerjemahkan nama tersebut ke dalam urutan karakter ASCII, dan menyimpan hasilnya di DNS. Saat pengguna mencari nama, terjemahan yang sama diterapkan untuk mengubah nama menjadi string ASCII dan string ASCII yang dihasilkan ditempatkan dalam kueri DNS. Intinya, IDNA bergantung pada aplikasi untuk menerjemahkan antara set karakter internasional yang dilihat pengguna dan formulir ASCII internal yang digunakan dalam DNS.

Aturan untuk menerjemahkan nama domain internasional rumit dan menggunakan Unicode. Intinya, terjemahan diterapkan ke setiap label dalam nama domain, dan menghasilkan label dalam bentuk:

$$xn-- \alpha\beta$$

di mana xn-- adalah string empat karakter yang dicadangkan yang menunjukkan label adalah nama internasional, adalah subset karakter dari label asli yang dapat direpresentasikan dalam ASCII, dan adalah string karakter ASCII tambahan yang memberi tahu IDNA aplikasi cara memasukkan karakter non-ASCII ke dalam untuk membentuk versi label yang dapat dicetak.

Versi terbaru dari browser yang banyak digunakan, Firefox dan Internet Explorer, dapat menerima dan menampilkan nama domain non-ASCII karena masing-masing mengimplementasikan IDNA. Jika aplikasi tidak mengimplementasikan IDNA, hasilnya mungkin tampak aneh bagi pengguna. Artinya,

ketika aplikasi yang tidak mengimplementasikan IDNA menampilkan nama domain internasional, pengguna akan melihat bentuk internal yang digambarkan di atas, termasuk string awal xn-- dan bagian selanjutnya  $\alpha$  dan  $\beta$ .

### **Poin Penting**

*Standar IDNA untuk nama domain internasional mengkodekan setiap label sebagai string ASCII, dan bergantung pada aplikasi untuk menerjemahkan antara set karakter yang diharapkan pengguna dan versi yang dikodekan yang disimpan dalam DNS.*

## **4.25 Representasi yang Dapat Diperluas (XML)**

Protokol aplikasi tradisional yang tercakup dalam bab ini masing-masing menggunakan representasi tetap. Artinya, protokol aplikasi menentukan satu set pesan yang tepat yang dapat dipertukarkan oleh klien dan server serta bentuk data yang tepat yang menyertai pesan tersebut. Kerugian utama dari pendekatan tetap muncul dari kesulitan yang terlibat dalam membuat perubahan. Misalnya, karena standar email membatasi konten pesan ke teks, perubahan besar diperlukan untuk menambahkan ekstensi MIME.

Alternatif untuk representasi tetap adalah sistem yang dapat diperluas yang memungkinkan pengirim menentukan format data. Satu standar untuk representasi yang dapat diperluas telah diterima secara luas: Extensible Markup Language (XML). XML menyerupai HTML dalam arti bahwa kedua bahasa menyematkan tag ke dalam dokumen teks. Tidak seperti HTML, tag dalam XML tidak ditentukan secara apriori dan tidak sesuai dengan perintah pemformatan. Sebaliknya, XML menjelaskan struktur data dan memberikan nama untuk setiap bidang. Tag dalam XML seimbang — setiap kemunculan tag `<X>` harus diikuti oleh kemunculan `</X>`. Selanjutnya, karena XML tidak memberikan arti apapun pada tag, nama tag dapat dibuat sesuai kebutuhan. Secara khusus, nama tag dapat dipilih untuk membuat data mudah diurai atau diakses. Misalnya, jika dua perusahaan setuju untuk bertukar direktori telepon perusahaan, mereka dapat menentukan format XML yang memiliki item data seperti nama karyawan, nomor telepon, dan kantor. Perusahaan dapat memilih untuk lebih membagi nama menjadi nama belakang dan nama depan. Gambar 4.11 berisi sebuah contoh.

```
<ADDRESS>
<NAME>
<FIRST> John </FIRST>
<LAST> Public </LAST>
</NAME>
<OFFICE> Room 320 </OFFICE>
<PHONE> 765-555-1234 </PHONE>
</ADDRESS>
```

*Gambar 4.11 Contoh XML untuk buku telepon perusahaan.*

## 4.26 Ringkasan

Protokol lapisan aplikasi, diperlukan untuk layanan standar, mendefinisikan representasi data dan aspek transfer data komunikasi. Protokol representasi yang digunakan dengan World Wide Web termasuk HyperText Markup Language (HTML) dan standar URL. Protokol transfer web, yang dikenal sebagai HyperText Transfer Protocol (HTTP), menentukan bagaimana browser berkomunikasi dengan server web untuk mengunduh atau mengunggah konten. Untuk mempercepat unduhan, browser menyimpan konten halaman dalam cache dan menggunakan perintah HTTP HEAD untuk meminta informasi status tentang halaman tersebut. Jika versi yang di-cache tetap terkini, browser menggunakan versi yang di-cache; jika tidak, browser mengeluarkan permintaan GET untuk mengunduh salinan baru.

HTTP menggunakan pesan tekstual. Setiap respons dari server dimulai dengan header yang menjelaskan respons. Baris di header dimulai dengan nilai numerik, direpresentasikan sebagai digit ASCII, yang memberi tahu status (mis., apakah permintaan salah). Data yang mengikuti header dapat berisi nilai biner arbitrer.

File Transfer Protocol (FTP) sering digunakan untuk mengunduh file. FTP membutuhkan klien untuk masuk ke sistem server; FTP mendukung login tamu anonim dan sandi untuk akses file publik. Aspek yang paling menarik dari FTP muncul dari penggunaan koneksi yang tidak biasa. Klien membuat koneksi kontrol yang digunakan untuk mengirim serangkaian perintah. Setiap kali server perlu mengirim data (misalnya, unduhan file atau daftar direktori), server bertindak sebagai klien dan klien bertindak sebagai server. Artinya, server memulai koneksi data baru ke klien. Setelah satu file telah dikirim, koneksi data ditutup.

Tiga jenis protokol lapisan aplikasi digunakan dengan surat elektronik: transfer, representasi, dan akses. Simple Mail Transfer Protocol berfungsi sebagai standar transfer kunci; SMTP hanya dapat mentransfer pesan tekstual. Ada dua standar representasi untuk email: RFC 2822 mendefinisikan format pesan email menjadi header dan isi yang dipisahkan oleh baris kosong. Standar Multi-purpose Internet Mail Extensions (MIME) mendefinisikan mekanisme untuk mengirim file biner sebagai lampiran ke pesan email. MIME menyisipkan baris header tambahan yang memberitahu penerima bagaimana menafsirkan pesan. MIME membutuhkan pengirim untuk mengkodekan file sebagai teks yang dapat dicetak.

Protokol akses email, seperti POP3 dan IMAP, mengizinkan pengguna untuk mengakses kotak surat. Access menjadi populer karena pelanggan dapat mengizinkan ISP untuk menjalankan server email dan memelihara kotak surat pengguna.

Domain Name System (DNS) menyediakan pemetaan otomatis dari nama yang dapat dibaca manusia ke alamat komputer. DNS terdiri dari banyak server yang masing-masing mengontrol satu bagian dari namespace. Server diatur dalam hierarki, dan server mengetahui lokasi server dalam hierarki. DNS menggunakan caching untuk menjaga efisiensi; ketika server otoritatif memberikan jawaban, setiap server yang mentransfer jawaban juga menempatkan salinan di cache-nya. Untuk mencegah salinan yang di-cache menjadi basi, otoritas untuk sebuah nama menentukan berapa lama nama tersebut dapat di-cache.



## Latihan

---

1. Detail apa yang ditentukan oleh protokol aplikasi?
2. Mengapa protokol untuk layanan standar didokumentasikan secara independen dari implementasi?
3. Apa dua aspek kunci dari protokol aplikasi, dan apa saja yang termasuk di dalamnya?
4. Berikan contoh protokol web yang menggambarkan masing-masing dari dua aspek protokol aplikasi.
5. Meringkas karakteristik HTML.
6. Apa saja empat bagian URL, dan tanda baca apa yang digunakan untuk memisahkan bagian-bagian tersebut?
7. Apa saja empat jenis permintaan HTTP, dan kapan masing-masing digunakan?
8. Bagaimana browser mengetahui apakah permintaan HTTP secara sintaksis salah atau apakah item yang dirujuk tidak ada?
9. Apa yang dimaksud dengan cache browser, dan mengapa cache digunakan?
10. Jelaskan langkah-langkah yang dilakukan browser untuk menentukan apakah akan menggunakan item dari cache-nya.
11. Dapatkah browser menggunakan protokol transfer selain HTTP? Menjelaskan.
12. Ketika pengguna meminta daftar direktori FTP, berapa banyak koneksi TCP yang terbentuk?
13. Jelaskan.
14. Benar atau salah: ketika pengguna menjalankan aplikasi FTP, aplikasi tersebut bertindak sebagai klien dan server. Jelaskan jawabanmu.
15. Bagaimana server FTP mengetahui nomor port yang digunakan untuk koneksi data?
16. Menurut paradigma email asli, apakah pengguna dapat menerima email jika komputer pengguna tidak menjalankan server email? Menjelaskan.
17. Sebutkan tiga jenis protokol yang digunakan dengan email, dan jelaskan masing-masing.
18. Apa saja ciri-ciri SMTP?
19. Dapatkah SMTP mentransfer pesan email yang berisi titik pada baris dengan sendirinya? Mengapa atau mengapa tidak?
20. Di mana protokol akses email digunakan?
21. Apa saja dua protokol akses email utama?
22. Mengapa MIME ditemukan?
23. Apa tujuan keseluruhan dari Sistem Nama Domain? Benar atau salah: server web harus memiliki
24. Benar atau salah: perusahaan multi-nasional dapat memilih untuk membagi hierarki nama domainnya sedemikian rupa sehingga perusahaan tersebut memiliki server nama domain di Eropa, satu di Asia, dan satu di Amerika Utara.
25. Kapan server nama domain mengirim permintaan ke server otoritatif dan kapan menjawab permintaan tanpa mengirim ke server otoritatif?
26. Benar atau salah: server DNS dapat mengembalikan alamat IP yang berbeda untuk nama yang diberikan, tergantung pada apakah pencarian menentukan email atau layanan web. Menjelaskan.
27. Apakah standar IDNA memerlukan perubahan pada server DNS? di klien DNS? Menjelaskan.
28. Telusuri web untuk mencari tahu tentang pencarian DNS berulang. Dalam keadaan apa pencarian iteratif digunakan?
29. Bagaimana XML mengizinkan aplikasi untuk menentukan bidang seperti nama dan alamat?

**BAGIAN II**  
**Komunikasi Data**  
**Dasar-Dasar Media, Encoding, Transmisi,**  
**Modulasi, Multiplexing, Koneksi, dan**  
**Akses Jarak Jauh**

---

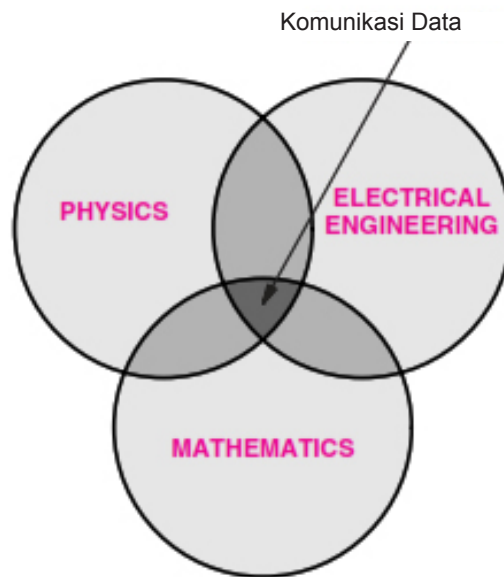
### Bab ini akan membahas tentang:

- transmisi informasi melalui media fisik, seperti kabel, serat optik, dan gelombang radio
- komunikasi data dan menjelaskan bagaimana potongan-potongan konseptual membentuk sistem komunikasi yang lengkap

### 5.1 Esensi Komunikasi Data

Pengertian lain komunikasi data yaitu transmisi data elektronik melalui beberapa media (kabel koaksial, fiber optik, microwave dsb). Sistem yang mungkin terjadinya transmisi data sering disebut sebagai jaringan komunikasi data. Di zaman *convergence* ini, komunikasi data tidak hanya dapat dilakukan oleh komputer dengan komputer, tetapi juga dengan peralatan komunikasi lain yang mendukung untuk melakukan komunikasi data.

Pada dasarnya Komunikasi data adalah proses pengiriman dan penerimaan data/informasi dari dua atau lebih alat (bahasa Inggris: device) (seperti komputer / laptop / smartphone / printer / dan alat komunikasi lain) yang terhubung dalam sebuah jaringan. Baik lokal maupun yang luas, seperti internet. Pada dasarnya komunikasi data merupakan proses pengiriman informasi di antara dua titik menggunakan kode biner melewati saluran transmisi dan peralatan switching, bisa antara komputer dan komputer, komputer dengan terminal, atau komputer dengan peralatan, atau peralatan dengan peralatan. Seperti yang diilustrasikan Gambar 5.1, subjeknya merupakan kombinasi yang menarik dari ide dan pendekatan dari tiga disiplin ilmu. Komunikasi data merupakan pertukaran data antara dua perangkat atau lebih melalui suatu media transmisi seperti kabel. Agar komunikasi data bisa terjadi, perangkat harus saling berkomunikasi atau saling terhubung menjadi sebuah bagian dari sistem komunikasi, perangkat tersebut terdiri kombinasi hardware dan software.



Gambar 5.1 Subyek komunikasi data terletak di persimpangan Fisika, Matematika, dan Teknik Elektro.

Karena melibatkan transmisi informasi melalui media fisik, komunikasi data menyentuh fisika. Subjek mengacu pada ide-ide tentang arus listrik, cahaya, dan bentuk lain dari radiasi elektro-magnetik. Karena informasi didigitalkan dan data digital ditransmisikan, komunikasi data menggunakan matematika dan mencakup berbagai bentuk analisis. Akhirnya, karena tujuan akhirnya adalah untuk mengembangkan cara-cara praktis untuk merancang dan membangun sistem transmisi, komunikasi data berfokus pada pengembangan teknik yang dapat digunakan oleh insinyur listrik. Intinya adalah: Meskipun mencakup konsep-konsep dari fisika dan matematika, komunikasi data tidak hanya menawarkan teori-teori abstrak. Sebaliknya, komunikasi data memberikan landasan yang digunakan untuk membangun sistem komunikasi praktis.

## 5.2 Motivasi Dan Ruang Lingkup Mata Pelajaran

Tiga ide utama memberikan banyak motivasi untuk komunikasi data dan membantu menentukan ruang lingkup.

- Sumber informasi bisa dari jenis yang sewenang-wenang
- Transmisi menggunakan sistem fisik
- Berbagai sumber informasi dapat berbagi media yang mendasarinya

Poin pertama sangat relevan mengingat popularitas aplikasi multimedia: informasi tidak terbatas pada bit yang telah disimpan di komputer. Sebaliknya, informasi juga dapat diturunkan dari dunia fisik, termasuk audio dan video. Oleh karena itu, penting untuk memahami kemungkinan sumber dan bentuk informasi dan cara satu bentuk dapat diubah menjadi bentuk lain.

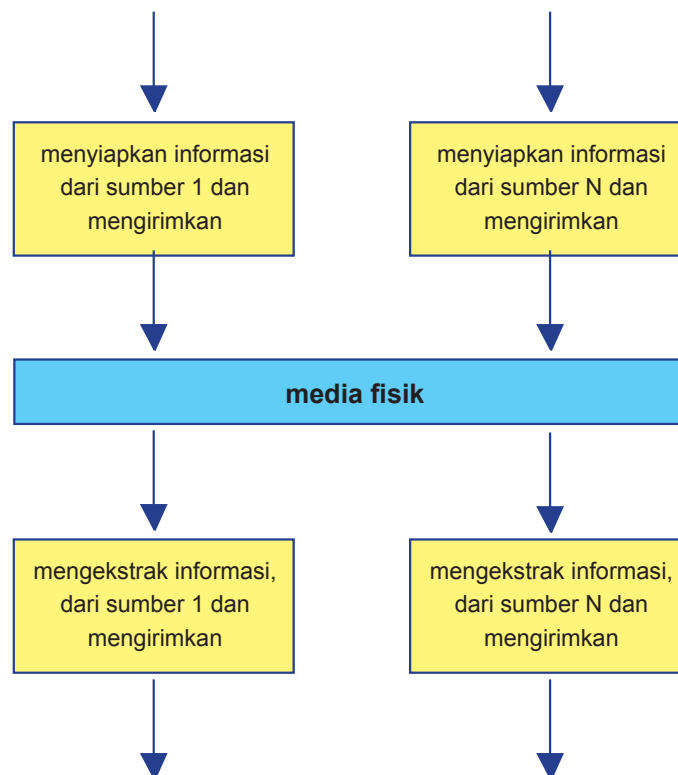
Poin kedua menyarankan bahwa kita harus menggunakan fenomena alam, seperti listrik dan radiasi elektromagnetik, untuk mengirimkan informasi. Dengan demikian, penting untuk memahami jenis media yang tersedia dan sifat masing-masing. Selanjutnya, kita harus memahami bagaimana fenomena fisik dapat digunakan untuk mengirimkan informasi melalui setiap media, dan hubungan

antara komunikasi data dan transmisi yang mendasarinya. Akhirnya, kita harus memahami batasan sistem fisik, masalah yang dapat muncul selama transmisi, dan teknik yang dapat digunakan untuk mendeteksi atau memecahkan masalah.

Poin ketiga menunjukkan bahwa berbagi itu fundamental. Memang, kita akan melihat bahwa berbagi memainkan peran mendasar di sebagian besar jaringan komputer. Artinya, jaringan biasanya mengizinkan beberapa pasang entitas yang berkomunikasi untuk berkomunikasi melalui media fisik tertentu. Oleh karena itu, penting untuk memahami cara-cara yang memungkinkan untuk berbagi fasilitas yang mendasari, kelebihan dan kekurangan masing-masing, dan mode komunikasi yang dihasilkan.

### 5.3 Potongan Konseptual Sistem Komunikasi

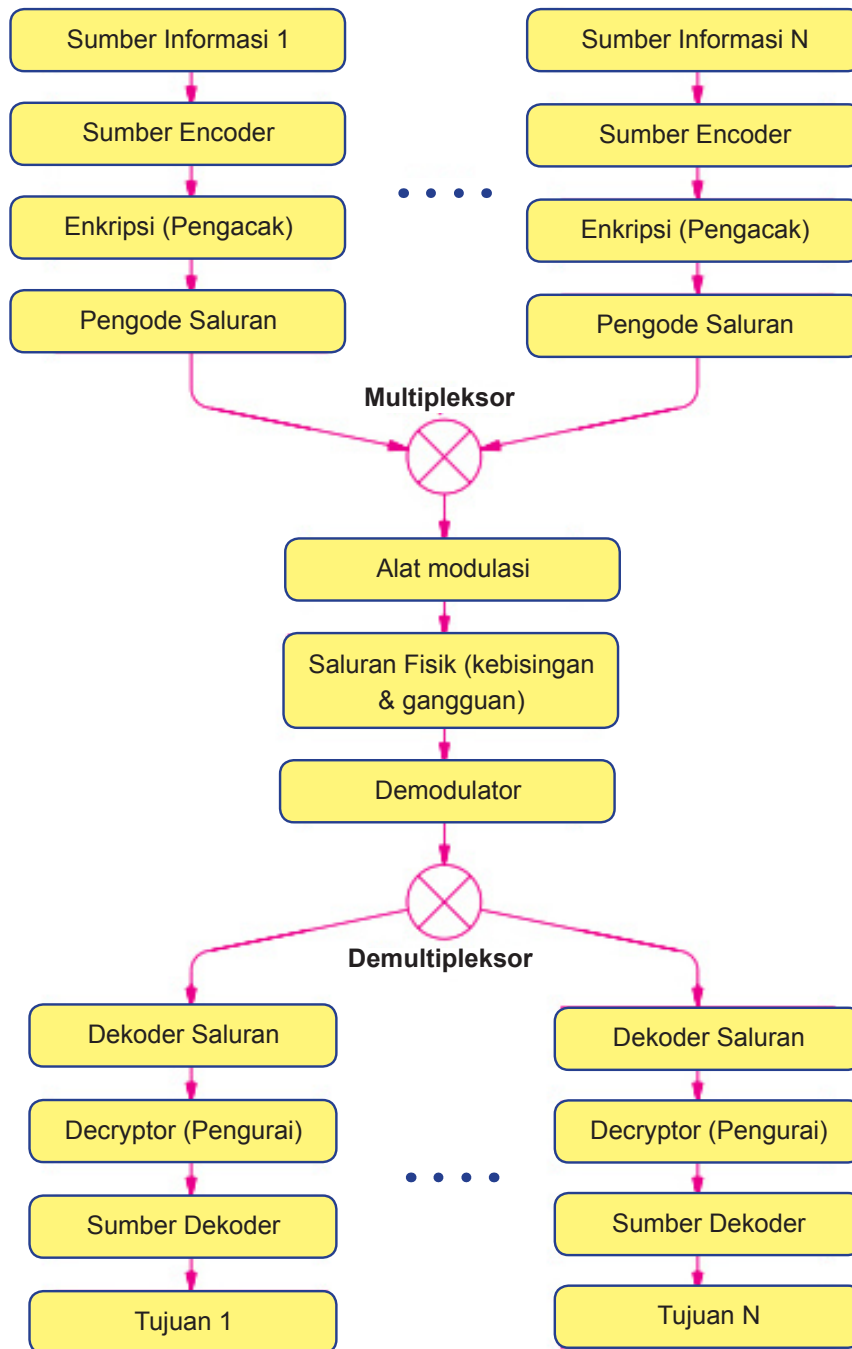
Untuk memahami komunikasi data, bayangkan sistem komunikasi yang berfungsi yang mengakomodasi banyak sumber informasi, dan memungkinkan setiap sumber untuk mengirim ke tujuan yang terpisah. Tampaknya komunikasi dalam sistem seperti itu sangat mudah. Setiap sumber membutuhkan mekanisme untuk mengumpulkan informasi, menyiapkan informasi untuk transmisi, dan mengirimkan informasi melalui media fisik bersama. Demikian pula, diperlukan mekanisme yang mengekstrak informasi untuk tujuan dan menyampaikan informasi. Gambar 5.2 mengilustrasikan tampilan sederhana.



Gambar 5.2 Tampilan sederhana dari komunikasi data dengan sekumpulan sumber yang dikirim ke sekumpulan tujuan melalui media bersama.

Dalam praktiknya, komunikasi data jauh lebih kompleks daripada yang ditunjukkan oleh diagram sederhana pada Gambar 5.2. Karena informasi dapat datang dari berbagai jenis sumber, teknik yang digunakan untuk menangani sumber bervariasi. Sebelum dapat dikirim, informasi harus didigitalkan, dan data tambahan harus ditambahkan untuk melindungi dari kesalahan. Jika privasi menjadi perhatian,

informasi tersebut mungkin perlu dienkripsi. Untuk mengirim beberapa aliran informasi melalui mekanisme komunikasi bersama, informasi dari setiap sumber harus diidentifikasi, dan data dari semua sumber harus dicampur untuk transmisi. Oleh karena itu, diperlukan suatu mekanisme untuk mengidentifikasi setiap sumber, dan menjamin bahwa informasi dari satu sumber tidak tertukar dengan informasi dari sumber lain.



Gambar 5.3 Kerangka konseptual untuk sistem komunikasi data. Beberapa sumber mengirim ke beberapa tujuan melalui saluran fisik yang mendasarinya.

Untuk menjelaskan aspek utama dari komunikasi data, para insinyur telah menurunkan kerangka kerja konseptual yang menunjukkan bagaimana setiap subtopik cocok dengan sistem komunikasi. Idenya adalah bahwa setiap item dalam kerangka dapat dipelajari secara independen, dan setelah semua bagian telah diperiksa, seluruh subjek akan dipahami. Gambar 5.3 mengilustrasikan kerangka

kerja, dan menunjukkan bagaimana aspek konseptual sesuai dengan keseluruhan organisasi sistem komunikasi.

## 5.4 Subtopik Komunikasi Data

Masing-masing kotak pada Gambar 5.3 sesuai dengan satu subtopik komunikasi data. Paragraf berikut menjelaskan terminologi tersebut. Bab-bab yang berurutan masing-masing membahas salah satu subtopik konseptual.

- **Sumber informasi**  
Sumber informasi dapat berupa analog atau digital. Konsep penting mencakup karakteristik sinyal, seperti amplitudo, frekuensi, dan fase, dan klasifikasi sebagai periodik atau aperiodik. Selain itu, subtopik berfokus pada konversi antara representasi analog dan digital dari informasi.
- **Sumber Encoder dan Decoder**  
Setelah informasi didigitalkan, representasi digital dapat diubah dan diubah. Konsep penting termasuk kompresi data dan konsekuensi untuk komunikasi.
- **Encryptor dan Decryptor**  
Untuk melindungi informasi dan menjaga kerahasiaannya, informasi dapat dienkripsi (yaitu, diacak) sebelum dikirim dan didekripsi saat diterima. Konsep penting termasuk teknik kriptografi dan algoritma.
- **Saluran Encoder dan Decoder**  
Pengkodean saluran digunakan untuk mendeteksi dan memperbaiki kesalahan transmisi. Topik penting mencakup metode untuk mendeteksi dan membatasi kesalahan, dan teknik praktis seperti pemeriksaan paritas, checksum, dan kode redundansi siklik yang digunakan dalam jaringan komputer.
- **Multiplexor dan Demultiplexor**  
Multiplexing mengacu pada cara informasi dari berbagai sumber digabungkan untuk transmisi melalui media bersama. Konsep penting termasuk teknik untuk berbagi secara simultan serta teknik yang memungkinkan sumber bergiliran saat menggunakan media.
- **Modulator dan Demodulator**  
Modulasi mengacu pada cara radiasi elektromagnetik digunakan untuk mengirim informasi. Konsep mencakup skema modulasi analog dan digital, dan perangkat yang dikenal sebagai modem yang melakukan modulasi dan demodulasi.
- **Saluran Fisik dan Transmisi**  
Subtopik meliputi media transmisi dan mode transmisi. Konsep penting termasuk bandwidth, gangguan dan gangguan listrik, dan kapasitas saluran, serta mode transmisi, seperti serial dan paralel.

## 5.5 Ringkasan

Karena berhubungan dengan transmisi di media fisik dan informasi digital, komunikasi data mengacu pada fisika dan matematika. Fokusnya adalah pada teknik yang memungkinkan Insinyur Listrik untuk merancang mekanisme komunikasi praktis.



Untuk menyederhanakan pemahaman, para insinyur telah merancang kerangka kerja konseptual untuk sistem komunikasi data. Kerangka kerja membagi seluruh subjek menjadi satu set subtopik. Setiap bab berturut-turut di bagian teks ini membahas salah satu subtopik.

## LATIHAN

1. Apa tiga disiplin ilmu yang terlibat dalam komunikasi data?
2. Apa motivasi komunikasi data?
3. Apa saja bagian konseptual dari sistem komunikasi data?
4. Bagian mana dari sistem komunikasi data yang menangani input analog?
5. Bagian mana dari sistem komunikasi data yang mencegah kesalahan transmisi dari kerusakan data?

---

### Bab ini akan membahas tentang:

- kerangka konseptual untuk komunikasi data,
- mengidentifikasi aspek-aspek penting, dan
- menjelaskan bagaimana aspek-aspek tersebut sesuai
- sumber informasi dan karakteristik sinyal yang membawa informasi.

### 6.1 Sumber Informasi

Ingat bahwa sistem komunikasi menerima masukan dari satu atau lebih sumber dan mengirimkan informasi dari sumber yang diberikan ke tujuan tertentu. Untuk jaringan, seperti Internet global, sumber dan tujuan informasi adalah sepasang program aplikasi yang menghasilkan dan menggunakan data. Namun, teori komunikasi data berkonsentrasi pada sistem komunikasi tingkat rendah, dan berlaku untuk sumber informasi yang berubah-ubah. Misalnya, selain periferal komputer konvensional seperti keyboard dan mouse, sumber informasi dapat mencakup mikrofon, sensor, dan alat pengukur, seperti termometer dan timbangan. Demikian pula, tujuan dapat mencakup perangkat output audio seperti earphone dan pengeras suara serta perangkat seperti LED yang memancarkan cahaya.

Pengelompokkan tipe jaringan komputer dapat didasarkan pada beberapa kriteria. Pertama, berdasarkan distribusi sumber informasi atau data. Kedua, berdasarkan jangkauan wilayah geografis. Ketiga, berdasarkan peranan dan hubungan setiap komputer dalam proses pertukaran data, dan keempat berdasarkan media transmisi yang digunakan.

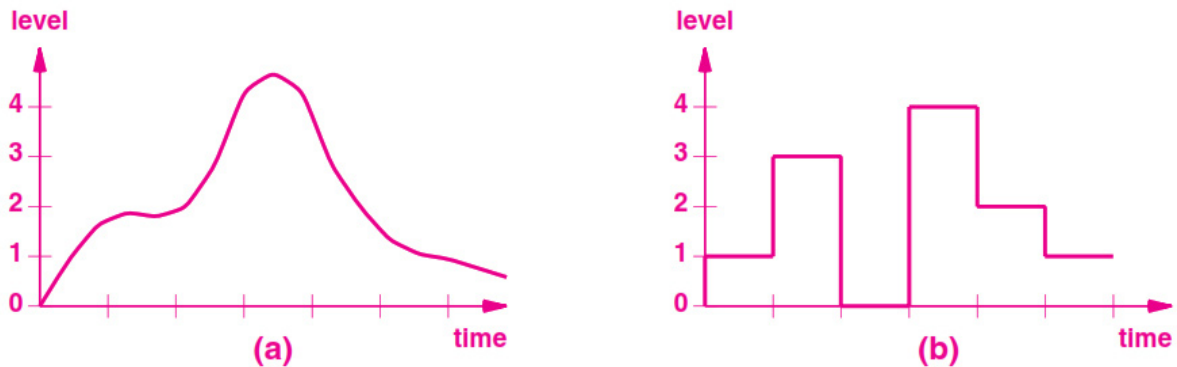
#### **Poin Penting**

---

Sepanjang studi komunikasi data, penting untuk diingat bahwa sumber informasi dapat berubah-ubah dan mencakup perangkat selain komputer.

## 6.2 Sinyal Analog Dan Digital

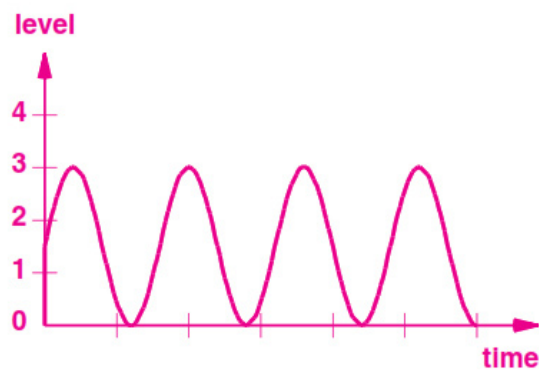
Komunikasi data berhubungan dengan dua jenis informasi: analog dan digital. Sinyal analog dicirikan oleh fungsi matematika kontinu — ketika input berubah dari satu nilai ke nilai berikutnya, ia melakukannya dengan bergerak melalui semua nilai perantara yang mungkin. Sebaliknya, sinyal digital memiliki serangkaian level valid yang tetap, dan setiap perubahan terdiri dari perpindahan seketika dari satu level valid ke level lainnya. Gambar 6.1 mengilustrasikan konsep dengan menunjukkan contoh bagaimana sinyal dari sumber analog dan sumber digital bervariasi dari waktu ke waktu. Pada gambar, sinyal analog mungkin dihasilkan jika seseorang mengukur output mikrofon, dan sinyal digital mungkin dihasilkan jika seseorang mengukur output keyboard komputer.



Gambar 6.1 Ilustrasi (a) sinyal analog, dan (b) sinyal digital.

## 6.3 Sinyal Periodik Dan Aperiodik

Sinyal secara luas diklasifikasikan sebagai periodik atau aperiodik (kadang-kadang disebut non-periodik), tergantung pada apakah mereka berulang. Misalnya, sinyal analog pada Gambar 6.1a adalah aperiodik selama interval waktu yang ditunjukkan karena sinyal tidak berulang. Gambar 6.2 mengilustrasikan sinyal yang periodik (yaitu, berulang).



Gambar 6.2 Sebuah sinyal periodik berulang.

## 6.4 Gelombang Sinus Dan Karakteristik Sinyal

Kita akan melihat bahwa sebagian besar analisis dalam komunikasi data melibatkan penggunaan fungsi trigonometri sinusoidal, terutama sinus, yang biasanya disingkat sin. Gelombang sinus sangat penting dalam sumber informasi karena fenomena alam menghasilkan gelombang sinus. Misalnya, ketika mikrofon mengambil nada yang dapat didengar, outputnya adalah gelombang sinus. Demikian pula, radiasi elektromagnetik dapat direpresentasikan sebagai gelombang sinus. Kami secara khusus akan tertarik pada gelombang sinus yang sesuai dengan sinyal yang beresilasi dalam waktu, seperti gelombang yang diilustrasikan Gambar 6.2.

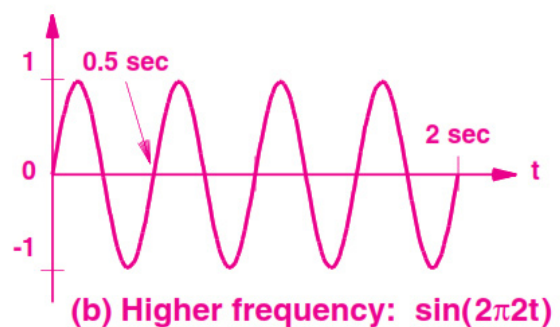
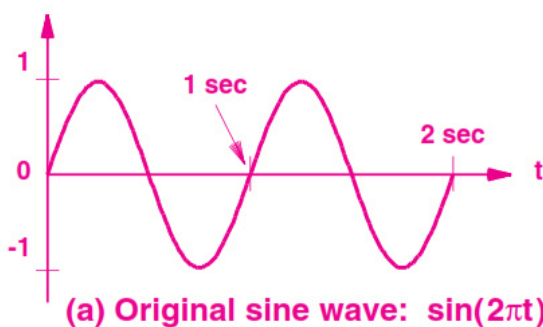
### Poin Penting

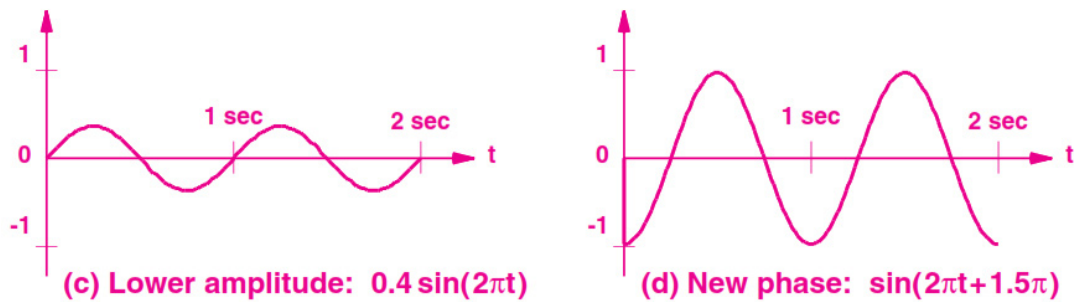
*Gelombang sinus sangat penting untuk pemrosesan input karena banyak fenomena alam menghasilkan sinyal yang sesuai dengan gelombang sinus sebagai fungsi waktu.*

Ada empat karakteristik penting dari sinyal yang berhubungan dengan gelombang sinus:

- Frekuensi: jumlah osilasi per satuan waktu (biasanya detik)
- Amplitudo: perbedaan antara ketinggian sinyal maksimum dan minimum
- Fase: seberapa jauh awal gelombang sinus bergeser dari waktu referensi
- Panjang gelombang: panjang siklus saat sinyal merambat melintasi media

Panjang gelombang ditentukan oleh kecepatan penyebaran sinyal (yaitu, adalah fungsi dari media yang mendasarinya). Tiga karakteristik lainnya dapat dinyatakan secara matematis. Amplitudo paling mudah dipahami. Ingat bahwa  $\sin(\omega t)$  menghasilkan nilai antara -1 hingga +1, dan memiliki amplitudo 1. Jadi, jika nilainya dikalikan dengan A, amplitudo gelombang yang dihasilkan adalah A. Secara matematis, fase adalah offset yang ditambahkan ke t yang menggeser gelombang sinus ke kanan atau kiri sepanjang sumbu x. Jadi,  $\sin(\omega t + \phi)$  memiliki fase  $\phi$ . Frekuensi sinyal diukur dalam jumlah siklus gelombang sinus per detik, Hertz. Gelombang sinus lengkap membutuhkan  $2\pi$  radian. Oleh karena itu, jika t adalah waktu dalam detik dan  $\omega = 2\pi$ ,  $\sin(\omega t)$  memiliki frekuensi 1 Hertz. Gambar 6.3 mengilustrasikan ketiga karakteristik matematika tersebut.





Gambar 6.3 Ilustrasi karakteristik frekuensi, amplitudo, dan fasa.

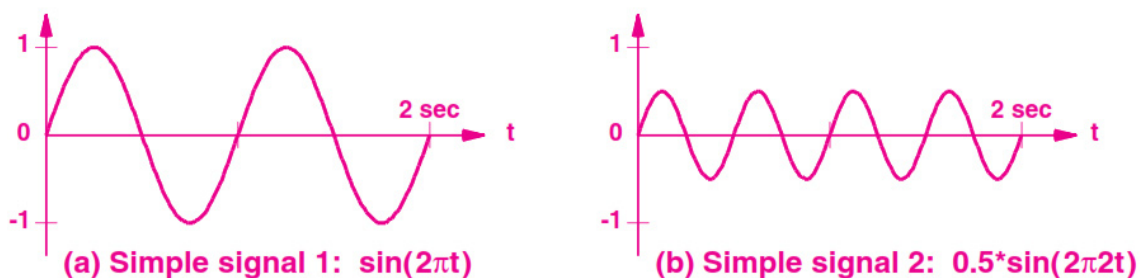
Frekuensi dapat dihitung sebagai kebalikan dari waktu yang diperlukan untuk satu siklus, yang dikenal sebagai periode. Contoh gelombang sinus pada Gambar 6.3a memiliki periode  $T=1$  detik, dan frekuensi  $1/T$  atau 1 Hertz. Contoh pada Gambar 6.3b memiliki periode  $T = 0,5$  detik, jadi frekuensinya adalah 2 Hertz; keduanya dianggap frekuensi yang sangat rendah. Sistem komunikasi tipikal menggunakan frekuensi tinggi, sering diukur dalam jutaan siklus per detik. Untuk memperjelas frekuensi tinggi, para insinyur menyatakan waktu dalam sepersekian detik atau menyatakan frekuensi dalam satuan seperti megahertz. Tabel 6.1 mencantumkan skala waktu dan awalan umum yang digunakan dengan frekuensi.

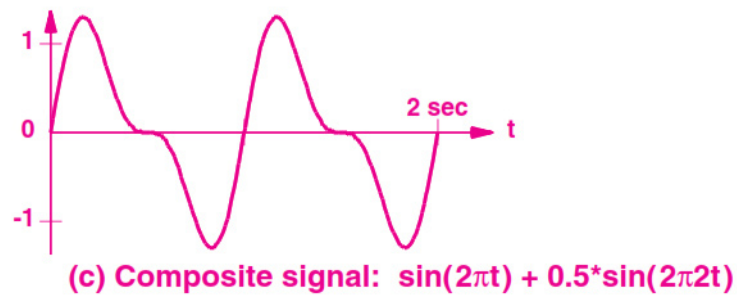
Tabel 6.1 Awalan dan singkatan untuk satuan waktu dan frekuensi.

Time Unit	Value	Frequency Unit	Value
Seconds (s)	$10^0$ seconds	Hertz (Hz)	$10^0$ Hz
Milliseconds (ms)	$10^{-3}$ seconds	Kilohertz (KHz)	$10^3$ Hz
Microseconds ( $\mu$ s)	$10^{-6}$ seconds	Megahertz (MHz)	$10^6$ Hz
Nanoseconds (ns)	$10^{-9}$ seconds	Gigahertz (GHz)	$10^9$ Hz
Picoseconds (ps)	$10^{-12}$ seconds	Terahertz (THz)	$10^{12}$ Hz

## 6.5 Sinyal Komposit

Sinyal seperti yang diilustrasikan pada Tabel 6.1 tergolong sederhana karena terdiri dari satu gelombang sinus yang tidak dapat diuraikan lebih lanjut. Dalam prakteknya, sebagian besar sinyal diklasifikasikan sebagai komposit karena sinyal dapat didekomposisi menjadi satu set gelombang sinus sederhana. Sebagai contoh, Gambar 6.4 mengilustrasikan sinyal komposit yang dibentuk dengan menambahkan dua gelombang sinus sederhana.





Gambar 6.4 Ilustrasi sinyal komposit yang terbentuk dari dua sinyal sederhana.

## 6.6 Pentingnya Sinyal Komposit Dan Fungsi Sinus

Mengapa komunikasi data tampak terobsesi dengan fungsi sinus dan sinyal komposit? Ketika kita membahas modulasi dan demodulasi, kita akan memahami salah satu alasan utama: sinyal yang dihasilkan dari modulasi biasanya sinyal komposit. Untuk saat ini, hanya penting untuk memahami motivasi bahwa modulasi biasanya membentuk sinyal komposit.

Seorang matematikawan bernama Fourier menemukan bahwa adalah mungkin untuk menguraikan sinyal komposit menjadi bagian-bagian penyusunnya, satu set fungsi sinus, masing-masing dengan frekuensi, amplitudo, dan fase. Analisis Fourier menunjukkan bahwa jika sinyal komposit periodik, bagian-bagian penyusunnya juga akan periodik. Jadi, kita akan melihat bahwa sebagian besar sistem komunikasi data menggunakan sinyal komposit untuk membawa informasi: sinyal komposit dibuat di ujung pengiriman, dan penerima menguraikan sinyal menjadi komponen sederhana asli.

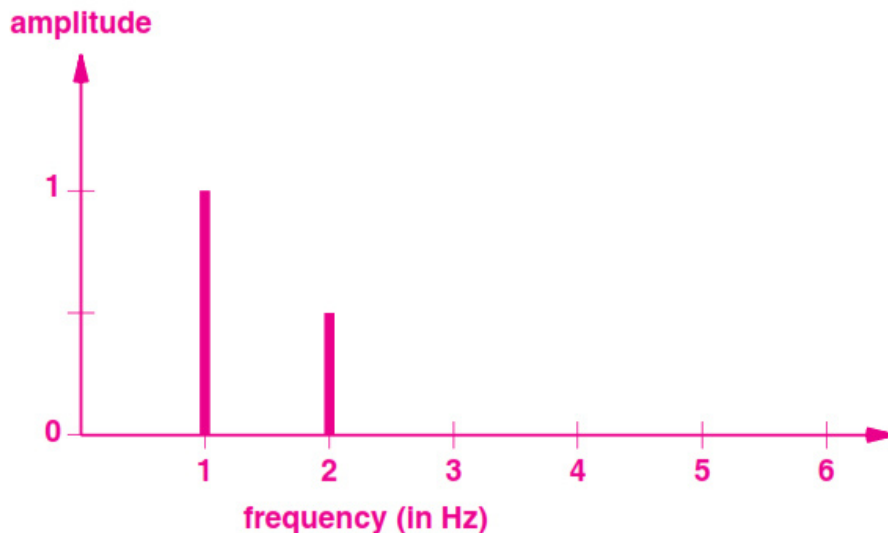
### Poin Penting

*Metode matematika yang ditemukan oleh Fourier memungkinkan penerima untuk menguraikan sinyal komposit menjadi bagian-bagian penyusunnya.*

## 6.7 Representasi Domain Waktu dan Frekuensi

Karena mereka fundamental, sinyal komposit telah dipelajari secara ekstensif, dan beberapa metode telah ditemukan untuk mewakilinya. Kita telah melihat satu representasi pada gambar sebelumnya: grafik sinyal sebagai fungsi waktu. Para insinyur mengatakan bahwa grafik seperti itu mewakili sinyal dalam domain waktu.

Alternatif utama untuk representasi domain waktu dikenal sebagai representasi domain frekuensi. Grafik domain frekuensi menunjukkan satu set gelombang sinus sederhana yang merupakan fungsi komposit. Sumbu y memberikan amplitudo, dan sumbu x memberikan frekuensi. Dengan demikian, fungsi  $A \sin(2\pi t)$  diwakili oleh satu garis tinggi A yang diposisikan pada  $x=t$ . Misalnya, grafik domain frekuensi pada Gambar 6.5 mewakili komposit dari Gambar 6.4.



Gambar 6.5 Representasi  $\sin(2\pi t)$  dan  $0.5\sin(2\pi 2t)$  dalam domain frekuensi.

Gambar tersebut menunjukkan satu set sinyal periodik sederhana. Representasi domain frekuensi juga dapat digunakan dengan sinyal nonperiodik, tetapi representasi aperiodik tidak penting untuk memahami subjek. Salah satu keuntungan dari representasi domain frekuensi muncul dari kekompakannya. Dibandingkan dengan representasi domain waktu, representasi domain frekuensi kecil dan mudah dibaca karena setiap gelombang sinus menempati satu titik di sepanjang sumbu x. Keuntungan menjadi jelas ketika sinyal komposit mengandung banyak sinyal sederhana.

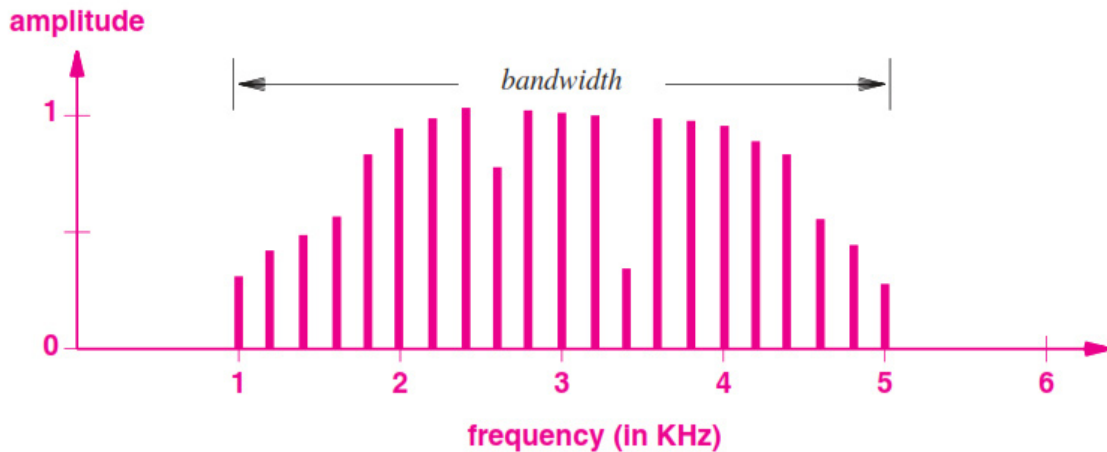
## 6.8 Bandwidth Sinyal Analog

Hampir setiap orang pernah mendengar tentang “bandwidth jaringan”, dan memahami bahwa jaringan dengan bandwidth tinggi diinginkan. Kita akan membahas definisi bandwidth jaringan nanti. Untuk saat ini, kita akan mengeksplorasi konsep terkait, bandwidth analog.

Kami mendefinisikan bandwidth sinyal analog menjadi perbedaan antara frekuensi tertinggi dan terendah dari bagian penyusunnya (yaitu, frekuensi tertinggi dan terendah yang diperoleh dengan analisis Fourier). Dalam contoh sepele Gambar 6.5c, analisis Fourier menghasilkan sinyal 1 dan 2 Hertz, yang berarti bandwidth adalah selisih, atau 1 Hertz. Keuntungan dari plot domain frekuensi menjadi jelas ketika seseorang menghitung bandwidth karena frekuensi tertinggi dan terendah terlihat jelas. Misalnya, plot pada Gambar 6.6 memperjelas bahwa bandwidth adalah 1.

Gambar 6.6 menunjukkan plot domain frekuensi dengan frekuensi yang diukur dalam Kilohertz (KHz). Frekuensi tersebut berada dalam jangkauan yang dapat didengar oleh telinga manusia. Pada gambar, bandwidth adalah selisih antara frekuensi tertinggi dan terendah ( $5 \text{ KHz} - 1 \text{ KHz} = 4 \text{ KHz}$ ).





Gambar 6.6 Plot domain frekuensi sinyal analog dengan bandwidth 4 KHz.

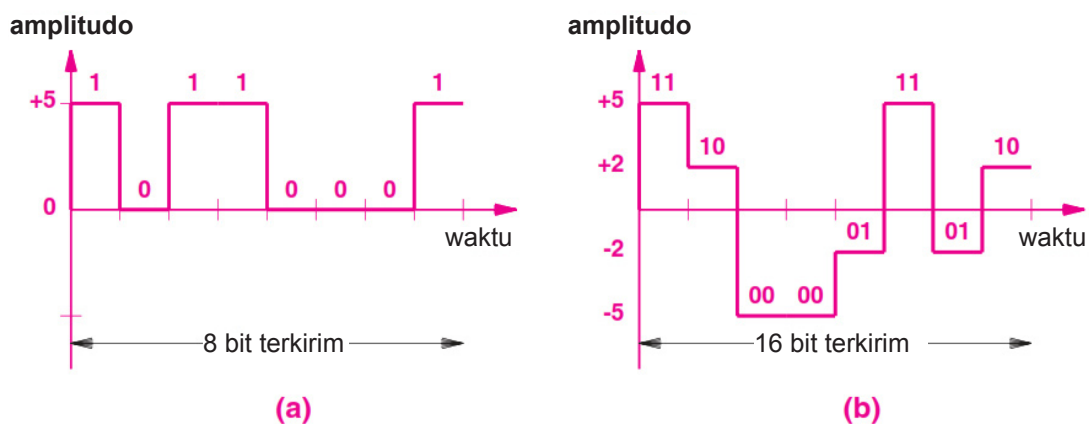
### Poin Penting

Bandwidth sinyal analog adalah perbedaan antara frekuensi tertinggi dan terendah dari komponennya. Jika sinyal diplot dalam domain frekuensi, bandwidth adalah sepele untuk dihitung.

## 6.9 Sinyal Digital Dan Level Sinyal

Kami mengatakan selain diwakili oleh sinyal analog, informasi juga dapat diwakili oleh sinyal digital. Kami selanjutnya mendefinisikan sinyal menjadi digital jika satu set tetap dari level yang valid telah dipilih dan setiap saat, sinyal berada di salah satu level yang valid. Beberapa sistem menggunakan tegangan untuk mewakili nilai digital dengan membuat tegangan positif sesuai dengan yang logis, dan tegangan nol sesuai dengan nol logis. Misalnya, +5 volt dapat digunakan untuk yang logis dan 0 volt untuk nol yang logis.

Jika hanya dua level tegangan yang digunakan, setiap level sesuai dengan satu bit data (0 atau 1). Namun, beberapa mekanisme transmisi fisik dapat mendukung lebih dari dua level sinyal. Ketika beberapa level digital tersedia, setiap level dapat mewakili beberapa bit. Misalnya, pertimbangkan sistem yang menggunakan empat level tegangan: -5 volt, -2 volt, +2 volt, dan +5 volt. Setiap level dapat berhubungan dengan dua bit data seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6.7.



Gambar 6.7 (a) Sinyal digital menggunakan dua level, dan (b) sinyal digital menggunakan empat level.

Seperti yang diilustrasikan gambar, keuntungan utama menggunakan beberapa level sinyal muncul dari kemampuan untuk mewakili lebih dari satu bit pada satu waktu. Pada Gambar 6.8b, misalnya, -5 volt mewakili urutan dua bit 00, -2 volt mewakili 01, +2 volt mewakili 10, dan +5 volt mewakili 11. Karena beberapa level sinyal digunakan, setiap slot waktu dapat mentransfer dua bit, yang berarti bahwa representasi empat tingkat pada Gambar 6.8b mengirimkan dua kali lebih banyak bit per satuan waktu daripada representasi dua tingkat pada Gambar 6.8a. Hubungan antara jumlah level yang dibutuhkan dan jumlah bit yang akan dikirim sangatlah mudah. Harus ada level sinyal untuk setiap kemungkinan kombinasi bit. Karena kombinasi  $2^n$  dimungkinkan dengan  $n$  bit, sistem komunikasi harus menggunakan level  $2^n$  untuk mewakili  $n$  bit.

### Poin Penting

---

*Sistem komunikasi yang menggunakan dua level sinyal hanya dapat mengirim satu bit pada waktu tertentu; sistem yang mendukung level sinyal  $2^n$  dapat mengirim  $n$  bit sekaligus.*

Tampaknya tegangan adalah kuantitas yang berubah-ubah, dan bahwa seseorang dapat mencapai jumlah level yang berubah-ubah dengan membagi tegangan menjadi peningkatan kecil yang sewenang-wenang. Secara matematis, seseorang dapat membuat satu juta level antara 0 dan 1 volt hanya dengan menggunakan 0,0000001 volt untuk satu level, 0,0000002 untuk level berikutnya, dan seterusnya. Sayangnya, sistem elektronik praktis tidak dapat membedakan antara sinyal yang berbeda dengan jumlah kecil yang sewenang-wenang. Dengan demikian, sistem praktis dibatasi pada beberapa level sinyal.

## 6.10 Baud Dan Bit Per Detik

Berapa banyak data yang dapat dikirim dalam waktu tertentu? Jawabannya tergantung pada dua aspek sistem komunikasi. Seperti yang telah kita lihat, kecepatan pengiriman data bergantung pada jumlah level sinyal. Faktor kedua juga penting: jumlah waktu sistem tetap pada tingkat tertentu sebelum pindah ke tingkat berikutnya. Sebagai contoh, diagram pada Gambar 6.8a menunjukkan waktu di sepanjang sumbu  $x$ , dan waktu dibagi menjadi delapan segmen, dengan satu bit dikirim selama setiap segmen. Jika sistem komunikasi dimodifikasi untuk menggunakan setengah waktu untuk bit yang diberikan, bit dua kali lebih banyak akan dikirim dalam jumlah waktu yang sama.

### Poin Penting

---

*Metode alternatif untuk meningkatkan jumlah data yang dapat ditransfer dalam waktu tertentu terdiri dari pengurangan jumlah waktu sistem meninggalkan sinyal pada tingkat tertentu.*

Seperti halnya level sinyal, perangkat keras dalam sistem praktis membatasi seberapa pendek waktu yang bisa diberikan — jika sinyal tidak bertahan pada level tertentu cukup lama, perangkat keras penerima akan gagal mendeteksinya. Menariknya, ukuran yang diterima dari sistem komunikasi tidak menentukan lamanya waktu. Sebaliknya, para insinyur mengukur kebalikannya: berapa kali sinyal dapat berubah per detik, yang didefinisikan sebagai baud. Misalnya, jika suatu sistem memerlukan sinyal untuk tetap pada level tertentu selama 0,001 detik, kita katakan bahwa sistem beroperasi pada 1000 baud.

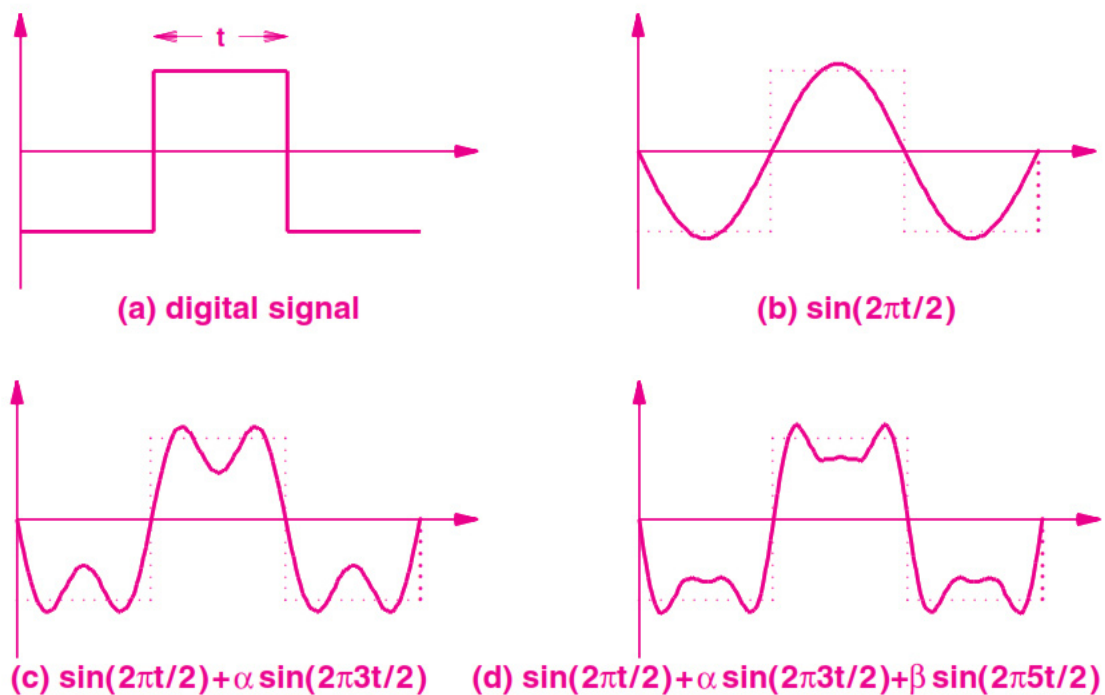
Ide utamanya adalah baud dan jumlah level sinyal mengontrol bit rate. Jika sistem dengan dua level sinyal beroperasi pada 1000 baud, sistem dapat mentransfer tepat 1000 bit per detik. Namun, jika sistem yang beroperasi pada 1000 baud memiliki empat level sinyal, sistem dapat mentransfer 2000 bit per detik (karena empat level sinyal dapat mewakili dua bit). Persamaan 6.1 menyatakan hubungan antara baud, level sinyal, dan bit rate.

$$\text{bit per detik} = \text{baud} \times \log_2(\text{level}) \quad (6.1)$$

## 6.11 Mengubah Sinyal Digital Menjadi Analog

Bagaimana sinyal digital dapat diubah menjadi sinyal analog yang setara? Ingatlah bahwa menurut Fourier, kurva arbitrer dapat direpresentasikan sebagai gabungan gelombang sinus, di mana setiap gelombang sinus dalam himpunan memiliki amplitudo, frekuensi, dan fase tertentu. Karena berlaku untuk kurva apa pun, teorema Fourier juga berlaku untuk sinyal digital. Dari perspektif teknik, hasil Fourier tidak praktis untuk sinyal digital karena representasi akurat dari sinyal digital memerlukan rangkaian gelombang sinus tak terhingga.

Insinyur mengadopsi kompromi: konversi sinyal dari digital ke analog adalah perkiraan. Artinya, para insinyur membangun peralatan untuk menghasilkan gelombang analog yang mendekati sinyal digital. Pendekatan melibatkan membangun sinyal komposit dari hanya beberapa gelombang sinus. Dengan memilih gelombang sinus yang merupakan kelipatan yang benar dari frekuensi sinyal digital, paling sedikit tiga dapat digunakan. Detail yang tepat berada di luar cakupan teks ini, tetapi Gambar 6.8 mengilustrasikan perkiraan dengan menunjukkan (a) sinyal digital dan perkiraan dengan (b) gelombang sinus tunggal, (c) gabungan dari gelombang sinus asli ditambah gelombang sinus dari 3 kali frekuensi, dan (d) gabungan gelombang di (c) ditambah satu gelombang sinus lagi pada 5 kali frekuensi aslinya.



Gambar 6.8 Perkiraan sinyal digital dengan gelombang sinus.

## 6.12 Bandwidth Sinyal Digital

Berapa bandwidth sinyal digital? Ingat bahwa bandwidth sinyal adalah perbedaan antara gelombang frekuensi tertinggi dan terendah yang membentuk sinyal. Jadi, salah satu cara untuk menghitung bandwidth terdiri dari penerapan analisis Fourier untuk menemukan gelombang sinus penyusunnya dan kemudian memeriksa frekuensinya.

Secara matematis, ketika analisis Fourier diterapkan pada gelombang persegi, seperti sinyal digital yang diilustrasikan pada Gambar 6.8a, analisis menghasilkan rangkaian gelombang sinus tak terhingga. Selanjutnya, frekuensi di himpunan terus hingga tak terhingga. Jadi, ketika diplot dalam domain frekuensi, himpunan berlanjut sepanjang sumbu x hingga tak terhingga.

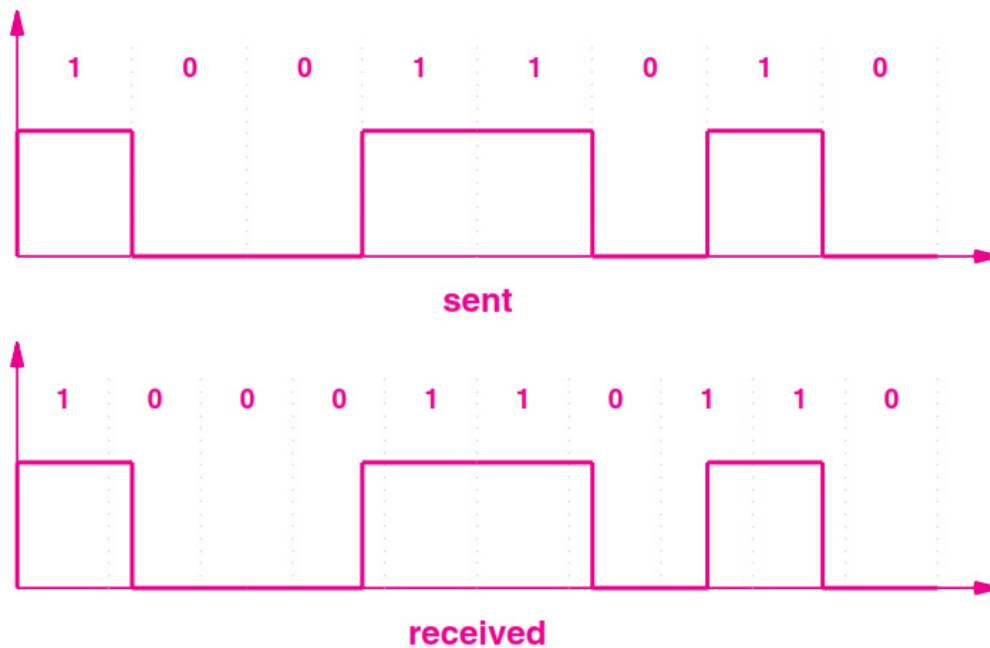
### Poin Penting

*Menurut definisi bandwidth, sinyal digital memiliki bandwidth tak terbatas karena analisis Fourier dari sinyal digital menghasilkan rangkaian gelombang sinus tak terbatas dengan frekuensi yang tumbuh hingga tak terhingga.*

## 6.13 Sinkronisasi Dan Kesepakatan Tentang Sinyal

Contoh kami mengabaikan banyak detail halus yang terlibat dalam menciptakan sistem komunikasi yang layak. Misalnya, untuk menjamin bahwa pengirim dan penerima menyetujui jumlah waktu yang dialokasikan untuk setiap elemen sinyal, elektronik di kedua ujung media fisik harus memiliki sirkuit untuk mengukur waktu secara tepat. Artinya, jika salah satu ujung mentransmisikan sinyal dengan 109 elemen per detik, ujung lainnya harus mengharapkan tepat 109 elemen per detik. Pada kecepatan lambat, membuat kedua ujungnya setuju adalah hal yang sepele. Namun, membangun sistem elektronik yang sesuai dengan kecepatan tinggi yang digunakan dalam jaringan modern sangatlah sulit.

Masalah yang lebih mendasar muncul dari cara data direpresentasikan dalam sinyal. Masalahnya menyangkut sinkronisasi pengirim dan penerima. Misalnya, penerima melewati bit pertama yang datang, dan mulai menginterpretasikan data mulai dari bit kedua. Atau pertimbangkan apa yang terjadi jika penerima mengharapkan data tiba pada kecepatan yang lebih cepat daripada pengirim mentransmisikan data. Gambar 6.9 mengilustrasikan bagaimana ketidaksesuaian dalam interpretasi dapat menghasilkan kesalahan. Pada gambar, pengirim dan penerima mulai dan berakhir pada titik yang sama dalam sinyal, tetapi karena penerima mengalokasikan sedikit lebih sedikit waktu per bit, penerima salah mengartikan sinyal sebagai mengandung lebih banyak bit daripada yang dikirim. Dalam praktiknya, kesalahan sinkronisasi bisa sangat halus. Misalnya, anggaplah perangkat keras penerima memiliki kesalahan waktu 1 dalam 10<sup>8</sup>. Kesalahan mungkin tidak muncul sampai sepuluh juta bit ditransmisikan secara berurutan. Namun demikian, karena sistem komunikasi berkecepatan tinggi mentransfer gigabit per detik, kesalahan kecil seperti itu dapat muncul dengan cepat dan menjadi signifikan.



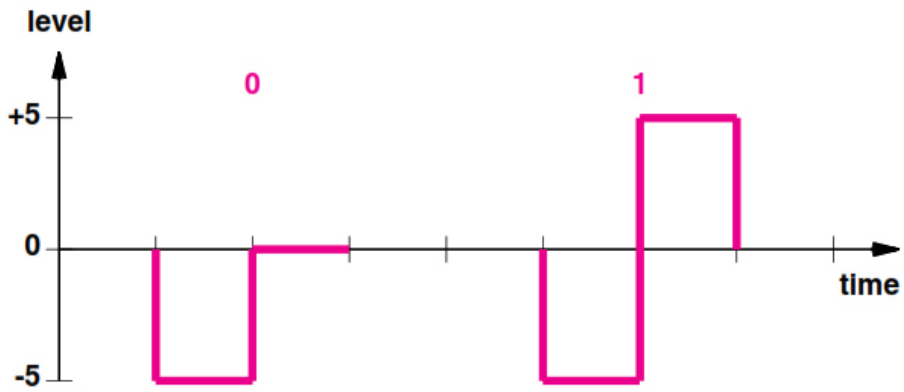
Gambar 6.9 Ilustrasi kesalahan sinkronisasi di mana penerima memberikan waktu per bit yang sedikit lebih sedikit daripada pengirim.

## 6.14 Pengkodean Baris

Beberapa teknik telah ditemukan yang dapat membantu menghindari kesalahan sinkronisasi. Secara umum, ada dua pendekatan yang luas. Dalam satu pendekatan, sebelum mentransmisikan data, pengirim mentransmisikan pola bit yang diketahui, biasanya satu set bolak-balik 0 dan 1, yang memungkinkan penerima untuk menyinkronkan. Dalam pendekatan lain, data diwakili oleh sinyal sedemikian rupa sehingga tidak ada kebingungan tentang maknanya. Kami menggunakan istilah pengkodean garis untuk menggambarkan cara data dikodekan dalam sinyal.

Sebagai contoh pengkodean baris yang menghilangkan ambiguitas, pertimbangkan bagaimana seseorang dapat menggunakan mekanisme transmisi yang mendukung tiga level sinyal diskrit. Untuk menjamin sinkronisasi, simpan salah satu level sinyal untuk memulai setiap bit. Misalnya, jika tiga level yang mungkin sesuai dengan -5, 0, dan +5 volt, cadangan -5 untuk memulai setiap bit. Logika 0 dapat diwakili oleh barisan -5 0, dan logika 1 dapat diwakili oleh barisan -5 +5. Jika kita menentukan bahwa tidak ada kombinasi lain yang valid, kemunculan -5 volt selalu dimulai sedikit, dan penerima dapat menggunakan kemunculan -5 volt untuk menyinkronkan dengan pengirim dengan benar. Gambar 6.10 mengilustrasikan representasi tersebut.

Tentu saja, menggunakan beberapa elemen sinyal untuk mewakili satu bit berarti lebih sedikit bit yang dapat ditransmisikan per satuan waktu. Dengan demikian, perancang lebih memilih skema yang mentransmisikan beberapa bit per elemen sinyal, seperti yang diilustrasikan Gambar 6.9b.



Gambar 6.10 Contoh dua elemen sinyal yang digunakan untuk mewakili setiap bit.

Tabel 6.2 mencantumkan nama teknik pengkodean baris yang umum digunakan, dan mengelompokkannya ke dalam kategori terkait. Meskipun rinciannya berada di luar cakupan teks ini, cukup diketahui bahwa pilihannya bergantung pada kebutuhan khusus dari sistem komunikasi yang diberikan.

Tabel 6.2 Nama-nama teknik pengkodean baris yang umum digunakan.

Kategori	Skema	Sinkronisasi
<b>Unipolar</b>	NRZ	Tidak, jika banyak 0 atau 1 diulang
	NRZ-L	Tidak, jika banyak 0 atau 1 diulang
	NRA-I	Tidak, jika banyak 0 atau 1 diulang
	Biphase	Ya
<b>Bipolar</b>	AMI	Tidak, jika banyak 0 diulang
<b>Multilevel</b>	2B1Q	Tidak, jika banyak bit ganda diulang
	8B6T	Ya
	4D-PAM5	Ya
	MLT-3	Tidak, jika banyak 0 diulang
<b>Multiline</b>		

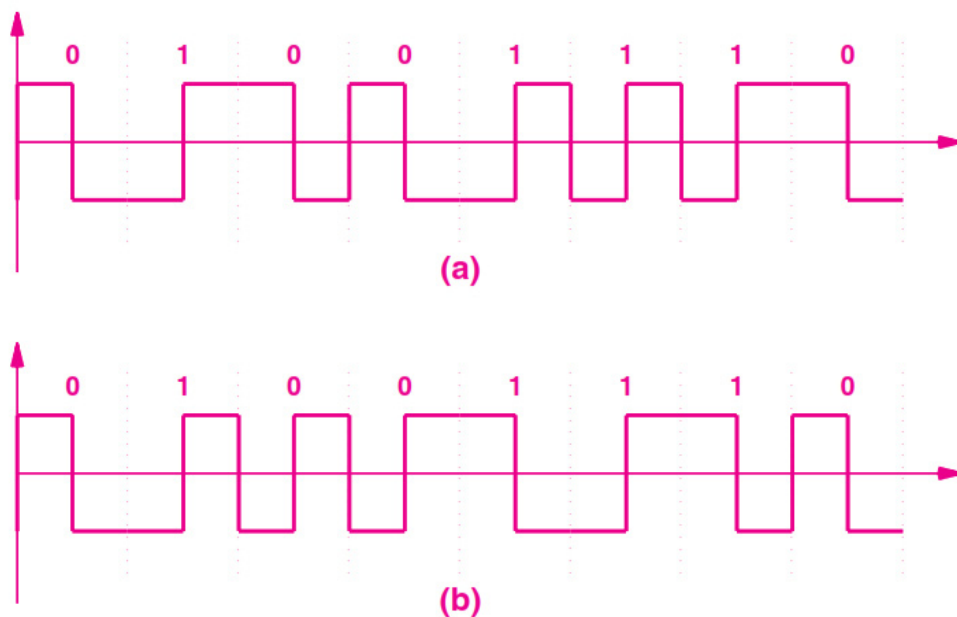
### Poin Penting

Tersedia berbagai teknik pengkodean baris yang berbeda dalam cara menangani sinkronisasi serta properti lain seperti bandwidth yang digunakan.

## 6.15 Encoding Manchester Digunakan Dalam Jaringan Komputer

Selain daftar pada tabel 6.2, satu standar khusus untuk pengkodean baris sangat penting untuk jaringan komputer: Pengodean Manchester yang digunakan dengan Ethernet. Untuk memahami Encoding Manchester, penting untuk mengetahui bahwa mendeteksi transisi di level sinyal lebih mudah daripada mengukur level sinyal. Fakta, yang muncul dari cara kerja perangkat keras, menjelaskan mengapa Encoding Manchester menggunakan transisi daripada level untuk mendefinisikan bit. Artinya, alih-alih menentukan bahwa 1 sesuai dengan level (misalnya, +5 volt), Pengkodean Manchester menetapkan bahwa 1 sesuai dengan transisi dari 0 volt ke level voltase positif. Sejalan dengan itu, 0

sesuai dengan transisi dari level tegangan positif ke nol. Selanjutnya, transisi terjadi di "tengah" slot waktu yang dialokasikan ke bit, yang memungkinkan sinyal untuk kembali ke level sebelumnya jika data berisi dua 0 berulang atau dua 1 berulang. Gambar 6.11a mengilustrasikan konsep tersebut. Sebuah variasi yang dikenal sebagai Diferensial Manchester Encoding (juga disebut Conditional DePhase Encoding) menggunakan transisi relatif daripada absolut. Artinya, representasi bit tergantung pada bit sebelumnya. Setiap slot waktu bit berisi satu atau dua transisi. Sebuah transisi selalu terjadi di tengah waktu bit. Nilai logis bit diwakili oleh ada atau tidak adanya transisi pada awal waktu bit: logis 0 diwakili oleh transisi, dan logis 1 diwakili oleh tidak adanya transisi. Gambar 6.13b mengilustrasikan Pengkodean Diferensial Manchester. Mungkin sifat terpenting dari pengkodean diferensial muncul dari pertimbangan praktis: pengkodean bekerja dengan benar bahkan jika dua kabel yang membawa sinyal secara tidak sengaja terbalik.



Gambar 6.11 (a) Manchester dan (b) Pengkodean Diferensial Manchester; masing-masing mengasumsikan bit sebelumnya berakhir dengan level sinyal rendah.

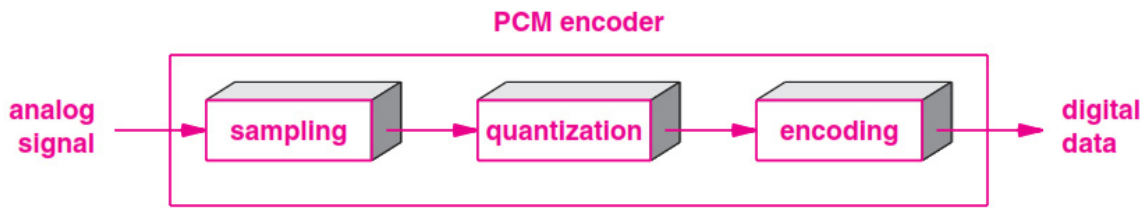
## 6.16 Mengubah Sinyal Analog Menjadi Digital

Banyak sumber informasi yang analog, yang berarti harus diubah ke bentuk digital untuk diproses lebih lanjut (misalnya, sebelum dapat dienkripsi). Ada dua pendekatan dasar:

- Modulasi kode pulsa
- Modulasi delta

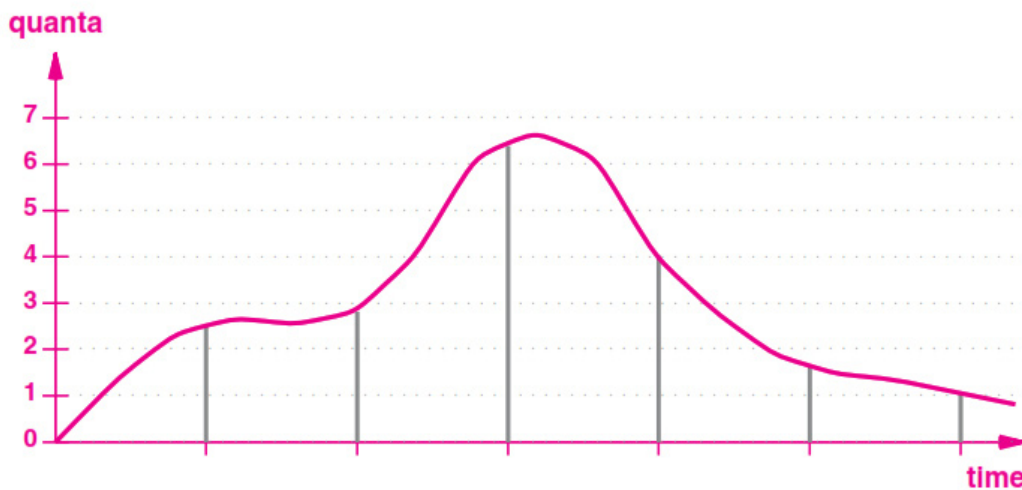
Modulasi kode pulsa (PCM) mengacu pada teknik di mana tingkat sinyal analog diukur berulang kali pada interval waktu yang tetap dan dikonversi ke bentuk digital. Gambar 6.12 mengilustrasikan langkah-langkahnya.





Gambar 6.12 Tiga langkah yang digunakan dalam modulasi kode pulsa.

Setiap pengukuran dikenal sebagai sampel, yang menjelaskan mengapa tahap pertama dikenal sebagai sampling. Setelah direkam, sampel dikuantisasi dengan mengubahnya menjadi nilai integer kecil yang kemudian dikodekan ke dalam format tertentu. Nilai terkuantisasi bukanlah ukuran tegangan atau properti lain dari sinyal. Sebaliknya, jangkauan sinyal dari level minimum hingga maksimum dibagi menjadi satu set slot, biasanya kekuatan 2. Gambar 6.13 mengilustrasikan konsep dengan menunjukkan sinyal yang dikuantisasi menjadi delapan slot.



Gambar 6.13 Ilustrasi sampling dan kuantisasi yang digunakan dalam modulasi kode pulsa

Pada gambar, enam sampel diwakili oleh garis abu-abu vertikal. Setiap sampel dikuantisasi dengan memilih interval kuantum terdekat. Misalnya, sampel ketiga, diambil di dekat puncak kurva diberi nilai terkuantisasi 6.

Dalam praktiknya, sedikit variasi dalam pengambilan sampel telah ditemukan. Misalnya, untuk menghindari ketidakakuratan yang disebabkan oleh lonjakan singkat atau penurunan sinyal, rata-rata dapat digunakan. Artinya, alih-alih mengandalkan satu pengukuran untuk setiap sampel, tiga pengukuran dapat dilakukan secara berdekatan dan rata-rata aritmatika dapat dihitung.

Alternatif utama untuk modulasi kode pulsa dikenal sebagai modulasi delta. Modulasi delta juga mengambil sampel. Namun, alih-alih mengirim kuantisasi untuk setiap sampel, modulasi delta mengirim satu nilai kuantisasi diikuti oleh serangkaian nilai yang memberikan perbedaan antara nilai sebelumnya dan nilai saat ini. Idenya adalah bahwa mentransmisikan perbedaan membutuhkan bit yang lebih sedikit daripada mentransmisikan nilai penuh, terutama jika sinyal tidak berubah dengan cepat. Pertukaran utama dengan modulasi delta muncul dari efek kesalahan — jika ada item dalam urutan yang hilang atau rusak, semua nilai yang berurutan akan disalahartikan. Dengan demikian,

sistem komunikasi yang mengharapkan nilai data hilang atau berubah selama transmisi biasanya menggunakan modulasi kode pulsa (PCM).

## 6.17 Teorema Nyquist Dan Laju Sampling

Apakah kode pulsa atau modulasi delta digunakan, sinyal analog harus diambil sampelnya. Seberapa sering sinyal analog harus diambil sampelnya? Mengambil sampel terlalu sedikit (dikenal sebagai undersampling) berarti bahwa nilai digital hanya memberikan perkiraan kasar dari sinyal asli. Mengambil terlalu banyak sampel (dikenal sebagai oversampling) berarti lebih banyak data digital akan dihasilkan, yang menggunakan bandwidth ekstra.

Seorang matematikawan bernama Nyquist menemukan jawaban atas pertanyaan tentang berapa banyak pengambilan sampel yang diperlukan:

$$\text{laju pengambilan sampel} = 2 \times f \text{ maks (6.2)}$$

di mana  $f_{\text{max}}$  adalah frekuensi tertinggi dalam sinyal komposit. Hasilnya, yang dikenal sebagai Teorema Nyquist memberikan solusi praktis untuk masalah ini: sampel sinyal setidaknya dua kali lebih cepat dari frekuensi tertinggi yang harus dipertahankan.

## 6.18 Teorema Nyquist Dan Transmisi Sistem Telepon

Sebagai contoh spesifik dari teorema Nyquist, pertimbangkan sistem telepon yang awalnya dirancang untuk mentransfer suara. Pengukuran ucapan manusia telah menunjukkan bahwa mempertahankan frekuensi antara 0 dan 4000 Hz memberikan kualitas audio yang dapat diterima. Jadi, Teorema Nyquist menetapkan bahwa ketika mengubah sinyal suara dari analog ke digital, sinyal harus diambil sampelnya dengan kecepatan 8000 sampel per detik.

Untuk lebih memberikan reproduksi kualitas yang wajar, standar PCM yang digunakan oleh sistem telepon mengkuantifikasi setiap sampel menjadi nilai 8 bit. Artinya, rentang input dibagi menjadi 256 level yang memungkinkan sehingga setiap sampel memiliki nilai antara 0 dan 255. Akibatnya, kecepatan di mana data digital dihasilkan untuk satu panggilan telepon adalah:

Seperti yang akan kita lihat dalam bab-bab selanjutnya, sistem telepon menggunakan kecepatan 64.000 bit per detik (64 Kbps) sebagai dasar untuk komunikasi digital. Selanjutnya kita akan melihat bahwa Internet menggunakan sirkuit telepon digital untuk menjangkau jarak yang jauh.

## 6.19 Pengodean Dan Kompresi Data

Kami menggunakan istilah kompresi data untuk merujuk pada teknik yang mengurangi jumlah bit yang diperlukan untuk mewakili data. Kompresi data sangat relevan dengan sistem komunikasi karena mengurangi jumlah bit yang digunakan untuk mewakili data mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk transmisi. Artinya, sistem komunikasi dapat dioptimalkan dengan mengompresi data sebelum transmisi. Pada titik ini, kita hanya perlu memahami definisi dasar dari dua jenis kompresi:

- Lossy — beberapa informasi hilang selama kompresi
- Lossless — semua informasi disimpan dalam versi terkompresi.

Kompresi lossy umumnya digunakan dengan data yang dikonsumsi manusia, seperti gambar, segmen video, atau file audio. Ide kuncinya adalah bahwa kompresi hanya perlu mempertahankan detail ke tingkat persepsi manusia. Artinya, suatu perubahan dapat diterima jika manusia tidak dapat mendeteksi perubahan tersebut. Kita akan melihat bahwa skema kompresi terkenal seperti JPEG (digunakan untuk gambar) atau MPEG-3 (disingkat MP3 dan digunakan untuk rekaman audio) menggunakan kompresi lossy.

Kompresi lossless mempertahankan data asli tanpa perubahan apa pun. Dengan demikian, kompresi lossless dapat digunakan untuk dokumen atau dalam situasi apa pun di mana data harus disimpan dengan tepat. Ketika digunakan untuk komunikasi, pengirim mengompresi data sebelum transmisi dan penerima mendekompresi hasilnya. Karena kompresi adalah lossless, data arbitrer dapat dikompresi oleh pengirim dan didekompresi oleh penerima untuk memulihkan salinan yang tepat dari aslinya.

Kebanyakan kompresi lossless menggunakan pendekatan kamus. Kompresi menemukan string yang diulang dalam data, dan membentuk kamus string. Untuk mengompresi data, setiap kemunculan string diganti dengan referensi ke kamus. Pengirim harus mengirimkan kamus bersama dengan data terkompresi. Jika data berisi string yang diulang berkali-kali, kombinasi kamus ditambah data terkompresi lebih kecil dari data asli

## 6.20 Ringkasan

Sebuah sumber informasi dapat mengirimkan data analog atau digital. Sinyal analog memiliki sifat aperiodik atau periodik; sinyal periodik memiliki sifat amplitudo, frekuensi, dan fase. Fourier menemukan bahwa kurva arbitrer dapat dibentuk dari jumlah gelombang sinus; gelombang sinus tunggal diklasifikasikan sebagai sederhana, dan sinyal yang dapat didekomposisi menjadi beberapa gelombang sinus diklasifikasikan sebagai komposit.

Insinyur menggunakan dua representasi utama dari sinyal komposit. Representasi domain waktu menunjukkan bagaimana sinyal bervariasi dari waktu ke waktu. Representasi domain frekuensi menunjukkan amplitudo dan frekuensi setiap komponen dalam sinyal. Bandwidth, yang merupakan perbedaan antara frekuensi tertinggi dan terendah dalam sinyal sangat jelas pada grafik domain frekuensi.

Baud rate sinyal adalah berapa kali sinyal dapat berubah per detik. Sinyal digital yang menggunakan beberapa level sinyal dapat mewakili lebih dari satu bit per perubahan, membuat laju transmisi efektif menjadi jumlah level dikalikan dengan baud rate. Meskipun memiliki bandwidth tak terbatas, sinyal digital dapat didekati dengan tiga gelombang sinus.

Berbagai teknik pengkodean baris ada. Encoding Manchester, yang digunakan dengan jaringan Ethernet, sangat penting. Daripada menggunakan level sinyal absolut untuk mewakili bit, Encoding Manchester menggunakan transisi di level sinyal. Pengkodean Diferensial Manchester menggunakan transisi relatif, dan memiliki sifat yang berfungsi bahkan jika dua kabel dibalik.

Modulasi kode pulsa dan modulasi delta digunakan untuk mengubah sinyal analog menjadi digital. Skema PCM yang digunakan oleh sistem telepon menggunakan kuantisasi 8-bit dan mengambil 8.000 sampel per detik, yang menghasilkan kecepatan 64 Kbps.

Kompresi lossy atau lossless. Kompresi lossy paling tepat untuk gambar, audio, atau video yang akan dilihat oleh manusia karena loss dapat dikontrol untuk menjaga perubahan di bawah ambang batas persepsi manusia. Kompresi lossless paling tepat untuk dokumen atau data yang harus disimpan dengan tepat.

## Latihan

---

1. Sebutkan tiga contoh sumber informasi selain komputer.
2. Sebutkan perangkat rumah tangga biasa yang memancarkan sinyal aperiodik.
3. Mengapa gelombang sinus penting untuk komunikasi data?
4. Nyatakan dan jelaskan empat karakteristik dasar gelombang sinus.
5. Ketika ditunjukkan grafik gelombang sinus, bagaimana cara tercepat untuk menentukan apakah fasenya nol?
6. Kapan gelombang tergolong sederhana?
7. Apa yang dihasilkan oleh analisis Fourier dari gelombang komposit?
8. Pada grafik domain frekuensi, apa yang diwakili oleh sumbu y?
9. Berapa bandwidth analog dari sebuah sinyal?
10. Apakah bandwidth lebih mudah dihitung dari domain waktu atau representasi domain frekuensi?
11. Mengapa?
12. Misalkan seorang insinyur meningkatkan jumlah level sinyal yang mungkin dari dua menjadi empat. Berapa banyak bit lagi yang dapat dikirim dalam jumlah waktu yang sama? Menjelaskan.
13. Apa definisi baud?
14. Mengapa sinyal analog digunakan untuk mendekati sinyal digital?
15. Berapa bandwidth sinyal digital? Menjelaskan.
16. Apa yang dimaksud dengan kesalahan sinkronisasi?
17. Mengapa beberapa teknik pengkodean menggunakan beberapa elemen sinyal untuk mewakili satu bit?
18. Aspek sinyal apa yang digunakan Manchester Encoding untuk mewakili sedikit?
19. Apa keuntungan utama dari Pengkodean Manchester Diferensial?
20. Saat mengubah sinyal analog ke digital, langkah apa yang mengikuti pengambilan sampel?
21. Jika frekuensi maksimum yang dapat didengar oleh telinga manusia adalah 20.000 Hz, pada kecepatan berapa sinyal analog dari mikrofon harus diambil sampelnya saat mengubahnya menjadi digital?
22. Berapa lama waktu yang berlalu antara sampel untuk pengkodean PCM yang digunakan dalam sistem telepon?
23. Jelaskan perbedaan antara kompresi lossy dan lossless, dan beri tahu kapan masing-masing dapat digunakan

---

### Bab ini akan membahas tentang:

- media transmisi, termasuk media kabel, nirkabel, dan optik
- taksonomi jenis media
- konsep dasar propagasi elektromagnetik
- menjelaskan bagaimana pelindung dapat mengurangi atau mencegah interferensi dan kebisingan

### 7.1 Transmisi Terpandu dan Tidak Terpandu

Dalam proses komunikasi, ada lima elemen, yaitu pengirim, penerima, pesan, media, dan umpan balik. Media yang digunakan dalam komunikasi disebut media transmisi. Ini adalah media fisik yang membantu dalam transmisi atau transfer pesan. Informasi dibawa antara sumber dan tujuan. Namun, kecepatan transmisi tergantung pada media transmisi yang digunakan. Informasi pertama diubah menjadi bit dan kemudian ditransfer ke pengguna yang dituju atau tujuannya. Jika jaringan berbasis tembaga, maka bit diubah menjadi sinyal listrik dan jika jaringan adalah jaringan berbasis serat, maka bit data diubah menjadi sinyal cahaya

Media transmisi sendiri sudah menjadi salah satu yang memegang peran penting dalam kemajuan teknologi. Apabila tidak adanya media transmisi, informasi tidak bisa menyebar dengan cepat dan luas. Bagaimana seharusnya media transmisi dibagi ke dalam kelas-kelas. Ada dua pendekatan luas: Berdasarkan jenis jalur: komunikasi dapat mengikuti jalur yang tepat seperti kabel, atau tidak dapat memiliki jalur khusus, seperti transmisi radio. Berdasarkan bentuk energi: energi listrik digunakan pada kabel, transmisi radio digunakan untuk nirkabel, dan cahaya digunakan untuk serat optik.

Kami menggunakan istilah transmisi terpandu dan tidak terpandu untuk membedakan antara media fisik seperti kabel tembaga atau serat optik yang menyediakan jalur tertentu dan transmisi radio yang bergerak ke segala arah melalui ruang bebas. Secara informal, para insinyur menggunakan istilah kabel dan nirkabel. Perhatikan bahwa informalitas dapat agak membingungkan karena orang cenderung mendengar istilah kabel bahkan ketika media fisik adalah serat optik. Media transmisi terpadu ( *Guided Transmission Media* ) adalah suatu media yang mentransmisikan suatu gelombang elektromagnetik (data) dengan cara menggunakan konduktor fisik.

#### Jenis-Jenis Media Transmisi Terpadu

- Twisted pair cable atau juga kabel pasangan berpilin itu terdiri atas 2 buah konduktor yang digabungkan dengan tujuan ialah untuk dapat mengurangi atau juga meniadakan interferensi elektromagnetik dari luar. Dan terdapat dua jenis twisted pair cable yaitu kabel UTP (*Unshielded Twisted Pair*) dan kabel STP (*Shielded Twisted Pair*).
- Kabel koaksial adalah macam atau jenis kabel yang menggunakan 2(dua) buah konduktor. Kabel tersebut banyak digunakan untuk dapat mentransmisikan suatu sinyal frekuensi tinggi mulai 300 kHz keatas.
- Serat optik adalah suatu saluran transmisi yang terbuat dari kaca maupun juga plastik yang digunakan untuk dapat mentransmisikan suatu sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat yang lain.

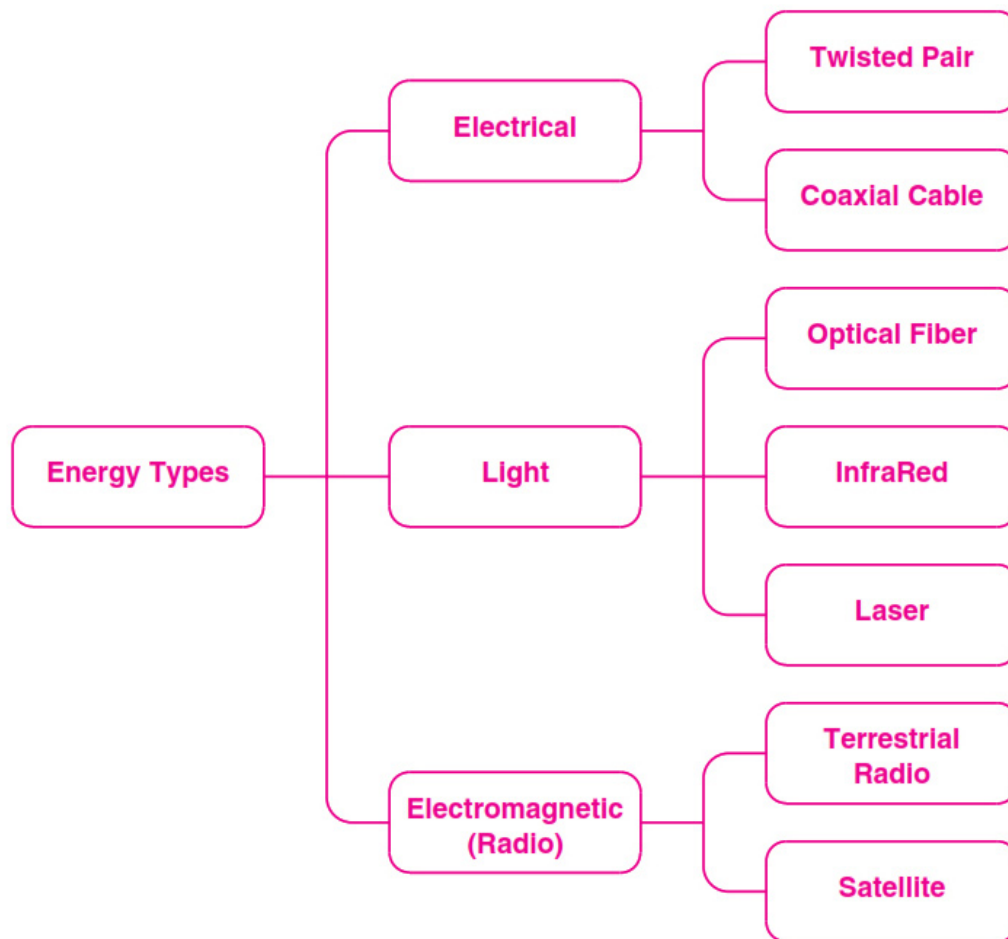
Media Transmisi Tidak Terpadu ( *Unguided Transmission Media* ) atau juga media transmisi tidak terpadu adalah suatu jaringan yang menggunakan suatu sistem gelombang. Media ini menggunakan sistem gelombang elektromagnetik dalam mentransmisikan informasi dari pengirim ke penerima. *Unguided media* sendiri lebih dikenal dengan sebutan *wireless* yang berarti tanpa kabel.

#### Contoh Media Transmisi Tidak Terpadu:

- Gelombang mikro (microwave) adalah suatu bentuk radio yang menggunakan frekuensi tinggi (satuan gigahertz), yang melingkupi kawasan UHF, SHF serta EHF. Gelombang mikro itu banyak digunakan di suatu sistem jaringan MAN, wa rnet serta juga penyedia layanan internet (ISP).
- Satelit adalah suatu media transmisi , fungsi utamanya adalah untuk menerima sinyal dari stasiun bumi serta akan meneruskannya ke stasiun bumi lain.
- Gelombang radio adalah suatu media transmisi yang dapat difungsikan ialah untuk mengirimkan suara ataupun data.
- Inframerah tersebut biasa digunakan untuk melakukan komunikasi dalam jarak dekat, dengan kecepatan 4 Mbps. Dalam penggunaannya pengendalian jarak jauh, contohnya remote control pada televisi dan juga alat elektronik lainnya.

## 7.2 Taksonomi Berdasarkan Bentuk Energi

Gambar 7.1 mengilustrasikan bagaimana media fisik dapat diklasifikasikan menurut bentuk energi yang digunakan untuk mengirimkan data. Bagian yang berurutan menjelaskan masing-masing jenis media.



Gambar 7.1 Taksonomi jenis media menurut bentuk energi yang digunakan.

Seperti kebanyakan taksonomi, kategorinya tidak sempurna, dan ada pengecualian. Misalnya, stasiun ruang angkasa yang mengorbit di sekitar bumi mungkin menggunakan komunikasi non-terrestrial yang tidak melibatkan satelit. Namun demikian, taksonomi kami mencakup sebagian besar komunikasi.

### 7.3 Radiasi Latar Belakang dan Kebisingan Listrik

Ingat dari fisika dasar bahwa arus listrik mengalir sepanjang rangkaian lengkap. Dengan demikian, semua transmisi energi listrik memerlukan dua kabel untuk membentuk sirkuit — kabel ke penerima dan kabel kembali ke pengirim. Bentuk pengkabelan yang paling sederhana terdiri dari kabel yang berisi dua kabel tembaga. Setiap kawat dibungkus dengan lapisan plastik, yang mengisolasi kabel secara elektrik. Lapisan luar pada kabel menyatukan kabel terkait untuk memudahkan manusia menghubungkan peralatan.

Jaringan komputer menggunakan bentuk alternatif pengkabelan. Untuk memahami mengapa, seseorang harus mengetahui tiga fakta.

1. Radiasi elektromagnetik acak, yang disebut kebisingan, menembus lingkungan. Faktanya, sistem komunikasi menghasilkan sejumlah kecil gangguan listrik sebagai efek samping dari operasi normal.



2. Ketika mengenai logam, radiasi elektromagnetik menginduksi sinyal kecil, yang berarti bahwa kebisingan acak dapat mengganggu sinyal yang digunakan untuk komunikasi.
3. Karena menyerap radiasi, logam bertindak sebagai perisai. Dengan demikian, menempatkan logam yang cukup antara sumber kebisingan dan media komunikasi dapat mencegah kebisingan mengganggu komunikasi.

Dua fakta pertama menguraikan masalah mendasar yang melekat pada media komunikasi yang menggunakan energi listrik atau radio. Masalahnya sangat parah di dekat sumber yang memancarkan radiasi acak. Misalnya, bola lampu neon dan motor listrik sama-sama memancarkan radiasi, terutama motor yang bertenaga seperti yang digunakan untuk mengoperasikan elevator, AC, dan lemari es. Anehnya, perangkat yang lebih kecil seperti penghancur kertas atau alat-alat listrik juga dapat memancarkan radiasi yang cukup untuk mengganggu komunikasi.

### Poin Penting

*Radiasi elektromagnetik acak yang dihasilkan oleh perangkat seperti motor listrik dapat mengganggu komunikasi yang menggunakan transmisi radio atau energi listrik yang dikirim melalui kabel.*

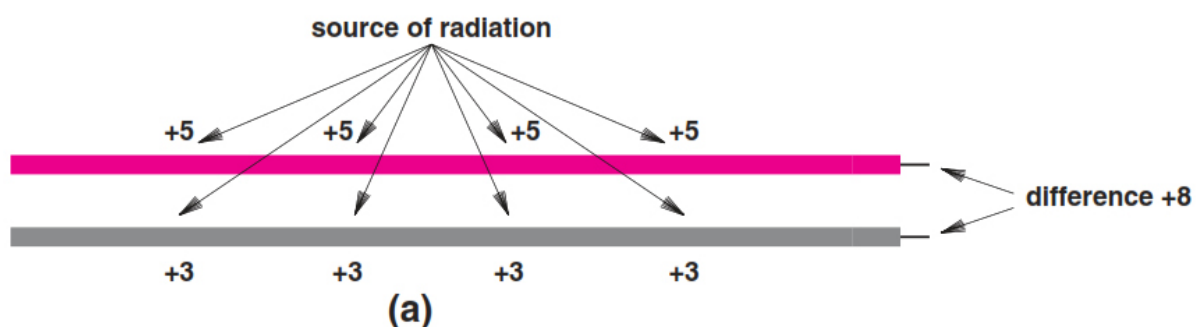
## 7.4 Kabel Tembaga Twisted Pair

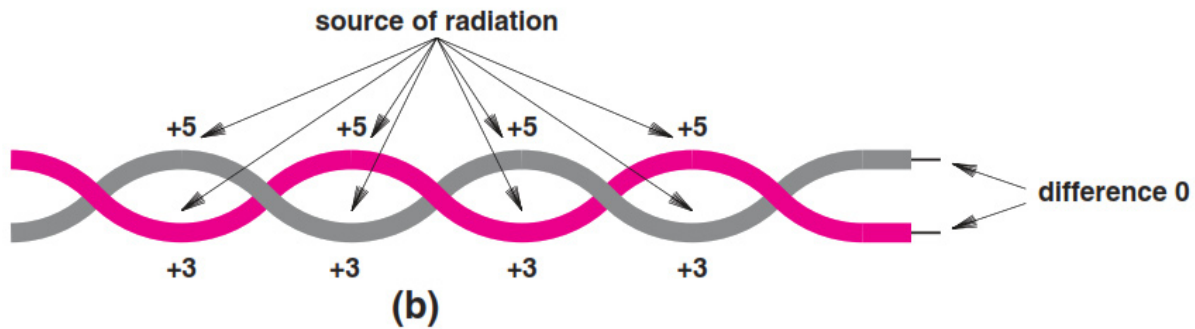
Fakta ketiga di bagian sebelumnya menjelaskan pengkabelan yang digunakan dengan sistem komunikasi. Ada tiga bentuk kabel yang membantu mengurangi interferensi dari kebisingan listrik.

- Kabel UTP (*Unshielded Twisted Pair*)
- Kabel Koaksial
- Kabel STP (*Shielded Twisted Pair*)

Bentuk pertama, yang dikenal sebagai kabel pasangan terpilin atau kabel pasangan terpilin tanpa pelindung†, digunakan secara luas dalam komunikasi. Sesuai dengan namanya, kabel twisted pair terdiri dari dua kabel yang dipilin bersama. Tentu saja, setiap kabel memiliki lapisan plastik yang menyekat kedua kabel dan mencegah arus listrik mengalir di antara keduanya.

Anehnya, memutar dua kabel membuat mereka kurang rentan terhadap kebisingan listrik daripada membiarkannya paralel. Gambar 7.2 mengilustrasikan alasannya.





Gambar 7.2 Radiasi elektromagnetik yang tidak diinginkan mempengaruhi (a) dua kabel paralel, dan (b) kabel pasangan terpilin.

Seperti yang ditunjukkan gambar, ketika dua kabel paralel, ada kemungkinan besar bahwa salah satunya lebih dekat ke sumber radiasi elektromagnetik daripada yang lain. Faktanya, satu kawat cenderung bertindak sebagai perisai yang menyerap sebagian radiasi elektromagnetik. Jadi, karena tersembunyi di balik kawat pertama, kawat kedua menerima lebih sedikit energi. Pada gambar, total 32 unit radiasi menyerang masing-masing dari dua kasus. Pada Gambar 7.2a, kawat atas menyerap 20 unit, dan kawat bawah menyerap 12, menghasilkan perbedaan 8. Pada Gambar 7.2b, masing-masing dari dua kawat berada di atas setengah dari waktu, yang berarti setiap kawat menyerap jumlah radiasi yang sama.

Mengapa penyerapan yang sama penting? Jawabannya adalah jika interferensi menginduksi jumlah energi listrik yang sama persis di setiap kawat, tidak ada arus tambahan yang akan mengalir. Dengan demikian, sinyal asli tidak akan terganggu.

### Poin Penting

*Untuk mengurangi interferensi yang disebabkan oleh radiasi elektromagnetik acak, sistem komunikasi menggunakan kabel twisted pair daripada kabel paralel.*

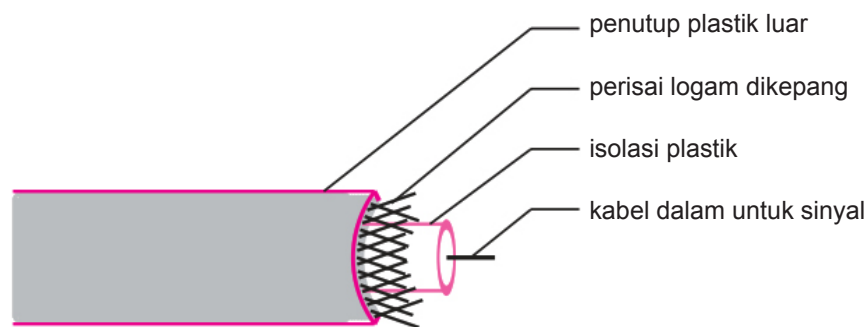
## 7.5 Perisai: Kabel Koaksial dan Twisted Pair Terlindung

Meskipun kebal terhadap sebagian besar radiasi latar belakang, kabel twisted pair tidak menyelesaikan semua masalah. Twisted pair cenderung memiliki masalah dengan:

- Terutama kebisingan listrik yang kuat
- Dekat secara fisik dengan sumber kebisingan
- Frekuensi tinggi digunakan untuk komunikasi

Jika intensitasnya tinggi (misalnya, di pabrik yang menggunakan peralatan las busur listrik) atau kabel komunikasi berada dekat dengan sumber kebisingan listrik, bahkan twisted pair mungkin tidak cukup. Jadi, jika pasangan bengkok berjalan di atas langit-langit di gedung kantor di atas lampu neon, gangguan dapat terjadi. Selain itu, sulit untuk membangun peralatan yang dapat membedakan antara sinyal frekuensi tinggi yang valid dan kebisingan, yang berarti bahwa bahkan sejumlah kecil kebisingan dapat menyebabkan gangguan ketika frekuensi tinggi digunakan.

Untuk menangani situasi di mana pasangan terpilin tidak mencukupi, tersedia bentuk kabel yang memiliki pelindung logam tambahan. Bentuk yang paling dikenal adalah kabel yang digunakan untuk televisi kabel. Dikenal sebagai kabel koaksial (coax), kabel memiliki pelindung logam tebal yang terbentuk dari kabel jalinan yang sepenuhnya mengelilingi kabel tengah yang membawa sinyal. Gambar 7.3 mengilustrasikan konsep tersebut.



Gambar 7.3 Ilustrasi kabel koaksial dengan pelindung yang mengelilingi kabel sinyal.

Perisai dalam kabel koaksial membentuk silinder fleksibel di sekitar kawat bagian dalam yang memberikan penghalang radiasi elektromagnetik dari segala arah. Penghalang juga mencegah sinyal pada kabel dalam memancarkan energi elektromagnetik yang dapat mempengaruhi kabel lain. Akibatnya, kabel koaksial dapat ditempatkan berdekatan dengan sumber kebisingan listrik dan kabel lainnya, dan dapat digunakan untuk frekuensi tinggi.

### **Poin Penting**

*Pelindung yang berat dan simetri membuat kabel koaksial kebal terhadap kebisingan, mampu membawa frekuensi tinggi, dan mencegah sinyal pada kabel memancarkan kebisingan ke kabel di sekitarnya.*

Menggunakan kawat yang dikepang alih-alih pelindung logam padat membuat kabel koaksial tetap fleksibel, tetapi pelindung yang berat membuat kabel koaksial kurang fleksibel daripada kabel pasangan terpilin. Variasi pelindung telah ditemukan yang memberikan kompromi: kabel lebih fleksibel, tetapi memiliki kekebalan yang sedikit lebih rendah terhadap kebisingan listrik. Salah satu variasi yang populer dikenal sebagai shielded twisted pair (STP). Kabel memiliki pelindung logam yang lebih tipis dan fleksibel yang mengelilingi satu atau lebih pasangan kabel yang terpilin. Di sebagian besar versi kabel STP, pelindungnya terdiri dari foil logam, mirip dengan aluminium foil yang digunakan di dapur. Kabel STP memiliki keunggulan lebih fleksibel daripada kabel koaksial dan kurang rentan terhadap gangguan listrik dibandingkan unshielded twisted pair (UTP).

## **7.6 Kategori Kabel Twisted Pair**

Perusahaan telepon awalnya menetapkan standar untuk kabel twisted pair yang digunakan dalam jaringan telepon. Baru-baru ini, tiga organisasi standar bekerja sama untuk menciptakan standar untuk kabel twisted pair yang digunakan dalam jaringan komputer. Institut Standar Nasional Amerika (ANSI), Asosiasi Industri Telekomunikasi (TIA), dan Aliansi Industri Elektronik (EIA) membuat daftar kategori pengkabelan, dengan spesifikasi yang ketat untuk masing-masingnya. Tabel 7.1 merangkum kategori utama.

Tabel 7.1 Kategori kabel twisted pair dan deskripsi masing-masing.

Kategori	Deskripsi	Kecepatan Data (dalam Mbps)
CAT 1	Twisted pair tanpa pelindung digunakan untuk telepon	<0,1
CAT 2	Twisted pair tanpa pelindung digunakan untuk data T1	2
CAT 3	Peningkatan CAT2 digunakan untuk jaringan komputer	10
CAT 4	Peningkatan CAT3 yang digunakan untuk jaringan Token Ring	20
CAT 5	Twisted pair tanpa pelindung digunakan untuk jaringan	100
CAT 5E	CAT5 yang diperluas untuk kekebalan kebisingan yang lebih besar	125
CAT 6	Twisted pair tanpa pelindung diuji untuk 200 Mbps	200
CAT 7	Pasangan terpilin terlindung dengan pelindung foil di sekitar seluruh kabel ditambah pelindung di sekitar setiap pasangan terpilin	600

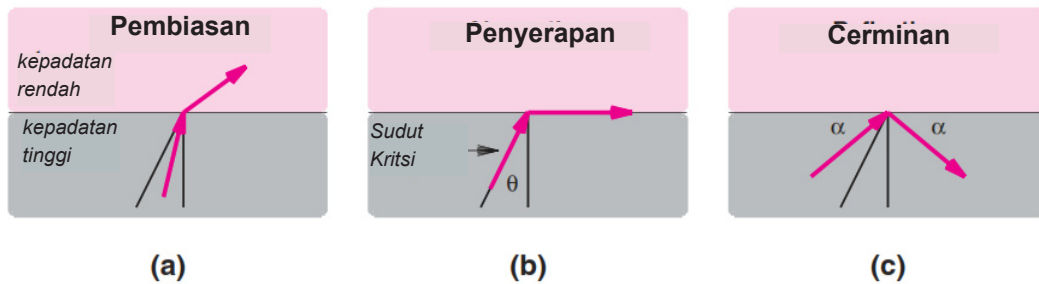
## 7.7 Media Menggunakan Energi Cahaya dan Serat Optik

Menurut taksonomi pada Gambar 7.1, tiga bentuk media menggunakan energi cahaya untuk membawa informasi:

- Serat optik
- Transmisi Inframerah
- Laser Point-to-point

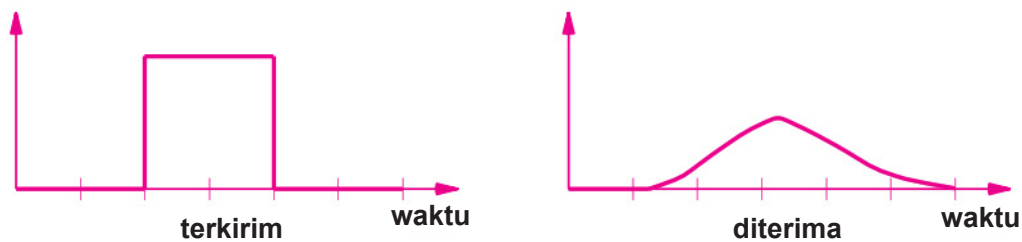
Jenis media terpenting yang menggunakan cahaya adalah serat optik. Setiap serat terdiri dari untaian tipis kaca atau plastik transparan yang terbungkus dalam penutup plastik. Serat optik tipikal digunakan untuk komunikasi dalam satu arah — salah satu ujung serat terhubung ke laser atau LED yang digunakan untuk mentransmisikan cahaya, dan ujung serat lainnya terhubung ke perangkat fotosensitif yang digunakan untuk mendeteksi cahaya yang masuk. Untuk menyediakan komunikasi dua arah, dua serat digunakan, satu untuk membawa informasi ke setiap arah. Dengan demikian, serat optik biasanya dikumpulkan menjadi kabel dengan membungkus penutup plastik di sekelilingnya; kabel memiliki setidaknya dua serat, dan kabel yang digunakan antara situs besar dengan beberapa perangkat jaringan mungkin berisi banyak serat.

Meskipun tidak dapat ditekuk pada sudut yang tepat, serat optik cukup fleksibel untuk membentuk lingkaran dengan diameter kurang dari dua inci tanpa putus. Timbul pertanyaan, mengapa cahaya merambat di sekitar tikungan pada serat? Jawabannya datang dari fisika: ketika cahaya bertemu batas antara dua zat, perilakunya tergantung pada kerapatan kedua zat dan sudut di mana cahaya mengenai batas. Untuk pasangan zat tertentu, terdapat sudut kritis,  $\theta_c$ , diukur terhadap garis yang tegak lurus dengan batas. Jika sudut datang tepat sama dengan sudut kritis, cahaya merambat sepanjang batas. Ketika sudut kurang dari derajat, cahaya melintasi batas dan dibiaskan, dan ketika sudut lebih besar dari derajat, cahaya dipantulkan seolah-olah batas itu adalah cermin. Gambar 7.4 mengilustrasikan konsep tersebut.



Gambar 7.4 Perilaku cahaya pada batas kerapatan ketika sudut datang (a) lebih kecil dari sudut kritis , (b) sama dengan sudut kritis, dan (c) lebih besar dari sudut kritis.

Gambar 7.5c menjelaskan mengapa cahaya tetap berada di dalam serat optik — zat yang disebut kelongsong terikat pada serat untuk membentuk batas. Selama perjalanan, cahaya dipantulkan dari batas. Sayangnya, refleksi dalam serat optik tidak sempurna. Refleksi menyerap sejumlah kecil energi. Selanjutnya, jika sebuah foton menempuh lintasan zig-zag yang dipantulkan dari dinding serat berkali-kali, foton akan menempuh jarak yang sedikit lebih jauh daripada foton yang menempuh lintasan lurus. Hasilnya adalah pulsa cahaya yang dikirim pada salah satu ujung serat muncul dengan energi yang lebih sedikit dan tersebar (yaitu, diregangkan) dari waktu ke waktu, seperti yang diilustrasikan Gambar 7.5.



Gambar 7.5 Sebuah pulsa cahaya yang dikirim dan diterima melalui serat optik.

## 7.8 Jenis Serat dan Transmisi Cahaya

Meskipun tidak menjadi masalah untuk serat optik yang digunakan untuk menghubungkan komputer ke perangkat terdekat, dispersi menjadi masalah serius untuk serat optik yang panjang, seperti yang digunakan di antara dua tempat atau di bawah Samudra Atlantik. Akibatnya, tiga bentuk serat optik telah ditemukan yang memberikan pilihan antara kinerja dan biaya:

- Multimode, serat Step Index adalah yang paling murah, dan digunakan ketika kinerja tidak penting. Batas antara serat dan kelongsong yang tiba-tiba menyebabkan cahaya sering dipantulkan. Oleh karena itu, dispersinya tinggi.
- Multimode, serat Indeks Bergradasi sedikit lebih mahal daripada serat indeks langkah. Namun, ia memiliki keuntungan membuat kepadatan serat meningkat di dekat tepi, yang mengurangi refleksi dan menurunkan dispersi.

- Serat Single Mode adalah yang paling mahal, dan memberikan dispersi paling sedikit. Serat memiliki diameter yang lebih kecil dan sifat lain yang membantu mengurangi refleksi. Mode tunggal digunakan untuk jarak jauh dan bit rate yang lebih tinggi.

Serat mode tunggal dan peralatan yang digunakan di setiap ujungnya dirancang untuk memfokuskan cahaya. Akibatnya, pulsa cahaya dapat menempuh jarak ribuan kilometer tanpa menjadi tersebar. Dispersi minimal membantu meningkatkan laju bit yang dapat dikirim karena pulsa yang sesuai dengan satu bit tidak menyebar ke pulsa yang sesuai dengan bit yang berurutan.

Bagaimana cahaya dikirim dan diterima pada serat? Kuncinya adalah perangkat yang digunakan untuk transmisi harus sesuai dengan seratnya. Mekanisme yang tersedia meliputi:

- Transmisi: Light Emitting Diode (LED) atau Injeksi Laser Diode (ILD)
- Penerimaan: sel fotosensitif atau fotodiode

Secara umum, LED dan sel fotosensitif digunakan untuk jarak pendek dan kecepatan bit lebih lambat yang umum digunakan pada serat multimode; serat mode tunggal, digunakan jarak jauh dengan bit rate tinggi, umumnya membutuhkan ILD dan fotodiode.

## 7.9 Serat Optik Dibandingkan dengan Kabel Tembaga

Serat optik memiliki beberapa sifat yang membuatnya lebih diinginkan daripada kabel tembaga. Serat optik kebal terhadap kebisingan listrik, memiliki bandwidth yang lebih tinggi, dan cahaya yang melintasi serat tidak melemahkan sebanyak sinyal listrik yang melintasi tembaga. Namun, kabel tembaga lebih murah. Selain itu, karena ujung serat optik harus dipoles sebelum dapat digunakan, pemasangan kabel tembaga tidak memerlukan peralatan atau keahlian khusus sebanyak serat optik. Akhirnya, karena lebih kuat, kabel tembaga cenderung tidak putus jika ditarik atau ditekuk secara tidak sengaja. berikut ini merangkum keunggulan masing-masing jenis media.

Serat Optik

- Kebal terhadap kebisingan listrik
- Lebih sedikit redaman sinyal
- Bandwidth lebih tinggi

Tembaga

- Biaya keseluruhan yang lebih rendah
- Kurang keahlian/peralatan yang dibutuhkan
- Kurang mudah rusak

## 7.10 Teknologi Komunikasi Inframerah

Teknologi komunikasi InfraRed (IR) menggunakan jenis energi yang sama seperti remote control televisi pada umumnya: suatu bentuk radiasi elektromagnetik yang berperilaku seperti cahaya tampak tetapi berada di luar jangkauan yang terlihat oleh mata manusia. Seperti cahaya tampak, inframerah menyebar dengan cepat. Sinyal inframerah dapat dipantulkan dari permukaan yang halus dan keras, tetapi objek buram setipis kertas dapat menghalangi sinyal, seperti halnya uap air di atmosfer.

## **Poin Penting**

---

*Teknologi komunikasi inframerah paling cocok untuk digunakan di dalam ruangan dalam situasi di mana jalur antara pengirim dan penerima pendek dan bebas dari halangan.*

Teknologi inframerah yang paling umum digunakan dimaksudkan untuk menghubungkan komputer ke periferal terdekat, seperti printer. Antarmuka pada komputer dan antarmuka pada printer masing-masing mengakhiri sinyal inframerah yang mencakup busur kira-kira 300°. Asalkan kedua perangkat sejajar, masing-masing dapat menerima sinyal yang lain. Aspek nirkabel inframerah sangat menarik untuk komputer laptop karena pengguna dapat bergerak di sekitar ruangan dan masih memiliki akses ke printer. Di bawah ini tiga teknologi inframerah yang umum digunakan bersama dengan kecepatan data yang didukung masing-masing.

- IrDA-SIR : Inframerah kecepatan lambat (0.115 Mbps)
- IrDA-MIR : Inframerah kecepatan sedang (1.150 Mbps)
- IrDA-FIR : Inframerah kecepatan cepat (4.000 Mbps)

## **7.11 Komunikasi Laser Point-to-Point**

Karena mereka menghubungkan sepasang perangkat dengan sinar yang mengikuti garis pandang, teknologi inframerah yang dijelaskan di atas dapat diklasifikasikan sebagai menyediakan komunikasi point-to-point. Selain inframerah, ada teknologi komunikasi point-to-point lainnya. Salah satu bentuk komunikasi point-to-point menggunakan seberkas cahaya koheren yang dihasilkan oleh laser.

Seperti inframerah, komunikasi laser mengikuti garis pandang, dan membutuhkan jalur yang jelas dan tidak terhalang antara situs yang berkomunikasi. Tidak seperti pemancar inframerah, bagaimanapun, sinar laser tidak mencakup area yang luas. Sebaliknya, lebar balok hanya beberapa sentimeter. Akibatnya, peralatan pengirim dan penerima harus disejajarkan dengan tepat untuk memastikan bahwa pancaran sinar pengirim mengenai sensor di peralatan penerima. Dalam sistem komunikasi yang khas, diperlukan komunikasi dua arah. Jadi, setiap sisi harus memiliki pemancar dan penerima, dan kedua pemancar harus disejajarkan dengan hati-hati. Karena penyelarasan sangat penting, peralatan laser titik-ke-titik biasanya dipasang secara permanen.

Sinar laser memiliki keuntungan karena cocok untuk digunakan di luar ruangan, dan dapat menjangkau jarak yang lebih jauh daripada inframerah. Hasilnya, teknologi laser sangat berguna di kota-kota untuk mentransmisikan dari gedung ke gedung. Misalnya, bayangkan sebuah perusahaan besar dengan kantor di dua gedung yang berdekatan. Perusahaan tidak diizinkan untuk memasang kabel di jalan-jalan di antara gedung-gedung. Namun, perusahaan dapat membeli peralatan komunikasi laser dan memasang peralatan tersebut secara permanen, baik di sisi kedua gedung atau di atap. Setelah peralatan dibeli dan dipasang, biaya pengoperasiannya relatif rendah.

## **Poin Penting**

---

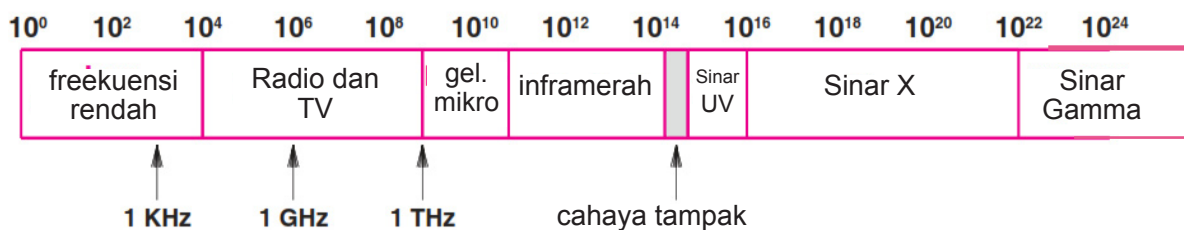
*Teknologi laser dapat digunakan untuk membuat sistem komunikasi point-to-point. Karena laser memancarkan sinar cahaya yang sempit, pemancar dan penerima harus disejajarkan dengan tepat; instalasi khas menempelkan peralatan ke struktur permanen seperti atap bangunan.*



## 7.12 Komunikasi Elektromagnetik (Radio)

Ingatlah bahwa istilah tidak terarah digunakan untuk mencirikan teknologi komunikasi yang dapat menyebarkan energi tanpa memerlukan media seperti kawat atau serat optik. Bentuk paling umum dari mekanisme komunikasi tidak terarah terdiri dari teknologi jaringan nirkabel yang menggunakan energi elektromagnetik dalam rentang Frekuensi Radio (RF). Transmisi RF memiliki keunggulan tersendiri dibandingkan cahaya karena energi RF dapat melintasi jarak yang jauh dan menembus objek seperti dinding bangunan.

Sifat yang tepat dari energi elektromagnetik tergantung pada frekuensi. Kami menggunakan istilah spektrum untuk merujuk pada rentang frekuensi yang mungkin; pemerintah di seluruh dunia mengalokasikan frekuensi untuk tujuan tertentu. Di A.S., Komisi Komunikasi Federal menetapkan aturan tentang bagaimana frekuensi dialokasikan, dan menetapkan batas jumlah daya yang dapat dipancarkan peralatan komunikasi pada setiap frekuensi. Gambar 7.9 menunjukkan spektrum elektromagnetik keseluruhan dan karakteristik umum masing-masing bagian. Seperti yang ditunjukkan gambar, satu bagian dari spektrum sesuai dengan cahaya inframerah yang dijelaskan di atas. Spektrum yang digunakan untuk komunikasi RF mencakup frekuensi dari sekitar 3 KHz hingga 300 GHz, dan mencakup frekuensi yang dialokasikan untuk siaran radio dan televisi serta komunikasi satelit dan gelombang mikro.



Gambar 7.6 Bagian utama dari spektrum elektromagnetik dengan frekuensi dalam Hz ditunjukkan pada skala log.

## 7.13 Perambatan Sinyal

Bab 6 menjelaskan bahwa jumlah informasi yang dapat diwakili oleh gelombang elektromagnetik bergantung pada frekuensi gelombang. Frekuensi gelombang elektromagnetik juga menentukan bagaimana gelombang merambat. Terdapat tiga jenis propagasi yang luas.

- Frekuensi rendah (< 2 Mbps) - Gelombang mengikuti kelengkungan bumi, tetapi dapat dihalangi oleh medan yang tidak rata
- Frekuensi sedang (2 - 30 Mbps) - Gelombang dapat dipantulkan dari lapisan atmosfer, terutama ionosfer
- Frekuensi cepat (> 30 Mbps) - Gelombang merambat dalam garis lurus, dan akan terhalang oleh penghalang

Frekuensi radiasi elektromagnetik terendah mengikuti permukaan bumi, yang berarti bahwa jika medannya relatif datar, akan memungkinkan untuk menempatkan penerima di luar cakrawala dari pemancar. Dengan frekuensi menengah, pemancar dan penerima dapat berjauhan karena sinyal dapat memantul dari ionosfer untuk melakukan perjalanan di antara mereka. Akhirnya, frekuensi tertinggi

transmisi radio berperilaku seperti cahaya — sinyal merambat dalam garis lurus dari pemancar ke penerima, dan jalurnya harus bebas dari penghalang.

### **Poin Penting**

*Frekuensi yang digunakan untuk teknologi jaringan nirkabel tidak dapat dipilih secara sembarangan karena pemerintah mengontrol penggunaan spektrum dan setiap frekuensi memiliki karakteristik seperti perambatan gelombang, kebutuhan daya, dan kerentanan terhadap noise.*

Teknologi nirkabel diklasifikasikan menjadi dua kategori besar sebagai berikut:

- Terrestrial. Komunikasi menggunakan peralatan seperti pemancar radio atau gelombang mikro yang relatif dekat dengan permukaan bumi. Lokasi khas untuk antena atau peralatan lainnya termasuk puncak bukit, menara buatan, dan gedung tinggi.
- Nonterrestrial. Beberapa peralatan yang digunakan dalam komunikasi berada di luar atmosfer bumi (misalnya satelit yang mengorbit di sekitar bumi).

Bab 16 menyajikan teknologi nirkabel khusus, dan menjelaskan karakteristik masing-masing. Untuk saat ini, cukup dipahami bahwa frekuensi dan jumlah daya yang digunakan dapat mempengaruhi kecepatan pengiriman data, jarak maksimum komunikasi yang dapat terjadi, dan karakteristik seperti apakah sinyal dapat menembus benda padat.

## **7.14 Jenis Satelit**

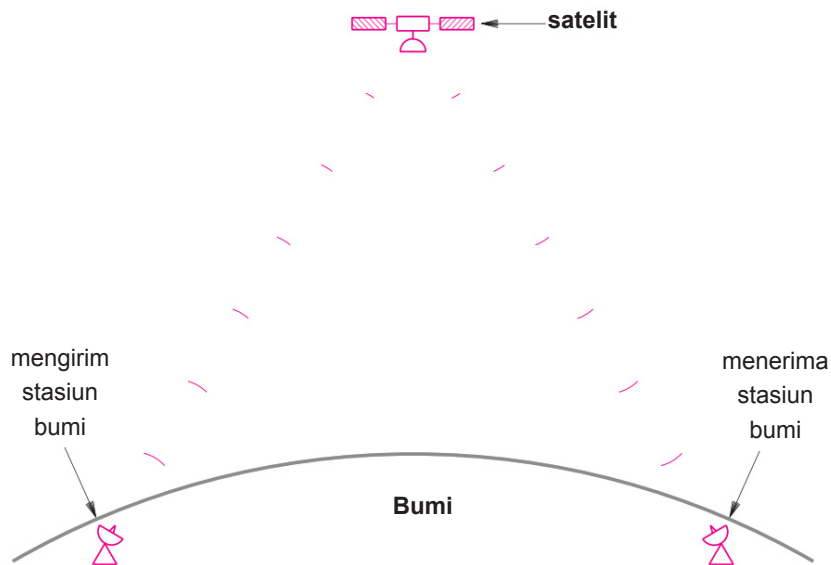
Hukum fisika (khususnya Hukum Kepler) mengatur gerakan suatu objek, seperti satelit, yang mengorbit bumi. Secara khusus, periode (yaitu, waktu yang diperlukan untuk orbit lengkap) tergantung pada jarak dari bumi. Akibatnya, satelit komunikasi diklasifikasikan ke dalam tiga kategori besar, tergantung pada jaraknya dari bumi. Tiga kategori satelit komunikasi umumnya adalah sebagai berikut:

- Low Earth Orbit (LEO) - Memiliki keunggulan delay yang rendah, tetapi kerugiannya adalah dari sudut pandang pengamat di bumi, satelit tampak bergerak melintasi langit
- Medium Earth Orbit (MEO) - Orbit elips (bukan melingkar) terutama digunakan untuk menyediakan komunikasi di Utara dan kutub selatan
- Geostationary Earth Orbit (GEO) - Memiliki keuntungan bahwa satelit tetap pada posisi tetap sehubungan dengan lokasi di permukaan bumi, tetapi kerugiannya adalah lebih jauh

## **7.15 Satelit Komunikasi GEO**

Tradeoff utama dalam satelit komunikasi adalah antara ketinggian dan periode. Keuntungan utama dari satelit di Geostationary Earth Orbit (GEO) muncul karena periode orbitnya persis sama dengan kecepatan rotasi bumi. Jika diposisikan di atas khatulistiwa, satelit GEO tetap berada di lokasi yang sama persis di atas permukaan bumi setiap saat. Posisi satelit yang stasioner berarti bahwa

setelah stasiun bumi disejajarkan dengan satelit, peralatan tidak perlu dipindahkan. Gambar 7.7 mengilustrasikan konsep tersebut.



Gambar 7.7 Satelit GEO dan stasiun bumi sejajar secara permanen.

Sayangnya, jarak yang diperlukan untuk orbit geostasioner adalah 35.785 kilometer atau 22.236 mil, yang kira-kira sepersepuluh jarak ke bulan. Untuk memahami apa arti jarak seperti itu untuk komunikasi, pertimbangkan gelombang radio yang merambat ke satelit GEO dan kembali lagi. Dengan kecepatan cahaya,  $3 \times 10^8$  meter per detik, perjalanan yang ditempuh:

$$\frac{2 \times 35.8 \times 10^6 \text{ meters}}{3 \times 10^8 \text{ meters/sec}} = 0.238 \text{ sec}$$

Meskipun mungkin tampak tidak penting, penundaan sekitar 0,2 detik dapat menjadi signifikan untuk beberapa aplikasi. Dalam panggilan telepon atau telekonferensi video, manusia dapat melihat penundaan 0,2 detik. Untuk transaksi elektronik seperti bursa saham yang menawarkan serangkaian obligasi terbatas, penundaan penawaran sebesar 0,2 detik dapat berarti perbedaan antara penawaran yang berhasil dan tidak berhasil.

### **Poin Penting**

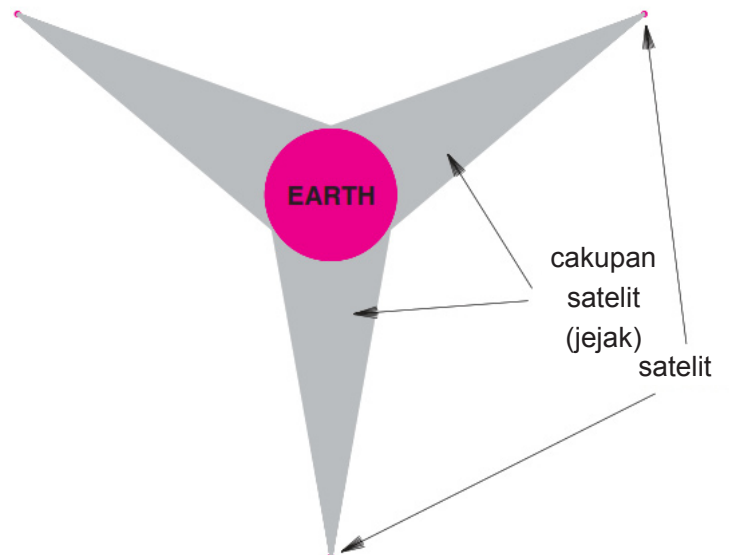
*Bahkan pada kecepatan cahaya, sinyal membutuhkan waktu lebih dari 0,2 detik untuk bergerak dari stasiun bumi ke satelit GEO dan kembali ke stasiun bumi lain.*

## **7.16 Cakupan GEO Bumi**

Berapa banyak satelit komunikasi GEO yang mungkin? Menariknya, ada “ruang” terbatas yang tersedia di orbit geosinkron di atas khatulistiwa karena satelit komunikasi yang menggunakan frekuensi tertentu harus dipisahkan satu sama lain untuk menghindari interferensi. Pemisahan minimum tergantung pada kekuatan pemancar, tetapi mungkin memerlukan pemisahan sudut antara 4 dan 8 derajat. Jadi,

tanpa penyempurnaan lebih lanjut, seluruh lingkaran 360 derajat di atas khatulistiwa hanya dapat menampung 45 hingga 90 satelit.

Berapa jumlah minimal satelit yang dibutuhkan untuk menutupi bumi? Tiga. Untuk mengetahui alasannya, perhatikan Gambar 7.8, yang mengilustrasikan bumi dengan tiga satelit GEO yang diposisikan di sekitar khatulistiwa dengan jarak separasi 120. Gambar tersebut mengilustrasikan bagaimana sinyal dari ketiga satelit menutupi keliling. Pada gambar, ukuran bumi dan jarak satelit digambarkan dengan skala.



Gambar 7.8 Sinyal dari tiga satelit GEO cukup untuk menutupi bumi.

## 7.17 Satelit dan Gugus Orbit Bumi Rendah (LEO)

Untuk komunikasi, alternatif utama untuk GEO dikenal sebagai Low Earth Orbit (LEO), yang didefinisikan sebagai ketinggian hingga 2000 Kilometer. Praktisnya, satelit harus ditempatkan di atas pinggiran atmosfer untuk menghindari hambatan yang dihasilkan oleh pertemuan gas. Dengan demikian, satelit LEO biasanya ditempatkan pada ketinggian 500 Kilometer atau lebih tinggi. LEO menawarkan keuntungan penundaan singkat (biasanya 1 hingga 4 milidetik), tetapi kerugiannya adalah orbit satelit tidak sesuai dengan rotasi bumi. Jadi, dari sudut pandang pengamat di bumi, satelit LEO tampak bergerak melintasi langit, yang berarti stasiun bumi harus memiliki antena yang dapat berputar untuk melacak satelit. Pelacakan sulit karena satelit bergerak cepat. Satelit LEO dengan ketinggian terendah mengorbit bumi dalam waktu sekitar 90 menit; satelit LEO yang lebih tinggi memerlukan beberapa jam.

Teknik umum yang digunakan dengan satelit LEO dikenal sebagai pengelompokan atau penyebaran array. Sekelompok besar satelit LEO dirancang untuk bekerja bersama. Selain berkomunikasi dengan stasiun bumi, satelit dalam grup juga dapat berkomunikasi dengan satelit lain dalam grup. Anggota kelompok tetap berkomunikasi, dan setuju untuk meneruskan pesan, sesuai kebutuhan. Misalnya, pertimbangkan apa yang terjadi ketika pengguna di Eropa mengirim pesan ke pengguna di Amerika Utara. Sebuah stasiun bumi di Eropa mentransmisikan pesan ke satelit yang saat ini berada di atas kepala. Cluster satelit berkomunikasi untuk meneruskan pesan ke satelit di cluster yang saat ini berada

di atas stasiun bumi di Amerika Utara. Akhirnya, satelit yang saat ini berada di atas Amerika Utara mengirimkan pesan ke stasiun bumi.

### **Poin Penting**

*Sekelompok satelit LEO bekerja sama untuk meneruskan pesan. Anggota cluster harus mengetahui satelit mana yang saat ini berada di atas area tertentu di bumi, dan meneruskan pesan ke anggota yang sesuai untuk dikirim ke stasiun bumi.*

## **7.18 Pertukaran Antara Jenis Media**

Pilihan media itu kompleks, dan melibatkan evaluasi berbagai faktor. Hal-hal yang harus diperhatikan antara lain:

- Biaya: bahan, instalasi, operasi, dan pemeliharaan
- Kecepatan data: jumlah bit per detik yang dapat dikirim
- Delay: waktu yang dibutuhkan untuk propagasi atau pemrosesan sinyal
- Mempengaruhi sinyal: redaman dan distorsi
- Lingkungan: kerentanan terhadap gangguan dan kebisingan listrik
- Keamanan: kerentanan terhadap penyadapan

## **7.19 Mengukur Media Transmisi**

Kami telah menyebutkan dua ukuran kinerja terpenting yang digunakan untuk menilai media transmisi:

- Penundaan propagasi: waktu yang dibutuhkan sinyal untuk melintasi media
- Kapasitas saluran: kecepatan data maksimum yang dapat didukung media

Bab 6 menjelaskan bahwa pada tahun 1920-an, seorang peneliti bernama Nyquist menemukan hubungan mendasar antara bandwidth sistem transmisi dan kapasitasnya untuk mentransfer data. Dikenal sebagai Teorema Nyquist, hubungan tersebut memberikan batasan teoretis pada kecepatan maksimum di mana data dapat dikirim tanpa mempertimbangkan efek noise. Jika sistem transmisi menggunakan K level sinyal yang mungkin dan memiliki bandwidth analog B, Teorema Nyquist menyatakan bahwa kecepatan data maksimum dalam bit per detik, D, adalah:

$$D = 2 B \log_2 K$$

## **7.20 Pengaruh Kebisingan pada Komunikasi**

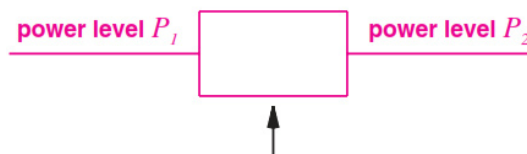
Teorema Nyquist memberikan nilai maksimum absolut yang tidak dapat dicapai dalam praktik. Secara khusus, para insinyur telah mengamati bahwa sistem komunikasi nyata tunduk pada sejumlah kecil kebisingan listrik dan bahwa kebisingan tersebut membuat mustahil untuk mencapai tingkat transmisi maksimum teoritis. Pada tahun 1948, Claude Shannon memperluas pekerjaan Nyquist untuk menentukan kecepatan data maksimum yang dapat dicapai melalui sistem transmisi yang mengalami kebisingan. Hasilnya, yang disebut Teorema Shannon, dapat dinyatakan sebagai:

$$C = B \log_2(1 + S/N)$$

di mana C adalah batas efektif pada kapasitas saluran dalam bit per detik, B adalah bandwidth perangkat keras, dan S/N adalah rasio signal-to-noise, rasio daya sinyal rata-rata dibagi dengan daya noise rata-rata. Sebagai contoh Teorema Shannon, pertimbangkan media transmisi yang memiliki bandwidth 1 KHz, daya sinyal rata-rata 70 unit, dan daya noise rata-rata 10 unit. Kapasitas saluran adalah:

$$C = 103 \times \log_2(1 + 7) = 103 \times 3 = 3.000 \text{ bit per detik}$$

Rasio signal-to-noise sering diberikan dalam desibel (disingkat dB), di mana desibel didefinisikan sebagai ukuran perbedaan antara dua tingkat daya. Gambar 7.9 mengilustrasikan pengukuran.



Gambar 7.9 Tingkat daya diukur di kedua sisi sistem.

Setelah dua tingkat daya diukur, perbedaannya dinyatakan dalam desibel, yang didefinisikan sebagai berikut:

$$dB = 10 \log_{10} \left[ \frac{P_2}{P_1} \right]$$

Menggunakan dB sebagai ukuran mungkin tampak biasa, tetapi memiliki dua keuntungan menarik. Pertama, nilai dB negatif berarti sinyal telah dilemahkan (yaitu dikurangi), dan nilai dB positif berarti sinyal telah diperkuat. Kedua, jika suatu sistem komunikasi memiliki banyak bagian yang disusun secara berurutan, ukuran desibel dari bagian-bagian tersebut dapat dijumlahkan untuk menghasilkan ukuran sistem secara keseluruhan.

Sistem telepon suara memiliki rasio signal-to-noise sekitar 30 dB dan bandwidth analog sekitar 3000 Hz. Untuk mengubah rasio signal-to-noise dB menjadi pecahan sederhana, bagi dengan 10 dan gunakan hasilnya sebagai pangkat 10 (yaitu  $30/10 = 3$ , dan  $10^3 = 1000$ , jadi rasio signal-to-noise adalah 1000). Teorema Shannon dapat diterapkan untuk menentukan jumlah maksimum bit per detik yang dapat ditransmisikan melalui jaringan telepon:

$$C = 3000 \times \log_2(1 + 1000)$$

atau sekitar 30.000 bps. Insinyur mengenali ini sebagai batas mendasar — kecepatan transmisi yang lebih cepat hanya akan mungkin jika rasio signal-to-noise dapat ditingkatkan.

## 7.21 Signifikansi Kapasitas Saluran

Teorema Nyquist dan Shannon yang dijelaskan di atas memiliki konsekuensi bagi para insinyur yang merancang jaringan komunikasi data. Pekerjaan Nyquist telah memberikan insentif untuk mengeksplorasi cara kompleks untuk mengkodekan bit pada sinyal:

*Teorema Nyquist mendorong para insinyur untuk mengeksplorasi cara-cara untuk mengkodekan bit pada sinyal karena pengkodean yang cerdas memungkinkan lebih banyak bit ditransmisikan per satuan waktu.*

Dalam beberapa hal, Teorema Shannon lebih mendasar karena mewakili batas absolut yang diturunkan dari hukum fisika. Sebagian besar kebisingan pada saluran transmisi, misalnya, dapat dikaitkan dengan radiasi latar belakang di alam semesta yang tersisa dari Big Bang. Jadi,

*Teorema Shannon memberi tahu para insinyur bahwa tidak ada pengkodean pintar yang dapat mengatasi hukum fisika yang menempatkan batas mendasar pada jumlah bit per detik yang dapat ditransmisikan dalam sistem komunikasi nyata.*

## 7.22 Ringkasan

Berbagai media transmisi ada yang dapat diklasifikasikan sebagai terpandu / tidak terarah atau dibagi menurut bentuk energi yang digunakan (listrik, cahaya, atau transmisi radio). Energi listrik digunakan melalui kabel. Untuk melindungi dari gangguan listrik, kabel tembaga dapat terdiri dari pasangan bengkok atau dapat dibungkus dengan pelindung.

Energi cahaya dapat digunakan melalui serat optik atau untuk komunikasi titik-ke-titik menggunakan inframerah atau laser. Karena memantul dari batas antara serat dan kelongsong, cahaya tetap berada dalam serat optik asalkan sudut datang lebih besar dari sudut kritis. Saat melewati serat, pulsa cahaya menyebar; dispersi terbesar dalam serat multimode dan paling sedikit dalam serat mode tunggal. Serat mode tunggal lebih mahal.

Komunikasi nirkabel menggunakan energi elektromagnetik. Frekuensi yang digunakan menentukan baik bandwidth maupun perilaku propagasi; frekuensi rendah mengikuti permukaan bumi, frekuensi yang lebih tinggi dipantulkan dari ionosfer, dan frekuensi tertinggi berperilaku seperti cahaya tampak dengan membutuhkan jalur langsung yang tidak terhalang dari pemancar ke penerima.

Teknologi komunikasi non terestrial utama bergantung pada satelit. Orbit satelit GEO cocok dengan rotasi bumi, tetapi ketinggian tinggi menimbulkan penundaan yang diukur dalam sepersepuluh detik. Satelit LEO memiliki penundaan yang rendah, dan bergerak melintasi langit dengan cepat; cluster digunakan untuk menyampaikan pesan.

Teorema Nyquist memberikan batasan teoritis pada kapasitas saluran media transmisi ketika tidak ada noise; Teorema Shannon menentukan kapasitas saluran dalam situasi realistis di mana kebisingan hadir. Rasio signal-to-noise, istilah dalam Teorema Shannon, sering diukur dalam desibel.



## Latihan

---

1. Apa perbedaan antara transmisi terpandu dan tidak terpandu?
2. Apa tiga jenis energi yang digunakan ketika mengklasifikasikan media fisik menurut energi yang digunakan?
3. Apa yang terjadi ketika kebisingan bertemu dengan benda logam?
4. Apa tiga jenis kabel yang digunakan untuk mengurangi kebisingan bentuk interferensi?
5. Jelaskan bagaimana kabel twisted pair mengurangi efek noise.
6. Gambarkanlah diagram yang menggambarkan penampang kabel koaksial.
7. Jika Anda memasang kabel jaringan komputer di rumah baru, kategori kabel twisted pair apa yang akan Anda pilih? Mengapa?
8. Jelaskan mengapa cahaya tidak meninggalkan serat optik ketika serat dibengkokkan menjadi busur.
9. Apa itu dispersi?
10. Sebutkan tiga bentuk serat optik, dan berikan sifat-sifat umum masing-masing.
11. Sumber cahaya dan sensor apa yang digunakan dengan serat optik?
12. Apa kelemahan utama dari serat optik dibandingkan dengan kabel tembaga?
13. Berapa perkiraan sudut kerucut yang dapat digunakan dengan teknologi InfraRed?
14. Dapatkah komunikasi laser digunakan dari kendaraan yang bergerak? Menjelaskan.
15. Mengapa radiasi elektromagnetik frekuensi rendah dapat digunakan untuk komunikasi? Menjelaskan.
16. Apa dua kategori besar komunikasi nirkabel?
17. Sebutkan tiga jenis satelit komunikasi, dan berikan ciri-cirinya masing-masing.
18. Jika pesan dikirim dari Eropa ke Amerika Serikat menggunakan satelit GEO, berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengirim pesan dan balasan diterima?
19. Berapa banyak satelit GEO yang dibutuhkan untuk menjangkau semua wilayah berpenduduk di bumi?
20. Apa itu penundaan propagasi?
21. Apa hubungan antara bandwidth, level sinyal, dan kecepatan data?
22. Jika dua level sinyal digunakan, berapa kecepatan data yang dapat dikirim melalui kabel koaksial yang memiliki bandwidth analog 6,2 MHz?
23. Jika suatu sistem memiliki tingkat daya rata-rata 100, tingkat kebisingan rata-rata 33,33, dan bandwidth 100 MHz, berapakah batas efektif pada kapasitas saluran?
24. Jika suatu sistem memiliki tingkat daya masukan 9000, dan tingkat daya keluaran 3000, berapakah perbedaannya jika dinyatakan dalam dB?
25. Jika sistem telepon dapat dibuat dengan rasio signal-to-noise 40 dB dan bandwidth analog 3000 Hz, berapa bit per detik yang dapat ditransmisikan

---

### Bab ini akan membahas tentang:

- kesalahan yang dapat terjadi selama transmisi dan
- teknik yang dapat digunakan untuk mengendalikan kesalahan

### 8.1 Tiga Sumber Utama Kesalahan Transmisi

Semua sistem komunikasi data rentan terhadap kesalahan. Beberapa masalah yang melekat dalam fisika alam semesta, dan beberapa hasil baik dari perangkat yang gagal atau dari peralatan yang tidak memenuhi standar teknik. Pengujian ekstensif dapat menghilangkan banyak masalah yang muncul dari rekayasa yang buruk, dan pemantauan yang cermat dapat mengidentifikasi peralatan yang gagal. Namun, kesalahan kecil yang terjadi selama transmisi lebih sulit dideteksi daripada kegagalan total, dan sebagian besar jaringan komputer berfokus pada cara untuk mengontrol dan memulihkan dari kesalahan tersebut.

Ada tiga kategori utama kesalahan transmisi:

- Interferensi. Seperti yang dijelaskan Bab 7, radiasi elektromagnetik yang dipancarkan dari perangkat seperti motor listrik dan radiasi kosmik latar belakang menyebabkan kebisingan yang dapat mengganggu transmisi radio dan sinyal yang melintasi kabel.
- Distorsi. Semua sistem fisik mendistorsi sinyal. Saat pulsa bergerak di sepanjang serat optik, pulsa menyebar. Kabel memiliki sifat kapasitansi dan induktansi yang memblokir sinyal pada beberapa frekuensi sementara menerima sinyal pada frekuensi lain. Cukup menempatkan kawat di dekat benda logam besar dapat mengubah set frekuensi yang dapat melewati kawat.

Demikian pula, benda logam dapat memblokir beberapa frekuensi gelombang radio, sementara melewati yang lain.

- Atenuasi. Saat sinyal melewati media, sinyal menjadi lebih lemah. Insinyur mengatakan bahwa sinyal telah dilemahkan. Dengan demikian, sinyal pada kabel atau serat optik menjadi lebih lemah pada jarak yang jauh, seperti halnya sinyal radio menjadi lebih lemah dengan jarak.

Teorema Shannon menyarankan satu cara untuk mengurangi kesalahan: meningkatkan rasio signal-to-noise (baik dengan meningkatkan sinyal atau menurunkan noise). Meskipun mekanisme seperti kabel berpelindung dapat membantu menurunkan kebisingan, sistem transmisi fisik selalu rentan terhadap kesalahan, dan rasio signal-to-noise tidak mungkin diubah.

Meskipun tidak dapat dihilangkan sepenuhnya, banyak kesalahan transmisi dapat dideteksi. Dalam beberapa kasus, kesalahan dapat diperbaiki secara otomatis. Kita akan melihat bahwa deteksi kesalahan menambah overhead. Jadi, semua penanganan kesalahan adalah tradeoff di mana perancang sistem harus memutuskan apakah kesalahan yang diberikan mungkin terjadi, dan jika demikian, apa konsekuensinya (misalnya, kesalahan bit tunggal dalam transfer bank dapat membuat perbedaan lebih dari satu juta dolar, tetapi satu bit dalam sebuah gambar kurang penting).

### **Poin Penting**

*Meskipun kesalahan transmisi tidak dapat dihindari, mekanisme deteksi kesalahan menambah overhead. Oleh karena itu, seorang desainer harus memilih secara tepat deteksi kesalahan dan mekanisme kompensasi yang akan digunakan.*

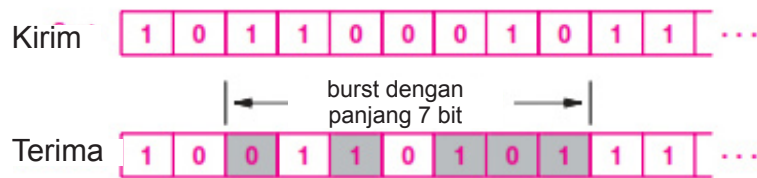
## **8.2 Pengaruh Kesalahan Transmisi Pada Keandalan Data8 dan Pengkodean Saluran**

Alih-alih memeriksa fisika dan penyebab pasti kesalahan transmisi, komunikasi data berfokus pada efek kesalahan pada data. Gambar 8.1 mencantumkan tiga cara utama kesalahan transmisi mempengaruhi data.

Meskipun setiap kesalahan transmisi dapat menyebabkan masing-masing kesalahan data yang mungkin terjadi, gambar tersebut menunjukkan bahwa kesalahan transmisi yang mendasari sering memanifestasikan dirinya sebagai kesalahan data tertentu. Misalnya, gangguan durasi yang sangat singkat, yang disebut spike, sering menjadi penyebab kesalahan bit tunggal. Interferensi atau distorsi durasi yang lebih lama dapat menghasilkan kesalahan burst. Terkadang sinyal tidak jelas 1 atau tidak jelas 0, tetapi jatuh di wilayah ambigu, yang dikenal sebagai penghapusan.

- Single Bit Error - Satu bit dalam satu blok bit diubah dan semua bit lainnya dalam blok tidak berubah (sering kali disebabkan oleh interferensi dengan durasi yang sangat singkat)
- Burst Error - Beberapa bit dalam satu blok bit diubah (seringkali disebabkan oleh interferensi dengan durasi yang lebih lama)
- Erasure (Ambiguity) - Sinyal yang tiba di penerima tidak jelas (tidak sesuai dengan logika 1 atau logika 0 (dapat disebabkan oleh distorsi atau interferensi))

Untuk kesalahan burst, ukuran burst, atau panjangnya, didefinisikan sebagai jumlah bit dari awal kerusakan hingga akhir kerusakan. Gambar 8.1 mengilustrasikan definisi tersebut.



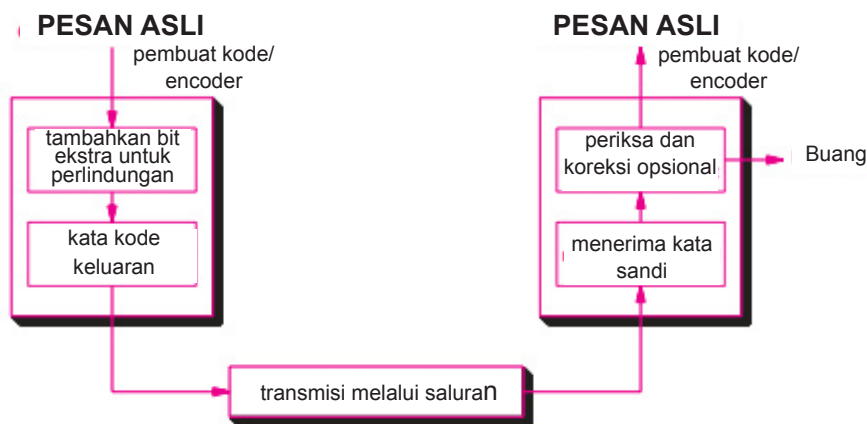
Gambar 8.1 Ilustrasi kesalahan burst dengan bit yang diubah ditandai dengan warna abu-abu.

### 8.3 Dua Strategi untuk Menangani Kesalahan Saluran

Berbagai teknik matematika telah dikembangkan untuk mengatasi kesalahan data dan meningkatkan keandalan. Dikenal secara kolektif sebagai pengkodean saluran, teknik ini dapat dibagi menjadi dua kategori besar:

- Mekanisme Forward Error Correction (FEC)
- Mekanisme Permintaan Ulang Otomatis (ARQ)

Ide dasar dari koreksi kesalahan ke depan sangat mudah: tambahkan informasi tambahan ke data yang memungkinkan penerima untuk memverifikasi bahwa data tiba dengan benar dan untuk memperbaiki kesalahan, jika memungkinkan. Gambar 8.2 mengilustrasikan organisasi konseptual mekanisme koreksi kesalahan maju.



Gambar 8.2 Organisasi konseptual mekanisme koreksi kesalahan maju.

Mekanisme deteksi kesalahan dasar memungkinkan penerima untuk mendeteksi ketika kesalahan telah terjadi; mekanisme koreksi kesalahan maju memungkinkan penerima untuk menentukan dengan tepat bit mana yang telah diubah dan untuk menghitung nilai yang benar. Pendekatan kedua untuk pengkodean saluran, yang dikenal sebagai ARQ, membutuhkan kerja sama dari pengirim — pengirim dan penerima bertukar pesan untuk memastikan bahwa semua data tiba dengan benar.

## 8.4 Blokir Dan Kode Kesalahan Konvolusi

Dua jenis teknik koreksi kesalahan maju memenuhi kebutuhan yang terpisah:

- **Blokir Kode Kesalahan.** Kode blok membagi data yang akan dikirim ke dalam satu set blok, dan melampirkan informasi tambahan yang dikenal sebagai redundansi ke setiap blok. Pengkodean untuk blok bit tertentu hanya bergantung pada bit itu sendiri, bukan pada bit yang dikirim sebelumnya. Kode kesalahan blok tidak memiliki memori dalam arti bahwa mekanisme pengkodean tidak membawa informasi status dari satu blok data ke blok data berikutnya.
- **Kode Kesalahan Konvolusi.** Kode konvolusi memperlakukan data sebagai serangkaian bit, dan menghitung kode melalui rangkaian kontinu. Dengan demikian, kode yang dihitung untuk satu set bit tergantung pada input saat ini dan beberapa bit sebelumnya dalam aliran. Kode konvolusi dikatakan kode dengan memori.

Ketika diimplementasikan dalam perangkat lunak, kode kesalahan convolutional biasanya membutuhkan lebih banyak perhitungan daripada kode kesalahan blok. Namun, kode konvolusi sering kali memiliki kemungkinan lebih tinggi untuk mendeteksi masalah.

## 8.5 Contoh Kode Kesalahan Blok: Pemeriksaan Paritas Tunggal

Untuk memahami bagaimana informasi tambahan dapat digunakan untuk mendeteksi kesalahan, pertimbangkan mekanisme pemeriksaan paritas tunggal (SPC). Salah satu bentuk SPC mendefinisikan blok menjadi unit data 8-bit (yaitu, satu byte). Di sisi pengirim, encoder menambahkan bit ekstra, yang disebut bit paritas ke setiap byte sebelum transmisi; penerima menghapus bit paritas dan menggunakannya untuk memeriksa apakah bit dalam byte sudah benar.

Sebelum paritas dapat digunakan, pengirim dan penerima harus dikonfigurasi untuk paritas genap atau paritas ganjil. Saat menggunakan paritas genap, pengirim memilih bit paritas 0 jika byte memiliki jumlah genap 1 bit, dan 1 jika byte memiliki jumlah ganjil 1 bit. Cara untuk mengingat definisinya adalah: paritas genap atau ganjil menentukan apakah 9 bit yang dikirim melintasi saluran memiliki jumlah 1 bit genap atau ganjil. Tabel 8.1 mencantumkan contoh byte data dan nilai bit paritas yang dikirim saat menggunakan paritas genap atau ganjil.

### Poin Penting

Pemeriksaan paritas tunggal (SPC) adalah bentuk dasar pengkodean saluran di mana pengirim menambahkan bit ekstra ke setiap byte untuk membuat jumlah 1 bit genap (atau ganjil) dan penerima memverifikasi bahwa data yang masuk memiliki nomor 1 yang benar. bit.

*Tabel 8.1 Byte data dan nilai yang sesuai dari bit paritas tunggal saat menggunakan paritas genap atau paritas ganjil.*

Data Asli	Paritas genap	Paritas ganjil
00000000	0	1
01011011	1	0
01010101	0	1
11111111	0	1
10000000	1	0
01001001	1	0

Pemeriksaan paritas tunggal adalah bentuk pengkodean saluran yang lemah yang dapat mendeteksi kesalahan, tetapi tidak dapat memperbaikinya. Selanjutnya, mekanisme paritas hanya dapat menangani kesalahan di mana jumlah bit ganjil diubah. Jika salah satu dari sembilan bit (termasuk bit paritas) diubah selama transmisi, penerima akan menyatakan bahwa byte yang masuk tidak valid. Namun, jika terjadi kesalahan burst di mana dua, empat, enam, atau delapan bit berubah nilai, penerima akan salah mengklasifikasikan byte yang masuk sebagai valid.

## 8.6 Matematika Kode Kesalahan Blok Dan $(n,k)$ Notasi

Amati bahwa koreksi kesalahan maju mengambil satu set pesan sebagai masukan dan menyisipkan bit tambahan untuk menghasilkan versi yang disandikan. Secara matematis, kami mendefinisikan kumpulan semua pesan yang mungkin menjadi kumpulan kata data, dan mendefinisikan kumpulan semua versi yang dikodekan menjadi kumpulan kata kode. Jika sebuah dataword berisi  $k$  bit dan  $r$  bit tambahan ditambahkan untuk membentuk sebuah codeword, kita katakan bahwa hasilnya adalah skema encoding  $(n, k)$ .

$(n, k)$  skema pengkodean

Sebagai contoh, pertimbangkan pemeriksaan paritas tunggal. Himpunan datawords terdiri dari kemungkinan kombinasi 8-bit. Jadi,  $k = 8$  dan ada 28 atau 256 kemungkinan kata data. Data yang dikirim terdiri dari  $n = 9$  bit, sehingga ada 29 atau 512 kemungkinan. Namun, hanya setengah dari 512 nilai yang membentuk kata kode yang valid.

Pikirkan himpunan semua nilai  $n$ -bit yang mungkin dan subset valid yang membentuk buku kode. Jika terjadi kesalahan selama transmisi, satu atau lebih bit dalam codeword akan diubah, yang akan menghasilkan codeword lain yang valid atau kombinasi yang tidak valid. Misalnya, dalam skema paritas tunggal yang dibahas di atas, perubahan ke satu bit dari codeword yang valid menghasilkan kombinasi yang tidak valid, tetapi mengubah dua bit menghasilkan codeword yang valid lainnya. Jelas, kami menginginkan pengkodean di mana kesalahan menghasilkan kombinasi yang tidak valid.

### Poin Penting

*Skema pengkodean saluran yang ideal adalah di mana setiap perubahan ke bit dalam kata sandi yang valid menghasilkan kombinasi yang tidak valid.*

## 8.7 Jarak Hamming: Ukuran Kekuatan Kode

Tidak ada skema pengkodean saluran yang ideal — mengubah bit yang cukup akan selalu berubah menjadi kata sandi yang valid. Jadi, untuk skema praktis, pertanyaannya menjadi, “berapa jumlah bit minimum dari codeword valid yang harus diubah untuk menghasilkan codeword valid lainnya?” Untuk menjawab pertanyaan tersebut, para insinyur menggunakan ukuran yang dikenal sebagai jarak Hamming, yang diambil dari nama seorang ahli teori di Bell Laboratories yang merupakan pelopor dalam bidang teori informasi dan pengkodean saluran. Mengingat dua string  $n$  bit masing-masing, jarak Hamming didefinisikan sebagai jumlah perbedaan (yaitu, jumlah bit yang harus diubah untuk mengubah satu bit string yang lain). Perhatikan ilustrasi dalam pemahaman definisi Contoh Hamming distance untuk berbagai pasangan string 3-bit tersebut.

$d(000.001) = 1$        $d(000.101) = 2$   
 $d(101.100) = 1$        $d(001.010) = 2$

$$d(110.001) = 3 \quad d(111.000) = 3$$

Salah satu cara untuk menghitung jarak Hamming terdiri dari mengambil eksklusif atau (xor) antara dua string dan menghitung jumlah 1 bit dalam jawabannya. Sebagai contoh, pertimbangkan jarak Hamming antara string 110 dan 011. Xor dari dua string adalah:

$$110 + 011 = 101$$

yang berisi dua 1 bit. Oleh karena itu, jarak Hamming antara 011 dan 101 adalah 2.

## 8.8 Jarak Hamming Antar String dalam Buku Kode

Ingatlah bahwa kami tertarik pada apakah kesalahan dapat mengubah kata kode yang valid menjadi kata kode lain yang valid. Untuk mengukur transformasi seperti itu, kami menghitung jarak Hamming antara semua pasangan kata sandi dalam buku kode yang diberikan. Sebagai contoh sepele, pertimbangkan paritas ganjil yang diterapkan pada kata data 2-bit. Gambar 8.3 mencantumkan empat kemungkinan kata data, empat kemungkinan kata kode yang dihasilkan dari penambahan bit paritas, dan jarak Hamming untuk pasangan kata kode.

Dataword	Codeword
00	001
01	010
10	100
11	111

(a)

$d(001,010) = 2$	$d(010,100) = 2$
$d(001,100) = 2$	$d(010,111) = 2$
$d(001,111) = 2$	$d(100,111) = 2$

(b)

Gambar 8.3 (a) Dataword dan codeword untuk penyandian paritas tunggal dari string data 2-bit, dan (b) jarak Hamming untuk semua pasangan codeword.

Seluruh rangkaian codeword dikenal sebagai codebook. Kami menggunakan  $d_{\min}$  untuk menunjukkan jarak Hamming minimum di antara pasangan dalam buku kode. Konsep ini memberikan jawaban yang tepat untuk pertanyaan tentang berapa banyak kesalahan bit yang dapat menyebabkan transformasi dari satu kata kode yang valid menjadi kata kode yang valid lainnya. Dalam contoh paritas tunggal Gambar 8.6, himpunan terdiri dari jarak Hamming antara setiap pasangan kata sandi, dan  $d_{\min} = 2$ . Definisi tersebut berarti bahwa setidaknya ada satu kata sandi yang valid yang dapat diubah menjadi kata sandi lain yang valid jika dua bit kesalahan terjadi selama transmisi.

### Poin Penting

*Untuk menemukan jumlah minimum perubahan bit yang dapat mengubah codeword yang valid menjadi codeword lain yang valid, hitung jarak Hamming minimum antara semua pasangan dalam codebook.*



## 8.9 Tradeoff Antara Deteksi Kesalahan dan Overhead

Untuk satu set codewords, nilai  $d_{\min}$  yang besar diinginkan karena kode tersebut kebal terhadap lebih banyak kesalahan bit — jika kurang dari  $d_{\min}$  bit diubah, kode dapat mendeteksi kesalahan yang terjadi. Persamaan 8.1 menentukan hubungan antara  $d_{\min}$  dan  $e$ , jumlah maksimum kesalahan bit yang dapat dideteksi:

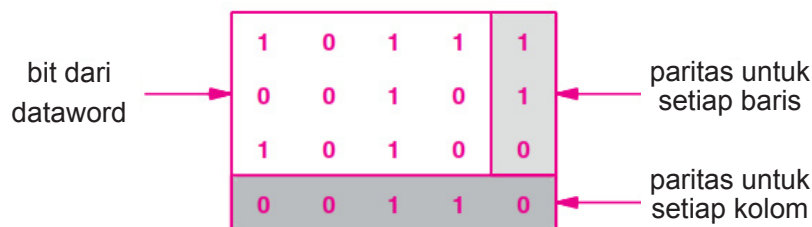
$$e = d_{\min} - 1$$

Pilihan kode kesalahan adalah tradeoff — meskipun mendeteksi lebih banyak kesalahan, kode dengan nilai  $d_{\min}$  yang lebih tinggi mengirimkan lebih banyak informasi yang berlebihan daripada kode kesalahan dengan nilai  $d_{\min}$  yang lebih rendah. Untuk mengukur jumlah overhead, insinyur menentukan tingkat kode yang memberikan rasio ukuran kata data dengan ukuran kata kode. Persamaan 8.2 mendefinisikan laju kode,  $R$ , untuk skema pengkodean kesalahan  $(n, k)$ .

$$R = \frac{k}{n}$$

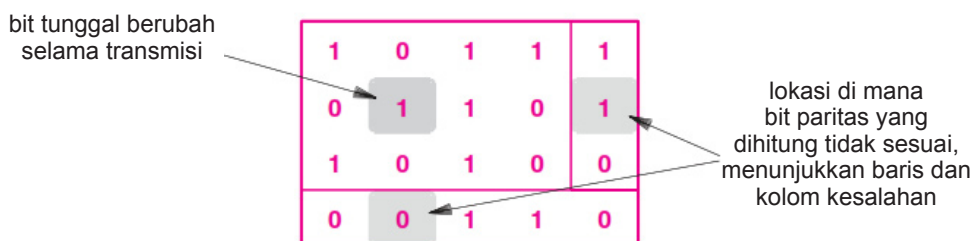
## 8.10 Koreksi Kesalahan Dengan Paritas Baris Dan Kolom (RAC)

Kita telah melihat bagaimana skema pengkodean saluran dapat mendeteksi kesalahan. Untuk memahami bagaimana kode dapat digunakan untuk memperbaiki kesalahan, pertimbangkan sebuah contoh. Asumsikan sebuah dataword terdiri dari  $k = 12$  bit. Alih-alih memikirkan bit sebagai string tunggal, bayangkan mengaturnya menjadi array tiga baris dan empat kolom, dengan bit paritas ditambahkan untuk setiap baris dan untuk setiap kolom. Gambar 8.4 mengilustrasikan susunan tersebut, yang dikenal sebagai kode Row And Column (RAC). Contoh pengkodean RAC memiliki  $n = 20$ , yang berarti pengkodean  $(20, 12)$ .



Gambar 8.4 Contoh pengkodean baris dan kolom dengan bit data yang disusun dalam array  $3 \times 4$  dan bit paritas genap ditambahkan untuk setiap baris dan setiap kolom.

Untuk melihat bagaimana koreksi kesalahan bekerja, asumsikan bahwa salah satu bit data pada Gambar 8.7 berubah selama transmisi. Ketika penerima mengatur bit ke dalam array dan bit paritas dihitung ulang, dua dari perhitungan akan tidak setuju dengan bit paritas yang diterima, seperti yang diilustrasikan Gambar 8.5.



Gambar 8.5 Ilustrasi bagaimana kesalahan bit tunggal dapat dikoreksi menggunakan pengkodean baris dan kolom.

Seperti yang diilustrasikan pada gambar, kesalahan bit tunggal akan menyebabkan dua bit paritas yang dihitung tidak sesuai dengan bit paritas yang diterima. Dua ketidaksepakatan sesuai dengan baris dan kolom kesalahan. Penerima menggunakan bit paritas yang dihitung untuk menentukan dengan tepat bit data mana yang salah, dan kemudian mengoreksi bit data tersebut. Dengan demikian, RAC dapat memperbaiki kesalahan apa pun yang mengubah satu bit data.

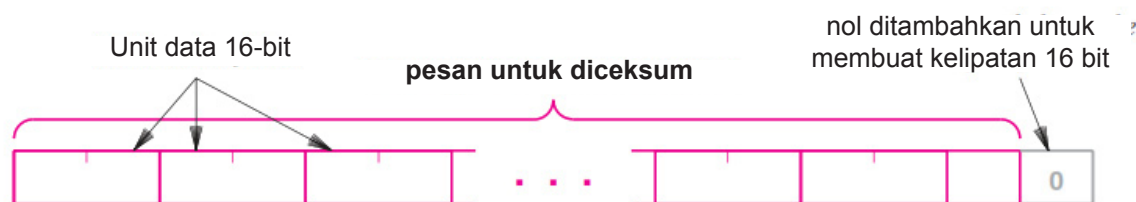
Apa yang terjadi pada kode RAC jika kesalahan mengubah lebih dari satu bit di blok yang diberikan? RAC hanya dapat memperbaiki kesalahan bit tunggal. Namun, dalam kasus di mana dua atau tiga bit diubah, pengkodean RAC akan dapat mendeteksi jumlah kesalahan yang ganjil.

### Poin Penting

*Pengkodean Baris Dan Kolom (RAC) memungkinkan penerima untuk memperbaiki kesalahan bit tunggal dan mendeteksi kesalahan di mana dua atau tiga bit diubah.*

## 8.11 Checksum 16-Bit yang Digunakan Di Internet

Skema pengkodean saluran tertentu memainkan peran kunci di Internet. Dikenal sebagai Internet checksum, kode ini terdiri dari checksum komplement 16-bit 1s. Checksum Internet tidak memaksakan ukuran tetap pada dataword. Alih-alih, algoritme memungkinkan pesan menjadi panjang sewenang-wenang, dan menghitung checksum di seluruh pesan. Intinya, checksum Internet memperlakukan data dalam pesan sebagai serangkaian bilangan bulat 16-bit, seperti yang diilustrasikan Gambar 8.6.



*Gambar 8.6 Internet checksum membagi data ke dalam unit 16-bit, menambahkan nol jika data tersebut bukan kelipatan tepat dari 16 bit.*

Untuk menghitung checksum, pengirim menambahkan nilai numerik dari bilangan bulat 16-bit, dan mengirimkan hasilnya. Untuk memvalidasi pesan, penerima melakukan perhitungan yang sama. Algoritma 8.1 memberikan rincian perhitungan.

### Algoritma 8.1

Diberikan:

Sebuah pesan, M, dengan panjang sewenang-wenang

Menghitung:

Checksum komplement 16-bit 1s, C, menggunakan aritmatika 32-bit

Metode:

Pad M dengan nol bit untuk membuat kelipatan tepat dari 16 bit

Setel integer checksum 32-bit, C, ke 0;

for ( setiap grup 16-bit dalam M ) {

Perlakukan 16 bit sebagai bilangan bulat dan tambahkan ke C;

}

Ekstrak 16 bit C orde tinggi dan tambahkan ke C;

Kebalikan dari 16 bit C orde rendah adalah checksum; Jika checksum adalah nol, gantikan semua bentuk 1 dari nol.

*Algoritma 8.1 Algoritma checksum 16-bit yang digunakan dalam protokol Internet.*

Kunci untuk memahami algoritme adalah menyadari bahwa checksum dihitung dalam aritmatika komplement 1s, bukan aritmatika komplement 2s yang ditemukan pada kebanyakan komputer, dan menggunakan bilangan bulat 16 bit, bukan bilangan bulat 32 atau 64 bit. Jadi, algoritme ditulis untuk menggunakan aritmatika komplement 2s 32-bit untuk melakukan komputasi komplement 1s. Selama perulangan for, penambahan mungkin meluap. Jadi, mengikuti loop, algoritme menambahkan overflow (bit orde tinggi) kembali ke penjumlahan.

Mengapa checksum dihitung sebagai invers aritmatika dari jumlah, bukan jumlah? Jawabannya adalah efisiensi: penerima dapat menerapkan algoritma checksum yang sama dengan pengirim, tetapi dapat menyertakan checksum itu sendiri. Karena mengandung invers aritmatika dari total, menambahkan checksum ke total akan menghasilkan nol. Dengan demikian, penerima memasukkan checksum dalam perhitungan, dan kemudian menguji untuk melihat apakah jumlah yang dihasilkan adalah nol.

Detail akhir dari aritmatika komplement 1s muncul pada langkah terakhir dari algoritma. Satuan komplement aritmatika memiliki dua bentuk nol: semua nol dan semua satu. Checksum Internet menggunakan formulir all-ones untuk menunjukkan bahwa checksum telah dihitung dan nilai checksum adalah nol; protokol Internet menggunakan formulir semua-nol untuk menunjukkan bahwa tidak ada checksum yang dihitung.

## 8.12 Cyclic Redundancy Codes (CRC)

Suatu bentuk pengkodean saluran yang dikenal sebagai Cyclic Redundancy Code (CRC) digunakan dalam jaringan data berkecepatan tinggi. Kode CRC memiliki tiga properti kunci yang membuatnya penting, seperti yang diringkas oleh Tabel 8.2.

Tabel 8.2 Tiga aspek kunci dari CRC yang membuatnya penting dalam jaringan data.

Pesan Panjang yang berubah-ubah	Seperti checksum, ukuran kata data tidak tetap, yang berarti CRC dapat diterapkan ke pesan panjang berubah-ubah
Deteksi Kesalahan Luar Biasa	Karena nilai yang dihitung tergantung pada urutan bit dalam pesan, CRC menyediakan kemampuan deteksi kesalahan yang sangat baik
Implementasi Perangkat Keras Cepat	Terlepas dari dasar matematisnya yang canggih, perhitungan CRC dapat dilakukan dengan sangat cepat oleh perangkat keras

Istilah siklik berasal dari properti kata sandi: pergeseran melingkar dari bit setiap kata kode menghasilkan kata kode lain. Tabel 8.3 mengilustrasikan ( 7, 4 ) kode redundansi siklik yang diperkenalkan oleh Hamming.

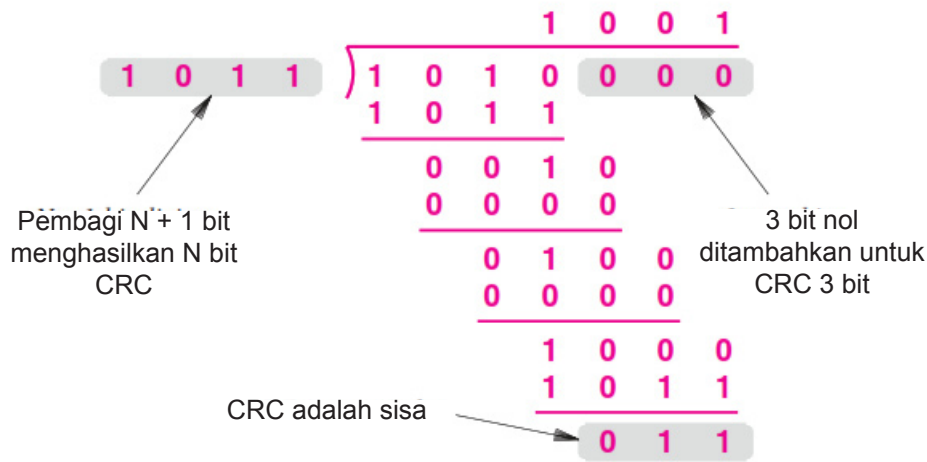
Tabel 8.3 Contoh ( 7, 4 ) kode redundansi siklik.

Dataword	Codeword	Dataword	Codeword
0000	0000 000	1000	1000 101
0001	0001 011	1001	1001 110
0010	0010 110	1010	1010 011
0011	0011 101	1011	1011 000
0100	0100 111	1100	1100 010
0101	0101 100	1101	1101 001
0110	0110 001	1110	1110 100
0111	0111 010	1111	1111 111

Kode CRC telah dipelajari secara ekstensif, dan berbagai penjelasan matematis dan teknik komputasi telah diproduksi. Deskripsinya tampak sangat berbeda sehingga sulit untuk memahami bagaimana mereka semua dapat merujuk pada konsep yang sama. Pandangan utama meliputi:

- Matematikawan menjelaskan perhitungan CRC sebagai sisa dari pembagian dua polinomial dengan koefisien biner, satu mewakili pesan dan satu lagi mewakili pembagi tetap.
- Ilmuwan Komputer Teoritis menjelaskan perhitungan CRC sebagai sisa dari pembagian dua bilangan biner, satu mewakili pesan dan yang lainnya mewakili pembagi tetap.
- Kriptografi menjelaskan perhitungan CRC sebagai operasi matematika dalam bidang Galois orde 2, ditulis GF(2).
- Pemrogram komputer menjelaskan komputasi CRC sebagai algoritme yang mengulangi pesan dan menggunakan pencarian tabel untuk mendapatkan nilai tambahan untuk setiap langkah.
- Arsitek perangkat keras menjelaskan komputasi CRC sebagai unit saluran perangkat keras kecil yang mengambil urutan bit dari pesan dan menghasilkan CRC tanpa menggunakan pembagian atau iterasi.

Sebagai contoh pandangan di atas, perhatikan pembagian bilangan biner dengan asumsi tidak ada carry. Gambar 8.7 mengilustrasikan pembagian 1010, yang mewakili pesan, dengan konstanta yang dipilih untuk CRC tertentu, 1011.



Gambar 8.7 Ilustrasi perhitungan CRC dilihat sebagai sisa dari pembagian biner tanpa pembawa.

Untuk memahami bagaimana matematikawan dapat melihat hal di atas sebagai pembagian polinomial, pikirkan setiap bit dalam bilangan biner sebagai koefisien suku dalam polinomial. Sebagai contoh, kita dapat memikirkan pembagi pada Gambar 8.12, 1011, sebagai koefisien dalam polinomial berikut:

$$1 \times x^3 + 0 \times x^2 + 1 \times x^1 + 1 \times x^0 = x^3 + x + 1$$

Demikian pula, dividen pada Gambar 8.12, 1010000, mewakili polinomial:

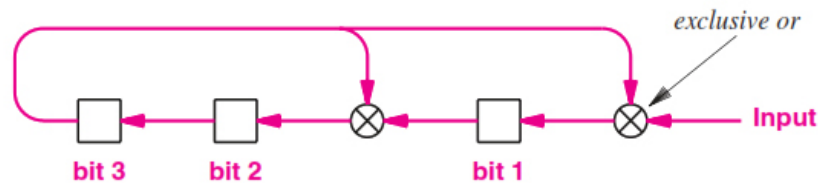
$$x^6 + x^4$$

Kami menggunakan istilah polinomial generator untuk menggambarkan polinomial yang sesuai dengan pembagi. Pemilihan polinomial generator adalah kunci untuk membuat CRC dengan sifat deteksi kesalahan yang baik. Oleh karena itu, banyak analisis matematis telah dilakukan pada polinomial generator. Kita tahu, misalnya, bahwa polinomial ideal tidak dapat direduksi (yaitu, hanya dapat dibagi secara merata dengan dirinya sendiri dan 1) dan polinomial dengan lebih dari satu koefisien bukan nol dapat mendeteksi semua kesalahan bit tunggal.

### 8.13 Implementasi Perangkat Keras yang Efisien dari CRC

Perangkat keras yang dibutuhkan untuk menghitung CRC ternyata sangat mudah. Perangkat keras CRC diatur sebagai register geser dengan gerbang eksklusif atau (xor) di antara beberapa bit. Register geser beroperasi sekali per bit input. Pada setiap tahap, register menerima bit dari tahap sebelumnya atau melakukan operasi xor bit dan menerima hasilnya. Ketika seluruh input telah digeser ke dalam register, nilai dalam register adalah CRC.

Gambar 8.8 mengilustrasikan perangkat keras yang dibutuhkan untuk komputasi CRC 3-bit dari Gambar 8.7. Karena operasi xor dan shift masing-masing dapat dilakukan dengan kecepatan tinggi, pengaturan dapat digunakan untuk jaringan komputer berkecepatan tinggi.



Gambar 8.8 Unit perangkat keras untuk menghitung CRC 3-bit untuk  $x^3 + x^1 + 1$ .

## 8.14 Mekanisme Permintaan Ulang Otomatis (ARQ)

Ingatlah bahwa pendekatan ARQ untuk mengoreksi kesalahan memerlukan pengirim dan penerima untuk mengkomunikasikan metainformasi. Artinya, setiap kali satu pihak mengirim pesan ke yang lain, pihak penerima mengirimkan kembali pesan pengakuan singkat. Misalnya, jika A mengirim pesan ke B, B mengirim balasan ke A. Setelah menerima pengakuan, A tahu bahwa pesan sudah sampai dengan benar. Jika tidak ada pengakuan yang diterima setelah unit waktu T, A menganggap pesan itu hilang dan mentransmisikan ulang salinannya.

ARQ sangat berguna dalam kasus di mana sistem yang mendasarinya menyediakan deteksi kesalahan, tetapi bukan koreksi kesalahan. Misalnya, banyak jaringan komputer menggunakan CRC untuk mendeteksi kesalahan transmisi. Dalam kasus seperti itu, skema ARQ dapat ditambahkan untuk menjamin pengiriman — jika terjadi kesalahan transmisi, penerima membuang pesan, dan pengirim mentransmisikan ulang salinan lainnya.

Bab lain dalam buku Jilid 2 akan membahas rincian protokol Internet yang menggunakan pendekatan ARQ. Selain menunjukkan bagaimana paradigma timeout-and-retransmission bekerja dalam praktek, bab ini menjelaskan bagaimana pengirim dan penerima mengidentifikasi data yang diakui, dan membahas berapa lama pengirim menunggu sebelum transmisi ulang.

## 8.15 Ringkasan

Sistem transmisi fisik rentan terhadap interferensi, distorsi, dan redaman, yang semuanya dapat menyebabkan kesalahan. Kesalahan transmisi dapat mengakibatkan kesalahan bit tunggal atau kesalahan burst, dan penghapusan dapat terjadi setiap kali sinyal yang diterima tidak jelas (yaitu, tidak jelas 1 atau tidak jelas 0). Untuk mengontrol kesalahan, sistem komunikasi data menggunakan mekanisme koreksi kesalahan maju atau menggunakan teknik permintaan ulang otomatis (ARQ).

Koreksi kesalahan maju mengatur pengirim untuk menambahkan bit yang berlebihan ke data dan mengkodekan hasilnya sebelum transmisi melintasi saluran, dan mengatur penerima untuk memecahkan kode dan memeriksa data yang masuk. Skema pengkodean adalah  $(n, k)$  jika dataword berisi  $k$  bit dan codeword berisi  $n$  bit.

Satu ukuran pengkodean menilai kemungkinan kesalahan akan mengubah kata kode yang valid menjadi kata kode lain yang valid. Jarak Hamming minimum memberikan ukuran yang tepat.

Kode blok sederhana, seperti bit paritas tunggal yang ditambahkan ke setiap byte, dapat mendeteksi kesalahan bit dalam jumlah ganjil, tetapi tidak dapat mendeteksi perubahan bit dalam jumlah genap. Kode Baris Dan Kolom (RAC) dapat memperbaiki kesalahan bit tunggal, mendeteksi hingga tiga kesalahan dalam satu blok, dan dapat mendeteksi kesalahan apa pun yang mengubah jumlah bit ganjil.

Checksum 16-bit yang digunakan di Internet dapat digunakan dengan ukuran pesan yang berubah-ubah. Algoritme checksum membagi pesan menjadi blok 16-bit, dan menghitung invers aritmatika dari jumlah komplemen 1s dari blok; overflow ditambahkan kembali ke checksum.

Kode redundansi siklik (CRC) digunakan dalam jaringan data berkecepatan tinggi karena CRC menerima pesan dengan panjang yang berubah-ubah, menyediakan deteksi kesalahan yang sangat baik, dan memiliki implementasi perangkat keras yang efisien. Teknik CRC memiliki dasar matematika, dan telah dipelajari secara ekstensif. Perhitungan CRC dapat dilihat sebagai menghitung sisa pembagian biner, menghitung sisa pembagian polinomial, atau operasi menggunakan teori medan Galois. Perangkat keras untuk melakukan perhitungan CRC menggunakan register geser dan eksklusif atau operasi.

## Latihan

---

1. Sebutkan dan jelaskan tiga sumber utama kesalahan transmisi.
2. Bagaimana kesalahan transmisi mempengaruhi data?
3. Dalam error burst, bagaimana panjang burst diukur?
4. Apa yang dimaksud dengan codeword, dan bagaimana menggunakannya dalam koreksi kesalahan maju?
5. Berikan contoh kode kesalahan blok yang digunakan dengan data karakter.
6. Apa yang dicapai oleh skema pengkodean saluran yang ideal?
7. Mendefinisikan konsep jarak Hamming.
8. Hitung jarak Hamming untuk pasangan berikut: ( 0000,0001 ), ( 0101,0001 ), ( 1111,1001 ), dan ( 0001,1110 ).
9. Bagaimana cara menghitung jumlah minimum perubahan bit yang dapat mengubah kata sandi yang valid menjadi kata sandi lain yang valid?
10. Menjelaskan konsep code rate. Apakah tingkat kode yang tinggi atau tingkat kode yang rendah diinginkan?
11. Buat matriks paritas RAC untuk pengkodean ( 20, 12 ) dari dataword 100011011111.
12. Apa yang dapat dicapai oleh skema RAC yang tidak dapat dicapai oleh skema bit paritas tunggal?
13. Tulis program komputer yang menghitung checksum Internet 16-bit.
14. Apa saja ciri-ciri CRC?
15. Tunjukkan pembagian 10010101010 dengan 10101.
16. Nyatakan dua nilai pada latihan sebelumnya sebagai polinomial.
17. Tulislah program komputer yang mengimplementasikan kode redundansi siklik (7,4) pada Gambar 8.11.
18. Sebutkan dan jelaskan fungsi dari dua blok penyusun perangkat keras yang digunakan untuk mengimplementasikan komputasi CRC



### Bab ini akan membahas tentang:

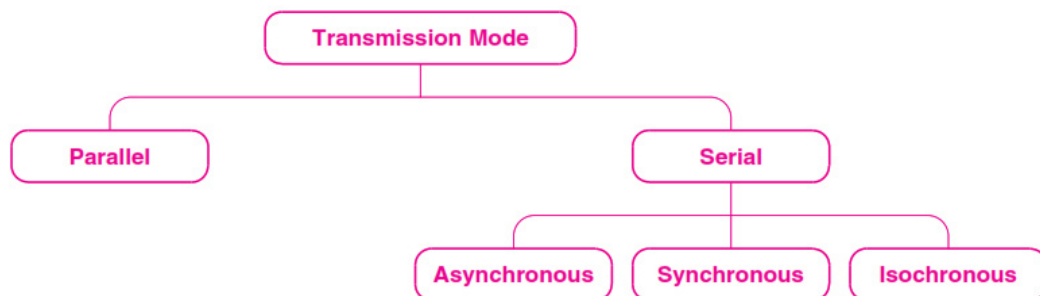
- diskusi dengan berfokus pada cara data ditransmisikan
- terminologi umum, menjelaskan keuntungan dan kerugian paralelisme
- konsep penting komunikasi sinkron dan asinkron

### 9.1 Taksonomi Mode Transmisi

Kami menggunakan istilah mode transmisi untuk merujuk pada cara di mana data dikirim melalui media yang mendasarinya. Mode transmisi dapat dibagi menjadi dua kategori mendasar:

- Serial — satu bit dikirim pada satu waktu
- Paralel — beberapa bit dikirim secara bersamaan

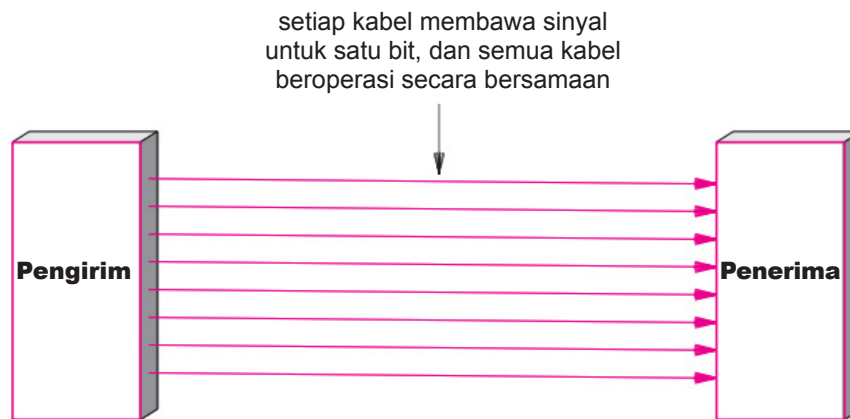
Seperti yang akan kita lihat, transmisi serial selanjutnya dikategorikan menurut waktu transmisi. Gambar 9.1 memberikan taksonomi keseluruhan dari mode transmisi yang dibahas dalam bab ini.



Gambar 9.1 Taksonomi mode transmisi.

## 9.2 Transmisi Paralel

Istilah transmisi paralel mengacu pada mekanisme transmisi yang mentransfer beberapa bit data pada saat yang sama melalui media yang terpisah. Secara umum, transmisi paralel digunakan dengan media kabel yang menggunakan banyak kabel independen. Selanjutnya, sinyal pada semua kabel disinkronkan sehingga sedikit melewati setiap kabel pada waktu yang sama. Gambar 9.2 mengilustrasikan konsep tersebut, dan menunjukkan mengapa para insinyur menggunakan istilah paralel untuk mengkarakterisasi pengkabelan.



Gambar 9.2 Ilustrasi transmisi paralel yang menggunakan 8 kabel untuk mengirim 8 bit secara bersamaan.

Angka tersebut menghilangkan dua detail penting. Pertama, selain kabel paralel yang masing-masing membawa data, antarmuka paralel biasanya berisi kabel lain yang memungkinkan pengirim dan penerima berkoordinasi. Kedua, untuk memudahkan pemasangan dan pemecahan masalah, kabel untuk sistem transmisi paralel ditempatkan dalam satu kabel fisik. Jadi, orang mengharapkan untuk melihat satu kabel besar yang menghubungkan pengirim dan penerima daripada satu set kabel fisik independen.

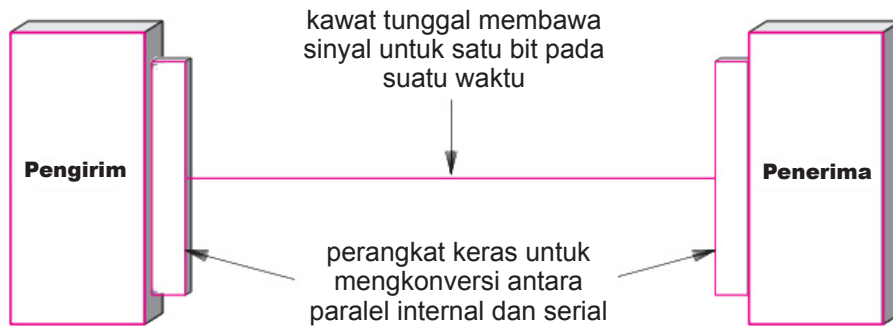
Sebuah mode transmisi paralel memiliki dua keuntungan utama:

- Kecepatan tinggi. Karena dapat mengirim  $N$  bit pada saat yang sama, antarmuka paralel dapat beroperasi  $N$  kali lebih cepat daripada antarmuka serial yang setara.
- Cocokkan dengan perangkat keras yang mendasarinya. Secara internal, perangkat keras komputer dan komunikasi menggunakan sirkuit paralel. Dengan demikian, antarmuka paralel cocok dengan perangkat keras internal dengan baik.

## 9.3 Transmisi Serial

Alternatif untuk transmisi paralel, yang dikenal sebagai transmisi serial, mengirimkan satu bit pada satu waktu. Dengan penekanan pada kecepatan, tampaknya siapa pun yang merancang sistem komunikasi data akan memilih transmisi paralel. Namun, sebagian besar sistem komunikasi menggunakan mode serial. Ada dua alasan utama. Pertama, jaringan serial dapat diperpanjang jarak jauh dengan biaya yang jauh lebih murah karena lebih sedikit kabel fisik yang dibutuhkan dan komponen elektronik perantara lebih murah. Kedua, menggunakan hanya satu kabel fisik berarti tidak pernah ada masalah waktu yang disebabkan oleh satu kabel sedikit lebih panjang dari yang lain (perbedaan milimeter dapat menjadi signifikan dalam sistem komunikasi berkecepatan tinggi).

Untuk menggunakan transmisi serial, pengirim dan penerima harus berisi sejumlah kecil perangkat keras yang mengubah data dari bentuk paralel yang digunakan dalam perangkat ke bentuk serial yang digunakan pada kabel. Gambar 9.3 mengilustrasikan konfigurasi tersebut.



Gambar 9.3 Ilustrasi mode transmisi serial.

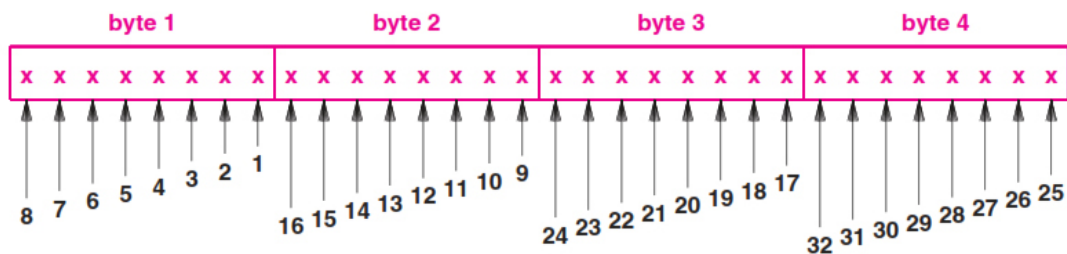
Perangkat keras yang diperlukan untuk mengubah data antara bentuk paralel internal dan bentuk serial dapat sederhana atau kompleks, tergantung pada jenis mekanisme komunikasi serial. Dalam kasus yang paling sederhana, sebuah chip tunggal yang dikenal sebagai Universal Asynchronous Receiver And Transmitter (UART) melakukan konversi. Chip terkait, Universal Synchronous-Asynchronous Receiver And Transmitter (USART) menangani konversi untuk jaringan sinkron.

## 9.4 Urutan Transmisi: Bit dan Bytes

Mode transmisi serial memperkenalkan pertanyaan menarik: saat mengirim bit, bit mana yang harus dikirim melintasi media terlebih dahulu? Misalnya, pertimbangkan bilangan bulat. Haruskah pengirim mengirimkan Most Significant Bit (MSB) atau Least Significant Bit (LSB) terlebih dahulu?

Insinyur menggunakan istilah little-endian untuk menggambarkan sistem yang mengirimkan LSB terlebih dahulu, dan istilah big-endian untuk menggambarkan sistem yang mengirimkan MSB terlebih dahulu. Salah satu bentuk dapat digunakan, tetapi pengirim dan penerima harus setuju.

Menariknya, urutan bit yang ditransmisikan tidak menyelesaikan seluruh pertanyaan tentang urutan transmisi. Data di komputer dibagi menjadi byte, dan setiap byte dibagi lagi menjadi bit (biasanya 8 bit per byte). Dengan demikian, dimungkinkan untuk memilih urutan byte dan urutan bit secara independen. Misalnya, teknologi Ethernet menetapkan bahwa data dikirim byte big-endian dan bit little-endian. Gambar 9.4 mengilustrasikan urutan Ethernet mengirimkan bit dari kuantitas 32-bit.



Gambar 9.4 Ilustrasi urutan byte big-endian, bit little-endian di mana bit paling tidak signifikan dari byte paling signifikan dikirim terlebih dahulu.

## 9.5 Waktu Transmisi Serial

Mekanisme transmisi serial dapat dibagi menjadi tiga kategori besar, tergantung pada bagaimana transmisi diberi jarak waktu:

- Transmisi asinkron dapat terjadi kapan saja, dengan penundaan sewenang-wenang antara transmisi dua item data.
- Transmisi sinkron terjadi terus menerus tanpa ada celah antara transmisi dua item data.
- Transmisi isochronous terjadi secara berkala dengan jarak tetap antara transmisi dua item data.

## 9.6 Transmisi Asinkron

Sebuah sistem transmisi diklasifikasikan sebagai asynchronous jika sistem memungkinkan media fisik untuk menganggur untuk waktu yang sewenang-wenang antara dua transmisi. Gaya komunikasi asinkron sangat cocok untuk aplikasi yang menghasilkan data secara acak (misalnya, pengguna mengetik di keyboard atau pengguna yang mengklik tautan untuk mendapatkan halaman web, membaca sebentar, lalu mengklik tautan ke dapatkan halaman lain).

Kerugian dari asynchrony muncul dari kurangnya koordinasi antara pengirim dan penerima — saat media menganggur, penerima tidak dapat mengetahui berapa lama media akan tetap diam sebelum lebih banyak data tiba. Dengan demikian, teknologi asinkron biasanya mengatur pengirim untuk mengirimkan beberapa bit tambahan sebelum setiap item data untuk menginformasikan penerima bahwa transfer data dimulai. Bit tambahan memungkinkan perangkat keras penerima untuk menyinkronkan dengan sinyal yang masuk. Dalam beberapa sistem asinkron, bit tambahan dikenal sebagai pembukaan; di lain, bit tambahan dikenal sebagai bit awal.

### **Poin Penting**

*Karena memungkinkan pengirim untuk tetap diam dalam waktu yang lama di antara transmisi, mekanisme transmisi asinkron mengirimkan informasi tambahan sebelum setiap transmisi yang memungkinkan penerima untuk menyinkronkan dengan sinyal.*

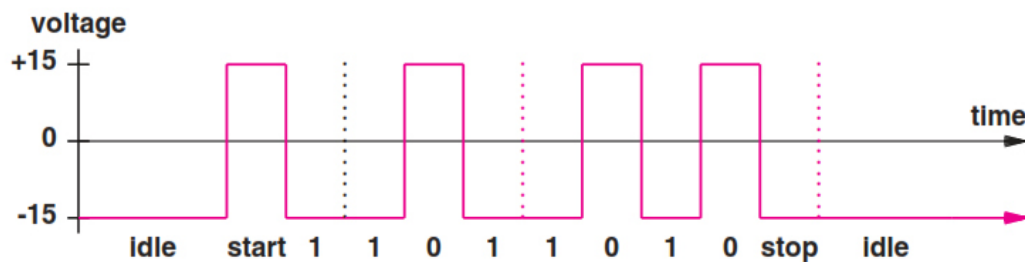
## 9.7 RS-232 Transmisi Karakter Asinkron

Sebagai contoh komunikasi asinkron, pertimbangkan transfer karakter melalui kabel tembaga antara komputer dan perangkat seperti keyboard. Teknologi komunikasi asinkron yang distandarisasi oleh Electronic Industries Alliance (EIA) telah menjadi yang paling banyak diterima untuk komunikasi karakter. Dikenal sebagai RS-232-C, dan biasanya disingkat RS-232†, standar EIA menetapkan rincian sambungan fisik (misalnya, sambungan harus kurang dari 50 kaki), rincian listrik (misalnya, tegangan berkisar dari -15 volt hingga +15 volt), dan pengkodean saluran (misalnya, tegangan negatif sesuai dengan logika 1 dan tegangan positif sesuai dengan logika 0).

Karena dirancang untuk digunakan dengan perangkat seperti keyboard, standar RS-232 menetapkan bahwa setiap item data mewakili satu karakter. Perangkat keras dapat dikonfigurasi untuk mengontrol jumlah bit yang tepat per detik dan untuk mengirim karakter tujuh bit atau delapan bit. Meskipun pengirim dapat menunda secara sewenang-wenang jauh sebelum mengirim karakter, setelah transmisi dimulai, pengirim mentransmisikan semua bit karakter satu demi satu tanpa penundaan di

antara mereka. Ketika selesai transmisi, pengirim meninggalkan kabel dengan tegangan negatif (sesuai dengan logika 1) sampai karakter lain siap untuk transmisi.

Bagaimana penerima tahu di mana karakter baru dimulai? RS-232 menetapkan bahwa pengirim mengirimkan bit 0 tambahan (disebut bit awal) sebelum mentransmisikan bit karakter. Lebih lanjut, RS-232 menetapkan bahwa pengirim harus membiarkan baris diam di antara karakter setidaknya selama waktu yang diperlukan untuk mengirim satu bit. Dengan demikian, seseorang dapat memikirkan bit phantom 1 yang ditambahkan ke setiap karakter. Dalam terminologi RS-232, phantom bit disebut stop bit. Gambar 9.5 mengilustrasikan bagaimana tegangan bervariasi ketika bit start, delapan bit karakter, dan bit stop dikirim.



Gambar 9.5 Ilustrasi tegangan selama transmisi karakter 8-bit saat menggunakan RS-232.

### Poin Penting

*Standar RS-232 yang digunakan untuk komunikasi serial asinkron jarak pendek mendahului setiap karakter dengan bit awal, mengirimkan setiap bit karakter, dan mengikuti setiap karakter dengan periode idle setidaknya satu bit panjang (stop bit).*

## 9.8 Transmisi Sinkron

Alternatif utama untuk transmisi asinkron dikenal sebagai transmisi sinkron. Pada tingkat terendah, mekanisme sinkron mentransmisikan bit data secara terus menerus, tanpa waktu idle antara bit. Artinya, setelah mentransmisikan bit terakhir dari satu byte data, pengirim mentransmisikan sedikit dari byte data berikutnya.

Keuntungan utama dari mekanisme sinkron muncul karena pengirim dan penerima secara konstan tetap sinkron, yang berarti lebih sedikit overhead sinkronisasi. Untuk memahami overhead, bandingkan transmisi karakter 8-bit pada sistem asinkron seperti yang diilustrasikan pada Gambar 9.5 dan sistem transmisi sinkron seperti yang diilustrasikan pada Gambar 9.6. Setiap karakter yang dikirim menggunakan RS-232 memerlukan bit start dan stop bit tambahan, artinya setiap karakter 8-bit membutuhkan waktu minimal 10 bit, meskipun tidak ada waktu idle yang dimasukkan. Pada sistem sinkron, setiap karakter dikirim tanpa bit start atau stop.



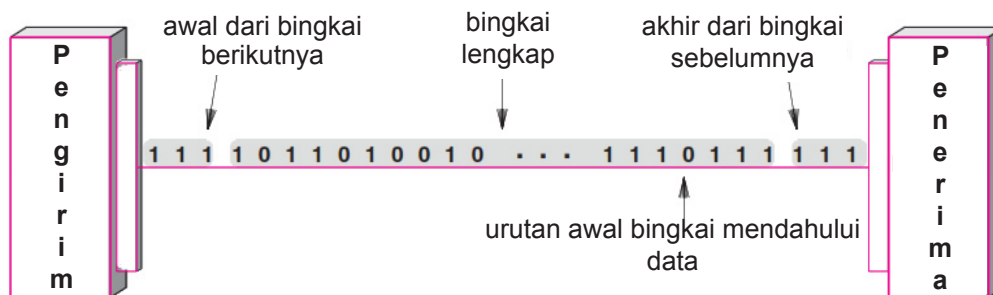
Gambar 9.6 Ilustrasi transmisi sinkron dimana bit pertama dari suatu byte segera mengikuti bit terakhir dari byte sebelumnya.

### Poin Penting

Jika dibandingkan dengan transmisi sinkron, mekanisme RS-232 asinkron memiliki overhead 25% per karakter.

## 9.9 Byte, Blok, Dan Frame

Jika mekanisme sinkron yang mendasarinya harus mengirim bit secara terus-menerus, apa yang terjadi jika pengirim tidak memiliki data yang siap untuk dikirim setiap saat? Jawabannya terletak pada teknik yang dikenal sebagai pembungkai: sebuah antarmuka ditambahkan ke mekanisme sinkron yang menerima dan mengirimkan blok byte yang dikenal sebagai bingkai. Untuk memastikan bahwa pengirim dan penerima tetap sinkron, sebuah frame dimulai dengan urutan bit khusus. Lebih lanjut, sebagian besar sistem sinkron menyertakan urutan idle khusus (atau byte idle) yang ditransmisikan ketika pengirim tidak memiliki data untuk dikirim. Gambar 9.7 mengilustrasikan konsep tersebut.



Gambar 9.7 Ilustrasi pembungkai pada sistem transmisi sinkron.

### Poin Penting

Meskipun mekanisme yang mendasari mentransmisikan bit secara terus menerus, penggunaan urutan idle dan pembungkai memungkinkan mekanisme transmisi sinkron untuk menyediakan antarmuka berorientasi byte dan untuk memungkinkan kesenjangan idle antara blok data.

## 9.10 Transmisi Isochronous

Tipe ketiga dari sistem transmisi serial tidak menyediakan mekanisme dasar yang baru. Sebaliknya, ini dapat dilihat sebagai cara penting untuk menggunakan transmisi sinkron. Dikenal sebagai transmisi isokron, sistem ini dirancang untuk menyediakan aliran bit yang stabil untuk aplikasi multimedia yang berisi suara atau video. Mengirimkan data tersebut dengan kecepatan tetap sangat penting karena variasi penundaan, yang dikenal sebagai jitter, dapat mengganggu penerimaan (yaitu, menyebabkan bunyi atau klik pada audio atau membuat video berhenti untuk waktu yang singkat).

Alih-alih menggunakan keberadaan data untuk mendorong transmisi, jaringan isochronous dirancang untuk menerima dan mengirim data dengan kecepatan tetap,  $R$ . Faktanya, antarmuka ke jaringan sedemikian rupa sehingga data harus diserahkan ke jaringan untuk transmisi tepat  $R$  bit per detik. Misalnya, mekanisme isokron yang dirancang untuk mentransfer suara beroperasi pada kecepatan 64.000 bit per detik. Pengirim harus menghasilkan audio digital secara terus menerus, dan penerima harus dapat menerima dan memutar streaming.

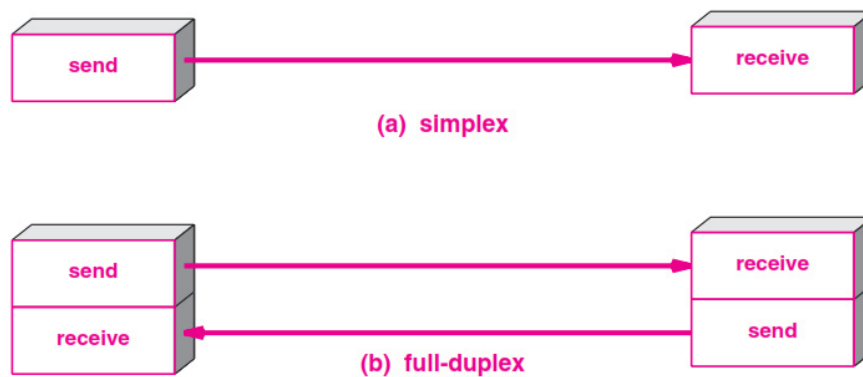
Jaringan yang mendasarinya dapat menggunakan pembingkai dan dapat memilih untuk mengirimkan informasi tambahan bersama dengan data. Namun, untuk menjadi isochronous, sistem harus dirancang sehingga pengirim dan penerima melihat aliran data yang berkelanjutan, tanpa penundaan tambahan pada awal frame. Jadi, jaringan isokron yang menyediakan kecepatan data  $R$  bit per detik biasanya memiliki mekanisme sinkron yang mendasari yang beroperasi sedikit lebih dari  $R$  bit per detik.

## 9.11 Transmisi Simplex, Half-Duplex, dan Full-Duplex

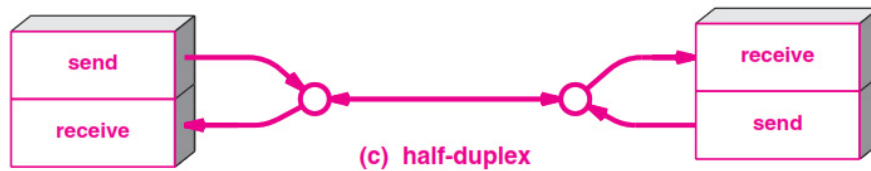
Saluran komunikasi diklasifikasikan sebagai salah satu dari tiga jenis, tergantung pada arah transfer:

- Sederhana
- Dupleks Penuh
- Setengah Dupleks

**Sederhana** - Mekanisme simpleks adalah yang paling mudah dipahami. Sesuai dengan namanya, mekanisme simpleks hanya dapat mentransfer data dalam satu arah. Misalnya, serat optik tunggal bertindak sebagai mekanisme transmisi simpleks karena serat memiliki perangkat transmisi (yaitu, LED atau laser) di satu ujung dan perangkat penerima (yaitu, reseptor fotosensitif) di ujung lainnya. Transmisi simpleks analog dengan siaran radio atau televisi. Gambar 9.8a mengilustrasikan komunikasi simpleks.







Gambar 9.8 Ilustrasi tiga mode operasi.

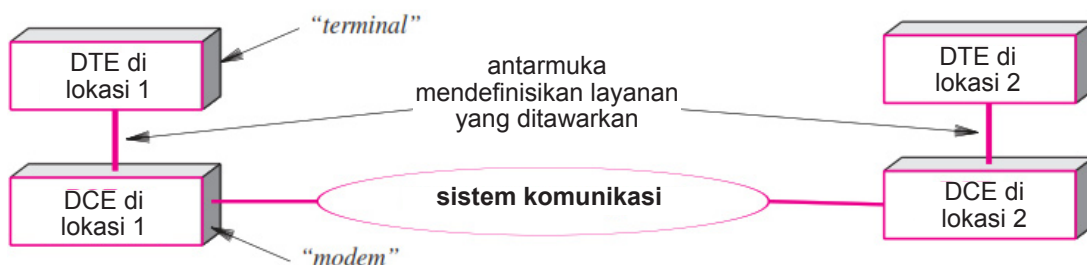
**Dupleks Penuh** - Mekanisme full-duplex juga mudah: sistem yang mendasari memungkinkan transmisi dalam dua arah secara bersamaan. Biasanya mekanisme full-duplex terdiri dari dua mekanisme simpleks, satu membawa informasi di setiap arah, seperti yang diilustrasikan Gambar 9.8b. Misalnya, sepasang serat optik dapat digunakan untuk menyediakan komunikasi dupleks penuh dengan menjalankan keduanya secara paralel dan mengatur untuk mengirim data dalam arah yang berlawanan. Komunikasi dupleks penuh dianalogikan dengan percakapan telepon suara di mana seorang peserta dapat berbicara bahkan jika mereka dapat mendengar musik latar di ujung yang lain.

**Setengah Dupleks** - Mekanisme half-duplex melibatkan media transmisi bersama. Media bersama dapat digunakan untuk komunikasi di setiap arah, tetapi komunikasi tidak dapat berlangsung secara bersamaan. Dengan demikian, komunikasi half-duplex dianalogikan dengan menggunakan walkie-talkie di mana hanya satu sisi yang dapat mengirimkan pada satu waktu. Mekanisme tambahan diperlukan di setiap ujung komunikasi half-duplex yang mengoordinasikan transmisi untuk memastikan bahwa hanya satu sisi yang mentransmisikan pada waktu tertentu. Gambar 9.8c mengilustrasikan komunikasi half-duplex.

## 9.12 Peralatan DCE dan DTE

Istilah Peralatan Komunikasi Data (DCE) dan Peralatan Terminal Data (DTE) awalnya dibuat oleh AT&T untuk membedakan antara peralatan komunikasi yang dimiliki oleh perusahaan telepon dan peralatan terminal yang dimiliki oleh pelanggan. Terminologi tetap ada jika bisnis menyewa sirkuit data dari perusahaan telepon, perusahaan telepon memasang peralatan DCE di bisnis, dan bisnis membeli peralatan DTE yang terpasang ke peralatan perusahaan telepon.

Dari sudut pandang akademis, konsep penting di balik perbedaan DCE-DTE bukanlah kepemilikan peralatan. Sebaliknya, itu terletak pada kemampuan untuk mendefinisikan antarmuka sewenang-wenang untuk pengguna. Misalnya, jika jaringan yang mendasarinya menggunakan transmisi sinkron, peralatan DCE dapat menyediakan antarmuka sinkron atau isokron ke peralatan pengguna. Gambar 9.9 mengilustrasikan organisasi konseptual.



Gambar 9.9 Ilustrasi Peralatan Komunikasi Data dan Peralatan Terminal Data yang menyediakan layanan komunikasi antara dua lokasi.

Ada beberapa standar yang menentukan kemungkinan antarmuka antara DCE dan DTE. Misalnya, standar RS-232 yang dijelaskan dalam bab ini dan standar RS-449 yang diusulkan sebagai pengganti masing-masing dapat digunakan. Selain itu, tersedia standar yang dikenal sebagai X.21.

## 9.13 Ringkasan

Sistem komunikasi menggunakan transmisi paralel atau serial. Sistem paralel memiliki banyak kabel, dan setiap saat, setiap kabel membawa sinyal untuk satu bit. Dengan demikian, sistem transmisi paralel dengan kabel K dapat mengirim K bit pada saat yang bersamaan. Meskipun komunikasi paralel menawarkan kecepatan yang lebih tinggi, sebagian besar sistem komunikasi menggunakan mekanisme serial berbiaya rendah yang mengirim satu bit pada satu waktu. Komunikasi serial membutuhkan pengirim dan penerima untuk menyepakati waktu dan urutan bit yang dikirim. Urutan transmisi mengacu pada apakah bit yang paling signifikan atau paling tidak signifikan dikirim terlebih dahulu dan apakah byte yang paling signifikan atau paling tidak signifikan dikirim terlebih dahulu.

Tiga jenis pengaturan waktu adalah: asinkron, di mana transmisi dapat terjadi kapan saja dan sistem komunikasi dapat tetap diam di antara transmisi, sinkron, di mana bit ditransmisikan terus menerus dan data dikelompokkan ke dalam bingkai, dan isokron, di mana transmisi terjadi pada interval reguler tanpa penundaan ekstra pada batas bingkai.

Sistem komunikasi dapat berupa simplex, full-duplex, atau half-duplex. Mekanisme simpleks mengirimkan data dalam satu arah. Mekanisme full-duplex mentransfer data dalam dua arah secara bersamaan, dan mekanisme half-duplex memungkinkan transfer dua arah, tetapi hanya memungkinkan transfer dalam satu arah pada waktu tertentu.

Perbedaan antara Peralatan Komunikasi Data dan Peralatan Terminal Data awalnya dirancang untuk menunjukkan apakah peralatan milik penyedia atau pelanggan. Konsep kunci muncul dari kemampuan untuk mendefinisikan antarmuka untuk pengguna yang menawarkan layanan yang berbeda dari sistem komunikasi yang mendasarinya.

## Latihan

---

1. Jelaskan perbedaan antara transmisi serial dan paralel.
2. Apa keuntungan dari transmisi paralel? Apa kerugian utamanya?
3. Saat mentransmisikan bilangan bulat komplemen 32-bit 2 dalam urutan big-endian, kapan bit tanda ditransmisikan?
4. Apa karakteristik utama dari transmisi asinkron?
5. Jenis (atau tipe) transmisi serial mana yang sesuai untuk transmisi video? Untuk koneksi keyboard ke komputer?
6. Apa yang dimaksud dengan bit awal, dan dengan jenis transmisi serial apa bit awal digunakan?
7. Saat menggunakan skema transmisi sinkron, apa yang terjadi jika pengirim tidak memiliki data untuk dikirim?
8. Ketika dua orang melakukan percakapan, apakah mereka menggunakan transmisi simplex, half-duplex, atau full-duplex?
9. Apakah modem tergolong DTE atau DCE?

---

### Bab ini akan membahas tentang:

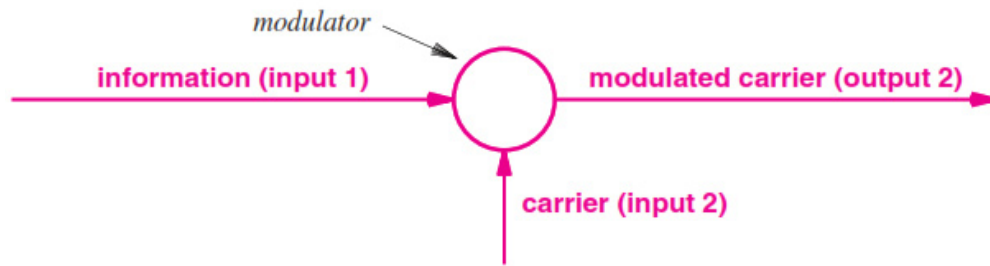
- informasi yang digunakan untuk mengubah gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi,
- input analog dan digital yang digunakan
- penggunaan sinyal frekuensi tinggi untuk membawa informasi.

### 10.1 Pembawa, Frekuensi, dan Propagasi

Banyak sistem komunikasi jarak jauh menggunakan gelombang elektromagnetik berenergi terus menerus yang disebut pembawa. Sistem membuat perubahan kecil pada operator yang mewakili informasi yang dikirim. Untuk memahami mengapa pembawa penting, ingat kembali dari Bab 7 bahwa frekuensi energi elektromagnetik menentukan bagaimana energi menyebar. Salah satu motivasi untuk penggunaan pembawa muncul dari keinginan untuk memilih frekuensi yang akan merambat dengan baik, terlepas dari kecepatan pengiriman data.

### 10.2 Skema Modulasi Analog

Kami menggunakan istilah modulasi untuk merujuk pada perubahan yang dibuat pada pembawa sesuai dengan informasi yang dikirim. Secara konseptual, modulasi mengambil dua input, pembawa dan sinyal, dan menghasilkan pembawa termodulasi sebagai output, seperti yang diilustrasikan Gambar 10.1.



Gambar 10.1 Konsep modulasi dengan dua input.

Intinya, seorang pengirim harus mengubah salah satu karakteristik fundamental dari gelombang. Jadi, ada tiga teknik utama yang memodulasi pembawa elektromagnetik menurut sinyal:

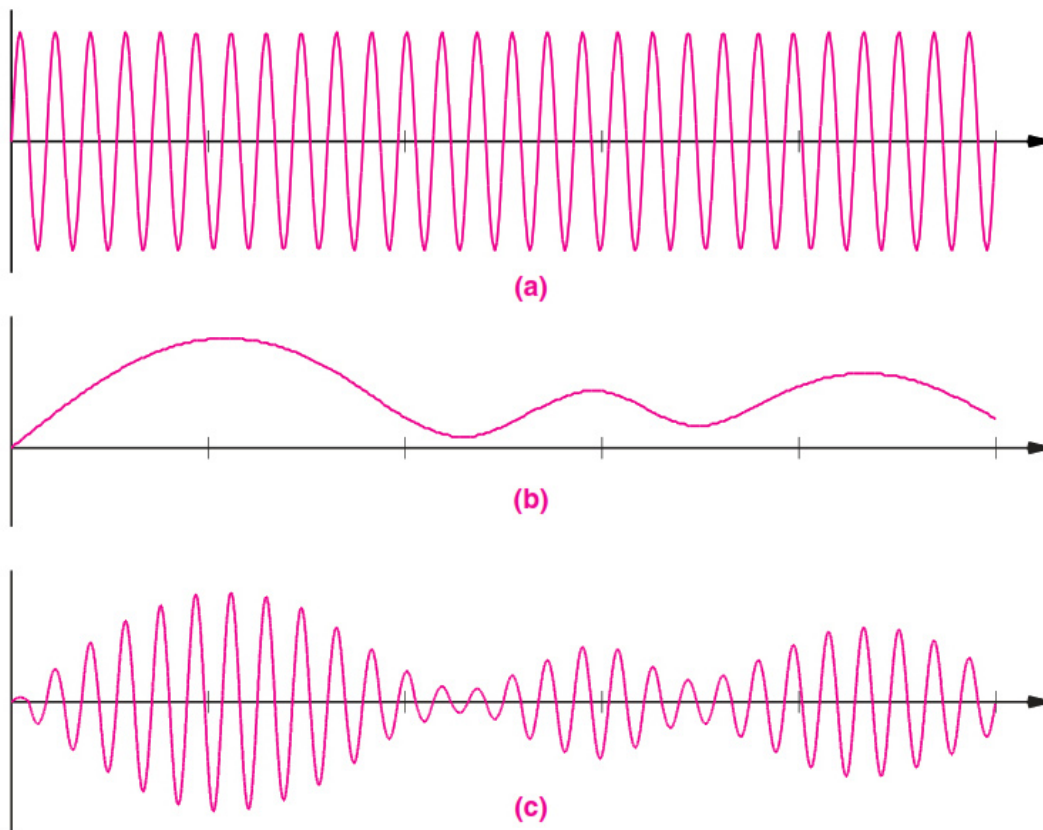
- Modulasi amplitudo
- Modulasi frekuensi
- Modulasi pergeseran fasa

Dua metode modulasi pertama adalah yang paling dikenal dan telah digunakan secara luas. Memang, mereka tidak berasal dari jaringan komputer — mereka dirancang dan digunakan untuk siaran radio, dan juga digunakan untuk siaran televisi.

### 10.3 Modulasi Amplitudo

Sebuah teknik yang dikenal sebagai modulasi amplitudo memvariasikan amplitudo pembawa sebanding dengan informasi yang dikirim (yaitu, menurut sinyal). Pembawa terus beresilasi pada frekuensi tetap, tetapi amplitudo gelombang bervariasi. Gambar 10.2 mengilustrasikan gelombang pembawa yang tidak termodulasi, sinyal informasi analog, dan pembawa termodulasi amplitudo yang dihasilkan.

Modulasi amplitudo mudah dipahami karena hanya amplitudo (yaitu, besarnya) dari gelombang sinus yang dimodifikasi. Selanjutnya, grafik domain waktu dari pembawa termodulasi memiliki bentuk yang mirip dengan sinyal yang digunakan. Misalnya, jika seseorang membayangkan sebuah amplop yang terdiri dari kurva yang menghubungkan puncak gelombang sinus pada Gambar 10.2c, kurva yang dihasilkan memiliki bentuk yang sama dengan sinyal pada Gambar 10.2b.

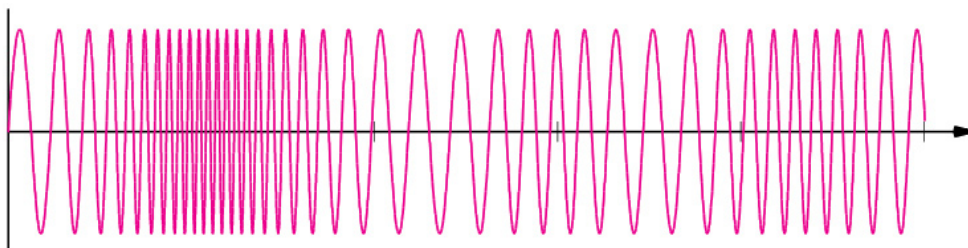


Gambar 10.2 Ilustrasi (a) gelombang pembawa tidak termodulasi, (b) sinyal informasi analog, dan (c) pembawa termodulasi amplitudo.

## 10.4 Modulasi Frekuensi

Sebuah alternatif untuk modulasi amplitudo dikenal sebagai modulasi frekuensi. Ketika modulasi frekuensi digunakan, amplitudo pembawa tetap, tetapi frekuensi berubah sesuai dengan sinyal: ketika sinyal lebih kuat, frekuensi pembawa meningkat sedikit, dan ketika sinyal lebih lemah, frekuensi pembawa sedikit berkurang. Gambar 10.3 mengilustrasikan gelombang pembawa yang dimodulasi dengan modulasi frekuensi menurut sinyal pada Gambar 10.2b.

Seperti yang ditunjukkan gambar, modulasi frekuensi lebih sulit untuk divisualisasikan karena sedikit perubahan frekuensi tidak terlihat dengan jelas. Namun, orang dapat melihat bahwa gelombang termodulasi memiliki frekuensi yang lebih tinggi ketika sinyal yang digunakan untuk modulasi lebih kuat.



Gambar 10.3 Ilustrasi gelombang pembawa dengan modulasi frekuensi sesuai sinyal pada Gambar 10.2b.

## 10.5 Modulasi Pergeseran Fase

Properti ketiga dari gelombang sinus adalah fasenya, offset dari waktu referensi di mana gelombang sinus dimulai. Dimungkinkan untuk menggunakan perubahan fase untuk mewakili sinyal. Kami menggunakan istilah pergeseran fase untuk mengkarakterisasi perubahan tersebut.

Meskipun fase modulasi dimungkinkan dalam teori, teknik ini jarang digunakan dengan sinyal analog. Untuk memahami alasannya, amati bahwa jika fase berubah setelah siklus  $k$ , gelombang sinus berikutnya akan mulai sedikit lebih lambat dari waktu di mana siklus  $k$  selesai. Sedikit penundaan menyerupai perubahan frekuensi. Jadi, untuk input analog, modulasi pergeseran fasa dapat dianggap sebagai bentuk khusus dari modulasi frekuensi. Akan tetapi, kita akan melihat bahwa pergeseran fasa penting ketika sinyal digital digunakan untuk memodulasi pembawa.

## 10.6 Modulasi Amplitudo Dan Teorema Shannon

Ilustrasi pada Gambar 10.2c menunjukkan amplitudo yang bervariasi dari maksimum hingga hampir nol. Meskipun mudah dipahami oleh manusia, gambarnya sedikit menyesatkan: dalam praktiknya, modulasi hanya mengubah sedikit amplitudo pembawa, tergantung pada konstanta yang dikenal sebagai indeks modulasi.

Untuk memahami mengapa sistem praktis tidak memungkinkan sinyal termodulasi mendekati nol, pertimbangkan Teorema Shannon. Dengan asumsi jumlah noise konstan, rasio signal-to-noise akan mendekati nol saat sinyal mendekati nol. Dengan demikian, menjaga gelombang pembawa di dekat maksimum memastikan bahwa rasio signal-to-noise tetap sebesar mungkin, yang memungkinkan transfer lebih banyak bit per detik.

## 10.7 Modulasi, Input Digital, dan Shift Keying

Uraian modulasi di atas menunjukkan bagaimana sinyal informasi analog digunakan untuk memodulasi pembawa. Timbul pertanyaan, “bagaimana input digital dapat digunakan?” Jawabannya terletak pada modifikasi langsung dari skema modulasi yang dijelaskan di atas: alih-alih modulasi yang sebanding dengan sinyal kontinu, skema digital menggunakan nilai diskrit. Selanjutnya, untuk membedakan antara modulasi analog dan digital, kami menggunakan istilah shift keying daripada modulasi.

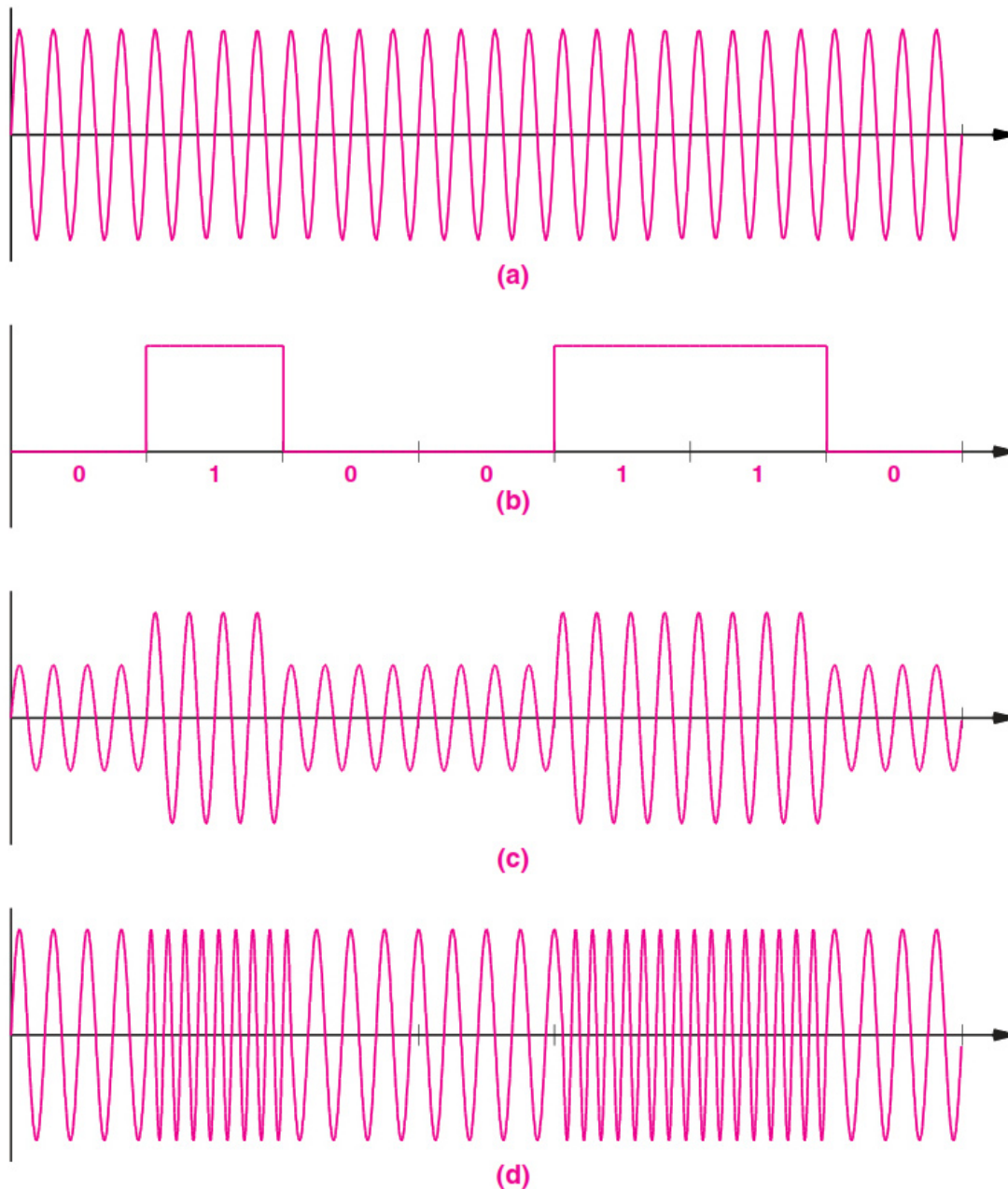
Pada dasarnya, shift keying beroperasi mirip dengan modulasi analog. Alih-alih kontinum nilai yang mungkin, tombol shift digital memiliki set tetap. Misalnya, modulasi amplitudo memungkinkan amplitudo pembawa bervariasi dengan jumlah kecil yang sewenang-wenang sebagai respons terhadap perubahan sinyal yang digunakan. Sebaliknya, penguncian pergeseran amplitudo menggunakan satu set tetap dari kemungkinan amplitudo. Dalam kasus yang paling sederhana, amplitudo penuh dapat sesuai dengan logika 1 dan amplitudo yang jauh lebih kecil dapat berhubungan dengan logika 0. Demikian pula, penguncian pergeseran frekuensi menggunakan dua frekuensi dasar. Gambar 10.4 mengilustrasikan gelombang pembawa, sinyal input digital, dan bentuk gelombang yang dihasilkan untuk Amplitude Shift Keying (ASK) dan Frequency Shift Keying (FSK).

## 10.9 Phase Shift Keying

Meskipun perubahan amplitudo dan frekuensi bekerja dengan baik untuk audio, keduanya memerlukan setidaknya satu siklus gelombang pembawa untuk mengirim satu bit kecuali skema pengkodean khusus digunakan (misalnya, kecuali bagian positif dan negatif dari sinyal diubah secara

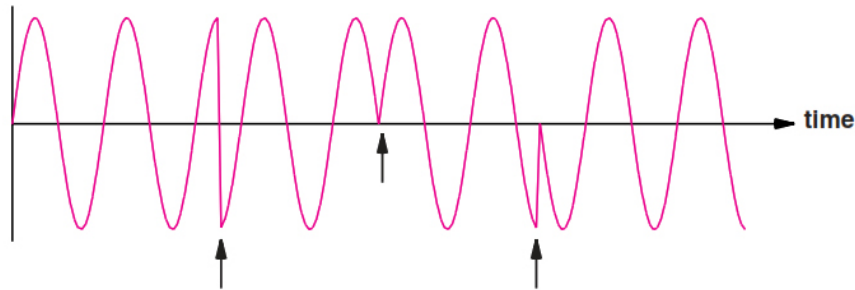


independen). Teorema Nyquist yang dijelaskan dalam Bab 6 menunjukkan bahwa jumlah bit yang dikirim per satuan waktu dapat ditingkatkan jika skema pengkodean memungkinkan beberapa bit untuk dikodekan dalam satu siklus pembawa. Dengan demikian, sistem komunikasi data sering menggunakan teknik yang dapat mengirim lebih banyak bit. Secara khusus, penguncian pergeseran fase mengubah fase gelombang pembawa secara tiba-tiba untuk mengkodekan data. Setiap perubahan seperti itu disebut pergeseran fase. Setelah pergeseran fase, pembawa terus beresilasi, tetapi segera melompat ke titik baru dalam siklus gelombang sinus. Gambar 10.5 mengilustrasikan bagaimana pergeseran fase mempengaruhi gelombang sinus.



Gambar 10.4 Ilustrasi (a) gelombang pembawa, (b) sinyal input digital, (c) penguncian pergeseran amplitudo, dan (d) penguncian pergeseran frekuensi.





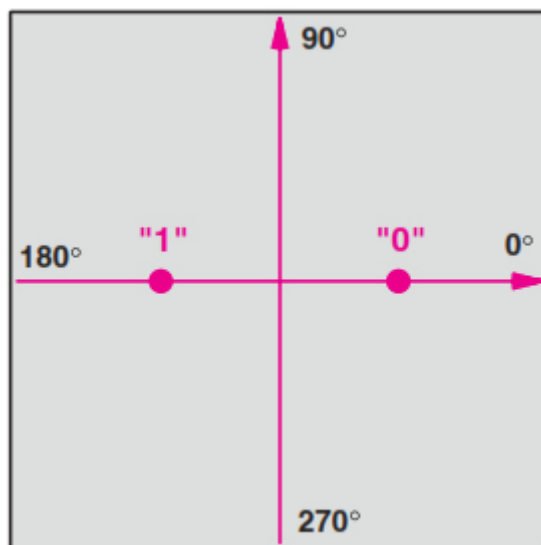
Gambar 10.5 Ilustrasi modulasi pergeseran fasa dengan panah yang menunjukkan waktu di mana pembawa tiba-tiba melompat ke titik baru dalam siklus gelombang sinus.

Pergeseran fasa diukur dengan sudut perubahan. Misalnya, pergeseran paling kiri pada Gambar 10.5 mengubah sudut sebesar  $\pi$  radian atau  $180^\circ$  ke pergeseran  $-90^\circ$  (yang merupakan perubahan fase equisecond pada gambar juga sesuai dengan pergeseran  $180^\circ$ ). Perubahan fase ketiga sesuai dengan valensi  $270^\circ$ ).

### 10.10 Pergeseran Fase Dan Diagram Konstelasi

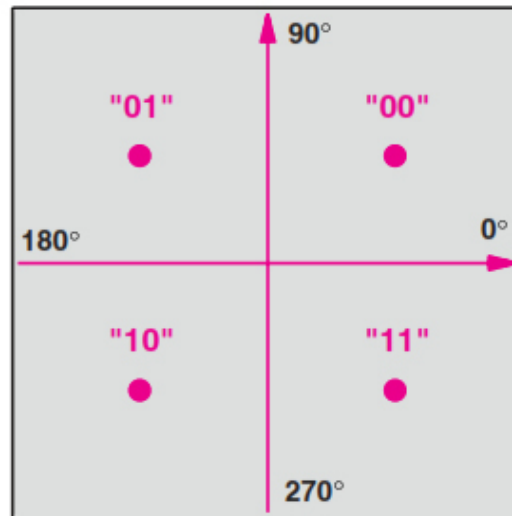
Bagaimana data dapat dikodekan menggunakan pergeseran fasa? Dalam kasus yang paling sederhana, pengirim dan penerima dapat menyetujui jumlah bit per detik, dan tidak dapat menggunakan pergeseran fasa untuk menunjukkan logika 0, dan adanya pergeseran fasa untuk menunjukkan logika 1. Misalnya, sistem mungkin menggunakan pergeseran fasa  $180^\circ$ . Diagram konstelasi digunakan untuk mengekspresikan penugasan yang tepat dari bit data untuk perubahan fase tertentu. Gambar 10.6 mengilustrasikan konsep tersebut.

Perangkat keras dapat melakukan lebih dari sekadar mendeteksi keberadaan pergeseran fasa — penerima dapat mengukur jumlah pembawa yang bergeser selama perubahan fasa. Dengan demikian, dimungkinkan untuk merancang sistem komunikasi yang mengenali satu set pergeseran fasa, dan menggunakan setiap pergeseran fase tertentu untuk mewakili nilai data tertentu. Biasanya, sistem dirancang untuk menggunakan kekuatan dua shift yang mungkin, yang berarti pengirim dapat menggunakan bit data untuk memilih di antara shift.



Gambar 10.6 Diagram konstelasi yang menunjukkan logika 0 sebagai pergeseran fasa  $0^\circ$  dan logika 1 sebagai pergeseran fasa  $180^\circ$ .

Gambar 10.7 menunjukkan diagram konstelasi untuk sistem yang menggunakan empat kemungkinan pergeseran fasa (yaitu, 22). Pada setiap tahap transmisi, pengirim menggunakan dua bit data untuk memilih di antara empat nilai pergeseran yang mungkin.



Gambar 10.7 Diagram konstelasi untuk sistem yang menggunakan empat kemungkinan pergeseran fasa yang masing-masing mewakili dua bit data.

### Poin Penting

*Keuntungan utama dari mekanisme seperti penguncian pergeseran fase muncul dari kemampuan untuk mewakili lebih dari satu bit data pada perubahan tertentu. Diagram konstelasi menunjukkan penugasan bit data ke perubahan fase.*

Banyak variasi penguncian fase pergeseran ada. Sebagai contoh, mekanisme pergeseran fasa seperti yang diilustrasikan pada Gambar 10.6 yang memungkinkan pengirim untuk mentransfer satu bit pada suatu waktu diklasifikasikan sebagai mekanisme Binary Phase Shift Keying (BPSK). Notasi 2-PSK digunakan untuk menyatakan dua nilai yang mungkin. Demikian pula, variasi yang diilustrasikan pada Gambar 10.7 dikenal sebagai mekanisme 4-PSK.

Secara teori, adalah mungkin untuk meningkatkan kecepatan data dengan meningkatkan jangkauan pergeseran fasa. Dengan demikian, mekanisme 16-PSK dapat mengirim bit per detik dua kali lebih banyak daripada mekanisme 4-PSK. Namun, dalam praktiknya, noise dan distorsi membatasi kemampuan perangkat keras untuk membedakan perbedaan kecil dalam pergeseran fasa.

### Poin Penting

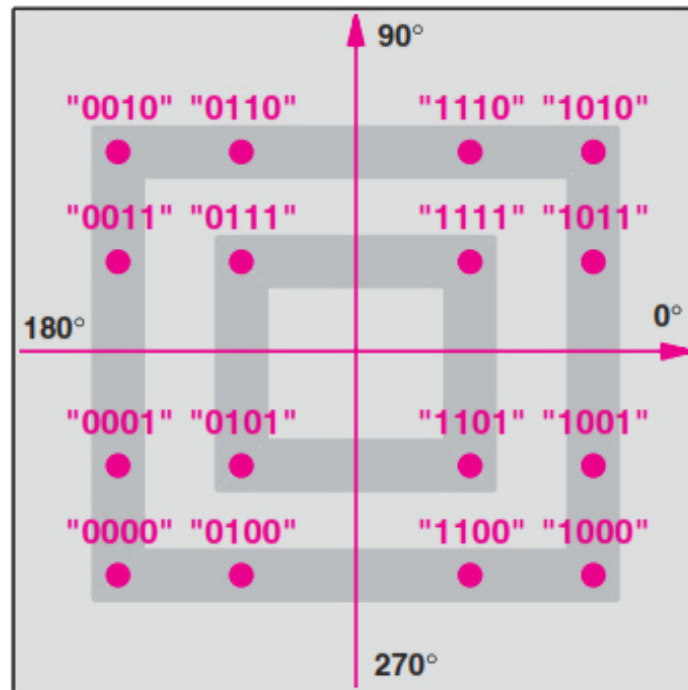
*Meskipun ada banyak variasi penguncian pergeseran fasa, kebisingan dan distorsi membatasi kemampuan sistem praktis untuk membedakan di antara perbedaan kecil yang sewenang-wenang dalam perubahan fasa.*

## 10.11 Modulasi Amplitudo Kuadrat

Jika perangkat keras tidak mampu mendeteksi perubahan fase yang berubah-ubah, bagaimana kecepatan data dapat ditingkatkan lebih lanjut? Jawabannya terletak pada kombinasi teknik modulasi yang mengubah dua karakteristik pembawa secara bersamaan. Teknologi paling canggih

menggabungkan modulasi amplitudo dan penguncian pergeseran fasa. Dikenal sebagai Quadrature Amplitude Modulation† (QAM), pendekatan ini menggunakan perubahan fase dan perubahan amplitudo untuk mewakili nilai.

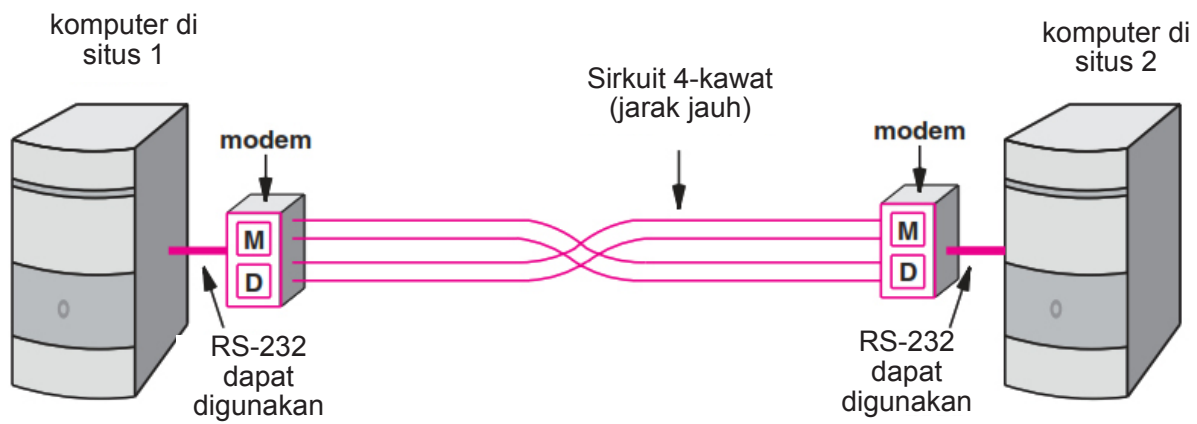
Untuk mewakili QAM pada diagram konstelasi, kami menggunakan jarak dari titik asal sebagai ukuran amplitudo. Misalnya, Gambar 10.8 menunjukkan diagram konstelasi untuk varian yang dikenal sebagai 16QAM dengan area abu-abu gelap yang menunjukkan amplitudo.



Gambar 10.8 Sebuah diagram konstelasi untuk 16QAM di mana jarak dari titik asal mencerminkan amplitudo.

## 10.11 Perangkat Keras Modem Untuk Modulasi Dan Demodulasi

Mekanisme perangkat keras yang menerima urutan bit data dan menerapkan modulasi ke gelombang pembawa sesuai dengan bit disebut modulator; mekanisme perangkat keras yang menerima gelombang pembawa termodulasi dan menciptakan kembali urutan bit data yang digunakan untuk memodulasi pembawa disebut demodulator. Dengan demikian, transmisi data memerlukan modulator di salah satu ujung media transmisi dan demodulator di ujung lainnya. Dalam praktiknya, sebagian besar sistem komunikasi adalah komunikasi dupleks penuh, yang berarti setiap lokasi membutuhkan modulator, yang digunakan untuk mengirim data, dan demodulator, yang digunakan untuk menerima data. Untuk menjaga biaya tetap rendah dan membuat sepasang perangkat mudah dipasang dan dioperasikan, produsen menggabungkan mekanisme modulasi dan demodulasi ke dalam satu perangkat yang disebut modem (modulator dan demodulator). Gambar 10.9 mengilustrasikan bagaimana sepasang modem menggunakan koneksi 4-kawat untuk berkomunikasi.



Gambar 10.9 Ilustrasi dua modem yang menggunakan koneksi 4-kawat.

Seperti yang ditunjukkan gambar, modem dirancang untuk menyediakan komunikasi jarak jauh. Sirkuit 4-kawat yang menghubungkan dua modem dapat memanjang di dalam gedung, melintasi kampus perusahaan antar gedung, atau antar kota†.

## 10.12 Modem Optik Dan Frekuensi Radio

Selain kabel khusus, modem juga digunakan dengan media lain, termasuk transmisi RF dan serat optik. Misalnya, sepasang modem Frekuensi Radio (RF) dapat digunakan untuk mengirim data melalui radio, dan sepasang modem optik dapat digunakan untuk mengirim data melalui sepasang serat optik. Meskipun modem tersebut menggunakan media yang sama sekali berbeda dari modem yang beroperasi melalui kabel khusus, prinsipnya tetap sama: pada ujung pengiriman, modem memodulasi pembawa; di ujung penerima, data diekstraksi dari pembawa termodulasi.

## 10.13 Modem Dial-up

Aplikasi lain yang menarik dari modem melibatkan sistem telepon suara. Alih-alih menggunakan sinyal listrik sebagai pembawa, modem dialup menggunakan nada audio. Seperti halnya modem konvensional, pembawa dimodulasi di ujung pengiriman dan didemodulasi di ujung penerima. Jadi, selain kemampuan untuk melakukan dan menerima panggilan telepon, perbedaan utama antara modem dialup dan modem konvensional muncul dari bandwidth nada yang dapat didengar yang lebih rendah.

Ketika modem dialup pertama kali dirancang, pendekatannya benar-benar masuk akal — modem dialup mengubah data menjadi pembawa analog termodulasi karena sistem telepon mengangkut sinyal analog. Ironisnya, interior sistem telepon modern adalah digital. Jadi, pada sisi pengirim, modem dialup menggunakan data untuk memodulasi pembawa yang dapat didengar, yang ditransmisikan ke sistem telepon. Sistem telepon mendigitalkan audio yang masuk, mengirimkan bentuk digital secara internal, dan mengubah versi digital kembali ke audio analog untuk pengiriman. Modem penerima mendemodulasi pembawa analog, dan mengekstrak data digital asli. Gambar 10.10 mengilustrasikan penggunaan ironis dari sinyal analog dan digital oleh modem dialup.

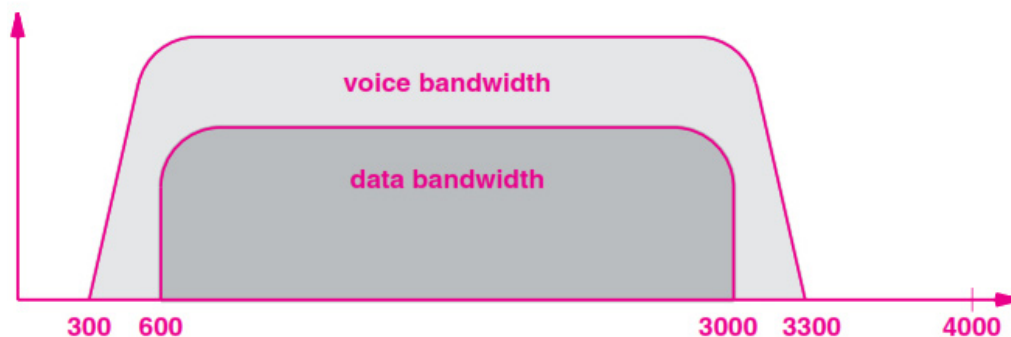


Gambar 10.10 Ilustrasi sinyal digital dan analog (dilambangkan dengan gelombang persegi dan gelombang sinus) yang terjadi ketika modem dialup digunakan untuk mengirim data dari satu komputer ke komputer lain.

Seperti yang ditunjukkan oleh gambar, modem dialup biasanya tertanam di komputer. Kami menggunakan istilah modem internal untuk menunjukkan perangkat tertanam, dan istilah modem eksternal untuk menunjukkan perangkat fisik yang terpisah.

### 10.14 QAM Diterapkan Untuk Dialup

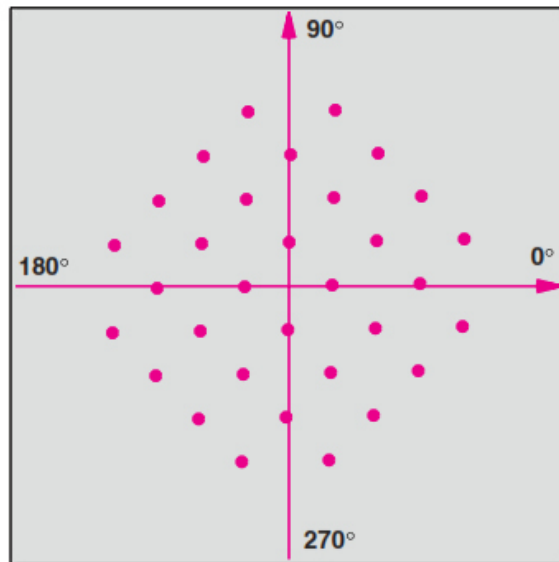
Quadrature Amplitude Modulation juga digunakan dengan modem dialup sebagai cara untuk memaksimalkan kecepatan pengiriman data. Untuk memahami alasannya, perhatikan Gambar 10.11, yang menunjukkan bandwidth yang tersedia pada koneksi dialup. Seperti yang diilustrasikan pada gambar, sebagian besar sambungan telepon mentransfer frekuensi antara 300 dan 3000 Hz, tetapi sambungan tertentu mungkin tidak menangani yang ekstrem dengan baik. Jadi, untuk menjamin reproduksi yang lebih baik dan kebisingan yang lebih rendah, modem dialup menggunakan frekuensi antara 600 dan 3000 Hz, yang berarti bandwidth yang tersedia adalah 2400 Hz. Skema QAM dapat meningkatkan kecepatan data secara dramatis.



Gambar 10.11 Ilustrasi bandwidth suara dan data pada sambungan telepon dialup.

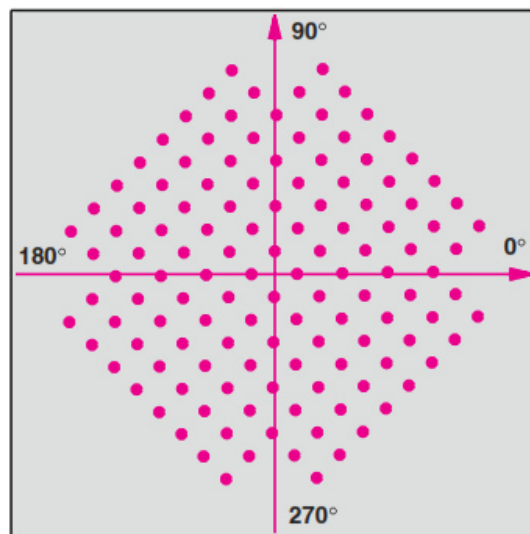
### 10.15 Modem Dialup 10.16 V.32 dan V.32bis

Sebagai contoh modem dialup yang menggunakan QAM, pertimbangkan V.32 dan V.32bis standar. Gambar 10.12 mengilustrasikan konstelasi QAM untuk modem V.32 yang menggunakan 32 kombinasi pergeseran amplitudo dan pergeseran fasa untuk mencapai kecepatan data 9600 bps di setiap arah.



Gambar 10.12 Ilustrasi konstelasi QAM untuk modem dialup V.32.

Modem V.32bis menggunakan 128 kombinasi pergeseran fasa dan pergeseran amplitudo untuk mencapai kecepatan data 14.400 bps di setiap arah. Gambar 10.13 mengilustrasikan konstelasi. Analisis sinyal yang canggih diperlukan untuk mendeteksi perubahan kecil yang terjadi dari suatu titik di konstelasi ke titik tetangga. = detik 10.16 V.32 dan V.32bis Modem Dialup 177



Gambar 10.13 Ilustrasi konstelasi QAM untuk modem dialup V.32bis.

## 10.16 Ringkasan

Sistem komunikasi jarak jauh menggunakan gelombang pembawa termodulasi untuk mentransfer informasi. Sebuah pembawa dimodulasi dengan mengubah amplitudo, frekuensi, atau fase. Amplitudo dan modulasi frekuensi adalah bentuk yang paling umum digunakan dengan input analog.

Ketika sinyal digital digunakan sebagai input, modulasi dikenal sebagai shift keying. Seperti halnya modulasi analog, shift keying mengubah pembawa. Namun, hanya serangkaian kemungkinan tetap yang diizinkan. Diagram konstelasi digunakan untuk mewakili kemungkinan penguncian pergeseran fasa. Jika sistem mengizinkan kekuatan dua kemungkinan, beberapa bit input dapat digunakan untuk memilih kemungkinan pada setiap titik waktu. Quadrature Amplitude Modulation menggabungkan penguncian pergeseran amplitudo dan penguncian fasa untuk menghasilkan lebih banyak kemungkinan.

Modem adalah perangkat keras yang mencakup sirkuit untuk melakukan modulasi dan demodulasi; sepasang modem digunakan untuk komunikasi full-duplex. Optik, RF, dan modem dialup juga ada. Karena bandwidth terbatas, modem dialup menggunakan skema Quadrature Amplitude Modulation. Modem V.32 menggunakan 32 kemungkinan kombinasi pergeseran fasa dan perubahan amplitudo; modem V.32bis menggunakan 128 kemungkinan kombinasi.

## Latihan

---

1. Sebutkan tiga tipe dasar modulasi analog.
2. Saat menggunakan modulasi amplitudo, apakah masuk akal jika pembawa 1 Hz dimodulasi oleh gelombang sinus 2 Hz? Mengapa atau mengapa tidak?
3. Menggunakan Teorema Shannon, jelaskan mengapa sistem modulasi amplitudo praktis menjaga pembawa di dekat kekuatan maksimum.
4. Apa perbedaan antara shift keying dan modulasi?
5. Pada penguncian fase pergeseran, apakah mungkin untuk memiliki pergeseran fase 900? Dari 2700? Dari 3600?
6. Gambarkan sebuah contoh untuk menjelaskan jawaban Anda.
7. Cari di Web dan temukan diagram konstelasi untuk 32QAM. Berapa banyak titik yang ditentukan di setiap kuadran?
8. Gambar 10.9 menunjukkan konfigurasi dupleks penuh dengan empat kabel, dua di antaranya digunakan untuk mentransmisikan di setiap arah. Berargumen bahwa seharusnya dimungkinkan untuk menggunakan tiga kabel sebagai gantinya.
9. Pada pertanyaan sebelumnya, mengapa empat kabel lebih disukai?
10. Dengan asumsi rasio signal-to-noise 30 dB, berapa kecepatan data maksimum yang dapat dicapai untuk bandwidth dialup yang diilustrasikan pada Gambar 10.1



---

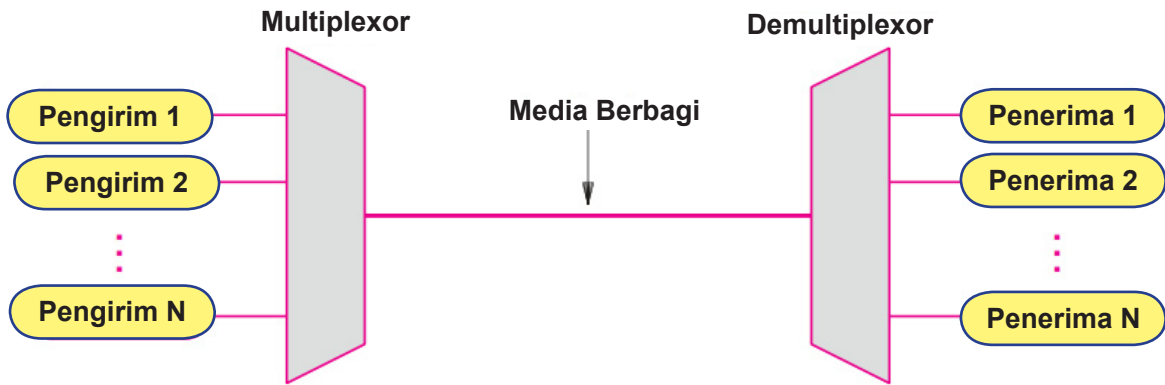
### Bab ini akan membahas tentang:

- definisi tipe dasar multiplexing yang digunakan di seluruh jaringan komputer dan Internet.
- pembawa termodulasi memberikan dasar bagi banyak mekanisme multiplexing

### 11.1 Konsep Multiplexing

Multiplexing adalah Teknik menggabungkan beberapa sinyal untuk dikirimkan secara bersamaan pada suatu kanal transmisi. Dimana perangkat yang melakukan Multiplexing disebut Multiplexer atau disebut juga dengan istilah Transceiver / Mux.

Kami menggunakan istilah multiplexing untuk merujuk pada kombinasi aliran informasi dari berbagai sumber untuk transmisi melalui media bersama, dan multiplexor untuk menunjukkan mekanisme yang mengimplementasikan kombinasi. Demikian pula, kami menggunakan istilah demultiplexing untuk merujuk pada pemisahan kombinasi kembali menjadi aliran informasi yang terpisah, dan demultiplexor untuk merujuk pada mekanisme yang menerapkan pemisahan. Multiplexing dan demultiplexing tidak terbatas pada perangkat keras atau aliran bit individu — gagasan menggabungkan dan memisahkan komunikasi membentuk dasar fundamental yang digunakan di banyak bagian jaringan komputer. Gambar 11.1 mengilustrasikan konsep tersebut.



Gambar 11.1 Konsep multiplexing di mana pasangan independen pengirim dan penerima berbagi media transmisi.

Pada gambar, setiap pengirim berkomunikasi dengan satu penerima. Meskipun mereka melakukan komunikasi independen, semua pasangan berbagi media transmisi tunggal. Multiplexor menggabungkan informasi dari pengirim untuk transmisi sedemikian rupa sehingga demultiplexor dapat memisahkan informasi untuk penerima.

## 11.2 Jenis Dasar Multiplexing

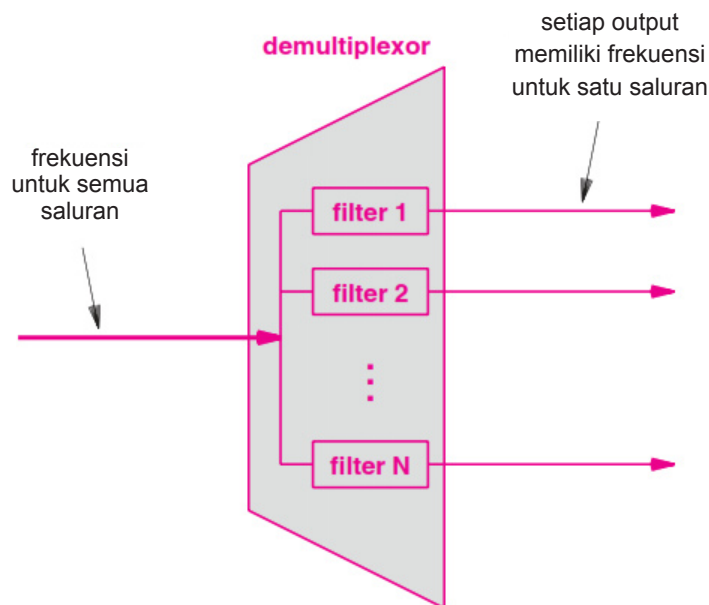
Ada empat pendekatan dasar untuk multiplexing yang masing-masing memiliki serangkaian variasi dan implementasi.

- Multiplexing Divisi Frekuensi
- Multiplexing Divisi Panjang Gelombang
- Multiplexing Pembagian Waktu
- Multiplexing Divisi Kode

Multiplexing pembagian waktu dan frekuensi banyak digunakan. Multiplexing divisi panjang gelombang adalah bentuk multiplexing divisi frekuensi yang digunakan untuk serat optik. Multiplexing pembagian kode adalah pendekatan matematis yang digunakan dalam mekanisme telepon seluler.

## 11.3 Multiplexing Divisi Frekuensi (FDM)

Frequency Division Multiplexing (FDM) mudah dipahami karena merupakan dasar dari radio siaran. Prinsip yang mendasari muncul dari fisika transmisi: satu set stasiun radio dapat mengirimkan sinyal elektromagnetik secara bersamaan tanpa gangguan asalkan masing-masing menggunakan saluran terpisah (yaitu, frekuensi pembawa). Sistem komunikasi data menerapkan prinsip yang sama dengan mengirimkan beberapa gelombang pembawa secara bersamaan melalui satu kabel tembaga atau menggunakan multiplexing divisi panjang gelombang untuk mengirim beberapa frekuensi cahaya melalui serat optik. Di ujung penerima, demultiplexor menerapkan satu set filter yang masing-masing mengekstrak rentang kecil frekuensi di dekat salah satu frekuensi pembawa. Gambar 11.2 mengilustrasikan organisasi.



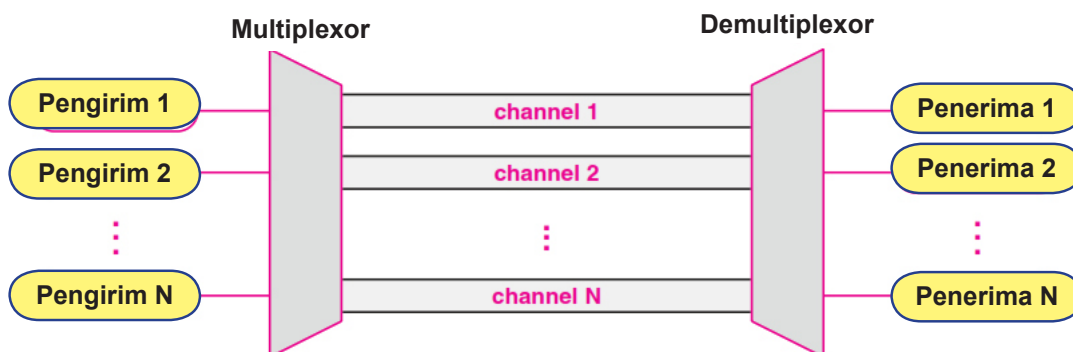
Gambar 11.2 Ilustrasi demultiplexing FDM dasar di mana satu set filter masing-masing memilih frekuensi untuk satu saluran dan menekan frekuensi lainnya.

Ide utamanya adalah bahwa filter yang digunakan dalam FDM hanya memeriksa frekuensi. Jika pasangan pengirim dan penerima diberi frekuensi pembawa tertentu, mekanisme FDM akan memisahkan frekuensi dari yang lain tanpa mengubah sinyal. Jadi, salah satu teknik modulasi yang dibahas dalam Bab 10 dapat digunakan dengan pembawa apa pun.

### Poin Penting

*Karena gelombang pembawa pada frekuensi yang terpisah tidak mengganggu, multiplexing pembagian frekuensi menyediakan setiap pasangan pengirim dan penerima dengan saluran komunikasi pribadi di mana skema modulasi apa pun dapat digunakan.*

Keuntungan paling signifikan dari FDM muncul dari penggunaan simultan dari media transmisi oleh beberapa pasang entitas yang berkomunikasi. Kami membayangkan FDM menyediakan setiap pasangan dengan jalur transmisi pribadi seolah-olah pasangan tersebut memiliki media transmisi fisik yang terpisah. Gambar 11.3 mengilustrasikan konsep tersebut.



Gambar 11.3 Pandangan konseptual dari Frequency Division Multiplexing (FDM) sebagai penyediaan satu set saluran independen.

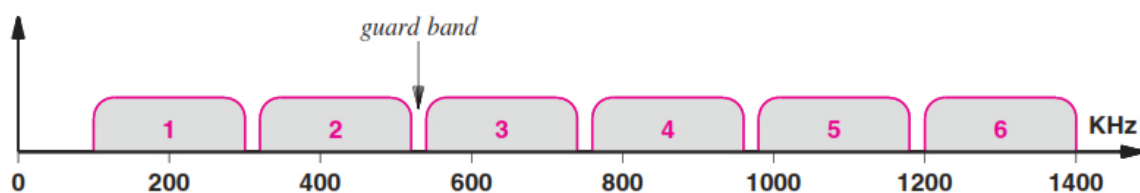
Tentu saja, setiap sistem FDM praktis memberlakukan batasan pada set frekuensi yang dapat digunakan untuk saluran. Jika frekuensi dua saluran berdekatan secara sewenang-wenang, interferensi dapat terjadi. Selanjutnya, perangkat keras demultiplexing yang menerima sinyal gabungan harus dapat membagi sinyal menjadi pembawa yang terpisah. Untuk radio siaran di AS, Komisi Komunikasi Federal (FCC) mengatur stasiun untuk memastikan bahwa jarak yang memadai terjadi antara frekuensi pembawa. Untuk sistem komunikasi data, desainer mengikuti pendekatan yang sama dengan memilih satu set frekuensi pembawa dengan celah di antara mereka yang dikenal sebagai band penjaga.

Sebagai contoh alokasi saluran, perhatikan penugasan pada Gambar 11.4 yang mengalokasikan 200 KHz ke masing-masing dari 6 saluran dengan pita pengaman 20 KHz di antara masing-masing.

Tabel 11.4 Contoh penetapan frekuensi ke saluran dengan pita pelindung antara saluran yang berdekatan

Channel	Frequencies Used
1	100 KHz - 300 KHz
2	320 KHz - 520 KHz
3	540 KHz - 740 KHz
4	760 KHz - 960 KHz
5	980 KHz - 1180 KHz
6	1200 KHz - 1400 KHz

Ketika diplot dalam domain frekuensi, band penjaga terlihat jelas. Gambar 11.5 berisi plot untuk penugasan pada Gambar 11.4.



Gambar 11.5 Plot domain frekuensi alokasi saluran dari Gambar 11.4 dengan pita pelindung terlihat di antara saluran.

## 11.4 Menggunakan Rentang Frekuensi Per Saluran

Jika pembawa menggunakan frekuensi tunggal, mengapa contoh mengalokasikan blok frekuensi? Untuk memahami motivasi, pertimbangkan karakteristik umum FDM:

- Berumur panjang. FDM mendahului komunikasi data modern — gagasan untuk membagi spektrum elektromagnetik menjadi saluran muncul dalam eksperimen awal dengan radio.
- Banyak digunakan. FDM digunakan dalam siaran radio dan televisi, televisi kabel, dan sistem telepon seluler AMPS.
- Analog. Perangkat keras multiplexing dan demultiplexing FDM menerima dan mengirimkan sinyal analog. Bahkan jika pembawa telah dimodulasi untuk memuat informasi digital, perangkat keras FDM memperlakukan pembawa sebagai gelombang analog.

- Serbaguna. Karena memfilter pada rentang frekuensi tanpa memeriksa aspek sinyal lainnya, FDM serbaguna.

Karakteristik analog memiliki kelemahan membuat multiplexing pembagian frekuensi rentan terhadap noise dan distorsi†, tetapi keuntungan memberikan fleksibilitas. Secara khusus, sebagian besar sistem FDM menetapkan setiap pasangan pengirim dan penerima rentang frekuensi dan kemampuan untuk memilih bagaimana frekuensi dapat digunakan. Ada dua cara utama sistem menggunakan rentang frekuensi.

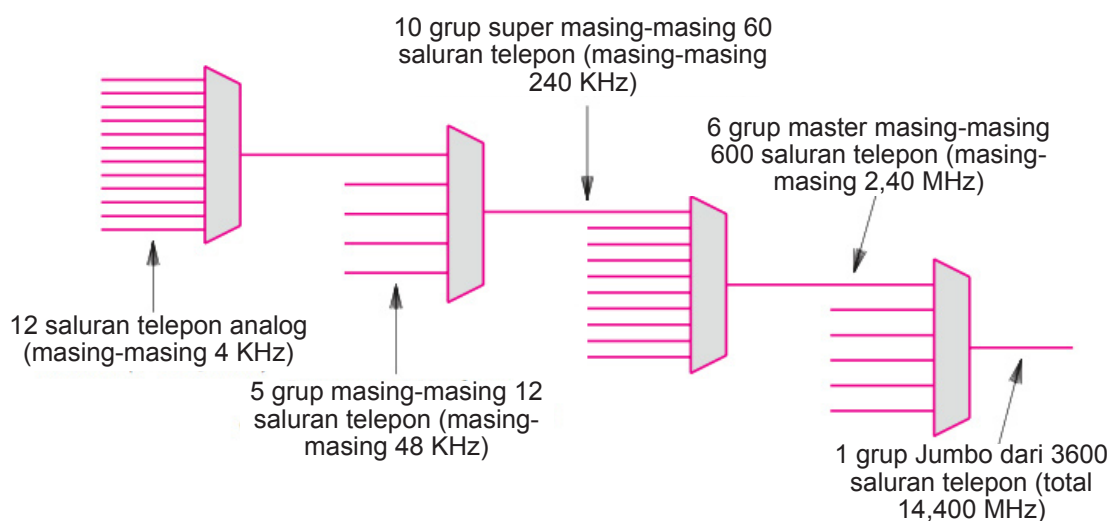
- Tingkatkan kecepatan data
- Meningkatkan kekebalan terhadap gangguan

Untuk meningkatkan kecepatan data secara keseluruhan, pengirim membagi rentang frekuensi saluran menjadi  $K$  operator, dan mengirimkan  $1/K$  data melalui setiap operator. Intinya, pengirim melakukan multiplexing pembagian frekuensi dalam saluran yang telah dialokasikan. Beberapa sistem menggunakan istilah alokasi subsaluran untuk merujuk pada subdivisi.

Untuk meningkatkan kekebalan terhadap interferensi, pengirim menggunakan teknik yang dikenal sebagai spread spectrum. Berbagai bentuk spread spectrum dapat digunakan, tetapi ide dasarnya adalah untuk membagi jangkauan saluran menjadi  $K$  pembawa, mengirimkan data yang sama melalui beberapa saluran, dan memungkinkan penerima untuk menggunakan salinan data yang datang dengan kesalahan paling sedikit. Skema ini bekerja sangat baik dalam kasus di mana kebisingan cenderung mengganggu beberapa frekuensi pada waktu tertentu.

## 11.5 Hirarki FDM

Beberapa fleksibilitas dalam FDM muncul dari kemampuan perangkat keras untuk menggeser frekuensi. Jika satu set sinyal masuk semuanya menggunakan rentang frekuensi antara 0 dan 4 KHz, perangkat keras multiplexing dapat meninggalkan tahap pertama apa adanya, memetakan yang kedua ke rentang 4 KHz hingga 8 KHz, petakan ketiga ke kisaran 8 KHz hingga 12 KHz, dan seterusnya. Teknik ini membentuk dasar untuk hierarki multiplexor FDM yang masing-masing memetakan inputnya ke pita frekuensi yang lebih besar dan kontinu. Gambar 11.6 mengilustrasikan konsep FDM† hierarkis.



Gambar 11.6 Ilustrasi hierarki FDM yang digunakan dalam sistem telepon.

Seperti yang diilustrasikan pada gambar, input dasar terdiri dari satu set dua belas sinyal telepon analog, yang masing-masing menempati frekuensi 0 hingga 4 KHz. Pada tahap pertama, sinyal dimultipleks menjadi sinyal tunggal yang dikenal sebagai grup yang menggunakan rentang frekuensi 0 hingga 48 KHz. Pada tahap berikutnya, lima grup dimultipleks menjadi satu supergrup tunggal yang menggunakan frekuensi 0 hingga 240 KHz, dan seterusnya. Pada tahap akhir, 3600 sinyal telepon telah dimultipleks menjadi satu sinyal.

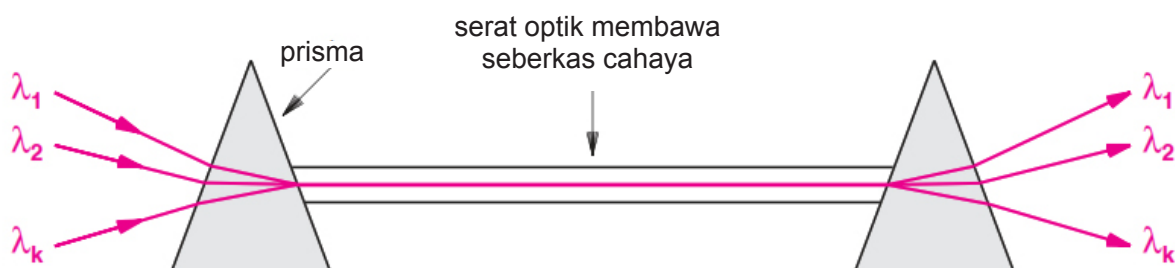
### **Poin Penting**

*Dimungkinkan untuk membangun hierarki multiplexing pembagian frekuensi di mana setiap tahap menerima sebagai input dan output dari tahap sebelumnya.*

## **11.6 Multiplexing Divisi Panjang Gelombang (WDM)**

Istilah Wavelength Division Multiplexing (WDM) mengacu pada penerapan multiplexing pembagian frekuensi pada serat optik†. Input dan output dari multiplexing tersebut adalah panjang gelombang cahaya, dilambangkan dengan huruf Yunani  $\lambda$ , dan secara informal disebut warna. Untuk memahami bagaimana multiplexing dan demultiplexing dapat bekerja dengan cahaya, ingatlah dari fisika dasar bahwa ketika cahaya putih melewati prisma, warna spektrum tersebar. Prisma juga beroperasi dalam mode terbalik: jika satu set berkas cahaya berwarna masing-masing diarahkan ke prisma pada sudut yang benar, prisma akan menggabungkan balok untuk membentuk satu berkas cahaya putih. Terakhir, ingatlah bahwa apa yang dilihat manusia sebagai warna sebenarnya adalah rentang panjang gelombang cahaya.

Prisma membentuk dasar multiplexing dan demultiplexing optik. Multiplexor menerima berkas cahaya dari berbagai panjang gelombang dan menggunakan prisma untuk menggabungkannya menjadi satu sinar; demultiplexor menggunakan prisma untuk memisahkan panjang gelombang. Gambar 11.7 mengilustrasikan konsep tersebut.



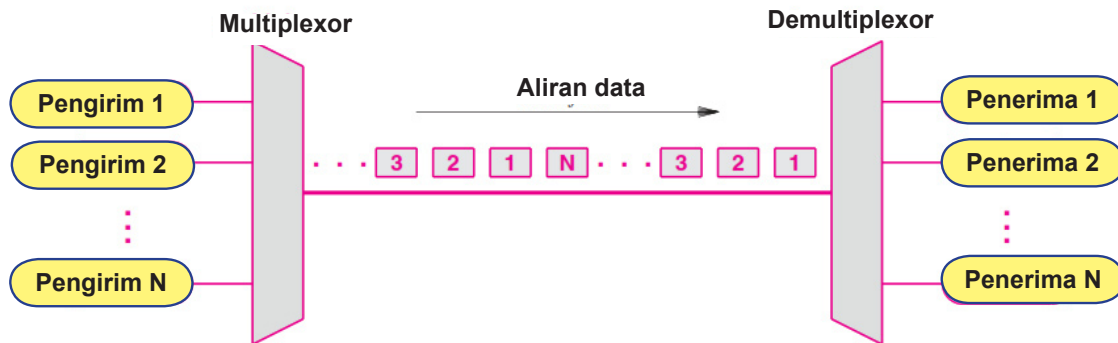
*Gambar 11.7 Ilustrasi prisma yang digunakan untuk menggabungkan dan memisahkan panjang gelombang cahaya dalam teknologi multiplexing divisi panjang gelombang.*

### **Poin Penting**

*Ketika multiplexing pembagian frekuensi diterapkan pada serat optik, prisma digunakan untuk menggabungkan atau memisahkan masing-masing panjang gelombang cahaya, dan hasilnya dikenal sebagai multiplexing pembagian panjang gelombang.*

## 11.7 Time Division Multiplexing (TDM)

Alternatif utama untuk FDM dikenal sebagai Time Division Multiplexing (TDM). TDM kurang esoteris daripada FDM dan tidak bergantung pada sifat khusus energi elektromagnetik. Sebaliknya, multiplexing dalam waktu berarti mentransmisikan item dari satu sumber, kemudian mentransmisikan item dari sumber lain, dan seterusnya. Gambar 11.8 mengilustrasikan konsep tersebut.



Gambar 11.8 Ilustrasi konsep Time Division Multiplexing (TDM) dengan item dari berbagai sumber yang dikirim melalui media bersama.

## 11.8 TDM Sinkron

Multiplexing pembagian waktu adalah konsep luas yang muncul dalam berbagai bentuk dan digunakan secara luas di seluruh Internet. Dengan demikian, diagram pada Gambar 11.8 hanyalah pandangan konseptual, dan detailnya dapat bervariasi. Misalnya, gambar menunjukkan item yang dikirim secara round-robin (yaitu, item dari pengirim 1 diikuti oleh item dari pengirim 2, dll). Meskipun beberapa sistem TDM menggunakan urutan round-robin, yang lain tidak.

Detail kedua pada Gambar 11.8 tidak berlaku untuk semua jenis TDM. Yaitu, gambar menunjukkan sedikit kesenjangan antara item. Ingat dari Bab 9 bahwa tidak ada celah yang terjadi antara bit jika sistem komunikasi menggunakan transmisi sinkron. Ketika TDM diterapkan ke jaringan sinkron, tidak ada celah yang terjadi di antara item. Hasilnya dikenal sebagai Synchronous Time Division Multiplexing. Sistem TDM sinkron menggunakan urutan round-robin untuk memilih item. Gambar 11.9 mengilustrasikan cara kerja TDM sinkron untuk sistem empat pengirim.



Gambar 11.9 Ilustrasi sistem Synchronous Time Division Multiplexing dengan empat pengirim.



## 11.9 Pembingkai yang Digunakan Dalam Sistem Telepon Versi TDM

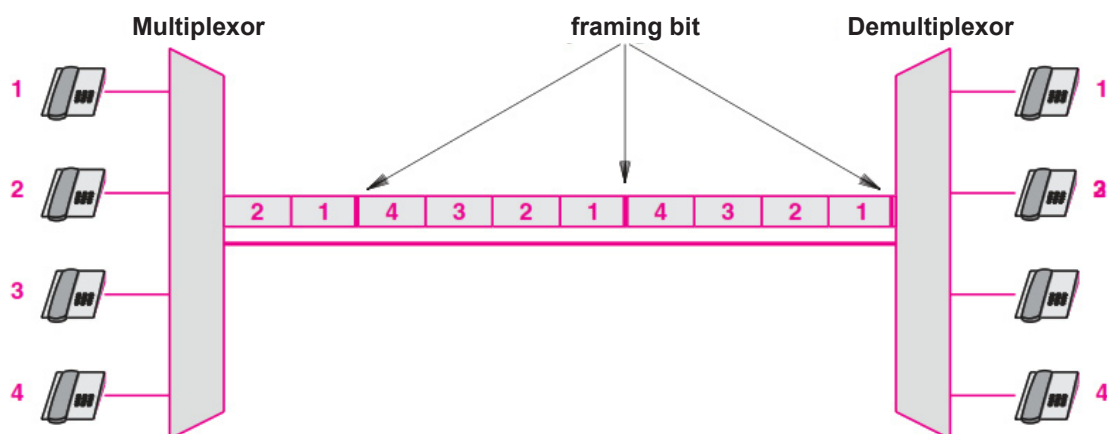
Sistem telepon menggunakan TDM sinkron untuk multipleks aliran digital dari beberapa panggilan telepon melalui satu media. Faktanya, perusahaan telepon menggunakan akronim TDM untuk merujuk pada bentuk spesifik TDM yang digunakan untuk panggilan telepon digital multipleks.

Standar sistem telepon untuk TDM mencakup teknik yang menarik untuk memastikan bahwa demultiplexor tetap sinkron dengan multiplexsor. Untuk memahami mengapa sinkronisasi diperlukan, amati bahwa sistem TDM sinkron mengirimkan satu slot demi satu tanpa indikasi output yang terjadi pada slot tertentu. Karena demultiplexor tidak dapat mengetahui di mana slot dimulai, sedikit perbedaan pada jam yang digunakan untuk bit waktu dapat menyebabkan demultiplexor salah menafsirkan aliran bit.

Untuk mencegah salah tafsir, versi TDM yang digunakan dalam sistem telepon menyertakan saluran pembingkai tambahan sebagai masukan. Alih-alih mengambil slot yang lengkap, pembingkai menyisipkan satu bit di aliran pada setiap putaran. Bersama dengan saluran lain, demultiplexor mengekstrak data dari saluran pembingkai dan memeriksa bit 0 dan 1 bergantian. Identy adalah jika kesalahan menyebabkan demultiplexor kehilangan sedikit, kemungkinan besar pemeriksaan pembingkai akan mendeteksi kesalahan dan memungkinkan transmisi dimulai ulang. Gambar 11.10 mengilustrasikan penggunaan bit framing.

### Poin Penting

*Mekanisme TDM sinkron yang digunakan untuk panggilan telepon digital mencakup bit pembingkai pada awal setiap putaran. Urutan pembingkai dari 1 dan 0 bergantian memastikan bahwa demultiplexor tetap sinkron atau mendeteksi kesalahan.*

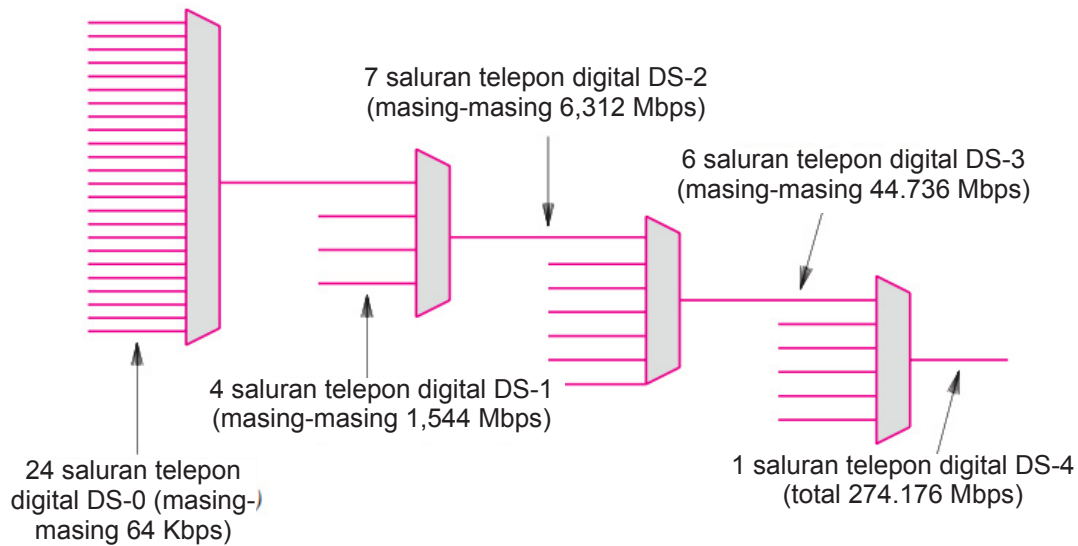


Gambar 11.10 Ilustrasi sistem TDM sinkron yang digunakan oleh sistem telepon di mana bit pembingkai mendahului setiap putaran slot

## 11.10 Hierarkis TDM

Seperti FDM, TDM dapat diatur dalam hierarki. Perbedaannya adalah bahwa setiap tahap berurutan dari hierarki TDM menggunakan N kali kecepatan bit, sedangkan setiap tahap berurutan dari hierarki FDM menggunakan N kali frekuensi. Bit pembingkai tambahan ditambahkan ke data, yang berarti bahwa laju bit dari setiap lapisan hierarki yang berurutan sedikit lebih besar daripada lalu

lintas suara agregat. Bandingkan contoh hierarki TDM pada Gambar 11.11 dengan contoh FDM pada Gambar 11.6.

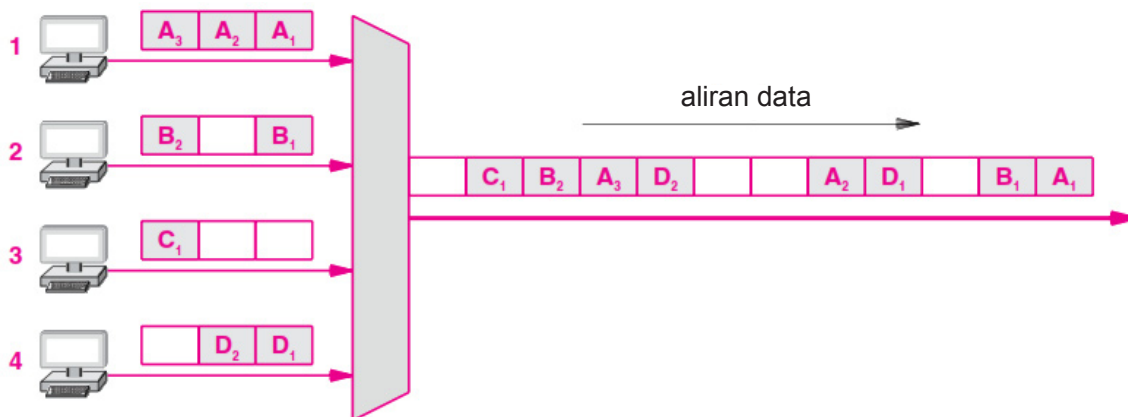


Gambar 11.11 Ilustrasi hierarki TDM yang digunakan dalam sistem telepon.

### 11.11 Masalah Dengan TDM Sinkron: Slot Tidak Terisi

TDM sinkron bekerja dengan baik jika setiap sumber menghasilkan data dengan kecepatan tetap yang seragam sama dengan  $1/N$  dari kapasitas media bersama. Misalnya, jika sebuah sumber berhubungan dengan panggilan telepon digital, data akan tiba pada kecepatan 64 Kbps yang seragam. Namun, seperti yang ditunjukkan Bab 9, banyak sumber menghasilkan data dalam burst, dengan waktu idle di antara burst, yang tidak bekerja dengan baik dengan sistem TDM sinkron. Untuk memahami alasannya, perhatikan contoh pada Gambar 11.12.

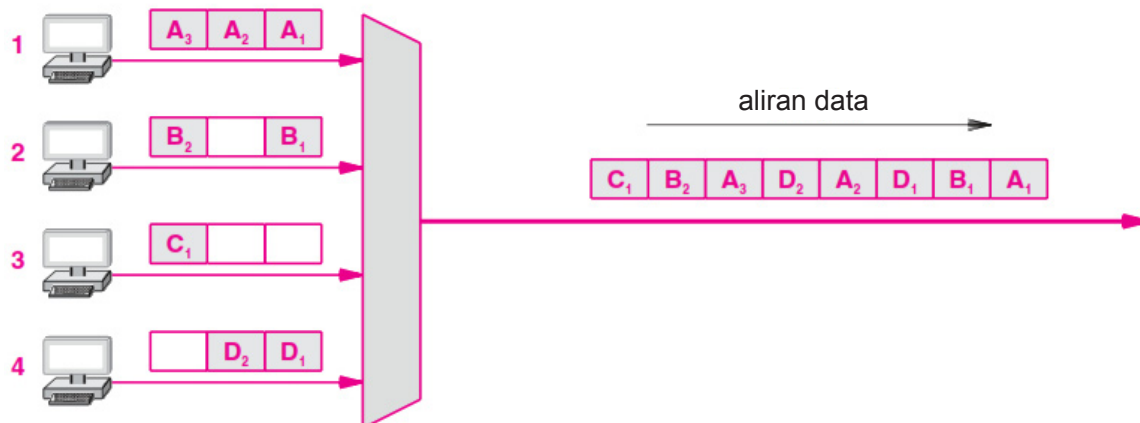
Pada gambar, sumber di sebelah kiri menghasilkan item data secara acak. Dengan demikian, multipleksor sinkron meninggalkan slot yang tidak terisi jika sumber yang sesuai belum menghasilkan item pada saat slot harus dikirim. Dalam praktiknya, tentu saja, sebuah slot tidak boleh kosong karena sistem yang mendasarinya harus terus mengirimkan data. Dengan demikian, slot diberi nilai (seperti nol), dan bit tambahan diatur untuk menunjukkan bahwa nilainya tidak valid.



Gambar 11.12 Ilustrasi sistem TDM sinkron yang membiarkan slot tidak terisi ketika sumber tidak memiliki item data yang siap pada waktunya.

## 11.12 TDM Statistik

Bagaimana sistem multiplexing dapat memanfaatkan media bersama dengan lebih baik? Salah satu teknik untuk meningkatkan kecepatan data secara keseluruhan dikenal sebagai pembagian waktu statistik multiplexing atau statistik multiplexing†. Terminologinya canggung, tetapi tekniknya lurus ke depan: pilih item untuk transmisi secara round-robin, tetapi alih-alih membiarkan slot tidak terisi, lewati sumber apa pun yang tidak memiliki data siap. Dengan menghilangkan slot yang tidak digunakan, TDM statistik membutuhkan lebih sedikit waktu untuk mengirim jumlah data yang sama. Sebagai contoh, Gambar 11.13 mengilustrasikan bagaimana sistem TDM statistik mengirimkan data dari Gambar 11.12 hanya dalam 8 slot, bukan 12.



Gambar 11.13 Ilustrasi yang menunjukkan bagaimana multiplexing statistik menghindari slot yang tidak terisi dan membutuhkan lebih sedikit waktu untuk mengirim data.

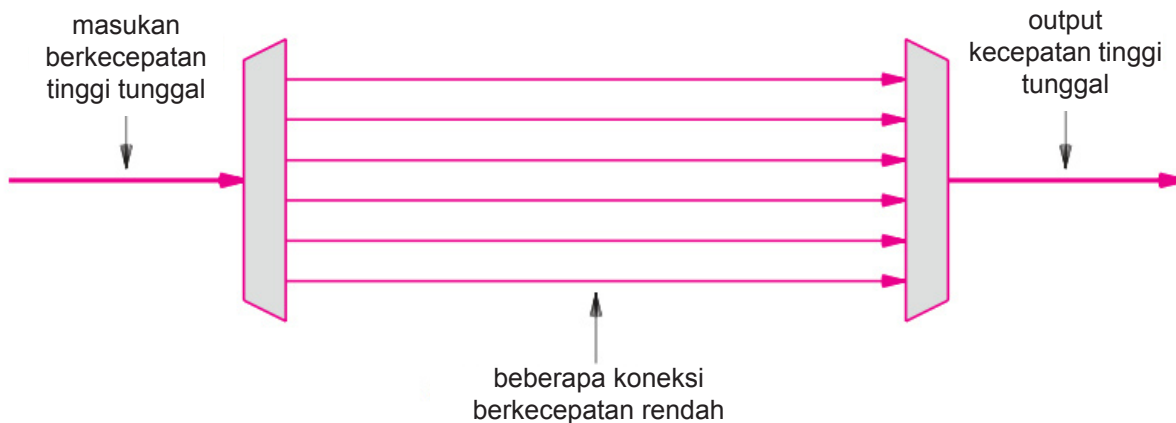
Meskipun menghindari slot yang tidak terisi, multiplexing statistik menimbulkan biaya tambahan. Untuk mengetahui alasannya, pertimbangkan untuk melakukan demultiplexing. Dalam sistem TDM sinkron, demultiplexor mengetahui bahwa setiap slot ke-N sesuai dengan penerima yang diberikan. Dalam sistem multiplexing statistik, data dalam slot yang diberikan dapat sesuai dengan penerima mana pun. Jadi, selain data, setiap slot harus berisi identifikasi penerima yang menjadi tujuan pengiriman data. Bab selanjutnya membahas mekanisme identifikasi yang digunakan dengan multiplexing statistik dalam jaringan packet switching dan Internet.

## 11.13 Multiplexing Terbalik

Sebuah twist yang menarik pada multiplexing muncul dalam kasus di mana satu-satunya koneksi antara dua titik terdiri dari beberapa media transmisi, tetapi tidak ada media tunggal yang memiliki bit rate yang cukup. Pada inti Internet, misalnya, penyedia layanan membutuhkan kecepatan bit yang lebih tinggi daripada yang tersedia. Untuk mengatasi masalah tersebut, multiplexing digunakan secara terbalik: menyebarkan input digital berkecepatan tinggi melalui beberapa sirkuit berkecepatan rendah untuk transmisi dan menggabungkan hasilnya di ujung penerima. Gambar 11.14 mengilustrasikan konsep tersebut.

Dalam praktiknya, multiplexor terbalik tidak dapat dibangun hanya dengan menghubungkan bagian-bagian dari multiplexor konvensional ke belakang. Sebagai gantinya, perangkat keras harus dirancang sedemikian rupa sehingga pengirim dan penerima setuju tentang bagaimana data yang datang dari input akan didistribusikan melalui koneksi berkecepatan lebih rendah. Lebih penting

lagi, untuk memastikan bahwa semua data dikirimkan dalam urutan yang sama saat tiba, sistem harus direkayasa untuk menangani kasus di mana satu atau lebih koneksi berkecepatan lebih rendah memiliki latensi lebih lama daripada yang lain. Terlepas dari kerumitannya, inverse multiplexing banyak digunakan di Internet.



Gambar 11.14 Ilustrasi multiplexing terbalik di mana satu input digital berkecepatan tinggi didistribusikan melalui koneksi berkecepatan rendah untuk transmisi dan kemudian digabungkan kembali untuk membentuk salinan input.

### 11.14 Multiplexing Divisi Kode

Bentuk akhir dari multiplexing yang digunakan di bagian sistem telepon seluler dan untuk beberapa komunikasi satelit dikenal sebagai Code Division Multiplexing (CDM). Versi khusus CDM yang digunakan di telepon seluler dikenal sebagai Code Division Multi-Access (CDMA).

Tidak seperti FDM dan TDM, CDM tidak bergantung pada sifat fisik, seperti frekuensi atau waktu. Sebaliknya, CDM mengandalkan ide matematika yang menarik: nilai-nilai dari ruang vektor ortogonal dapat digabungkan dan dipisahkan tanpa interferensi. Bentuk khusus yang digunakan dalam jaringan telepon paling mudah dipahami. Setiap pengirim diberi kode biner unik  $C_i$  yang dikenal sebagai urutan chip. Urutan chip dipilih menjadi vektor ortogonal (yaitu, produk titik dari dua urutan chip adalah nol). Setiap saat, setiap pengirim memiliki nilai untuk dikirim,  $V_i$ . Pengirim masing-masing mengalikan  $C_i \times V_i$ , dan mengirimkan hasilnya. Intinya, pengirim mengirimkan pada saat yang sama, dan nilai-nilai ditambahkan bersama-sama. Untuk mengekstrak nilai  $V_i$ , penerima mengalikan jumlah dengan  $C_i$ . Untuk memperjelas konsep, perhatikan sebuah contoh. Agar contoh mudah dipahami, kita akan menggunakan urutan chip yang panjangnya hanya dua bit dan nilai data yang panjangnya empat bit. Kami menganggap urutan chip sebagai vektor. Gambar 11.15 menampilkan daftar nilai.

Tabel 11.15 Contoh nilai untuk digunakan dengan code division multiplexing.

Pengirim	Urutan Chip	Nilai Data
A	1 0	1 0 1 0
B	1 1	0 1 1 0

Langkah pertama terdiri dari mengubah nilai biner menjadi vektor yang menggunakan -1 untuk mewakili 0:

$$C_1 = (1, -1) \quad V_1 = (1, -1, 1, -1) \quad C_2 = (1, 1) \quad V_2 = (-1, 1, 1, -1)$$

Mengalikan  $C_1 \times V_1$  dan  $C_2 \times V_2$  menghasilkan:

$$((1, -1), (-1, 1), (1, -1), (-1, 1)) \quad ((-1, -1), (1, 1), (1, 1), (-1, -1))$$

Jika kita menganggap nilai yang dihasilkan sebagai urutan kekuatan sinyal yang akan ditransmisikan pada saat yang sama, sinyal yang dihasilkan akan menjadi jumlah dari dua sinyal:

$$\begin{array}{rcccccccc}
 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\
 + & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\
 \hline
 & 0 & -2 & 0 & 2 & 2 & 0 & -2 & 0
 \end{array}$$

Penerima memperlakukan urutan sebagai vektor, menghitung produk dari vektor dan urutan chip, memperlakukan hasil sebagai urutan, dan mengubah hasilnya menjadi biner dengan menafsirkan nilai positif sebagai biner 1 dan nilai negatif sebagai biner 0. Dengan demikian, penerima nomor 1 menghitung:

$$(1, -1) \circ ((0, -2), (0, 2), (2, 0), (-2, 0))$$

mendapatkan:

$$((0 + 2), (0 - 2), (2 + 0), (-2 + 0))$$

Menafsirkan hasil sebagai urutan menghasilkan:

$$2 \ -2 \ 2 \ -2$$

yang menjadi nilai biner:

$$1 \ 0 \ 1 \ 0$$

Perhatikan bahwa 1010 adalah nilai  $V_1$  yang benar. Sementara itu, receiver 2 akan mengekstrak  $V_2$  dari transmisi yang sama. Tampaknya CDM menawarkan sedikit keuntungan nyata dibandingkan TDM. Faktanya, CDM agak tidak efisien karena diperlukan urutan chip yang besar, bahkan jika hanya beberapa pengirim yang mengirimkan selama interval tertentu. Jadi, jika pemanfaatannya rendah, TDM statistik bekerja lebih baik daripada CDM.

Keuntungan CDM muncul dari kemampuannya untuk skala dan karena menawarkan penundaan yang lebih rendah dalam jaringan yang sangat dimanfaatkan. Untuk melihat mengapa penundaan rendah itu penting, pertimbangkan sistem TDM statistik. Setelah pengirim mengirimkan, multiplexor TDM memungkinkan N-1 pengirim lain untuk mengirimkan sebelum memberikan pengirim pertama giliran lain. Jadi, jika semua pengirim aktif, potensi penundaan antara transmisi berturut-turut dari pengirim tertentu bisa tinggi. Dalam sistem CDM, bagaimanapun, pengirim dapat mengirimkan pada waktu yang sama dengan pengirim lain, yang berarti penundaan lebih rendah. CDM sangat menarik untuk layanan telepon karena penundaan yang rendah antara transmisi sangat penting untuk memberikan suara berkualitas tinggi.

## Poin Penting

---

*CDM menimbulkan penundaan yang lebih rendah daripada TDM statistik ketika jaringan sangat dimanfaatkan*

## 11.15 Ringkasan

Multiplexing adalah konsep dasar dalam komunikasi data. Mekanisme multiplexing memungkinkan pasangan pengirim dan penerima untuk berkomunikasi melalui media bersama. Multiplexor mengirimkan input dari banyak pengirim melalui media bersama, dan demultiplexor memisahkan dan mengirimkan item.

Ada empat pendekatan dasar untuk multiplexing: pembagian frekuensi, pembagian waktu, pembagian panjang gelombang, dan pembagian kode. Frequency Division Multiplexing (FDM) memungkinkan komunikasi simultan melalui beberapa saluran, yang masing-masing sesuai dengan frekuensi terpisah dari radiasi elektromagnetik. Wavelength Division Multiplexing (WDM) adalah bentuk multiplexing pembagian frekuensi yang mengirimkan frekuensi cahaya, yang disebut panjang gelombang, melalui serat optik.

Time Division Multiplexing (TDM) mengirim satu item pada satu waktu melalui media bersama. Sistem TDM sinkron mentransmisikan item tanpa waktu idle di antara mereka, biasanya menggunakan pemilihan round-robin. Sistem TDM statistik menghindari slot kosong dengan melewatkan pengirim mana pun yang tidak memiliki item yang siap dikirim selama gilirannya.

Code Division Multiplexing (CDM) menggunakan kombinasi matematis dari kode yang memungkinkan beberapa pengirim untuk mengirimkan pada waktu yang sama tanpa gangguan. Keuntungan utama CDM muncul dari kemampuan untuk menskalakan dengan penundaan yang rendah.

## Latihan

---

1. Berikan contoh multiplexing dalam sistem komunikasi non-elektronik.
2. Apa saja empat tipe dasar multiplexing?
3. Bagaimana FDM menggunakan radiasi elektromagnetik?
4. Apa itu Guard Band?
5. Sistem FDM dapat menetapkan setiap saluran rentang frekuensi. Menggunakan rentang sangat penting ketika jenis modulasi mana yang digunakan untuk setiap pembawa?
6. Jelaskan bagaimana rentang frekuensi dapat digunakan untuk meningkatkan kecepatan data.
7. Dalam sistem FDM hierarki, jelaskan bagaimana saluran berkapasitas tinggi dibagi menjadi beberapa sub-saluran.
8. Apa mekanisme kunci yang digunakan untuk menggabungkan atau memisahkan panjang gelombang cahaya dalam sistem WDM?
9. Apakah sistem TDM diperlukan untuk menggunakan layanan round-robin?
10. Jelaskan mengapa pembingkai dan sinkronisasi penting dalam sistem TDM.
11. Dalam sistem TDM hierarkis, pada kecepatan bit berapa output dari tingkat tertentu perlu beroperasi? (Ungkapkan jawabannya dalam hal jumlah dan bit rate input.)

12. Misalkan  $N$  pengguna bersaing menggunakan sistem TDM statistik, dan anggaplah transportasi fisik yang mendasarinya dapat mengirim  $K$  bit per detik. Berapa kecepatan data minimum dan maksimum yang dapat dialami pengguna individu?
13. Misalkan sirkuit OC-12 adalah dua puluh persen biaya sirkuit OC-48. Teknologi multiplexing apa yang dapat digunakan ISP untuk menurunkan biaya pengiriman data pada kecepatan OC-48. Menjelaskan.
14. Cari di Web untuk menemukan panjang rangkaian chip yang digunakan dalam sistem telepon CDMA.
15. Dari empat teknik dasar multiplexing, apakah CDM selalu yang terbaik? Menjelaskan



---

### Bab ini akan membahas tentang:

- fasilitas yang digunakan di Internet
- skema multiplexing pembagian waktu dan frekuensi yang digunakan perusahaan telepon untuk telepon digital.
- hierarki multiplexing sistem telepon, dan memberikan contoh sirkuit yang ditawarkan oleh operator umum untuk bisnis dan Penyedia Layanan Internet

### 12.1 Teknologi Akses Internet: Hulu Dan Hilir

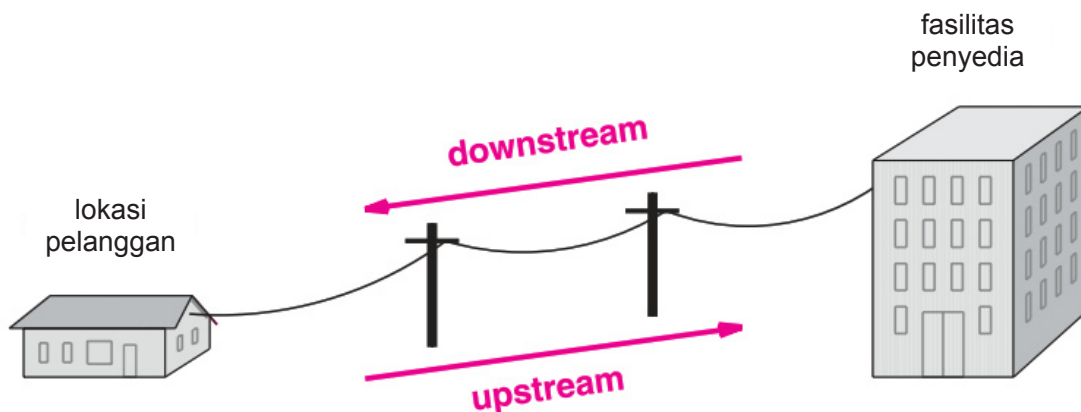
Teknologi akses internet mengacu pada sistem komunikasi data yang menghubungkan pelanggan Internet (biasanya tempat tinggal pribadi atau bisnis) ke Penyedia Layanan Internet (ISP), seperti perusahaan telepon atau perusahaan kabel. Untuk memahami bagaimana teknologi akses dirancang, kita harus tahu bahwa sebagian besar pengguna Internet mengikuti pola asimetris. Pelanggan perumahan biasa menerima lebih banyak data dari Internet daripada yang mereka kirim. Misalnya, untuk melihat halaman web, browser mengirimkan URL yang terdiri dari beberapa byte. Sebagai tanggapan, server web mengirimkan konten yang mungkin terdiri dari ribuan byte teks atau gambar yang dapat terdiri dari puluhan ribu byte. Bisnis yang menjalankan server web mungkin memiliki pola lalu lintas yang berlawanan — bisnis mengirim lebih banyak data daripada yang diterimanya.

#### Poin Penting

---

*Karena pelanggan perumahan biasa menerima lebih banyak informasi daripada yang dikirim pelanggan, teknologi akses Internet dirancang untuk mentransfer lebih banyak data ke satu arah daripada yang lain.*

Industri jaringan menggunakan istilah hilir untuk merujuk pada perjalanan data dari penyedia layanan di Internet ke pelanggan, dan hulu untuk merujuk pada perjalanan data dari pelanggan ke penyedia layanan. Gambar 12.1 mengilustrasikan definisi.



Gambar 12.1 Definisi arah hulu dan hilir seperti yang digunakan dalam teknologi akses.

## 12.2 Teknologi Narrowband dan Broadband

Berbagai teknologi digunakan untuk menyediakan akses Internet. Mereka dapat dibagi menjadi dua kategori besar berdasarkan kecepatan data yang mereka berikan:

- Narrowband
- Broadband

Meskipun Bab 6 menjelaskan perbedaan antara bandwidth media transmisi dan kecepatan data, terminologi yang digunakan untuk jaringan akses tidak memperhatikan perbedaannya. Sebaliknya, industri jaringan umumnya menggunakan istilah bandwidth jaringan untuk merujuk pada kecepatan data. Dengan demikian, istilah narrowband dan broadband mencerminkan praktik industri.

### 12.2.1 Teknologi Pita Sempit

Narrowband umumnya mengacu pada teknologi yang mengirimkan data hingga 128 Kbps. Misalnya, kecepatan data maksimum yang dapat dicapai melalui koneksi dialup dengan teknologi modem tercanggih dan saluran telepon yang paling tidak bising adalah 56 Kbps. Dengan demikian, dialup diklasifikasikan sebagai teknologi narrowband. Demikian pula, sirkuit analog yang menggunakan modem, sirkuit digital berkecepatan lebih lambat, dan beberapa layanan data yang ditawarkan oleh perusahaan telepon (misalnya, ISDN) adalah narrowband. Teknologi narrowband utama yang digunakan untuk akses Internet adalah sebagai berikut:

- Sambungan telepon dialup
- Sirkuit yang disewa menggunakan modem
- Sirkuit data pecahan T1
- ISDN dan layanan data telekomunikasi lainnya

## 12.2.2 Teknologi Broadband

Istilah broadband umumnya mengacu pada teknologi yang menawarkan kecepatan data tinggi, tetapi batas pasti antara broadband dan narrowband tidak jelas. Banyak profesional menyarankan bahwa teknologi broadband memberikan lebih dari 1 Mbps. Namun, penyedia seperti perusahaan telepon menggunakan istilah broadband ketika mereka mengiklankan layanan yang menawarkan tarif lebih tinggi daripada dialup. Jadi, perusahaan telepon terkadang mengklaim bahwa layanan ISDN, yang menyediakan 128 Kbps, adalah broadband. Teknologi akses Internet broadband utama.

- teknologi DSL
- Teknologi modem kabel
- Teknologi akses nirkabel
- Sirkuit data dengan kecepatan T1 atau lebih tinggi

## 12.3 Loop Lokal Dan ISDN

Istilah saluran pelanggan lokal atau loop lokal menggambarkan koneksi fisik antara Kantor Pusat (CO) perusahaan telepon dan lokasi pelanggan. Untuk memahami bagaimana loop lokal dapat digunakan, penting untuk memikirkan loop lokal sebagai independen dari sistem telepon lainnya. Meskipun sistem telepon secara keseluruhan dirancang untuk menyediakan setiap panggilan dialup dengan bandwidth 4 KHz, bagian loop lokal terdiri dari twisted pair dan sering kali memiliki bandwidth yang jauh lebih tinggi. Secara khusus, loop lokal untuk pelanggan yang dekat dengan CO mungkin dapat menangani frekuensi di atas 1 MHz.

Ketika jaringan data menjadi penting, perusahaan telepon mencari cara untuk menggunakan loop lokal untuk menyediakan komunikasi data berkecepatan lebih tinggi. Salah satu upaya perusahaan telepon pertama untuk menyediakan layanan digital skala besar kepada pelanggan ditawarkan dengan nama Integrated Services Digital Network (ISDN). Dari sudut pandang pelanggan, ISDN menawarkan tiga saluran digital terpisah, ditunjuk B, B, dan D (biasanya ditulis 2B + D). Dua saluran B, yang masing-masing beroperasi pada kecepatan 64 Kbps, dimaksudkan untuk membawa suara digital, data, atau video terkompresi; saluran D, yang beroperasi pada 16 Kbps, digunakan sebagai saluran kontrol. Secara umum, pelanggan menggunakan saluran D untuk meminta layanan yang kemudian dipasok melalui saluran B (misalnya, panggilan telepon yang menggunakan suara digital). Kedua saluran B dapat digabungkan atau digabungkan untuk menghasilkan satu saluran dengan kecepatan data efektif 128 Kbps. Ketika ISDN pertama kali diusulkan, 128 Kbps tampak jauh lebih cepat daripada modem dialup. Teknologi loop lokal yang lebih baru memberikan kecepatan data yang lebih tinggi dengan biaya lebih rendah, menurunkan ISDN ke beberapa kasus khusus.

## 12.4 Teknologi Digital Subscriber Line (DSL)

Digital Subscriber Line (DSL) adalah salah satu teknologi utama yang digunakan untuk menyediakan layanan komunikasi data berkecepatan tinggi melalui loop lokal. Tabel 12.1 daftar semut var DSL. Karena nama-nama tersebut hanya berbeda pada kata pertama, himpunan tersebut secara kolektif disebut dengan akronim xDSL.

Tabel 12.1 Varian utama DSL yang secara kolektif dikenal sebagai xDSL.

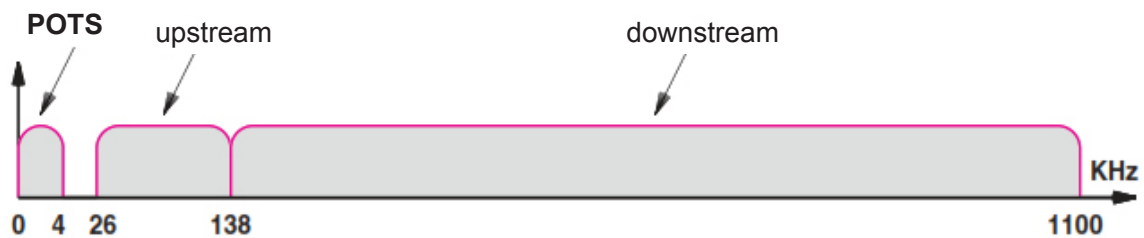
Nama	Ekspansi	Penggunaan
ADSL	Asymmetric DSL	Pelanggan perumahan
ADSL2	Asymmetric DSL version 2	Kira-kira tiga kali lebih cepat
SDSL	Symmetric DSL	Bisnis yang mengeksport data
HDSL	High bit rate DSL	Bisnis hingga 3 mil jauhnya
VDSL	Very-high bit rate DSL	Versi yang diusulkan untuk 52-Mbps

ADSL adalah varian yang paling banyak digunakan, dan yang paling banyak digunakan oleh pelanggan perumahan. ADSL menggunakan multiplexing pembagian frekuensi untuk membagi bandwidth loop lokal menjadi tiga wilayah. Salah satu wilayah sesuai dengan layanan telepon analog tradisional, yang dikenal di industri sebagai Layanan Telepon Lama Biasa (POTS), dan dua wilayah menyediakan komunikasi data.

### Poin Penting

*Karena menggunakan multiplexing pembagian frekuensi, ADSL dan layanan telepon analog tradisional (POTS) dapat menggunakan kabel yang sama secara bersamaan.*

Gambar 12.2 mengilustrasikan bagaimana ADSL membagi bandwidth.



Gambar 12.2 Sebuah ilustrasi tentang bagaimana ADSL membagi bandwidth yang tersedia dari loop lokal.

Pada gambar, sumbu x tidak linier. Jika ya, wilayah 4 KHz yang dicadangkan untuk POTS tidak akan terlihat, begitu pula pita pengaman 22 KHz antara POTS dan wilayah hulu.

## 12.5 Karakteristik dan Adaptasi Lokal Loop

Teknologi ADSL rumit karena tidak ada dua loop lokal yang memiliki karakteristik listrik yang identik. Sebaliknya, kemampuan untuk membawa sinyal tergantung pada jarak, diameter kabel yang digunakan, dan tingkat gangguan listrik. Misalnya, pertimbangkan dua pelanggan yang tinggal di bagian kota yang berbeda. Jika saluran telepon yang menuju ke pelanggan pertama lewat di dekat stasiun radio komersial, sinyal stasiun tersebut akan menyebabkan gangguan pada frekuensi yang digunakan stasiun tersebut. Jika pelanggan kedua tidak tinggal di dekat stasiun radio yang sama, frekuensi yang digunakan stasiun radio dapat bekerja dengan baik untuk data pada saluran pelanggan tersebut. Namun, pelanggan kedua dapat mengalami gangguan pada frekuensi lain. Dengan demikian, perancang ADSL tidak dapat memilih rangkaian frekuensi pembawa atau teknik modulasi tertentu yang akan bekerja dengan baik di semua loop lokal.

Untuk mengakomodasi perbedaan karakteristik loop lokal, ADSL bersifat adaptif. Artinya, ketika sepasang modem ADSL dihidupkan, mereka menyelidiki saluran di antara mereka untuk menemukan karakteristiknya, dan kemudian setuju untuk berkomunikasi menggunakan teknik yang optimal untuk saluran tersebut. Secara khusus, ADSL menggunakan skema yang dikenal sebagai Discrete Multi Tone modulation (DMT) yang menggabungkan teknik multiplexing divisi frekuensi dan multiplexing terbalik.

Multiplexing pembagian frekuensi di DMT diimplementasikan dengan membagi bandwidth menjadi 286 frekuensi terpisah yang disebut subchannel, dengan 255 subchannel dialokasikan untuk transmisi data downstream dan 31 dialokasikan untuk transmisi data upstream. Dua saluran hulu dicadangkan untuk informasi kontrol. Secara konseptual, ada "modem" terpisah yang berjalan di setiap subchannel, yang memiliki pembawa termodulasinya sendiri. Operator ditempatkan pada interval 4.1325 KHz untuk menjaga sinyal agar tidak mengganggu satu sama lain. Selanjutnya, untuk menjamin transmisinya tidak mengganggu sinyal telepon analog, ADSL menghindari penggunaan bandwidth di bawah 26 KHz. Ketika ADSL dimulai, kedua ujungnya memeriksa frekuensi yang tersedia untuk menentukan frekuensi mana yang bekerja dengan baik dan mana yang mengalami gangguan. Selain memilih frekuensi, kedua ujungnya menilai kualitas sinyal pada setiap frekuensi, dan menggunakan kualitas untuk memilih skema modulasi. Jika frekuensi tertentu memiliki rasio signal-to-noise yang tinggi, ADSL memilih skema modulasi yang mengkodekan banyak bit per baud; jika kualitas pada frekuensi tertentu rendah, ADSL memilih skema modulasi yang mengkodekan lebih sedikit bit per baud.

### **Poin Penting**

*Karena karakteristik listrik loop lokal bervariasi, ADSL menggunakan teknologi adaptif di mana sepasang modem menyelidiki banyak frekuensi pada saluran di antara mereka, dan memilih frekuensi dan teknik modulasi yang menghasilkan hasil optimal pada saluran tersebut.*

## **12.6 Kecepatan Data ADSL**

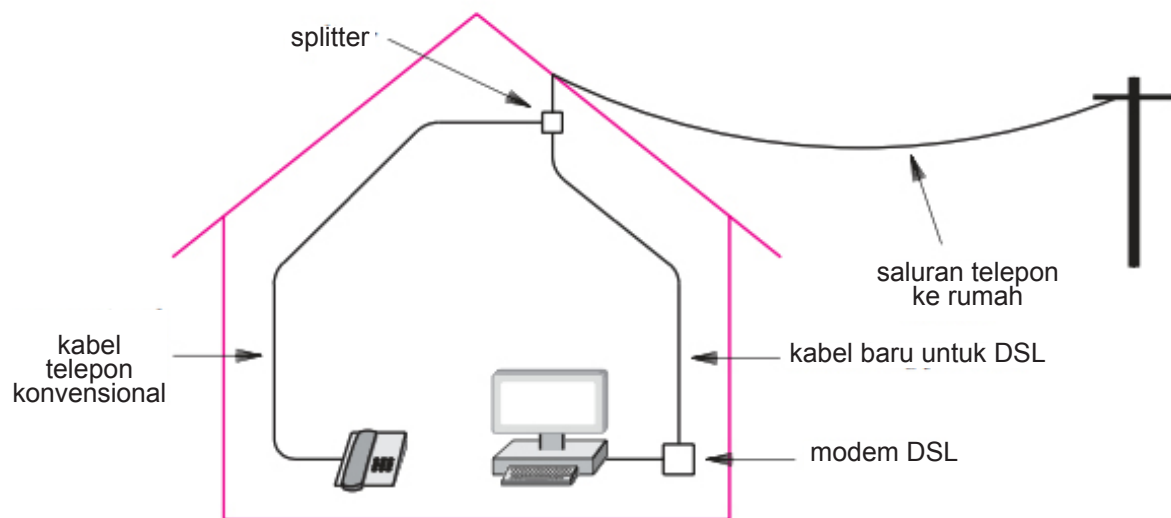
Seberapa cepat ADSL dapat beroperasi? ADSL dapat mencapai kecepatan downstream 8,448 Mbps pada loop lokal pendek, dan kecepatan upstream 640 Kbps. Karena saluran kontrol jaringan wajib membutuhkan 64 Kbps, kecepatan upstream efektif untuk data pengguna adalah 576 Kbps. Dalam kondisi terbaik, ADSL2 dapat mengunduh hampir 20 Mbps.

Dari sudut pandang pengguna, adaptasi memiliki properti yang menarik: ADSL tidak menjamin kecepatan data. Sebaliknya, ADSL hanya dapat menjamin untuk melakukan serta kondisi garis memungkinkan tekniknya untuk beroperasi. Pelanggan yang tinggal lebih jauh dari Kantor Pusat atau yang loop lokalnya lewat di dekat sumber gangguan mengalami kecepatan data yang lebih rendah daripada pelanggan yang tinggal di dekat Kantor Pusat dan yang loop lokalnya tidak lewat di dekat sumber gangguan. Dengan demikian, kecepatan downstream bervariasi dari 32 Kbps hingga 8,448 Mbps, dan kecepatan upstream bervariasi dari 32 hingga 640 Kbps.

Penting untuk dipahami bahwa kecepatan data ADSL hanya berlaku untuk koneksi loop lokal antara pelanggan dan Kantor Pusat telepon. Banyak faktor lain yang memengaruhi kecepatan data keseluruhan yang dialami pengguna. Misalnya, ketika pengguna menghubungi server web, kecepatan data efektif dapat dibatasi oleh: kecepatan atau beban saat ini di server, teknologi akses yang digunakan untuk menghubungkan situs server ke Internet, atau jaringan perantara antara jaringan pengguna. CO dan penyedia yang menangani server.

## 12.7 Instalasi dan Pemisah ADSL

Meskipun telepon analog tradisional beroperasi pada frekuensi di bawah 4 KHz, mengangkat penerima dapat menghasilkan kebisingan yang mengganggu sinyal DSL. Untuk menyediakan isolasi lengkap, ADSL menggunakan perangkat FDM yang dikenal sebagai splitter yang membagi bandwidth dengan melewatkan frekuensi rendah ke satu keluaran dan frekuensi tinggi ke keluaran lainnya. Menariknya, splitter bersifat pasif, yang berarti tidak memerlukan daya. Sebuah splitter biasanya dipasang di lokasi di mana loop lokal memasuki tempat tinggal atau bisnis. Satu sisi splitter terhubung ke kabel POTS dan sisi lain terhubung ke modem ADSL. Gambar 12.3 mengilustrasikan koneksi.



Gambar 12.3 Ilustrasi splitter dan kabel yang digunakan dengan ADSL.

Variasi menarik dari kabel ADSL telah menjadi populer. Kadang-kadang disebut DSL lite, pendekatan alternatif tidak memerlukan splitter untuk diinstal pada saluran telepon masuk. Sebagai gantinya, kabel rumah yang ada digunakan untuk DSL, dan pemisah harus dipasang di antara setiap telepon dan kabel rumah. Keuntungan dari pendekatan alternatif adalah bahwa pelanggan dapat menginstal DSL dengan mencolokkan splitter ke soket dinding dan mencolokkan telepon ke splitter.

## 12.8 Teknologi Modem Kabel

Meskipun teknologi seperti ADSL menyediakan kecepatan data yang jauh lebih tinggi dari yang diperkirakan semula, kabel loop lokal telepon memiliki keterbatasan yang melekat. Masalah utama terletak pada karakteristik listrik kabel twisted pair. Kurangnya pelindung membuat kabel rentan terhadap gangguan yang secara substansial menurunkan kinerja untuk beberapa pelanggan. Karena permintaan untuk kecepatan bit yang lebih tinggi meningkat, skema pengkabelan alternatif menjadi penting. Akibatnya, berbagai teknologi nirkabel dan kabel telah dikembangkan untuk digunakan dalam loop lokal.

Teknologi akses alternatif yang menonjol karena sangat menarik menggunakan kabel yang sudah ada untuk televisi kabel. Media yang digunakan dalam sistem kabel adalah kabel koaksial, yang memiliki bandwidth tinggi dan kurang rentan terhadap interferensi elektromagnetik dibandingkan twisted pair. Selanjutnya, sistem televisi kabel menggunakan multiplexing divisi frekuensi (FDM) untuk memberikan banyak saluran hiburan secara bersamaan.

Orang mungkin berasumsi bahwa dengan banyak saluran yang tersedia, penyedia kabel dapat menggunakan saluran terpisah untuk mengirimkan informasi digital ke setiap pelanggan. Yaitu, konfigurasi sepasang modem kabel, satu di pusat CATV dan yang lainnya di situs pelanggan, untuk menggunakan saluran tertentu (yaitu, frekuensi pembawa) untuk komunikasi, dan multiplex saluran ke kabel bersama dengan sinyal televisi.

Meskipun bandwidth besar tersedia dalam sistem CATV, bandwidth tidak cukup untuk menangani skema multiplexing pembagian frekuensi yang memperluas saluran ke setiap pengguna. Untuk memahami alasannya, amati bahwa di area metropolitan yang padat, satu pemasok kabel dapat memiliki jutaan pelanggan. Akibatnya, penggunaan saluran terpisah per pelanggan tidak dapat diskalakan.

Untuk memecahkan masalah, sistem kabel menggabungkan FDM dan multiplexing statistik dengan mengalokasikan saluran untuk komunikasi digital untuk satu set pelanggan (biasanya, setiap orang di lingkungan). Setiap pelanggan diberi alamat unik, dan setiap pesan yang dikirim melalui saluran berisi alamat tujuan pengirimannya. Modem pelanggan mendengarkan frekuensi yang ditetapkan, tetapi sebelum menerima pesan, modem memverifikasi bahwa alamat dalam pesan cocok dengan alamat yang ditetapkan untuk pelanggan.

## 12.9 Kecepatan Data Modem Kabel

Seberapa cepat modem kabel dapat beroperasi? Secara teori, sistem kabel dapat mendukung kecepatan data 52 Mbps downstream dan 512 Kbps upstream. Dalam praktiknya, tarifnya bisa jauh lebih sedikit. Pertama, kecepatan data modem kabel hanya berkaitan dengan komunikasi antara kantor kabel lokal dan situs pelanggan. Kedua, bandwidth dibagi di antara satu set pelanggan  $N$ , di mana ukuran set dikendalikan oleh penyedia kabel. Dari sudut pandang pelanggan, berbagi bandwidth dengan pelanggan lain dapat menjadi kerugian karena kecepatan data efektif yang tersedia untuk setiap pelanggan individu bervariasi dari waktu ke waktu. Dalam kasus terburuk, jika  $N$  pelanggan berbagi frekuensi tunggal, jumlah kapasitas yang tersedia untuk pelanggan individu akan menjadi  $1/N$ .

## 12.10 Instalasi Modem Kabel

Karena sistem kabel menggunakan FDM, pemasangan modem kabel sangat mudah. Tidak seperti teknologi xDSL yang memerlukan penggunaan splitter, modem kabel langsung dipasang ke kabel kabel. Perangkat keras FDM di kotak kabel yang ada dan di modem kabel menjamin bahwa saluran data dan hiburan tidak akan saling mengganggu.

### Poin Penting

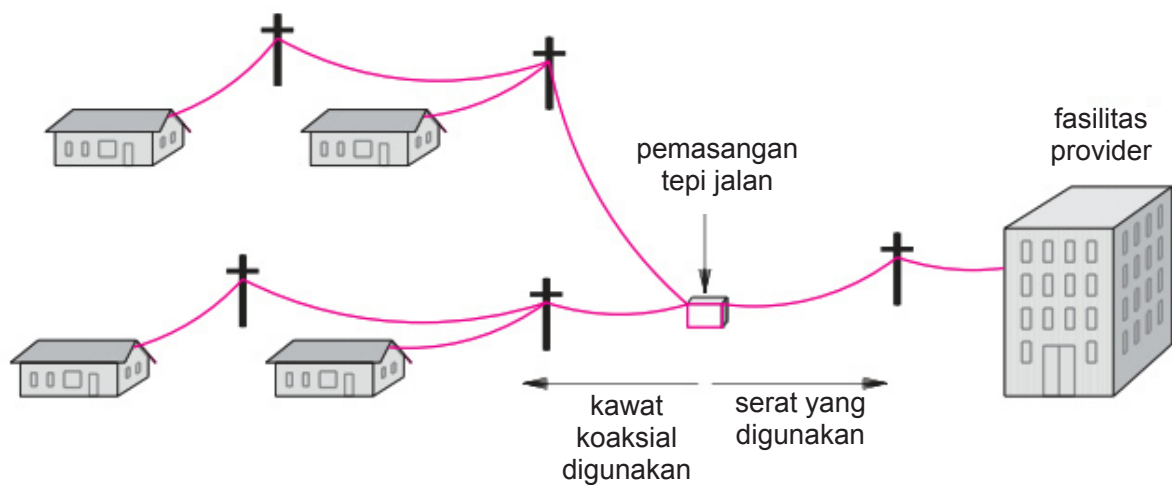
*Karena sistem kabel menggunakan multiplexing pembagian frekuensi, modem kabel dapat dipasang langsung ke kabel kabel yang ada tanpa memerlukan pembagi.*

## 12.11 Serat Hibrida Coax

Salah satu ide paling menjanjikan untuk teknologi yang menyediakan komunikasi data berkecepatan tinggi dikenal dengan nama umum Hybrid Fiber Coax (HFC). Sesuai dengan namanya, sistem Hybrid Fiber Coax menggunakan kombinasi serat optik dan kabel koaksial, dengan serat yang digunakan untuk fasilitas pusat dan coax digunakan untuk koneksi ke pelanggan individu. Intinya, sistem HFC bersifat hierarkis. Ini menggunakan serat optik untuk bagian jaringan yang membutuhkan bandwidth tertinggi, dan menggunakan coax untuk bagian yang dapat mentolerir kecepatan data



yang lebih rendah. Untuk menerapkan sistem seperti itu, penyedia menempatkan perangkat di setiap lingkungan yang dapat mengkonversi antara kabel optik dan koaksial. Setiap perangkat terhubung kembali ke penyedia melalui serat optik, dan terhubung ke rumah-rumah di lingkungan sekitar melalui kabel koaksial. Gambar 12.4 mengilustrasikan arsitekturnya.



Gambar 12.4 Ilustrasi sistem akses Hybrid Fiber Coax.

Industri kabel menggunakan istilah trunk untuk merujuk pada koneksi berkapasitas tinggi antara kantor kabel dan setiap area lingkungan, dan istilah sirkuit pengumpan untuk merujuk pada koneksi ke pelanggan individu. Sambungan bagasi dapat mencapai panjang 15 mil; sirkuit pengumpan biasanya kurang dari satu mil.

## 12.12 Teknologi Akses yang Menggunakan Serat Optik

Perusahaan kabel telah mengusulkan berbagai teknologi yang menggunakan serat optik dalam sistem hibrida atau menyebarkan serat optik ke setiap pelanggan. Tabel 12.2 merangkum nama-nama teknologi utama.

Tabel 12.2 Nama teknologi akses tambahan yang menggunakan serat optik.

Name	Expansion
FTTC	Fiber To The Curb
FTTB	Fiber To The Building
FTTH	Fiber To The Home
FTTP	Fiber To The Premises

**Fiber To The Curb (FTTC).** Sesuai dengan namanya, FTTC mirip dengan HFC karena menggunakan serat optik untuk trunk berkapasitas tinggi. Identy adalah untuk menjalankan serat optik dekat dengan pelanggan akhir, dan kemudian menggunakan tembaga untuk sirkuit pengumpan. FTTC berbeda dari HFC karena menggunakan dua media di setiap rangkaian pengumpan untuk memungkinkan sistem kabel menyediakan layanan tambahan, seperti suara. Teknologi ini sedang digunakan di beberapa daerah, terutama di AS dan Kanada.

**Fiber To The Building (FTTB).** Sebuah pertanyaan mendasar menyangkut bandwidth yang akan dibutuhkan oleh bisnis, dan apakah teknologi akses menggunakan tembaga (bahkan kabel koaksial) akan cukup. FTTB adalah teknologi yang akan menggunakan serat optik untuk memungkinkan kecepatan data hulu yang tinggi.

**Fiber To The Home (FTTH).** Rekanan dari FTTB, FTTH adalah teknologi akses yang menggunakan serat optik untuk memberikan kecepatan data hilir yang lebih tinggi ke pelanggan perumahan. Meskipun FTTH juga menyediakan kecepatan data upstream yang lebih tinggi, penekanannya adalah pada banyak saluran hiburan dan video.

**Fiber To The Premises (FTTP).** Istilah umum, FTTP, mencakup baik FTTB dan FTTH.

### 12.13 Terminologi Modem Head-End dan Tail-End

Sebuah teknologi akses memerlukan sepasang modem, dengan satu di situs pelanggan dan satu di situs penyedia. Industri menggunakan istilah head-end modem untuk merujuk pada modem yang digunakan di kantor pusat, dan istilah tail-end modem untuk merujuk pada modem yang digunakan di lokasi pelanggan.

Modem head-end bukan perangkat individual. Sebaliknya, satu set besar modem dibangun sebagai satu unit yang dapat dikonfigurasi, dipantau, dan dikendalikan bersama-sama. Satu set modem head-end yang digunakan oleh penyedia kabel dikenal sebagai Cable Modem Termination System (CMTS). Satu set standar industri yang dikenal sebagai Spesifikasi Antarmuka Sistem Kabel Data Over (DOCSIS) menentukan format data yang dapat dikirim serta pesan yang digunakan untuk meminta layanan (misalnya, film bayar per tayang).

### 12.14 Teknologi Akses Nirkabel

Meskipun teknologi seperti ADSL atau HFC dapat memberikan layanan digital ke sebagian besar pelanggan, mereka tidak menangani semua keadaan. Masalah utama muncul di daerah pedesaan. Misalnya, bayangkan sebuah peternakan atau desa terpencil bermil-mil dari kota terdekat. Kabel twisted pair yang digunakan untuk mengirimkan layanan telepon ke lokasi tersebut melebihi jarak maksimum untuk teknologi seperti ADSL. Selain itu, daerah pedesaan paling kecil kemungkinannya untuk memiliki layanan televisi kabel.

Bahkan di daerah pinggiran kota, teknologi seperti ADSL mungkin memiliki batasan teknis pada jenis jalur yang dapat mereka gunakan. Misalnya, mungkin tidak mungkin untuk menggunakan frekuensi tinggi pada saluran telepon yang mengandung kumparan pemuatan, keran jembatan, atau repeater. Jadi, bahkan di area di mana teknologi loop lokal berfungsi untuk sebagian besar pelanggan, mungkin tidak berfungsi di semua lini.

Untuk menangani kasus khusus, berbagai teknologi akses nirkabel telah dieksplorasi. Tabel 12.3 mencantumkan beberapa contoh.

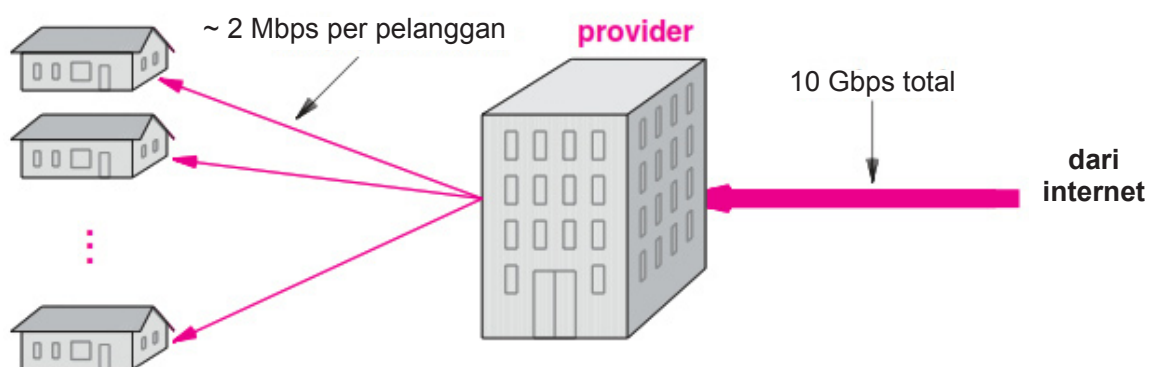
Tabel 12.3 Contoh teknologi akses nirkabel.

Teknologi	Keterangan
3G services	Layanan telepon seluler generasi ketiga untuk data (mis., EVDO)
WIMAX	Teknologi akses nirkabel hingga 155 Mbps menggunakan frekuensi radio
Satellite	Berbagai vendor komersial menawarkan layanan data melalui satelit

## 12.15 Koneksi Berkapasitas Tinggi di Inti Internet

Profesional jaringan mengatakan bahwa teknologi akses menangani masalah last mile, di mana last mile didefinisikan sebagai koneksi ke pelanggan perumahan biasa atau bisnis kecil. Teknologi akses menyediakan kapasitas yang cukup untuk pelanggan perumahan atau usaha kecil (industri menggunakan istilah Small Office Home Office atau SOHO). Koneksi ke bisnis besar atau koneksi antar penyedia membutuhkan bandwidth yang jauh lebih besar. Untuk membedakan koneksi tersebut dari yang ditemukan di tepi Internet, para profesional menggunakan istilah inti dan mengacu pada teknologi berkecepatan tinggi sebagai teknologi inti.

Untuk memahami kecepatan data yang diperlukan untuk inti, pertimbangkan penyedia yang memiliki 5.000 pelanggan. Asumsikan penyedia menggunakan teknologi akses yang dapat menyediakan hingga 2 Mbps per pelanggan. Pertimbangkan apa yang terjadi jika semua pelanggan mencoba mengunduh data secara bersamaan. Gambar 12.5 menunjukkan lalu lintas agregat dari Internet ke penyedia.



Gambar 12.5 Lalu lintas agregat dari Internet ke penyedia dengan asumsi penyedia memiliki 5.000 pelanggan yang masing-masing mengunduh 2 Mbps.

Timbul pertanyaan: teknologi apa yang bisa digunakan provider untuk memindahkan data jarak jauh dengan kecepatan 10 Gbps? Jawabannya terletak pada sirkuit digital point-to-point yang disewa dari perusahaan telepon. Meskipun awalnya dirancang untuk digunakan secara internal dalam sistem telepon, sirkuit digital berkapasitas tinggi tersedia dengan biaya bulanan, dan dapat digunakan untuk mentransfer data. Karena perusahaan telepon memiliki wewenang untuk memasang kabel yang melintasi jalan-jalan kota, sirkuit dapat memanjang di antara dua bangunan, melintasi kota, atau dari lokasi di satu kota ke lokasi di kota lain. Biaya yang dikenakan tergantung pada kecepatan data sirkuit dan jarak yang terbentang.

### Poin Penting

*Sirkuit digital yang disewa dari operator umum membentuk blok bangunan dasar untuk komunikasi data jarak jauh. Biaya tergantung pada kapasitas sirkuit dan jarak.*

## 12.16 Pemutusan Sirkuit, DSU / CSU, dan NIU

Untuk menggunakan sirkuit digital yang disewa, seseorang harus setuju untuk mengikuti aturan sistem telepon, termasuk mengikuti standar yang dirancang untuk mentransmisikan suara digital. Tampaknya standar berikut untuk informasi digital akan sepele karena komputer juga digital. Namun, karena industri komputer dan industri telepon berkembang secara independen, standar untuk sirkuit digital sistem telepon berbeda dari yang digunakan dalam industri komputer. Jadi, perangkat keras khusus diperlukan untuk menghubungkan komputer ke sirkuit digital yang disediakan oleh perusahaan telepon. Dikenal sebagai Unit Layanan Data / Unit Layanan Saluran (DSU/CSU), perangkat ini berisi dua bagian fungsional, biasanya digabungkan menjadi satu sasis. Bagian CSU dari perangkat DSU/CSU menangani pemutusan saluran dan diagnostik. Misalnya, CSU berisi sirkuit diagnostik yang dapat menguji apakah saluran telah terputus. Sebuah CSU juga berisi fasilitas pengujian loopback yang memungkinkan CSU untuk mengirimkan salinan semua data yang tiba di sirkuit kembali ke pengirim tanpa pemrosesan lebih lanjut.

CSU menyediakan layanan yang menurut para insinyur komputer mengejutkan — CSU melarang 1 bit berurutan yang berlebihan. Kebutuhan untuk mencegah 1 yang berlebihan muncul dari sinyal listrik yang digunakan. Secara khusus, karena perusahaan telepon awalnya merancang sirkuit digital mereka untuk bekerja melalui kabel tembaga, para insinyur khawatir bahwa memiliki terlalu banyak 1 bit yang berdekatan akan berarti arus berlebih pada kabel. Untuk mencegah masalah, CSU dapat menggunakan pengkodean yang menjamin keseimbangan (misalnya, pengkodean diferensial) atau teknik yang dikenal sebagai isian bit.

Bagian DSU dari DSU/CSU menangani data. Ini menerjemahkan data antara format digital yang digunakan pada sirkuit pembawa dan format digital yang dibutuhkan oleh peralatan komputer pelanggan. Standar antarmuka yang digunakan di sisi komputer tergantung pada kecepatan sirkuit beroperasi. Jika kecepatan data kurang dari 56 Kbps, komputer dapat menggunakan RS-232. Untuk kecepatan di atas 56 Kbps, komputer harus menggunakan perangkat keras antarmuka yang mendukung kecepatan lebih tinggi (misalnya, perangkat keras yang menggunakan standar RS-449 atau V.35).

Perusahaan telepon menyediakan satu peralatan tambahan, yang dikenal sebagai Network Interface Unit (NIU†), yang membentuk batas antara peralatan yang dimiliki oleh perusahaan telepon dan peralatan yang disediakan oleh pelanggan. Perusahaan telepon menyebut batas sebagai demarc. Sirkuit digital membutuhkan perangkat yang dikenal sebagai DSU/CSU di setiap ujungnya. DSU/CSU menerjemahkan antara representasi digital yang digunakan oleh perusahaan telepon dan representasi digital yang digunakan oleh industri komputer.

## 12.17 Standar Telepon untuk Sirkuit Digital

Sirkuit digital yang disewa dari perusahaan telepon mengikuti standar transmisi digital yang sama dengan yang digunakan perusahaan telepon untuk mengirimkan panggilan telepon digital. Di AS, standar untuk sirkuit telepon digital diberi nama yang terdiri dari huruf T diikuti dengan angka. Insinyur menyebutnya secara kolektif sebagai standar T-series. Salah satu yang paling populer dikenal sebagai T1; banyak usaha kecil menggunakan sirkuit T1 untuk membawa data.

Sayangnya, standar T tidak universal. Jepang mengadopsi versi modifikasi dari standar T-series, dan Eropa memilih skema yang sedikit berbeda. Standar Eropa dapat dibedakan karena menggunakan huruf E. Tabel 12.4 mencantumkan kecepatan data dari beberapa standar rangkaian digital.

Tabel 12.4 Contoh rangkaian digital dan kapasitasnya.

Nama	Kecepatan Bit	Voice Circuit	Tempat
tarif dasar	0.064 Mbps	1	
T1	1.544 Mbps	24	Amerika Utara
T2	6.312 Mbps	96	Amerika Utara
T3	44.736 Mbps	672	Amerika Utara
E1	2.048 Mbps	30	Eropa
E2	8.448 Mbps	120	Eropa
E3	34.368 Mbps	480	Eropa

## 12.18 Terminologi DS Dan Tarif Data

Ingat dari Bab 11 bahwa perusahaan telepon menggunakan hierarki multiplexing yang menggabungkan beberapa panggilan suara ke dalam satu sirkuit digital. Dengan demikian, kecepatan data standar T telah dipilih sehingga masing-masing dapat menangani beberapa panggilan suara. Hal penting yang perlu diperhatikan adalah bahwa kapasitas sirkuit tidak meningkat secara linier dengan jumlahnya. Misalnya, standar T3 mendefinisikan sirkuit dengan lebih dari tiga kali kapasitas T1. Akhirnya, perlu dicatat bahwa perusahaan telepon melakukan sewa sirkuit dengan kapasitas lebih rendah daripada yang tercantum dalam gambar; mereka dikenal sebagai sirkuit T1 fraksional.

Untuk lebih tepatnya secara teknis, seseorang harus membedakan antara standar-T, yang mendefinisikan sistem pembawa yang mendasarinya, dan standar yang menentukan bagaimana menggandakan beberapa panggilan telepon ke dalam satu koneksi. Yang terakhir ini dikenal sebagai standar Level Sinyal Digital atau standar DS. Nama-nama ditulis sebagai huruf DS diikuti dengan angka, analog dengan T-standar. Misalnya, DS1 menunjukkan layanan yang dapat menggandakan 24 panggilan telepon ke satu sirkuit, dan T1 menunjukkan standar spesifik yang melakukannya. Karena DS1 mendefinisikan kecepatan data efektif, secara teknis lebih akurat untuk mengatakan, "sirkuit yang berjalan pada kecepatan DS1" daripada merujuk pada "kecepatan T1." Dalam praktiknya, hanya sedikit insinyur yang repot-repot membedakan antara T1 dan DS1. Dengan demikian, seseorang kemungkinan akan mendengar seseorang merujuk pada "kecepatan T1".

## 12.19 Sirkuit Kapasitas Tertinggi (Standar STS)

Perusahaan telepon menggunakan istilah trunk untuk menunjukkan sirkuit berkapasitas tinggi, dan telah menciptakan serangkaian standar untuk sirkuit trunk digital. Dikenal sebagai standar Synchronous Transport Signal (STS), mereka menentukan detail koneksi berkecepatan tinggi. Tabel 12.5 merangkum kecepatan data yang terkait dengan berbagai standar STS. Semua kecepatan data dalam tabel diberikan dalam Mbps, sehingga mudah untuk dibandingkan. Perlu dicatat bahwa kecepatan data untuk STS-24 dan di atasnya lebih besar dari 1 Gbps

Tabel 12.5 Kecepatan data sirkuit digital menurut hierarki standar STS.

Tembaga	Optik	Kecepatan Bit	Voice Circuit
STS-1	OC-1	51.840 Mbps	810
STS-3	OC-3	155.520 Mbps	2430
STS-12	OC-12	622.080 Mbps	9720
STS-24	OC-24	1,244.160 Mbps	19440
STS-48	OC-48	2,488.320 Mbps	38880
STS-192	OC-192	9,953.280 Mbps	155520

## 12.20 Standar Pembawa Optik

Selain standar STS, perusahaan telepon mendefinisikan seperangkat standar Optical Carrier (OC) yang setara. Gambar 12.12 memberikan nama untuk standar optik dan juga untuk standar tembaga. Tepatnya, kita harus mengamati perbedaan antara terminologi STS dan OC: standar STS mengacu pada sinyal listrik yang digunakan dalam antarmuka sirkuit digital (yaitu, lebih dari tembaga), sedangkan standar OC mengacu pada sinyal optik yang merambat melintasi serat. Seperti terminologi jaringan lainnya, beberapa profesional membuat perbedaan. Jadi, orang sering mendengar profesional jaringan menggunakan istilah OC-3 untuk merujuk ke sirkuit digital yang beroperasi pada 155 Mbps, terlepas dari apakah sirkuit tersebut menggunakan tembaga atau serat optik.

## 12.21 Akhiran C

Terminologi Synchronous Transport Signal dan Optical Carrier yang dijelaskan di atas memiliki satu fitur tambahan yang tidak ditunjukkan pada Gambar 12.12: sufiks opsional dari huruf C, yang merupakan singkatan dari concatenated. Kehadiran sufiks menunjukkan sirkuit tanpa multiplexing terbalik. Artinya, sirkuit OC-3 dapat terdiri dari tiga sirkuit OC-1 yang beroperasi pada masing-masing 51,840 Mbps, atau dapat terdiri dari satu sirkuit OC-3C (STS-3C) yang beroperasi pada 155,520 Mbps.

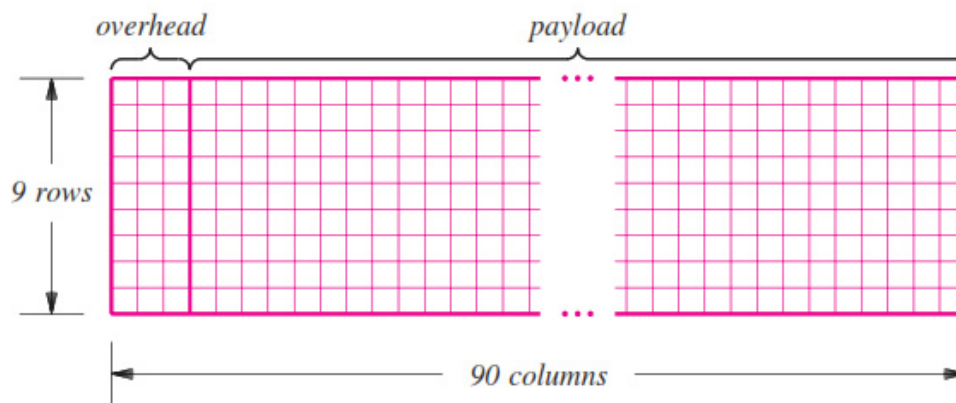
Apakah sirkuit tunggal yang beroperasi pada kecepatan penuh lebih baik daripada beberapa sirkuit yang beroperasi pada kecepatan yang lebih rendah? Jawabannya tergantung pada bagaimana rangkaian digunakan. Secara umum, memiliki sirkuit tunggal yang beroperasi pada kapasitas penuh memberikan lebih banyak fleksibilitas dan menghilangkan kebutuhan akan peralatan multiplexing terbalik. Lebih penting lagi, jaringan data tidak seperti jaringan suara. Dalam sistem suara, sirkuit berkapasitas tinggi digunakan sebagai cara untuk menggabungkan aliran suara yang lebih kecil. Dalam jaringan data, bagaimanapun, ada satu aliran lalu lintas data. Jadi, jika diberi pilihan, sebagian besar perancang jaringan lebih memilih sirkuit OC-3C daripada sirkuit OC-3.

## 12.22 Jaringan Optik Sinkron (SONET)

Selain standar STS dan OC yang dijelaskan di atas, perusahaan telepon menetapkan serangkaian standar yang luas untuk transmisi digital. Di Amerika Utara standar tersebut dikenal dengan istilah Synchronous Optical Network (SONET), sedangkan di Eropa dikenal dengan Synchronous Digital Hierarchy (SDH). SONET menentukan detail seperti bagaimana data dibingkai, bagaimana sirkuit berkapasitas rendah dimultipleks menjadi sirkuit berkapasitas tinggi, dan bagaimana informasi jam sinkron dikirim bersama dengan data. Karena operator menggunakan SONET secara ekstensif, ketika seseorang menyewa sirkuit STS-1, operator kemungkinan akan meminta mereka untuk menggunakan



pengkodean SONET di sirkuit. Sebagai contoh, Gambar 12.6 menunjukkan format bingkai SONET yang digunakan pada sirkuit STS-1.



Gambar 12.6 Ilustrasi bingkai SONET saat digunakan melalui sirkuit STS-1.

Setiap frame memiliki panjang 810 oktet. Menurut terminologi SONET, oktet dalam bingkai dibagi menjadi 9 "baris", dengan 90 "kolom" di setiap baris. Menariknya, ukuran bingkai SONET tergantung pada bit rate dari rangkaian yang mendasarinya. Namun, ketika digunakan pada sirkuit STS-3, setiap bingkai SONET menampung 2430 oktet. Bagaimana angkaSec. 12.23 Jaringan Optik Sinkron (SONET) muncul? Untuk memahami perbedaannya, ingatlah bahwa telepon digital membutuhkan 8.000 sampel PCM per detik, yang berarti bahwa sampel diambil setiap 125 detik. SONET menggunakan waktu untuk menentukan ukuran bingkai. Pada kecepatan transmisi STS-1 51,840 Mbps, tepatnya

6480 bit ditransfer dalam 125 detik, yang berarti bahwa sebuah frame terdiri dari 810 oktet 8-bit. Demikian pula, pada tingkat STS-3, 2430 oktet dapat ditransmisikan dalam 125 detik. Keuntungan utama dari membuat ukuran bingkai bergantung pada kecepatan bit sirkuit adalah bahwa hal itu membuat multiplexing sinkron menjadi sepele — mempertahankan sinkronisasi sambil menggabungkan tiga aliran STS-1 SONET menjadi satu aliran STS-3 SONET sangatlah mudah.

Meskipun sebagian besar jaringan data menggunakan SONET sebagai skema pengkodean pada sirkuit point-to-point tunggal, standar memberikan lebih banyak kemungkinan. Secara khusus, dimungkinkan untuk membangun jaringan cincin berputar penghitung berkapasitas tinggi menggunakan teknologi SONET yang menangani kegagalan titik tunggal. Setiap stasiun di ring menggunakan perangkat yang dikenal sebagai add / drop mux. Selain meneruskan data yang diterima di sekitar ring, add / drop mux dapat dikonfigurasi untuk menerima data tambahan dari sirkuit lokal dan menambahkannya ke frame yang melewati ring atau untuk mengekstrak data dan mengirimkannya ke komputer lokal. Jika cincin rusak, perangkat keras mendeteksi hilangnya informasi pembingkai dan menggunakan cincin putar penghitung untuk menyambung kembali.

### **Poin Penting**

*Meskipun standar SONET mendefinisikan teknologi yang dapat digunakan untuk membangun jaringan cincin berkapasitas tinggi dengan beberapa sirkuit data yang dimultipleks melintasi serat yang membentuk cincin, sebagian besar jaringan data hanya menggunakan SONET untuk mendefinisikan pembingkai dan penyandian pada sirkuit yang disewa.*



## 12.23 Ringkasan

Teknologi akses menyediakan koneksi Internet ke tempat tinggal individu atau usaha kecil. Berbagai teknologi akses ada, termasuk koneksi telepon dialup, nirkabel (menggunakan frekuensi radio atau satelit), dan kabel. Dua teknologi akses saat ini adalah Digital Subscriber Line (DSL) dan modem kabel. DSL menggunakan teknik FDM untuk memungkinkan komunikasi digital dan panggilan suara analog tradisional untuk melanjutkan secara bersamaan pada loop lokal antara kantor pusat perusahaan telepon dan pelanggan. Layanan modem kabel menggunakan FDM untuk komunikasi digital multipleks melalui sistem kabel koaksial yang sama yang digunakan untuk membawa saluran hiburan. Saat menggunakan teknologi modem kabel, modem kabel di setiap lingkungan menggunakan multiplexing statistik untuk berbagi saluran komunikasi data tunggal.

Teknologi seperti Hybrid Fiber Coax (HFC) dan Fiber To The Curb (FTTC) menggunakan serat optik untuk mendistribusikan data ke setiap lingkungan dan menggunakan kabel koaksial untuk menjangkau pelanggan individu. Teknologi masa depan telah diusulkan yang akan menggunakan serat optik untuk memberikan kecepatan data yang lebih tinggi ke setiap tempat tinggal individu. Meskipun cukup untuk tempat tinggal individu dan usaha kecil, teknologi akses tidak menyediakan kapasitas yang cukup untuk digunakan di inti Internet. Untuk mencapai kecepatan data tertinggi jarak jauh, penyedia layanan dan bisnis besar menyewa sirkuit point-to-point dari operator umum. Sirkuit digital menggunakan standar multiplexing pembagian waktu (standar T di Amerika Utara atau standar E di Eropa). Sirkuit berkecepatan tinggi ditentukan menggunakan Sinyal Transportasi Sinkron (Amerika Utara) atau Hirarki Digital Sinkron (Eropa). Satu set paralel standar Pembawa Optik ada untuk digunakan dengan serat optik; banyak profesional menggunakan nama standar OC, terlepas dari apakah sirkuit menggunakan serat atau tembaga.

Standar perusahaan telepon yang dikenal sebagai SONET mendefinisikan framing untuk digunakan pada sirkuit digital. Ukuran bingkai SONET tergantung pada laju bit sirkuit; satu frame selalu membutuhkan waktu 125 detik untuk dikirim. Selain penggunaannya pada sirkuit point-to-point, SONET dapat dikonfigurasi ke dalam sebuah cincin, yang memungkinkan perangkat keras untuk menentukan apakah cincin itu rusak dan secara otomatis mengkonfigurasi ulang di sekitar malfungsi.

## Latihan

---

1. Apa yang dimaksud dengan teknologi akses?
2. Mengapa penyedia layanan membedakan antara komunikasi hulu dan hilir?
3. Berikan contoh teknologi akses pita sempit dan pita lebar.
4. Perusahaan telepon pernah mempromosikan ISDN sebagai teknologi akses berkecepatan tinggi. Mengapa penggunaan ISDN menurun?
5. Jika pelanggan bermaksud mengirimkan lebih banyak data daripada yang mereka kirim, bentuk DSL mana yang sesuai?
6. Jenis multiplexing apa yang digunakan ADSL?
7. Dua tetangga, yang tinggal di jalan yang sama, sama-sama menggunakan layanan ADSL, tetapi pengukuran menunjukkan bahwa satu pelanggan dapat mengunduh sekitar 1,5 Mbps dan yang lain dapat mengunduh dengan kecepatan 2,0 Mbps. Menjelaskan.
8. Mengapa splitter digunakan dengan DSL?

9. Jika Anda memiliki pilihan antara DSL dan modem kabel, manakah yang akan memberikan potensi kecepatan data tertinggi?
10. Mengapa penyedia layanan memilih Hybrid Fiber Coax daripada Fiber To The Premises?
11. Di manakah lokasi modem head-end? Modem ujung ekor?
12. Apa keunggulan teknologi akses WiMAX dibandingkan satelit? Apa keuntungan dari satelit?
13. Jika Anda menyewa sirkuit T1, peralatan apa yang akan dipasang antara sirkuit dan komputer di lokasi Anda?
14. Gunakan Web untuk menemukan perkiraan ukuran film pada DVD. Berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengunduh film melalui saluran T1? Melalui jalur T3? (Abaikan overhead.)
15. Jika seseorang menunjukkan kabel tembaga dan mengklaim bahwa itu adalah "sirkuit OC-12", kesalahan apa yang mereka buat? Apa nama yang benar yang seharusnya mereka gunakan?
16. Mengapa perancang Synchronous Digital Hierarchy memilih nilai yang tidak biasa untuk kecepatan data daripada pangkat sepuluh yang tepat?
17. Jelaskan bagaimana ukuran bingkai SONET dihitung

# **BAGIAN III**

## **Paket Switching dan Teknologi Jaringan**

# Bab 13

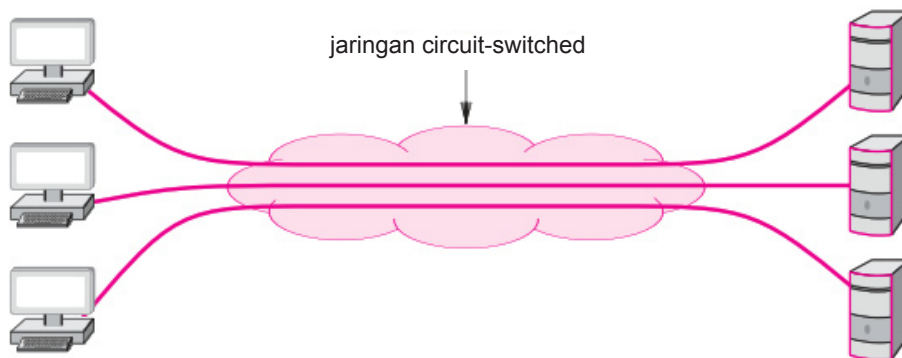
## Jaringan Area Lokal: Paket, Frame, dan Topologi

### Bab ini akan membahas tentang:

- packet switching dan teknologi jaringan komputer
- model standar IEEE, dan berkonsentrasi pada konsep pengalaman perangkat keras dan identifikasi bingkai
- penggunaan paket di Jaringan Area Luas.

### 13.1 Pengalihan Sirkuit

Istilah circuit switching mengacu pada mekanisme komunikasi yang menetapkan jalur antara pengirim dan penerima dengan jaminan isolasi dari jalur yang digunakan oleh pasangan pengirim dan penerima lainnya. Circuit switching biasanya diasosiasikan dengan teknologi telepon karena sistem telepon menyediakan koneksi khusus antara dua telepon. Sebenarnya, istilah ini berasal dari jaringan telepon dialup awal yang menggunakan perangkat switching elektromekanis untuk membentuk sirkuit fisik. Gambar 13.1 mengilustrasikan bagaimana komunikasi berlangsung melalui jaringan circuit-switched.



Gambar 13.1 Jaringan circuit-switched yang menyediakan koneksi langsung antara setiap pasangan entitas yang berkomunikasi.

Saat ini, jaringan switching sirkuit menggunakan perangkat elektronik untuk membuat sirkuit. Selain itu, alih-alih memiliki setiap sirkuit sesuai dengan jalur fisik, beberapa sirkuit dimultipleks melalui media bersama, dan hasilnya dikenal sebagai sirkuit virtual. Dengan demikian, perbedaan antara circuit switching dan bentuk jaringan lainnya tidak muncul dari keberadaan jalur fisik yang terpisah. Sebagai gantinya, tiga sifat umum mendefinisikan paradigma circuit-switched:

- Komunikasi point-to-point
- Langkah-langkah terpisah untuk pembuatan, penggunaan, dan penghentian sirkuit
- Performa setara dengan jalur fisik yang terisolasi

Sifat pertama berarti bahwa sirkuit terbentuk antara tepat dua titik akhir, dan sifat kedua membedakan sirkuit yang diaktifkan (yaitu, didirikan saat dibutuhkan) dari sirkuit yang permanen (yaitu, selalu tetap di tempat siap untuk digunakan). Sirkuit yang diaktifkan menggunakan proses tiga langkah yang analog dengan melakukan panggilan telepon. Pada langkah pertama, sirkuit dibuat. Yang kedua, kedua pihak menggunakan sirkuit untuk berkomunikasi, dan yang ketiga, kedua pihak menghentikan penggunaan.

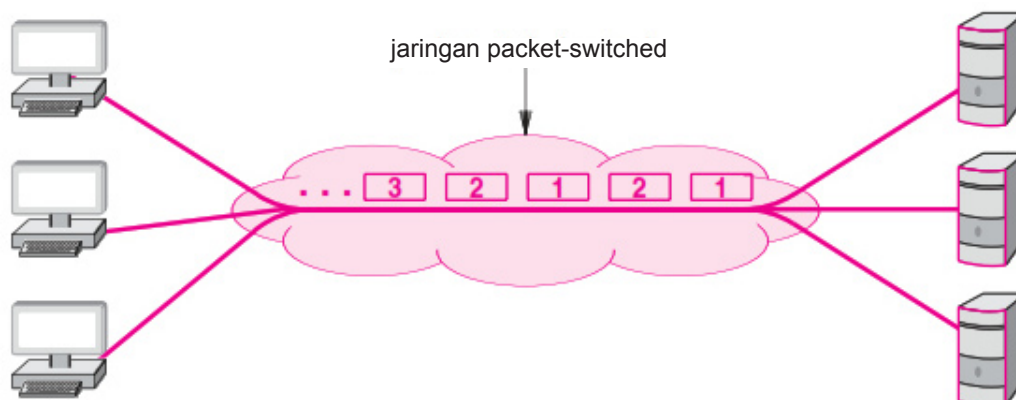
Properti ketiga memberikan perbedaan penting antara jaringan circuit-switched dan jenis lainnya. Circuit switching berarti bahwa komunikasi antara dua pihak tidak terpengaruh dengan cara apapun oleh komunikasi antara pihak lain, bahkan jika semua komunikasi multiplexing melalui media yang sama. Secara khusus, circuit switching harus memberikan ilusi jalur yang terisolasi untuk setiap pasangan entitas yang berkomunikasi. Dengan demikian, teknik seperti multiplexing pembagian frekuensi atau multiplexing pembagian waktu sinkron harus digunakan untuk sirkuit multipleks melalui media bersama.

### Poin Penting

*Circuit switching memberikan ilusi jalur fisik yang terisolasi antara sepasang entitas yang berkomunikasi; jalur dibuat saat dibutuhkan, dan dihentikan setelah digunakan.*

## 13.2 Pergantian Paket

Alternatif utama untuk circuit switching, packet switching, membentuk dasar untuk Internet. Sebuah sistem packet switching menggunakan multiplexing statistik di mana komunikasi dari berbagai sumber bersaing untuk penggunaan media bersama. Gambar 13.2 mengilustrasikan konsep tersebut.



Gambar 13.2 Jaringan packet-switched mengirimkan satu paket pada satu waktu melalui media bersama.

Perbedaan utama antara packet switching dan bentuk lain dari multiplexing statistik muncul karena sistem packet switching membutuhkan pengirim untuk membagi setiap pesan menjadi blok data yang dikenal sebagai paket. Ukuran paket bervariasi; setiap teknologi packet switching menentukan ukuran paket maksimum†.

Tiga properti umum mendefinisikan paradigma packet-switched:

- Komunikasi yang sewenang-wenang dan tidak sinkron
- Tidak diperlukan pengaturan sebelum komunikasi dimulai
- Performa bervariasi karena multiplexing statistik antar paket

Properti pertama berarti bahwa packet switching dapat memungkinkan pengirim untuk berkomunikasi dengan satu penerima atau beberapa penerima, dan penerima tertentu dapat menerima pesan dari satu pengirim atau beberapa pengirim. Selanjutnya, komunikasi dapat terjadi kapan saja, dan pengirim dapat menunda secara sewenang-wenang lama antara komunikasi yang berurutan. Properti kedua berarti bahwa, tidak seperti sistem circuit-switched, sistem packet-switched tetap siap untuk mengirimkan paket ke tujuan mana pun kapan saja. Dengan demikian, pengirim tidak perlu melakukan inisialisasi sebelum berkomunikasi, dan tidak perlu memberi tahu sistem yang mendasarinya saat komunikasi berakhir.

Properti ketiga berarti bahwa multiplexing terjadi di antara paket-paket daripada di antara bit atau byte. Artinya, setelah pengirim memperoleh akses ke saluran yang mendasarinya, pengirim mentransmisikan seluruh paket, dan kemudian mengizinkan pengirim lain untuk mengirimkan paket. Ketika tidak ada pengirim lain yang siap mengirimkan paket, satu pengirim dapat mengirimkan berulang kali. Namun, jika  $N$  pengirim masing-masing memiliki paket untuk dikirim, pengirim tertentu akan mengirimkan kira-kira  $1/N$  dari semua paket.

### **Poin Penting**

*Packet switching, yang menjadi dasar dari Internet, adalah bentuk multiplexing statistik yang memungkinkan komunikasi banyak-ke-banyak. Pengirim harus membagi pesan menjadi satu set paket; setelah mentransmisikan sebuah paket, pengirim mengizinkan pengirim lain untuk mengirimkan sebelum mentransmisikan paket yang berurutan.*

Salah satu keuntungan utama dari packet switching adalah biaya yang lebih rendah yang timbul dari berbagi. Untuk menyediakan komunikasi antara  $N$  komputer, jaringan circuit-switched harus memiliki koneksi untuk setiap komputer ditambah setidaknya  $N/2$  jalur independen. Dengan packet switching, sebuah jaringan harus memiliki koneksi untuk setiap komputer, tetapi hanya membutuhkan satu jalur yang digunakan bersama.

## **13.3 Jaringan Paket Lokal dan Area Luas**

Teknologi packet switching biasanya diklasifikasikan menurut jarak jangkauannya. Jaringan yang paling murah menggunakan teknologi yang menjangkau jarak pendek (misalnya, di dalam satu gedung), dan yang paling mahal menjangkau jarak jauh (misalnya, di beberapa kota). Tabel 13.1 merangkum terminologi yang digunakan.

Tabel 13.1 Tiga kategori jaringan packet-switched.

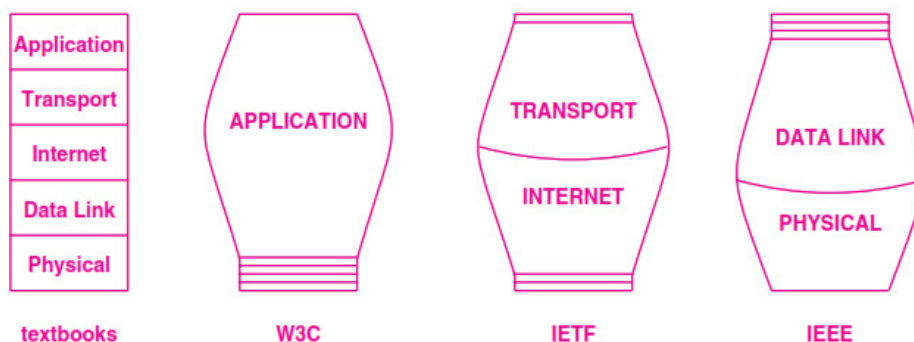
Nama	Kepanjangan	Keterangan
LAN	Local Area Network	Paling murah; mencakup satu kamar atau satu bangunan
MAN	Metropolitan Area Network	Biaya sedang; menjangkau kota besar atau metropleks
WAN	Wide Area Network	Paling mahal; mencakup situs di beberapa kota

Dalam prakteknya, beberapa teknologi MAN telah dibuat, dan jaringan MAN belum berhasil secara komersial. Akibatnya, profesional jaringan cenderung mengelompokkan teknologi MAN ke dalam kategori WAN, dan hanya menggunakan istilah LAN dan WAN.

### 13.4 Standar Untuk Format dan Identifikasi Paket

Karena sistem packet switching bergantung pada berbagi, setiap paket yang dikirim melalui jaringan tersebut harus berisi identifikasi penerima yang dituju. Selanjutnya, untuk memastikan bahwa tidak ada ambiguitas yang muncul, semua pengirim harus menyetujui rincian yang tepat tentang bagaimana mengidentifikasi penerima dan di mana menempatkan identifikasi dalam sebuah paket. Organisasi standar membuat dokumen protokol yang menentukan semua detail. Kumpulan standar yang paling banyak digunakan untuk LAN telah dibuat oleh Institute for Electrical and Electronic Engineers (IEEE).

Pada tahun 1980, IEEE mengorganisir Project 802 LAN/MAN Standards Committee untuk menghasilkan standar untuk jaringan. Untuk memahami standar IEEE, penting untuk diketahui bahwa organisasi terdiri dari insinyur yang fokus pada dua lapisan bawah tumpukan protokol. Faktanya, jika seseorang membaca dokumen IEEE, mungkin tampak bahwa semua aspek lain dari jaringan tidak penting. Namun, organisasi standar lain ada, dan masing-masing menekankan lapisan tertentu dari tumpukan. Gambar 13.3 memberikan ilustrasi lucu tentang protokol seperti yang dilihat oleh berbagai organisasi standar.



Gambar 13.3 Sebuah ilustrasi lucu dari tumpukan protokol seperti yang digambarkan oleh berbagai organisasi standar.

Jadi, orang tidak boleh menyimpulkan bahwa standar dari organisasi tertentu bersifat komprehensif atau bahwa jumlah publikasi standar sebanding dengan pentingnya lapisan tertentu.

#### Poin Penting

Setiap organisasi standar berfokus pada lapisan tertentu dari tumpukan protokol. Standar IEEE fokus pada spesifikasi untuk dua lapisan terendah dari stack dan teknologi LAN.



## 13.5 Model Dan Standar IEEE 802

Untuk membantu mengkarakterisasi standar, IEEE membagi Layer 2 dari tumpukan protokol menjadi dua sublayer konseptual, seperti yang diilustrasikan pada Tabel 13.2.

Tabel 13.2 Pembagian konseptual Layer 2 menjadi sublayer menurut model IEEE.

Nama	Keanjangan	Keterangan
LLC	Logical Link Control	Pengalamatan dan demultiplexing
MAC	Media Access Contro	Kontrol Akses Media MAC Akses ke media bersama

Sublapisan Logical Link Control (LLC) menentukan pengalamatan dan penggunaan alamat untuk demultiplexing seperti yang dijelaskan nanti dalam bab ini. Sublapisan Kontrol Akses Media (MAC) menentukan bagaimana beberapa komputer berbagi media yang mendasarinya.

Daripada menggunakan nama tekstual untuk mengidentifikasi kelompok orang yang bekerja pada standar atau dokumen standar akhir, IEEE memberikan pengenalan multi-bagian dari formulir XXX.YYY.ZZZ. Nilai numerik XXX menunjukkan kategori standar, dan akhiran YYY menunjukkan subkategori. Jika subkategori cukup besar, tingkat ketiga dapat ditambahkan untuk membedakan standar tertentu. Misalnya, spesifikasi LAN telah ditetapkan dalam kategori 802. Jadi, setiap kelompok kerja yang merancang standar LAN diberi ID seperti 802.1, 802.2, dan seterusnya. Perhatikan bahwa baik nilai 802 maupun sufiks individu tidak menyampaikan arti teknis apa pun — keduanya hanya mengidentifikasi standar. Gambar 13.6 daftar contoh tugas IEEE.

Seperti yang ditunjukkan gambar, IEEE telah menciptakan banyak kelompok kerja yang masing-masing ditujukan untuk menstandarisasi satu jenis teknologi jaringan. Sebuah kelompok, yang terdiri dari perwakilan dari komunitas industri dan akademis, bertemu secara teratur untuk membahas pendekatan dan menyusun standar. IEEE memungkinkan kelompok kerja untuk tetap aktif asalkan kelompok tersebut membuat kemajuan dan teknologi masih dianggap penting. Jika kelompok kerja memutuskan bahwa teknologi yang sedang diselidiki tidak lagi relevan, kelompok tersebut dapat memutuskan untuk bubar. Misalnya, teknologi yang lebih baik mungkin ditemukan yang membuat standarisasi lebih lanjut menjadi sia-sia. Atau, organisasi standar lain mungkin menghasilkan standar terlebih dahulu, membuat upaya IEEE menjadi mubazir. Contoh pengidentifikasi yang telah ditetapkan IEEE ke berbagai standar LAN.

- 802.1 : Protokol LAN lapisan yang lebih tinggi
- 802.2 : Kontrol tautan logis
- 802.3 : Ethernet
- 802.4 : Token bus (dibubarkan)
- 802.5 : Cincin Token
- 802.6 : Jaringan Area Metropolitan (dibubarkan)
- 802.7 : Broadband LAN menggunakan Kabel Coaxial (dibubarkan)
- 802.9 : LAN Layanan Terpadu (dibubarkan)
- 802.10 : Keamanan LAN Interoperable (dibubarkan)
- 802.11 : LAN Nirkabel (Wi-Fi)
- 802.12 : Prioritas permintaan
- 802.13 : Kategori 6 - LAN 10 Gb
- 802.14 : Modem kabel (dibubarkan)

- 802.15 : PAN Nirkabel
  - 802.15.1 (Bluetooth)
  - 802.15.4(ZigBee)
- 802.16 : Akses Nirkabel Broadband
  - 802.16e (Seluler) Broadband Nirkabel
- 802.17 : Cincin paket tangguh
- 802.18 : TAG Pengaturan Radio
- 802.19 : TAG Koeksistensi
- 802.20 : Akses Nirkabel Broadband Seluler
- 802.21 : Penyerahan Independen Media
- 802.22 : Jaringan Area Regional Nirkabel

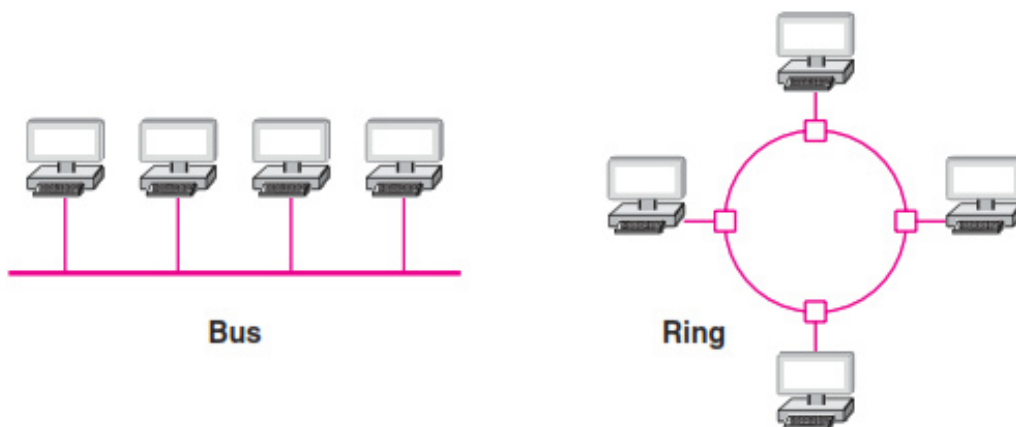
### 13.6 Jaringan Point-To-Point dan Multi-Akses

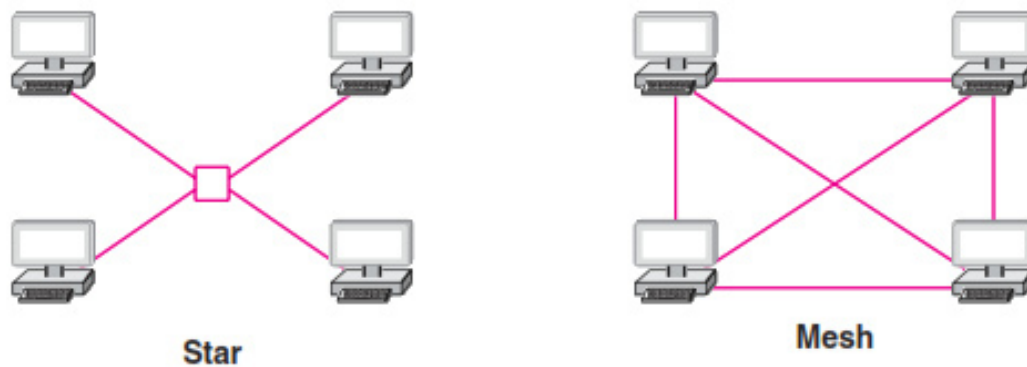
Ingatlah bahwa istilah point-to-point mengacu pada mekanisme komunikasi yang menghubungkan tepat dua entitas yang berkomunikasi. Teknologi LAN memungkinkan beberapa komputer untuk berbagi media sedemikian rupa sehingga setiap komputer di LAN dapat berkomunikasi dengan yang lain. Untuk menggambarkan pengaturan seperti itu, kami menggunakan istilah multi-akses dan mengatakan bahwa LAN adalah jaringan multi-akses.

Secara umum, teknologi LAN menyediakan koneksi langsung antara entitas yang berkomunikasi. Para profesional mengatakan bahwa LAN menghubungkan komputer, dengan pemahaman bahwa perangkat seperti printer juga dapat terhubung ke LAN multi-akses.

### 13.7 Topologi LAN

Karena banyak teknologi LAN telah ditemukan, penting untuk mengetahui bagaimana teknologi spesifik serupa dan bagaimana perbedaannya. Untuk membantu memahami kesamaan, setiap jaringan diklasifikasikan ke dalam kategori sesuai dengan topologi atau bentuk umumnya. Bagian ini menjelaskan empat topologi dasar yang digunakan untuk membangun LAN; bab selanjutnya membahas teknologi tertentu. Gambar 13.4 mengilustrasikan topologi.





Gambar 13.4 Empat topologi jaringan yang digunakan dengan LAN.

### 13.8.1 Topologi Bus

Sebuah jaringan yang menggunakan topologi bus biasanya terdiri dari satu kabel yang terhubung dengan komputer†. Setiap komputer yang terhubung ke bus dapat mengirimkan sinyal melalui kabel, dan semua komputer menerima sinyal tersebut. Karena semua komputer terhubung langsung ke kabel, komputer mana pun dapat mengirim data ke komputer lain mana pun. Tentu saja, komputer yang terhubung ke jaringan bus harus berkoordinasi untuk memastikan bahwa hanya satu komputer yang mengirim sinyal setiap saat.

### 13.8.2 Topologi Dering

Jaringan yang menggunakan topologi ring mengatur agar komputer terhubung dalam loop tertutup — kabel menghubungkan komputer pertama ke komputer kedua, kabel lain menghubungkan komputer kedua ke komputer ketiga, dan seterusnya, hingga kabel menghubungkan komputer terakhir kembali ke yang pertama. Beberapa teknologi yang menggunakan topologi ring memerlukan komputer untuk terhubung ke perangkat kecil yang membentuk ring. Keuntungan menggunakan perangkat terpisah terletak pada kemampuan ring untuk melanjutkan operasi bahkan jika beberapa komputer terputus. Nama ring muncul karena orang dapat membayangkan komputer dan kabel yang menghubungkannya diatur dalam lingkaran seperti yang diilustrasikan pada Gambar 13.7. Dalam prakteknya, kabel-kabel pada jaringan ring tidak membentuk lingkaran. Sebaliknya, mereka berjalan di sepanjang lorong atau naik secara vertikal dari satu lantai bangunan ke lantai lainnya.

### 13.8.3 Topologi Mesh

Jaringan yang menggunakan topologi mesh menyediakan koneksi langsung antara setiap pasangan komputer. Kerugian utama dari mesh timbul dari biaya: jaringan mesh yang menghubungkan  $n$  komputer memerlukan:

$$\text{koneksi dalam jaringan mesh} = \frac{n!}{(n-2)! 2!} = \frac{n^2 - n}{2}$$

#### Poin Penting

*jumlah koneksi yang dibutuhkan untuk jaringan mesh tumbuh lebih cepat daripada jumlah komputer. Karena koneksi mahal, beberapa LAN menggunakan topologi mesh.*

### 13.8.4 Topologi Bintang

Jaringan menggunakan topologi bintang ketika semua komputer terhubung ke titik pusat. Karena jaringan berbentuk bintang menyerupai jari-jari roda, pusat jaringan bintang sering disebut hub. Hub tipikal terdiri dari perangkat elektronik yang menerima data dari komputer pengirim dan mengirimkannya ke tujuan yang sesuai.

Dalam praktiknya, jaringan bintang jarang memiliki bentuk simetris di mana hub terletak pada jarak yang sama dari semua komputer. Sebaliknya, hub sering berada di lokasi yang terpisah dari komputer yang terpasang padanya. Misalnya, komputer dapat berada di kantor individu, sedangkan hub berada di lokasi yang dapat diakses oleh staf jaringan organisasi.

### 13.8.5 Alasan Beberapa Topologi

Setiap topologi memiliki kelebihan dan kekurangan. Topologi ring memudahkan komputer untuk mengoordinasikan akses dan mendeteksi apakah jaringan beroperasi dengan benar. Namun, seluruh jaringan dering dinonaktifkan jika salah satu kabel terputus. Topologi star membantu melindungi jaringan dari kerusakan pada satu kabel karena setiap kabel hanya menghubungkan satu mesin. Bus membutuhkan lebih sedikit kabel daripada bintang, tetapi memiliki kelemahan yang sama seperti cincin: jaringan dinonaktifkan jika seseorang secara tidak sengaja memotong kabel utama. Bab selanjutnya yang menjelaskan teknologi jaringan tertentu memberikan rincian tambahan tentang perbedaan. U

### Poin Penting \_\_\_\_\_

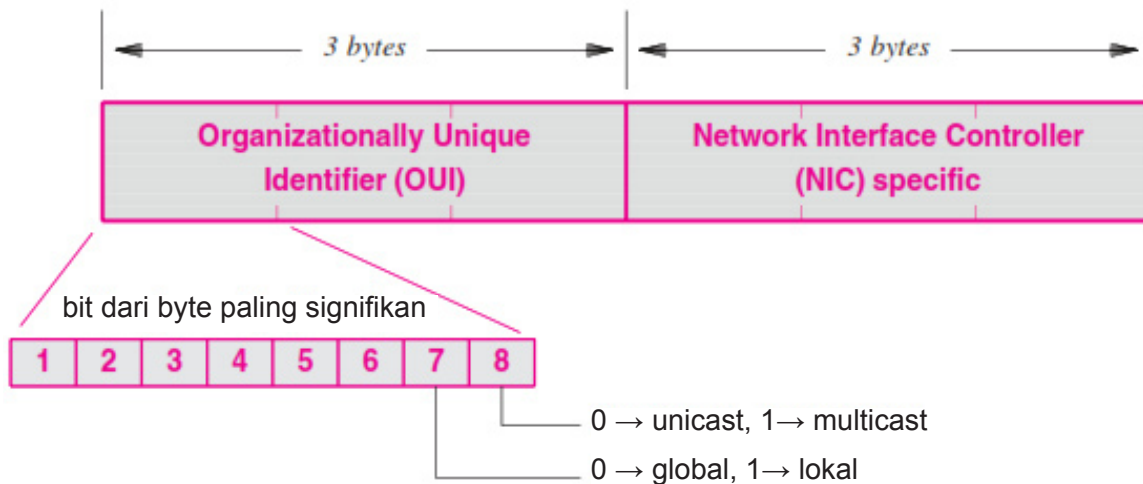
Jaringan diklasifikasikan ke dalam kategori luas sesuai dengan bentuk umumnya. Meskipun topologi mesh dimungkinkan, topologi utama yang digunakan dengan LAN adalah star, ring, dan bus; Masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan.

## 13.9 Identifikasi Paket, Demultiplexing, Alamat MAC

Selain standar yang menentukan rincian berbagai teknologi LAN, IEEE telah menciptakan standar untuk pengalamatan. Untuk memahami pengalamatan, pertimbangkan paket yang melintasi media bersama seperti yang diilustrasikan Gambar 13.2†. Dalam kasus yang paling sederhana, setiap paket yang berjalan melintasi media bersama ditujukan untuk penerima tertentu, dan hanya penerima yang dituju yang harus memproses paket tersebut. Dalam sistem packet switching, demultiplexing menggunakan pengidentifikasi yang dikenal sebagai alamat. Setiap komputer diberi alamat yang unik, dan setiap paket berisi alamat penerima yang dituju.

Dalam skema pengalamatan IEEE, setiap alamat terdiri dari 48 bit. IEEE menggunakan istilah alamat Kontrol Akses Media (alamat MAC). Karena alamat 48-bit berasal dari teknologi Ethernet, para profesional jaringan sering menggunakan istilah alamat Ethernet. Untuk menjamin bahwa setiap alamat unik, IEEE mengalokasikan alamat untuk setiap bagian dari perangkat keras antarmuka jaringan. Jadi, jika konsumen membeli Network Interface Card (NIC) untuk PC mereka, NIC berisi alamat IEEE unik yang ditetapkan saat perangkat diproduksi.

Daripada menetapkan alamat individu, IEEE memberikan blok alamat untuk setiap vendor peralatan, dan memungkinkan vendor untuk menetapkan nilai unik untuk setiap perangkat yang mereka produksi. Dengan demikian, alamat 48-bit dibagi menjadi 3-byte Organizationally Unique ID (OUI) yang mengidentifikasi vendor peralatan dan blok 3-byte yang mengidentifikasi Network Interface Controller (NIC) tertentu. Gambar 13.5 mengilustrasikan pembagian.



Gambar 13.5 Pembagian alamat MAC IEEE 48-bit.

Menariknya, dua bit orde rendah dari byte paling signifikan dari OUI diberi arti khusus seperti yang ditunjukkan gambar. Bit paling tidak signifikan dari byte paling signifikan adalah bit multicast yang menentukan apakah alamatnya adalah unicast (0) atau multicast (1), dan bit berikutnya menentukan apakah OUI unik secara global (0) atau ditetapkan secara lokal (1). Bagian selanjutnya menjelaskan multicast. Alamat unik global ditetapkan oleh IEEE; alamat yang ditetapkan secara lokal tersedia untuk pekerjaan eksperimental atau untuk organisasi yang ingin membuat ruang alamat mereka sendiri.

### 13.10 Alamat Unicast, Broadcast, dan Multicast

Skema pengalamatan IEEE mendukung tiga jenis alamat yang sesuai dengan tiga jenis pengiriman paket. Tabel 13.3 memberikan ringkasan.

Tabel 13.3 Tiga jenis alamat MAC dan artinya.

Jenis Alamat	Arti dan Pengiriman Paket
unicast	Secara unik mengidentifikasi satu komputer, dan menetapkan bahwa hanya komputer yang diidentifikasi yang harus menerima salinan paket
broadcast	Sesuai dengan semua komputer, dan menetapkan bahwa setiap komputer di jaringan harus menerima salinan paket
multicast	Mengidentifikasi subset komputer pada jaringan tertentu, dan menetapkan bahwa setiap komputer di subset harus menerima salinan paket

Mungkin tampak aneh bahwa format alamat IEEE sedikit membedakan antara unicast dan multicast, tetapi tidak menyediakan cara untuk menunjuk alamat broadcast. Standar menetapkan bahwa alamat broadcast terdiri dari 48 bit yang semuanya 1s. Jadi, alamat broadcast memiliki bit multicast yang disetel. Secara konseptual, siaran dapat dilihat sebagai bentuk khusus dari multicast. Artinya, setiap alamat multicast sesuai dengan sekelompok komputer, dan alamat siaran sesuai dengan grup yang mencakup semua komputer di jaringan.

## 13.11 Siaran, Multicast, dan Pengiriman Multi-Titik yang Efisien

Alamat broadcast dan multicast sangat berguna dalam LAN karena memungkinkan pengiriman yang efisien ke banyak komputer. Untuk memahami efisiensi, ingatlah bahwa LAN mentransmisikan paket melalui media bersama. Dalam LAN biasa, setiap komputer di LAN memantau media bersama, mengekstrak salinan setiap paket, dan kemudian memeriksa alamat dalam paket untuk menentukan apakah paket harus diproses atau diabaikan. Algoritma 13.1 memberikan algoritma yang digunakan komputer untuk memproses paket.

### Algoritma 13.1

Tujuan:

Menangani paket yang telah tiba melalui LAN

Metode

```
Ekstrak alamat tujuan, D, dari paket;
if ( D cocok dengan "alamat saya" ) {
    menerima dan memproses paket;
} else if ( D cocok dengan alamat broadcast ) {
    menerima dan memproses paket;
} else if ( D cocok dengan salah satu alamat multicast untuk grup multicast
di mana saya menjadi anggotanya ) {
    menerima dan memproses paket;
} kalau tidak {
    mengabaikan paket;
}
```

*Algoritma 13.1 Algoritma pemrosesan paket yang digunakan dalam sebuah LAN.*

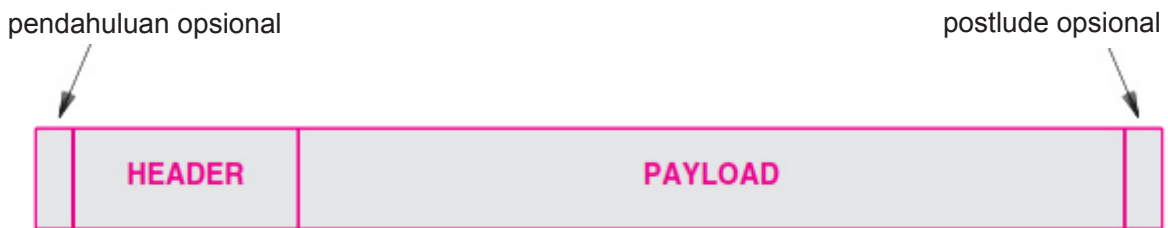
Dari algoritma, efisiensi harus jelas. Dalam kasus siaran atau multicast, satu salinan paket ditransmisikan melalui media bersama dan semua komputer menerima dan memproses salinannya. Misalnya, pertimbangkan penyiaran. Alih-alih  $N$  transmisi terpisah yang masing-masing mengirim salinan paket individual ke satu komputer, pengirim mentransmisikan satu salinan paket yang berisi alamat broadcast dan semua komputer menerima salinannya.

## 13.12 Bingkai dan Pembungkai

Bab 9 memperkenalkan konsep pembungkai dalam konteks sistem komunikasi sinkron sebagai mekanisme yang memungkinkan penerima mengetahui di mana pesan dimulai dan diakhiri. Dalam pengertian yang lebih umum, kami menggunakan istilah framing untuk merujuk pada struktur yang ditambahkan ke urutan bit atau byte yang memungkinkan pengirim dan penerima menyetujui format pesan yang tepat. Dalam jaringan packet-switched, setiap frame sesuai dengan sebuah paket. Sebuah frame terdiri dari dua bagian konseptual:

- Header yang berisi metadata, seperti alamat
- Payload yang berisi data yang dikirim

Sebuah header frame berisi informasi yang digunakan untuk memproses frame. Secara khusus, header biasanya berisi alamat yang menentukan penerima yang dituju. Area payload berisi pesan yang sedang dikirim, dan biasanya jauh lebih besar dari header frame. Di sebagian besar teknologi jaringan, pesannya buram dalam arti bahwa jaringan hanya memeriksa header frame. Dengan demikian, payload dapat berisi urutan byte yang berubah-ubah yang hanya bermakna bagi pengirim dan penerima. Sebuah frame biasanya diatur sehingga header ditransmisikan sebelum payload, yang memungkinkan penerima untuk mulai memproses frame saat bit tiba. Beberapa teknologi menggambarkan setiap frame dengan mengirimkan pendahuluan singkat sebelum frame dan postlude pendek setelah frame. Gambar 13.6 mengilustrasikan konsep tersebut.



Gambar 13.6 Struktur khas dari sebuah frame dalam jaringan packet-switched.

Untuk memahami cara kerja pembungkai, pertimbangkan contoh menggunakan byte. Artinya, misalkan mekanisme komunikasi data dapat mentransfer byte 8-bit sewenang-wenang dari pengirim ke penerima, dan bayangkan mekanisme tersebut digunakan untuk mengirim paket. Asumsikan bahwa sebuah packet header terdiri dari 6 byte dan payload terdiri dari sejumlah byte yang berubah-ubah. Kami akan menggunakan satu byte untuk menandai awal dari sebuah frame, dan satu byte untuk menandai akhir dari sebuah frame. Dalam set karakter ASCII, karakter Start Of Header (SOH) menandai awal dari sebuah frame, dan karakter End Of Transmission (EOT) menandai akhir dari sebuah frame. Gambar 13.7 mengilustrasikan formatnya.



Gambar 13.7 Contoh format frame yang menggunakan karakter SOH dan EOT untuk menggambarkan sebuah frame.

Format contoh tampaknya memiliki overhead yang tidak perlu. Untuk memahami alasannya, pertimbangkan apa yang terjadi ketika pengirim mentransmisikan dua frame tanpa penundaan di antara keduanya. Pada akhir frame pertama, pengirim mengirimkan EOT, dan kemudian tanpa penundaan, pengirim mengirimkan SOH untuk memulai frame kedua. Dalam keadaan seperti itu, hanya satu karakter yang diperlukan untuk memisahkan dua blok data — skema pembungkai yang membatasi awal dan akhir setiap bingkai tampaknya mengirim karakter tambahan yang tidak perlu di antara bingkai. Keuntungan mengirim karakter di akhir frame menjadi jelas ketika seseorang menganggap bahwa transmisi paket tidak sinkron dan kesalahan dapat terjadi. Untuk komunikasi asinkron, menggunakan EOT untuk menandai akhir frame memungkinkan penerima untuk memproses frame tanpa menunggu dimulainya frame yang berurutan. Jika terjadi kesalahan, menggunakan SOH dan EOT untuk



mengelompokkan bingkai membantu pemulihan dan sinkronisasi — jika pengirim mogok selama transmisi bingkai, penerima akan dapat menentukan bahwa sebagian bingkai telah tiba.

### 13.13 Byte dan Bit

Dalam himpunan karakter ASCII, SOH memiliki nilai heksadesimal 201 dan EOT memiliki nilai heksadesimal 204. Muncul pertanyaan: apa yang terjadi jika payload sebuah frame mencakup satu atau lebih byte dengan nilai 201 atau 204? Jawabannya terletak pada teknik yang dikenal sebagai byte stuffing yang memungkinkan transmisi data sewenang-wenang tanpa kebingungan.

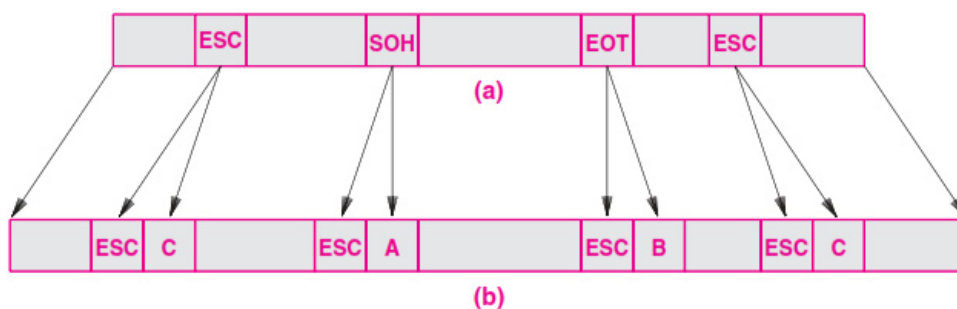
Secara umum, untuk membedakan antara data dan informasi kontrol, seperti pembatas bingkai, pengirim mengubah data untuk mengganti setiap byte kontrol dengan urutan dan penerima mengganti urutan dengan nilai aslinya. Akibatnya, bingkai dapat mentransfer data sewenang-wenang dan sistem yang mendasarinya tidak pernah mengacaukan data dengan informasi kontrol. Teknik ini dikenal sebagai isian byte; istilah isian data dan isian karakter terkadang digunakan. Teknik terkait yang digunakan dengan sistem yang mentransfer aliran bit dikenal sebagai isian bit.

Sebagai contoh byte stuffing, pertimbangkan sebuah frame seperti yang diilustrasikan pada Gambar 13.8. Karena SOH dan EOT digunakan untuk membatasi frame, kedua byte tersebut tidak boleh muncul di payload. Pengisi byte memecahkan masalah dengan memesan karakter ketiga untuk menandai kemunculan karakter yang dicadangkan dalam data. Misalnya, karakter ASCII ESC (nilai heksadesimal 1B) telah dipilih sebagai karakter ketiga. Ketika salah satu dari tiga karakter khusus muncul dalam data, pengirim mengganti karakter dengan urutan dua karakter. Tabel 13.5 mencantumkan satu kemungkinan pemetaan.

Tabel 13.5 Contoh byte stuffing yang memetakan setiap karakter khusus ke dalam urutan 2 karakter.

Byte Dalam Muatan	Urutan Terkirim
SOH	ESC A
EOT	ESC B
ESC	ESC C

Seperti yang ditentukan oleh gambar, pengirim mengganti setiap kemunculan SOH dengan dua karakter ESC dan A, setiap kemunculan EOT dengan karakter ESC dan B, dan setiap kemunculan ESC dengan dua karakter ESC dan C. Penerima membalikkan pemetaan dengan mencari ESC diikuti dengan salah satu dari A, B, atau C dan mengganti kombinasi 2 karakter dengan karakter tunggal yang sesuai. Gambar 13.13 menunjukkan contoh payload dan payload yang sama setelah byte stuffing terjadi. Perhatikan bahwa setelah isian byte dilakukan, baik SOH maupun EOT tidak muncul di mana pun di payload.



Gambar 13.8 Ilustrasi (a) data asli, dan (b) versi setelah byte-stuffing dilakukan

## 13.14 Ringkasan

Jaringan data dapat diklasifikasikan menggunakan circuit-switching atau packet-switching. Packet switching, yang membentuk dasar Internet, adalah bentuk multiplexing statistik di mana pengirim membagi pesan menjadi paket-paket kecil. Teknologi jaringan paket switch diklasifikasikan sebagai Jaringan Area Lokal (LAN), Jaringan Area Luas (WAN), dan Jaringan Area Metropolitan (MAN); LAN dan WAN adalah yang paling populer.

Sebuah organisasi bernama IEEE telah menciptakan standar untuk jaringan data. Standar IEEE terutama menentukan detail untuk LAN, dan fokus pada dua lapisan pertama dari tumpukan protokol.

Empat bentuk dasar atau topologi digunakan untuk mengkarakterisasi LAN: bus, star, ring, dan mesh. Topologi mesh jarang digunakan karena mahal.

Setiap paket yang dikirim melalui LAN berisi alamat MAC yang mengidentifikasi penerima yang dituju. Standar IEEE untuk alamat MAC menetapkan nilai 48-bit yang dibagi menjadi dua bidang: satu yang mengidentifikasi organisasi yang menetapkan alamat dan yang lain memberikan nilai unik untuk perangkat keras tertentu yang alamatnya ditetapkan. Sebuah alamat dapat menentukan unicast (satu komputer), broadcast (semua komputer pada LAN tertentu), atau multicast (subset komputer pada LAN).

Istilah frame digunakan untuk menentukan format paket pada jaringan tertentu. Sebuah frame terdiri dari dua bagian konseptual: header yang berisi meta-informasi dan payload area yang berisi data yang dikirim. Untuk jaringan yang mentransmisikan karakter, sebuah frame dapat dibentuk dengan menggunakan satu nilai byte untuk menunjukkan awal dari frame dan satu lagi untuk menunjukkan akhir dari frame.

Teknik isian byte (bit) memungkinkan byte (urutan bit) dicadangkan untuk digunakan dalam menandai awal dan akhir sebuah bingkai. Untuk memastikan bahwa muatan tidak mengandung byte yang dicadangkan (string bit), pengirim mengganti kemunculan nilai yang dicadangkan sebelum transmisi, dan penerima membalikkan perubahan untuk mendapatkan data asli.

## Latihan

---

1. Apa itu circuit switching, dan apa karakteristik utamanya?
2. Dalam jaringan circuit-switched, dapatkah beberapa sirkuit berbagi satu serat optik? Menjelaskan.
3. Dalam sistem packet switching, bagaimana cara pengirim mentransfer file besar?
4. Jika seseorang ingin menyiarkan salinan presentasi video, apakah lebih baik menggunakan sistem circuit switching atau packet switching? Mengapa?
5. Apa karakteristik LAN, MAN, dan WAN?
6. Sebutkan dua sublapisan protokol Layer 2 yang didefinisikan oleh IEEE, dan berikan tujuan masing-masing.

7. Apa itu jaringan point-to-point?
8. Apa saja empat topologi LAN dasar?
9. Dapatkah kabel jaringan cincin diatur dalam garis lurus (misalnya, menyusuri lorong)?  
Menjelaskan.
10. Dalam jaringan mesh, berapa banyak koneksi yang diperlukan di antara 20 komputer?
11. Diberikan alamat MAC IEEE, bagaimana cara mengetahui apakah alamat tersebut mengacu pada unicast?
12. Tentukan alamat unicast, multicast, dan broadcast. Jelaskan pengertian masing-masing.
13. Bagaimana komputer yang terhubung ke LAN bersama memutuskan apakah akan menerima paket?
14. Istilah apa yang digunakan untuk mendeskripsikan metadata yang menyertai sebuah paket?
15. Berikan definisi dari istilah bingkai.
16. Mengapa diperlukan isian byte?
17. Tulislah sepasang program komputer, satu yang menerima file data sebagai input dan menghasilkan versi byte yang diisi dari file tersebut sesuai dengan pemetaan pada Gambar 13.12, dan yang lain menghapus byte stuffing. Tunjukkan bahwa program Anda bekerja sama dengan yang ditulis oleh orang lain

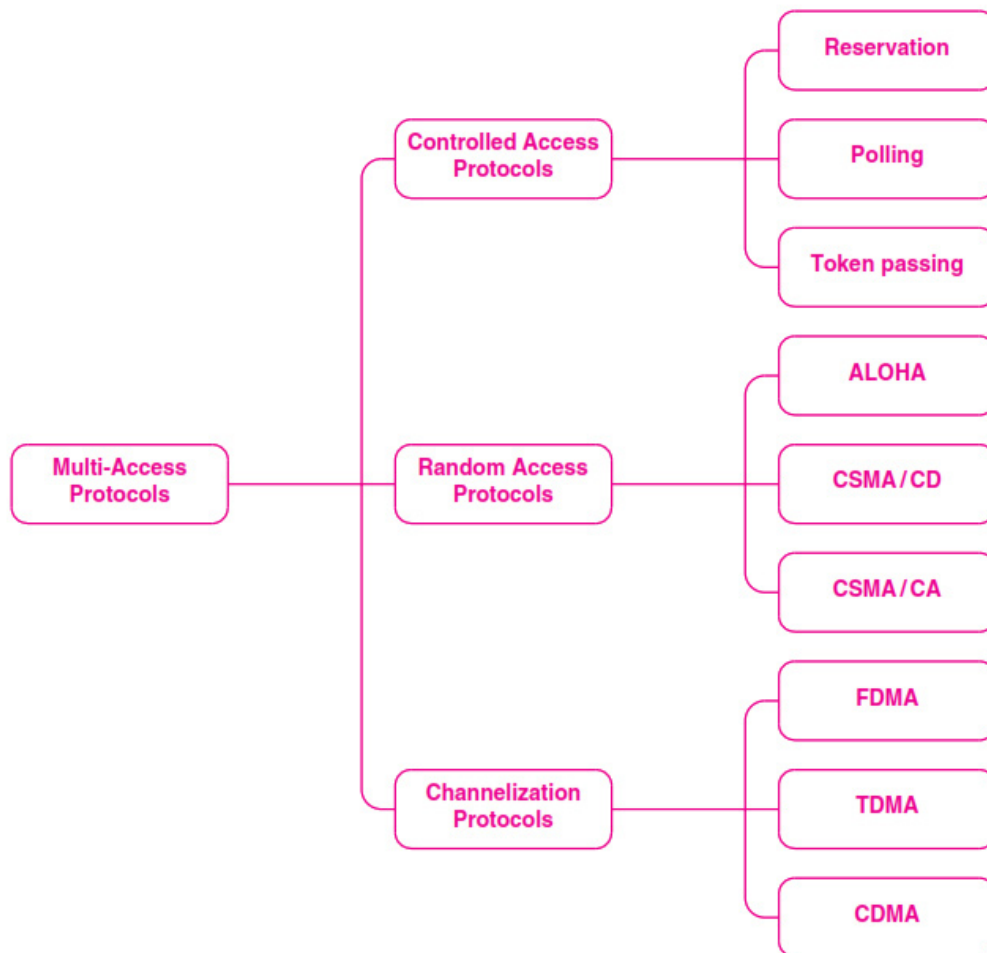
---

### Bab ini akan membahas tentang:

- jaringan komunikasi data yang menggunakan packet switching
- mendefinisikan dua tipe dasar jaringan packet switched: WAN dan LAN
- protokol multi-akses
- alokasi saluran statis dan dinamis

### 14.1 Taksonomi Mekanisme Untuk Multi-Akses

Bagaimana beberapa komputer independen mengoordinasikan akses ke media bersama? Ada tiga pendekatan yang luas: mereka dapat menggunakan bentuk modifikasi dari teknik multiplexing, mereka dapat menggunakan algoritma terdistribusi untuk akses terkontrol, atau mereka dapat menggunakan strategi akses acak. Gambar 14.1 mengilustrasikan taksonomi, termasuk bentuk spesifik dari setiap pendekatan.



Gambar 14.1 Taksonomi protokol yang mengontrol akses ke media bersama.

## 14.2 Alokasi Saluran Statis Dan Dinamis

Kami menggunakan istilah kanalisasi untuk merujuk pada pemetaan antara komunikasi yang diberikan dan saluran dalam sistem transmisi yang mendasarinya. Channelization terkait dengan teknik multiplexing yang Bab 11 membahas. Misalnya, pertimbangkan mekanisme frequency division multiplexing (FDM). Sebagian besar sistem FDM menetapkan setiap pasangan entitas yang berkomunikasi dengan frekuensi pembawa yang unik. Artinya, setiap pasangan diberi saluran unik. Selanjutnya, pemetaan antara sepasang entitas dan frekuensi pembawa tidak berubah. Dalam situasi seperti itu, kami menggambarkan pemetaan antara entitas yang berkomunikasi dan saluran sebagai 1-ke-1 dan statis.

Alokasi saluran statis bekerja dengan baik untuk situasi di mana himpunan entitas yang berkomunikasi diketahui sebelumnya dan tidak berubah. Namun, di banyak jaringan, kumpulan entitas yang menggunakan jaringan bervariasi dari waktu ke waktu. Misalnya, pertimbangkan telepon seluler di kota. Pengguna bergerak, dan mereka dapat menghidupkan dan mematikan ponsel kapan saja. Dengan demikian, rangkaian telepon seluler yang beroperasi dalam kisaran menara seluler tertentu selalu berubah-ubah. Dalam situasi seperti itu, skema alokasi saluran dinamis diperlukan — pemetaan dapat dibuat ketika stasiun baru (misalnya, ponsel) muncul, dan pemetaan dapat dihapus ketika stasiun menghilang.

## Poin Penting

*Alokasi saluran statis cukup ketika himpunan entitas yang berkomunikasi diketahui sebelumnya dan tidak berubah; sebagian besar jaringan memerlukan bentuk alokasi saluran dinamis.*

## 14.3 Protokol Penyaluran

Protokol kanalisasi memperluas teknik multiplexing yang tercakup dalam Bab 11. Tabel 14.1 mencantumkan teknik penyaluran utama.

Tabel 14.1 Tiga jenis utama kanalisasi.

Protocol	Expansion
FDMA	Frequency Division Multi-Access
TDMA	Time Division Multi-Access
CDMA	Code Division Multi-Access

### 14.4.1 FDMA

Seperti yang ditunjukkan oleh gambar, teknik channelization menggunakan frekuensi, waktu, dan multiplexing pembagian kode. Sebagai contoh, Frequency Division Multiple Access (FDMA) memperluas pembagian frekuensi multiplexing. Pada intinya, perpanjangan terdiri dari mekanisme yang memungkinkan stasiun independen untuk memilih frekuensi pembawa yang tidak akan bertentangan dengan operator yang digunakan oleh stasiun lain. Bagaimana FDMA menetapkan operator? Dalam beberapa sistem, pengontrol pusat menyediakan penugasan dinamis. Setiap kali stasiun baru muncul, stasiun menggunakan saluran kontrol yang dicadangkan untuk berkomunikasi dengan pengontrol. Stasiun membuat permintaan, pengontrol memilih frekuensi yang saat ini tidak digunakan, dan pengontrol memberi tahu stasiun. Setelah pertukaran awal, stasiun menggunakan frekuensi pembawa yang ditetapkan (yaitu, saluran yang ditetapkan) untuk semua komunikasi.

### 14.4.2 TDMA

Perpanjangan ke multiplexing pembagian waktu, yang dikenal sebagai Time Division Multi-Access analog dengan ekstensi untuk pembagian frekuensi multiplexing. Dalam kasus yang paling sederhana, setiap peserta aktif diberi nomor urut dari 1 hingga N, dan stasiun mengirimkan dalam urutan 1, 2, 3, ... N. Seperti halnya FDMA, beberapa sistem TDMA menawarkan alokasi dinamis — sebuah stasiun diberi slot waktu saat stasiun pertama kali muncul di jaringan.

### 14.4.3 CDMA

Multiplexing pembagian kode memungkinkan beberapa stasiun untuk mentransmisikan pada waktu yang sama dengan mengkodekan setiap transmisi secara matematis. Code Division Multi-Access (CDMA), dijelaskan pada Bab 11, merupakan aplikasi utama dari code division multiplexing.

## 14.4 Protokol Akses Terkendali

Protokol akses terkontrol menyediakan versi terdistribusi dari multiplexing statistik. Jenis utama dari protokol akses terkontrol yaitu:

- Polling : Kontroler terpusat berulang kali melakukan polling stasiun dan memungkinkan masing-masing untuk mengirimkan satu paket
- Reservation : Stasiun mengajukan permintaan untuk transmisi data putaran berikutnya
- Token Passing : Stasiun mengedarkan token; setiap kali menerima token, sebuah stasiun mengirimkan satu paket

### 14.5.1 Polling

Jaringan yang menggunakan polling menggunakan pengontrol terpusat, yang berputar melalui stasiun di jaringan dan memberi masing-masing kesempatan untuk mengirimkan paket. algoritma 14.1 memberikan langkah-langkah yang diikuti oleh pengontrol. Langkah pemilihan penting karena berarti pengontrol dapat memilih stasiun mana yang akan disurvei pada waktu tertentu. Ada dua kebijakan pemungutan suara umum:

- Round robin order
- Priority order

Round-robin berarti setiap stasiun memiliki kesempatan yang sama untuk mengirimkan paket. Urutan prioritas berarti beberapa stasiun akan memiliki lebih banyak kesempatan untuk mengirim. Misalnya, urutan prioritas dapat digunakan untuk menetapkan telepon IP dengan prioritas lebih tinggi daripada komputer pribadi.

#### Algoritma 14.1

Tujuan:  
Kontrol transmisi paket melalui polling

Metode:  
Kontroler berulang selamanya {  
Pilih stasiun, S, dan kirim pesan polling ke S; Tunggu S untuk merespon dengan mengirimkan sebuah paket atau lewat;  
}

*Algoritma 14.1 Akses terkontrol melalui polling.*

### 14.5.2 Reservasi

Sistem reservasi, sering digunakan dengan transmisi satelit, menggunakan proses dua langkah di mana setiap putaran transmisi paket direncanakan sebelumnya. Biasanya, sistem reservasi memiliki pengontrol pusat yang mengikuti Algoritma 14.2.



### **Algoritma 14.2**

Tujuan:  
Kontrol transmisi paket melalui reservasi

Metode:  
Kontroler berulang selamanya {  
Bentuk daftar stasiun yang memiliki paket untuk dikirim; Izinkan stasiun dalam daftar untuk mengirim;  
}

*Algoritma 14.2 Akses terkontrol melalui reservasi.*

Pada langkah pertama, setiap pengirim potensial menentukan apakah mereka memiliki paket untuk dikirim selama putaran berikutnya dan pengontrol mentransmisikan daftar stasiun yang akan ditransmisikan. Pada langkah kedua, stasiun menggunakan daftar untuk mengetahui kapan mereka harus mengirimkan. Variasi ada di mana pengontrol menggunakan saluran alternatif untuk mengumpulkan reservasi untuk putaran berikutnya sementara putaran transmisi saat ini berlanjut melalui saluran utama.

#### **14.5.3 Token Passing**

Token passing telah digunakan di beberapa teknologi LAN, dan paling sering dikaitkan dengan topologi ring†. Untuk memahami token passing, bayangkan satu set komputer yang terhubung dalam sebuah cincin, dan bayangkan bahwa setiap saat, tepat satu komputer telah menerima pesan kontrol khusus yang disebut token. Untuk mengontrol akses, setiap komputer mengikuti Algoritma 14.3

### **Algoritma 14.3**

Tujuan:  
Kontrol transmisi paket melalui token passing

Metode:  
Setiap komputer di jaringan berulang { Tunggu token tiba;  
Mengirimkan paket jika ada yang menunggu untuk dikirim;  
Kirim token ke stasiun berikutnya;  
}

*Algoritma 14.3 Akses terkontrol melalui token passing.*

Dalam sistem token passing, ketika tidak ada stasiun yang memiliki paket untuk dikirim, token beredar di antara semua stasiun secara terus menerus. Untuk topologi ring, urutan sirkulasi ditentukan oleh ring. Artinya, jika sebuah cincin diatur untuk mengirim pesan searah jarum jam, stasiun berikutnya yang

disebutkan dalam algoritma merujuk ke stasiun fisik berikutnya dalam urutan searah jarum jam. Ketika token passing diterapkan ke topologi lain (misalnya, bus), setiap stasiun diberi posisi dalam urutan logis, dan token dilewatkan sesuai dengan urutan yang ditetapkan.

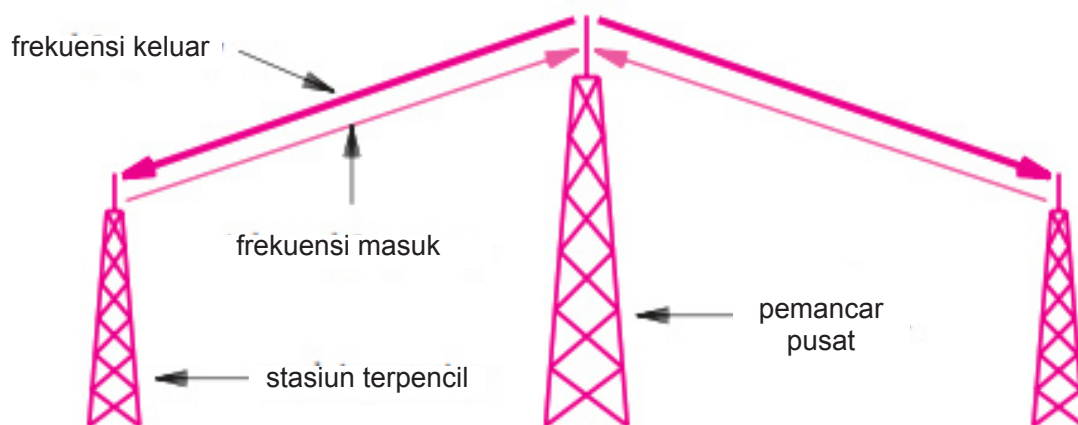
## 14.5 Protokol Akses Acak

Banyak jaringan, terutama LAN, tidak menggunakan mekanisme akses terkontrol. Sebagai gantinya, satu set komputer yang terhubung ke media bersama mencoba mengakses media tanpa koordinasi. Istilah acak digunakan karena akses hanya terjadi ketika stasiun tertentu memiliki paket untuk dikirim dan pengacakan digunakan untuk mencegah semua komputer di LAN mencoba menggunakan media pada saat yang sama. Deskripsi metode khusus di bawah ini akan memperjelas penggunaan pengacakan. berikut ini dicantumkan tiga metode akses acak yang dibahas.

- ALOHA : Protokol bersejarah yang digunakan dalam jaringan radio awal di Hawaii; populer di buku teks dan mudah dianalisis, tetapi tidak digunakan di jaringan nyata
- CSMA / CD : Multi-Akses Carrier Sense dengan Deteksi Tabrakan  
Dasar untuk Ethernet, dan protokol akses acak yang paling banyak digunakan
- CSMA / CA C : Multi-Akses Carrier Sense dengan Penghindaran Tabrakan  
Dasar untuk jaringan nirkabel Wi-Fi

### 14.6.1 ALOHA

Jaringan awal di Hawaii, yang dikenal sebagai ALOHAnet, memelopori konsep akses acak. Meskipun jaringan tidak lagi digunakan, ide-idenya telah diperluas. Jaringan terdiri dari pemancar kuat tunggal di lokasi geografis pusat dikelilingi oleh satu set stasiun yang masing-masing berhubungan dengan komputer. Setiap stasiun memiliki pemancar yang mampu menjangkau pemancar pusat (tetapi tidak cukup kuat untuk menjangkau semua stasiun lainnya). ALOHAnet menggunakan dua frekuensi pembawa: satu di 413.475 MHz untuk lalu lintas siaran keluar yang dikirim oleh pemancar pusat ke semua stasiun, dan satu lagi di 407.305 MHz untuk lalu lintas masuk yang dikirim oleh stasiun ke pemancar pusat.



Gambar 14.5 Ilustrasi frekuensi outbound dan inbound di ALOHAnet.

Protokol ALOHA sangat sederhana: ketika sebuah stasiun memiliki paket untuk dikirim, ia mentransmisikan paket pada frekuensi masuk. Pemancar pusat mengulangi transmisi pada frekuensi keluar (yang dapat diterima semua stasiun). Untuk memastikan bahwa transmisi berhasil, stasiun pengirim mendengarkan

saluran keluar. Jika salinan paketnya tiba, stasiun pengirim pindah ke paket berikutnya; jika tidak ada salinan yang datang, stasiun pengirim menunggu sebentar dan mencoba lagi.

Mengapa paket gagal tiba? Jawabannya adalah interferensi — jika dua stasiun secara bersamaan mencoba mentransmisikan pada frekuensi masuk, sinyal akan mengganggu dan kedua transmisi akan kacau. Kami menggunakan istilah tumbukan, dan mengatakan bahwa dua paket yang ditransmisikan bertabrakan di media. Protokol menangani tabrakan dengan meminta pengirim untuk mengirim ulang setiap paket yang hilang. Idenya umum, dan muncul di banyak protokol jaringan.

Jumlah waktu untuk menunggu sebelum transmisi ulang harus dipilih dengan hati-hati. Jika tidak, dua stasiun masing-masing akan menunggu dalam jumlah waktu yang sama sebelum mengirim ulang, dan akan mengganggu satu sama lain lagi. Jadi, jika pengacakan ditambahkan (yaitu, setiap stasiun memilih penundaan acak), kemungkinan campur tangan jauh lebih rendah. Analisis menunjukkan bahwa ketika ALOHAnet menjadi sibuk, banyak tabrakan terjadi. Bahkan dengan pengacakan, tabrakan menurunkan keberhasilan transfer data di ALOHAnet menjadi sekitar 18% dari kapasitas saluran (yaitu, pemanfaatan saluran adalah 18%).

### 14.6.2 CSMA / CD

Pada tahun 1973, para peneliti di Xerox PARC menciptakan teknologi jaringan yang sangat sukses yang menggunakan protokol akses acak. Pada tahun 1978, sebuah standar (secara informal disebut standar DIX) diciptakan oleh Digital Equipment Corporation, Intel, dan Xerox. Dikenal sebagai Ethernet, teknologi Ethernet asli terdiri dari satu kabel panjang yang dihubungkan ke komputer†. Kabel berfungsi sebagai media bersama — alih-alih menyiarkan transmisi frekuensi radio melalui atmosfer, Ethernet mentransmisikan sinyal melalui kabel. Selain itu, daripada menggunakan dua frekuensi dan pemancar pusat, Ethernet memungkinkan semua komunikasi untuk dilanjutkan melalui kabel bersama. Terlepas dari perbedaan mereka, Ethernet dan ALOHAnet harus memecahkan masalah dasar yang sama: jika dua stasiun mencoba untuk mengirimkan pada saat yang sama, sinyal mengganggu dan terjadi tabrakan.

Ethernet menawarkan tiga inovasi dalam cara penanganan tabrakan:

- Perasaan pembawa
- Deteksi tabrakan
- Backoff eksponensial biner

**Perasaan pembawa.** Alih-alih mengizinkan stasiun untuk mentransmisikan kapan pun sebuah paket siap, Ethernet mengharuskan setiap stasiun untuk memantau kabel untuk mendeteksi apakah transmisi lain sedang berlangsung. Mekanismenya, yang dikenal sebagai carrier sense, mencegah masalah tabrakan yang paling jelas, dan secara substansial meningkatkan jaringan pemanfaatan.

**Deteksi Tabrakan.** Meskipun carrier sense digunakan, tabrakan dapat terjadi jika dua stasiun menunggu transmisi berhenti, menemukan kabel idle, dan keduanya memulai transmisi. Sebagian kecil dari masalahnya adalah bahwa bahkan pada kecepatan cahaya, diperlukan beberapa waktu agar sinyal dapat merambat melalui kabel. Jadi, sebuah stasiun di salah satu ujung kabel tidak dapat langsung mengetahui kapan stasiun di ujung lainnya mulai mentransmisikan.

Untuk menangani tabrakan, setiap stasiun memonitor kabel selama transmisi. Jika sinyal pada kabel berbeda dari sinyal yang dikirimkan stasiun, berarti telah terjadi tabrakan. Teknik ini dikenal sebagai deteksi tabrakan. Ketika tabrakan terdeteksi, stasiun pengirim membatalkan transmisi.

Banyak detail yang memperumit transmisi Ethernet. Misalnya, setelah tumbukan, transmisi tidak dibatalkan sampai cukup banyak bit telah dikirim untuk menjamin bahwa sinyal bertabrakan mencapai semua stasiun. Selanjutnya, setelah transmisi, stasiun harus menunggu celah antar paket (9,6 sec untuk Ethernet 10 Mbps) untuk memastikan bahwa semua stasiun merasakan jaringan yang tidak aktif dan memiliki kesempatan untuk melakukan transmisi. Rincian seperti itu menggambarkan betapa cermatnya teknologi itu dirancang.

**Backoff Eksponensial Biner.** Ethernet melakukan lebih dari sekadar mendeteksi tabrakan — tetapi juga memulihkannya. Setelah tabrakan terjadi, komputer harus menunggu kabel menjadi tidak aktif lagi sebelum mentransmisikan bingkai. Seperti halnya ALOHAnet, pengacakan digunakan untuk menghindari beberapa stasiun mentransmisikan secara bersamaan segera setelah kabel dalam keadaan idle. Artinya, standar menentukan penundaan maksimum,  $d$ , dan mengharuskan setiap stasiun untuk memilih penundaan acak kurang dari  $d$  setelah tabrakan terjadi. Dalam kebanyakan kasus, ketika dua stasiun masing-masing memilih nilai acak, stasiun yang memilih penundaan terkecil akan melanjutkan untuk mengirim paket dan jaringan akan kembali ke operasi normal.

Dalam kasus di mana dua atau lebih komputer kebetulan memilih jumlah penundaan yang hampir sama, keduanya akan mulai mengirim pada waktu yang hampir bersamaan, menghasilkan tabrakan kedua. Untuk menghindari urutan tabrakan, Ethernet mengharuskan setiap komputer untuk menggandakan rentang dari penundaan yang dipilih setelah setiap tabrakan. Sebuah komputer memilih penundaan acak dari 0 hingga  $d$  setelah satu tumbukan, penundaan acak antara 0 dan

$2d$  setelah tumbukan kedua, antara 0 dan  $4d$  setelah tumbukan ketiga, dan seterusnya. Setelah beberapa tumbukan, rentang dari mana nilai acak dipilih menjadi besar. Dengan demikian, beberapa komputer akan memilih penundaan acak yang lebih pendek dari yang lain, dan akan mengirimkan tanpa tabrakan.

Menggandakan rentang penundaan acak setelah setiap tumbukan dikenal sebagai backoff eksponensial biner. Artinya, eksponensial backoff berarti bahwa Ethernet dapat pulih dengan cepat setelah tabrakan karena setiap komputer setuju untuk menunggu lebih lama antara percobaan ketika kabel menjadi sibuk. Bahkan jika dua atau lebih komputer memilih penundaan yang kira-kira sama, backoff eksponensial menjamin bahwa pertengkaran untuk kabel akan berkurang setelah beberapa tabrakan.

Kombinasi teknik yang dijelaskan di atas dikenal dengan nama Carrier Sense Multi-Access dengan Collision Detection. (CSMA/CD). Algoritma 14.4 merangkum CSMA / CD.

### Algoritma 14.4

Tujuan:

Gunakan CSMA/CD untuk mengirim paket

Metode:

Tunggu paket siap;

Tunggu hingga media menganggur (carrier sense); Keterlambatan untuk celah antar paket;

Atur variabel  $x$  ke kisaran backoff standar,  $d$  ; Mencoba mengirim paket (deteksi tabrakan);

Sementara (tabrakan terjadi selama transmisi sebelumnya) { Pilih  $q$  sebagai penundaan acak antara 0 dan  $x$  ; Penundaan selama  $q$  mikrodetik;

Gandakan  $x$  jika diperlukan untuk putaran berikutnya;

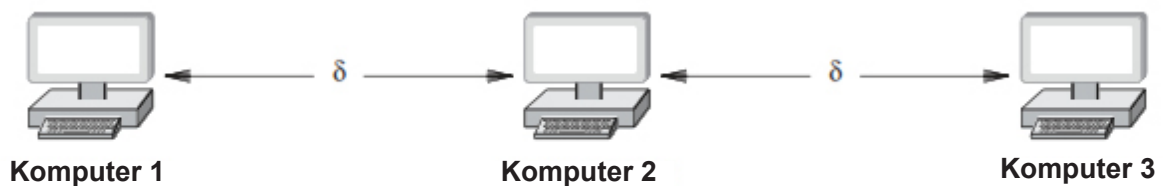
Mencoba mengirim ulang paket (deteksi tabrakan);

}

*Algoritma 14.4 Transmisi paket menggunakan CSMA/CD.*

#### 14.6.3 CSMA / CA

Meskipun berfungsi dengan baik pada kabel, CSMA/CD tidak berfungsi dengan baik pada LAN nirkabel karena pemancar yang digunakan dalam LAN nirkabel memiliki jangkauan yang terbatas, . Artinya, penerima yang lebih dari jauhnya dari pemancar tidak akan menerima sinyal, dan tidak akan dapat mendeteksi pembawa. Untuk melihat mengapa batasan menyebabkan masalah pada CSMA/CD, perhatikan tiga komputer dengan perangkat keras LAN nirkabel yang diposisikan seperti yang diilustrasikan pada Gambar 14.5

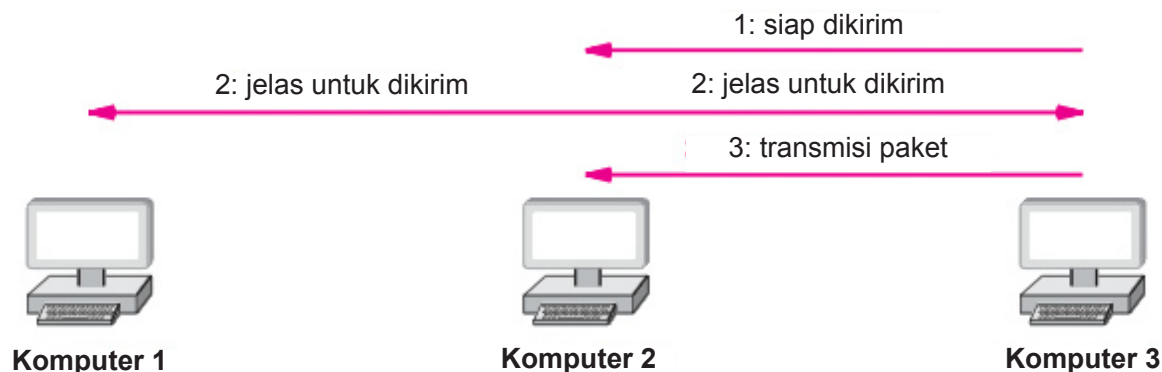


*Gambar 14.5 Tiga komputer dengan perangkat keras LAN nirkabel pada jarak maksimal.*

Pada gambar, komputer 1 dapat berkomunikasi dengan komputer 2, tetapi tidak dapat menerima sinyal dari komputer 3. Jadi, jika komputer 3 mengirimkan paket ke komputer 2, mekanisme carrier sense komputer 1 tidak akan mendeteksi transmisi. Demikian pula, jika komputer 1 dan 3 secara bersamaan mengirim, hanya komputer 2 yang akan mendeteksi tabrakan. Masalahnya kadang-kadang disebut masalah stasiun tersembunyi karena beberapa stasiun tidak terlihat oleh orang lain.

Untuk memastikan bahwa semua stasiun berbagi media transmisi dengan benar, LAN nirkabel menggunakan protokol akses yang dimodifikasi yang dikenal sebagai Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance (CSMA/CA). Alih-alih bergantung pada semua komputer lain untuk menerima semua

transmisi, CSMA/CA yang digunakan dengan LAN nirkabel memicu transmisi singkat dari penerima yang dituju sebelum mengirimkan paket. Idenya adalah jika pengirim dan penerima mengirimkan pesan, semua komputer dalam jangkauan keduanya akan mengetahui bahwa transmisi paket dimulai. Gambar 14.6 mengilustrasikan urutannya.



Gambar 14.6 Urutan pesan yang dikirim saat komputer 3 mengirimkan paket ke komputer 2.

Pada gambar, komputer 3 mengirim pesan singkat untuk mengumumkan bahwa ia siap mengirimkan paket ke komputer 2, dan komputer 2 merespons dengan mengirimkan pesan singkat yang mengumumkan bahwa ia siap menerima paket. Semua komputer di kisaran komputer 3 menerima pengumuman awal, dan semua komputer di kisaran komputer 2 menerima tanggapan. Akibatnya, meskipun tidak dapat menerima sinyal atau merasakan pembawa, komputer 1 mengetahui bahwa transmisi paket sedang berlangsung.

Tabrakan pesan kontrol dapat terjadi saat menggunakan CSMA/CA, tetapi dapat ditangani dengan mudah. Pada gambar, misalnya, jika komputer 1 dan 3 masing-masing mencoba mengirimkan paket ke komputer 2 pada waktu yang sama, pesan kontrol mereka akan bertabrakan. Komputer 2 akan mendeteksi tabrakan, dan tidak akan menjawab. Ketika tabrakan terjadi, stasiun pengirim menerapkan backoff acak sebelum mengirim ulang pesan kontrol. Karena pesan kontrol jauh lebih pendek daripada paket, kemungkinan tabrakan kedua rendah. Akhirnya, salah satu dari dua pesan kontrol tiba dengan utuh, dan komputer 2 mengirimkan respons.

### Poin Penting

*Karena komputer pada LAN nirkabel dapat menjangkau jarak yang lebih besar daripada yang dapat disebarkan oleh sinyal, LAN nirkabel menggunakan CSMA / CA di mana komputer pengirim dan penerima masing-masing mengirim pesan kontrol sebelum transmisi paket terjadi.*

## 14.7 Ringkasan

Lapisan MAC IEEE berisi protokol yang mengontrol akses ke media bersama. Protokol kanalisasi terdiri dari ekstensi waktu, frekuensi, dan multiplexing pembagian kode; ekstensi tersebut dikenal sebagai Multi-Akses Frekuensi, Waktu, dan Divisi Kode. Alokasi saluran statis atau dinamis dimungkinkan.

Protokol akses terkontrol memungkinkan stasiun independen untuk terlibat dalam multiplexing statistik. Polling menggunakan pengontrol pusat yang berulang kali memeriksa apakah stasiun siap mengirim

paket. Sistem reservasi, yang sering digunakan dengan satelit, memerlukan stasiun untuk menyatakan apakah mereka siap untuk putaran transmisi berikutnya. Token passing, sering digunakan dengan topologi ring, melewati pesan kontrol di antara stasiun; sebuah stasiun dapat mengirimkan paket ketika menerima token.

Protokol akses acak memungkinkan stasiun bersaing untuk mendapatkan akses. Protokol ALOHA yang bersejarah menggunakan dua frekuensi, satu untuk transmisi masuk dan satu untuk transmisi keluar; jika sebuah stasiun tidak menerima salinan pakatnya, stasiun tersebut mentransmisi ulang. Ethernet menggunakan Carrier Sense Multi-Access with Collision Detection (CSMA/CD) untuk mengizinkan akses ke kabel bersama. Selain mencegah sebuah stasiun mentransmisikan saat transmisi lain sedang berlangsung, protokol menggunakan backoff eksponensial biner untuk memulihkan dari tabrakan.

Karena beberapa stasiun tersembunyi dari yang lain, LAN nirkabel menggunakan Carrier Sense Multi-Access with Collision Avoidance (CSMA/CA). Sebelum transmisi paket dari satu komputer ke komputer lain, masing-masing dari dua komputer mengirimkan pesan kontrol singkat, yang memungkinkan semua komputer dalam jangkauan keduanya untuk mengetahui bahwa transmisi akan terjadi.

## Latihan

---

1. Jelaskan tiga pendekatan dasar yang digunakan untuk menengahi akses ke media bersama.
2. Berikan contoh jaringan yang menggunakan alokasi kanal dinamis.
3. Sebutkan tiga jenis utama saluran dan karakteristik masing-masing.
4. Jelaskan polling dan dua kebijakan polling umum.
5. Dalam sistem reservasi, bagaimana pengontrol membentuk daftar stasiun yang akan mengirim dalam putaran tertentu?
6. Apa itu token, dan bagaimana token digunakan untuk mengontrol akses jaringan?
7. Dalam protokol Aloha, apa yang terjadi jika dua stasiun mencoba transmisi simultan pada frekuensi masuk, dan bagaimana masalah tersebut ditangani?
8. Perluas akronim CSMA/CD, dan jelaskan setiap bagiannya.
9. Apa itu backoff eksponensial biner?
10. Mengapa CSMA/CD menggunakan penundaan acak? (Petunjuk: pikirkan banyak komputer identik di jaringan.)
11. Mengapa CSMA/CA diperlukan dalam jaringan nirkabel



---

### Bab ini akan membahas tentang:

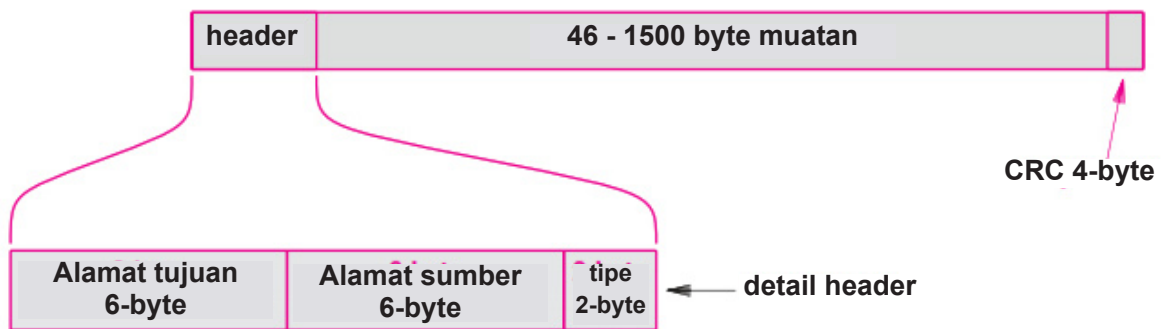
- teknologi jaringan packet switching
- model IEEE 802 yang digunakan dalam LAN
- pembagian Layer 2 menjadi sublayer Logical Link dan MAC
- skema pengalamatan 48-bit yang membentuk bagian penting dari sublapisan Logical Link.
- konsep-konsep dari bab-bab sebelumnya membentuk dasar Ethernet, teknologi LAN kabel yang mendominasi semua yang lain

### 15.1 Ethernet

Ingat dari Bab 14 bahwa Ethernet adalah teknologi LAN yang awalnya ditemukan di Xerox PARC dan kemudian distandarisasi oleh Digital Equipment Corporation, Intel, dan Xerox. Ethernet telah bertahan selama tiga puluh tahun. Meskipun perangkat keras, kabel, dan media yang digunakan dengan Ethernet telah berubah secara dramatis, banyak dari dasar-dasarnya tetap konstan. Salah satu aspek paling menarik dari evolusi Ethernet menyangkut cara versi Ethernet yang lebih baru tetap kompatibel ke belakang — versi baru dapat merasakan bentuk yang lebih lama dan secara otomatis beradaptasi untuk mengakomodasi teknologi yang lebih lama.

### 15.2 Format Bingkai Ethernet

Istilah format bingkai mengacu pada cara sebuah paket diatur, termasuk detail seperti ukuran dan arti masing-masing bidang. Alasan utama bahwa versi Ethernet yang lebih lama tetap kompatibel dengan versi yang lebih baru muncul dari format bingkai, yang tetap konstan sejak standar DIX dibuat pada 1970-an. Gambar 15.1 mengilustrasikan format dasar dan detail header bingkai.

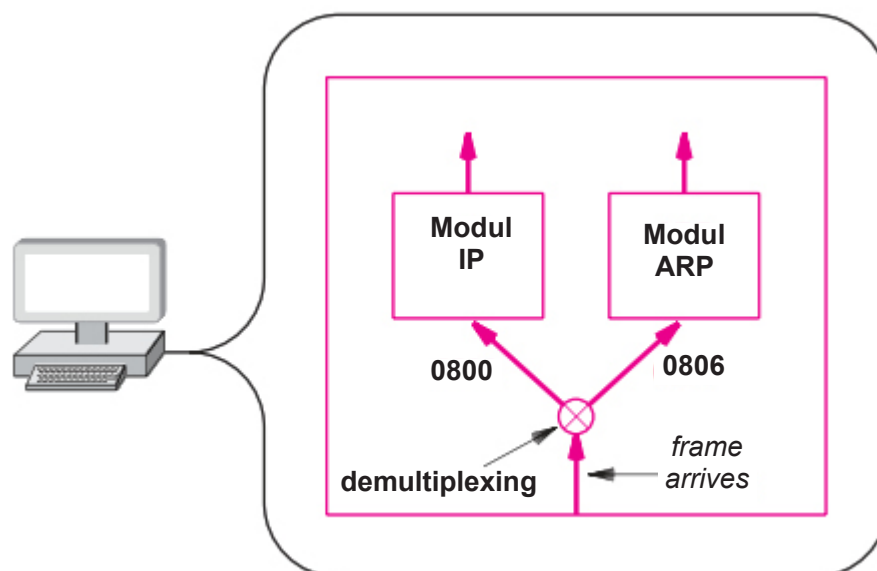


Gambar 15.1 Ilustrasi format bingkai Ethernet dan detail header.

Seperti yang ditunjukkan gambar, bingkai Ethernet terdiri dari header dengan panjang tetap, payload dengan panjang variabel, dan Cyclic Redundancy Check dengan panjang tetap. Header berisi tiga bidang: bidang alamat tujuan 48-bit yang memberikan alamat penerima yang dituju, bidang alamat sumber 48-bit yang berisi alamat komputer yang mengirim frame, dan bidang jenis 16-bit. .

### 15.3 Bidang Jenis Ethernet dan Demultiplexing

Bidang tipe dalam bingkai Ethernet menyediakan multiplexing dan demultiplexing yang memungkinkan komputer tertentu memiliki beberapa protokol yang beroperasi secara bersamaan. Sebagai contoh, bab selanjutnya menjelaskan bahwa protokol yang digunakan di Internet mengirim datagram IP dan pesan ARP melalui Ethernet. Masing-masing diberi tipe Ethernet yang unik (heksadesimal 0800 untuk datagram IP dan heksadesimal 0806 untuk pesan ARP). Saat mentransmisikan datagram dalam bingkai Ethernet, pengirim menetapkan tipe 0800. Ketika bingkai tiba di tujuannya, penerima memeriksa bidang tipe, dan menggunakan nilai untuk menentukan modul perangkat lunak mana yang harus memproses bingkai. Gambar 15.2 mengilustrasikan demultiplexing.

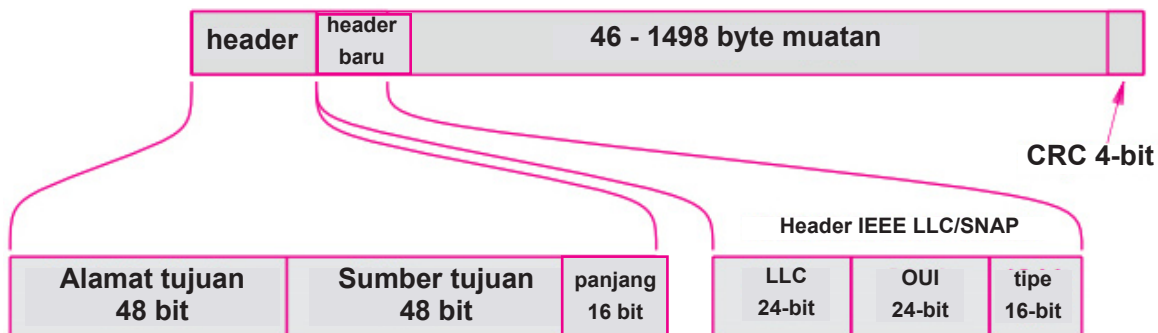


Gambar 15.2 Ilustrasi penggunaan bidang tipe bingkai untuk demultiplexing.

## 15.4 Versi Ethernet IEEE (802.3)

Menariknya, pada tahun 1983 IEEE mengembangkan standar untuk Ethernet dan mencoba mendefinisikan ulang format bingkai Ethernet†. Kelompok kerja IEEE yang menghasilkan standar tersebut diberi nomor 802.3, dan untuk membedakan standar IEEE dari yang lain, para profesional sering menyebutnya sebagai 802.3 Ethernet.

Perbedaan utama antara Ethernet konvensional dan Ethernet 802.3 muncul dari interpretasi bidang tipe. Standar 802.3 menafsirkan bidang tipe asli sebagai panjang paket, dan menambahkan header 8-byte tambahan yang berisi tipe paket. Header tambahan dikenal sebagai header Logical Link Control / Sub-Network Attachment Point (LLC / SNAP); kebanyakan profesional hanya menyebutnya header SNAP. Gambar 15.3 mengilustrasikan formatnya.



Gambar 15.3 Format bingkai IEEE 802.3 dengan header LLC/SNAP.

Seperti yang ditunjukkan gambar, ukuran bingkai keseluruhan di 802.3 Ethernet tetap sama seperti Ethernet konvensional: 1514 byte. Oleh karena itu, IEEE mengurangi payload maksimum dari 1500 byte menjadi 1492 byte. Kita dapat memikirkan header SNAP yang menempati 8 byte pertama dari area payload.

Agar kedua versi Ethernet tetap kompatibel, konvensi digunakan:

Jika byte 13-14 dari bingkai Ethernet berisi nilai numerik kurang dari 1500, bidang tersebut ditafsirkan sebagai panjang paket dan standar 802.3 berlaku; jika tidak, bidang tersebut ditafsirkan sebagai bidang tipe dan standar Ethernet asli berlaku.

## 15.5 Koneksi LAN dan Kartu Antarmuka Jaringan

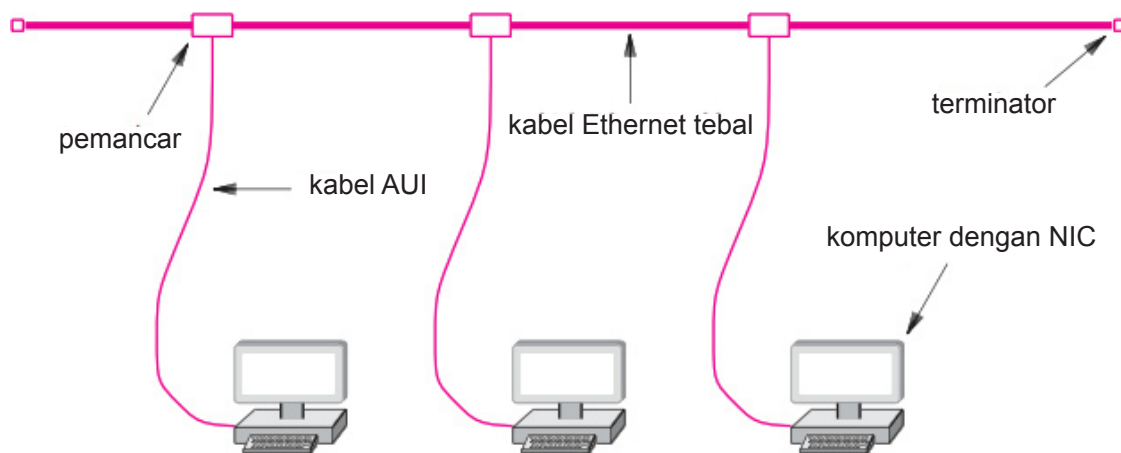
Dalam hal arsitektur komputer, LAN tampaknya menjadi perangkat I/O, dan terhubung ke komputer dengan cara yang sama seperti perangkat disk atau video. Artinya, Kartu Antarmuka Jaringan† (NIC) dihubungkan ke bus komputer. Logikanya, NIC menangani pengenalan alamat, perhitungan CRC, dan pengenalan bingkai (misalnya, NIC memeriksa alamat tujuan pada bingkai, dan mengabaikan bingkai yang tidak ditujukan untuk komputer). Selain itu, NIC terhubung ke jaringan, dan menangani detail komunikasi data (yaitu, mengirim dan menerima frame). Secara fisik, NIC terdiri dari papan sirkuit dengan colokan di satu sisi yang cocok dengan bus komputer dan konektor di sisi lain yang menerima steker yang sesuai untuk LAN tertentu. Sebagian besar komputer dilengkapi dengan NIC yang sudah terpasang. Namun, NIC tidak tergantung pada komputer lainnya, dan pengguna dapat memilih untuk mengganti NIC tanpa membuat perubahan lain.

## 15.6 Evolusi Ethernet dan Pengkabelan Thicknet

Sejak versi aslinya di tahun 1970-an, Ethernet telah mengalami beberapa perubahan besar, dengan perubahan paling signifikan pada media dan kabel. Skema pengkabelan Ethernet asli secara informal disebut Ethernet kabel tebal atau Thicknet karena media komunikasi terdiri dari kabel koaksial yang berat; istilah formal untuk pengkabelan adalah

10Dasar5. Perangkat keras yang digunakan dengan Thicknet dibagi menjadi dua bagian besar. NIC menangani aspek komunikasi digital, dan perangkat elektronik terpisah yang disebut transceiver yang terhubung ke kabel Ethernet dan menangani deteksi pembawa, konversi bit menjadi voltase yang sesuai untuk transmisi, dan konversi sinyal yang masuk ke bit.

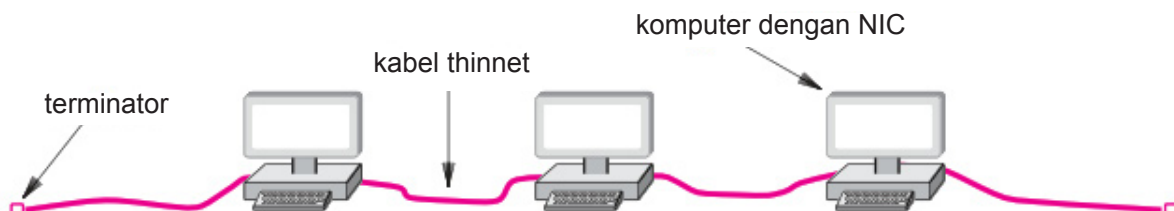
Kabel fisik yang dikenal sebagai Attachment Unit Interface (AUI) menghubungkan transceiver ke NIC di komputer. Sebuah transceiver biasanya jauh dari komputer. Misalnya, di gedung perkantoran, transceiver mungkin dipasang ke Ethernet di langit-langit lorong. Gambar 15.4 mengilustrasikan bagaimana kabel Thicknet asli menggunakan kabel AUI untuk menghubungkan komputer ke transceiver.



Gambar 15.4 Ilustrasi kabel Ethernet Thicknet asli.

## 15.7 Kabel Ethernet Thinnet

Generasi kedua dari kabel Ethernet dirancang yang menggunakan kabel koaksial yang lebih tipis dan lebih fleksibel daripada Thicknet. Secara resmi bernama 10Base2 dan secara informal dikenal sebagai Thinwire Ethernet atau Thinnet, skema pengkabelan berbeda secara dramatis dari Thicknet. Alih-alih menggunakan koneksi AUI antara komputer dan transceiver, Thinnet mengintegrasikan transceiver langsung pada Kartu Antarmuka Jaringan, dan menjalankan kabel koaksial dari satu komputer ke komputer lain. Gambar 15.5 mengilustrasikan pengkabelan Thinnet.



Gambar 15.5 Ilustrasi kabel Ethernet generasi kedua yang dikenal sebagai Thinnet.

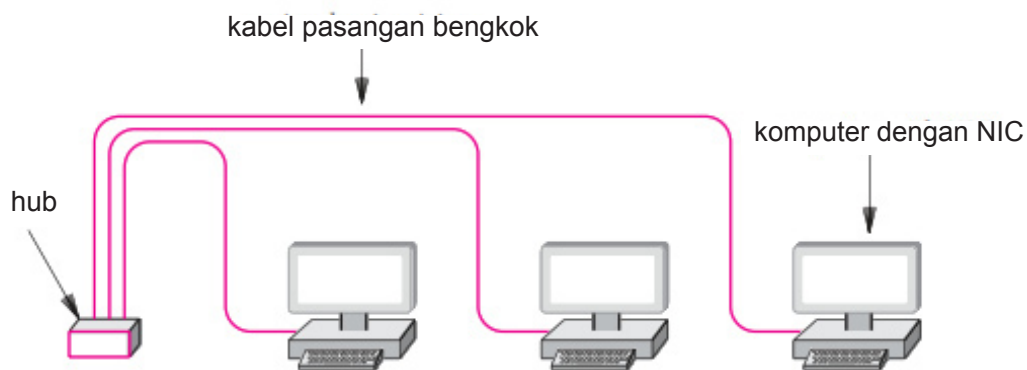
Thinnet memiliki kelebihan dan kekurangan. Keuntungan utama adalah biaya keseluruhan yang lebih rendah dan kemudahan pemasangan. Tidak ada transceiver eksternal yang diperlukan, dan kabel Thinnet dapat dipasang di jalur yang nyaman (misalnya, melintasi meja di antara komputer, di bawah lantai, atau di saluran). Kerugian utama muncul karena seluruh jaringan rentan — jika pengguna mencabut segmen jaringan untuk memindahkan kabel atau memindahkan komputer, seluruh jaringan akan berhenti bekerja.

## 15.8 Kabel dan Hub Ethernet Twisted Pair

Generasi ketiga dari kabel Ethernet membuat perubahan dramatis dalam dua cara: Sebagai pengganti kabel koaksial, generasi ketiga menggunakan perangkat elektronik pusat yang terpisah dari komputer yang terhubung ke jaringan.

Alih-alih berat, kabel terlindung, generasi ketiga menggunakan kabel twisted pair. Karena tidak menggunakan kabel koaksial, teknologi generasi ketiga secara informal dikenal sebagai Ethernet pasangan terpilin, dan telah menggantikan versi lain. Jadi, ketika seseorang sekarang mengacu pada Ethernet, mereka mengacu pada Ethernet twisted pair.

Untuk versi asli Ethernet twisted pair, perangkat elektronik yang berfungsi sebagai pusat interkoneksi dikenal sebagai hub. Hub tersedia dalam berbagai ukuran, dengan biaya sebanding dengan ukuran. Sebuah hub kecil memiliki empat atau delapan port yang masing-masing terhubung ke komputer atau perangkat lain (misalnya, printer). Hub yang lebih besar menampung ratusan koneksi. Gambar 15.6 mengilustrasikan skema pengkabelan.



Gambar 15.6 Ilustrasi Ethernet generasi ketiga menggunakan kabel twisted pair.

Komponen elektronik di hub meniru kabel fisik, membuat seluruh sistem beroperasi seperti Ethernet konvensional. Misalnya, komputer yang terhubung ke hub menggunakan CSMA/CD untuk mengakses jaringan, menerima salinan setiap frame, dan menggunakan alamat dalam frame untuk menentukan apakah akan memproses atau mengabaikan frame. Selanjutnya, Ethernet twisted pair mempertahankan format bingkai yang sama seperti versi sebelumnya. Faktanya, perangkat lunak di komputer tidak dapat membedakan antara Ethernet tebal, Ethernet tipis, dan Ethernet pasangan bengkok — antarmuka jaringan di komputer menangani detail dan menyembunyikan perbedaan apa pun.

## **Poin Penting**

---

*Kabel Ethernet pasangan terpilin menggunakan perangkat elektronik yang dikenal sebagai hub sebagai pengganti kabel bersama.*

## **15.9 Topologi Ethernet Fisik Dan Logika**

Ingatlah bahwa LAN diklasifikasikan menurut topologinya (yaitu, bentuk keseluruhan). Gambar 13.7 merangkum topologi utama. Muncul pertanyaan, “apa topologi Ethernet?”. Anehnya, jawabannya rumit.

Jelas, versi Ethernet Thicknet asli mengikuti topologi bus. Memang, Ethernet asli sering disebut sebagai contoh klasik topologi bus. Tampaknya Ethernet twisted pair mengikuti topologi bintang. Sebenarnya, istilah hub muncul untuk memperjelas konsep titik interkoneksi pusat. Namun, karena hub mengemulasi kabel fisik, sistem tampak bekerja seolah-olah komputer terhubung ke kabel. Faktanya, para profesional bercanda bahwa hub benar-benar menyediakan:

“bus dalam kotak”

Untuk memahami topologi Ethernet, kita harus membedakan antara topologi logis dan fisik. Logikanya, Ethernet twisted pair menggunakan topologi bus. Secara fisik, bagaimanapun, Ethernet twisted pair membentuk topologi berbentuk bintang.

## **Poin Penting**

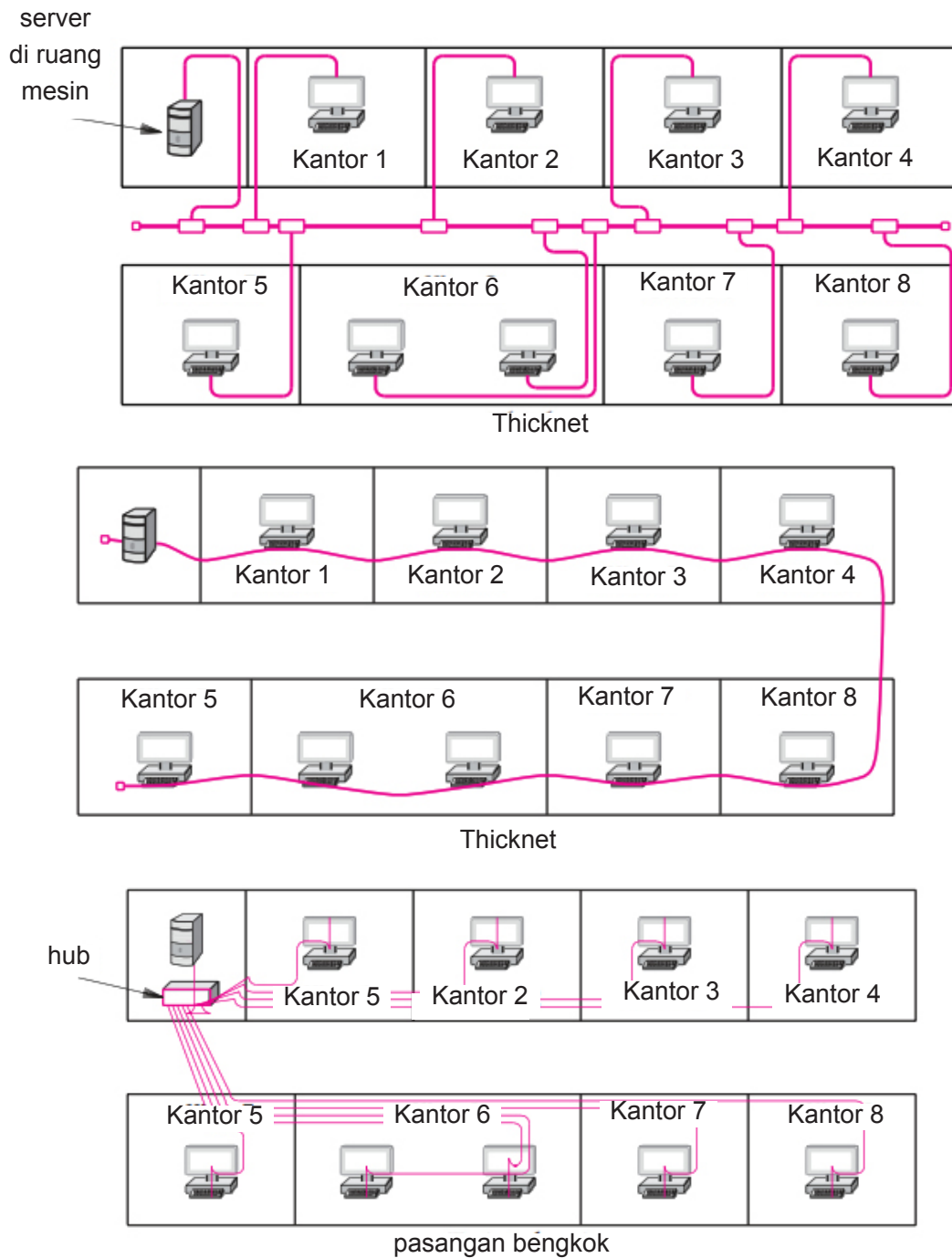
---

Membedakan antara topologi logis dan fisik memungkinkan kita untuk memahami bahwa Ethernet twisted pair menggunakan topologi fisik bintang, tetapi secara logis bertindak seperti bus.

## **15.10 Pengkabelan pada Gedung Perkantoran**

Gaya pengkabelan yang digunakan untuk LAN membuat sedikit perbedaan di ruang mesin atau laboratorium. Namun, ketika digunakan di gedung perkantoran, jenis kabel membuat perbedaan besar dalam hal jenis dan jumlah kabel yang dibutuhkan, jarak yang terbentang, dan biaya. Tiga versi kabel Ethernet menggambarkan tiga bentuk utama yang digunakan LAN. Gambar 15.7 menggambarkan pengkabelan di lantai gedung perkantoran.

Pada gambar, perhatikan bahwa Ethernet twisted pair memerlukan banyak kabel individu untuk pergi antara kantor dan titik pusat, yang dikenal sebagai lemari kabel. Dengan demikian, Ethernet pasangan terpilin memerlukan pelabelan kabel yang hati-hati.



Gambar 15.7 Ilustrasi berbagai skema pengkabelan LAN yang telah digunakan di gedung perkantoran.

## 15.12 Varian Twisted Pair Ethernet dan Kecepatan

Sejak Ethernet pasangan terpilin pertama kali muncul, peningkatan signifikan telah dilakukan dalam kualitas dan pelindung yang tersedia pada kabel pasangan terpilin. Akibatnya, kecepatan data yang digunakan pada Ethernet twisted pair telah meningkat. Tabel 15.1 merangkum tiga jenis Ethernet pasangan terpilin dan kabel yang digunakan masing-masing.



Tabel 15.1 Tiga jenis Ethernet twisted pair, kecepatan datanya, dan kabel yang digunakan masing-masing.

Kode	Nama	Kecepatan Data	Jenis kabel
10BaseT	Twisted Pair Ethernet	10 Mbps	Kategori 5
100BaseT	Fast Ethernet	100 Mbps	Kategori 5E
1000BaseT	Gigabit Ethernet	1 Gbps	Kategori 6

Seperti yang ditunjukkan gambar, versi pertama dari Ethernet twisted pair diberi sebutan resmi 10BaseT, di mana nilai 10 menunjukkan bahwa kecepatannya adalah 10 Mbps. Versi selanjutnya yang diperkenalkan dengan nama Fast Ethernet berjalan pada 100 Mbps, dan diberi sebutan resmi 100BaseT. Versi ketiga, disebut Gigabit Ethernet, beroperasi pada 1 Gbps (yaitu, 1000 Mbps). Profesional sering menyingkat nama sebagai Gig-E. Bab 17 menjelaskan bahwa teknologi Ethernet berkecepatan lebih tinggi menggunakan perangkat elektronik yang dikenal sebagai switch daripada hub. Selanjutnya, agar tetap kompatibel, standar untuk versi kecepatan lebih tinggi menentukan bahwa antarmuka harus secara otomatis merasakan kecepatan di mana koneksi dapat beroperasi, dan melambat untuk mengakomodasi perangkat yang lebih tua. Jadi, jika seseorang mencolokkan kabel Ethernet antara perangkat lama yang menggunakan 10BaseT dan perangkat baru yang menggunakan 1000BaseT, perangkat baru akan otomatis mendeteksi perbedaan dan memperlambat hingga 10 Mbps.

## 15.12 Konektor dan Kabel Twisted Pair

Twisted pair Ethernet menggunakan konektor RJ45, yang merupakan versi lebih besar dari konektor RJ11 yang digunakan untuk menghubungkan telepon. Konektor RJ45 hanya dapat dicolokkan ke soket satu arah, dan bagian fisik menahan konektor di tempatnya. Dengan demikian, konektor tidak dapat dicolokkan dengan benar, dan setelah dimasukkan, konektor tidak terlepas.

Kabel dapat dibeli dalam berbagai panjang dengan konektor RJ45 terpasang di setiap ujungnya, yang berarti bahwa sebagian besar pengguna tidak perlu membuat kabel. Namun, kebingungan muncul karena ada dua jenis kabel: lurus dan bersilang. Kabel silang, yang digunakan untuk menghubungkan dua sakelar, menghubungkan pin di satu ujung ke pin lain di ujung lainnya. Kabel lurus, yang digunakan antara komputer dan sakelar, menghubungkan setiap pin RJ45 yang terpasang ke salah satu ujung kabel secara langsung ke pin yang sesuai pada RJ45 di ujung lainnya. Dengan demikian, pin 1 terhubung ke pin 1, dan seterusnya. Meskipun perangkat keras antarmuka paling canggih dapat mendeteksi kabel yang salah dan beradaptasi, sebagian besar perangkat keras tidak akan berfungsi dengan benar jika kabel silang digunakan saat kabel lurus diperlukan. Untuk membantu teknisi membuat sambungan yang benar, masing-masing kabel dalam kabel Kategori 5 atau Kategori 6 dilapisi dengan plastik berwarna. Tabel 15.2 mencantumkan kode warna yang digunakan dengan kabel lurus.

Tabel 15.2 Daftar kode warna yang digunakan dengan konektor RJ45.

RJ45 Pin	Warna kabel	Fungsi
1	putih-hijau	TX_D1+
2	hijau	TX_D1-
3	putih-oranye	RX_D2+
4	biru	BI_D3+
5	putih-biru	BI_D3-
6	oranye	RX_D2-
7	putih-cokelat	BI_D4+
8	cokelat	BI_D4-

## 15.13 Ringkasan

Teknologi Ethernet, pertama kali ditemukan pada 1970-an, telah menjadi standar de facto untuk Jaringan Area Lokal berkabel. Frame Ethernet dimulai dengan header 14-byte yang berisi alamat tujuan 48-bit, alamat sumber 8-bit, dan bidang tipe 16-bit.

Meskipun standar IEEE 802.3 mencoba untuk mendefinisikan format bingkai baru dengan header 8-byte tambahan, versi IEEE jarang digunakan.

Bidang tipe Ethernet digunakan untuk demultiplexing setelah bingkai tiba di tujuannya. Saat membuat bingkai, pengirim menentukan jenisnya; penerima menggunakan tipe untuk menentukan modul mana yang harus memproses bingkai.

Meskipun format bingkai Ethernet tetap tidak berubah sejak standar pertama, kabel yang digunakan untuk Ethernet dan skema pengkabelan telah berubah secara dramatis. Ada tiga versi utama kabel Ethernet. Thicknet menggunakan kabel koaksial besar dengan transceiver terpisah dari komputer. Thinnet menggunakan kabel koaksial fleksibel yang mengalir dari komputer ke komputer, dan antarmuka jaringan di setiap komputer berisi transceiver. Twisted Pair Ethernet menggantikan kabel koaksial dengan perangkat elektronik yang disebut hub atau switch, dan menggunakan kabel twisted pair antara komputer dan hub. Sistem yang dihasilkan memiliki topologi bintang fisik dan topologi bus logis.

Seperti versi Ethernet sebelumnya, teknologi Twisted Pair pertama beroperasi pada 10 Mbps, dan diberi nama 10BaseT. Sebuah versi resmi bernama 100BaseT beroperasi pada 100 Mbps, dan dikenal secara komersial sebagai Fast Ethernet. Versi ketiga, disebut Gigabit Ethernet atau Gig-E, beroperasi pada 1000 Mbps, yang setara dengan 1 Gbps. Perangkat keras untuk Ethernet berkecepatan lebih tinggi secara otomatis mendeteksi ketika perangkat berkecepatan rendah terhubung, dan mengurangi kecepatan yang sesuai.

## Latihan

---

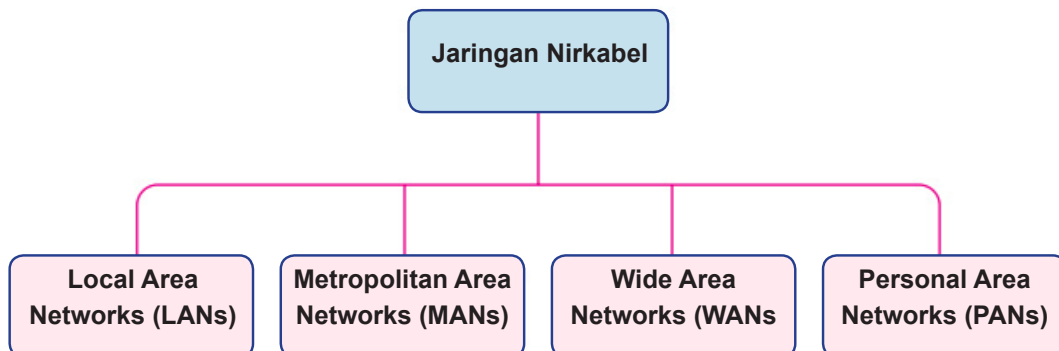
1. Berapa besar frame Ethernet maksimum, termasuk CRC?
2. Bagaimana kolom tipe di header Ethernet digunakan?
3. Dalam bingkai Ethernet 802.3, berapa ukuran muatan maksimum?
4. Bagaimana receiver dapat mengetahui apakah frame Ethernet menggunakan standar 802.3?
5. Saat digunakan, dimanakah letak header LLC/SNAP?
6. Bagaimana komputer terhubung ke Ethernet Thicknet?
7. Bagaimana komputer terhubung ke Thinnet Ethernet?
8. Apa yang dimaksud dengan hub Ethernet, dan kabel apa yang digunakan dengan hub?
9. Cari sakelar dan hub di Web. Jika Anda ditawarkan switch atau hub yang beroperasi pada bit rate yang sama dengan harga yang sama, mana yang akan Anda pilih? Mengapa?
10. Berikan contoh jaringan dengan topologi fisik dan logika yang berbeda.
11. Gaya kabel Ethernet mana yang membutuhkan lebih banyak kabel fisik di gedung perkantoran?
12. Kategori kabel twisted pair apa yang dibutuhkan untuk jaringan 10 Mbps? 100Mbps? 1000Mbps?

### Bab ini akan membahas tentang:

- teknologi jaringan dan penggunaannya dalam sistem packet switching
- komunikasi nirkabel digunakan di berbagai jarak
- karakteristik jaringan nirkabel

### 16.1 Taksonomi Jaringan Nirkabel

Komunikasi nirkabel berlaku di berbagai jenis dan ukuran jaringan. Sebagian dari motivasi keragaman muncul dari peraturan pemerintah yang membuat rentang spektrum elektromagnetik tertentu tersedia untuk komunikasi. Lisensi diperlukan untuk mengoperasikan peralatan transmisi di beberapa bagian spektrum, dan bagian lain dari spektrum tidak berlisensi. Banyak teknologi nirkabel telah dibuat, dan varian baru terus bermunculan. Teknologi nirkabel dapat diklasifikasikan secara luas menurut jenis jaringan, seperti yang diilustrasikan taksonomi pada Gambar 16.1.



Gambar 16.1 Taksonomi teknologi jaringan nirkabel.

## 16.2 Jaringan Area Pribadi (PAN)

Selain tiga jenis jaringan yang dijelaskan dalam Bab 13 (LAN, MAN, dan WAN), jaringan nirkabel mencakup Personal Area Networks (PANs). Teknologi PAN menyediakan komunikasi jarak pendek, dan dimaksudkan untuk digunakan dengan perangkat yang dimiliki dan dioperasikan oleh satu pengguna. Misalnya, PAN dapat menyediakan komunikasi antara headset nirkabel dan ponsel. Teknologi PAN juga digunakan antara komputer dan mouse atau keyboard nirkabel terdekat.

Teknologi PAN dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori besar. Tiga tipe dasar teknologi Personal Area Network nirkabel..

- **Bluetooth**

Komunikasi melalui jarak pendek antara perangkat periferai kecil seperti headset atau mouse dan sistem seperti ponsel atau komputer

- **Inframerah / InfraRed**

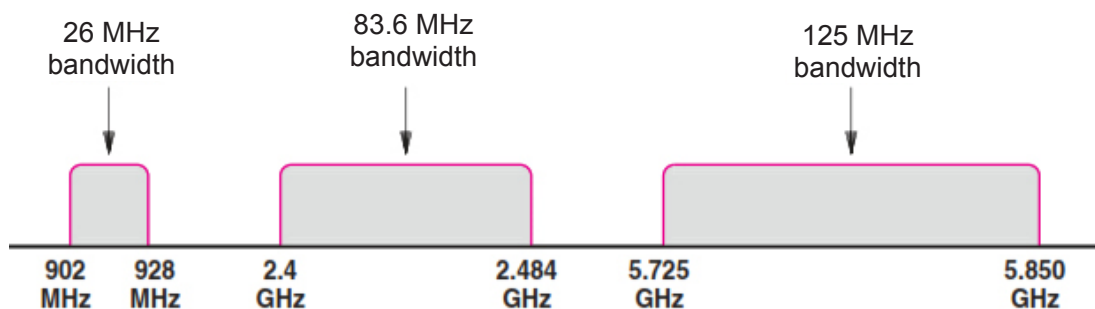
Komunikasi garis pandang antara perangkat kecil, sering kali pengontrol genggam, dan sistem terdekat seperti komputer atau pusat hiburan

- **ISM wireless**

Komunikasi nirkabel ISM menggunakan frekuensi yang disisihkan untuk perangkat Ilmiah dan Medis Industri, lingkungan di mana interferensi elektromagnetik mungkin ada

## 16.3 Pita Nirkabel ISM Digunakan oleh LAN dan PAN

Pemerintah telah mencadangkan tiga bidang spektrum elektromagnetik untuk digunakan oleh kelompok Industri, Ilmiah, dan Medis. Dikenal sebagai nirkabel ISM, frekuensi tidak dilisensikan ke operator tertentu, tersedia secara luas untuk produk, dan digunakan untuk LAN dan PAN. Gambar 16.3 mengilustrasikan rentang frekuensi ISM.



Gambar 16.3 Blok frekuensi yang membentuk pita ISM dan bandwidth masing-masing.

## 16.5 Teknologi LAN Nirkabel Dan Wi-Fi

Berbagai teknologi LAN nirkabel ada yang menggunakan berbagai frekuensi, teknik modulasi, dan kecepatan data. IEEE menyediakan sebagian besar standar, yang dikategorikan sebagai IEEE 802.11. Pada tahun 1999, sekelompok vendor yang membangun peralatan nirkabel membentuk Wi-Fi Alliance, sebuah organisasi nirlaba yang menguji dan mensertifikasi peralatan nirkabel menggunakan standar 802.11. Karena aliansi telah menerima pemasaran yang luas, sebagian besar konsumen

mengasosiasikan LAN nirkabel dengan istilah Wi-Fi. Tabel 16.1 mencantumkan standar IEEE utama yang termasuk dalam Wi-Fi Alliance.

Gambar 16.4 Standar nirkabel utama yang disertifikasi oleh Wi-Fi Alliance.

Standar IEEE	Frekuensi Band	Kecepatan Data	Teknik Modulasi	Teknik Multiplexing
original 802.11	2.4 GHz	1 or 2 Mbps	FSK	DSSS
	2.4 GHz	1 or 2 Mbps	FSK	FHSS
	InfraRed	1 or 2 Mbps	PPM	– none –
802.11a	5.725 GHz	6 to 54 Mbps	PSK or QAM	OFDM
802.11b	2.4 GHz	5.5 and 11 Mbps	PSK	DSSS
802.11g	2.4 GHz	22 and 54 Mbps	various	OFDM

Meskipun frase wireless fidelity awalnya muncul dalam iklannya, aliansi tersebut telah menghapus frase tersebut dan tidak memberikan penjelasan untuk nama tersebut.

## 16.5 Teknik Spread Spectrum

Bab 11 memperkenalkan istilah spread spectrum, dan menjelaskan bahwa transmisi spread spectrum menggunakan beberapa frekuensi untuk mengirim data. Artinya, pengirim menyebarkan data di beberapa frekuensi, dan penerima menggabungkan informasi yang diperoleh dari beberapa frekuensi untuk mereproduksi data asli.

Secara umum, spread spectrum dapat digunakan untuk mencapai salah satu dari dua tujuan berikut:

- Meningkatkan kinerja secara keseluruhan
- Membuat transmisi lebih kebal terhadap kebisingan

Tabel 16.2 merangkum tiga teknik multiplexing utama yang digunakan dalam Jaringan nirkabel Wi-Fi.

Tabel 16.2 Teknik multiplexing utama yang digunakan dengan Wi-Fi.

Nama	Kepanjangan	Keterangan
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum	Mirip dengan CDMA di mana pengirim mengalikan data keluar dengan urutan untuk membentuk beberapa frekuensi dan penerima mengalikan dengan urutan yang sama untuk memecahkan kode
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum	Pengirim menggunakan urutan frekuensi untuk mengirimkan data, dan penerima menggunakan urutan frekuensi yang sama untuk mengekstrak data

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Sebuah skema multiplexing divisi frekuensi di mana pita transmisi dibagi menjadi banyak operator sedemikian rupa sehingga operator tidak mengganggu
------	--	---

Setiap teknik memiliki kelebihan. OFDM menawarkan fleksibilitas terbesar. DSSS memiliki kinerja yang baik, dan FHSS membuat transmisi lebih kebal terhadap noise. Jadi, ketika teknologi nirkabel didefinisikan, perancang memilih teknik multiplexing yang sesuai. Misalnya, dua versi standar 802.11 yang asli dibuat untuk mengakomodasi DSSS dan FHSS.

### **Poin Penting**

*Teknik spread spectrum dapat membantu fungsi LAN nirkabel di lingkungan yang bising.*

## **16.6 Standar LAN Nirkabel Lainnya**

IEEE telah menciptakan banyak standar jaringan nirkabel yang menangani berbagai jenis komunikasi. Setiap standar menentukan rentang frekuensi, modulasi dan multiplexing yang akan digunakan, dan kecepatan data. Tabel 16.3 mencantumkan standar utama yang telah dibuat atau diusulkan, dan memberikan deskripsi singkat masing-masing.

*Tabel 16.3 Standar utama 802.11 dan tujuan masing-masing.*

<b>Standar</b>	<b>Keterangan</b>
802.11e	Peningkatan kualitas layanan, seperti jaminan jitter rendah
802.11h	Seperti 802.11a, tetapi menambahkan kontrol spektrum dan daya (terutama ditujukan untuk digunakan di Eropa)
802.11i	Keamanan yang ditingkatkan, termasuk Standar Enkripsi Lanjutan; versi lengkapnya dikenal sebagai WPA2
802.11k	Akan menyediakan manajemen sumber daya radio, termasuk daya transmisi
802.11n	Data rate lebih dari 100 Mbps untuk menangani multimedia (video) aplikasi (mungkin 500 Mbps)
802.11p	Dedicated Short-Range Communication (DSRC) antara kendaraan di jalan raya dan kendaraan-ke-pinggir jalan
802.11r	Peningkatan kemampuan untuk menjelajah di antara titik akses tanpa kehilangan konektivitas
802.11s	Diusulkan untuk jaringan mesh di mana satu set node secara otomatis membentuk jaringan dan melewati paket

Pada tahun 2007, IEEE "menggulung" banyak standar 802.11 yang ada menjadi satu dokumen yang dikenal sebagai 802.11-2007. Dokumen menjelaskan dasar-dasar, dan memiliki lampiran untuk setiap varian.

### **Poin Penting**

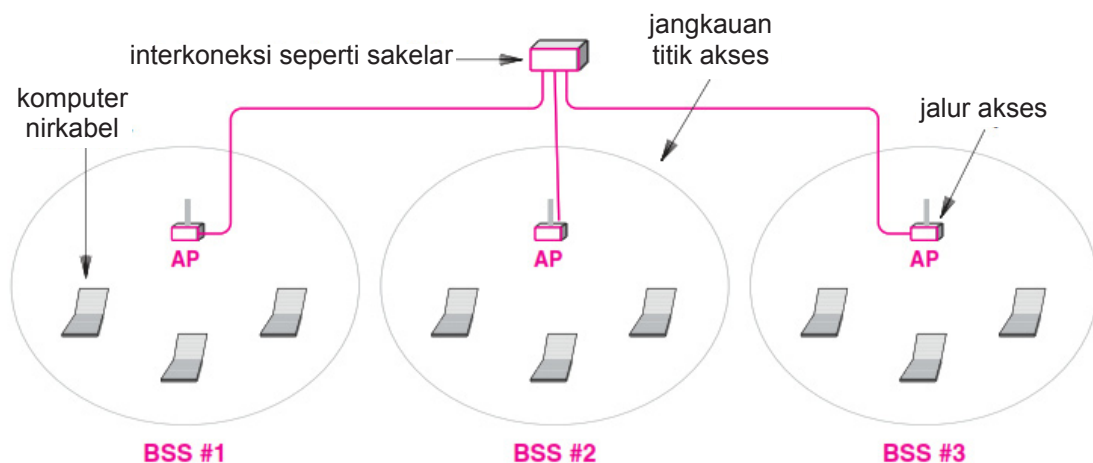
*Banyak varian 802.11 telah dibuat atau diusulkan; masing-masing menawarkan beberapa keuntungan.*

## 16.7 Arsitektur LAN Nirkabel

Tiga blok bangunan LAN nirkabel adalah: titik akses, yang secara informal disebut stasiun pangkalan, mekanisme interkoneksi, seperti sakelar atau router yang digunakan untuk menghubungkan titik akses, dan satu set host nirkabel, juga disebut node nirkabel atau stasiun nirkabel. Pada prinsipnya, dua jenis LAN nirkabel dimungkinkan:

- Ad hoc — host nirkabel berkomunikasi di antara mereka sendiri tanpa stasiun pangkalan
- Infrastruktur — host nirkabel hanya berkomunikasi dengan titik akses, dan titik akses menyampaikan semua paket

Dalam praktiknya, hanya ada sedikit jaringan ad hoc. Sebagai gantinya, organisasi atau penyedia layanan menyebarkan satu set titik akses, dan setiap host nirkabel berkomunikasi melalui salah satu titik akses. Misalnya, perusahaan swasta atau universitas mungkin menyebarkan titik akses di seluruh gedungnya. Gambar 16.4 mengilustrasikan arsitekturnya.



Gambar 16.4 Ilustrasi arsitektur infrastruktur untuk LAN nirkabel.

Koneksi kabel yang meluas ke titik akses biasanya terdiri dari Ethernet pasangan terpilih. Himpunan komputer dalam jangkauan titik akses yang diberikan dikenal sebagai Basic Service Set (BSS)†. Pada gambar, terdapat tiga Set Layanan Dasar, satu untuk setiap titik akses.

### Poin Penting

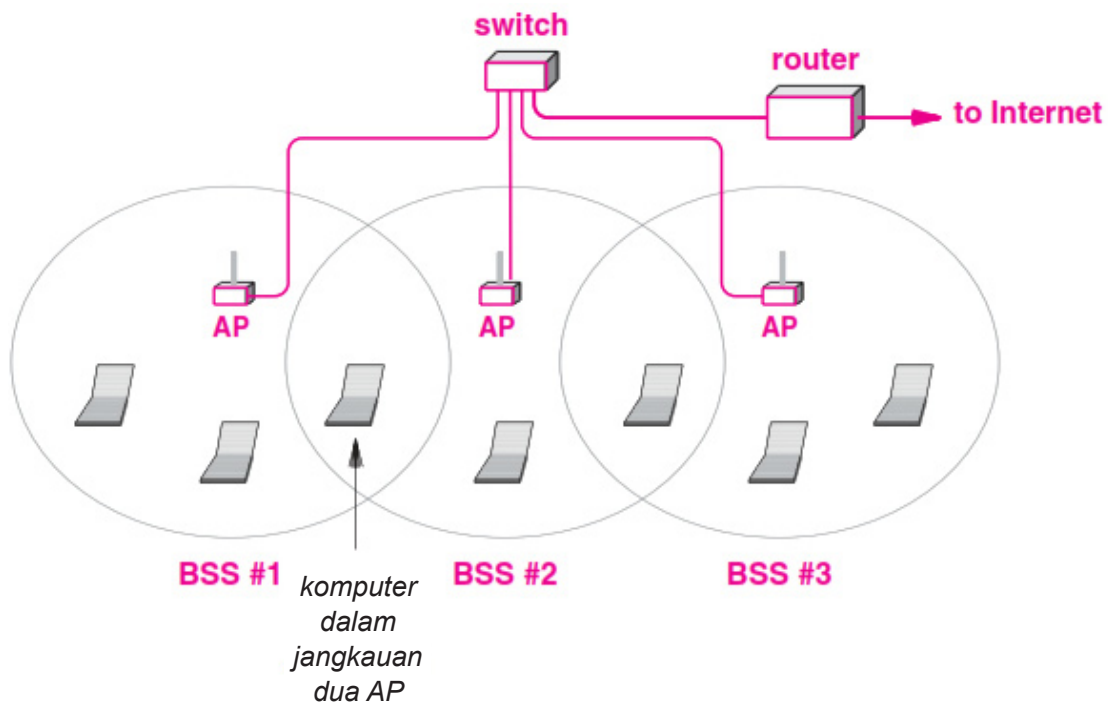
*Kebanyakan LAN nirkabel menggunakan arsitektur infrastruktur di mana komputer nirkabel berkomunikasi melalui titik akses (base station).*

## 16.9 Tumpang Tindih, Asosiasi, dan Format Bingkai 802.11

Dalam praktiknya, banyak detail yang memperumit arsitektur infrastruktur. Di satu sisi, jika sepasang titik akses terlalu berjauhan, zona mati akan ada di antara mereka (yaitu, lokasi fisik tanpa konektivitas nirkabel). Di sisi lain, jika sepasang titik akses terlalu berdekatan, tumpang tindih akan terjadi di mana host nirkabel dapat mencapai kedua titik akses. Selain itu, sebagian besar LAN nirkabel

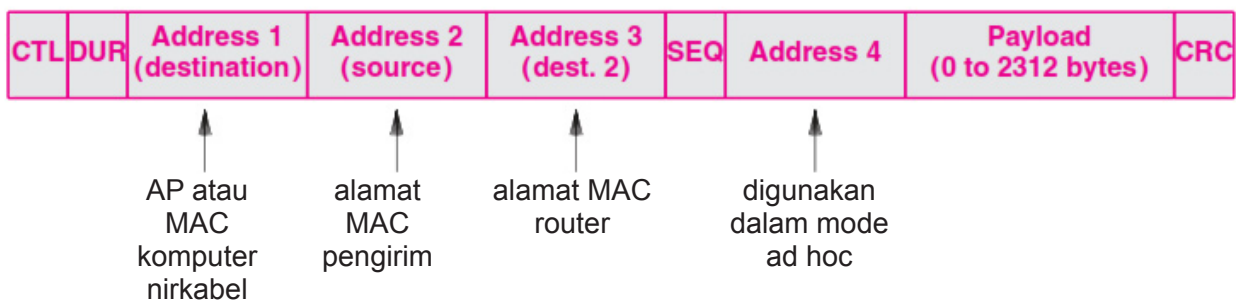


terhubung ke Internet. Dengan demikian, mekanisme interkoneksi biasanya memiliki koneksi kabel tambahan ke router Internet. Gambar 16.5 mengilustrasikan arsitekturnya.



Gambar 16.5 Ilustrasi infrastruktur dengan wilayah yang tumpang tindih.

Untuk menangani tumpang tindih, jaringan 802.11 memerlukan host nirkabel untuk diasosiasikan dengan satu titik akses. Artinya, host nirkabel mengirimkan frame ke titik akses tertentu, yang meneruskan frame di seluruh jaringan. Gambar 16.6 mengilustrasikan format bingkai 802.11, dan menunjukkan bahwa ketika digunakan dengan arsitektur infrastruktur, bingkai membawa alamat MAC dari titik akses serta alamat router Internet.



Gambar 16.6 Format bingkai yang digunakan dengan LAN nirkabel 802.11.

## 16.10 Koordinasi Antar Titik Akses

Muncul pertanyaan menarik: sejauh mana titik akses perlu dikoordinasikan? Banyak desain titik akses awal yang kompleks. Titik akses terkoordinasi untuk menyediakan mobilitas tanpa batas yang serupa dengan sistem telepon seluler. Yaitu, titik akses yang dikomunikasikan di antara mereka sendiri untuk memastikan kelancaran pemindahan saat komputer nirkabel dipindahkan dari wilayah satu titik akses ke wilayah lain. Misalnya, beberapa desain mengukur kekuatan sinyal, dan mencoba untuk

memindahkan node nirkabel ke titik akses baru ketika sinyal yang diterima di titik akses baru melebihi kekuatan sinyal di titik akses yang ada.

Sebagai alternatif, beberapa vendor mulai menawarkan biaya yang lebih rendah, jalur akses yang tidak terlalu rumit yang tidak terkoordinasi. Vendor berpendapat bahwa kekuatan sinyal tidak memberikan ukuran mobilitas yang valid, bahwa komputer bergerak dapat menangani perubahan dari satu titik akses ke titik akses lainnya, dan bahwa infrastruktur kabel yang menghubungkan titik akses memiliki kapasitas yang cukup untuk memungkinkan koordinasi yang lebih terpusat. Desain titik akses yang tidak terlalu rumit sangat sesuai dalam situasi di mana instalasi terdiri dari satu titik akses.

### **Poin Penting**

*Ada dua pendekatan dasar: titik akses kompleks berkoordinasi untuk memastikan kelancaran handoff atau titik akses berbiaya lebih rendah beroperasi secara independen dan bergantung pada komputer nirkabel untuk mengubah asosiasinya dari satu titik akses ke titik akses lainnya.*

## **16.11 Akses Bebas Pertikaian Dan Perdebatan**

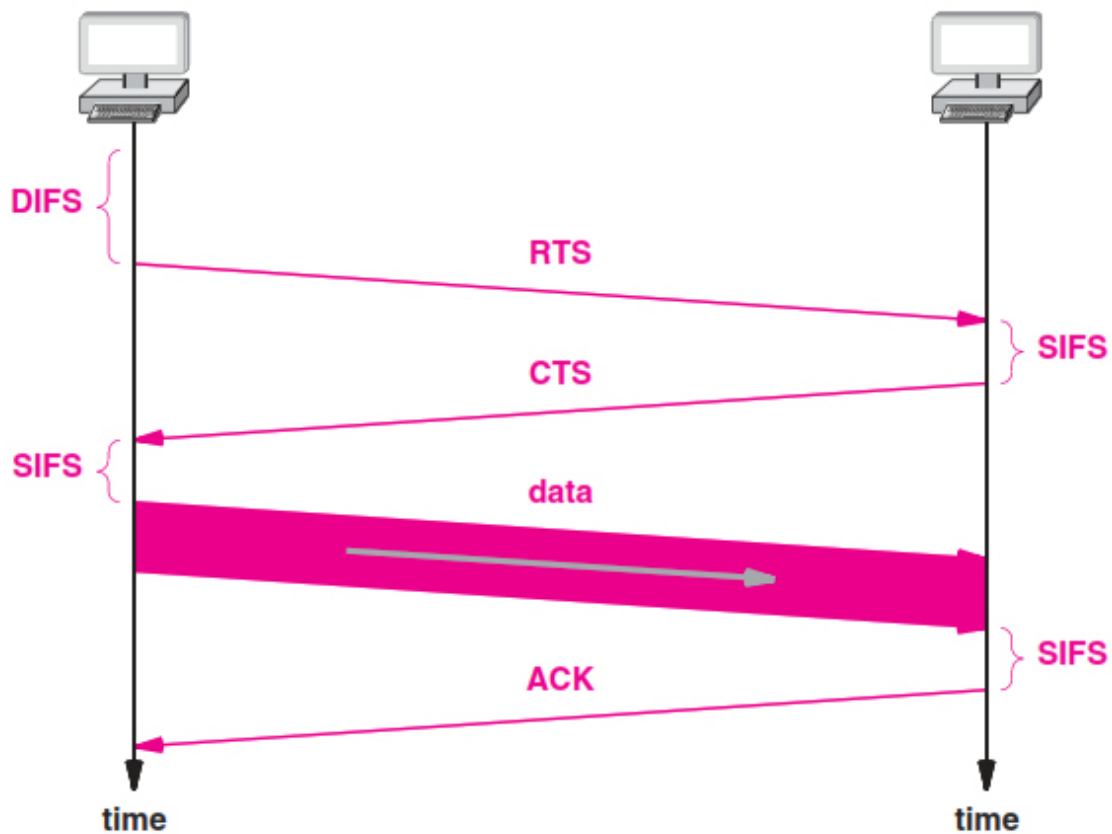
Standar 802.11 yang asli mendefinisikan dua pendekatan umum untuk akses saluran. Mereka dapat dicirikan sebagai:

- Point Coordinated Function (PCF) untuk layanan bebas pertengkaran
- Distributed Coordinated Function (DCF) untuk layanan berbasis contention

Layanan terkoordinasi titik berarti bahwa titik akses mengontrol stasiun di Basic Service Set (BSS) untuk memastikan bahwa transmisi tidak mengganggu satu sama lain. Misalnya, titik akses dapat menetapkan frekuensi terpisah untuk setiap stasiun. Dalam praktiknya, PCF tidak pernah digunakan. Fungsi terkoordinasi terdistribusi mengatur setiap stasiun dalam BSS untuk menjalankan protokol akses acak. Ingat dari Bab 14 bahwa jaringan nirkabel dapat mengalami masalah stasiun tersembunyi, di mana dua stasiun dapat berkomunikasi tetapi stasiun ketiga hanya dapat menerima sinyal dari salah satunya. Ingat juga bahwa untuk mengatasi masalah tersebut, jaringan 802.11 menggunakan Carrier Sense Multi-Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) yang membutuhkan pasangan untuk bertukar pesan Ready To Send (RTS) dan Clear To Send (CTS) sebelum mengirimkan paket. Standar 802.11 mencakup beberapa detail yang Bab 14 menghilangkan. Misalnya, standar mendefinisikan tiga parameter waktu sebagai berikut:

- SIFS — Ruang Antar-Frame Pendek 10 sec
- DIFS — Ruang Antar-Frame Terdistribusi 50 sec
- Slot Waktu 20 sec

Secara intuitif, parameter SIFS menentukan berapa lama stasiun penerima menunggu sebelum mengirim ACK atau respons lainnya; parameter DIFS, yang sama dengan SIFS ditambah dua Slot Times, menentukan berapa lama saluran harus menganggur sebelum stasiun dapat mencoba transmisi. Gambar 16.7 mengilustrasikan bagaimana parameter digunakan dalam transmisi paket.



Gambar 16.7 Ilustrasi CSMA/CA dengan waktu SIFS dan DIFS.

### Poin Penting

Teknik CSMA/CA yang digunakan dalam jaringan Wi-Fi mencakup parameter waktu yang menentukan berapa lama stasiun menunggu sebelum mengirim paket awal dan berapa lama stasiun menunggu sebelum mengirim balasan.

Pemisahan fisik antara stasiun dan kebisingan listrik membuat sulit untuk membedakan antara sinyal lemah, interferensi, dan tabrakan. Oleh karena itu, jaringan Wi-Fi tidak menggunakan deteksi tabrakan. Artinya, perangkat keras tidak mencoba untuk merasakan gangguan selama transmisi. Sebaliknya, pengirim menunggu pesan pengakuan (ACK). Jika tidak ada ACK yang datang, pengirim menganggap transmisi hilang, dan menggunakan strategi backoff yang mirip dengan strategi yang digunakan untuk Ethernet kabel. Dalam prakteknya, jaringan 802.11 yang memiliki sedikit pengguna dan tidak mengalami gangguan listrik jarang membutuhkan transmisi ulang. Namun, jaringan 802.11 lainnya sering mengalami kehilangan paket dan bergantung pada transmisi ulang.

## 16.12 Teknologi MAN Nirkabel dan WiMax

Secara umum, teknologi MAN belum berhasil secara komersial. Salah satu teknologi MAN nirkabel menonjol karena memiliki potensi untuk sukses. Teknologi ini distandarisi oleh IEEE di

bawah kategori 802.16. Sekelompok perusahaan menciptakan istilah WiMAX, yang diartikan sebagai Interoperabilitas Seluruh Dunia untuk Akses Microwave, dan membentuk Forum WiMAX untuk mempromosikan penggunaan teknologi tersebut. Dua versi utama WiMAX sedang dikembangkan dengan pendekatan yang berbeda secara keseluruhan. Keduanya biasa disebut sebagai:

- WiMAX tetap
- WiMAX seluler

**Fixed WiMAX** mengacu pada sistem yang dibangun menggunakan standar IEEE 802.16-2004, yang secara informal disebut 802.16d. Istilah tetap muncul karena teknologi tidak menyediakan handoff di antara titik akses. Dengan demikian, ini dirancang untuk menyediakan koneksi antara penyedia layanan dan lokasi tetap, seperti tempat tinggal atau gedung perkantoran, bukan antara penyedia dan ponsel.

**Mobile WiMAX** mengacu pada sistem yang dibangun menurut standar 802.16e-2005, yang secara informal disingkat 802.16e. Sesuai dengan istilah mobile, teknologi ini menawarkan handoff antara access point, yang berarti sistem mobile WiMAX dapat digunakan dengan perangkat portabel seperti komputer laptop atau ponsel. WiMAX menawarkan komunikasi broadband yang dapat digunakan dalam berbagai cara. Beberapa penyedia layanan berencana untuk menggunakan WiMAX sebagai teknologi akses Internet yang menjangkau mil terakhir. Yang lain melihat potensi WiMAX untuk menyediakan interkoneksi tujuan umum di antara situs fisik, terutama di kota. Jenis interkoneksi lainnya dikenal sebagai backhaul — koneksi antara fasilitas jaringan pusat penyedia layanan dan lokasi terpencil, seperti menara seluler. Potensi penggunaan teknologi WiMAX.

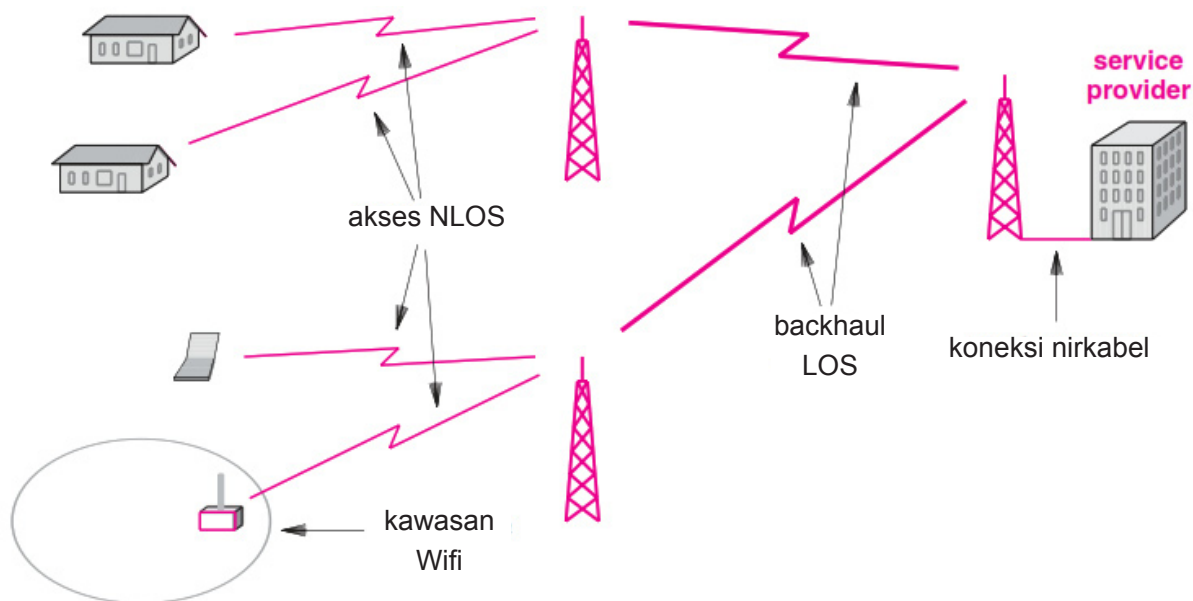
### Mengakses

- Alternatif last-mile untuk DSL atau modem kabel
- Interkoneksi berkecepatan tinggi untuk pengguna nomaden
- Akses data dan telekomunikasi terpadu
- Sebagai cadangan untuk koneksi Internet situs

### interkoneksi

- Backhaul dari titik akses Wi-Fi ke penyedia
- Koneksi pribadi antar situs perusahaan
- Koneksi antara ISP kecil dan besar

Secara umum, penyebaran WiMAX yang digunakan untuk backhaul akan memiliki kecepatan data tertinggi, dan akan menggunakan frekuensi yang memerlukan Line-Of-Sight (LOS) yang jelas antara dua entitas yang berkomunikasi. Stasiun LOS biasanya dipasang di menara atau di atas gedung. Meskipun penyebaran yang digunakan untuk akses Internet dapat menggunakan WiMAX tetap atau seluler, penyebaran tersebut biasanya menggunakan frekuensi yang tidak memerlukan LOS. Dengan demikian, mereka diklasifikasikan sebagai Non-Line-Of-Sight (NLOS). Gambar 16.8 mengilustrasikan dua penerapan.



Gambar 16.8 Ilustrasi WiMAX yang digunakan untuk akses dan backhaul.

Fitur utama WiMAX dapat diringkas sebagai berikut:

- Menggunakan spektrum berlisensi (yaitu, ditawarkan oleh operator) Setiap sel dapat mencakup radius 3 hingga 10 Km
- Menggunakan FDM ortogonal yang dapat diskalakan
- Menjamin kualitas layanan (untuk suara atau video)
- Dapat mengangkut 70 Mbps di setiap arah pada jarak pendek
- Menyediakan 10 Mbps jarak jauh (10 Km)

### Poin Penting

WiMAX adalah teknologi LAN nirkabel yang dapat digunakan untuk akses backhaul, fixed, atau mobile; penyebaran untuk akses tidak memerlukan garis pandang yang jelas.

## 16.13 Teknologi Dan Standar PAN

IEEE telah menetapkan nomor 802.15 untuk standar PAN. Beberapa kelompok tugas dan konsorsium industri telah dibentuk untuk masing-masing teknologi PAN utama. Tabel 16.4 mencantumkan standar PAN utama.

Tabel 16.4 Standar IEEE PAN.

Standar	Keterangan
802.15.1a	Teknologi Bluetooth (1 Mbps; 2.4 GHz)
802.15.2	Koeksistensi antar PAN (noninterferensi)
802.15.3	PAN tingkat tinggi (55 Mbps; 2.4 GHz)
802.15.3a	Ultra Wideband (UWB) kecepatan tinggi PAN (110 Mbps; 2.4 GHz)

802.15.4	Teknologi Zigbee – PAN kecepatan data rendah untuk kendali jarak jauh
802.15.4a	Alternatif PAN kecepatan data rendah yang menggunakan daya rendah

Bluetooth. Standar IEEE 802.15.1a berkembang setelah vendor menciptakan teknologi Bluetooth sebagai teknologi koneksi nirkabel jarak pendek. Ciri-ciri teknologi Bluetooth adalah:

- Pengganti nirkabel untuk kabel (misalnya, headphone atau mouse) Menggunakan pita frekuensi 2,4 GHz
- Jarak pendek (hingga 5 meter, dengan variasi yang memperpanjang jangkauan hingga 10 atau 50 meter)
- Perangkat adalah master atau budak
- Tuan memberikan izin kepada budak
- Kecepatan data hingga 721 Kbps

Ultra Wideband (UWB). Gagasan di balik komunikasi UWB adalah bahwa penyebaran data di banyak frekuensi membutuhkan daya yang lebih kecil untuk mencapai jarak yang sama. Karakteristik utama dari UWB adalah:

- Menggunakan spektrum frekuensi yang luas
- Mengonsumsi daya yang sangat rendah
- Jarak pendek (2 sampai 10 meter)
- Sinyal menembus rintangan seperti dinding
- Kecepatan data 110 pada 10 meter, dan hingga 500 Mbps pada 2 meter
- IEEE tidak dapat menyelesaikan perselisihan dan membentuk standar tunggal

Zigbee. Standar Zigbee (802.15.4) muncul dari keinginan untuk menstandarisasi teknologi remote control nirkabel, terutama untuk peralatan industri. Karena unit remote control hanya mengirim perintah singkat, kecepatan data yang tinggi tidak diperlukan. Karakteristik utama Zigbee adalah:

- Standar nirkabel untuk remote control, bukan data
- Targetnya adalah industri serta otomatisasi rumah
- Tiga pita frekuensi yang digunakan (868 MHz, 915 MHz, dan 2,4 GHz) Kecepatan data 20, 40, atau 250 Kbps, tergantung pada pita frekuensi Konsumsi daya rendah
- Tiga tingkat keamanan sedang ditentukan

## 16.14 Teknologi Komunikasi Jarak Pendek Lainnya

Meskipun biasanya tidak dikelompokkan dengan PAN nirkabel, dua teknologi nirkabel lainnya menyediakan komunikasi jarak pendek. Teknologi InfraRED menyediakan kontrol dan komunikasi data berkecepatan rendah, dan teknologi RFID digunakan dengan sensor.

**Inframerah.** Teknologi InfraRED sering digunakan dalam kendali jarak jauh, dan dapat digunakan sebagai pengganti kabel (misalnya, untuk mouse nirkabel). Asosiasi Data Inframerah (IrDA) telah

menghasilkan seperangkat standar yang diterima secara luas. Karakteristik utama dari teknologi IrDA adalah:

- Keluarga standar untuk berbagai kecepatan dan tujuan
- Sistem praktis memiliki jangkauan satu hingga beberapa meter
- Transmisi terarah dengan kerucut yang menutupi 30
- Kecepatan data antara 2,4 Kbps (kontrol) dan 16 Mbps (data)
- Konsumsi daya umumnya rendah dengan versi daya sangat rendah
- Sinyal dapat dipantulkan dari permukaan, tetapi tidak dapat menembus benda padat

Identifikasi Frekuensi Radio (RFID). Teknologi RFID menggunakan bentuk komunikasi nirkabel yang menarik untuk menciptakan mekanisme di mana sebuah tag kecil berisi informasi identifikasi yang dapat "ditarik" oleh penerima dari tag tersebut.

- Lebih dari 140 standar RFID ada untuk berbagai aplikasi
- RFID pasif menarik daya dari sinyal yang dikirim oleh pembaca
- RFID aktif berisi baterai, yang dapat bertahan hingga 10 tahun
- Jarak terbatas, meskipun RFID aktif meluas lebih jauh daripada pasif
- Dapat menggunakan frekuensi dari kurang dari 100 MHz hingga 868-954 MHz
- Digunakan untuk kontrol inventaris, sensor, paspor, dan aplikasi lainnya

## 16.15 Teknologi WAN Nirkabel

Teknologi WAN nirkabel dapat dibagi menjadi dua kategori:

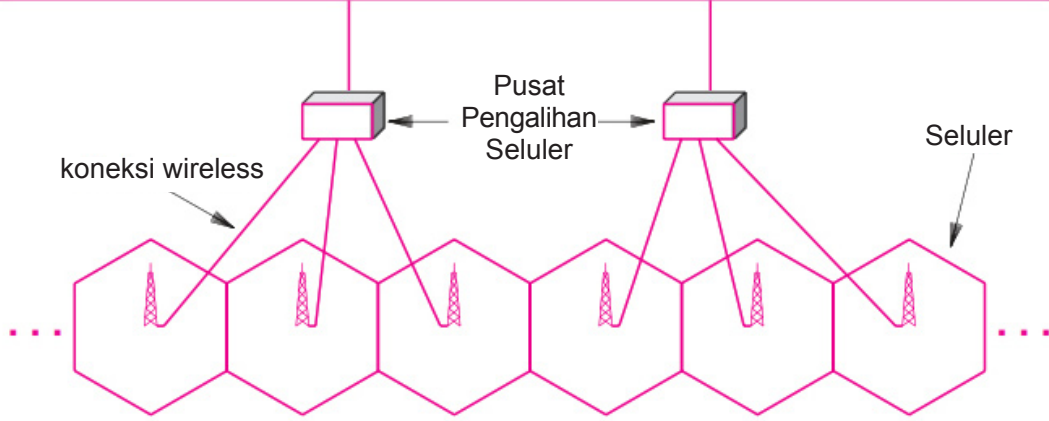
- Sistem komunikasi seluler
- Sistem komunikasi satelit

### 16.15.1 Sistem Komunikasi Seluler

Sistem seluler pada awalnya dirancang untuk menyediakan layanan suara kepada pelanggan seluler. Oleh karena itu, sistem dirancang untuk menghubungkan sel ke jaringan telepon umum. Semakin banyak, sistem seluler digunakan untuk menyediakan layanan data dan konektivitas Internet. Dalam hal arsitektur, setiap sel berisi menara, dan sekelompok sel (biasanya berdekatan) terhubung ke Pusat Pengalihan Seluler. Pusat melacak pengguna seluler, dan mengelola handoff saat pengguna berpindah dari satu sel ke sel lainnya. Gambar 16.9 mengilustrasikan bagaimana sel dapat diatur di sepanjang jalan raya.

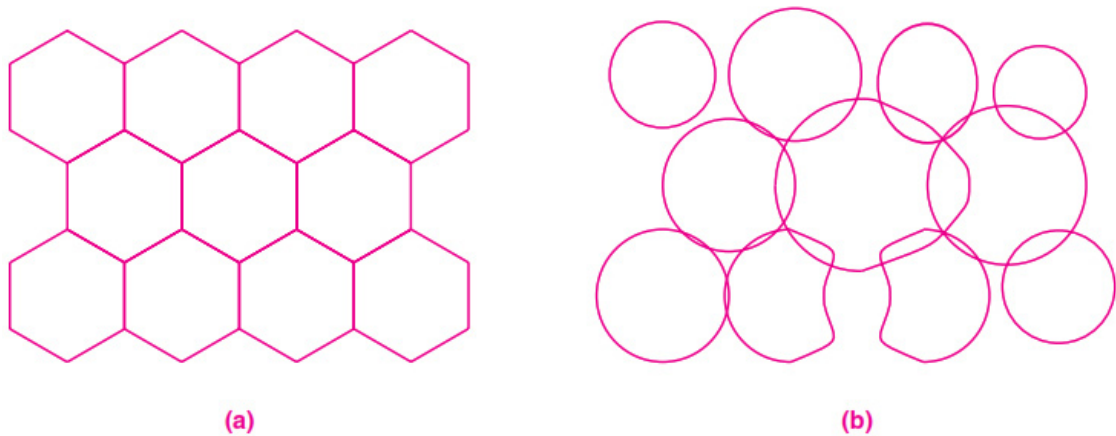


**Public Switched Telephone Network plus a connection to the Internet**



Gambar 16.9 Ilustrasi arsitektur seluler.

Saat pengguna berpindah di antara dua sel yang terhubung ke Pusat Pengalihan Seluler yang sama, pusat pengalihan menangani perubahan tersebut. Ketika seorang pengguna berpindah dari satu wilayah geografis ke wilayah lain, dua Pusat Pengalihan Seluler terlibat dalam handoff. Secara teori, cakupan seluler yang sempurna terjadi jika setiap sel membentuk segi enam karena sel-selnya dapat diatur dalam sarang lebah. Dalam praktiknya, cakupan seluler tidak sempurna. Sebagian besar menara seluler menggunakan antena omnidirectional yang mentransmisikan dalam pola melingkar. Namun, penghalang dan interferensi listrik dapat melemahkan sinyal atau menyebabkan pola yang tidak teratur. Akibatnya, dalam beberapa kasus, sel-sel tumpang tindih dan dalam kasus lain, ada celah tanpa cakupan. Gambar 16.10 mengilustrasikan cakupan yang ideal dan realistis.



Gambar 16.10 Ilustrasi (a) cakupan seluler yang ideal, dan (b) versi realistis dengan tumpang tindih dan celah.

Aspek praktis lain dari teknologi seluler muncul dari variabilitas kepadatan sel. Di daerah pedesaan di mana kepadatan ponsel yang diharapkan rendah, ukuran sel besar — satu menara cukup untuk area geografis yang luas. Namun, di lingkungan perkotaan, banyak ponsel terkonsentrasi di area tertentu. Misalnya, pertimbangkan blok kota di area metropolitan yang besar. Selain pejalan kaki dan orang yang mengendarai kendaraan, area seperti itu dapat menampung gedung perkantoran atau apartemen

dengan banyak penghuni. Untuk menangani lebih banyak ponsel, desainer memecah suatu wilayah menjadi banyak sel. Jadi, tidak seperti struktur ideal pada Gambar 16.15a yang memiliki ukuran sel tunggal, penerapan praktis menggunakan berbagai sel ukuran, dengan sel yang lebih kecil digunakan untuk mencakup area metropolitan.

### Poin Penting \_\_\_\_\_

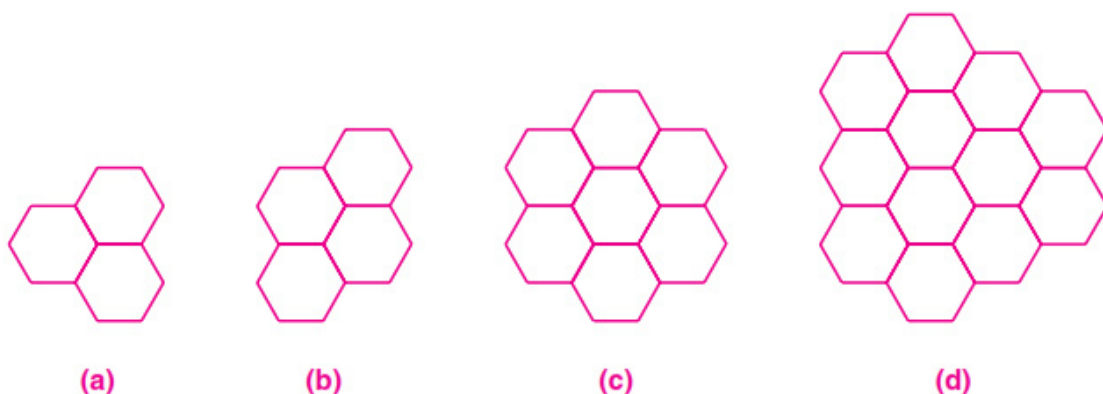
Meskipun mudah untuk memvisualisasikan sel sebagai sarang lebah yang seragam, sistem praktis memvariasikan ukuran sel sesuai dengan kepadatan ponsel, dan penghalang menyebabkan cakupan menjadi tidak teratur, yang mengakibatkan tumpang tindih dan celah.

## 16.16 Cluster Sel Dan Penggunaan Kembali Frekuensi

Komunikasi seluler mengikuti prinsip utama:

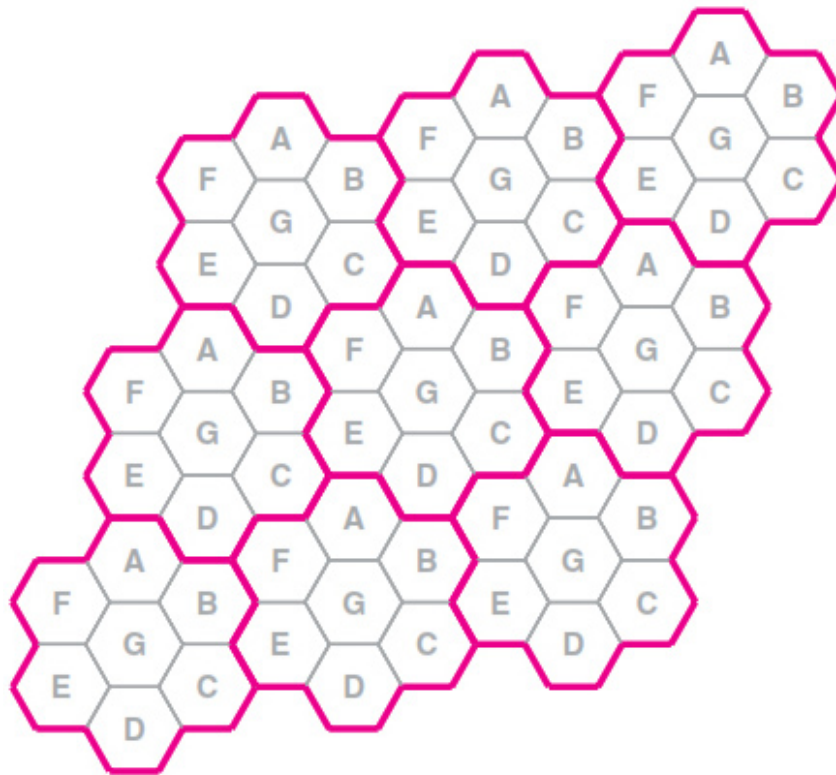
*Interferensi dapat diminimalkan jika pasangan sel yang berdekatan tidak menggunakan frekuensi yang sama.*

Untuk menerapkan prinsip tersebut, perencana seluler menggunakan pendekatan cluster di mana pola kecil sel direplikasi. Gambar 16.11 mengilustrasikan cluster ukuran 3, 4, 7, dan 12 yang umum digunakan.



Gambar 16.11 Ilustrasi kluster sel tipikal

Dalam istilah geometris, masing-masing bentuk pada gambar dapat digunakan untuk membuat bidang datar. Artinya, dengan mereplikasi bentuk yang sama, dimungkinkan untuk menutupi seluruh area tanpa meninggalkan celah. Selanjutnya, jika setiap sel dalam bentuk tertentu diberi frekuensi yang unik, pola berulang tidak akan menetapkan frekuensi yang sama untuk setiap pasangan sel yang berdekatan. Misalnya, Gambar 16.12 mengilustrasikan replikasi cluster 7-sel dengan huruf di setiap sel untuk menunjukkan frekuensi yang ditetapkan ke sel.



Gambar 16.12 Ilustrasi penetapan frekuensi ketika cluster 7-sel direplikasi.

Pada gambar, setiap huruf sesuai dengan frekuensi tertentu, dan setiap sel dalam cluster diberi frekuensi. Seperti yang ditunjukkan gambar, ketika pola cluster direplikasi, tidak ada sel yang berdekatan yang berbagi frekuensi yang sama.

## 16.17 Generasi Teknologi Seluler

Industri telekomunikasi membagi teknologi seluler menjadi empat generasi yang diberi label 1G, 2G, 3G, dan 4G, dengan versi menengah berlabel 2.5G dan 4G.

Generasi dapat dicirikan sebagai berikut:

- 1G. Generasi pertama dimulai pada akhir 1970-an, dan diperpanjang hingga 1980-an. Sistem, yang awalnya disebut telepon radio seluler, menggunakan sinyal analog untuk membawa suara.
- 2G dan 2.5G. Generasi kedua dimulai pada awal 1990-an dan terus digunakan. Perbedaan utama antara 1G dan 2G muncul karena 2G menggunakan sinyal digital untuk membawa suara. Label
- 2.5G digunakan untuk sistem yang memperluas sistem 2G untuk menyertakan beberapa fitur 3G.
- 3G dan 3.5G. Generasi ketiga dimulai pada tahun 2000-an, dan berfokus pada penambahan layanan data berkecepatan lebih tinggi. Sistem 3G menawarkan kecepatan unduh 400 Kbps hingga 2 Mbps, dan ditujukan untuk mendukung aplikasi seperti penjelajahan web dan berbagi foto. 3G memungkinkan satu telepon menjelajah Amerika Utara, Jepang, dan Eropa.

- 4G. Generasi keempat dimulai sekitar tahun 2008, dan berfokus pada dukungan untuk multimedia waktu nyata, seperti program televisi atau pengunduhan video berkecepatan tinggi. Selain itu, ponsel 4G menyertakan beberapa teknologi koneksi, seperti Wi-Fi dan satelit; setiap saat, telepon secara otomatis memilih teknologi koneksi terbaik yang tersedia.
- 5G. Teknologi 5G adalah sebuah terobosan. Jaringan telekomunikasi generasi terbaru ini (generasi kelima atau 5G) telah mulai memasuki pasar akhir tahun 2018 dan akan terus berkembang di seluruh dunia. Teknologi 5G adalah teknologi nirkabel generasi kelima yang menghadirkan tiga hal baru: saluran yang lebih luas (kecepatan), latensi yang lebih rendah (responsivitas), dan lebih banyak bandwidth (kemampuan untuk menghubungkan lebih banyak perangkat sekaligus).

Berbagai macam teknologi dan standar seluler telah berkembang. Ketika 2G muncul, banyak kelompok masing-masing berusaha untuk memilih pendekatan dan membuat standar. Konferensi Administrator Pos dan Telekomunikasi Eropa memilih teknologi TDMA yang dikenal sebagai Sistem Global untuk Komunikasi Seluler (GSM), dan menciptakan sistem yang dimaksudkan sebagai standar dunia. Di Amerika Serikat, setiap operator membuat jaringan dengan teknologinya sendiri. Motorola menemukan sistem TDMA yang dikenal sebagai iDEN. Sebagian besar operator AS dan Asia mengadopsi pendekatan CDMA yang distandarisasi sebagai IS-95A. Jepang menciptakan teknologi TDMA yang dikenal sebagai PDC. Tabel 16.5 merangkum standar 2G utama dan beberapa standar 2.5G yang berkembang; berbagai teknologi lain, yang tidak tercantum dalam gambar, memainkan peran kecil.

Standar yang tercantum pada gambar masing-masing menyediakan mekanisme komunikasi dasar di mana banyak layanan dapat beroperasi. Misalnya, Layanan Radio Paket Umum (GPRS) tersedia untuk pelanggan yang memiliki akses GSM atau IS-136. Setelah dia berlangganan GPRS, pengguna dapat memilih untuk memanggil layanan yang berjalan di GPRS. Layanan Pesan Singkat (SMS) digunakan untuk mengirim pesan teks, Layanan Aplikasi Nirkabel (WAP) digunakan untuk mengakses Internet, dan Layanan Pesan Multimedia (MMS) digunakan untuk akses web. Biasanya, penyedia layanan mengenakan biaya tambahan untuk layanan GPRS, dengan tarif yang biasanya ditagihkan per unit data yang ditransfer (mis., per megabita).

Setelah GPRS, telah dikembangkan teknologi digital yang menggunakan teknik modulasi dan multiplexing yang lebih canggih untuk meningkatkan kecepatan data. Enhanced Data rate for GSM Evolution (EDGE), yang juga dikenal sebagai Enhanced GPRS (EGPRS), menawarkan kecepatan transfer hingga 473,6 Kbps. Penerus yang dikenal sebagai EDGE Evolution menyediakan kecepatan data puncak 1 Mbps.

Tabel 16.15 Teknologi seluler generasi kedua utama

Teknologi	Sistem	Generasi
GSM	GSM	2G
	GPRS	2.5G
	EDGE (EGPRS)	2.5G
	EDGE Evolution	2.5G
	HSCSD	2.5G
CDMA	IS-95A	2G
	IS-95B	2.5G
TDMA	IDEN	2G
	IS-136	2G
	PDC	2G

Pada saat penyedia mulai memikirkan teknologi generasi ketiga, tampak jelas bahwa pelanggan menginginkan layanan telepon seluler yang bekerja secara global. Akibatnya, penyedia mendorong untuk membuat teknologi dapat dioperasikan, dan industri menggabungkan banyak pendekatan dari 2G ke dalam beberapa standar utama. IS-136, PDC, IS-95A, dan EDGE semuanya mempengaruhi desain UMTS, sebuah teknologi yang menggunakan Wideband CDMA (WCDMA). Sementara itu, IS-95B diperluas untuk menghasilkan CDMA 2000, seperti yang ditunjukkan Tabel 16.6.

Tabel 16.6 Teknologi seluler generasi ketiga.

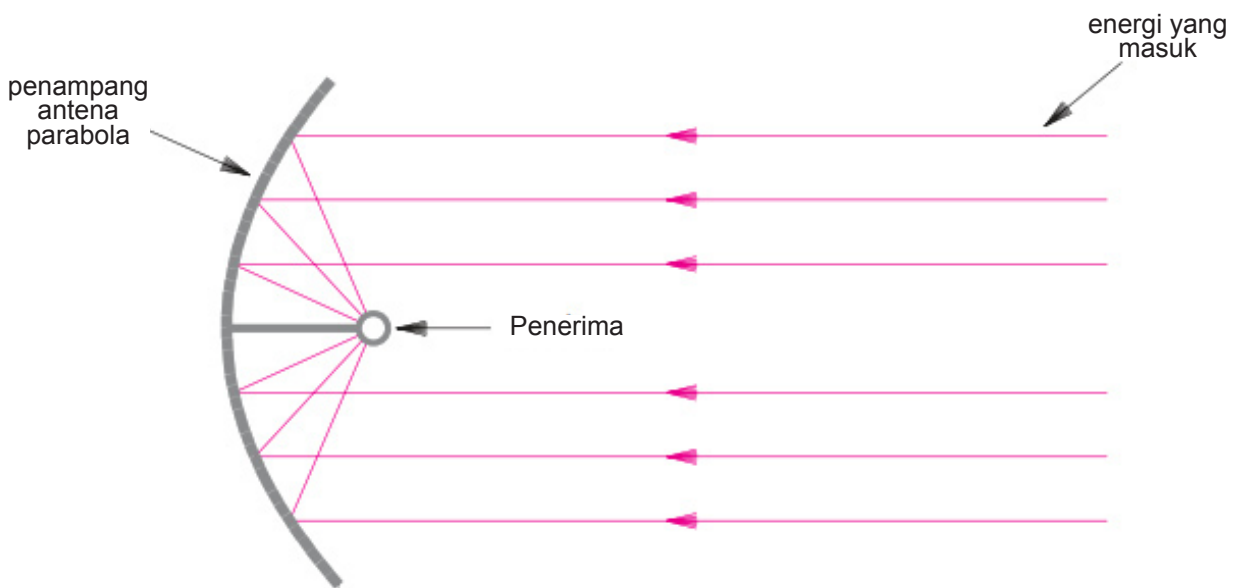
Teknologi	Sistem	Penerus
WCDMA	UMTS	IS-136, IS-95A, EDGE, PDC
	HSDPA	UMTS
CDMA 2000	1xRTT	IS-95B
	EVDO	1xRTT
	EVDV	1xRTT

Beberapa standar bersaing berkembang untuk layanan data generasi ketiga. EVDO dan EVDV muncul pada waktu yang hampir bersamaan. Masing-masing dari keduanya menggabungkan teknik multiplexing CDMA dan divisi frekuensi untuk meningkatkan kinerja secara keseluruhan. EVDO, yang diperluas ke Evolution Data Optimized atau Evolution Data Only, adalah yang paling banyak digunakan. EVDO hadir dalam dua versi yang berbeda dalam kecepatan pengiriman data: 2,4 Mbps atau 3,1 Mbps. Alternatif bernama High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA) menawarkan kecepatan unduh 14 Mbps†. Tentu saja, operator mengenakan biaya lebih untuk layanan yang menawarkan kecepatan data lebih tinggi.

## 16.18 Teknologi Satelit VSAT

Bab 7 menjelaskan tiga jenis satelit komunikasi (yaitu, LEO, MEO, dan GEO), dan Bab 14 membahas mekanisme akses saluran, termasuk mekanisme reservasi yang digunakan untuk menyediakan TDMA di seluruh satelit. Bagian ini menyimpulkan diskusi dengan menjelaskan teknologi satelit tertentu.

Kunci komunikasi satelit adalah desain antena parabola yang secara informal dikenal sebagai antena parabola. Bentuk parabola berarti bahwa energi elektromagnetik yang datang dari satelit yang jauh dipantulkan ke satu titik fokus. Dengan mengarahkan antena parabola ke satelit dan menempatkan detektor pada titik fokus, seorang perancang dapat menjamin bahwa sinyal yang kuat diterima. Gambar 16.13 mengilustrasikan desain, dan menunjukkan bagaimana energi yang masuk dipantulkan dari permukaan piringan ke penerima.



Gambar 16.13 Ilustrasi pemantulan oleh antena parabola.

Untuk memaksimalkan sinyal yang diterima, komunikasi satelit awal menggunakan stasiun bumi dengan antena parabola besar dengan diameter lebih dari tiga meter. Meskipun cocok untuk situasi seperti hubungan transatlantik yang digunakan oleh perusahaan telepon, konsumen dan usaha kecil tidak dapat menempatkan stasiun bumi seperti itu di properti mereka. Dengan demikian, perubahan besar terjadi dengan munculnya teknologi yang dikenal sebagai Sangat Kecil.

Aperture Terminal (VSAT) yang menggunakan piringan berdiameter kurang dari tiga meter. Sebuah tipikal Antena VSAT berdiameter kurang dari satu meter.

Banyak bisnis menggunakan teknologi VSAT untuk menghubungkan semua toko mereka. Misalnya, apotek seperti Walgreens dan CVS menggunakan komunikasi VSAT, seperti halnya rantai makanan cepat saji seperti Pizza Hut dan Taco Bell, dan pengecer seperti Wal Mart. Selain itu, layanan VSAT tersedia bagi konsumen baik untuk hiburan maupun akses Internet.

Satelit VSAT menggunakan tiga rentang frekuensi yang berbeda dalam kekuatan sinyal yang dikirimkan, kepekaan terhadap hujan dan kondisi atmosfer lainnya, dan luas permukaan bumi yang tertutup (dikenal sebagai jejak satelit). Tabel 16.7 menggambarkan karakteristik masing-masing pita frekuensi.



Tabel 16.7 Pita frekuensi yang digunakan teknologi VSAT dan karakteristiknya masing-masing.

Pita	Frekuensi	Footprint	Kekuatan sinyal	Dampak
<b>C Band</b>	<b>3 - 7 GHz</b>	<b>Besar</b>	<b>Rendah</b>	<b>Sedang</b>
<b>Ku</b>	<b>10 - 18 GHz</b>	<b>Sedang</b>	<b>Sedang</b>	<b>Rata-rata</b>
<b>Ka</b>	<b>18 - 31 GHz</b>	<b>Kecil</b>	<b>Tinggi</b>	<b>Parah</b>

## 16.19 Satelit GPS

Satelit di Global Positioning System (GPS) memberikan informasi waktu dan lokasi yang akurat. Meskipun bukan bagian dari komunikasi komputer, informasi lokasi semakin banyak digunakan dalam jaringan seluler. Fitur utama adalah:

- Akurasi antara 20 dan 2 meter (versi militer memiliki akurasi yang lebih tinggi)
- 24 total satelit mengorbit bumi
- Satelit disusun dalam enam bidang orbit
- Menyediakan sinkronisasi waktu yang digunakan di beberapa jaringan komunikasi

Di satu sisi, teknik yang digunakan untuk memperoleh informasi posisi sangat mudah: karena semua satelit GPS mengorbit pada posisi yang diketahui, penerima dapat menentukan lokasi unik di permukaan bumi dengan menemukan jarak ke tiga satelit. Untuk mengetahui alasannya, pertimbangkan himpunan titik jarak D1 dari satelit 1. Himpunan tersebut mendefinisikan sebuah bola. Demikian pula, himpunan titik jarak D2 dari satelit 2 mendefinisikan bola lain. Sebuah sistem GPS yang secara simultan D1 dari satelit 1 dan D2 dari satelit 2 terletak pada lingkaran yang dibentuk oleh perpotongan kedua bola tersebut. Jika sistem GPS juga berjarak D3 dari satelit 3, sistem GPS akan berada di persimpangan bola ketiga dengan lingkaran, yang menghasilkan dua titik yang mungkin. Satelit diatur sedemikian rupa sehingga hanya satu dari dua titik yang terletak di permukaan bumi dan yang lainnya berada di luar angkasa, sehingga mudah untuk memilih titik yang tepat.

Untuk menghitung jarak, sistem GPS menerapkan rumus dari fisika Newton yang menentukan jarak sama dengan laju kali waktu. Kecepatannya konstan (kecepatan cahaya,  $3 \times 10^8$  meter per detik). Waktu dihitung dengan mengatur setiap sistem GPS untuk menghitung waktu lokal, dan agar setiap satelit memiliki jam akurat yang digunakan untuk menyertakan cap waktu dalam informasi yang dikirim. Penerima kemudian dapat mengurangi stempel waktu dari waktu setempat untuk menentukan waktu pengiriman informasi.

## 16.20 Radio Perangkat Lunak dan Masa Depan Nirkabel

Berbagai macam teknologi nirkabel yang dijelaskan dalam bab masing-masing menggunakan perangkat keras radio tujuan khusus. Antena, pemancar, dan penerima dalam perangkat tertentu dirancang untuk beroperasi pada frekuensi yang telah ditentukan menggunakan bentuk modulasi dan multipleks tertentu. Ponsel yang dapat menggunakan jaringan GSM, Wi-Fi, dan CDMA harus memiliki tiga sistem radio yang benar-benar terpisah, dan harus memilih di antara ketiganya.

Radio tradisional digantikan oleh radio yang mengikuti paradigma yang dapat diprogram di mana fitur dikendalikan oleh perangkat lunak yang berjalan pada prosesor. Tabel 16.8 mencantumkan fitur radio utama yang dapat dikontrol dalam radio yang dapat diprogram perangkat lunak.



Tabel 16.8 Fitur di bawah kendali perangkat lunak di radio yang dapat diprogram.

Fitur	Deskripsi
Frekuensi	Himpunan frekuensi yang tepat yang digunakan pada waktu tertentu
Kekuatan/Daya	Jumlah daya yang dipancarkan pemancar
Modulasi	Pengkodean dan modulasi sinyal dan saluran
Multiplexing	Kombinasi CDMA, TDMA, FDMA, dan lainnya
Anrtena	Arah Sinyal dapat disetel untuk arah tertentu
Protokol MAC	Semua aspek pembungkaiian dan pengalamatan MAC

Teknologi utama yang memungkinkan radio perangkat lunak adalah: filter analog yang dapat disetel dan manajemen beberapa antena. Chip analog saat ini tersedia yang menyediakan filter analog yang dapat disetel. Dengan demikian, dimungkinkan untuk memilih frekuensi dan mengontrol daya. Digital Signal Processors (DSPs) tersedia untuk menangani pengkodean dan modulasi sinyal. Aspek yang lebih menarik dari radio perangkat lunak menyangkut penggunaan beberapa antena. Alih-alih hanya memilih antena untuk digunakan pada waktu tertentu, radio perangkat lunak dapat menggunakan beberapa antena secara bersamaan untuk menyediakan multiplexing spasial, teknik yang memungkinkan sinyal ditransmisikan atau diterima dari arah tertentu. Kami menggunakan istilah Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) untuk menunjukkan sistem yang menggunakan beberapa antena untuk transmisi dan penerimaan (yaitu, dapat mengarahkan transmisi atau penerimaan).

Radio yang dapat diprogram perangkat lunak telah muncul dari lab penelitian, dan telah digunakan oleh militer AS. Selain itu, Universal Software Radio Peripheral (USRP) dan GNU Radio saat ini tersedia untuk eksperimen. Beberapa detail perlu dikerjakan sebelum radio yang dapat diprogram muncul dalam produk komersial. Pertama, biayanya saat ini terlalu tinggi (sekitar US\$1000). Kedua, perlu ditetapkan kebijakan untuk penggunaan spektrum. Secara khusus, perangkat yang mentransmisikan energi elektromagnetik disertifikasi untuk memastikan bahwa mereka tidak mengganggu komunikasi lain (misalnya, ponsel tidak mengganggu komunikasi polisi atau darurat). Jika radio perangkat lunak dapat diprogram ulang, konsumen mungkin secara tidak sengaja mengunduh virus yang dapat menyebabkan radio macet saluran darurat. Dengan demikian, teknik sedang diselidiki yang akan mengontrol jumlah daya yang dapat dihasilkan oleh radio perangkat lunak pada frekuensi tertentu.

## 16.21 Ringkasan

Banyak teknologi komunikasi nirkabel yang ada dan digunakan untuk membuat LAN nirkabel, PAN, MAN, dan WAN. IEEE telah menstandarisasi beberapa teknologi LAN dan MAN. Wi-Fi menggunakan standar IEEE 802.11, dengan masing-masing varian diberi akhiran, seperti 802.11b atau 802.11g. LAN nirkabel dapat bersifat ad hoc atau dapat menggunakan arsitektur infrastruktur dengan titik akses; format bingkai mencakup alamat MAC untuk titik akses serta alamat MAC untuk router di luar titik akses.

Selain LAN, teknologi nirkabel digunakan untuk MAN dan PAN. Teknologi MAN utama dikenal sebagai WiMAX, yang dapat digunakan untuk backhaul atau akses. Berbagai teknologi PAN ada, termasuk Bluetooth, Ultra Wideband, Zigbee, dan IrDA. Tag RFID menyediakan bentuk lain dari komunikasi nirkabel yang digunakan terutama untuk inventaris dan pengiriman.

WAN nirkabel menggunakan teknologi seluler dan satelit. Teknologi seluler diklasifikasikan sebagai 1G (analog), 2G (suara digital), 3G (suara digital plus data), dan 4G (suara dan data digital berkecepatan tinggi); banyak teknologi yang ada. Teknologi satelit VSAT memungkinkan bisnis dan konsumen memiliki antena parabola di properti mereka.

Sistem nirkabel yang sedang berkembang menggunakan perangkat lunak radio yang dapat diprogram yang memungkinkan perangkat lunak untuk mengontrol semua aspek transmisi radio. Radio yang dapat diprogram mahal, dan saat ini tersedia untuk keperluan militer dan khusus.

## Latihan

---

1. Sebutkan tiga teknologi PAN nirkabel, dan berikan deskripsi singkat masing-masing.
2. Apa tiga blok frekuensi yang digunakan oleh LAN dan PAN nirkabel?
3. Apa itu Aliansi Wi-Fi?
4. Berikan awalan numerik yang digunakan standar IEEE untuk jaringan Wi-Fi.
5. Sebutkan tiga teknik spread spectrum, dan berikan gambaran umum dari masing-masing teknik tersebut.
6. Cari OFDM di Web, dan berikan deskripsi satu paragraf dengan kata-kata Anda sendiri.
7. Buat daftar standar IEEE yang telah diusulkan atau dibuat untuk LAN nirkabel.
8. Mengapa kebanyakan LAN nirkabel menggunakan pendekatan infrastruktur daripada pendekatan ad hoc?
9. Mengapa komputer nirkabel harus diasosiasikan dengan stasiun pangkalan tertentu?
10. Header 802.11 berisi dua alamat tujuan. Jelaskan tujuan masing-masing.
11. Apa itu SIFS dan DIFS, dan mengapa mereka dibutuhkan?
12. Sebutkan dua jenis teknologi WiMAX, dan jelaskan tujuan masing-masing.
13. Apa itu Zigbee, dan di mana digunakan?
14. Sebutkan ciri-ciri teknologi UWB.
15. Apakah masuk akal untuk menggunakan IrDA untuk aplikasi seperti transfer file? Mengapa atau mengapa tidak?
16. Apa itu RFID, dan di mana digunakan?
17. Untuk apa menara seluler terhubung?
18. Apa itu kluster sel, dan bagaimana desainer menggunakan kluster?
19. Sebutkan empat generasi teknologi seluler, dan jelaskan masing-masing.
20. Apa itu GSM, dan standar apa yang ada di dalamnya?
21. Apa sajakah teknologi seluler generasi ketiga yang menggunakan multiplexing divisi kode?
22. Apa itu satelit VSAT?
23. Mengapa parabola berbentuk parabola?
24. Sebutkan tiga pita frekuensi utama yang digunakan oleh satelit komunikasi, dan berikan pengaruh cuaca pada masing-masing pita tersebut.
25. Berapa banyak satelit yang digunakan dalam GPS, dan seberapa akurat sistem GPS?
26. Selain posisi, apa yang disediakan GPS?
27. Fitur apa yang dapat dikontrol di radio perangkat lunak?

---

### Bab ini akan membahas tentang:

- mekanisme yang dapat memperluas LAN melintasi jarak yang lebih jauh dan switching LANrepeater, bridge, dan algoritme pohon rentang yang digunakan untuk mencegah loop penerusan

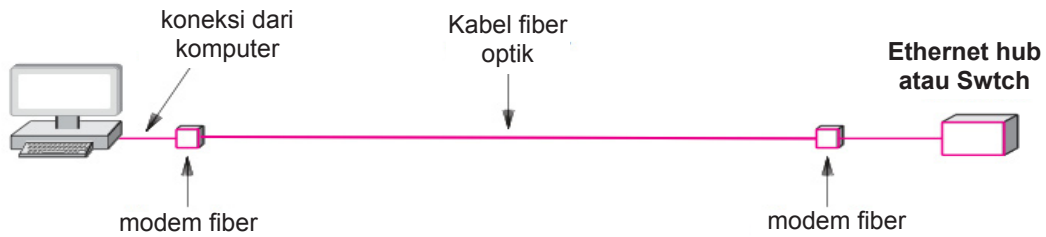
### 17.1 Batasan Jarak dan Desain LAN

Batasan jarak adalah bagian mendasar dari desain LAN. Saat merancang teknologi jaringan, para insinyur memilih kombinasi kapasitas, penundaan maksimum, dan jarak yang dapat dicapai dengan biaya tertentu. Satu batasan pada jarak muncul karena perangkat keras direkayasa untuk memancarkan energi dalam jumlah tetap — jika pengkabelan diperpanjang melampaui batas desain, stasiun tidak akan menerima sinyal yang cukup kuat, dan kesalahan akan terjadi. Intinya adalah: Spesifikasi panjang maksimum adalah bagian mendasar dari teknologi LAN; Perangkat keras LAN tidak akan berfungsi dengan benar melalui kabel yang melebihi batas.

### 17.2 Ekstensi Modem Fiber

Insinyur telah mengembangkan berbagai cara untuk memperluas konektivitas LAN. Sebagai aturan umum, mekanisme perpanjangan tidak meningkatkan kekuatan sinyal, juga tidak hanya memperpanjang kabel. Sebagai gantinya, sebagian besar mekanisme ekstensi menggunakan perangkat keras antarmuka standar, dan memasukkan komponen perangkat keras tambahan yang dapat menyampaikan sinyal melintasi jarak yang lebih jauh.

Mekanisme ekstensi LAN yang paling sederhana terdiri dari serat optik dan sepasang modem serat, yang digunakan untuk menghubungkan komputer ke Ethernet jarak jauh. Gambar 17.1 mengilustrasikan interkoneksi.



Gambar 17.1 Ilustrasi modem serat yang digunakan untuk menyediakan koneksi antara komputer dan Ethernet jarak jauh.

Masing-masing modem serat berisi perangkat keras untuk melakukan dua tugas: menerima paket melalui antarmuka Ethernet dan mengirimkannya melalui serat optik, dan menerima paket yang datang melalui serat optik dan mengirimkannya melalui antarmuka Ethernet. Jika modem menawarkan antarmuka LAN di setiap ujungnya, antarmuka standar dapat digunakan pada komputer dan perangkat LAN.

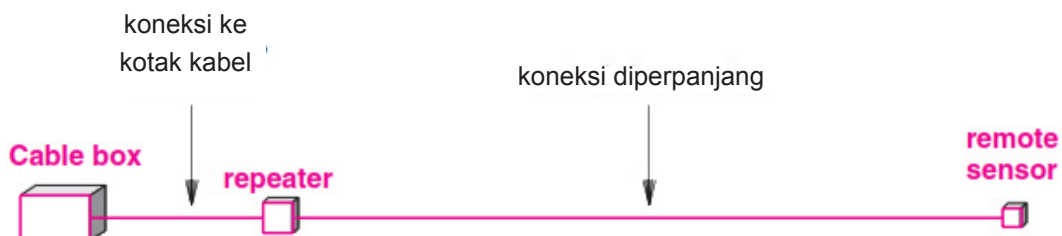
### Poin Penting

Sepasang modem serat dan serat optik dapat digunakan untuk menyediakan koneksi antara komputer dan LAN jarak jauh seperti Ethernet.

## 17.4 Repeater

Repeater adalah perangkat analog yang digunakan untuk menyebarkan sinyal LAN jarak jauh. Repeater tidak memahami paket atau pengkodean sinyal. Sebaliknya, itu hanya memperkuat sinyal yang diterima, dan mentransmisikan versi yang diperkuat sebagai output.

Repeater digunakan secara ekstensif dengan Ethernet asli, dan telah digunakan dengan teknologi LAN lainnya. Baru-baru ini, repeater telah diperkenalkan dengan penerima inframerah untuk memungkinkan penerima ditempatkan pada jarak yang lebih jauh dari komputer. Misalnya, pertimbangkan situasi di mana penerima inframerah untuk pengontrol televisi kabel harus berada di ruangan yang berbeda dari pengontrol. Sebuah repeater dapat memperpanjang koneksi, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 17.2.



Gambar 17.2 Ilustrasi sensor inframerah yang diperluas dengan repeater.

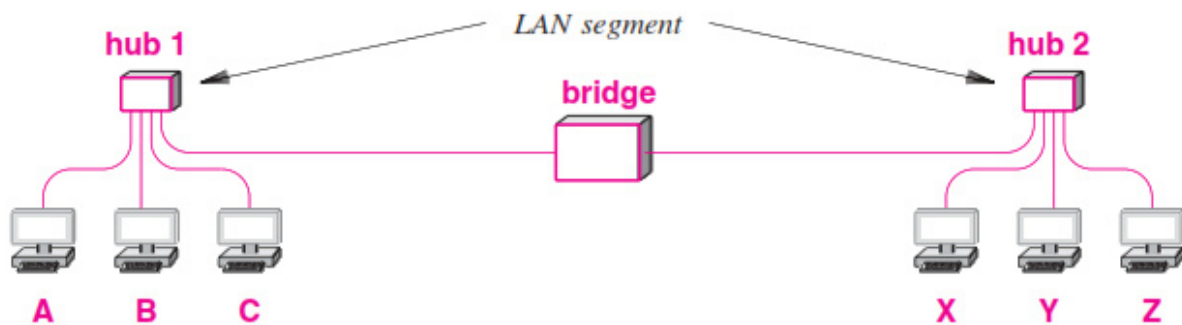
### Poin Penting

Repeater adalah perangkat keras analog yang digunakan untuk memperluas LAN. Repeater memperkuat dan mengirimkan semua sinyal yang masuk ke sisi lain.

## 17.4 Bridges And Bridging

Bridge adalah mekanisme yang menghubungkan dua segmen LAN (misalnya, dua hub) dan mentransfer paket di antara keduanya. Bridge mendengarkan dalam mode promiscuous pada setiap segmen (yaitu, menerima semua paket yang dikirim pada segmen tersebut). Ketika menerima bingkai utuh dari satu segmen, bridge meneruskan salinan bingkai ke segmen lain. Dengan demikian, dua segmen LAN yang dihubungkan oleh bridge tampak berperilaku seperti LAN tunggal — komputer yang terhubung ke salah satu segmen dapat mengirim bingkai ke komputer mana pun di dua segmen. Selanjutnya, bingkai siaran dikirimkan ke semua komputer di dua segmen. Dengan demikian, komputer tidak tahu apakah mereka terhubung ke segmen LAN tunggal atau LAN yang dijembatani.

Awalnya, bridge dijual sebagai perangkat keras independen yang masing-masing memiliki dua koneksi jaringan. Saat ini, teknologi bridge dimasukkan ke perangkat lain, seperti modem kabel. Gambar 17.3 mengilustrasikan arsitektur konseptual.



Gambar 17.3 Ilustrasi enam komputer yang terhubung ke sepasang segmen LAN yang dijembatani.

### Poin Penting

*Bridge adalah mekanisme yang digunakan untuk menghubungkan dua segmen LAN dan meneruskan frame dari satu segmen ke segmen lainnya; komputer tidak dapat mengetahui apakah mereka berada di segmen tunggal atau LAN yang dijembatani.*

## 17.5 Learning Bridges And Frame Filtering

Bridge tidak secara membabi buta meneruskan salinan setiap frame dari satu LAN ke LAN lainnya. Sebaliknya, jembatan menggunakan alamat MAC untuk melakukan penyaringan. Artinya, jembatan memeriksa alamat tujuan dalam bingkai, dan tidak meneruskan bingkai ke segmen LAN lain kecuali diperlukan. Tentu saja, jika LAN mendukung siaran atau multicast, jembatan harus meneruskan salinan setiap bingkai siaran atau multicast untuk membuat LAN yang dijembatani beroperasi seperti LAN tunggal.

Bagaimana bridge mengetahui komputer mana yang terhubung ke segmen mana? Sebagian besar bridge disebut jembatan adaptif atau pembelajaran karena mereka mempelajari lokasi komputer secara otomatis. Untuk melakukannya, jembatan menggunakan alamat sumber. Ketika sebuah frame datang dari segmen tertentu, jembatan mengekstrak alamat sumber dari header, dan menambahkan alamat ke daftar komputer yang terhubung ke segmen. Tentu saja, bridge kemudian harus mengekstrak alamat tujuan MAC dari frame, dan menggunakan alamat tersebut untuk menentukan apakah akan meneruskan frame. Jadi, sebuah learning bridge bahwa komputer hadir di segmen segera setelah komputer mentransmisikan bingkai.

Untuk melihat bagaimana bridge mempelajari lokasi komputer saat frame dikirim, perhatikan bridge pada Gambar 17.3. Tabel 17.1 mencantumkan urutan transmisi paket, informasi lokasi yang telah dikumpulkan oleh bridge pada setiap langkah, dan disposisi paket (yaitu, segmen di mana paket dikirim).

Tabel 17.1 Contoh learning Bridge dengan komputer A, B, dan C pada satu segmen dan komputer X, Y, dan Z pada segmen lainnya.

Cara Kerja	Segmen 1	Segmen 1	Frame Terkirim
Bridge boots	-	-	-
A mengirim ke B	A	-	Kedua Segmen
B mengirim ke A	A, B	-	Segmen 1 saja
X menyiarkan A	A, B	X	Kedua Segmen
Y mengirim ke A	A, B	X, Y	Kedua Segmen
Y mengirim ke X	A, B	X, Y	Segmen 2 saja
X mengirim ke Z	A, B	X, Y	Kedua Segmen
Z mengirim ke X	A, B, C	X, Y, Z	Segmen 2 saja

### Poin Penting

*Sebuah jembatan adaptif menggunakan alamat MAC sumber dalam sebuah paket untuk merekam lokasi pengirim, dan menggunakan alamat MAC tujuan untuk menentukan apakah akan meneruskan frame.*

## 17.6 Keunggulan Bridge

Penting untuk diketahui bahwa begitu sebuah bridge mempelajari lokasi semua komputer, jaringan yang dijumpainya dapat menunjukkan kinerja keseluruhan yang lebih tinggi daripada satu LAN. Untuk memahami mengapa, penting untuk mengetahui bahwa sebuah bridge memungkinkan transmisi simultan pada setiap segmen. Pada Gambar 17.3, misalnya, komputer A dapat mengirim paket ke komputer B pada saat yang sama komputer X mengirim paket ke komputer Y. Meskipun menerima salinan dari setiap paket, bridge tidak akan meneruskan salah satu dari mereka karena setiap paket memiliki telah dikirim ke tujuan pada segmen yang sama dengan sumber. Dengan demikian, bridge hanya membuang dua bingkai tanpa meneruskannya.

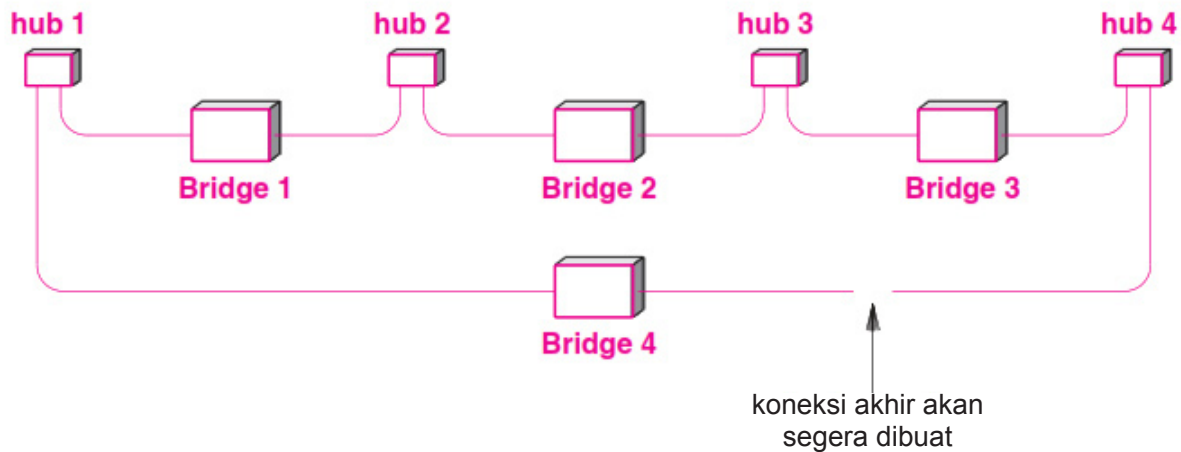
### Poin Penting

*Karena bridge mengizinkan aktivitas simultan pada segmen yang terhubung, sepasang komputer pada satu segmen dapat berkomunikasi pada saat yang sama sebagai pasangan komputer pada segmen lain.*

Kemampuan untuk melokalisasi komunikasi memungkinkan untuk menjembatani antara bangunan di kampus. Sebagian besar komunikasi bersifat lokal (misalnya, komputer berkomunikasi dengan printer di gedung yang sama lebih sering daripada berkomunikasi dengan printer di gedung lain). Dengan demikian, sebuah bridge dapat menyediakan komunikasi antar gedung saat dibutuhkan, tetapi tidak mengirim paket secara tidak perlu. Modem DSL dan kabel juga menggunakan konsep bridging — modem beroperasi sebagai jembatan antara jaringan lokal di tempat pelanggan dan jaringan di ISP.

## 17.7 Distributed Spanning Tree

Perhatikan Gambar 17.4 yang menunjukkan empat segmen LAN yang saat ini dihubungkan oleh tiga jembatan dan jembatan keempat yang akan dimasukkan. Kami berasumsi bahwa komputer (tidak ditampilkan dalam diagram) juga dicolokkan ke masing-masing hub.



Gambar 17.4 Ilustrasi jaringan yang dijembatani dengan jembatan keempat yang akan dimasukkan.

Sebelum jembatan keempat dimasukkan, jaringan beroperasi seperti yang diharapkan — komputer mana pun dapat mengirim bingkai unicast ke komputer lain, atau mengirim bingkai siaran atau multicast ke semua komputer. Broadcast dan multicast bekerja karena bridge selalu meneruskan salinan frame yang dikirim ke alamat broadcast atau multicast. Jika jembatan keempat dimasukkan, masalah muncul karena loop akan ada. Kecuali setidaknya satu jembatan dicegah untuk meneruskan siaran, salinan bingkai siaran akan terus mengalir di sekitar siklus selamanya, dengan komputer yang terhubung ke hub menerima jumlah salinan yang tidak terbatas.

Untuk mencegah siklus dari menyebabkan loop tak berujung, jembatan menerapkan algoritma yang menghitung Pohon Spanning Terdistribusi (DST). Artinya, algoritma melihat jembatan sebagai node dalam grafik, dan memaksakan pohon pada grafik (pohon adalah grafik yang tidak mengandung siklus). Pendekatan asli, dikembangkan di Digital Equipment Corporation pada tahun 1985, dirancang untuk jaringan Ethernet, dan dikenal sebagai Spanning Tree Protocol.

(STP). STP terdiri dari tiga langkah.

- Pemilihan root
- Perhitungan jalur terpendek
- Meneruskan

Untuk menggunakan STP, jembatan Ethernet berkomunikasi di antara mereka sendiri menggunakan alamat multicast yang dicadangkan untuk spanning tree:

01:80:C22:00:00:00



Langkah pertama terdiri dari pemilihan root. Pemilihannya mudah: menjembatani multicast paket yang berisi ID jembatan mereka, dan jembatan dengan ID terkecil dipilih. Untuk mengizinkan manajer mengontrol pemilihan, ID jembatan terdiri dari dua bagian: nomor prioritas 16-bit yang dapat dikonfigurasi dan alamat MAC 48-bit. Saat membandingkan ID, jembatan membandingkan bagian prioritas terlebih dahulu, dan menggunakan bagian alamat MAC untuk memutuskan ikatan. Dengan demikian, seorang manajer dapat memastikan sebuah jembatan menjadi akar dengan menetapkan prioritas yang lebih rendah dari prioritas jembatan lainnya.

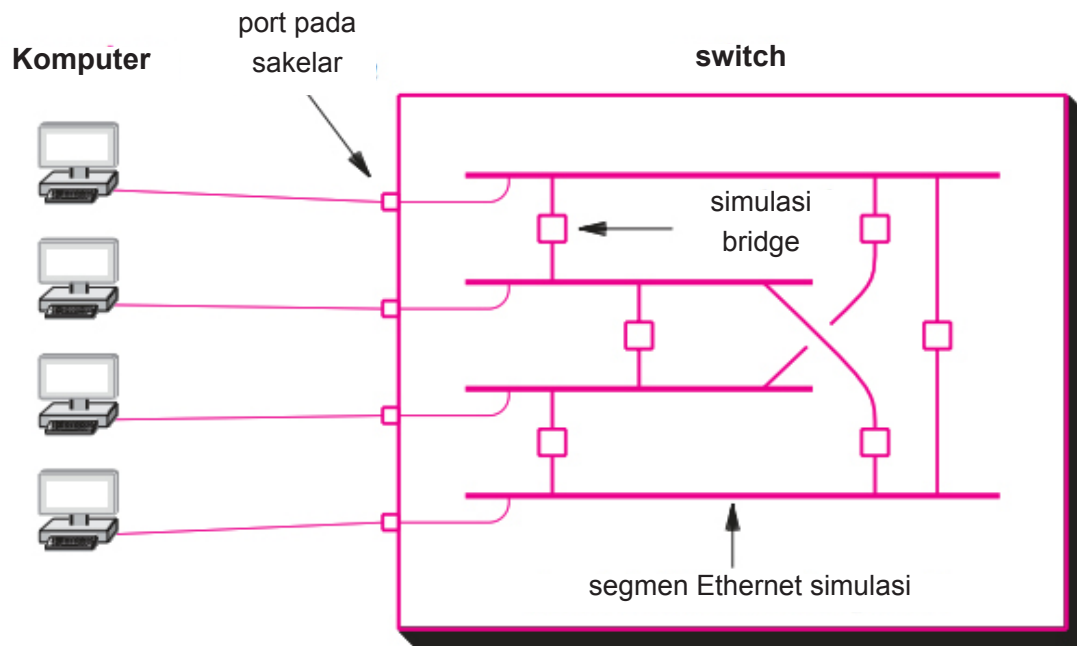
Langkah kedua adalah perhitungan jalur terpendek. Setiap jembatan menghitung jalur terpendek ke jembatan akar. Hasilnya adalah bahwa tautan yang termasuk dalam jalur terpendek dari semua jembatan membentuk pohon rentang.

Setelah spanning tree telah dihitung, jembatan mulai meneruskan paket. Antarmuka yang terhubung ke jalur terpendek diaktifkan untuk meneruskan paket; antarmuka yang tidak terletak pada jalur terpendek diblokir, yang berarti bahwa tidak ada paket pengguna yang dapat dikirim melalui antarmuka.

Banyak variasi pohon merentang telah dirancang dan distandarisasi. Pada tahun 1990, IEEE menciptakan standar bernama 802.1d; standar ini diperbarui pada tahun 1998. Standar IEEE 802.1q menyediakan cara untuk menjalankan spanning tree pada sekumpulan jaringan yang independen secara logika yang berbagi media fisik tanpa kebingungan atau interferensi di antara jaringan logika. Cisco membuat versi eksklusif pohon rentang, Per-VLAN Spanning Tree (PVST) untuk digunakan pada sakelar VLAN, dan kemudian memperbarui protokol ke PVST+, membuatnya kompatibel dengan 802.1q. Pada tahun 1998, standar IEEE 802.1w memperkenalkan Rapid Spanning Tree Protocol untuk mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk konvergensi setelah perubahan topologi. Rapid Spanning Tree telah dimasukkan dalam 802.1d-2004, dan sekarang menggantikan STP. Versi yang dikenal sebagai Multiple Instance Spanning Tree Protocol (MISTP) dan Multiple Spanning Tree Protocol (MSTP) didefinisikan untuk menangani switch VLAN yang lebih kompleks; MSTP dimasukkan ke dalam standar IEEE 802.1q-2003.

## 17.8 Switching Dan Layer 2 Switch

Konsep bridging membantu menjelaskan mekanisme yang membentuk dasar Ethernet modern: switching. Switch Ethernet, kadang-kadang disebut switch Layer 2 adalah perangkat elektronik yang menyerupai hub. Seperti hub, switch menyediakan beberapa port yang masing-masing dilampirkan ke satu komputer, dan switch memungkinkan komputer untuk mengirim frame satu sama lain. Perbedaan antara hub dan sakelar muncul dari cara perangkat beroperasi: hub beroperasi sebagai perangkat analog yang meneruskan sinyal antar komputer, sedangkan sakelar adalah perangkat digital yang meneruskan paket. Kita dapat menganggap hub sebagai simulasi media transmisi bersama, dan menganggap switch sebagai simulasi jaringan yang dijembatani yang memiliki satu komputer per segmen LAN. Gambar 17.5 mengilustrasikan penggunaan konseptual jembatan dalam sakelar.



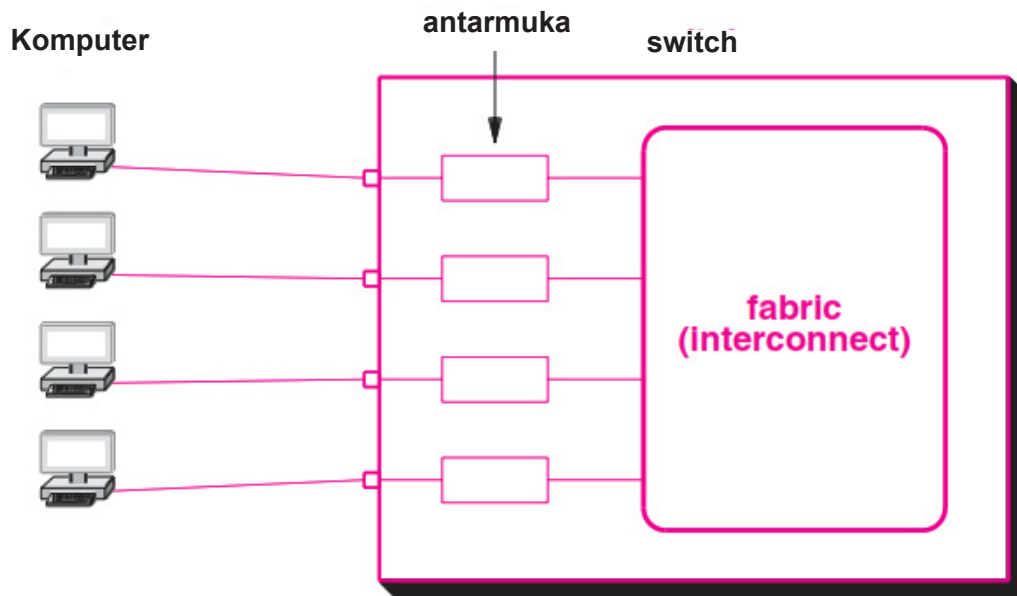
Gambar 17.5 Organisasi konseptual dari LAN yang diaktifkan.

Meskipun gambar tersebut memberikan pandangan konseptual, sakelar tidak mengandung jembatan yang terpisah. Alih-alih, sakelar terdiri dari antarmuka cerdas yang terpasang pada setiap port dan struktur pusat yang menyediakan transfer simultan antara pasangan antarmuka. Antarmuka berisi prosesor, memori, dan perangkat keras lain yang diperlukan untuk menerima paket yang masuk, berkonsultasi dengan tabel penerusan, dan mengirim paket melintasi fabric ke port output yang benar. Antarmuka juga menerima paket dari fabric, dan mengirimkannya keluar port. Yang paling penting, karena mengandung memori, sebuah antarmuka dapat menyangga paket yang datang ketika port keluaran sedang sibuk. Jadi, jika komputer 1 dan komputer 2 mengirim paket ke komputer 3 secara bersamaan, baik antarmuka 1 atau antarmuka 2 akan menyimpan paket sementara antarmuka lainnya mentransmisikan. Gambar 17.6 mengilustrasikan arsitekturnya.

Secara fisik, switch tersedia dalam berbagai ukuran. Yang terkecil terdiri dari perangkat yang berdiri sendiri dan murah yang menyediakan empat koneksi, yang cukup untuk menghubungkan komputer, printer, dan dua perangkat lain seperti pemindai. Bisnis menggunakan sakelar terbesar untuk menghubungkan puluhan ribu komputer dan perangkat lain di seluruh perusahaan. Keuntungan utama menggunakan LAN yang diaktifkan daripada hub adalah paralelisme. Meskipun hub hanya dapat mendukung satu transmisi pada satu waktu, switch memungkinkan beberapa transfer terjadi pada saat yang sama, asalkan transfer independen (yaitu, hanya pada paket yang ditransfer ke port tertentu pada waktu tertentu). Jadi, jika sebuah switch memiliki  $N$  port yang terhubung ke  $N$  komputer, transfer  $N/2$  dapat terjadi pada saat yang bersamaan.

### Poin Penting

*Karena menangani paket alih-alih sinyal dan menggunakan fabric untuk menyediakan jalur internal paralel, sakelar dengan port  $N$  dapat mentransfer hingga  $N/2$  paket secara bersamaan.*



Gambar 17.6 Ilustrasi arsitektur switch.

## 17.10 Sakelar VLAN

Sakelar telah diperluas dengan menambahkan virtualisasi, dan hasilnya dikenal sebagai sakelar Jaringan Area Lokal Virtual (saklar VLAN). Konsepnya sederhana: memungkinkan seorang manajer untuk mengonfigurasi satu sakelar untuk meniru beberapa sakelar independen. Artinya, seorang manajer menetapkan satu set port pada switch dan menunjuk mereka untuk berada di LAN virtual 1, menunjuk satu set port untuk berada di LAN virtual 2, dan seterusnya. Ketika sebuah komputer pada LAN virtual 2 menyiarkan sebuah paket, hanya komputer-komputer tersebut pada LAN virtual yang sama yang menerima salinan (yaitu, setelah dikonfigurasi, sebuah sakelar VLAN membuat tampak bahwa ada beberapa sakelar).

Membagi komputer ke dalam domain siaran terpisah tampaknya tidak penting sampai seseorang mempertimbangkan perusahaan besar atau penyedia layanan. Dalam setiap kasus, mungkin penting untuk menjamin bahwa satu set komputer dapat berkomunikasi tanpa orang lain menerima paket dan tanpa menerima paket dari luar. Misalnya, sebuah perusahaan dapat memilih untuk menyediakan firewall antara komputer di kantor CEO dan komputer lain di perusahaan†. Mengkonfigurasi VLAN terpisah untuk komputer CEO memungkinkan firewall dipasang.

## 17.11 Bridge Digunakan Dengan Perangkat Lain

Meskipun deskripsi kami mencirikan bridge sebagai perangkat yang berdiri sendiri, menjembatani adalah konsep dasar yang telah dimasukkan ke dalam banyak perangkat. Misalnya, modem DSL atau kabel menyediakan bentuk penghubung: modem menyediakan koneksi Ethernet di tempat tinggal pelanggan, dan mentransfer paket Ethernet antara lokasi pelanggan dan jaringan penyedia. Beberapa teknologi nirkabel juga menggunakan bentuk bridging untuk mentransfer frame dari perangkat seluler ke jaringan penyedia. Jadi, meskipun vendor tidak lagi menjual perangkat bridge yang berdiri sendiri, konsep menjembatani telah dimasukkan ke dalam perangkat jaringan, seperti modem yang digunakan dalam teknologi akses.

## 17.12 Ringkasan

Beberapa mekanisme telah dibuat untuk memperluas LAN melintasi jarak geografis yang lebih jauh. Sepasang modem serat dapat digunakan untuk memperluas koneksi antara komputer dan LAN. Repeater adalah perangkat analog yang memperkuat sinyal listrik dari satu segmen LAN dan mentransmisikan salinan di segmen lain, dan sebaliknya. Bridge adalah perangkat digital yang menghubungkan dua segmen LAN dan mentransfer paket di antara mereka.

Untuk mengoptimalkan penerusan, sebuah jembatan memeriksa alamat MAC di header setiap frame, dan mempelajari komputer mana yang terhubung ke setiap segmen. Setelah jembatan mempelajari lokasi komputer, jembatan tidak meneruskan frame yang dikirim ke komputer dari komputer lain di segmen yang sama.

Switch Ethernet menghubungkan beberapa komputer, dan meneruskan frame di antara mereka. Secara konseptual, switch berfungsi seperti sekumpulan segmen LAN yang saling terhubung oleh bridge. Dalam praktiknya, sebuah sakelar berisi seperangkat antarmuka cerdas yang menggunakan mekanisme interkoneksi perangkat keras berkecepatan tinggi yang disebut fabric. Keuntungan utama dari switch melalui hub adalah bahwa switch dapat mentransfer beberapa paket secara bersamaan, asalkan hanya satu paket yang ditujukan untuk port output tertentu. Sakelar VLAN memungkinkan manajer untuk mengonfigurasi sakelar agar bertindak seperti satu set sakelar independen.

## Latihan

---

1. Ketika serat optik digunakan untuk memperluas koneksi ke LAN, perangkat tambahan apa yang diperlukan?
2. Jika pesawat televisi menyediakan perpanjangan kabel untuk sensor inframerah jarak jauh, teknologi apa yang mungkin digunakan?
3. Jika dua komputer terhubung pada jaringan yang dijembatani, apakah diperlukan perubahan dalam pengalaman atau dalam aplikasi? Menjelaskan.
4. Berikan pernyataan yang tepat tentang kondisi di mana sebuah jembatan adaptif akan meneruskan sebuah paket.
5. Pertimbangkan sebuah paket yang dikirim pada LAN yang dijembatani ke alamat yang tidak ada. Di berapa banyak segmen yang akan menjembatani meneruskan paket?
6. Misalkan jaringan berisi tiga segmen Ethernet yang beroperasi pada 100 Mbps yang dihubungkan oleh dua jembatan dan setiap segmen berisi satu komputer. Jika dua komputer mengirim ke komputer ketiga, berapa kecepatan data maksimum yang dapat dicapai oleh pengirim tertentu? Minimal?
7. Lihat Web untuk menemukan deskripsi algoritme pohon rentang, dan tulis program komputer yang mensimulasikan jembatan yang membentuk pohon rentang.
8. Apakah komputer pada Ethernet yang dijembatani menerima paket pohon rentang? Menjelaskan.
9. Gunakan penganalisis jaringan untuk mengamati lalu lintas pada Ethernet yang dijembatani. Apa yang Anda amati setelah jembatan di-boot ulang?
10. Ketika bridging digunakan dengan link satelit, biasanya digunakan dua bridge, satu di setiap sisi. Jelaskan mengapa.
11. Menurut Gambar 17.6, dapatkah dua komputer yang terhubung ke LAN yang diaktifkan mengirimkan paket secara bersamaan? Menjelaskan.

12. Perluas Gambar 17.6 untuk memiliki lima port.
13. Pada latihan sebelumnya, tulis persamaan yang memberikan jumlah jembatan simulasi yang dibutuhkan sebagai fungsi dari jumlah port.
14. Tulis program komputer yang mensimulasikan fungsi jembatan. Biarkan dua file data mensimulasikan frame yang ditransmisikan pada dua segmen yang dilampirkan jembatan. Asumsikan bahwa setiap frame simulasi berisi sumber dan alamat tujuan. Untuk melakukan simulasi, baca sebuah frame dari file pertama, kemudian sebuah frame dari file kedua, dan seterusnya. Untuk setiap frame, tampilkan apakah bridge akan meneruskan salinan frame ke segmen LAN lainnya.
15. Perluas program pada latihan sebelumnya untuk mensimulasikan sakelar VLAN. Mintalah program untuk memulai dengan membaca informasi konfigurasi yang menentukan satu set host dan satu set LAN virtual tempat mereka harus dilampirkan. Buat file bingkai yang masing-masing menentukan komputer pengirim bingkai (yaitu, port pada sakelar tempat bingkai tiba) dan alamat tujuan. Tunjukkan bagaimana setiap frame diteruskan.
16. Bisakah bridge menghubungkan jaringan Wi-Fi ke Ethernet? Bisa saklar? Mengapa atau mengapa tidak?

---

### Bab ini akan membahas tentang:

- struktur jaringan yang mencakup area yang luas yang berubah-ubah
- dua algoritma perutean dasar
- komponen dasar yang digunakan untuk membangun sistem packet switching, dan menjelaskan konsep dasar perutean

### 18.1 Rentang Besar Dan Jaringan Area Luas

Kami mengatakan bahwa teknologi jaringan dapat diklasifikasikan menurut jarak yang terbentang:

- PAN — mencakup wilayah dekat individu
- LAN — menjangkau gedung atau kampus
- MAN — mencakup area metropolitan yang besar
- WAN — menjangkau beberapa kota atau negara

Pertimbangkan sebuah perusahaan yang menggunakan jembatan satelit untuk menghubungkan LAN di dua lokasi. Haruskah jaringan diklasifikasikan sebagai WAN atau sebagai LAN yang diperluas? Apakah jawabannya berubah jika perusahaan hanya memiliki PC dan printer di setiap situs? Ya, memang. Masalah utama yang memisahkan teknologi WAN dari teknologi LAN adalah skalabilitas — WAN harus dapat tumbuh sesuai kebutuhan untuk menghubungkan banyak situs yang tersebar di jarak geografis yang luas, dengan banyak komputer di setiap situs. Misalnya, WAN harus dapat menghubungkan semua komputer di perusahaan besar yang memiliki kantor atau pabrik di lusinan lokasi yang tersebar di ribuan mil persegi. Selain itu, teknologi tidak diklasifikasikan sebagai WAN kecuali dapat memberikan kinerja yang wajar untuk jaringan skala besar. Artinya, WAN tidak hanya terhubung ke banyak komputer di banyak situs — WAN harus menyediakan kapasitas yang cukup

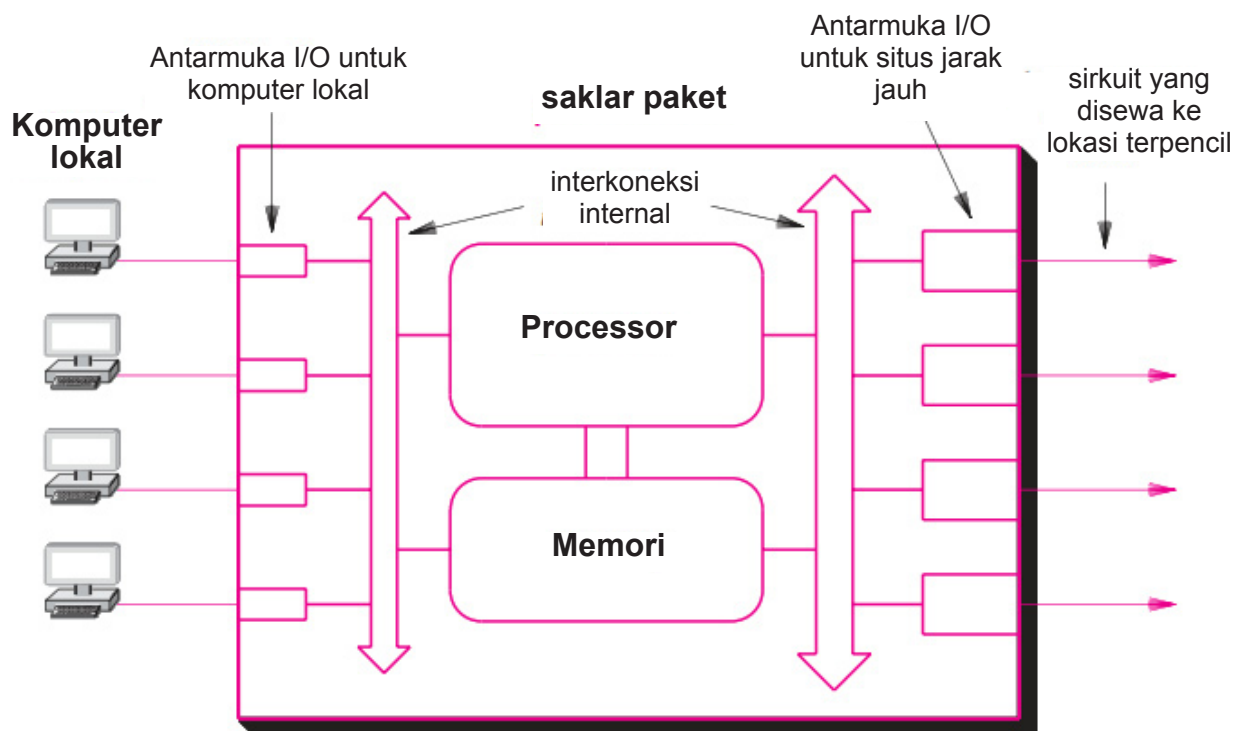
untuk memungkinkan semua komputer berkomunikasi. Jadi, jembatan satelit yang menghubungkan sepasang PC dan printer hanyalah LAN yang diperluas.

## 18.2 Arsitektur WAN Tradisional

Teknologi WAN tradisional dikembangkan sebelum Jaringan Area Lokal muncul, sebelum komputer pribadi tersedia, dan sebelum Internet diciptakan†. Dengan demikian, arsitektur WAN tradisional dirancang untuk menghubungkan satu set situs, di mana setiap situs memiliki beberapa komputer besar.

Tanpa teknologi LAN yang tersedia, desainer WAN memilih untuk membuat perangkat keras tujuan khusus yang dapat ditempatkan di setiap lokasi. Dikenal sebagai packet switch, perangkat menyediakan koneksi lokal untuk komputer di situs serta koneksi untuk sirkuit data yang mengarah ke situs lain.

Secara konseptual, packet switch terdiri dari sistem komputer kecil dengan prosesor, memori, dan perangkat I/O yang digunakan untuk mengirim dan menerima paket. Sakelar paket awal dibuat dari komputer konvensional; switch paket yang digunakan dalam WAN berkecepatan tertinggi memerlukan perangkat keras dengan tujuan khusus. Gambar 18.1 mengilustrasikan arsitektur internal.



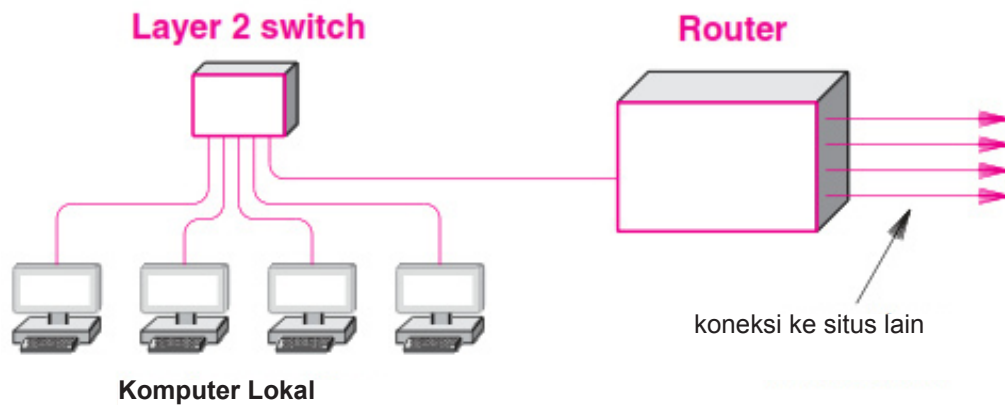
Gambar 18.1 Ilustrasi arsitektur packet switch tradisional.

Seperti yang ditunjukkan gambar, switch paket berisi dua jenis perangkat I/O. Yang pertama, yang beroperasi pada kecepatan tinggi, digunakan untuk menghubungkan sakelar ke sirkuit digital yang mengarah ke sakelar paket lain. Jenis perangkat I/O kedua, yang beroperasi pada kecepatan lebih rendah, digunakan untuk menghubungkan sakelar ke komputer individual.

Sejak munculnya teknologi LAN, sebagian besar WAN memisahkan switch paket menjadi dua bagian: switch Layer 2 yang menghubungkan komputer lokal dan router yang terhubung ke situs lain. Bagian 4 dari teks membahas router Internet secara rinci, dan menjelaskan bagaimana konsep



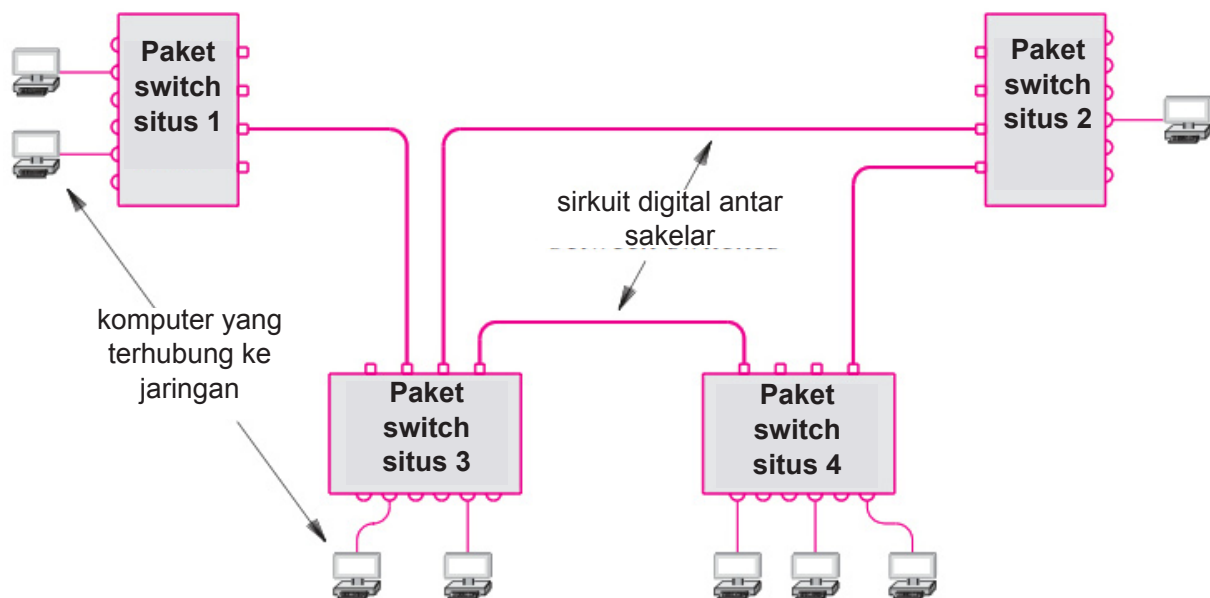
yang dibahas di sini berlaku untuk Internet; untuk saat ini, cukup dipahami bahwa komunikasi dengan komputer lokal dapat dipisahkan dari transmisi melalui WAN. Gambar 18.2 mengilustrasikan pemisahan tersebut.



Gambar 18.2 Ilustrasi situs WAN modern dengan komunikasi lokal yang ditangani oleh LAN terpisah.

### 18.3 Merancang WAN

Secara konseptual, WAN dapat dibentuk dengan menghubungkan satu set situs. Rincian yang tepat dari interkoneksi tergantung pada kecepatan data yang dibutuhkan, jarak yang terbentang, dan penundaan yang dapat ditoleransi. Banyak WAN menggunakan sirkuit data sewa seperti yang dijelaskan dalam Bab 12 (misalnya, sirkuit T3 atau sirkuit OC-12). Namun, bentuk lain juga tersedia, seperti saluran microwave dan satelit. Selain memilih teknologi untuk koneksi, seorang desainer harus memilih topologi. Untuk kumpulan situs tertentu, banyak topologi yang memungkinkan. Sebagai contoh, Gambar 18.3 mengilustrasikan cara yang mungkin untuk menghubungkan empat sakelar paket tradisional dan delapan komputer.



Gambar 18.3 Contoh WAN yang dibentuk oleh interkoneksi packet switch.

Seperti yang ditunjukkan gambar, WAN tidak perlu simetris — interkoneksi antar switch paket dan kapasitas setiap koneksi dapat dipilih untuk mengakomodasi lalu lintas yang diharapkan dan menyediakan redundansi jika terjadi kegagalan. Pada gambar, switch paket di situs 1 hanya memiliki satu koneksi ke seluruh jaringan, sedangkan switch paket di situs lain memiliki setidaknya dua koneksi eksternal.

### **Poin Penting**

---

*Sebuah WAN tradisional dibentuk oleh interkoneksi paket switch; switch paket di setiap situs terhubung ke komputer. Topologi dan kapasitas koneksi dipilih untuk mengakomodasi lalu lintas yang diharapkan dan kebutuhan untuk redundansi.*

## **18.4 Paradigma Store And Forward**

Tujuan dari WAN adalah untuk memungkinkan komputer sebanyak mungkin untuk mengirim paket secara bersamaan. Paradigma dasar yang digunakan untuk mencapai transmisi simultan dikenal sebagai store and forward. Untuk melakukan proses store and forward, packet switch menyangga paket-paket dalam memori. Operasi penyimpanan terjadi ketika sebuah paket tiba: Perangkat keras I/O di dalam switch paket menempatkan salinan paket dalam memori. Operasi forward terjadi setelah sebuah paket tiba dan menunggu di memori. Prosesor memeriksa paket, menentukan tujuannya, dan mengirimkan paket melalui antarmuka I/O yang mengarah ke tujuan.

Sebuah sistem yang menggunakan paradigma store and forward dapat membuat setiap data link sibuk, dan dengan demikian, meningkatkan kinerja secara keseluruhan. Lebih penting lagi, jika beberapa paket dikirim ke perangkat output yang sama, switch paket dapat menerima dan menyimpan paket dalam memori hingga perangkat siap. Sebagai contoh, pertimbangkan transmisi paket pada jaringan pada Gambar 18.3. Misalkan dua komputer di situs 1 masing-masing menghasilkan paket yang ditujukan untuk komputer di situs 3 pada waktu yang hampir bersamaan. Kedua komputer dapat mengirim paket mereka ke packet switch secara bersamaan. Saat setiap paket tiba, perangkat keras I/O pada packet switch menempatkan paket dalam memori dan menginformasikan prosesor packet switch. Prosesor memeriksa tujuan setiap paket, dan menentukan bahwa paket harus dikirim ke situs 3. Jika antarmuka keluaran yang mengarah ke situs 3 menganggur saat paket tiba, transmisi segera dimulai. Jika perangkat output sibuk, prosesor menempatkan paket keluar dalam antrian yang terkait dengan perangkat. Segera setelah selesai mengirim paket, perangkat mengekstrak dan mengirim paket berikutnya dalam antrian.

### **Poin Penting**

---

*Sistem packet switching area luas menggunakan teknik store-and-forward di mana paket yang tiba di packet switch ditempatkan dalam antrian sampai packet switch dapat meneruskannya ke tujuan mereka. Teknik ini memungkinkan packet switch untuk buffer ledakan singkat paket yang tiba secara bersamaan.*

## **18.5 Addressing dalam WAN**

Dari tampilan komputer yang terpasang, jaringan WAN tradisional beroperasi mirip dengan LAN. Setiap teknologi WAN mendefinisikan format bingkai yang tepat yang digunakan komputer saat

mengirim dan menerima data. Selanjutnya, setiap komputer yang terhubung ke WAN diberi alamat. Saat mengirim frame ke komputer lain, pengirim harus memberikan alamat tujuan.

Meskipun detailnya bervariasi, alamat WAN mengikuti konsep kunci yang digunakan di Internet: pengalamatan hierarkis. Secara konseptual, pengalamatan hierarkis membagi setiap alamat menjadi dua bagian:

(site, computer at the site)

Dalam praktiknya, alih-alih mengidentifikasi situs, setiap sakelar paket diberi nomor unik, yang berarti bahwa bagian pertama dari sebuah alamat mengidentifikasi sakelar paket dan bagian kedua mengidentifikasi komputer tertentu. Misalnya, Gambar 18.4 menunjukkan alamat hierarkis dua bagian yang ditetapkan ke komputer yang terhubung ke sepasang sakelar paket.



Gambar 18.4 Contoh hierarki alamat di mana setiap alamat mengidentifikasi switch paket dan komputer yang terhubung ke switch.

Gambar tersebut menunjukkan setiap alamat sebagai sepasang bilangan bulat desimal. Misalnya, komputer yang terhubung ke port 6 pada packet switch 2 diberi alamat [2,6]. Dalam prakteknya, sebuah alamat direpresentasikan sebagai nilai biner tunggal, dengan beberapa bit dari nilai biner digunakan untuk mewakili sebuah packet switch dan yang lainnya digunakan untuk mengidentifikasi komputer. Di Bagian 4 teks, kita akan melihat bahwa Internet menggunakan skema yang sama: setiap alamat Internet terdiri dari bilangan biner di mana awalan bit mengidentifikasi jaringan tertentu di Internet dan sisa bit mengidentifikasi komputer yang terhubung. jaringan.

## 18.6 Penerusan Hop Berikutnya

Pentingnya pengalamatan hierarkis menjadi jelas ketika seseorang mempertimbangkan pemrosesan paket. Ketika sebuah paket tiba, packet switch harus memilih jalur keluar untuk meneruskan paket. Jika sebuah paket ditujukan untuk komputer lokal, switch mengirimkan paket langsung ke komputer. Jika tidak, paket harus diteruskan melalui salah satu koneksi yang mengarah ke switch lain. Untuk membuat pilihan, packet switch memeriksa alamat tujuan dalam paket, dan mengekstrak nomor packet switch. Jika nomor di alamat tujuan identik dengan ID packet switch itu sendiri, paket tersebut ditujukan untuk komputer di local packet switch. Jika tidak, paket ditujukan untuk komputer di switch paket lain. Algoritma 18.1 menjelaskan perhitungan.

Ide penting adalah bahwa packet switch tidak perlu menyimpan informasi lengkap tentang bagaimana menjangkau semua komputer yang memungkinkan, switch juga tidak perlu menghitung seluruh rute yang akan diikuti oleh sebuah paket melalui jaringan. Alih-alih, sakelar mendasarkan penerusan pada ID sakelar paket, yang berarti sakelar hanya perlu mengetahui tautan keluar mana yang digunakan untuk mencapai sakelar tertentu.

### Algoritma 18.1

Diberikan:

Sebuah paket yang telah tiba di packet switch Q Lakukan:  
Langkah penerusan hop berikutnya

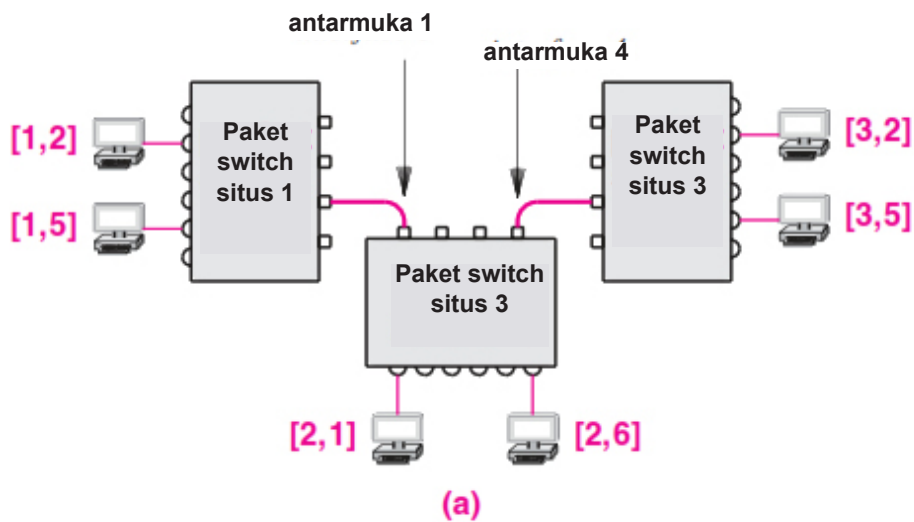
Metode:

```
Ekstrak alamat tujuan dari paket;  
Bagilah alamat menjadi nomor sakelar paket, P, dan identifikasi  
komputer, C;  
if ( P == Q ) { /* tujuannya adalah lokal */ Meneruskan paket ke  
komputer lokal C;  
} kalau tidak {  
Pilih tautan yang mengarah ke sakelar paket lain, dan teruskan  
  
}  
paket melalui tautan;
```

*Algoritma 18.1 Dua langkah yang digunakan switch paket untuk meneruskan paket saat menggunakan penerusan hop berikutnya.*

Kami mengatakan bahwa switch hanya perlu menghitung hop berikutnya untuk sebuah paket. Prosesnya disebut penerusan hop berikutnya, dan analog dengan cara maskapai penerbangan mendaftarkan penerbangan. Misalkan seorang penumpang maskapai yang bepergian dari San Francisco ke Miami menemukan bahwa satu-satunya rencana perjalanan yang tersedia melibatkan tiga penerbangan: yang pertama dari San Francisco ke Dallas, yang kedua dari Dallas ke Atlanta, dan yang ketiga dari Atlanta ke Miami. Meskipun tujuan akhir (Miami) tetap sama sepanjang perjalanan, hop berikutnya berubah di setiap bandara. Ketika penumpang meninggalkan San Francisco, hop berikutnya adalah Dallas. Ketika penumpang di Dallas, hop berikutnya adalah Atlanta, dan ketika penumpang di Atlanta, hop berikutnya adalah Miami.

Untuk membuat komputasi menjadi efisien, packet switch menggunakan table lookup. Artinya, setiap sakelar paket berisi tabel penerusan† yang mencantumkan semua kemungkinan sakelar paket dan memberikan hop berikutnya untuk masing-masingnya. Gambar 18.5 mengilustrasikan penerusan hop berikutnya dengan contoh sepele.



to reach	send to
switch 1	interface 1
switch 2	local delivery
switch 3	interface 4

(b)

Gambar 18.5 (a) Jaringan tiga sakelar paket, dan (b) tabel penerusan hop berikutnya untuk sakelar 2.

Untuk menggunakan tabel penerusan, sakelar mengekstrak alamat tujuan paket, dan menggunakan bagian sakelar paket dari alamat sebagai indeks dalam tabel penerusan. Sebagai contoh, perhatikan tabel pada Gambar 18.5b. Jika sebuah paket ditujukan untuk [3,5], sakelar mengekstrak 3, berkonsultasi dengan tabel, dan meneruskan paket ke antarmuka 4, yang mengarah ke sakelar 3.

Menggunakan hanya satu bagian dari alamat hierarki dua bagian untuk meneruskan paket memiliki dua konsekuensi praktis. Pertama, waktu komputasi yang diperlukan untuk meneruskan paket berkurang karena tabel penerusan dapat diatur sebagai larik yang menggunakan pengindeksan alih-alih pencarian. Kedua, tabel penerusan berisi satu entri per sakelar paket alih-alih satu entri per komputer tujuan. Pengurangan ukuran tabel bisa sangat besar, terutama untuk WAN besar yang memiliki banyak komputer yang terhubung ke setiap switch paket.

Intinya, skema pengalamatan hierarkis dua bagian memungkinkan sakelar paket untuk hanya menggunakan bagian pertama dari alamat tujuan hingga paket mencapai sakelar terakhir (yaitu sakelar tempat komputer tujuan terpasang). Setelah paket mencapai sakelar terakhir, sakelar menggunakan bagian kedua dari alamat untuk memilih komputer tertentu, seperti yang dijelaskan oleh Algoritma 18.1.

### Poin Penting

*Hanya bagian pertama dari alamat tujuan yang digunakan saat meneruskan paket melalui WAN. Setelah paket mencapai sakelar yang dilampirkan komputer tujuan, bagian kedua dari alamat tersebut digunakan untuk meneruskan paket ke komputer lokal yang benar.*

## 18.7 Kemandirian Sumber

Perhatikan bahwa penerusan hop berikutnya tidak bergantung pada sumber asli paket atau pada jalur yang telah diambil paket sebelum tiba di sakelar paket tertentu. Sebaliknya, hop berikutnya yang menjadi tujuan pengiriman paket hanya bergantung pada tujuan paket. Konsep, yang dikenal sebagai independensi sumber, adalah ide mendasar dalam jaringan, dan akan tersirat dalam diskusi kami di seluruh bab dan di bab selanjutnya yang menjelaskan penerusan Internet.

Independensi sumber memungkinkan mekanisme penerusan dalam jaringan komputer menjadi kompak dan efisien. Karena semua paket mengikuti jalur yang sama, hanya satu tabel yang diperlukan. Karena penerusan tidak menggunakan informasi sumber, hanya alamat tujuan yang perlu diekstraksi dari sebuah paket. Lebih jauh, mekanisme tunggal menangani penerusan secara seragam — paket yang berasal dari komputer yang terhubung langsung dan paket yang datang dari sakelar paket lain menggunakan mekanisme yang sama.

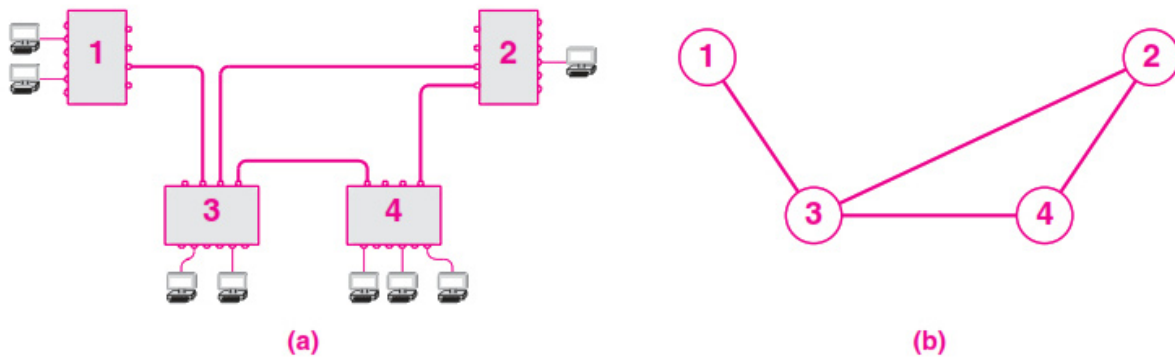
## 18.7 Pembaruan Perutean Dinamis Dalam WAN

Agar WAN dapat beroperasi dengan benar, setiap sakelar harus memiliki tabel penerusan, dan harus meneruskan paket. Selanjutnya, nilai dalam tabel penerusan harus menjamin hal-hal berikut:

- Komunikasi universal. Tabel penerusan di setiap sakelar harus berisi rute hop berikutnya yang valid untuk setiap alamat tujuan yang mungkin.
- Rute yang optimal. Dalam sebuah switch, nilai next-hop dalam tabel penerusan untuk tujuan tertentu harus menunjuk ke jalur terpendek ke tujuan.

Kegagalan jaringan semakin memperumit penerusan. Misalnya, jika ada dua jalur ke tujuan tertentu dan salah satu jalur menjadi tidak tersedia karena perangkat keras gagal (misalnya, sirkuit terputus), penerusan harus diubah untuk menghindari jalur yang tidak tersedia. Jadi, seorang manajer tidak bisa hanya mengonfigurasi tabel penerusan agar berisi nilai statis yang tidak berubah. Alih-alih, perangkat lunak yang berjalan pada paket beralih terus menguji kegagalan, dan mengkonfigurasi ulang tabel penerusan secara otomatis. Kami menggunakan istilah perangkat lunak perutean untuk menggambarkan perangkat lunak yang secara otomatis mengkonfigurasi ulang tabel penerusan.

Cara termudah untuk memikirkan komputasi rute dalam WAN adalah dengan memikirkan grafik yang memodelkan jaringan, dan bayangkan perangkat lunak menggunakan grafik untuk menghitung jalur terpendek ke semua tujuan yang mungkin. Setiap node dalam grafik sesuai dengan switch paket dalam jaringan (komputer individu bukan bagian dari grafik). Jika jaringan berisi koneksi langsung antara sepasang sakelar paket, grafik berisi tepi atau tautan antara node yang sesuai†. Misalnya, Gambar 18.6 menunjukkan contoh WAN dan grafik yang sesuai.



Gambar 18.6 Ilustrasi WAN dan grafik yang sesuai.

Seperti yang ditunjukkan gambar, node dalam grafik diberi label yang sama dengan nomor yang ditetapkan ke switch paket yang sesuai. Representasi graf sangat berguna dalam menghitung penerusan hop berikutnya karena teori graf telah dipelajari dan algoritma yang efisien telah dikembangkan. Selanjutnya, grafik mengabstraksikan detail, memungkinkan perangkat lunak perutean untuk menangani esensi masalah.

Ketika menghitung penerusan hop berikutnya untuk grafik, algoritma perutean harus mengidentifikasi tautan. Contoh kita akan menggunakan notasi  $(k, j)$  untuk menunjukkan link dari node  $k$  ke node  $j$ . Jadi, ketika algoritma perutean berjalan pada grafik pada Gambar 18.6b, algoritma menghasilkan output seperti yang ditunjukkan pada Gambar 18.7.

capaian	hop <sup>-</sup> berikutnya	capaian	hop <sup>-</sup> berikutnya	capaian	hop <sup>-</sup> berikutnya	capaian	hop <sup>+</sup> berikutnya
1	-	1	(2,3)	1	(3,1)	1	(4,3)
2	(1,3)	2	-	2	(3,2)	2	(4,2)
3	(1,3)	3	(2,3)	3	-	3	(4,3)
4	(1,3)	4	(2,4)	4	(3,4)	4	-
node 1		node 2		node 3		node 4	

Gambar 18.7 Tabel penerusan untuk setiap node pada grafik Gambar 18.6b.

## 18.8 Rute Default

Tabel penerusan untuk node 1 pada Gambar 18.7 memunculkan poin penting: tabel penerusan dapat berisi banyak entri yang mengarah ke hop berikutnya yang sama. Pemeriksaan WAN pada Gambar 18.6a mengungkapkan mengapa semua entri jarak jauh berisi hop berikutnya yang sama: sakelar paket hanya memiliki satu koneksi ke jaringan. Oleh karena itu, semua lalu lintas keluar harus dikirim melalui koneksi yang sama. Akibatnya, kecuali entri yang sesuai dengan node itu sendiri, semua entri dalam tabel penerusan node 1 memiliki hop berikutnya yang menunjuk ke link dari node 1 ke node 3.



Dalam contoh sepele kami, daftar entri duplikat dalam tabel penerusan pendek. Namun WAN besar mungkin berisi ratusan entri duplikat. Sebagian besar sistem WAN menyertakan mekanisme yang dapat digunakan untuk menghilangkan kasus umum entri duplikat. Disebut rute default, mekanisme ini memungkinkan satu entri dalam tabel penerusan untuk menggantikan daftar panjang entri yang memiliki nilai hop berikutnya yang sama. Hanya satu entri default yang diperbolehkan dalam tabel penerusan, dan entri tersebut memiliki prioritas lebih rendah daripada entri lainnya. Jika mekanisme penerusan tidak menemukan entri eksplisit untuk tujuan tertentu, ia menggunakan default. Gambar 18.8 menunjukkan tabel penerusan dari Gambar 18.7 yang direvisi untuk menggunakan rute default.

capaian	hop berikutnya
1	-
*	(1,3)

node 1

capaian	hop berikutnya
2	-
4	(2,4)
*	(2,3)

node 2

capaian	hop berikutnya
1	(3,1)
2	(3,2)
3	-
4	(3,4)

node 3

capaian	hop berikutnya
2	(4,2)
4	-
*	(4,3)

node 4

Gambar 18.8 Tabel penerusan dari Gambar 18.7 dengan rute default dilambangkan dengan tanda bintang.

Perutean default adalah opsional — entri default hanya ada jika lebih dari satu tujuan memiliki nilai hop berikutnya yang sama. Misalnya, tabel penerusan untuk node 3 tidak berisi rute default karena setiap entri memiliki hop berikutnya yang unik. Namun, tabel penerusan untuk node 1 diuntungkan dari rute default karena semua tujuan jarak jauh memiliki hop berikutnya yang sama.

## 18.9 Perhitungan Tabel Penerusan

Bagaimana tabel penerusan dibangun? Ada dua pendekatan dasar.

- Perutean statis. Sebuah program menghitung dan menginstal rute ketika sebuah packet switch melakukan booting; rute tidak berubah.
- Perutean dinamis. Sebuah program membangun sebuah tabel forwarding awal ketika sebuah paket switch boot; program kemudian mengubah tabel saat kondisi dalam jaringan berubah.

Setiap pendekatan memiliki kelebihan dan kekurangan. Keuntungan utama dari perutean statis adalah kesederhanaan dan overhead yang rendah. Kerugian utama adalah tidak fleksibel — rute statis tidak dapat diubah ketika komunikasi terganggu. Karena jaringan besar dirancang dengan koneksi yang berlebihan untuk menangani kegagalan perangkat keras sesekali, sebagian besar WAN menggunakan bentuk perutean dinamis.

## 18.10 Perhitungan Rute Terdistribusi

Algoritma 18.2 menunjukkan bagaimana tabel penerusan dapat dihitung setelah informasi tentang jaringan dikodekan dalam grafik. Dalam praktiknya, WAN perlu melakukan komputasi rute terdistribusi. Artinya, alih-alih program terpusat yang menghitung semua jalur terpendek, setiap sakelar paket harus menghitung tabel penerusannya sendiri secara lokal.

Semua switch paket harus berpartisipasi dalam perhitungan rute terdistribusi. Ada dua bentuk umum:

- Link-State Routing (LSR), yang menggunakan algoritma Dijkstra
- Distance-Vector Routing (DVR), yang menggunakan pendekatan lain

Bagian selanjutnya menjelaskan masing-masing dari dua pendekatan. Bab 27 menjelaskan bagaimana setiap pendekatan digunakan untuk mengontrol rute di Internet.

### 18.10.1 Perutean Status Tautan (LSR)

Dikenal secara formal sebagai perutean status tautan atau perutean status tautan, pendekatan ini dikenal sebagai perutean Jalur Terpendek Pertama atau SPF. Terminologi tersebut muncul karena Dijkstra menggunakannya untuk mengkarakterisasi cara kerja algoritma. Namun, ini agak menyesatkan karena semua algoritma perutean menemukan jalur terpendek.

Untuk menggunakan perutean LSR, switch paket secara berkala mengirim pesan melintasi jaringan yang membawa status tautan antara dua switch paket. Misalnya, packet switch 5 dan 9 mengukur hubungan antara mereka dan mengirim pesan status, seperti "link antara 5 dan 9 sudah habis". Setiap pesan status disiarkan ke semua sakelar. Setiap sakelar menjalankan perangkat lunak yang mengumpulkan pesan status masuk dan menggunakannya untuk membuat grafik jaringan. Setiap sakelar kemudian menggunakan Algoritma 18.2 untuk menghasilkan tabel penerusan dengan memilih dirinya sendiri sebagai sumber.

Algoritma LSR dapat beradaptasi dengan kegagalan perangkat keras. Jika link antara switch paket gagal, switch paket yang terpasang akan mendeteksi kegagalan dan menyiarkan pesan status yang menentukan link sedang down. Semua sakelar paket menerima siaran, mengubah salinan grafiknya untuk mencerminkan perubahan status tautan, dan menghitung ulang jalur terpendek. Demikian pula, ketika tautan tersedia lagi, sakelar paket yang terhubung ke tautan mendeteksi bahwa tautan itu berfungsi dan mulai mengirim pesan status yang melaporkan ketersediaannya.

## Algoritma 18.2

Diberikan:

Graf dengan bobot nonnegatif yang ditetapkan untuk setiap sisi dan simpul sumber yang ditunjuk

Menghitung:

Jarak terpendek dari node sumber ke node lain dan tabel routing next-hop

Metode:

Inisialisasi set S untuk memuat semua node kecuali node sumber; Inisialisasi larik D sehingga  $D[v]$  adalah bobot sisi dari sumber ke v jika tepi seperti itu ada, dan tak terhingga sebaliknya; Inisialisasi entri R sehingga  $R[v]$  ditetapkan v jika an tepi ada dari sumber ke v, dan nol sebaliknya;

```
while (set S tidak kosong) {
  pilih simpul u dari S sehingga  $D[u]$  minimum;
  jika ( $D[u]$  tak terhingga) {
    error: tidak ada jalur ke node di S; berhenti;
  }
  hapus kamu dari set S;
  untuk setiap simpul v sedemikian rupa sehingga (u,v) adalah tepi {
    jika (v masih di S) {
       $c = D[u] + \text{berat}(u,v)$ ;
      if ( $c < D[v]$ ) {  $R[v] = R[u]$ ;  $D[v] = c$ ;
    }
  }
}
```

*Algoritma 18.2 Versi algoritma Dijkstra yang menghitung R, tabel penerusan hop berikutnya, dan D, jarak ke setiap node dari node sumber yang ditentukan.*

### 18.10.2 Perutean Vektor Jarak (DVR)

Alternatif utama untuk LSR dikenal sebagai pendekatan Distance-Vector Routing (DVR). Seperti halnya LSR, setiap link dalam jaringan diberi bobot, dan jarak ke tujuan antara dua sakelar paket didefinisikan sebagai jumlah bobot di sepanjang jalur antara keduanya. Seperti LSR, distance-vector routing mengatur packet switch untuk bertukar pesan secara berkala. Tidak seperti LSR, bagaimanapun, skema vektor jarak mengatur switch paket untuk mengirim daftar lengkap tujuan dan biaya saat ini untuk mencapai masing-masing. Intinya, ketika mengirim pesan DVR, switch paket mengirimkan serangkaian pernyataan individu, dalam bentuk:

“Saya dapat mencapai tujuan X, dan jaraknya saat ini dari saya adalah Y.”

Pesan DVR tidak disiarkan. Sebaliknya, setiap switch paket secara berkala mengirimkan pesan DVR ke tetangganya. Setiap pesan berisi pasangan (tujuan, jarak). Jadi, setiap packet switch harus menyimpan daftar tujuan yang mungkin bersama dengan jarak saat ini ke tujuan dan hop berikutnya yang akan digunakan. Daftar tujuan dan hop berikutnya untuk masing-masing dapat ditemukan di tabel penerusan. Kita dapat menganggap perangkat lunak DVR sebagai mempertahankan ekstensi ke tabel penerusan yang menyimpan jarak untuk setiap tujuan.

Ketika sebuah pesan tiba di packet switch dari tetangga N, packet switch memeriksa setiap item dalam pesan, dan mengubah tabel penerusannya jika tetangga memiliki jalur yang lebih pendek ke beberapa tujuan daripada jalur yang sedang digunakan. Misalnya, jika tetangga N mengiklankan jalur ke tujuan D dengan biaya lima dan jalur saat ini melalui tetangga K memiliki biaya seratus, hop berikutnya saat ini untuk D akan digantikan oleh N dan biaya untuk mencapai D akan menjadi lima ditambah biaya untuk mencapai N. Algoritma 18.3 menentukan bagaimana rute diperbarui saat menggunakan pendekatan vektor-jarak.

### Algoritma 18.3

Diberikan:

Tabel penerusan lokal dengan jarak untuk setiap entri, jarak untuk menjangkau setiap tetangga, dan pesan DV masuk dari tetangga

Menghitung:

Tabel penerusan yang diperbarui

Metode:

Pertahankan bidang jarak di setiap entri tabel penerusan; Inisialisasi tabel penerusan dengan satu entri yang memiliki

tujuan sama dengan switch paket lokal,

hop berikutnya tidak digunakan, dan jarak disetel ke nol;

Ulangi selamanya {

Tunggu pesan perutean tiba melalui jaringan dari tetangga; biarkan pengirim menjadi sakelar N;

untuk setiap entri dalam pesan {

Biarkan V menjadi tujuan dalam entri dan biarkan D menjadi jarak;

Hitung C sebagai D ditambah bobot yang diberikan ke tautan tempat pesan tiba;

Periksa dan perbarui tabel perutean lokal:

if (tidak ada rute ke V) {

tambahkan entri ke tabel perutean lokal untuk tujuan

V dengan hop berikutnya N dan jarak C;

} else if (ada rute yang memiliki N hop berikutnya) {

mengganti jarak pada rute yang ada dengan C;

} else if (ada rute dengan jarak lebih besar dari C) {

ubah next-hop ke N dan jarak ke C;

}

}

*Algoritma 18.3 Algoritma distance-vector untuk perhitungan rute.*

## 18.11 Perhitungan Jalur Terpendek dalam Grafik

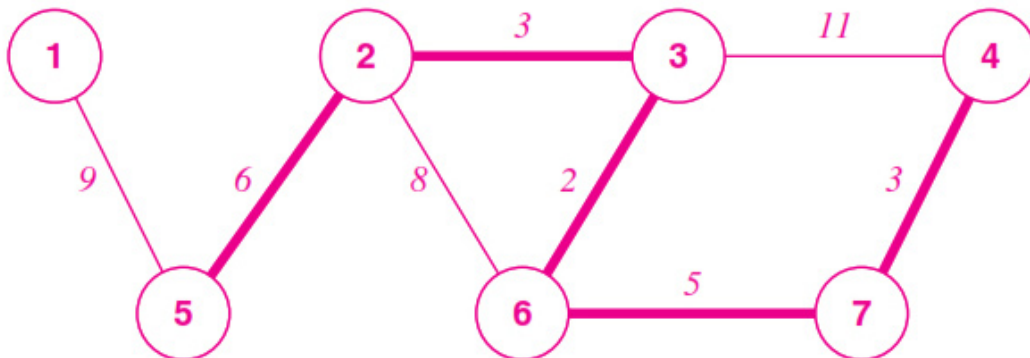
Setelah grafik yang sesuai dengan jaringan dibuat, perangkat lunak menggunakan metode yang dikenal sebagai Algoritma Dijkstra untuk menemukan jalur terpendek dari node sumber ke setiap node lain dalam grafik; tabel penerusan hop berikutnya dibangun selama perhitungan jalur terpendek. Algoritma harus dijalankan sekali untuk setiap node dalam grafik. Artinya, untuk menghitung tabel forwarding untuk packet switch P, node yang sesuai dengan P ditunjuk sebagai node sumber, dan algoritma dijalankan.

Algoritma Dijkstra populer karena dapat digunakan dengan berbagai definisi jalur terpendek. Secara khusus, algoritme tidak memerlukan tepi dalam grafik untuk mewakili jarak geografis. Alih-alih, algoritme memungkinkan setiap tepi diberi nilai non-negatif yang disebut bobot, dan mendefinisikan jarak antara dua simpul sebagai jumlah bobot di sepanjang jalur antara simpul.

### Poin Penting

*Karena menggunakan bobot pada tautan saat menghitung jalur terpendek, algoritma Dijkstra dapat digunakan dengan ukuran selain jarak geografis.*

Gambar 18.9 mengilustrasikan konsep bobot dengan menunjukkan contoh graf dengan bobot bilangan bulat yang ditetapkan untuk setiap sisi dan jalur dengan bobot terkecil antara dua simpul dalam graf.



*Gambar 18.9 Contoh grafik dengan bobot yang ditetapkan untuk setiap tepi dan jalur terpendek antara node 4 dan 5 ditampilkan gelap.*

Algoritma Dijkstra mempertahankan satu set node, S, yang jarak minimum dan hop berikutnya belum dihitung. Set ini diinisialisasi ke semua node kecuali source. Algoritma kemudian melakukan iterasi sampai himpunan S kosong. Pada setiap iterasi, algoritma menghilangkan node dari S yang memiliki jarak paling dekat dari sumber. Saat menghapus node u, algoritma memeriksa jarak saat ini dari sumber ke masing-masing tetangga u yang tersisa di set. Jika jalur dari sumber melalui u ke tetangga memiliki bobot yang lebih kecil daripada jalur saat ini, algoritma memperbarui jarak ke tetangga. Setelah semua node telah dihapus dari S, algoritma akan menghitung jarak minimum ke setiap node dan tabel penerusan hop berikutnya yang benar untuk semua jalur yang mungkin.

Implementasi algoritma Dijkstra sangat mudah. Selain struktur data yang digunakan untuk menyimpan informasi tentang graf, algoritma Dijkstra membutuhkan tiga struktur data untuk disimpan:

jarak saat ini ke setiap node, hop berikutnya untuk jalur terpendek, dan informasi tentang kumpulan node yang tersisa. Node dapat diberi nomor dari 1 hingga  $n$  seperti yang ditunjukkan Gambar 18.9, yang membuat implementasi menjadi efisien karena nomor node dapat digunakan sebagai indeks ke dalam struktur data. Secara khusus, algoritme dapat menggunakan dua larik,  $D$  dan  $R$ , yang masing-masing diindeks oleh nomor simpul. Entri ke- $i$  dalam larik  $D$  menyimpan nilai arus dari jarak minimum dari sumber ke simpul  $i$ . Entri ke- $i$  dalam array  $R$  menyimpan hop berikutnya yang digunakan untuk mencapai simpul  $i$  di sepanjang jalur yang sedang dihitung. Himpunan  $S$  dapat dipertahankan sebagai daftar nomor simpul yang ditautkan ganda, yang memfasilitasi pencarian seluruh rangkaian atau menghapus entri.

Algoritma 18.2 menentukan bagaimana menghitung jalur terpendek dalam grafik. Algoritme menggunakan bobot( $i,j$ ) sebagai fungsi yang mengembalikan bobot tepi dari simpul  $i$  ke simpul  $j$ . Bobot fungsi diasumsikan mengembalikan nilai tak terhingga yang dicadangkan jika tidak ada tepi dari simpul  $i$  ke simpul  $j$ . Dalam praktiknya, nilai apa pun dapat digunakan untuk mewakili tak terhingga asalkan nilainya lebih besar daripada jumlah bobot di sepanjang jalur mana pun dalam grafik. Salah satu cara untuk menghasilkan nilai tak terhingga terdiri dari menambahkan satu ke jumlah semua bobot di semua tepi.

Mengizinkan bobot arbitrer ditetapkan ke tepi grafik berarti satu algoritma dapat digunakan dengan ukuran jarak yang berbeda. Sebagai contoh, beberapa teknologi WAN mengukur jarak dengan menghitung jumlah packet switch di sepanjang jalur. Untuk menggunakan algoritme untuk teknologi tersebut, setiap tepi dalam grafik diberi bobot 1. Dalam teknologi WAN lainnya, bobot ditetapkan untuk mencerminkan kapasitas koneksi yang mendasarinya. Sebagai alternatif, manajer dapat menetapkan bobot ke tautan untuk mengontrol perutean. Misalnya, pertimbangkan kasus di mana ada dua jalur terpisah antara sepasang sakelar paket, dengan satu jalur ditetapkan sebagai jalur utama, dan jalur lainnya ditetapkan sebagai jalur cadangan. Untuk menegakkan kebijakan seperti itu, seorang manajer dapat menetapkan tautan utama dengan bobot rendah dan tautan lainnya dengan bobot tinggi. Perangkat lunak perutean akan mengonfigurasi tabel penerusan untuk menggunakan jalur dengan bobot rendah kecuali jika jalur tersebut tidak tersedia, dalam hal ini perangkat lunak perutean akan memilih jalur alternatif.

## 18.12 Masalah Perutean

Secara teori, baik perutean LSR atau DVR akan menghitung jalur terpendek. Selanjutnya, setiap pendekatan pada akhirnya akan bertemu, artinya tabel penerusan di semua sakelar paket setuju. Namun, masalah memang terjadi. Misalnya, jika pesan LSR hilang, dua sakelar paket dapat berselisih tentang jalur terpendek. Masalah DVR bisa lebih parah karena kegagalan tautan dapat menyebabkan dua atau lebih sakelar paket membuat loop perutean di mana setiap sakelar paket menganggap sakelar paket berikutnya dalam kumpulan adalah jalur terpendek ke tujuan tertentu. Akibatnya, sebuah paket dapat beredar di antara switch paket tanpa batas.

Salah satu alasan utama protokol DVR menunjukkan masalah berasal dari backwash (yaitu, packet switch menerima informasi yang dikirim). Misalnya, sebuah sakelar memberi tahu tetangganya, "Saya dapat mencapai tujuan D1 dengan biaya 3". Jika koneksi yang menuju ke tujuan D1 gagal, switch akan menghapus entri untuk D1 dari tabel penerusannya (atau menandai entri tersebut tidak valid). Tetapi sakelar telah memberi tahu tetangga bahwa ada rute. Bayangkan bahwa tepat setelah tautan gagal, salah satu tetangga mengirim pesan DVR yang menyatakan "Saya dapat mencapai tujuan D1 dengan biaya 4". Sayangnya, pesan tersebut akan dipercaya, dan loop perutean akan dibuat.

Sebagian besar mekanisme perutean praktis berisi batasan dan hueristik untuk mencegah masalah seperti loop perutean. Misalnya, skema DVR menggunakan cakrawala terpisah, yang menetapkan bahwa sakelar tidak mengirim informasi kembali ke asalnya. Lebih jauh, kebanyakan sistem perutean yang praktis memperkenalkan histeresis yang mencegah perangkat lunak membuat banyak perubahan dalam waktu singkat. Namun, dalam jaringan besar di mana banyak tautan gagal dan sering pulih, masalah perutean dapat terjadi.

## 18.13 Ringkasan

Teknologi Wide Area Network (WAN) dapat digunakan untuk membentuk jaringan yang menjangkau jarak jauh yang sewenang-wenang dan menghubungkan banyak komputer secara sewenang-wenang. WAN tradisional terdiri dari perangkat elektronik yang disebut switch paket yang saling berhubungan melalui jalur komunikasi. Sakelar paket berisi prosesor, memori, dan antarmuka I/O. Sebuah antarmuka baik terhubung ke komputer lokal atau switch paket lain.

Jaringan packet switching menggunakan pendekatan store-and-forward di mana paket yang tiba ditempatkan dalam memori packet switch sampai prosesor dapat meneruskan paket ke tujuannya. Penerusan bergantung pada struktur data yang dikenal sebagai tabel penerusan. Tabel berisi entri untuk setiap tujuan, dan entri tersebut menentukan hop berikutnya yang digunakan untuk mencapai tujuan tersebut. Tabel penerusan mencantumkan sakelar paket sebagai tujuan alih-alih komputer individual. Sebuah WAN dapat direpresentasikan sebagai grafik di mana setiap node sesuai dengan switch paket dan setiap tepi sesuai dengan jalur komunikasi. Representasi grafik berguna karena menghilangkan detail dan dapat digunakan untuk menghitung tabel penerusan. Dua pendekatan dasar yang digunakan dalam perangkat lunak routing adalah Link State Routing (LSR) dan Distance-Vector Routing (DVR). LSR mengatur setiap packet switch untuk menyiarkan status setiap link yang terhubung langsung, dan menggunakan algoritma jalur terpendek Dijkstra untuk menghitung jalur terpendek. DVR mengatur switch paket untuk mengirim tetangganya daftar tujuan dan biaya untuk mencapai masing-masing. Tetangga memeriksa daftar dalam pesan DVR yang masuk, dan mengganti item dalam tabel penerusannya jika rute berbiaya lebih rendah tersedia.

## Latihan

---

1. Apa saja bagian konseptual dari packet switch tradisional, dan dengan apa ia terhubung?
2. Ke dalam dua bagian konseptual apakah packet switch modern dibagi?
3. Dapatkah komputer menggunakan antarmuka Ethernet untuk berkomunikasi dengan WAN?  
Menjelaskan.
4. Jika WAN menghubungkan  $N$  situs, berapa jumlah minimum sirkuit digital yang dibutuhkan?
5. Berapa jumlah maksimum yang dapat hadir?
6. Menjelaskan paradigma store and forward.
7. Apa saja dua bagian konseptual dari alamat WAN?
8. Gambar 18.4 menunjukkan bagaimana alamat dapat diberikan ke komputer yang terhubung ke packet switch. Misalkan perangkat keras untuk salah satu antarmuka pada sakelar gagal dan administrator



jaringan memindahkan koneksi komputer ke antarmuka yang tidak digunakan. Apakah konfigurasi baru akan bekerja dengan benar? Mengapa atau mengapa tidak?

9. Tulis program komputer yang mengambil sebagai input tabel penerusan dan serangkaian paket, dan menghasilkan sebagai output pernyataan tentang bagaimana setiap paket harus diteruskan. Ingatlah untuk menangani paket yang memiliki alamat yang salah.
10. Pertimbangkan WAN dengan dua switch paket. Asumsikan setiap sakelar memiliki entri tabel penerusan untuk setiap alamat lokal (yaitu, alamat setiap komputer yang terhubung ke sakelar) ditambah entri default yang menunjuk ke sakelar lain. Dalam keadaan apa skema akan bekerja? Dalam keadaan apa skema akan gagal?
11. Apa manfaat yang ditawarkan perutean dinamis?
12. Buatlah program komputer yang mengimplementasikan algoritma Dijkstra untuk mencari jalur terpendek dalam sebuah graf.
13. Apa dua pendekatan dasar yang digunakan untuk melakukan perhitungan rute terdistribusi, dan bagaimana cara kerjanya?
14. Ketika program komputer yang berjalan pada dua sakelar paket bertukar informasi vektor jarak, program harus menyetujui format pesan. Buat spesifikasi untuk format pesan yang tidak ambigu. Petunjuk: pertimbangkan perbedaan dalam cara komputer merepresentasikan informasi.
15. Perluas latihan sebelumnya dengan mengimplementasikan program komputer yang menggunakan format pesan yang ditentukan. Mintalah siswa lain mengimplementasikan program dari spesifikasi yang sama, dan lihat apakah mereka beroperasi dengan benar.
16. Ketika sebuah packet switch menerima pesan distance-vector dari tetangga, apakah tabel forwarding switch akan selalu berubah? Menjelaskan.
17. Apa itu loop perutean?

---

### Bab ini akan membahas tentang:

- taksonomi klasik LAN, MAN, dan WAN untuk menggambarkan jaringan kabel dan nirkabel.
- teknologi yang telah diciptakan, dan menunjukkan seberapa cepat teknologi berubah

### 19.1 Koneksi dan Teknologi Akses

Bab-bab awal menjelaskan teknologi akses dan koneksi yang paling signifikan (DSL dan modem kabel). Berbagai teknologi tambahan telah ditetapkan, termasuk teknologi yang mengirimkan data melalui saluran listrik dan mekanisme akses nirkabel. Seperangkat teknologi dapat diringkas sebagai berikut:

#### 19.1.1 Jaringan Optik Sinkron atau Hirarki Digital (SONET/SDH)

SONET dan hierarki TDM terkait pada awalnya dirancang sebagai sistem untuk membawa panggilan telepon suara digital. Teknologi ini telah menjadi standar untuk sirkuit digital yang digunakan di seluruh Internet. SONET mengizinkan ring fisik untuk dibangun dengan tujuan menyediakan redundansi. Perangkat keras dapat secara otomatis mendeteksi dan memperbaiki masalah — bahkan jika satu bagian dari cincin rusak, data masih dapat masuk. Perangkat yang dikenal sebagai Add-Drop Multiplexor digunakan untuk menghubungkan situs ke cincin SONET. Istilah ini muncul karena Add-Drop Multiplexor menyisipkan atau mengakhiri serangkaian sirkuit data yang masing-masing terhubung ke Add-Drop Multiplexor lain pada ring. SONET menggunakan multiplexing pembagian waktu untuk menggandakan sirkuit ke serat yang mendasarinya. SDH menyediakan standar terkenal untuk sirkuit seperti sirkuit T3 yang dapat dikonfigurasi di cincin SONET.

### **19.1.2 Pembawa Optik (OC)**

Standar OC menentukan pensinyalan yang digunakan pada cincin SONET serat optik. Standar OC dikaitkan dengan kecepatan data yang lebih tinggi daripada standar seri-T yang disediakan oleh SDH. Perusahaan swasta mungkin memilih untuk menyewa sirkuit OC untuk menghubungkan dua lokasi perusahaan. ISP Tier 1 menggunakan sirkuit OC-192 (10 Mbps) dan OC-768 (40 Mbps) di tulang punggung Internet.

### **19.1.3 Digital Subscriber Line (DSL) Dan Modem Kabel**

Kedua teknologi ini telah muncul sebagai sarana utama untuk menyediakan akses Internet pita lebar ke tempat tinggal pribadi dan usaha kecil. DSL memanfaatkan saluran telepon darat yang ada, dan teknologi modem kabel memanfaatkan infrastruktur televisi kabel yang ada. DSL menawarkan kecepatan data 1 hingga 6 Mbps, tergantung pada jarak antara kantor pusat dan pelanggan; modem kabel menawarkan hingga 52 Mbps, tetapi bandwidth dibagi di antara satu set pengguna. Kedua teknologi dipandang sebagai sementara sampai serat optik tersedia di tepi jalan atau di rumah.

### **19.1.4 WiMAX Dan Wi-Fi**

Wi-Fi terdiri dari seperangkat teknologi nirkabel yang telah digunakan secara luas untuk menyediakan akses Internet di rumah, kafe, bandara, hotel, dan lokasi lainnya. Generasi teknologi Wi-Fi berturut-turut telah meningkatkan kecepatan data secara keseluruhan.

WiMAX adalah teknologi nirkabel yang muncul yang dapat digunakan untuk membentuk MAN. WiMAX menyediakan kemampuan akses atau backhaul†, dan dua versi didefinisikan untuk mendukung endpoint tetap dan seluler.

### **19.1.5 Satelit Aperture Sangat Kecil (VSAT)**

Teknologi VSAT, yang memiliki ukuran antena kurang dari 3 meter, memungkinkan penggunaan satelit untuk menyediakan akses Internet kepada individu atau usaha kecil. Meskipun menyediakan kecepatan data yang tinggi, VSAT menimbulkan penundaan yang lama.

### **19.1.6 Komunikasi Saluran Listrik (PLC)**

PLC menggunakan frekuensi tinggi untuk mengirim data di sepanjang saluran listrik. Idennya adalah untuk menggunakan infrastruktur yang ada untuk memberikan akses Internet. Meskipun banyak penelitian telah dilakukan, teknologi belum menikmati penyebaran luas.

## **19.2 Teknologi LAN**

Setelah LAN ditemukan, banyak kelompok mengusulkan desain atau membangun prototipe eksperimental. Pengembangan LAN baru berlanjut selama dua puluh tahun, dan beberapa teknologi LAN menikmati popularitas dan kesuksesan komersial. Menariknya, teknologi LAN telah mulai menyatu; LAN baru tidak terduga.

### **19.2.1 Cincin Token IBM**

Beberapa pekerjaan awal pada LAN mengeksplorasi token passing sebagai mekanisme kontrol akses. IBM memilih untuk membuat teknologi LAN token passing yang dikenal sebagai IBM Token Ring. Versi asli dari IBM's Token Ring beroperasi pada 4 Mbps, dibandingkan dengan pesaingnya, Ethernet, yang beroperasi pada 10 Mbps. Kemudian, IBM memperkenalkan Token Ring versi 16 Mbps. Meskipun

kecepatan data lebih rendah dan biaya tinggi, Token Ring IBM diterima secara luas oleh departemen teknologi informasi perusahaan, dan merupakan teknologi LAN utama selama bertahun-tahun.

### **19.2.2 Interkoneksi Data Terdistribusi Fiber Dan Tembaga (FDDI Dan CDDI)**

Pada akhir 1980-an, menjadi jelas bahwa dua teknologi LAN utama, Ethernet pada 10 Mbps dan Token Ring IBM pada 16 Mbps, tidak memiliki kecepatan data yang cukup untuk memenuhi permintaan yang terus meningkat. Standar FDDI dibuat untuk meningkatkan kecepatan data LAN hingga 100 Mbps. Pada saat itu, desainer berpendapat bahwa kecepatan data yang lebih tinggi memerlukan penggunaan serat optik daripada kabel tembaga, dan menyarankan kantor pengkabelan ulang untuk mengirimkan serat ke desktop. Selain itu, FDDI menggunakan sepasang cincin counter-rotating untuk menyediakan redundansi — jika cincin FDDI dipotong, perangkat keras secara otomatis mengulang jalur data untuk mengarahkan lalu lintas di sekitar kegagalan dan menjaga cincin tetap aktif. Akhirnya, FDDI memperkenalkan salah satu sakelar LAN paling awal di mana setiap komputer terhubung langsung ke mekanisme FDDI pusat. Dengan demikian, dimungkinkan untuk memiliki topologi bintang fisik dan topologi cincin logis.

Karena menawarkan kecepatan data tertinggi yang tersedia dan peluang untuk redundansi, FDDI menjadi populer sebagai interkoneksi berkecepatan tinggi antar komputer di pusat data. Namun, biaya tinggi dan keahlian khusus yang diperlukan untuk memasang serat membuat sebagian besar organisasi enggan mengganti kabel tembaga. Seiring dengan kemajuan Fast Ethernet, para pendukung FDDI membuat versi FDDI yang disebut CDDI yang berjalan di atas kabel tembaga. Pada akhirnya, Ethernet terbukti memiliki biaya yang lebih rendah, dan teknologi FDDI menghilang.

### **19.2.3 Ethernet**

Di satu sisi, Ethernet telah memenangkan perlombaan dan sepenuhnya mendominasi pasar LAN. Memang, ada lebih banyak Ethernet yang digunakan daripada jenis LAN lainnya. Dalam arti lain, Ethernet telah hilang sama sekali, dan telah digantikan oleh teknologi baru yang masih disebut Ethernet. Seseorang dapat mengamati, misalnya, bahwa hampir tidak ada kesamaan antara kabel koaksial berat dan pensinyalan RF yang digunakan pada Ethernet awal dan pengkabelan dan pensinyalan yang digunakan dengan gigabit Ethernet. Selain perubahan kecepatan data, topologi fisik dan logika telah berubah: hub menggantikan kabel, sakelar Ethernet menggantikan hub, dan sakelar VLAN menggantikan sakelar.

## **19.3 Teknologi WAN**

Banyak teknologi telah diciptakan untuk penggunaan eksperimental dan produksi di Wide Area Networks. Bagian ini menyajikan beberapa contoh yang menggambarkan beberapa keragaman.

### **19.3.1 ARPANET**

Paket switch WAN berusia kurang dari lima puluh tahun. Pada akhir 1960-an, Advanced Research Projects Agency (ARPA) mendanai penelitian tentang jaringan untuk Departemen Pertahanan AS. Sebuah proyek penelitian besar ARPA mengembangkan Wide Area Network untuk menentukan apakah teknologi packet switching akan berharga bagi militer. Dikenal sebagai ARPANET, jaringan ini adalah salah satu WAN packet-switched pertama. ARPANET menghubungkan peneliti dari akademisi dan industri. Meskipun menurut standar saat ini ARPANET lambat (menyewakan jalur data serial yang

menghubungkan switch paket yang dioperasikan hanya pada 56 Kbps), proyek ini meninggalkan warisan konsep, algoritme, dan terminologi yang masih digunakan.

Ketika proyek Internet dimulai, ARPANET digunakan sebagai tulang punggung di mana para peneliti berkomunikasi dan bereksperimen. Pada bulan Januari 1983, ARPA memerintahkan semua orang yang terhubung ke ARPANET untuk berhenti menggunakan protokol asli dan mulai menggunakan protokol Internet. Dengan demikian, ARPANET menjadi tulang punggung Internet pertama.

### **19.3.2 Teknologi X.25**

Organisasi yang menetapkan standar telepon internasional, International Telecommunications Union (ITU), mengembangkan standar awal untuk teknologi WAN yang menjadi populer di kalangan operator publik. Pada saat itu, ITU dikenal sebagai Consultative Committee for International Telephone and Telegraph (CCITT), dan standarnya masih dikenal sebagai standar CCITT X.25. Jaringan X.25 menikmati popularitas lebih di Eropa daripada di Amerika Serikat.

X.25 menggunakan desain WAN tradisional — jaringan X.25 terdiri dari dua atau lebih paket switch X.25 yang saling berhubungan melalui jalur sewa. Komputer terhubung langsung ke switch paket. X.25 menggunakan paradigma berorientasi koneksi yang analog dengan panggilan telepon — komputer diperlukan untuk membuka koneksi sebelum mentransfer data.

Karena X.25 ditemukan sebelum komputer pribadi menjadi populer, banyak jaringan X.25 awal direkayasa untuk menghubungkan terminal ASCII ke komputer berbagi waktu jarak jauh. Saat pengguna memasukkan data pada keyboard, antarmuka jaringan X.25 menangkap penekanan tombol, menempatkan masing-masing dalam paket X.25, dan mentransmisikan paket ke seluruh jaringan. Demikian pula, ketika sebuah program yang berjalan pada komputer jarak jauh menampilkan output, komputer meneruskan output ke antarmuka jaringan X.25, yang menempatkan informasi dalam paket X.25 untuk dikirim kembali ke layar pengguna. Meskipun perusahaan telepon mendorong layanan X.25, teknologi itu mahal untuk kinerjanya yang diberikannya, dan telah digantikan oleh teknologi WAN lainnya.

### **19.3.3 Relai Bingkai**

Operator jarak jauh telah menciptakan serangkaian teknologi jaringan area luas yang mengangkut data. Salah satu layanan tersebut, Frame Relay, dirancang untuk menerima dan mengirimkan blok data, di mana setiap blok dapat berisi hingga 8K oktet data. Sebagian dari motivasi untuk ukuran data yang besar (dan untuk nama) muncul karena para penemu membayangkan menggunakan layanan Frame Relay untuk menjembatani segmen LAN. Sebuah organisasi dengan kantor di dua kota dapat memperoleh layanan Frame Relay untuk setiap kantor, dan kemudian menggunakan Frame Relay untuk meneruskan paket dari segmen LAN di satu lokasi ke segmen LAN di tempat lain. Para desainer memilih paradigma berorientasi koneksi yang dapat diterima oleh perusahaan dengan banyak kantor. Dengan demikian, Frame Relay populer sampai alternatif berbiaya lebih rendah tersedia.

Karena dirancang untuk menangani data dari segmen LAN, para desainer membayangkan Frame Relay berjalan pada kecepatan antara 4 dan 100 Mbps (kecepatan LAN saat Frame Relay dibuat). Namun dalam praktiknya, tingginya biaya layanan Frame Relay menyebabkan banyak pelanggan memilih koneksi yang lebih lambat dengan kecepatan 1,5 Mbps atau 56 Kbps.

### **19.3.4 Layanan Data Multi-megabit yang Dialihkan (SMDS)**

Seperti Frame Relay, SMDS adalah layanan data area lebar berkecepatan tinggi yang ditawarkan oleh operator jarak jauh. Itu didasarkan pada standar IEEE 802.6DQDB, dan dianggap sebagai pendahulu

ke ATM. Alih-alih lalu lintas suara, SMDS dirancang untuk membawa data. Lebih penting lagi, SMDS dioptimalkan untuk beroperasi pada kecepatan tertinggi. Misalnya, informasi header dalam paket dapat memerlukan sejumlah besar bandwidth yang tersedia. Untuk meminimalkan overhead header, SMDS menggunakan header kecil dan membatasi setiap paket berisi tidak lebih dari 9188 oktet data. SMDS juga mendefinisikan antarmuka perangkat keras khusus yang digunakan untuk menghubungkan komputer ke jaringan. Antarmuka khusus memungkinkan pengiriman data secepat komputer dapat memindahkan data ke memori.

Seperti namanya, jaringan SMDS sering beroperasi pada kecepatan lebih cepat dari 1 Mbps (yaitu, lebih cepat dari koneksi Frame Relay biasa). Kedua layanan berbeda dalam cara mereka dapat digunakan. SMDS tidak memiliki koneksi, yang memberikan fleksibilitas. Namun, sebagian besar perusahaan telepon lebih nyaman dengan teknologi berorientasi koneksi, yang berarti bahwa SMDS tidak populer dan telah diganti.

### **19.3.5 Mode Transfer Asinkron (ATM)**

Industri telekomunikasi merancang ATM sebagai alternatif dari Internet, dan mengumumkan upaya tersebut dengan sangat meriah. Ketika teknologi muncul di

Tahun 1990-an, ATM memiliki tujuan yang ambisius — desainer mengklaim bahwa ATM akan menggantikan semua teknologi WAN dan LAN dan mengarah pada sistem komunikasi yang benar-benar seragam di seluruh dunia. Selain data, ATM dirancang untuk menangani transmisi video serta lalu lintas telepon suara konvensional. Selanjutnya, para perancang mengumumkan, ATM akan menskalakan ke kecepatan data yang jauh lebih tinggi daripada teknologi packet switching lainnya.

Ide kunci baru yang diperkenalkan di ATM dikenal sebagai Label Switching. ATM adalah teknologi berorientasi koneksi, tetapi paket tidak memiliki alamat seperti biasanya. Sebaliknya, sebuah paket membawa ID kecil yang dikenal sebagai label. Selanjutnya, label dapat diubah setiap kali paket melewati switch. Saat koneksi diatur, label unik dipilih untuk setiap tautan di jalur, dan label ditempatkan di tabel di sakelar. Ketika sebuah paket tiba, switch mencari label saat ini, dan mengganti label pengganti. Secara teori, pengalihan label dapat dilakukan pada perangkat keras dengan kecepatan lebih tinggi daripada penerusan konvensional.

Untuk mengakomodasi semua kemungkinan penggunaan, desainer menambahkan banyak fitur ke ATM, termasuk mekanisme untuk memberikan jaminan layanan ujung ke ujung (misalnya, bandwidth terjamin dan batas penundaan). Ketika mereka mulai mengimplementasikan ATM, para insinyur menemukan bahwa banyaknya fitur berarti bahwa perangkat kerasnya rumit dan mahal. Selain itu, mekanisme yang dibuat untuk menetapkan jalur pengalihan label sangat rumit sehingga tidak digunakan. Dengan demikian, ATM tidak diterima, dan hampir hilang.

### **19.3.6 Pengalihan Label Multi-Protokol (MPLS)**

Meskipun bukan sistem jaringan, MPLS adalah hasil penting dari upaya ATM — para insinyur mengadaptasi pengalihan label untuk digunakan di router Internet†. Alih-alih sepenuhnya mengganti perangkat keras yang mendasarinya seperti yang coba dilakukan ATM, MPLS dapat diimplementasikan dalam perangkat lunak sebagai fitur tambahan. Router MPLS menerima paket Internet, menempatkan setiap paket dalam pembungkus khusus, menggunakan pengalihan label untuk mengangkut paket melintasi jalur MPLS, membuka paket, dan melanjutkan penerusan normal. MPLS digunakan secara luas di pusat Internet; ISP tingkat 1 menggunakan MPLS untuk memungkinkan beberapa paket mengikuti jalur tertentu (misalnya, pelanggan besar yang membayar lebih dapat memiliki paket mengikuti jalur yang lebih pendek yang tidak tersedia untuk pelanggan yang membayar lebih rendah).

### 19.3.7 Jaringan Digital Layanan Terpadu (ISDN)

Bab 12 mencakup ISDN secara rinci; bab ini hanya berisi ringkasan singkat. Perusahaan telepon menciptakan ISDN untuk menyediakan layanan jaringan pada kecepatan data yang lebih tinggi daripada yang dapat dicapai dengan modem dial-up. Saat pertama kali diusulkan, 128 Kbps tampak cepat. Pada saat itu tersedia, teknologinya tampak lambat untuk harganya. Di sebagian besar dunia, ISDN telah digantikan oleh DSL, modem kabel, atau sistem seluler 3G, yang semuanya menawarkan kecepatan data yang jauh lebih tinggi.

## 19.5 Ringkasan

Banyak teknologi jaringan telah dibuat. Beberapa terlalu rumit, beberapa terlalu mahal, dan yang lain tidak memiliki fitur penting. Bahkan setelah mencapai beberapa kesuksesan komersial, banyak yang digantikan. Ironisnya, meskipun teknologi Ethernet telah bertahan selama lebih dari tiga puluh tahun, hanya nama dan format bingkai yang dipertahankan — teknologi yang mendasarinya telah sepenuhnya berubah.

## Latihan

---

1. Apa itu SONET?
2. Mengapa konsumen mengetahui teknologi DOCSIS?
3. Mana yang Anda harapkan memiliki delay yang lebih kecil, teknologi VSAT atau teknologi WiMAX? Mengapa?
4. Perusahaan mana yang terkenal dengan teknologi token ring?
5. Teknologi apa yang membayangi dan akhirnya menyingkirkan FDDI?
6. Teknologi apa yang menggantikan hub Ethernet?
7. Sebutkan teknologi WAN yang mengadopsi protokol Internet pada tahun 1983.
8. Teknologi WAN apa yang digunakan oleh bank pada tahun 1980-an?
9. Apa kepanjangan ATM dalam dunia jaringan?
10. Sebutkan teknologi terkini yang muncul dari ATM.
11. Mengapa ISDN gagal mendapatkan pasar yang besar?



# Daftar Pustaka

- A. Kershenbaum, Telecommunications Network Design Algorithms, McGraw-Hill, 1993.
- Andi. Windows Server 2003. Enterprise Edition, Andi Offset, Yogyakarta. 2006.
- Arifin, Zainal. 2008 . Langkah Mudah Membangun Jaringan Komputer, Andi
- Irawan, Budhi. Jaringan Komputer. Yogyakarta, Graha Ilmu, 2005
- D. Bertsekas and R. Gallager, Data Networks, 2nd Edition, Prentice Hall, 1992.
- D.E. McDysan and D.L. Spohn, ATM Theory and Application, McGraw-Hill, 1995
- Daryanto. 2003. Pengetahuan Dasar Ilmu Komputer. Rama Widya. Bandung.
- Daryanto. 2004. Konsep Jaringan Komputer dan Pengembangan. Salemba. Infotek. Jakarta.
- J. Kurose and K. Ross, Computer Networking: A Top Down Approach Using the Internet, Addison-Wesley Computer Science, 6th Edition, 2013.
- Kurniawan, Wiharso. 2007. Computer Starter Guide : Jaringan Komputer Yogyakarta : Penerbit Andi.
- Kustanto dan Saputro, D. T. 2010. Membangun Server Internet dengan Mikrotik OS. Jakarta. Gaya Media.
- Nugroho, Endro. 2009. Buku Pintar Jaringan Komputer. Modeoms. Yogyakarta.
- Madcoms. 2009, MEMBANGUN SISTEM JARINGAN KOMPUTER, ANDI OFFSET, Yogyakarta.
- Odlyzko, A. "Privacy, Economics and Price Discrimination on the Internet." Unpublished white paper. <http://www.dtc.umn.edu/~odlyzko/doc/privacy.economics.pdf>
- Parker, D., and Nycum, S. "Computer Crime." Comm of the ACM, v27 n4, Apr 1984, p313–321.
- Rafiudin, Rahmat. Menguasai Security Unix. Jakarta, Elex Media Komputindo, 2007
- Rubin, A. "Security Considerations for Remote Electronic Voting over the Internet." *Proc Internet Policy Institute Workshop on Internet Voting*, Oct 2000.
- Simarmata, Janner. Pengamanan Sistem Komputer. Yogyakarta, Andi, 2006.
- Sopandi, Dede. Instalasi dan Konfigurasi Jaringan Komputer. Bandung, Informatika, 2006
- Statowski, Mariusz.. "The Principles of Network Security Design". 2007
- Stoll, Clifford. 1988. "Stalking the Wily Hacker," Communications of the ACM, Vol. 31, No. 5, May, pp. 484–497.
- Supandi, Dede. 2006. Instalasi dan konfigurasi jaringan Komputer. Informatika. Bandung, 2006
- Sutabri, Tata. 2003. Sistem Informasi Manajemen. Andi Offset. Jogjakarta.
- Sutedjo Dharma Oetomo, Budi. Konsep dan Perancangan Jaringan Komputer. Yogyakarta, Andi, 2003
- U.S. Air Force. "Operational Risk Management." Air Force Policy Directive, 90-9, 1 Apr 2000
- Wagito, 2007, Jaringan Komputer : Teori dan Implementasi Berbasis Linux, Gava Media, Yogyakarta.
- Wahidin, 2007. Jaringan Komputer untuk orang Awam. Maxicom. Palembang.
- Weippl, Edgar R. (2005). Security in E-Learning-An Abstraction Based Approach. United States of America: Springer

Winarno Sugeng, 2006. Jaringan Komputer dengan TCP/IP. Bandung : Penerbit Informatika.  
U. Black, ATM: Foundation for Broadband Networks, Prentice Hall, 1995.  
Yani, Ahmad. 2008. Panduan Membangun Jaringan Komputer. Jakarta: Kawan Pustaka  
Yudho, Satrio. 2013. Pengantar Sistem Operasi Komputer, Graha Ilmu



