

# Komunikasi Data

Untuk Kalangan Sendiri

Mifta Nur Farid

Januari 2021



# Daftar Isi

<b>1</b>	<b>Pengantar Komunikasi Data</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Arsitektur Protokol</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Data Transmisi</b>	<b>5</b>
3.1	Konsep dan Terminologi . . . . .	5
3.2	Transmisi Data Analog dan Digital . . . . .	5
3.3	Gangguan Transmisi . . . . .	5
3.4	Kapasitas Kanal . . . . .	5
3.4.1	Nyquist Bandwidth . . . . .	6
3.4.2	Shannon Capacity Formula . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Media Transmisi</b>	<b>11</b>
4.1	Media Transmisi Terpandu/ Guided Transmission Media . . . .	13
4.1.1	Twisted-pair . . . . .	13
4.2	Transmisi Nirkabel . . . . .	15
4.3	Propagasi Nirkabel . . . . .	15
4.4	Transmisi Line-of-sight . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Error Detection and Correction</b>	<b>17</b>
5.1	Asynchronous dan Synchronous Transmission . . . . .	17

5.2	Frequency-Division Multiplexing . . . . .	17
5.3	Synchronous Time-Division Multiplexing . . . . .	17
5.4	Cable Modem . . . . .	17
5.5	Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) . . . . .	17
5.6	xDSL . . . . .	18
<b>6</b>	<b>Data Link Control Protocol</b>	<b>19</b>
6.1	Key Points . . . . .	19
6.2	Pengantar . . . . .	19
6.3	Flow Control . . . . .	21
6.4	Error Control . . . . .	21
6.5	High-Level Data Link Control (HDLC) . . . . .	21
<b>7</b>	<b>Multiplexing</b>	<b>23</b>
7.1	Frequency-Division Multiplexing . . . . .	23
7.2	Synchronous Time-Division Multiplexing . . . . .	23
7.3	Cable Modem . . . . .	23
7.4	Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) . . . . .	23
7.5	xDSL . . . . .	23

# Bab 1

## Pengantar Komunikasi Data



## **Bab 2**

# **Arsitektur Protokol**





## Bab 3

# Data Transmisi

### 3.1 Konsep dan Terminologi

### 3.2 Transmisi Data Analog dan Digital

### 3.3 Gangguan Transmisi

### 3.4 Kapasitas Kanal

Kita sudah mempelajari bahwa terdapat berbagai jenis gangguan (impairment) yang dapat merusak sinyal. Sejauh mana gangguan tersebut dapat membatasi data rate pada data digital. Data rate maksimum yang dapat dicapai disebut kapasitas kanal (channel capacity).

Terdapat empat konsep yang perlu dipahami:

1. Data Rate: Laju dimana data dapat dikomunikasikan dengan satuan bps atau bits per second.
2. Bandwidth: Bandwidth dari sinyal yang ditransmisikan yang dibatasi oleh transmitter atau sifat media transmisinya
3. Noise: Level rata-rata dari noise sepanjang jalur transmisi
4. Error rate: Rate dimana error dapat terjadi. Error di sini adalah ketika yang diterima adalah 1 sedangkan yang dikirimkan adalah 0 atau sebaliknya

Permasalahan yang dialami adalah semakin besar bandwidth maka semakin besar ongkosnya. Sehingga semua kanal transmisi memiliki bandwidth yang

terbatas. Batasan ini disebabkan oleh sifat-sifat fisi dari media transmisi-nya atau dari transmitter-nya untuk menghindari terjadinya interferensi dari sumber lain. Berdasarkan hal ini maka sepatutnya kita memakai bandwidth seefisien mungkin. Jika di dalam data digital maka kita akan memakai data rate sebesar mungkin pada batas error rate dari bandwidth yang tersedia. Kemudian kendala terbesar untuk mencapai efisiensi ini adalah noise.

### 3.4.1 Nyquist Bandwidth

Pertama, anggaplah ada sebuah kanal transmisi yang bebas dari noise. Pada kondisi seperti ini, keterbatasan dari data rate adalah bandwidth dari sinyal itu sendiri. Berdasarkan Nyquist, persamaan dari keterbatasan ini adalah sebagai berikut. Jika laju transmisi sinyal adalah  $2B$ , maka sinyal dengan frekuensi tidak lebih besar dari  $B$  sudah cukup untuk membawa laju sinyal. Begitu juga sebaliknya, jika diketahui bandwidth sebesar  $B$ , maka laju sinyal tertinggi yang dapat dibawa adalah  $2B$ .

Jika sinyal yang akan ditransmisikan adalah biner (2 level tegangan), maka data rate yang dapat didukung oleh  $B$  Hz adalah  $2B$  bps. Misalkan, jika menggunakan empat level tegangan maka setiap elemen sinyal dapat direpresentasikan sebagai 2 bits. Dengan multilevel signaling, persamaan Nyquist menjadi

$$C = 2B \log_2 M \quad (3.1)$$

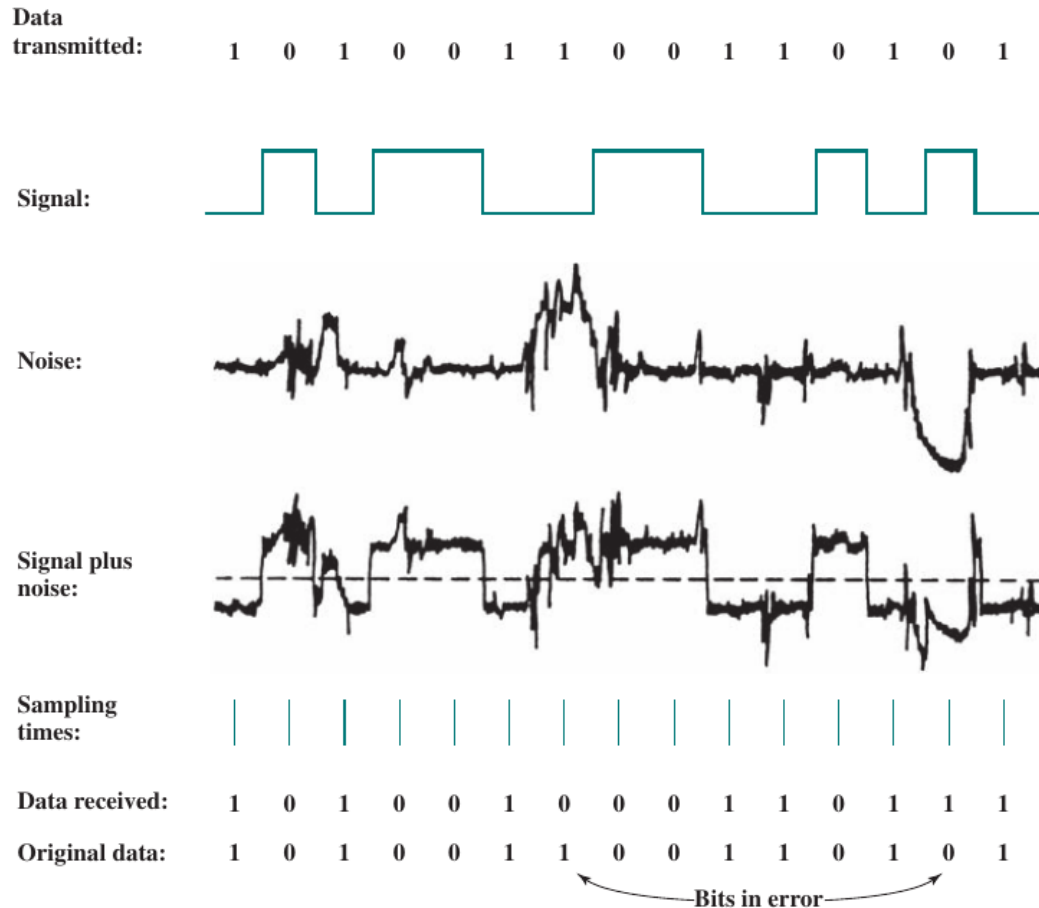
Dimana  $M$  adalah banyaknya sinyal diskret atau level tegangan.

Dari Persamaan (3.1) dapat kita simpulkan bahwa data rate dapat ditingkatkan dengan meningkatkan jumlah perbedaan dari elemen sinyalnya / banyaknya level tegangannya. Namun dengan meningkatkan elemen sinyal maka akan membuat beban dari receiver juga meningkat.

Misal, diketahui bahwa data digital akan ditransmisikan menggunakan modem. Bandwidth yang digunakan adalah 3100 Hz. Maka Nyquist capacity ( $C$ ) dari kanalnya adalah  $2B = 6200$  bps. Jika  $M = 8$ , maka  $C$  menjadi 18.600 bps dengan bandwidth sebesar 3100 Hz.

### 3.4.2 Shannon Capacity Formula

Berdasarkan persamaan Nyquist sebelumnya, kita mengetahui bahwa dengan meningkatkan bandwidth sebesar 2 kalinya maka data rate juga akan meningkat sebesar 2 kalinya. Sekarang asumsikan bahwa terdapat noise dan error rate. Dengan adanya noise maka 1 atau lebih bits akan rusak. Jika data



Gambar 3.1: Akibat dari Noise terhadap Sinyal Digital

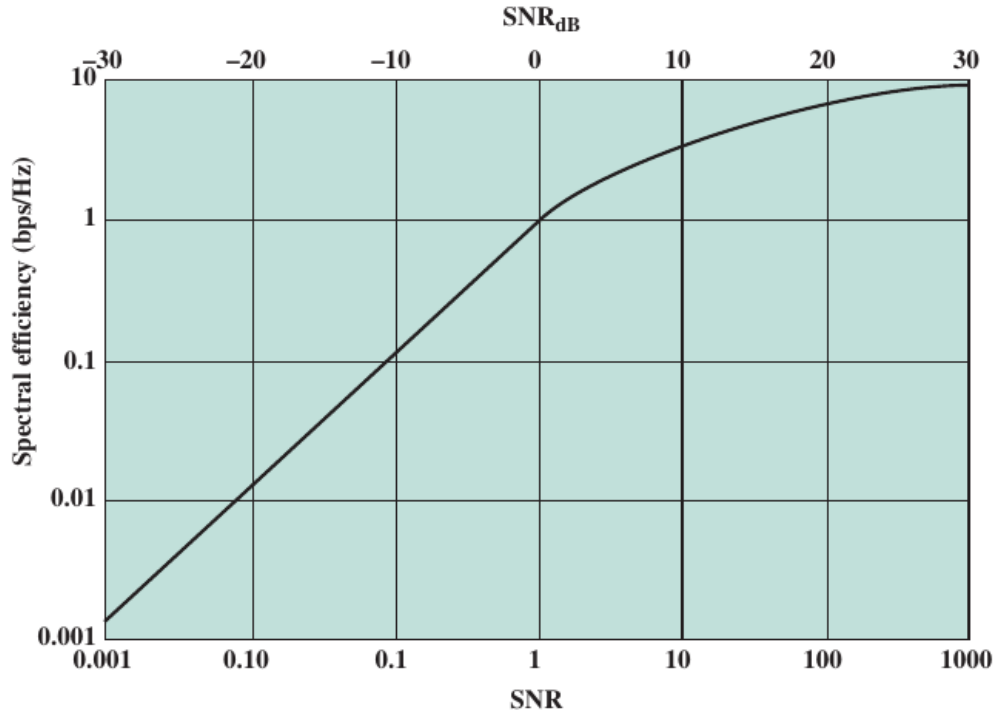
rate meningkat maka bits semakin pendek. Akibatnya akan lebih banyak bits yang akan dipengaruhi oleh pattern/pola dari noise tersebut seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.1.

Jika data rate ditingkatkan maka lebih banyak bits yang akan terjadi selama interval noise spike-nya, sehingga lebih banyak error yang terjadi. Untuk level noise tertentu, dengan kekuatan sinyal yang lebih besar dapat meningkatkan kemampuan untuk menerima data dengan benar meskipun ada noise. Parameter yang menyatakan hal ini adalah **signal-to-noise-ratio** (SNR) yaitu rasio dari daya sinyal terhadap daya dari noise. Biasanya SNR diukur di receiver dan dalam bentuk desibel

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \frac{\text{signal power}}{\text{noise power}} \quad (3.2)$$

Semakin tinggi nilai SNR maka semakin tinggi kualitas sinyal dan semakin sedikit repeater yang dibutuhkan.

SNR sangat penting dalam transmisi data digital karena SNR yang menen-



Gambar 3.2: Grafik spectral efficiency terhadap SNR

tukan batas atas dari data rate yang dapat dicapai. Shannon menyatakan bahwa kapasitas kanal maksimum, dalam bits per second (bps), adalah

$$C = B \log_2(1 + \text{SNR}) \quad (3.3)$$

Dimana  $C$  adalah kapasitas kanal dalam bits per second (bps) dan  $B$  adalah bandwidth kanal dalam hertz (Hz). Persamaan (3.3) hanya menyatakan maksimum data rate yang dapat dicapai secara teoritis, sedangkan pada penerapannya/prakteknya data rate yang dapat dicapai lebih kecil dari nilai tersebut. Hal tersebut dikarenakan pada Persamaan 3.3 mengasumsikan noise yang terjadi adalah white noise atau thermal noise dan tidak memperhatikan impulse noise maupun attenuation distortion maupun delay distortion.

Nilai kapasitas yang ditunjukkan dari hasil Persamaan (3.3) adalah **error free capacity**. Shannon menunjukkan bahwa jika data rate dari informasi di kanal kurang dari **error free capacity** maka secara teoritis memungkinkan untuk menggunakan kode sinyal yang sesuai untuk mendapatkan transmisi bebas error (error-free transmission) melalui kanal tersebut.

**Spectral efficiency** atau **bandwidth efficiency** dari transmisi digital adalah jumlah bits per second dari data yang dapat didukung oleh setiap 1 Hz bandwidth. Spectral efficiency dapat dihitung dengan menurunkan Persamaan (3.3)

$$\text{Spectral efficiency} = \frac{C}{B} = \log_2(1 + \text{SNR}) \quad (3.4)$$

Gambar 3.2 menunjukkan hasil log/log scale dari Persamaan (3.4).



## Bab 4

# Media Transmisi

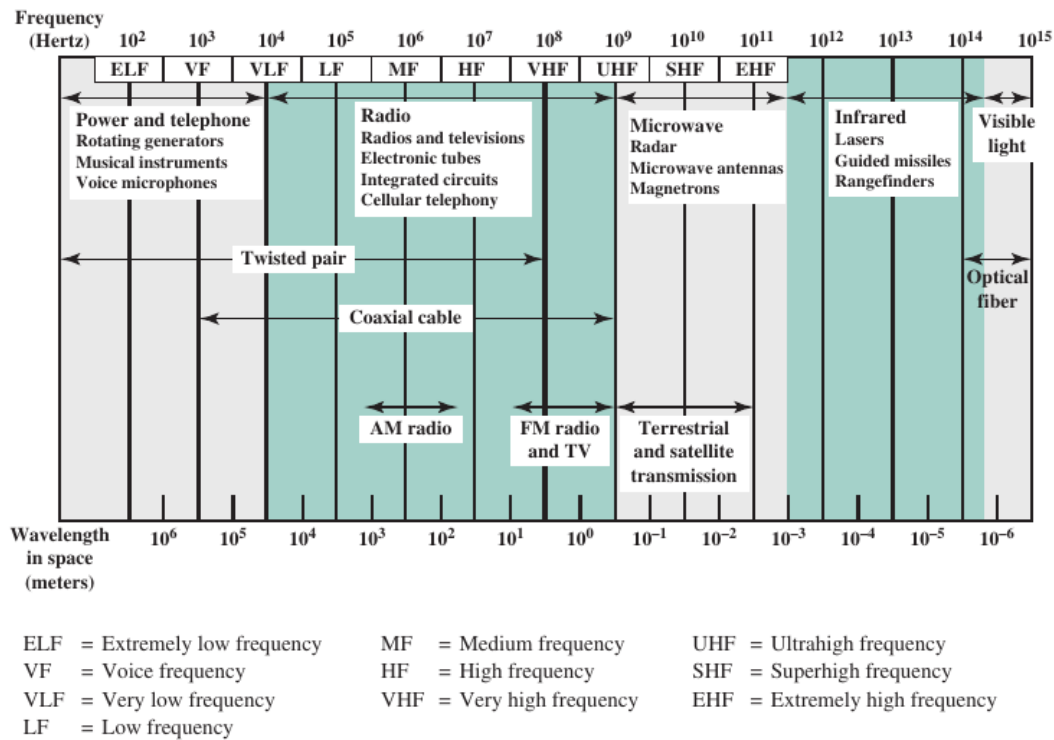
Media transmisi adalah jalur fisik antara transmitter dan receiver di sistem transmisi data. Pada bab sebelumnya telah dijelaskan bahwa gelombang elektromagnetik dipandu sepanjang media solid di media terpandu (**guided media**). Contohnya seperti copper twisted pair, copper coaxial cable dan fiber optik. Sedangkan transmisi nirkabel terjadi melalui atmosfer, luar angkasa atau air di media tak terpandu (**unguided media**)

Karakteristik dan kualitas dari transmisi data ditentukan oleh katakteristik medium dan karakteristik sinyalnya. Pada media terpandu, medium itu sendiri merupakan hal terpenting yang dapat menentukan batasan transmisi. Pada media tak terpandu, bandwidth dari sinyal yang dihasilkan oleh antena transmisi lebih penting dari pada medium dalam penentuan karakteristik transmisi.

Salah satu sifat sinyal yang ditransmisikan melalui antena adalah directionality. Secara umum, sinyal pada frekuensi lebih rendah adalah omni-directional artinya sinyal berpropagasi ke segala arah. Sedangkan pada frekuensi lebih tinggi, sinyal dapat difokuskan menjadi directional beam.

Data rate dan jarak menjadi salah satu pertimbangan dalam desain sistem transmisi data. Tujuannya adalah dicapainya data rate yang tinggi dan jarak jangkauannya yang jauh. Beberapa faktor dari media transmisi dan sinyal yang menentukan data rate dan jarak jangkauannya adalah sebagai berikut

- **Bandwidth:** Semakin besar bandwidth sinyalnya maka semakin besar data rate yang dapat dicapai.
- **Transmission impairment/ kerusakan transmisi:** Impairments seperti atenuasi dapat membatasi jarak. Pada media terpandu, twisted pair umumnya lebih rentan terhadap impairment daripada coaxial cable dan coaxial cable lebih rentan terhadap impairment daripada fiber optic.



Gambar 4.1: Spektrum gelombang elektromagnetik dari telekomunikasi

- Interference:** Interference dari sinyal lain pada overlapping frequency band dapat mendistorsi atau meng-cancel out sinyal tersebut. Umumnya interference terjadi di media tak terpandu, tapi juga terkadang di media terpandu. Pada media terpandu, interference dapat disebabkan alien crosstalk (antar kabel) maupun internal crosstalk (antar konduktor dalam satu cable sheath). Sedangkan pada media tak terpandu, interference disebabkan oleh electromagnetic coupling. Untuk meminimalkan interference pada media terpandu, gunakan shield yang baik.
- Jumlah receiver:** Media terpandu dapat digunakan untuk membangun transmisi point-to-point link atau shared link dengan banyak attachment. Setiap attachment ini yang akan memberikan atenuasi maupun distorsi, batasan jarak dan/atau data rate.

Gambar 4.1 menunjukkan grafik spektrum gelombang elektromagnetik dimana setiap media transmisi, baik media terpandu maupun tak terpandu, beroperasi.



	Frequency Range	Typical Attenuation	Typical Delay	Repeater Spacing
Twisted pair (with loading)	0 to 3.5 kHz	0.2 dB/km @ 1 kHz	50 $\mu$ s/km	2 km
Twisted pairs (multipair cables)	0 to 1 MHz	0.7 dB/km @ 1 kHz	5 $\mu$ s/km	2 km
Coaxial cable	0 to 500 MHz	7 dB/km @ 10 MHz	4 $\mu$ s/km	1 to 9 km
Optical fiber	186 to 370 THz	0.2 to 0.5 dB/km	5 $\mu$ s/km	40 km

THz = terahertz =  $10^{12}$  Hz

Gambar 4.2: Karakteristik transmisi point-to-point dari media terpandu

## 4.1 Media Transmisi Terpandu/ Guided Transmission Media

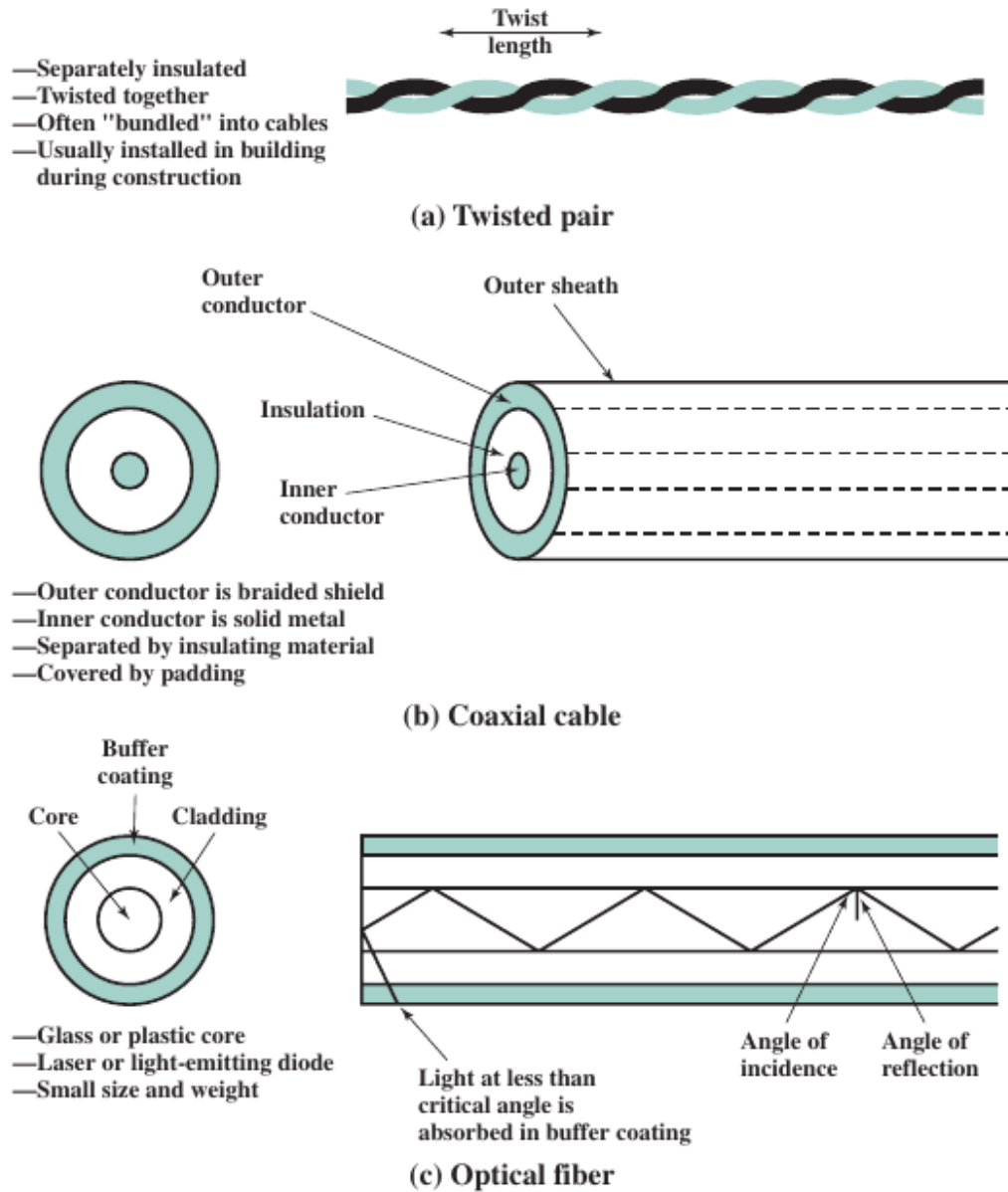
Pada media transmisi terpandu, kapasitas transmisi, baik dalam data rate maupun bandwidth, bergantung pada jarak dan bentuk transmisinya, apakah point-to-point atau multipoint seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2. Tiga media terpandu yang biasanya digunakan adalah twisted pair, kabel koaksial, dan fiber optik seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3

### 4.1.1 Twisted-pair

Twisted-pair paling banyak digunakan di media transmisi terpandu dan harganya murah.

#### Deskripsi fisik

Twisted pair terdiri dari 2 insulated copper wire yang diatur dengan pola spiral. Setiap twisted-pair bertindak sebagai satu communication link. Twisted-pair dibungkus bersama di dalam protective sheath/jacket. Untuk mendapatkan jarak yang lebih jauh, biasanya terdiri dari ratusan twister-pair. Twisting dilakukan untuk meminimalkan crosstalk. A



Gambar 4.3: Media transmisi terpandu

## **4.2 Transmisi Nirkabel**

## **4.3 Propagasi Nirkabel**

## **4.4 Transmisi Line-of-sight**



## Bab 5

# Error Detection and Correction

### 5.1 Asynchronous dan Synchronous Transmission

### 5.2 Frequency-Division Multiplexing

### 5.3 Synchronous Time-Division Multiplexing

### 5.4 Cable Modem

### 5.5 Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)

Dalam mengimplementasikan dan menyebarkan high-speed wide area public digital network, bagian yang paling menantang adalah link antara subscriber dan network: digital subscriber line. Dengan jutaan potensial endpoint di seluruh dunia, prospek menginstal kabel baru untuk masing-masing pelanggan baru adalah hal yang menakutkan. Sebagai gantinya, network designer



Gambar 5.1: Synchronous Frame Format

**5.6 xDSL**

## Bab 6

# Data Link Control Protocol

### 6.1 Key Points

- Karena kemungkinan kesalahan transmisi, dan karena penerima data (*receiver*) mungkin perlu mengatur kecepatan kedatangan data (*data rate*), maka tidak cukup hanya dengan teknik sinkronisasi dan antarmuka (*interface*). Perlu untuk menerapkan lapisan kontrol (*layer of control*) di setiap perangkat komunikasi yang menyediakan fungsi seperti kontrol aliran (*flow control*), deteksi kesalahan (*error detection*), dan kontrol kesalahan (*error control*). Lapisan kontrol (*layer of control*) ini dikenal sebagai *data link control protocol*.
- *Flow control* memungkinkan penerima (*receiver*) untuk mengatur aliran data dari pengirim sehingga *buffer* penerima tidak meluap (*overflow*).
- Dalam *data link control protocol*, *error control* dicapai dengan transmisi ulang *frame* rusak yang belum diakui atau yang meminta transmisi ulang oleh pihak lain.
- *High-level data link control* (HDLC) adalah *data link control protocol* yang banyak digunakan. Ini berisi hampir semua fitur yang ditemukan di *data link control protocol* lainnya.

### 6.2 Pengantar

Diskusi kita sejauh ini berkaitan dengan pengiriman sinyal melalui tautan transmisi (*transmission link*). Untuk komunikasi data digital yang efektif, lebih banyak yang dibutuhkan untuk mengontrol dan mengelola pertukaran data. Dalam bab ini, kami mengalihkan penekanan kami ke pengiriman data melalui tautan komunikasi data (*data communication link*). Untuk mencapai kontrol

yang diperlukan, lapisan logika (*layer of logic*) ditambahkan di atas *physical layer* yang dibahas dalam Bab 5; logika ini disebut sebagai *data link control* atau *data link control protocol*. Ketika *data link control protocol* digunakan, media transmisi antar sistem disebut sebagai *data link*.

Untuk melihat kebutuhan terhadap *data link control*, kami membuat daftar beberapa persyaratan dan tujuan untuk komunikasi data yang efektif antara dua stasiun pemancar dan penerima yang terhubung langsung:

- *Frame synchronization*: Data dikirim dalam blok yang disebut *frame*. Bagian awal dan akhir setiap *frame* harus dapat dikenali. Kami secara singkat memperkenalkan topik ini dengan diskusi tentang *synchronous frames* (Gambar 5.1).
- *Flow control*: Stasiun pengirim tidak boleh mengirim *frame* dengan kecepatan yang lebih cepat daripada yang dapat diserap oleh stasiun penerima.
- *Error control*: *Bit error* yang diperkenalkan oleh sistem transmisi harus diperbaiki.
- *Addressing*: Pada sebuah *shared link*, seperti *local area network* (LAN), identitas dari dua stasiun yang terlibat dalam transmisi harus ditentukan.
- *Control* dan data pada *link* yang sama: Biasanya tidak diinginkan untuk memiliki jalur komunikasi yang terpisah secara fisik untuk *control information*. Oleh karena itu, penerima harus dapat membedakan *control information* dari data yang dikirim.
- *Link management*: Inisiasi, pemeliharaan, dan penghentian pertukaran data yang berkelanjutan membutuhkan koordinasi dan kerja sama yang cukup di antara stasiun. Prosedur untuk pengelolaan pertukaran ini diperlukan.

Tak satu pun dari persyaratan ini dipenuhi oleh teknik yang dijelaskan dalam Bab 5. Kita akan melihat dalam bab ini bahwa *data link protocol* yang memenuhi persyaratan ini adalah hal yang agak rumit. Kami mulai dengan melihat dua mekanisme utama yang merupakan bagian dari *data link control*: *flow control* dan *error control*. Mengikuti latar belakang ini, kami melihat contoh terpenting dari *data link control protocol*: HDLC (*high-level data link control*). Protokol ini penting karena dua alasan: Pertama, ini adalah standar *data link control protocol* yang banyak digunakan. Kedua, HDLC berfungsi sebagai *baseline* yang mana hampir semua *data link control protocol* penting lainnya diturunkan. Akhirnya, lampiran bab ini membahas beberapa masalah kinerja yang berkaitan dengan *data link control*.



## 6.3 Flow Control

*Flow control* adalah teknik untuk memastikan bahwa entitas pengirim tidak membanjiri entitas penerima dengan data. Entitas penerima biasanya mengalokasikan *buffer data* dengan beberapa panjang maksimum untuk transfer. Saat data diterima, penerima harus melakukan sejumlah pemrosesan sebelum meneruskan data ke *software* tingkat yang lebih tinggi. Jika tidak ada *flow control*, *buffer* penerima mungkin terisi dan meluap saat memproses data lama.

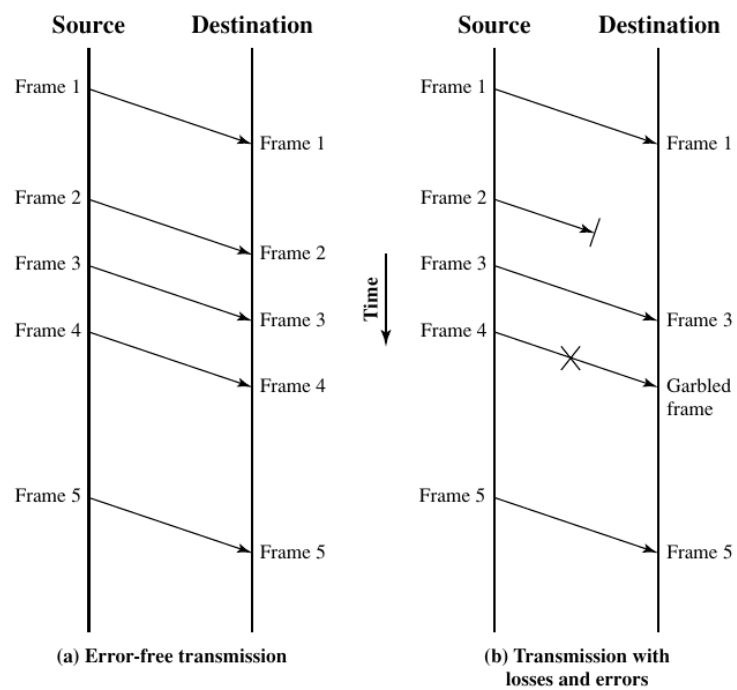
Untuk memulai, kami memeriksa mekanisme *flow control* jika tidak ada *error*. Model yang akan kita gunakan digambarkan pada Gambar 6.1a, yang merupakan diagram urutan waktu vertikal. Ini memiliki keuntungan dalam menunjukkan ketergantungan waktu dan menggambarkan hubungan kirim-terima yang benar. Setiap panah mewakili satu frame yang menghubungkan tautan data antara dua stasiun. Data dikirim dalam urutan bingkai, dengan setiap bingkai berisi sebagian data dan beberapa informasi kontrol. Waktu yang dibutuhkan stasiun untuk memancarkan semua bit frame ke medium adalah waktu transmisi; ini sebanding dengan panjang frame. Waktu propagasi adalah waktu yang dibutuhkan sedikit untuk melintasi tautan antara sumber dan tujuan. Untuk bagian ini, kami berasumsi bahwa semua frame yang dikirimkan berhasil diterima; tidak ada bingkai yang hilang dan tidak ada yang datang dengan kesalahan. Selain itu, bingkai tiba dalam urutan yang sama seperti saat dikirim. Namun, setiap frame yang ditransmisikan mengalami jumlah penundaan yang berubah-ubah dan variabel sebelum penerimaan.<sup>1</sup>

## 6.4 Error Control

## 6.5 High-Level Data Link Control (HDLC)

---

<sup>1</sup>On a direct point-to-point link, the amount of delay is fixed rather than variable. However, a data link control protocol can be used over a network connection, such as a circuit-switched or ATM network, in which case the delay may be variable.



Gambar 6.1: Model dari Frame Transmission

## Bab 7

# Multiplexing

### 7.1 Frequency-Division Multiplexing

### 7.2 Synchronous Time-Division Multiplexing

### 7.3 Cable Modem

### 7.4 Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)

Dalam mengimplementasikan dan menyebarkan high-speed wide area public digital network, bagian yang paling menantang adalah link antara subscriber dan network: digital subscriber line. Dengan jutaan potensial endpoint di seluruh dunia, prospek menginstal kabel baru untuk masing-masing pelanggan baru adalah hal yang menakutkan. Sebagai gantinya, network designer

### 7.5 xDSL

