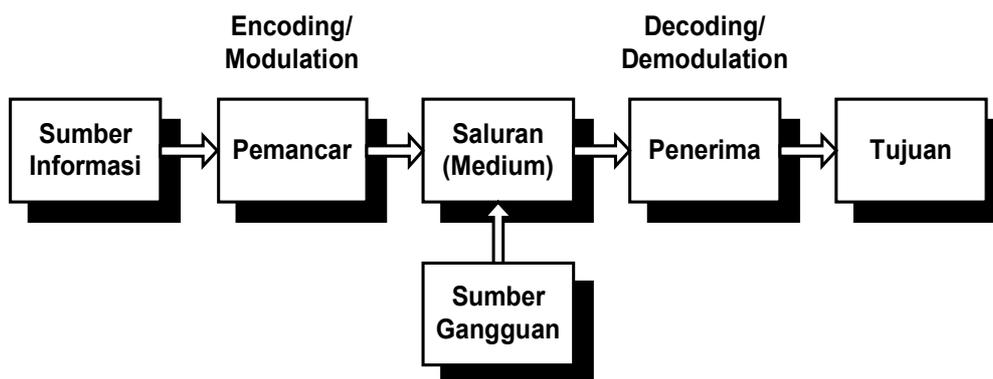


## Chapter 2

# DATA COMMUNICATION AND DATA TRANSMISSION

### A. Pengantar

Komunikasi data pada prinsipnya adalah proses komunikasi yaitu proses pertukaran informasi. Arti pertukaran informasi yang dimaksud adalah terjadinya transfer informasi dari pengirim ke penerima sehingga informasi dapat dimengerti oleh tujuan proses komunikasi. Ibarat orang mengirimkan surat, maka surat tersebut tidak hanya sampai pada orang yang dikirim, tetapi juga dibaca dan dimengerti maksudnya oleh orang yang menjadi tujuan surat tersebut. Secara umum, elemen komunikasi dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2-1. Elemen sistem komunikasi

#### Sumber Informasi

Yang dimaksud dengan sumber informasi adalah penghasil pesan yang akan dikirimkan. Pesan tersebut dapat berupa informasi apa saja misalnya suara percakapan, tulisan (teks), gambar diam atau bergerak. Sumber informasi ini termasuk transduser, yang berfungsi mengubah sinyal non elektrik menjadi sinyal elektrik. Hal ini berkaitan dengan ruang lingkup komunikasi yang dibicarakan adalah komunikasi elektrik/elektronik. Sinyal informasi elektrik yang dimaksud dapat berupa sinyal analog maupun digital. Sehingga dikenal dengan data analog dan data digital.

## Pemancar

Pemancar atau pengirim, berfungsi melakukan proses modulasi dan menyediakan daya yang cukup untuk transmisi sehingga jangkauan komunikasi menjadi lebih jauh. Modulasi sangat diperlukan dalam proses komunikasi karena secara teknis sinyal informasi sangat sulit dikirim secara langsung. Modulasi adalah proses menitipkan pesan pada pembawa. Contoh modulasi juga terjadi pada pengiriman surat menggunakan merpati, sehingga jangkauan pengiriman menjadi lebih jauh dan lebih cepat. Surat sebagai sinyal informasi, merpati sebagai sinyal pembawa dan penitipan surat pada seekor merpati identik dengan modulasi.

Modulasi yang digunakan komunikasi konvensional adalah modulasi amplitudo (AM: *amplitude modulation*) dan modulasi frekuensi (FM: *frequency modulation*). Sedangkan untuk komunikasi digital modulasi yang digunakan adalah FSK (*frequency shift keying*), PSK (*phase shift keying*) dan QAM (*quadrature amplitude modulation*).

## Saluran

Saluran merupakan media untuk mengirimkan sinyal pembawa, seperti kabel, udara atau serat optik. Bandwidth saluran merupakan hal yang sangat mahal dalam proses komunikasi. Untuk komunikasi percakapan biasanya menggunakan bandwidth yang sangat sempit yaitu 3 – 10 KHz. Dalam komunikasi digital, bandwidth saluran terkait langsung dengan besarnya laju bit yang dapat dikirimkan. Shannon dan Hartley merumuskan teori kaitannya antara kapasitas saluran, bandwidth dan noise pada proses komunikasi, dan ditulis dengan persamaan:

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

dimana:

C = kapasitas saluran (bit/s)

B = bandwidth (Hz)

S/N = perbandingan daya sinyal terhadap noise

Contoh penggunaan rumus Shannon-Hartley adalah menghitung kapasitas maksimum saluran telepon. Bandwidth saluran telepon

adalah 3100 Hz, dengan  $S/N = 30$  dB. Untuk menghitung kapasitas maksimum saluran telepon adalah dengan mengubah  $S/N$  dengan satuan dB (deciBell) menjadi satuan daya (watt):

$$\text{dB} = 10 \log P$$

sehingga:

$$\begin{aligned} P &= \text{antilog dB}/10 \\ &= \text{antilog } 30/10 \\ &= 1000 \end{aligned}$$

Dengan demikian kapasitas saluran (C) dapat dihitung:

$$\begin{aligned} C &= B \log_2(1 + S/N) \\ &= 3100 \log_2(1 + 1000) \\ &= 3100 \log_2 1001 \end{aligned}$$

sedangkan,

$$\begin{aligned} \log_2 1001 &= 3.32 \log_{10} 1001 \\ &= 9,97 \\ &\approx 10 \end{aligned}$$

sehingga:

$$\begin{aligned} C &= 3100 (10) \\ &= 31.000 \text{ bit/s} \end{aligned}$$

### **Sumber Gangguan**

Noise merupakan pengganggu dalam proses komunikasi. Usaha mati-matian dalam membangun sistem komunikasi adalah menangani gangguan akibat noise. Noise ini dapat mengakibatkan pesan yang sampai tujuan tidak sama dengan pesan yang dikirim. Dalam komunikasi radio, protokol manual untuk meyakinkan pesan yang dikirim dengan yang diterima tidak terjadi kesalahan akibat noise adalah dengan cara mengirimkan kembali (laporan balik) dari penerima ke pengirim pesan. Konsep ini juga diterapkan dalam komunikasi digital namun dengan sedikit perubahan yang lebih modern.

### Penerima

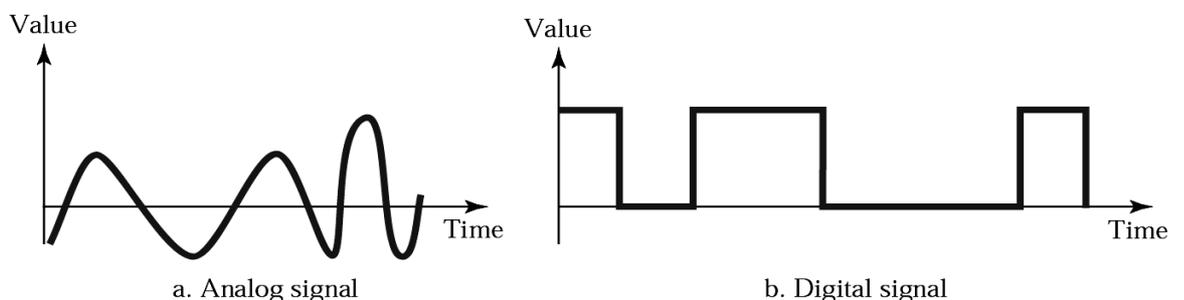
Penerima bertugas menangkap sinyal yang ditransmisikan oleh pengirim dan selanjutnya melakukan proses demodulasi atau memisahkan kembali sinyal informasi dari sinyal pembawa.

### Tujuan

Tujuan akan menerima sinyal informasi dan mengartikan isi informasi yang dikirimkan oleh pemancar. Proses komunikasi terjadi apabila pesan yang dikirim dapat dimengerti oleh tujuan.

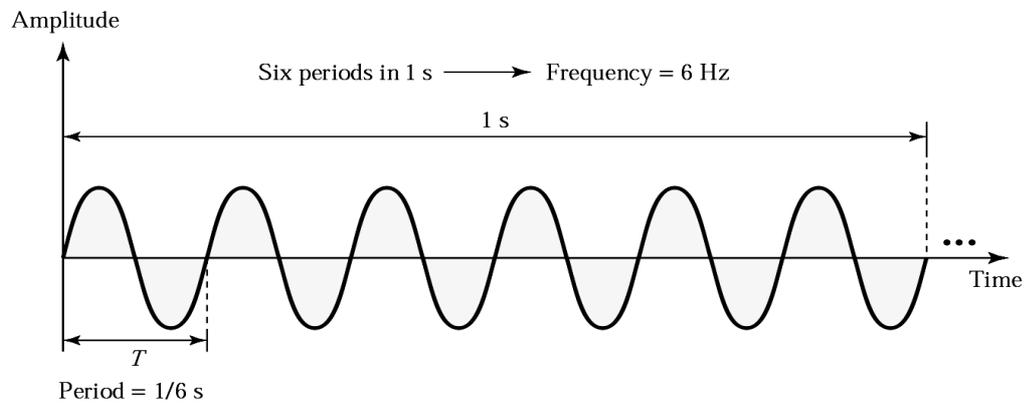
## B. Sinyal Analog dan Sinyal Digital

Berdasarkan data yang dikirimkan, komunikasi dapat dibedakan menjadi komunikasi analog dan komunikasi digital. Jika sinyal informasi berupa sinyal kontinyu, maka komunikasi tersebut merupakan komunikasi analog. Sedangkan untuk sinyal informasi digital seperti kode ASCII, sinyal percakapan dan gambar digital maka komunikasi tersebut dinamakan komunikasi digital. Skema modulasi yang digunakan juga berbeda, untuk komunikasi analog menggunakan modulasi konvensional (AM atau FM) sedangkan komunikasi digital menggunakan modulasi FSK, PSK atau QAM beserta turunan masing-masing jenis modulasi tersebut. Saat ini komunikasi elektronik berusaha menggunakan sinyal informasi digital, misalnya komunikasi telepon seluler.



Gambar 2-2. (a) Sinyal Analog dan (b) Sinyal Digital

Dalam sebuah sinyal, ada istilah amplitudo, periode dan frekuensi, panjang gelombang, serta fase sinyal. Gambaran tentang istilah-istilah sinyal tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 2-3. Parameter gelombang (Amplitudo, periode, dan frekuensi)

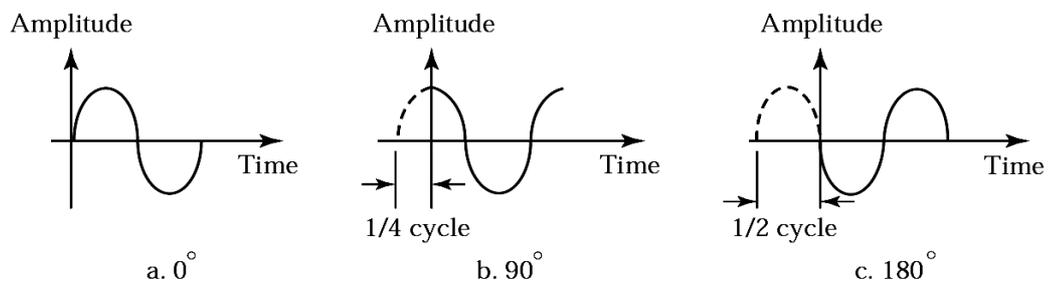
Amplitudo adalah besarnya sinyal atau besarnya ayunan sinyal tersebut. Yang disebut dengan satu gelombang terdiri dari sebuah bukit dan sebuah lembah. Sehingga Panjang gelombang adalah jarak antara satu bukit dengan bukit berikutnya atau jarak lembah dengan lembah berikutnya dengan satuan meter. Periode adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh satu bukit dengan satu lembah dalam satuan detik. Banyaknya gelombang tiap detik disebut dengan frekuensi dengan satuan Hertz. sehingga hubungan antara frekuensi dengan periode dapat dinyatakan:

$$f(\text{Hz}) = \frac{1}{T(\text{detik})}$$

Fase sinyal adalah sudut yang ditempuh dalam satu periode. Satu periode dinyatakan sebagai  $360^\circ$ . Sehingga fase pada saat awal gelombang ( $t = 0$ ) adalah  $0^\circ$  dan fase pada saat menempuh satu periode ( $t = T$ ) adalah  $360^\circ$ .

Unit	Equivalent	Unit	Equivalent
Seconds (s)	1 s	hertz (Hz)	1 Hz
Milliseconds (ms)	$10^{-3}$ s	kilohertz (KHz)	10 <sup>3</sup> Hz
Microseconds (μs)	$10^{-6}$ s	megahertz (MHz)	10 <sup>6</sup> Hz
Nanoseconds (ns)	$10^{-9}$ s	gigahertz (GHz)	10 <sup>9</sup> Hz
Picoseconds (ps)	$10^{-12}$ s	terahertz (THz)	10 <sup>12</sup> Hz

Gambar 2-4. Satuan periode dan frekuensi

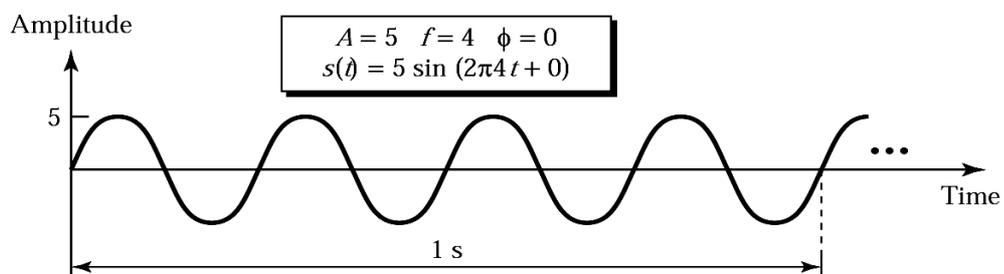


Gambar 2-5. Pengertian fase sinyal (0°, 90°, dan 180°)

Berdasarkan pengertian amplitudo, frekuensi, dan fase tersebut diatas, maka sebuah sinyal analog periodik dapat dinyatakan dengan:

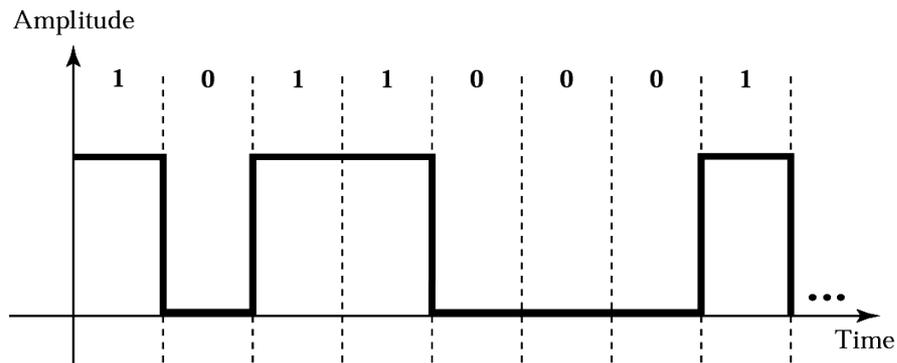
$$s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$

Sebagai contoh, sebuah sinyal dengan amplitudo (A) = 4, frekuensi (f) = 4 Hz, dan sudut fase ( $\phi$ ) = 0 dapat digambarkan sebagai berikut:



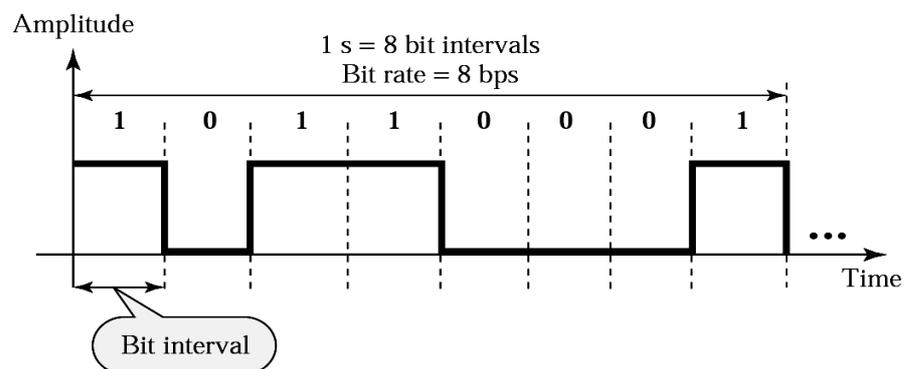
Gambar 2-6. Sebuah sinyal analog periodik  $s(t) = 5 \sin(2\pi 4t + 0)$

Sinyal digital biasanya amplitudo dinyakan dengan nilai 0 dan 1 (dapat juga -1 dan 1 tergantung jenis pengkodeannya), dan periode adalah waktu untuk satu pulsa sinyal dengan amplitudo 0 atau 1 tersebut. Dengan demikian satu gelombang sinyal digital hanya terdiri dari pulsa yang memiliki amplitudo 0 atau 1. Gambaran yang lebih jelas adalah sebagai berikut:



Gambar 2-7. Sinyal Digital

Pengertian laju bit (*bit rate*) adalah banyaknya pulsa kotak dalam tiap detik, atau kecepatan bit ini identik dengan frekuensi sinyal analog. Periode sinyal digital biasanya disebut dengan interval bit, sehingga banyaknya pulsa kotak tiap detik menunjukkan laju bit sinyal digital. Gambar berikut ini menunjukkan laju bit berdasarkan bit intervalnya.

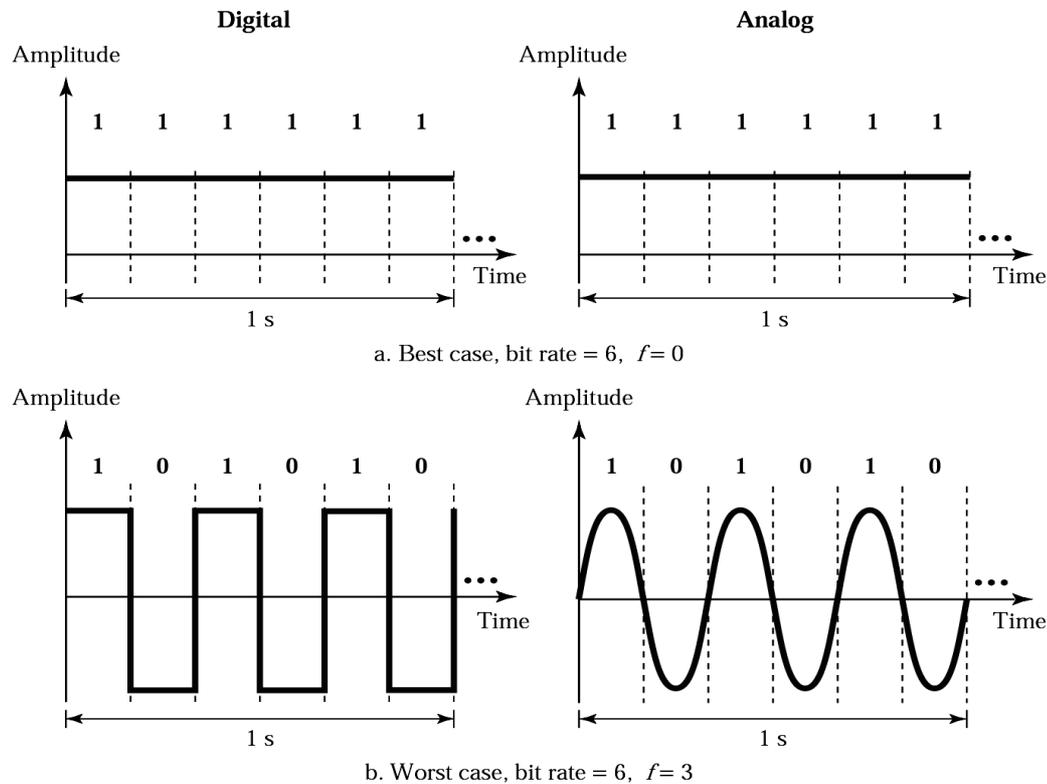


Gambar 2-8. Interval bit dan laju bit

Berdasarkan pengertian frekuensi dalam sinyal analog dan laju bit pada sinyal digital, maka hal yang perlu diingat adalah:

***“frekuensi tidak sama dengan laju bit”***

Contoh nyata ditunjukkan pada gambar berikut ini, dimana laju bit = 6 untuk sinyal digital dibandingkan dengan frekuensi 0 Hz dan 6 Hz dari sinyal analog.

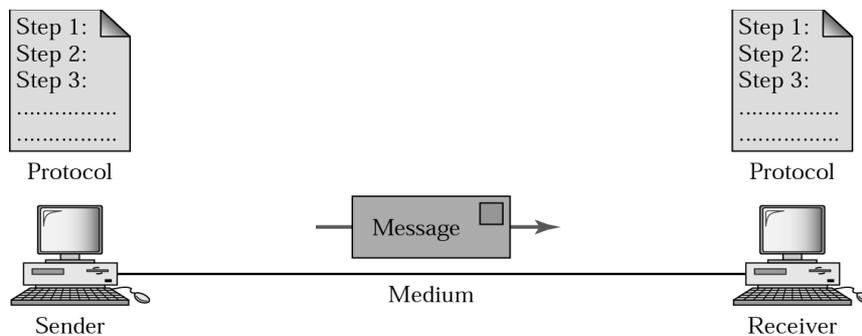


Gambar 2-9. Perbedaan pengertian laju bit dan frekuensi

Selain itu, ada satu hal lagi yang perlu diperhatikan bahwa, meskipun secara sekilas sinyal digital mirip dengan sinyal analog dengan satu frekuensi, sebenarnya sinyal digital merupakan gabungan beberapa frekuensi. Istilah yang tepat adalah pulsa kotak dalam sinyal digital memiliki komponen lebih dari satu frekuensi, atau untuk membentuk sebuah pulsa kotak diperlukan gabungan beberapa buah frekuensi. Banyaknya frekuensi ini nanti akan sangat penting dalam kebutuhan bandwidth saat sinyal digital akan dikirimkan melalui sebuah saluran. Pendek kata, sebuah sinyal analog akan membutuhkan bandwidth yang lebih kecil dibanding sinyal digital jika frekuensi sinyal analog sama dengan laju bit sinyal digital. Bandwidth saluran untuk sinyal analog dinyatakan dengan Hertz dan bandwidth saluran untuk sinyal digital dinyatakan dengan bit per second (bps).

### C. Komponen Komunikasi Data

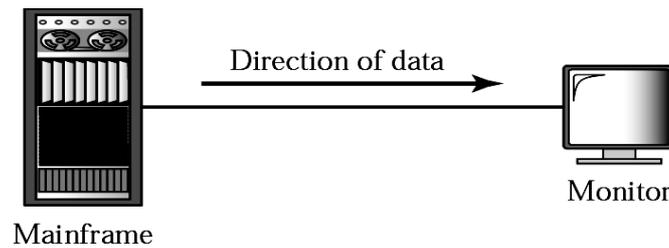
Komunikasi data muncul setelah adanya teknik digital sehingga sinyal analog dapat diwujudkan dalam sinyal digital menggunakan sebuah perangkat yang disebut dengan Analog to Digital Converter (ADC). Konsep komunikasi data adalah menggabungkan prinsip komunikasi antara dua buah komputer sehingga masing-masing komputer dapat melakukan pertukaran data. Dengan demikian komponen dasar yang diperlukan dalam komunikasi data mirip dengan komponen komunikasi pada umumnya dengan tambahan terminologi yang lebih menjelaskan tentang komunikasi data digital. Komponen dasar dari komunikasi data adalah pesan, pengirim, saluran, penerima, dan protokol untuk menjalankan proses komunikasi.



Gambar 2-10. Lima komponen dasar dari komunikasi data

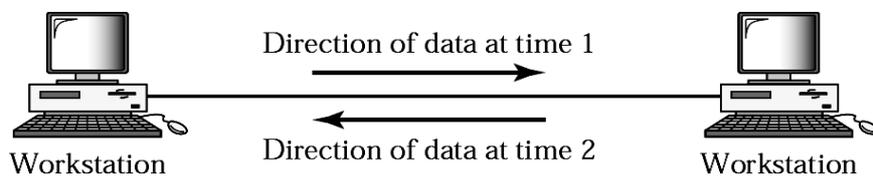
Sedangkan arah komunikasi data juga dapat mengacu pada arah komunikasi pada umumnya yaitu komunikasi satu arah (*simplex*), setengah dua arah (*half duplex*), dan dua arah penuh (*full duplex*).

Simplex artinya komunikasi hanya berlangsung satu arah. Contohnya radio broadcast AM atau FM maupun siaran TV. Komunikasi hanya berlangsung dari stasiun menuju pendengar atau pemirsa saja. Contoh lain adalah komunikasi data dari komputer mainframe ke monitor.



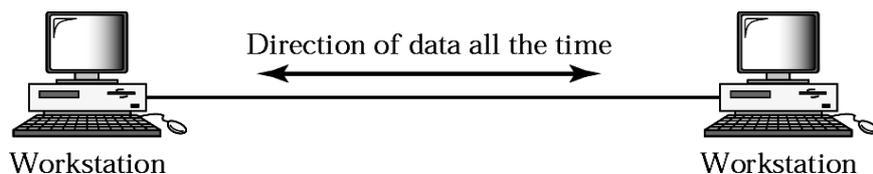
Gambar 2-11. Komunikasi data Simplex

Komunikasi half-duplex adalah komunikasi dua arah tetapi secara bergantian dalam melakukan komunikasi karena saluran dipergunakan secara bersama-sama (lebih dari dua pihak pengguna saluran). Contohnya radio komunikasi seperti CB (Citizen Band). Pada saat sedang mengirim pesan, maka tidak dapat mendengarkan atau sebaliknya. Apabila ada dua stasiun mengirim pesan bersama-sama, maka akan terjadi *jamming* dan pihak ketiga ada kemungkinan dapat mendengarkan salah satu dari mereka atau kadang tidak bisa mendengarkan pesan yang mereka sampaikan jika daya yang dipancarkan seimbang.



Gambar 2-12. Komunikasi data Half Duplex

Sedangkan komunikasi full duplex berlangsung dua arah secara tanpa harus bergantian. Contohnya komunikasi menggunakan telepon. Kedua orang yang sedang berkomunikasi dapat saling mendengarkan atau berbicara secara bebas.



Gambar 2-13. Komunikasi data Full Duplex

#### D. Transmisi Data Digital

Bagian ini menjelaskan tentang bagaimana sebuah data ditransmisikan atau dikirimkan melalui sebuah media komunikasi. Ada dua kategori transmisi sinyal yang melewati sebuah media, yaitu: (1) transmisi baseband, dan (2) transmisi broadband.

Jika sinyal informasi baik analog ataupun digital dikirimkan secara langsung melalui medium, maka komunikasi tersebut merupakan transmisi sinyal baseband. Contohnya pengiriman sinyal yang terjadi pada Ethernet Card untuk jaringan LAN dan komunikasi menggunakan interkom. Sedangkan komunikasi sinyal informasi menggunakan sinyal pembawa atau sinyal termodulasi, maka komunikasi tersebut menggunakan sistem transmisi broadband.

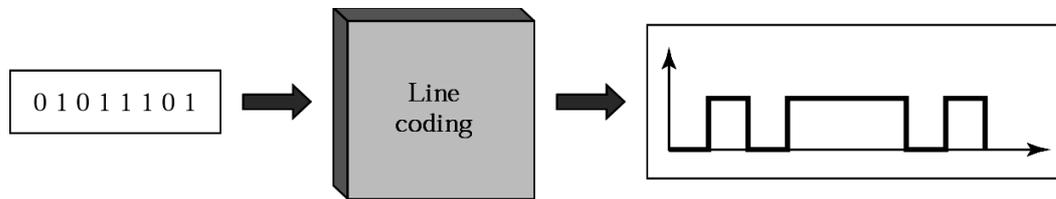
Sifat penting yang selalu diingat jika sebuah sinyal memasuki sebuah medium, maka sinyal tersebut akan mengalami perubahan bentuk atau terjadi korupsi sinyal. Hal ini disebabkan adanya pengaruh noise yang menyatu dalam sinyal tersebut dan pengaruh redaman dari medium sehingga sinyal yang dihasilkan berbeda dengan sinyal aslinya. Gejala tersebut ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 2-14. Perubahan bentuk sinyal akibat redaman dan noise dalam medium

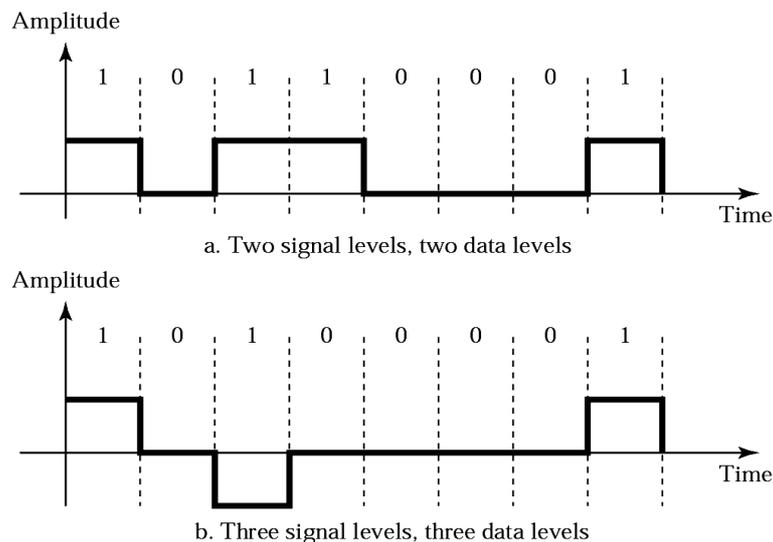
Perbedaan bentuk sinyal ini tentunya akan mengganggu proses komunikasi sehingga pesan yang dikirim tidak sampai pada tujuan. Untuk itu dicari sebuah cara supaya pesan dari pengirim tetap dapat diterima dengan baik atau benar di sisi penerima. Cara-cara untuk mempertahankan supaya sinyal pesan yang dikirim dapat diterima dengan baik di sisi penerima ini disebut dengan pengkodean saluran (*Line Coding*). Bagian berikut ini akan menjelaskan pengkodean saluran khususnya untuk transmisi data digital yang diperlukan dalam proses komunikasi data.

Macam pengkodean saluran ini sangat tergantung dari jenis saluran yang akan digunakan.



Gambar 2-15. Pengkodean saluran

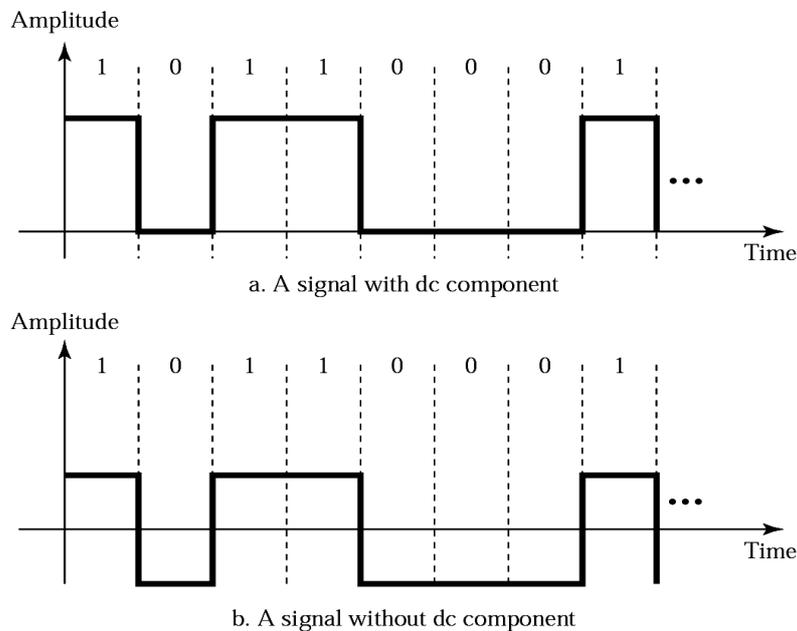
Proses pengkodean saluran ini pada prinsipnya mengubah informasi data menjadi bentuk sinyal yang lain sehingga sinyal tersebut cocok dengan saluran yang digunakan. Misalkan saja data biner 0 dan 1 dikodekan sinyal yang memiliki dua buah level dengan amplitudo 0 volt dan 1 volt atau 0 volt dan 5 volt atau bisa dinyatakan dengan level 0 dan +V. Contoh lain, misalkan sebuah data dengan level 0 dan 1 dinyatakan dalam bentuk sinyal dengan tiga level yaitu -V, 0V, dan +V. Aturan sinyal menjadi level -V 0 V dan +V, berdasarkan perubahan bit. Contoh kedua pengkodean saluran dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2-16. Level sinyal

Dalam prakteknya, pengkodean saluran menghindari sinyal dengan yang memiliki level DC (0 volt dan + volt) karena sinyal ini rawan terhadap gangguan terutama jika terjadi deretan data dengan bit 1 secara terus

menerus. Untuk itu, cara yang digunakan adalah membuat sinyal dengan level bukan DC yaitu dengan level  $-V$ ,  $0$ , dan  $+V$  dengan aturan-aturan tertentu. Aturan ini yang menjadi dasar perbedaan jenis-jenis pengkodean saluran.



Gambar 2-17. Sinyal dengan level (a) DC dan tanpa level DC (b)

Banyaknya level sinyal untuk merepresentasikan data biner 0 dan 1 akan menentukan laju bit dalam saluran tersebut. Besarnya laju bit (bps) terhadap level sinyal  $L$  dapat dinyatakan:

$$\text{laju bit} = \text{laju pulsa} \times \log_2 L$$

dimana laju pulsa =  $1/\text{durasi pulsa}$ , dan durasi pulsa dalam satuan detik.

Sebagai contoh,

Sebuah sinyal dengan 2 level ( $L = 2$ ) memiliki durasi pulsa  $t_p = 1\text{ms}$ .

Tentukan laju pulsa dan laju bit ratenya.

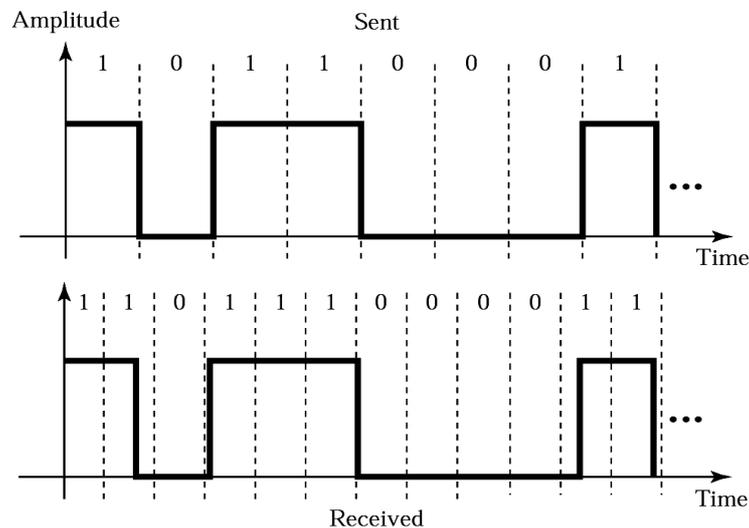
$$\text{Laju pulsa} = 1/t_p = 1000 \text{ pulsa/detik},$$

sehingga,

$$\text{Laju bit} = 1000 \times \log_2 2 = 1000 \text{ bps}.$$

Suatu hal yang perlu diperhatikan saat data dikirim melalui sebuah medium adalah sinkronisasi mengingat antara pengirim dengan penerima

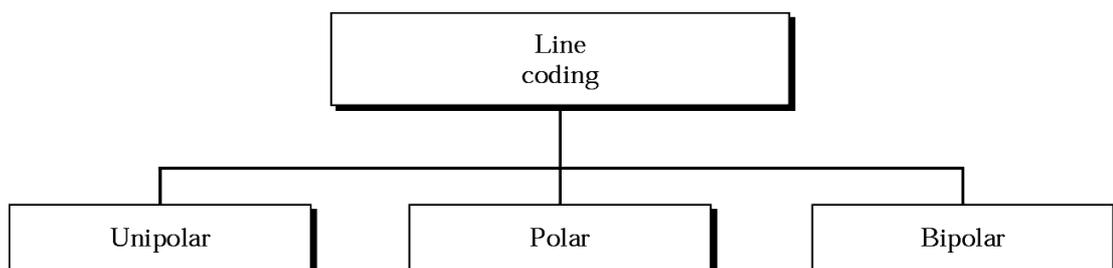
tidak memiliki sinkronisasi yang sama. Contoh terjadinya perbedaan sinkronisasi antara pengirim dan penerima terhadap keberhasilan pengiriman pesan ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 2-18. Kesalahan penerimaan data akibat kesalahan sinkronisasi

### E. Macam Pengkodean Saluran

Representasi level sinyal dari pengkodean saluran akan menentukan jenis pengkodean saluran. Macam pengkodean saluran secara umum dapat dikelompokkan menjadi: (1) *Unipolar*; (2) *Polar*; (3) *Bipolar*, seperti yang digambarkan pada bagan berikut ini.

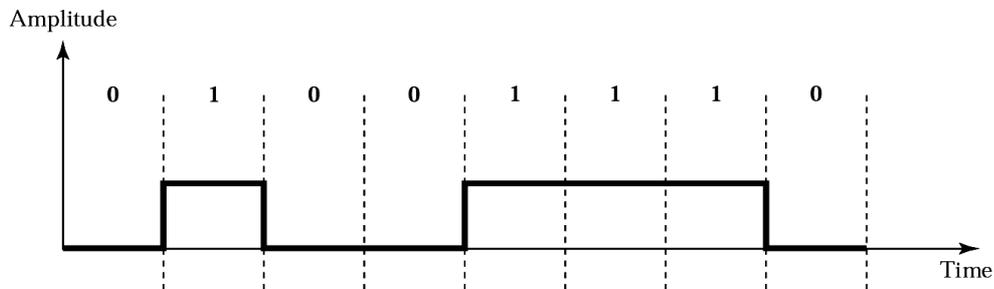


Gambar 2-19. Macam Line Coding

Pengkodean saluran jenis polar tunggal (*unipolar*) hanya menggunakan sebuah 1 (satu) buah level tegangan yaitu 0 V (tidak ada tegangan) dan +V untuk menyatakan data biner 0 dan 1. Sedangkan pengkodean polar menggunakan 2 (dua) buah level tegangan yaitu -V

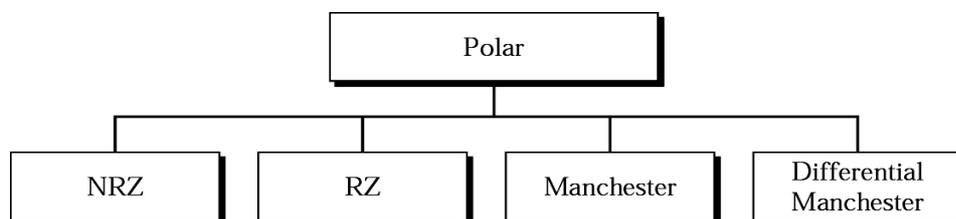
dan  $+V$ . Dan terakhir, jenis pengkodean bipolar menggunakan 3 (tiga) buah level tegangan yaitu  $-V$ ,  $0V$ , dan  $+V$ .

Contoh pengkodean saluran jenis polar tunggal digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2-20. Unipolar

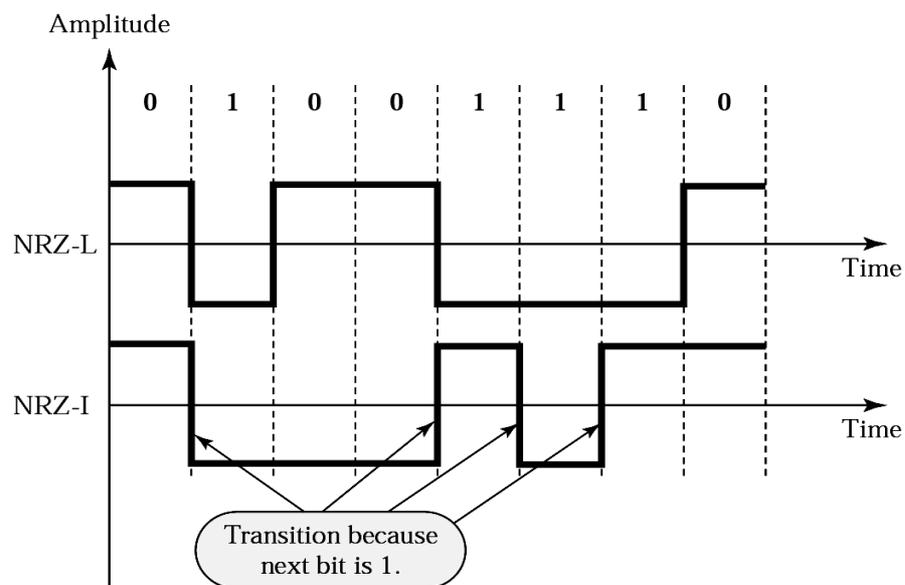
Sedangkan pengkodean saluran dalam kelompok polar, dibagi-bagi lagi menjadi beberapa jenis yaitu: (1) *Non-Return to Zero* (NRZ); (2) *Return to Zero* (RZ); (3) *Manchester*; dan (3) *Differential Manchester*. Jenis pengkodean polar menggunakan 2 (dua) buah level tegangan yaitu  $-V$  dan  $+V$  (tegangan positif dan negatif) untuk menyatakan data biner dengan nilai 0 dan 1. Bagan klasifikasi pengkodean saluran jenis polar digambarkan sebagai berikut ini. Perbedaan dari masing-masing jenis pengkodean saluran dari kelompok polar ini dapat dijelaskan sebagai berikut.



Gambar 2-21. Unipolar

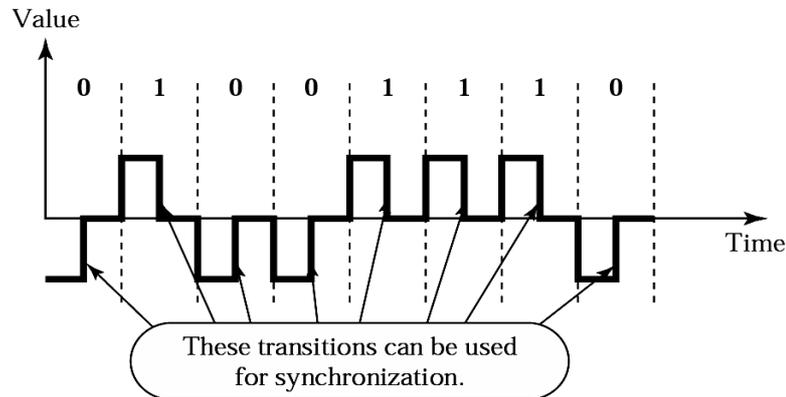
Pengkodean saluran jenis Non-Return to Zero (NRZ) dibedakan menjadi dua yaitu NRZ dan NRZ-I (Non-Return to Zero - Inverted). NRZ-L menggunakan level  $+V$  digunakan untuk menyatakan data biner

0, sedangkan level tegangan  $-V$  digunakan untuk menyatakan data biner 1 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-22 bagian atas. Sedangkan NRZ-I representasi level  $-V$  atau  $+V$  menyatakan adanya perubahan data biner dari menuju logika 1. Artinya, setiap ada perubahan urutan data biner dari 0 ke 1 atau 1 ke 1, maka level tegangan akan berubah dari sebelumnya. Misalkan level sebelumnya  $+V$  maka perubahan bit 0 ke 1 atau 1 ke 1 menyebabkan levelnya menjadi  $-V$  dan sebaliknya jika level sebelumnya  $-V$  maka perubahan data biner dari 0 ke 1 atau 1 ke 1 menyebabkan levelnya berubah menjadi  $+V$ . Perubahan data dari 0 ke 0 dan 1 ke 0 tidak akan menyebabkan perubahan level tegangan. Contoh pengkodean saluran jenis NRZ-I ditunjukkan pada Gambar 2-22 bagian bawah.



Gambar 2-22. Sistem pengkodean saluran NRZ dan NRZ-I

Pengkodean saluran jenis Return to Zero (RZ) menggunakan level  $-V$  dan  $+V$  dengan transisi di pertengahan bit data biner. Data biner 0 dinyatakan dengan transisi dari level  $-V$  menuju  $0V$ , sedangkan data biner 1 dinyatakan dengan transisi dari level  $0V$  menuju  $+V$ . Contoh pengkodean saluran jenis RZ ditunjukkan pada gambar berikut ini.



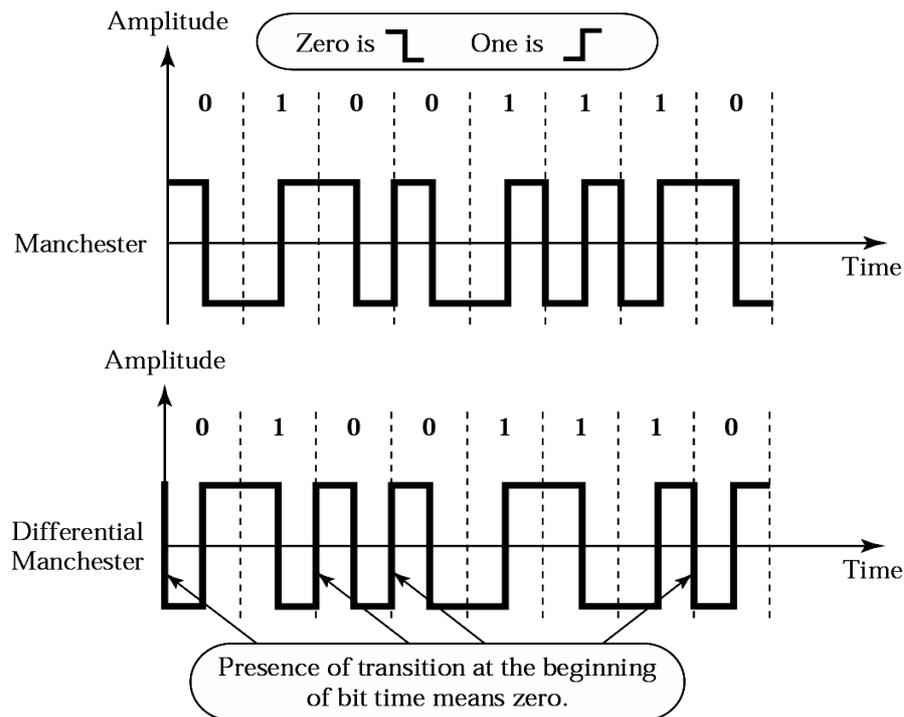
Gambar 2-23. Pengkodean saluran jenis RZ

Jenis terakhir dari pengkodean saluran kelompok polar adalah pengkodean Manchester yang digunakan jaringan LAN, dan Differential Manchester yang digunakan pada jaringan token-ring. Pengkodean Manchester dan Differential Manchester ini dikembangkan untuk memenuhi persyaratan dalam pengkodean yang menyatakan:

*"Pengkodean sinyal digital yang baik harus memiliki fasilitas untuk keperluan sinkronisasi."*

Pengkodean *Manchester* menggunakan level  $-V$  dan  $+V$  dengan transisi ditengah-tengah bit data biner. Data biner 0 dinyatakan dengan transisi level tegangan dari  $+V$  menuju  $-V$ , sedangkan data biner 1 dinyatakan dengan transisi level tegangan dari  $-V$  menuju  $+V$ .

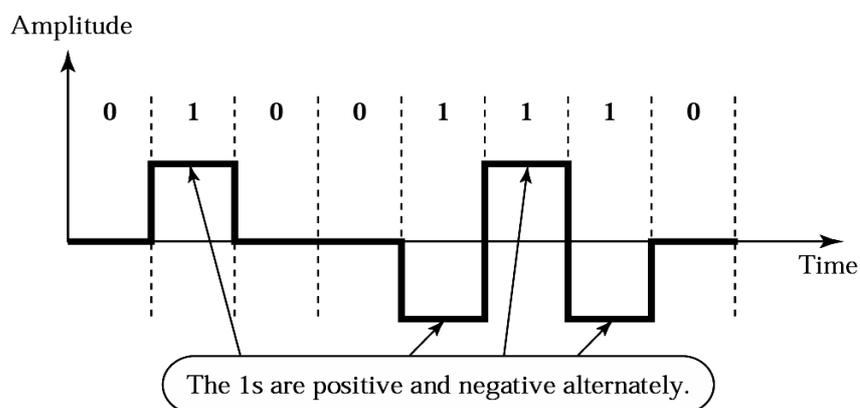
Pengkodean *Differential Manchester* merupakan modifikasi pengkodean Manchester, dimana letak transisi level tegangan dari  $-V$  menuju  $+V$  atau sebaliknya yaitu  $+V$  menuju  $-V$  dipengaruhi oleh data biner. Data biner 0 ditandai dengan transisi level tegangan terletak di awal interval data bit, sedangkan data biner 1 ditandai dengan transisi level tegangan terletak ditengah interval bit dari data. Contoh pengkodean *Manchester* dan *Differential Manchester* ditunjukkan pada Gambar 2-24 berikut ini.



Gambar 2-24. Pengkodean Manchester dan Differential Manchester

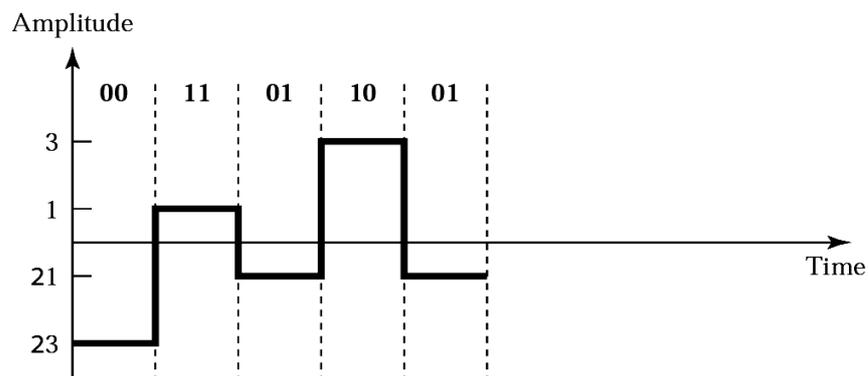
Kelompok pengkodean yang terakhir adalah jenis pengkodean bipolar yaitu pengkodean dengan menggunakan 3 (tiga) buah level tegangan yaitu  $-V$ ,  $0V$ , dan  $+V$  untuk menyatakan data biner. Ada dua contoh pengkodean jenis bipolar, yaitu bipolar-AMI dan 2B1Q.

Pengkodean bipolar-AMI menggunakan level tegangan  $0V$  untuk menyatakan data biner 0, sedangkan data biner 1 dinyatakan dengan level tegangan  $-V$  dan  $+V$  secara bergantian. Contoh pengkodean bipolar adalah pengkodean bipolar-AMI seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-25.



Gambar 2-25. Pengkodean Bipolar-AMI

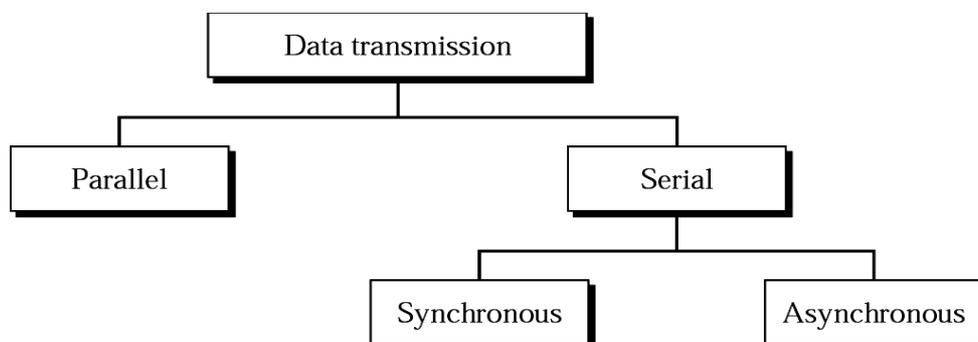
Sedangkan pengkodean 2B1Q digunakan untuk pengkodean dua data biner. Data "00" dinyatakan dengan level tegangan -23 V, data "11" dinyatakan dengan level tegangan +1V, data "01" dinyatakan dengan level tegangan -21 V, data "10" dinyatakan dengan tegangan +3 V. Contoh pengkodean 2B1Q ditunjukkan pada Gambar 2-26 berikut ini.



Gambar 2-26. Pengkodean 2B1Q

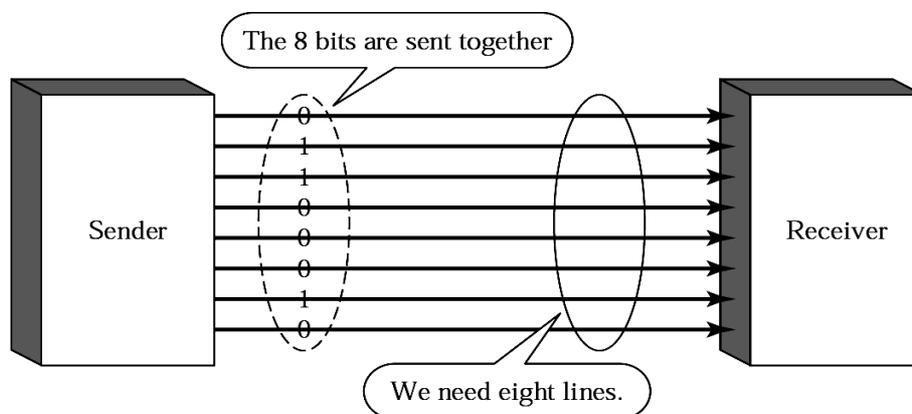
## F. Macam Transmisi Data Digital

Berdasarkan jumlah saluran yang digunakan dalam mengirimkan data digital, transmisi data digital dapat dibedakan menjadi: (1) Pengiriman secara paralel, dan (2) Pengiriman secara serial, dimana pengiriman secara serial dapat dibedakan menjadi pengiriman secara serial sinkron dan pengiriman secara serial tak sinkron. Hirarki transmisi data digital ditunjukkan pada Gambar 2-27 berikut ini.



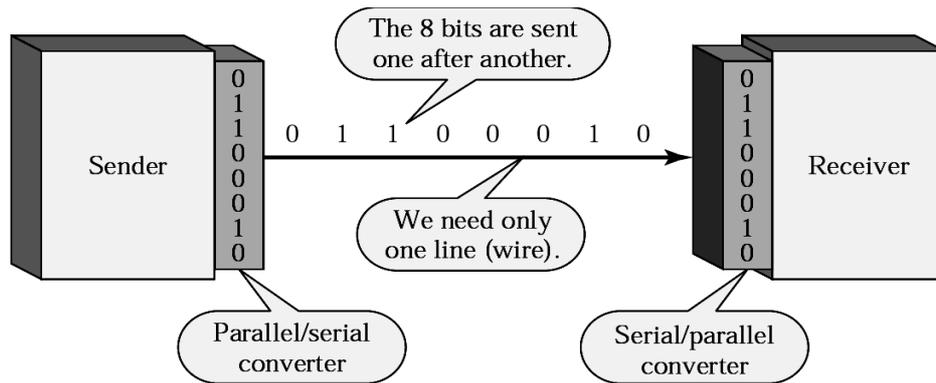
Gambar 2-27. Macam-macam transmisi data

Transmisi data secara paralel adalah mengirimkan seluruh data bit secara bersamaan. Misalkan sebuah data dinyatakan dalam 8 bit (bit = binary digit). Transmisi data secara paralel akan membutuhkan 8 buah saluran untuk mengirimkan masing-masing bit. Keuntungan transmisi secara paralel ini adalah setiap data 8-bit dapat dikirimkan sekaligus sehingga proses komunikasi dapat berlangsung cepat. Namun memiliki kelemahan yaitu boros kabel karena untuk data  $n$ -bit akan membutuhkan  $n$  buah saluran dan sangat tidak efektif jika jarak komunikasi sangat jauh.



Gambar 2-28. Transmisi data parallel

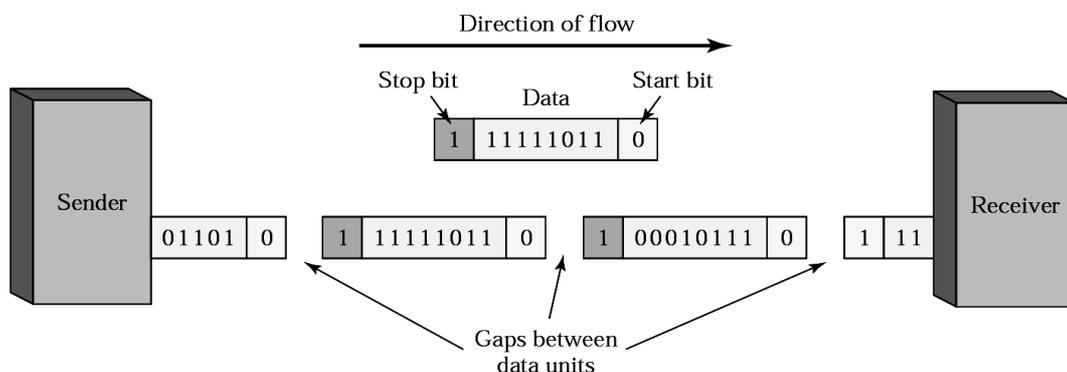
Transmisi data digital secara serial adalah transmisi data digital yang dilakukan dengan menggunakan sebuah saluran. Pengiriman data dilakukan per bit. Misalkan data dinyatakan dalam 8 bit, maka pengiriman dilakukan mulai dari bit pertama (bit-0) sampai dengan bit kedelapan (bit-7). Dengan demikian untuk data 8 bit membutuhkan 8 kali pengiriman. Keuntungan sistem adalah saluran komunikasi hanya membutuhkan satu saluran sehingga sangat efektif untuk jarak komunikasi yang jauh, namun punya kelemahan waktu pengirimannya menjadi lebih lama dan perlu pewaktuan yang tepat (sinkronisasi) untuk menyusun bit per bit yang diterima menjadi data 8 bit kembali. Transmisi data digital secara serial ditunjukkan pada Gambar 2-29 berikut ini.



Gambar 2-29. Transmisi data serial

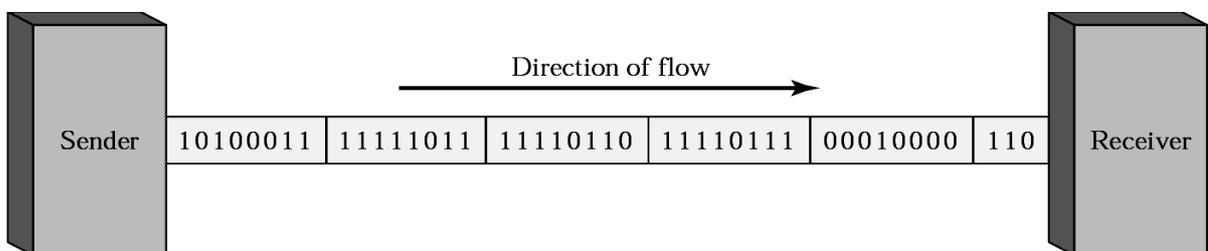
Transmisi data digital secara serial dapat dibedakan menjadi transmisi data secara serial tak sinkron dan transmisi data secara serial sinkron.

Transmisi data secara serial tak sinkron akan menambahkan bit awal yang disebut dengan istilah start bit sebelum mengirimkan bit data yang pertama sebagai tanda permulaan pengiriman atau permulaan data, dan menambahkan bit akhir atau stop bit setelah pengiriman bit data yang terakhir sebagai tanda bahwa pengiriman seluruh bit data sudah selesai dan akan dimulai dengan data berikutnya. Selain itu, setiap pengiriman data diberikan waktu sela untuk membedakan kelompok data yang satu dengan yang lainnya. Dengan demikian, jika data dinyatakan dengan 8 buah bit, maka transmisi data serial tak sinkron akan membutuhkan waktu untuk melakukan pengiriman sebanyak 10 kali pengiriman, 8 kali untuk seluruh bit data dan 2 kali untuk mengirimkan start bit dan stop bit, dan masih ditambah waktu sela antar data. Transmisi data digital secara serial tak sinkron ditunjukkan pada Gambar 2-30 berikut ini.



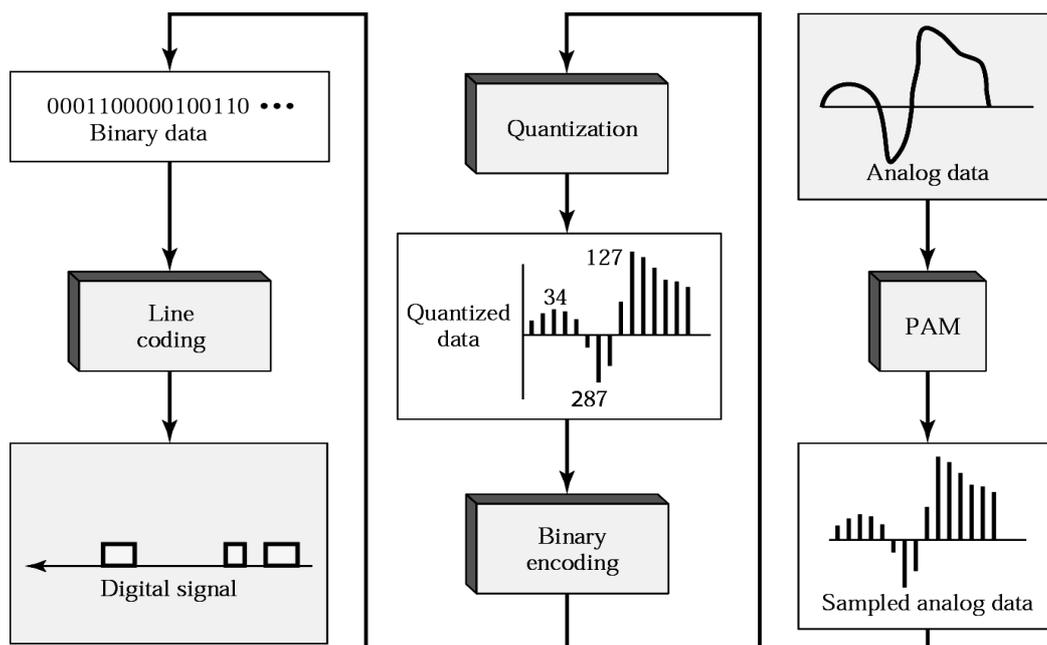
Gambar 2-30. Transmisi data serial tak sinkron

Transmisi data secara serial sinkron akan mengirimkan bit data yang pertama sampai dengan bit data terakhir secara berturut-turut, dan antara kelompok data yang satu dengan yang lain juga tidak ada waktu sela. Dengan demikian, transmisi data secara serial sinkron akan mengirimkan seluruh data secara berturut-turut tiap bit per bit secara terus menerus. Tugas mengelompokkan bit per bit menjadi data diserahkan sepenuhnya kepada penerima. Transmisi data digital secara serial sinkron ditunjukkan pada Gambar 2-31 berikut ini.



Gambar 2-31. Transmisi data serial sinkron

Sebagai ringkasan, proses yang dilakukan dalam komunikasi data mulai dari data yang berupa sinyal analog sampai dengan transmisi data digital dapat digambarkan sebagai berikut:

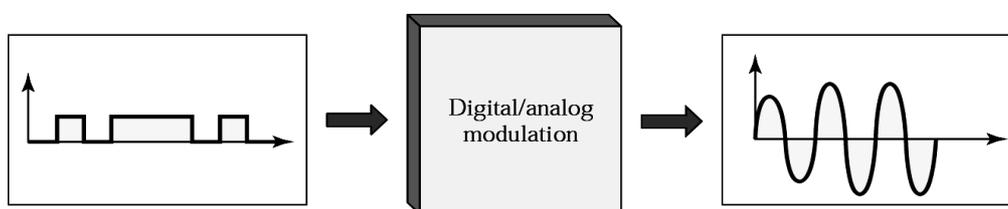


Gambar 2-32. Pemrosesan sinyal analog menjadi kode PCM

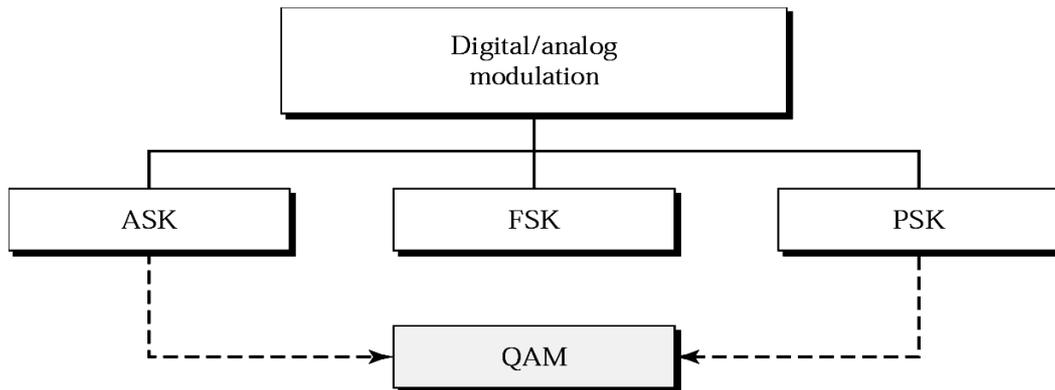
## G. Transmisi Data Analog

Setelah transmisi data digital berhasil dilakukan, maka timbul keinginan untuk lebih memperluas jangkauan transmisi data dengan memanfaatkan jaringan telekomunikasi yang telah terbentuk serta memanfaatkan perangkat telekomunikasi yang sudah sering digunakan. Karena jaringan telekomunikasi yang telah dibangun dan perangkat komunikasi yang telah dikembangkan dan digunakan dirancang untuk pengiriman sinyal analog baik sinyal analog baseband maupun broadband, maka timbul permasalahan bagaimana caranya mengirimkan data digital dengan menggunakan sinyal analog. Satu-satunya cara adalah mengubah sinyal data digital menjadi sinyal data analog sehingga dapat dikirimkan menggunakan perangkat komunikasi yang sering digunakan untuk mengirimkan sinyal analog seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-33.

Ditinjau dari laju bit yang diperoleh saat itu juga masih terlalu rendah, karena perangkat komunikasi analog dirancang untuk mengirimkan sinyal percakapan analog yang hanya memiliki bandwidth 4 kHz sampai dengan 10 kHz. Proses perubahan sinyal digital menjadi sinyal analog ini dinamakan dengan proses modulasi, namun tidak menggunakan jenis modulasi analog sebelumnya seperti modulasi amplitudo (AM) atau modulasi frekuensi (FM) melainkan jenis modulasi digital. Atau lebih tepatnya proses perubahan sinyal digital menjadi sinyal analog untuk keperluan komunikasi data dinamakan modulasi digital/analog. Gambar 2-33 menunjukkan jenis-jenis modulasi tersebut, dan merupakan nenek moyang jenis-jenis modulasi digital yang digunakan saat ini.



Gambar 2-32. Modulasi digital/analog



Gambar 2-33. Macam-macam modulasi digital

Jenis-jenis modulasi digital/analog atau selanjutnya disebut dengan modulasi digital dimulai dari *Amplitude Shift Keying* (ASK), *Frequensi Shift Keying* (FSK) dan *Phase Shift Keying* (PSK). Ketiga jenis modulasi digital ini merupakan proses modulasi digital dengan memanfaatkan parameter sinyal analog yaitu amplitudo, frekuensi, dan fase dari sinyal analog. Dengan demikian, modulasi digital ASK berarti menyatakan data biner digital 0 dan 1 ke dalam level amplituda sinyal analog, modulasi digital FSK menyatakan data biner digital 0 dan 1 ke dalam frekuensi sinyal analog, dan modulasi digital PSK menyatakan data biner digital ke dalam bentuk fase sinyal analog. Sedangkan jenis modulasi Quadrature Amplitude Modulation (QAM) merupakan gabungan antara modulasi digital jenis ASK dengan PSK, yaitu menyatakan data biner digital 0 dan 1 ke dalam bentuk amplitudo dan fase dari sinyal analog.

Berdasarkan tiga jenis modulasi digital (ASK, FSK, PSK) ini kemudian dikembangkan menjadi beberapa jenis modulasi digital yang saat ini digunakan, seperti Minimum Shift Keying (MSK), Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) yang sekarang digunakan pada telepon seluler GSM, Differential Binary Phase Shift Keying (DBPSK), Quaternary Phase Shift Keying (QPSK), Differential Quaternary Phase Shift Keying (DQPSK), dan lain-lain.

### **Pengertian bit rate dan baud rate**

Sebelum membahas tentang konsep modulasi digital untuk masing-masing modulasi digital tersebut diatas, maka akan dijelaskan pengertian

tentang arti bit rate dan baud rate. *Bit rate* atau laju bit adalah banyaknya bit per detik atau bit per second (bps). Sedangkan *baud rate* adalah banyaknya unit/satuan sinyal per detik. Baud rate lebih kecil dibanding bit rate.

Contoh 1:

Sinyal analog membawa 4 bit setial unit sinyal. Jika 1000 unit sinyal dikirim perdetik, berapakah baud rate dan bit ratenya?

Jawab:

$$\text{Baud rate} = 1.000 \text{ baud/s}$$

$$\text{Bit rate} = 1.000 \times 4 = 4.000 \text{ bps}$$

Contoh 2:

Bit rate sebuah sinyal adalah 3.000. Jika setiap unit sinyal membawa 6 bit, berapakah baud ratenya?

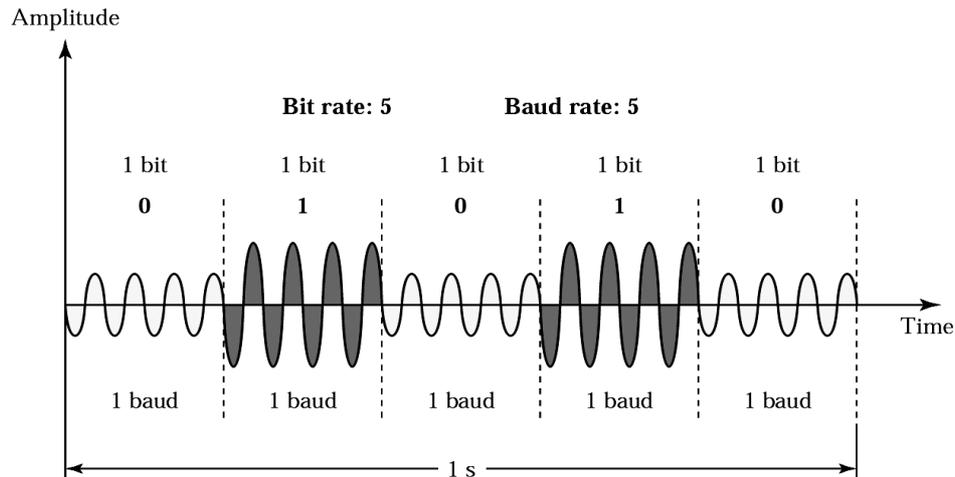
Jawab:

$$\text{Baud rate} = 3.000/6 = 500 \text{ baud rate.}$$

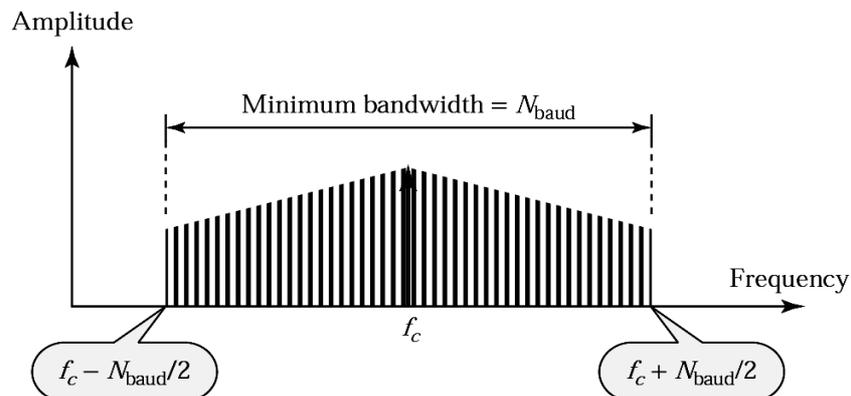
### **Amplitude Shift Keying (ASK)**

Modulasi digital Amplitude Shift Keying (ASK) menyatakan data biner digital 0 dan 1 ke dalam dua buah level amplituda sinyal analog yang berbeda. Karena satu bit dinyatakan dengan sebuah sinyal analog, maka besarnya baud rate modulasi digital ASK sama dengan bit ratenya. Bentuk gelombang sinyal ASK terhadap data biner yang dimodulasikan ditunjukkan pada Gambar 2-34.

Sedangkan bandwidth minimal yang diperlukan untuk transmisi sinyal ASK ditunjukkan pada Gambar 2-35, yaitu sebesar  $N_{baud}$  modulasi tersebut. Satuan bandwidth adalah Hz.



Gambar 2-34. Modulasi ASK



Gambar 2-35. Bandwidth minimum transmisi sinyal ASK

Contoh 1:

Tentukan bandwidth minimal dari sinyal ASK yang mentransmisikan 2.000 bps. Mode transmisi adalah half duplex.

Jawab:

Karena baud rate ASK sama dengan besarnya bit rate, maka baud ratenya adalah 2.000 baud/s, sehingga bandwidth minimum yang diperlukan adalah 2.000 Hz.

Contoh 2:

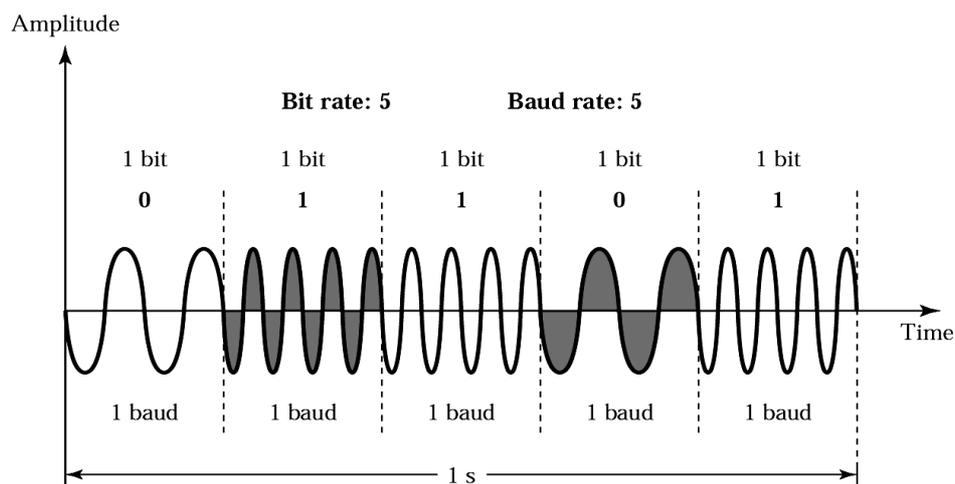
Jika disediakan bandwidth untuk ASK adalah 5.000 Hz, berapakah baud rate dan bit ratenya?

Jawab:

Modulasi ASK membutuhkan bandwidth sebesar baud ratenya, dan bit ratenya sama dengan besarnya baud rate. Dengan demikian, jika disediakan bandwidth 5.000 Hz, maka baud rate yang diperoleh adalah 5.000 baud/s dan bit ratenya adalah 5.000 bps.

### Frequency Shift Keying (FSK)

Modulasi digital *Frequency Shift Keying* (FSK) menyatakan data biner digital 0 dan 1 ke dalam dua buah level frekuensi sinyal analog yang berbeda. Karena setiap bit juga dinyatakan dengan sebuah sinyal analog, maka besarnya baud rate modulasi digital FSK juga sama dengan bit ratenya. Bentuk gelombang sinyal FSK terhadap data biner yang dimodulasikan ditunjukkan pada Gambar 2-36.



Gambar 2-36. Modulasi FSK

Sedangkan bandwidth minimal yang diperlukan untuk transmisi sinyal FSK ditunjukkan pada Gambar 2-37, yaitu besarnya dapat ditentukan dengan persamaan:

$$BW = f_{c1} - f_{c0} + N_{baud} \text{ (Hz)}$$

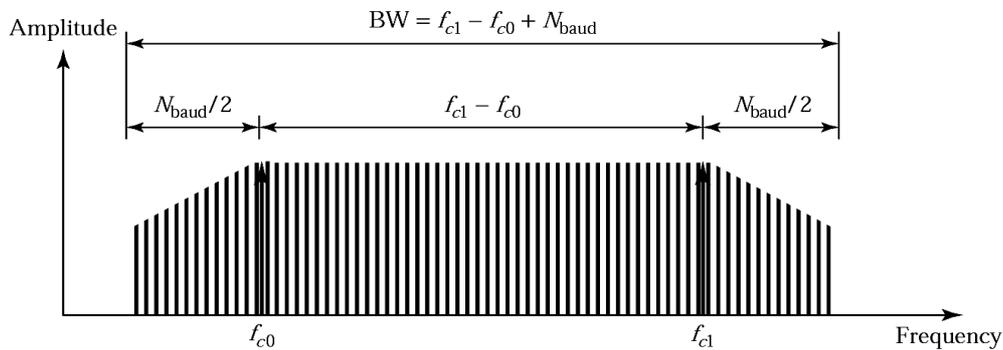
dimana:

$BW$  = bandwidth dalam Hz

$f_{c1}$  = frekuensi (Hz) sinyal analog untuk menyatakan data biner 1

$f_{c0}$  = frekuensi (Hz) sinyal analog untuk menyatakan data biner 0

$N_{baud}$  = nilai baud rate modulasi FSK (baud/s)



Gambar 2-37. Bandwidth minimal transmisi sinyal FSK

Contoh 1:

Tentukan bandwidth minimal sinyal FSK yang mentransmisikan 2.000 bps. Transmisi menggunakan mode half duplex, dan frekuensi sinyal pembawa FSK memiliki perbedaan frekuensi 3.000 Hz.

Jawab:

Untuk modulasi FSK, besarnya BW minimal adalah:

$$\begin{aligned} BW &= f_{c1} - f_{c0} + \text{baud rate} \\ &= 3.000 + 2000 \\ &= 5.000 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Contoh 2:

Tentukan bit rate maksimum untuk sebuah sinyal FSK jika bandwidth medium adalah 12.000 Hz, dengan perbedaan frekuensi sinyal pembawanya adalah 2.000 Hz, dan transmisi menggunakan mode full duplex.

Jawab:

Karena mode transmisi adalah full duplex, maka bandwidth 12.000 Hz akan dibagi dua untuk pemancar dan penerima sehingga masing-masing tersedia 6.000 Hz. Dan bit rate modulasi FSK sama dengan buadratenya, sedangkan nilai baud rate dapat ditentukan:

$$\begin{aligned} BW &= f_{c1} - f_{c0} + \text{baud rate} \\ 6.000 &= 2.000 + \text{baud rate} \end{aligned}$$

Sehingga,

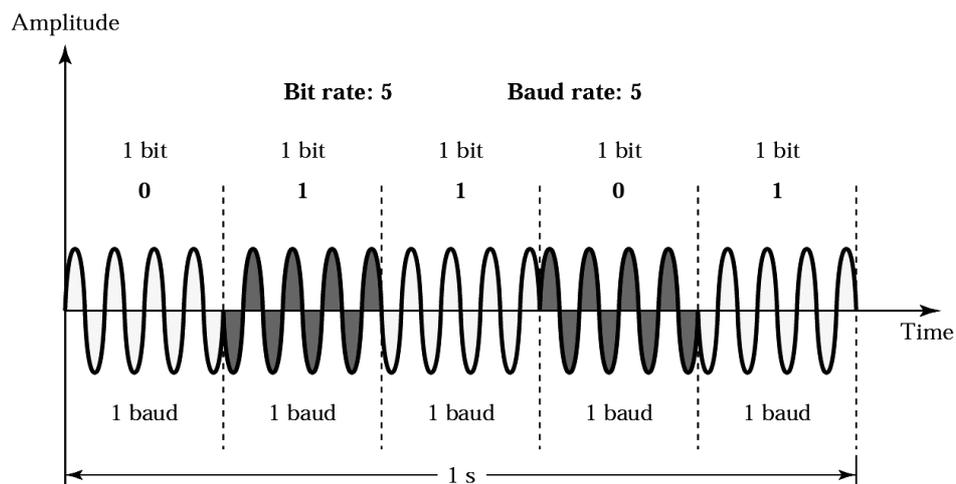
$$\begin{aligned}\text{baud rate} &= 6.000 - 2.000 \text{ baud/s} \\ &= 4.000 \text{ baud/s}\end{aligned}$$

Jadi,

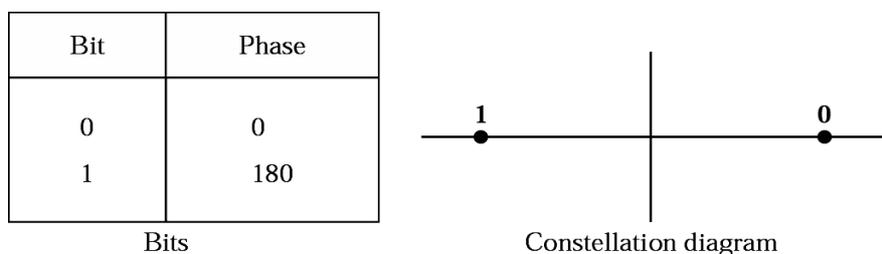
Bit rate yang diperoleh adalah 4.000 bps.

### Phase Shift Keying (PSK)

Modulasi digital *Phase Shift Keying* (PSK) menyatakan data biner digital 0 dan 1 ke dalam dua buah fase sinyal analog yang berbeda. Karena setiap bit juga dinyatakan dengan sebuah sinyal analog, maka besarnya baud rate modulasi digital PSK juga sama dengan bit ratenya. Bentuk gelombang sinyal PSK terhadap data biner yang dimodulasikan ditunjukkan pada Gambar 2-38. Diagram konstelasi modulasi PSK ditunjukkan pada Gambar 2-39.

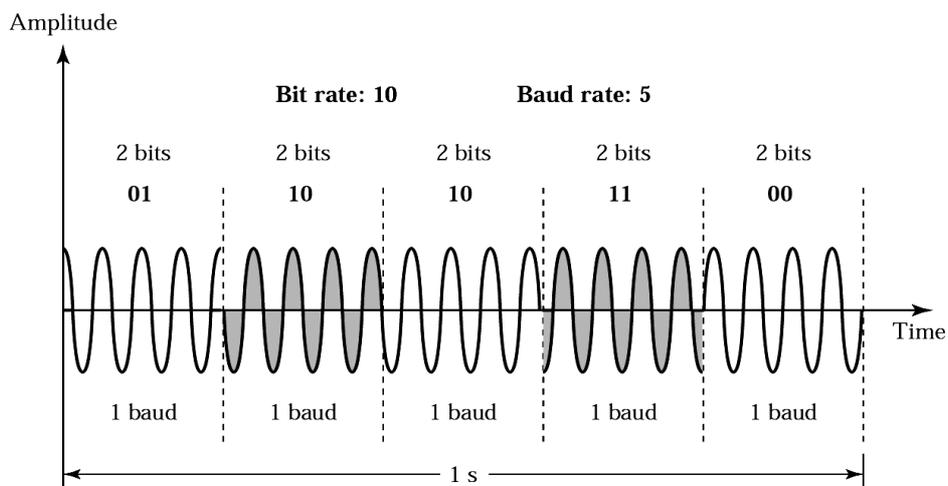


Gambar 2-38. Modulasi PSK



Gambar 2-39. Diagram konstelasi modulasi PSK

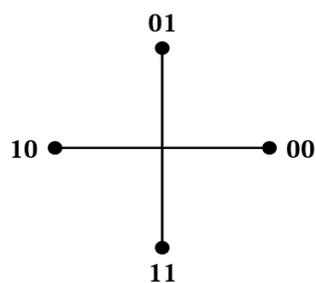
Modulasi PSK yang menyatakan setiap bit data biner dengan nilai fase sinyal yang berbeda disebut juga dengan 2-PSK atau *Binary PSK (BPSK)*. Sedangkan modulasi PSK yang menyatakan setiap dua bit data biner dalam sebuah fase yang berbeda dinamakan 4-PSK, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-40. Untuk jenis 4-PSK ini nilai bit rate yang diperoleh adalah dua kali dari baud ratenya. Sedangkan diagram konstelasi modulasi 4-PSK ditunjukkan pada Gambar 2-41.



Gambar 2-39. Bentuk sinyal modulasi 4-PSK

Dibit	Phase
00	0
01	90
10	180
11	270

Dibit  
(2 bits)

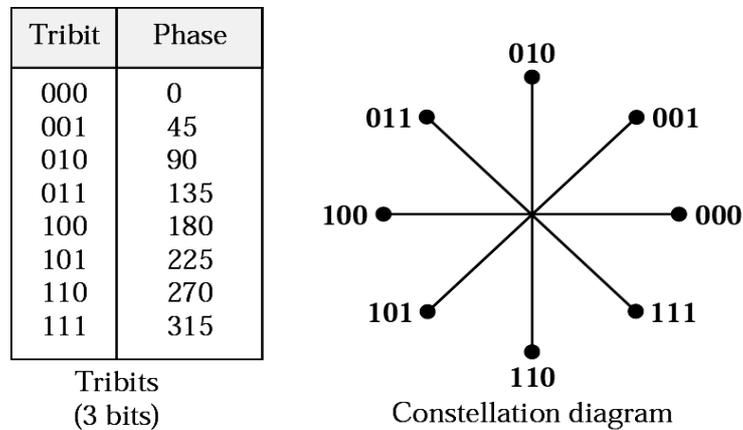


Constellation diagram

Gambar 2-41. Diagram konstelasi modulasi 4-PSK

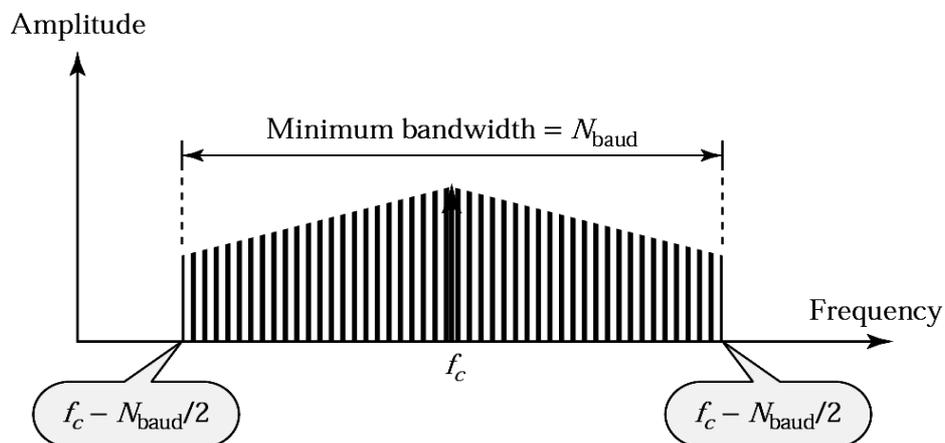
Jika modulasi PSK ingin menyatakan setiap tiga bit data biner dalam fase sinyal analog yang berbeda, maka jenis modulasi ini disebut dengan 8-PSK. Karena setiap sinyal analog menyatakan tiga bit data biner, maka bit

ratelya adalah tiga kali dari buad ratenya. Diagram konstelasinya ditunjukkan pada Gambar 2-42.



Gambar 2-42. Diagram konstelasi modulasi 4-PSK

Bandwidth minimum yang diperlukan untuk mentransmisikan sinyal modulasi PSK, 4-PSK, dan 8-PSK adalah sama yaitu sebesar  $N$  baud ratenya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-43 berikut ini.



Gambar 2-43. Minimum bandwidth modulasi PSK

Contoh 1:

Tentukan bandwidth untuk sinyal 4-PSK yang mentransmisikan 2.000 bps. Transmisi menggunakan mode half duplex.

Jawab:

Untuk modulasi digital PSK, bandwidth minimum yang diperlukan adalah sebesar baud ratenya. Sedangkan bit ratenya adalah dua kali baud ratenya. Jika bit rate yang diinginkan adalah 2.000 bps, maka baud ratenya adalah 1.000 baud/s, dan bandwidth minimumnya adalah sama dengan baud ratenya yaitu 1.000 Hz.

Contoh 2:

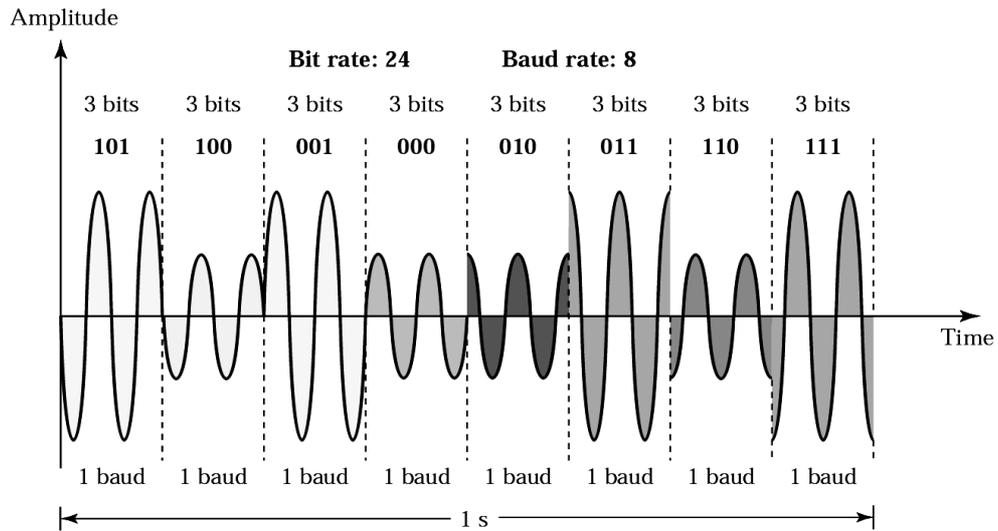
Jika disediakan bandwidth 5.000 Hz untuk mentransmisikan sinyal 8-PSK, berapakah baud rate dan bit rate yang diperoleh?

Jawab:

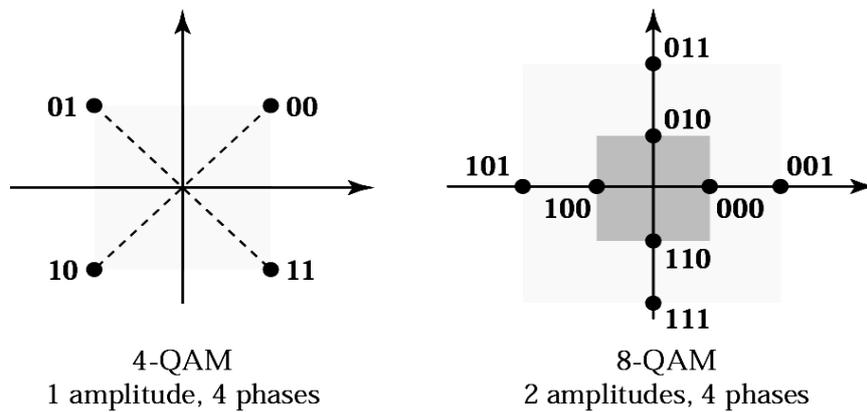
Untuk jenis modulasi PSK (2-PSK, 4-PSK, 8-PSK) bandwidth minimum sama dengan baud ratenya. Sehingga baud rate sinyal 8-PSK adalah 5.000 baud/s. Sedangkan nilai bit rate yang diperoleh dari 8-PSK adalah 3 (tiga) kali dari nilai baud ratenya. Dengan demikian bit rate yang diperoleh adalah 15.000 bps.

### **Quadrature Amplitude Modulation (QAM)**

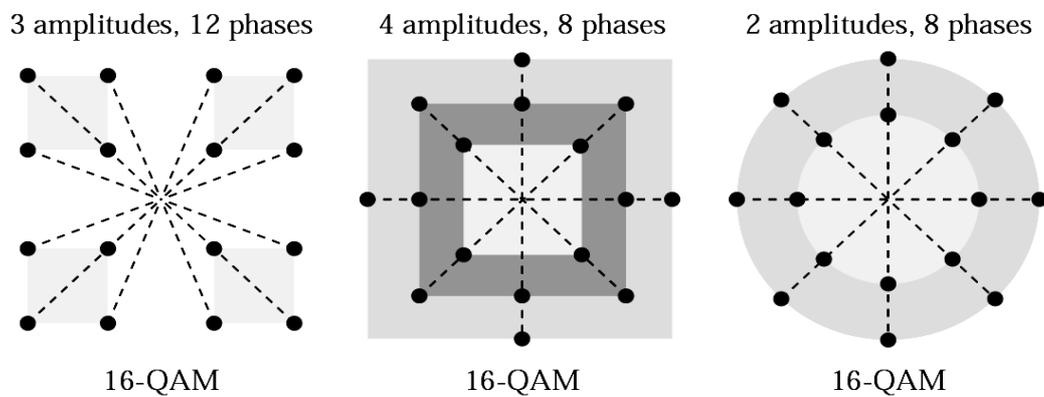
Modulasi digital *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM)) adalah kombinasi dari modulasi digital ASK dengan PSK sehingga perbedaan antara bit, dibit, tri bit sangat nampak dengan jelas karena bit data biner dinyatakan dengan perbedaan amplitudo dan fase secara sekaligus. Modulasi QAM untuk menyatakan n-bit data biner ke dalam sebuah sinyal QAM maka bit rate yang diperoleh adalah n kali baud ratenya, dan baud ratenya adalah  $2^n$ . Bentuk sinyal modulasi QAM ditunjukkan pada Gambar 2-44. Sedangkan diagram konstelasinya ditunjukkan pada Gambar 2-45 dan Gambar 2-56.



Gambar 2-44. Bentuk sinyal 8-QAM untuk jumlah bit = 3 (tri bit)

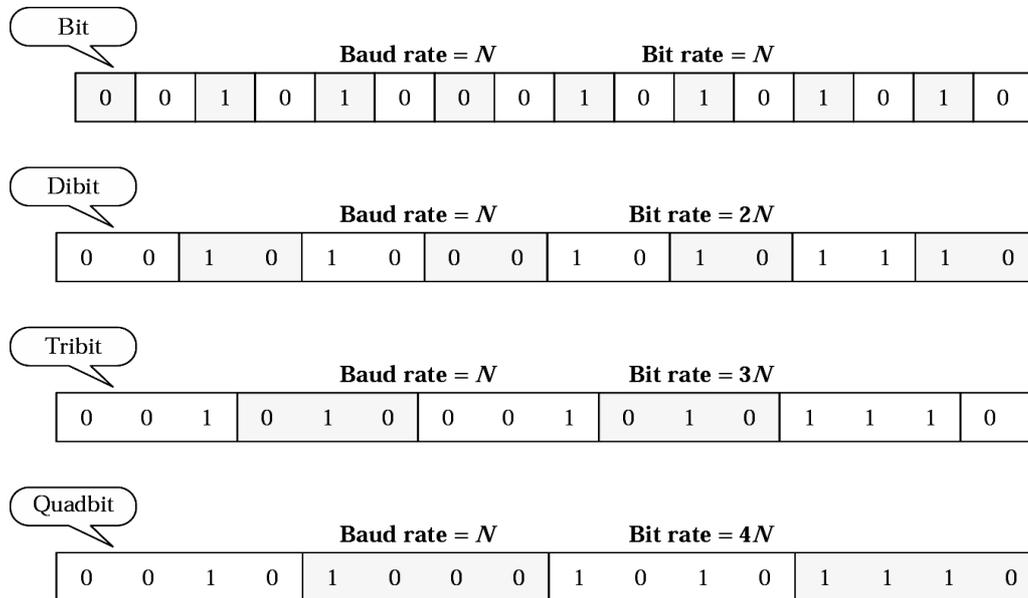


Gambar 2-45. Diagram konstelasi modulasi 4-QAM dan 8-QAM



Gambar 2-46. Diagram konstelasi modulasi 16-QAM

Hubungan antara besarnya baud rate terhadap bit rate dapat dilihat pada gambar berikut ini untuk masing-masing nilai baud rate sinyal modulasi digital jenis QAM.



Gambar 2-47. Hubungan nilai baud rate dengan bit rate modulasi QAM

Contoh 1:

Sebuah diagram konstelasi terdiri dari delapan buah titik dalam sebuah lingkaran dengan jarak ruang yang sama. Jika bit ratenya adalah 4.800 bps, berapakah baud ratenya?

Jawab:

Diagram konstelasi dengan 8 titik menunjukkan 8-PSK dengan perbedaan sudut 45 derajat. Karena  $2^3 = 8$ , maka berarti n-bit = 3 atau setiap sinyal menyatakan 3 bit (tri bit). Dengan demikian baud ratenya adalah:

$$4.800/3 = 1.600 \text{ baud/s}$$

Contoh 2:

Hitung bit rate untuk sinyal 16-QAM y dengan baud rate 1.000 baud/s.

Jawab:

Modulasi 16-QAM berarti  $n\text{-bit} = 4$ , atau sinyal 16-QAM memiliki 4 bit unit sinyal. Jumlah bit dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\begin{aligned} n\text{-bit} &= \log_2 16 \\ &= 4 \text{ bit} \end{aligned}$$

Sedangkan bit rate = baud rate x  $n\text{-bit}$ . Dengan demikian, bit ratenya dapat ditentukan:

$$\begin{aligned} \text{Bit rate} &= 1.000 \times 4 \\ &= 4.000 \text{ bps} \end{aligned}$$

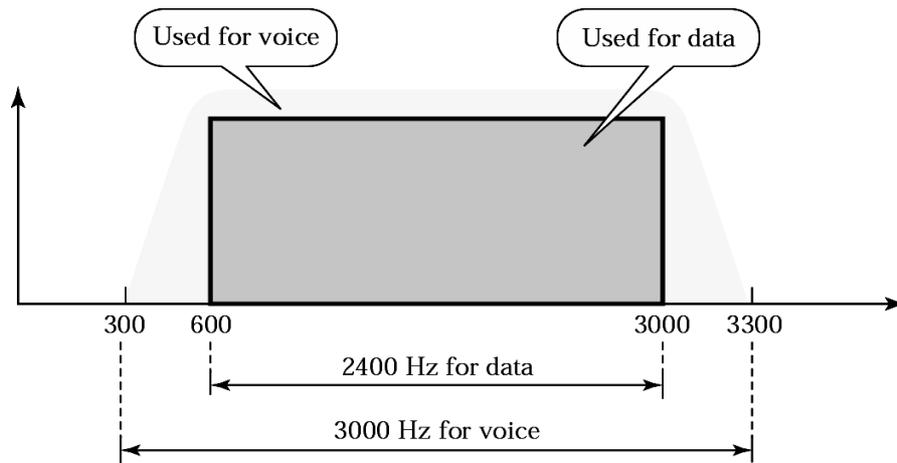
Tabel berikut ini menunjukkan perbandingan baud rate dan bit rate untuk masing-masing jenis modulasi digital.

Modulation	Units	Bits/Baud	Baud rate	Bit Rate
ASK, FSK, 2-PSK	Bit	1	N	N
4-PSK, 4-QAM	Dibit	2	N	2N
8-PSK, 8-QAM	Tribit	3	N	3N
16-QAM	Quadbit	4	N	4N
32-QAM	Pentabit	5	N	5N
64-QAM	Hexabit	6	N	6N
128-QAM	Septabit	7	N	7N
256-QAM	Octabit	8	N	8N

Gambar 2-48. Perbandingan nilai baud rate dan bit rate tiap jenis modulasi

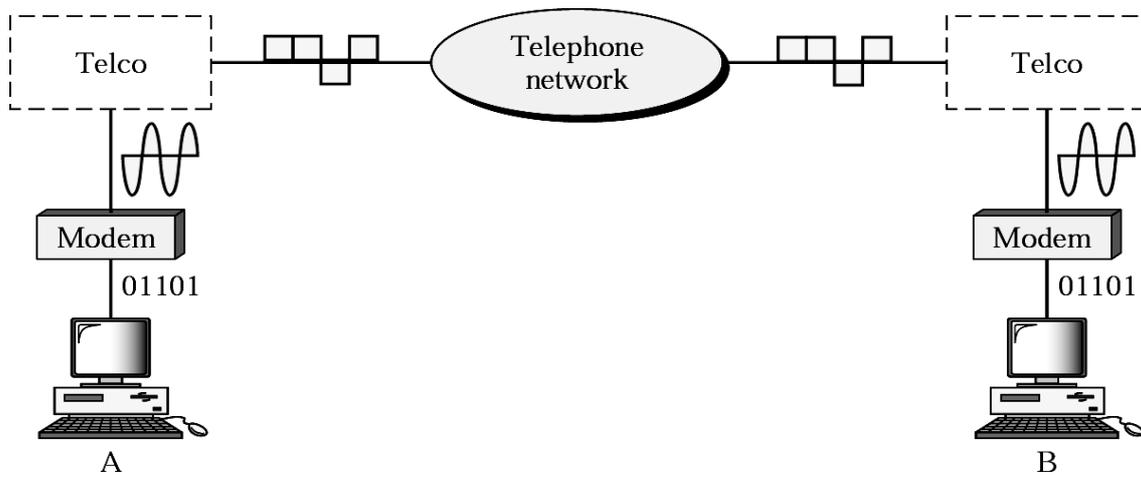
### Standar Modem

Istilah modem berasal dari kata **Modulasi** dan **Demodulasi**. Modem ini diperlukan jika perangkat komunikasi yang akan digunakan untuk mentransmisikan data digital masih berupa perangkat komunikasi data analog. Misalnya kita akan mentransmisikan data digital menggunakan perangkat komunikasi telepon. Dengan keadaan ini maka bandwidth yang disediakan adalah bandwidth untuk percakapan telepon. Sehingga bit rate yang diperoleh berdasarkan bandwidth sinyal percakapan tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 2-49.



Gambar 2-49. Alokasi bandwidth sistem telepon untuk komunikasi percakapan dan transmisi data digital

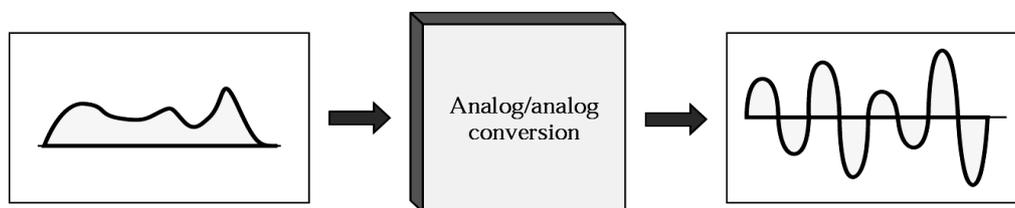
Konfigurasi sistem yang diperlukan untuk mengirimkan data digital menggunakan sambungan telepon ditunjukkan pada Gambar 2-50.



Gambar 2-50. Konfigurasi sistem untuk mentransmisikan data digital melalui sistem telepon

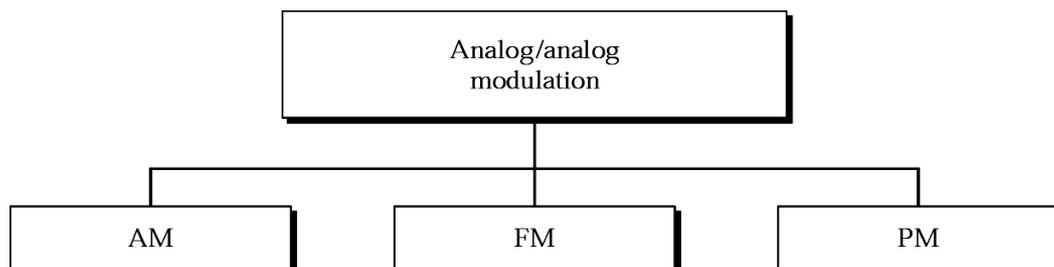
## H. Modulasi Analog

Pembahasan tentang modulas analog ini sebagai pelengkap saja, mengingat transmisi data digital masih banyak yang menggunakan perangkat komunikasi yang dirancang untuk mengirimkan data analog, sehingga modulasi yang digunakan juga masih menggunakan modulasi analog. Modulasi analog ini digunakan untuk sistem komunikasi konvensional seperti sistem telepon, radio, dan satelit. Modulasi analog ini jug bisa disebut sebagai konversi analog ke analog, karena masuknya adalah sinyal analog dan keluarannya juga sinyal analog. Blok diagram proses modulasi analog ditunjukkan pada Gambar 2-51.



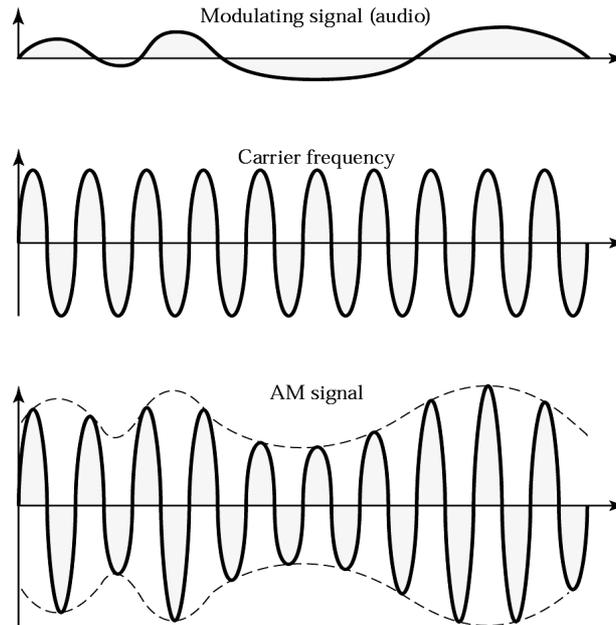
Gambar 2-51. Blok diagram proses modulasi analog

Klasifikasi modulasi analog ditunjukkan pada Gambar 2-52, yaitu *Amplitude Modulation* (AM), *Frequency Modulation* (FM), dan *Phase Modulation* (PM).



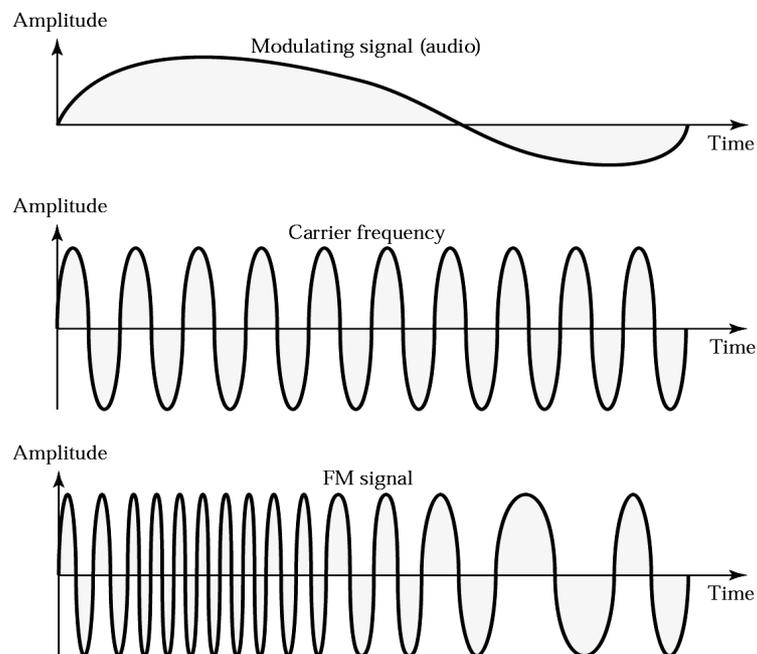
Gambar 2-52. Macam modulasi analog

Modulasi amplitudo (AM) adalah modulasi analog dimana amplitudo sinyal pesan dinyatakan dengan amplitudo sinyal pembawa, atau dengan kata lain amplitudo sinyal pembawa dipengaruhi oleh amplitudo sinyal pesan. Bentuk gelombang sinyal pesan, sinyal pembawa dan sinyal termodulasi AM dapat dilihat pada Gambar 2-53.



Gambar 2-53. Bentuk gelombang sinyal modulasi AM

Modulasi frekuensi (FM) adalah modulasi analog dimana frekuensi sinyal pembawa dipengaruhi oleh amplitudo sinyal pesan. Bentuk gelombang sinyal pesan, sinyal pembawa dan sinyal termodulasi FM dapat dilihat pada Gambar 2-54.



Gambar 2-54. Bentuk gelombang sinyal modulasi FM