

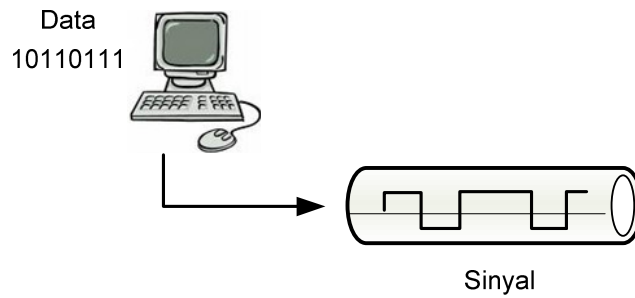
Bab 3

Data dan Sinyal

Tujuan dari Bab ini:

- Pembaca memahami representasi data dan sinyal analog maupun digital.
- Pembaca mampu membuat representasi sinyal dalam domain waktu dan domain frekuensi.
- Pembaca memahami gangguan-gangguan yang terjadi dalam melakukan transmisi data.
- Pembaca dapat menentukan parameter-parameter yang mempengaruhi unjuk kerja komunikasi data.

Dalam Bab 2 sudah dijelaskan bahwa data yang akan disalurkan melalui media transmisi berbentuk deretan *bit*. Namun di dalam media transmisi (misalnya: kabel) bukanlah bit 1 dan 0 berderet-deret dari ujung kabel satu ke ujung kabel lain. Untuk dapat ditransmisikan, data harus ditransformasikan terlebih dahulu ke dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Bit 1 dan 0 akan diwakili oleh tegangan listrik dengan nilai amplitudo yang berbeda. Sebagai contoh bit 1 diwakili oleh tegangan 1 volt dan bit 0 diwakili oleh tegangan -1 volt. Dalam ilustrasi di atas bit 1 dan 0 adalah *data*, sedangkan tegangan listrik yang melewati media transmisi adalah *sinyal*. Jadi setiap data yang akan ditransmisikan harus ditransformasikan ke dalam bentuk sinyal terlebih dahulu. Lihat Gambar 3.1. Perlu diingat bahwa bentuk sinyal tidak selalu tegangan +1 dan -1. Dalam komunikasi data, sinyal dapat direpresentasikan dengan level tegangan yang berbeda-beda tergantung pada spesifikasi perangkat keras.

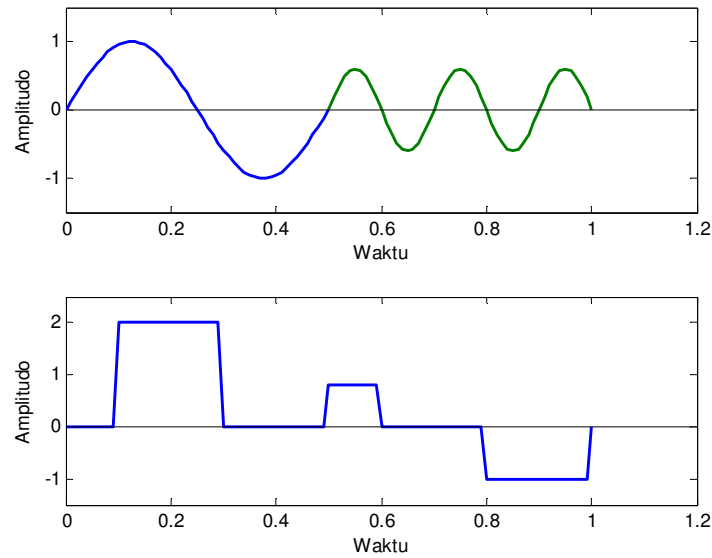


Gambar 3.1. Data dan sinyal digital

Untuk dapat ditransmisikan, data harus ditransformasikan ke dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Misalnya, bit 1 diwakili oleh tegangan 1 volt dan bit 0 diwakili oleh tegangan -1 volt.

Berdasarkan bentuknya, data dan sinyal dapat dibedakan ke dalam data dan sinyal *analog* atau data dan sinyal *digital*. Suatu data atau sinyal dikatakan analog apabila amplitudo dari data atau sinyal tersebut terus-menerus ada dalam rentang waktu tertentu (kontinyu) dan memiliki variasi nilai amplitudo tak terbatas. Misalnya, data yang berasal dari suara (*voice*) tergolong sebagai data analog. Sebaliknya data atau sinyal dikatakan digital apabila amplitudo dari data atau sinyal tersebut tidak kontinyu dan memiliki variasi nilai amplitudo yang terbatas (diskrit). Sebagai ilustrasi perbedaan antara sinyal analog dan digital perhatikanlah Gambar 3.2.

Sinyal analog dan digital berdasarkan siklus perulangan gelombang dapat dibedakan ke dalam dua bentuk, yaitu sinyal *periodik* dan sinyal *tidak-periodik*. Sinyal periodik akan selalu berulang kembali setelah periode waktu tertentu terlewati. Dalam satu satuan waktu dimana sinyal tersebut berulang disebut dengan satu periode (disimbolkan dengan T) atau satu siklus. Sedangkan sinyal tidak-periodik tidak menunjukkan adanya siklus tertentu sepanjang waktu. Di dalam komunikasi data seringkali digunakan sinyal analog periodik karena sinyal semacam itu memiliki *bandwidth* kecil. Namun untuk sinyal digital seringkali digunakan sinyal tidak-periodik karena sinyal semacam itu dapat merepresentasikan data dalam jumlah yang bervariasi.



Gambar 3.2. Sinyal analog (atas) dan sinyal digital (bawah)

3.1. Sinyal Analog

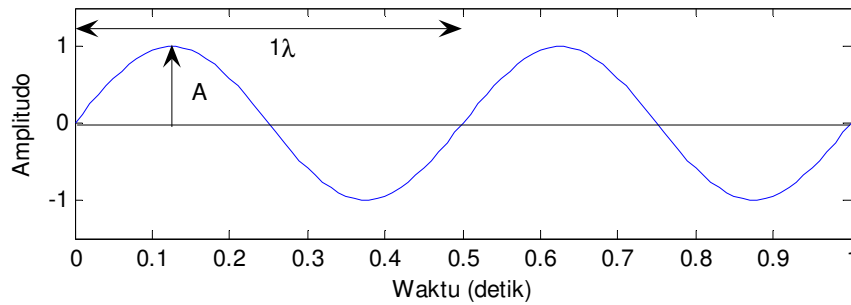
Bentuk sinyal analog yang paling sederhana dapat digambarkan sebagai gelombang sinus. Namun dalam keadaan nyata suatu sinyal analog merupakan gabungan dari beberapa gelombang sinus yang disebut dengan sinyal *komposit*. Dengan teknik yang ditemukan oleh seorang ilmuwan Perancis bernama Jean-Baptiste Fourier sinyal komposit dapat didekomposisi ke dalam beberapa gelombang sinus untuk kepentingan analisis. Teknik ini disebut dengan *analisis Fourier*.

Dalam keadaan nyata suatu sinyal analog merupakan gabungan dari beberapa gelombang sinus yang disebut dengan sinyal *komposit*.

Sekarang mari kita perhatikan properti dari sebuah gelombang sinus seperti terlihat dalam Gambar 3.3. Gelombang sinus memiliki beberapa properti penting yang akan segera kita bahas, yaitu *amplitudo*, *frekuensi*, *periode*, *fasa*, dan *panjang gelombang*.

Amplitudo adalah suatu nilai yang merujuk pada ketinggian intensitas sinyal pada setiap waktu. Intensitas sinyal yang tertinggi disebut dengan *amplitudo puncak*. Intensitas

sinyal ini berkaitan dengan jumlah energi yang dibawa oleh gelombang tersebut. Sebagai contoh pada sinyal listrik, amplitudo diukur dengan satuan *volt*.



Gambar 3.3. Sinyal dalam bentuk gelombang sinus

Frekuensi dinyatakan sebagai jumlah periode yang dilalui oleh satu gelombang dalam waktu 1 detik. Dalam Gambar 3.3 terlihat bahwa dalam 1 detik gelombang melalui 2 siklus, karena itu gelombang dalam gambar 3.3 memiliki frekuensi = 2 siklus/detik (atau 2 Hertz). Frekuensi juga dapat dinyatakan sebagai jumlah perubahan per satuan waktu. Apabila suatu sinyal memiliki jumlah perubahan banyak sekali maka kita katakan sinyal tersebut memiliki frekuensi tinggi, sebaliknya apabila suatu sinyal memiliki jumlah perubahan sedikit sekali maka kita katakan sinyal tersebut memiliki frekuensi rendah. Apabila suatu sinyal berubah secara instan (tiba-tiba berubah) maka sinyal tersebut memiliki frekuensi tak terhingga. Apabila suatu sinyal tidak berubah sama sekali maka sinyal tersebut memiliki frekuensi nol. Misalnya, sinyal *direct current* (DC) yang dikeluarkan oleh sebuah baterai akan menghasilkan sinyal sebesar 1.5 volt terus menerus, karena itu frekuensi dari sinyal DC adalah nol.

Periode adalah waktu yang dibutuhkan untuk menempuh 1 siklus gelombang. Dalam Gambar 3.3, satu siklus gelombang ditempuh dalam waktu 0,5 detik. Karena itu periode dari gelombang adalah 0,5 detik.

Frekuensi dan periode saling berbanding terbalik. Karena itu keduanya dapat dinyatakan dalam bentuk rumusan matematika sebagai berikut:

$$f = \frac{1}{T} \quad (3.1)$$

Dan

$$T = \frac{1}{f} \quad (3.2)$$

Yang mana f adalah frekuensi dalam satuan Hertz atau siklus/detik dan T adalah periode dalam satuan detik.

Panjang gelombang adalah jarak yang dilalui untuk menempuh satu siklus gelombang dalam satuan meter. Hubungan matematika antara panjang gelombang dan frekuensi dinyatakan dalam rumusan persamaan 3.3.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.3)$$

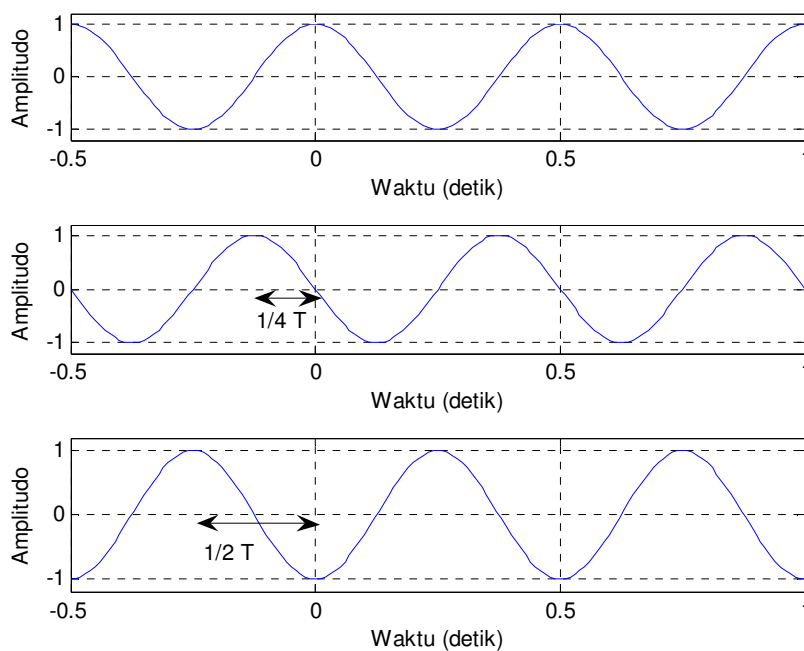
Yang mana λ adalah representasi dari panjang gelombang dengan satuan meter, dan c adalah kecepatan dari gelombang. Untuk gelombang elektromagnetik (misalnya: gelombang listrik, cahaya, radio, inframerah), c memiliki nilai tetap sebesar 3×10^8 meter/detik. Perlu diketahui bahwa nilai λ tidak hanya tergantung pada frekuensi seperti dalam persamaan 3.3, tetapi juga tergantung pada media transmisi yang digunakan.

Properti terakhir yang akan kita bahas adalah *fasa*. Fasa yang diukur dalam satuan derajat atau radian merupakan jarak pergeseran sinyal relatif terhadap titik 0. Apabila fasa bernilai positif, maka sinyal bergeser ke kiri relatif terhadap titik 0. Sebaliknya apabila fasa bernilai negatif, maka sinyal bergeser ke kanan relatif terhadap titik 0. Relasi antara satuan ukur derajat dan radian ditunjukkan dalam persamaan 3.4.

$$\pi \text{ radian} = 180^\circ \quad (3.4)$$

Maka berdasarkan persamaan 3.4, 360^0 sama dengan 2π radian, 90^0 sama dengan $\frac{1}{2}\pi$ radian dan 30^0 sama dengan $\frac{1}{6}\pi$ radian. Sekarang kita akan melihat bagaimana fasa menggeser gelombang sinus. Perhatikan ilustrasi dalam Gambar 3.4.

Seperti terlihat dalam Gambar 3.4, tiga buah gelombang cosinus masing-masing memiliki $T = 0.5$ detik. Gelombang cosinus paling atas tidak mengalami pergeseran fasa karena titik awal gelombang terletak pada $t = 0$. Gelombang cosinus kedua mengalami pergeseran fasa sebesar $\frac{1}{4}T$. Berdasarkan penjelasan sebelumnya kita tahu bahwa satu siklus gelombang cosinus akan menempuh 2π radian = T . Maka $\frac{1}{4}T = \frac{1}{2}\pi$ radian. Hal berarti bahwa gelombang cosinus kedua bergeser dengan fasa $\frac{1}{2}\pi$ radian. Sekarang tentukan pergeseran fasa pada gelombang cosinus yang terbawah dalam Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Gelombang sinus dengan pergeseran fasa

Secara umum sinyal analog dapat dituliskan dalam sebuah model matematis yang kompak sebagai berikut:

$$y = A.\text{Cos}(2.\pi.f.t + \theta) \quad (3.5)$$

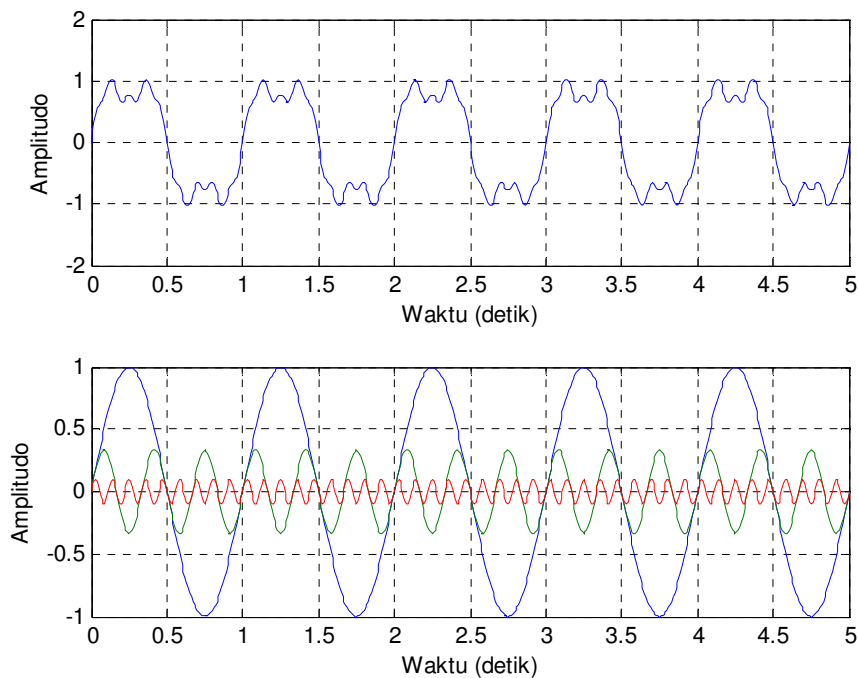
Yang mana A merupakan representasi dari amplitudo, f adalah frekuensi, t merupakan representasi waktu dan θ adalah representasi dari fasa. Perhatikan dalam Gambar 3.4. Pada saat θ bernilai positif, maka sinyal bergeser ke kiri sebesar θ .

Contoh 3.1.

Sebuah perangkat *bluetooth* ditransmisikan dengan frekuensi 2,4 GHz. Berapa periode (T) dan panjang gelombang (λ) dari sinyal *bluetooth* tersebut?

Jawaban:

$f = 2,4 \text{ GHz}$, maka $T=1/f = 1 / (2,4 \times 10^9) = 0,416 \times 10^{-9} \text{ detik} = 0,416 \text{ nano detik}$.
Kecepatan gelombang elektromagnetik bergerak adalah $3 \times 10^8 \text{ m/dt}$, maka panjang gelombang $\lambda = 3 \times 10^8 / 2,4 \times 10^9 = 0,125 \text{ meter}$.



Gambar 3.5. Ilustrasi sinyal analog komposit.

3.2.Sinyal Analog Komposit

Seperti dijelaskan dalam sub-bab 3.1 bahwa dalam kondisi nyata sinyal analog sebenarnya merupakan gabungan dari beberapa sinyal sinus. Sinyal ini disebut dengan sinyal komposit. Sebagai ilustrasi perhatikan Gambar 3.5.

Gambar 3.5. pada sisi atas merupakan sinyal komposit, sedangkan pada sisi bawah merupakan hasil dekomposisi dari sinyal komposit. Hasil dekomposisi terdiri atas tiga buah sinyal, yaitu:

$$y_1 = \text{Sin}(2.\pi.f.t) \quad (3.6a)$$

$$y_2 = \frac{1}{3}.\text{Sin}(2.\pi.3f.t) \quad (3.6b)$$

$$y_3 = \frac{1}{10}.\text{Sin}(2.\pi.9f.t) \quad (3.6c)$$

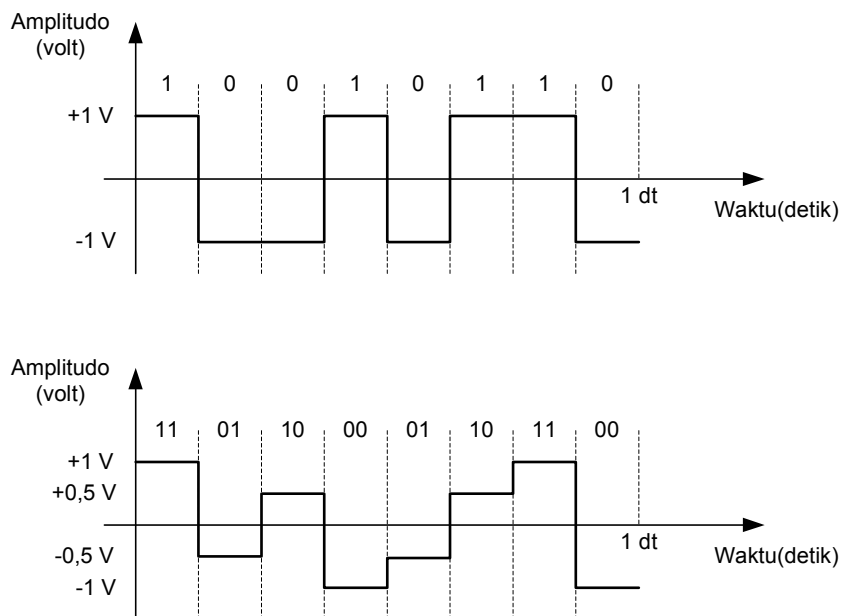
Sinyal pertama pada persamaan 3.6a disebut dengan harmonik pertama, sinyal kedua pada persamaan 3.6b disebut harmonik ketiga dan sinyal terakhir pada persamaan 3.6c disebut harmonik kesembilan.

3.3.Sinyal Digital

Sinyal digital adalah diskrit. Sinyal digital tidak memiliki amplitudo yang kontinu sepanjang waktu. Seperti dijelaskan pada bagian awal dari bab ini bahwa apabila bit-bit diinginkan untuk ditranmisikan melalui media komunikasi dalam bentuk sinyal digital maka bit-bit tersebut harus ditransformasi ke dalam bentuk gelombang listrik. Misalnya bit 1 diwakili oleh tegangan listrik +1 volt dan bit 0 diwakili oleh tegangan listrik -1 volt. Representasi sinyal listrik semacam ini merupakan bentuk transformasi paling sederhana dimana 1 level tegangan sinyal listrik mewakili 1 bit data digital. Pada keadaan nyata, 1 level tegangan sinyal digital dapat mewakili beberapa bit data digital dengan tujuan untuk meningkatkan kecepatan pengiriman data. Sebagai ilustrasi perhatikan Gambar 3.6.

Pada keadaan nyata, 1 level tegangan sinyal digital dapat mewakili beberapa bit sinyal digital dengan tujuan untuk meningkatkan kecepatan pengiriman data.

Dalam Gambar 3.6 bagian atas terlihat bahwa dalam 1 detik terdapat 8 bit data. Karena itu dikatakan bahwa kecepatan pengiriman data untuk gambar pada bagian atas adalah 8 bit per second (bps). Sedangkan pada gambar bagian bawah dalam 1 detik terkirim sebanyak 16 bit. Karena itu kecepatan pengiriman data adalah 16 bps. Terbukti bahwa dengan membuat 1 level tegangan mewakili 2 bit data, kecepatan pengiriman data sekarang meningkat 2 kali lipat.



Gambar 3.6. Representasi sinyal digital dalam tegangan listrik

Pada Gambar 3.6 bagian bawah juga terlihat agar 1 level tegangan merupakan representasi dari 2 bit data maka secara keseluruhan dibutuhkan sebanyak 4 level tegangan. Dimana tegangan +1 volt mewakili bit 11, tegangan +0,5 volt mewakili bit 10, tegangan -0,5 volt mewakili bit 01, dan tegangan -1 volt mewakili bit 00. Relasi antara jumlah level tegangan (L) dan jumlah bit (b) secara matematis dapat dirumuskan menjadi:

$$L = 2^b \quad (3.7a)$$

$$b = \log_2 L \quad (3.7b)$$

Hampir semua sinyal digital bersifat tidak-periodik. Karena itu sinyal digital tidak memiliki properti *periode* dan *frekuensi* sebagaimana halnya pada sinyal analog periodik. Satuan ukur yang secara umum digunakan pada sinyal digital adalah *bit rate*. Bit rate didefinisikan sebagai jumlah bit yang terkirim dalam 1 detik yang dinyatakan dengan satuan *bit per second* (bps). Rumusan matematis dari *bit rate* (R) dapat dilihat dalam persamaan 3.8.

$$R = \frac{b}{t} = \frac{\log_2 L}{t} \quad (3.8)$$

Contoh 3.2.

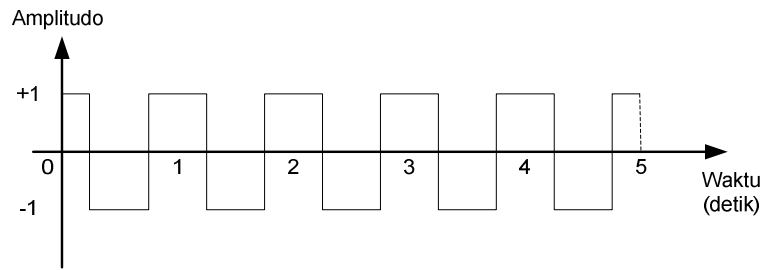
Sistem komunikasi seluler GSM mentransmisikan data dengan kecepatan 270,8 kbps pada setiap kanal. Berapa waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebanyak 5000 bit?

Jawaban:

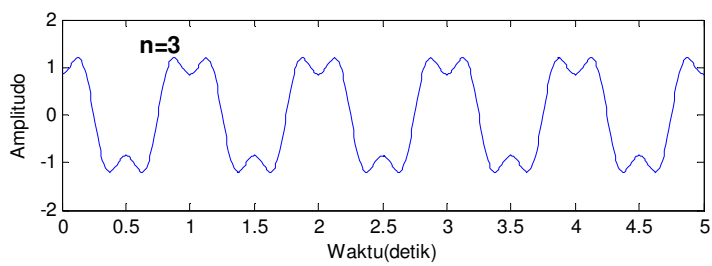
Diketahui bahwa $R=270,8$ kbps, maka $t=5000/270.800= 0,0185 =18,5$ mili detik.

3.4.Dekomposisi Sinyal Digital

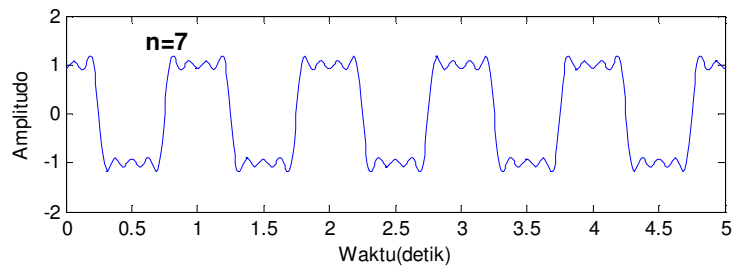
Pada sus-bab 3.2 kita telah mempelajari bahwa sinyal analog periodik dapat didekomposisi menjadi beberapa gelombang sinus dengan menggunakan analisis Fourier. Dengan cara yang sama, sinyal digital juga dapat didekomposisi menjadi deretan gelombang sinus. Sebagai contoh perhatikan ilustrasi dalam Gambar 3.7. Sinyal digital periodik seperti dalam Gambar 3.7a dapat dibuat dengan menggabungkan deretan gelombang sinus dengan amplitudo dan frekuensi berbeda-beda seperti pada Gambar 3.7b sampai Gambar 3.7e. Semakin banyak jumlah gelombang sinus yang terlibat, maka sinyal hasil jumlahan akan semakin menyerupai gelombang asli. Secara ideal jumlah gelombang sinus yang dibutuhkan berjumlah tak terhingga.



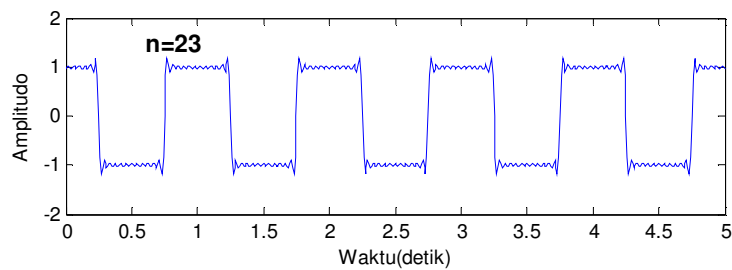
Gambar 3.7a. Sinyal digital periodik



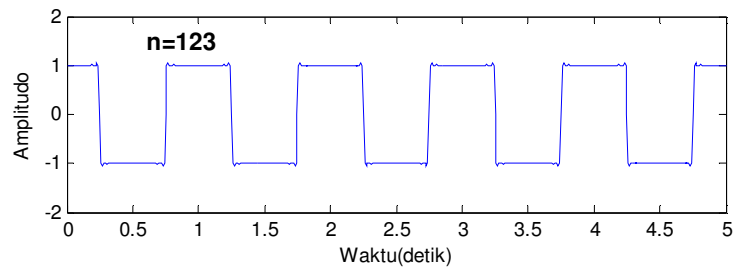
Gambar 3.7b. Gabungan gelombang sinus sampai harmonik ketiga



Gambar 3.7c. Gabungan gelombang sinus sampai harmonik ketujuh



Gambar 3.7d. Gabungan gelombang sinus sampai harmonik kedua puluh tiga



Gambar 3.7e. Gabungan gelombang sinus sampai harmonik keseratus duapuluh tiga

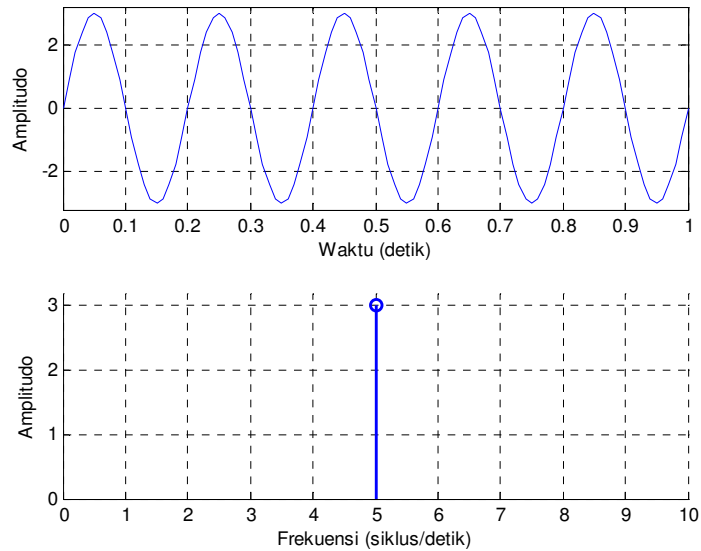
Sinyal digital juga dapat didekomposisi menjadi deretan gelombang sinus dengan menggunakan analisis Fourier.

3.5. Sinyal dalam Domain Frekuensi

Dalam seluruh sub-bab yang telah kita diskusikan di atas, kita fokus pada pembahasan tentang sinyal dalam domain waktu saja. Artinya, plot perubahan amplitudo dari sinyal analog maupun digital yang telah kita lakukan selalu menggunakan waktu sebagai acuan (variabel waktu sebagai sumbu-x dan amplitudo sebagai sumbu-y). Pada bagian ini kita akan melihat bagaimana plot terhadap perubahan amplitudo dilakukan dengan menggunakan frekuensi sebagai acuan (variabel frekuensi sebagai sumbu-x dan amplitudo sebagai sumbu-y). Mengapa representasi sinyal dalam domain frekuensi penting?

Dengan menggunakan domain frekuensi kita akan dapat melihat komponen-komponen yang menyusun sebuah sinyal dengan menggunakan acuan frekuensi. Sebagai contoh pada waktu kita berbicara tentang *bandwidth* dari suatu sinyal, *bandwidth* merupakan parameter yang diukur dengan menggunakan acuan frekuensi. Simpanlah kebingungan anda sampai pembahasan tentang sub-bab ini selesai.

Perlu diingat bahwa plot sinyal dalam domain frekuensi hanya memperhatikan amplitudo puncak dari suatu sinyal. Sebagai contoh sederhana perhatikan Gambar 3.8.

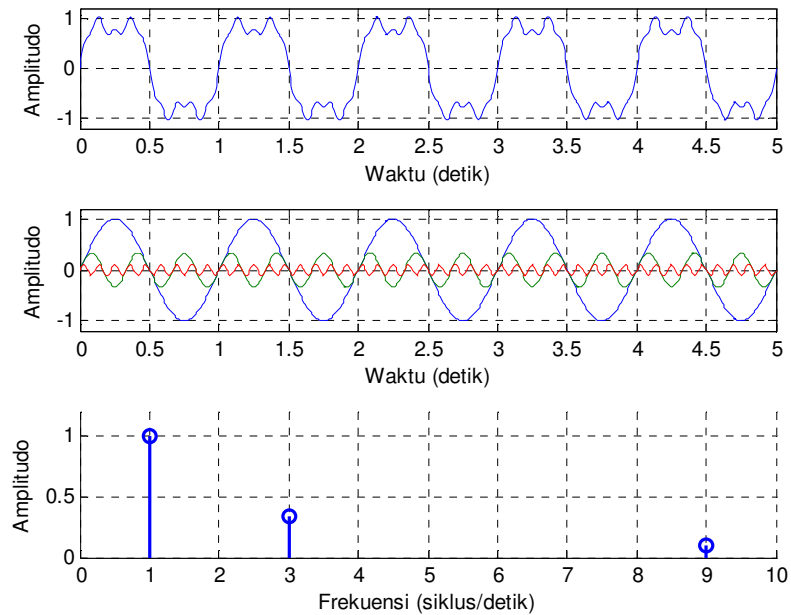


Gambar 3.8. Representasi domain frekuensi dari gelombang sinus

Gambar 3.8 bagian atas adalah representasi gelombang sinus dalam domain waktu. Gelombang tersebut memiliki frekuensi sebanyak 5 siklus per detik karena dalam waktu 1 detik terdapat 5 siklus gelombang sinus. Sedangkan amplitudo puncak dari gelombang tersebut adalah 3. Representasi dalam domain frekuensi ditunjukkan pada bagian bawah dari gambar. Terlihat bahwa sebuah tiang dengan amplitudo 3 berada pada frekuensi 5 siklus per detik. Itulah representasi domain frekuensi dari gelombang sinus tunggal.

Dengan menggunakan domain frekuensi kita dapat melihat komponen-komponen yang menyusun sebuah sinyal dengan menggunakan acuan frekuensi.

Sekarang mari kita lihat sinyal analog komposit periodik seperti dalam Gambar 3.5. Representasi domain frekuensi dari sinyal tersebut dapat dilihat dalam Gambar 3.9 bagian bawah. Karena sinyal komposit terdiri atas 3 buah gelombang sinus dengan frekuensi masing-masing 1, 3 dan 9 siklus/detik, serta amplitudo masing-masing 1, $1/3$ dan $1/10$, maka representasi domain frekuensi dari sinyal-sinyal tersebut merupakan tiga buah tiang seperti dalam Gambar 3.9 bagian bawah.



Gambar 3.9. Representasi domain frekuensi dari sinyal analog komposit

Sinyal pertama dengan frekuensi 1 siklus/detik disebut dengan harmonik pertama, sinyal kedua dengan frekuensi 3 siklus/detik disebut harmonik ketiga dan sinyal terakhir dengan frekuensi 9 siklus/detik disebut harmonik kesembilan.

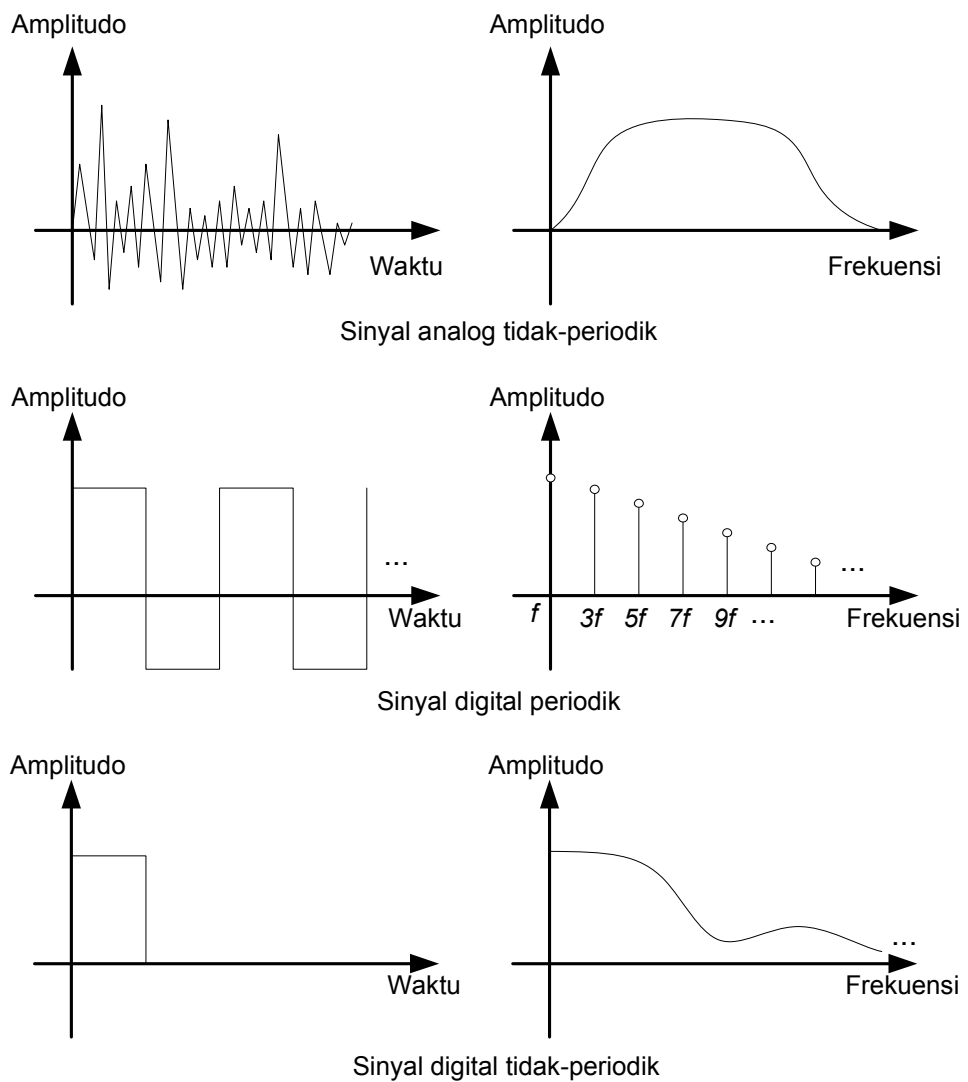
Secara umum dapat kita lihat beberapa prinsip penting sebagai berikut:

- Representasi domain frekuensi dari sinyal analog komposit periodik adalah deretan sinyal dengan frekuensi diskrit. Seperti terlihat dalam Gambar 3.9.
- Representasi domain frekuensi dari sinyal analog komposit tidak-periodik adalah sinyal dengan frekuensi kontinyu. Seperti terlihat dalam Gambar 3.10.
- Representasi domain frekuensi dari sinyal digital periodik adalah deretan sinyal dengan frekuensi diskrit dan bandwidth tak terhingga. Seperti terlihat dalam Gambar 3.10.
- Representasi domain frekuensi dari sinyal digital tidak-periodik adalah sinyal dengan frekuensi kontinyu dan bandwidth tak terhingga. Seperti terlihat dalam Gambar 3.10.

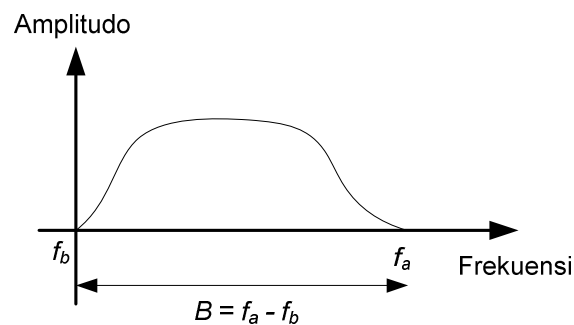
Dalam seluruh bab ini pembaca telah akrab dengan istilah *bandwidth* atau dalam istilah bahasa Indonesia disebut dengan istilah *lebar pita*. Namun apa sebenarnya definisi dari

bandwidth? Bandwidth (B) dalam satuan *Hertz* adalah seluruh frekuensi dari terendah sampai tertinggi yang dikandung oleh suatu sinyal komposit. Lihat Gambar 3.11.

Bandwidth (B) dalam satuan *Hertz* adalah seluruh frekuensi dari terendah sampai tertinggi yang dikandung oleh suatu sinyal komposit



Gambar 3.10. Representasi domain waktu dan domain frekuensi.



Gambar 3.11. Ilustrasi tentang *bandwidth* (lebar pita).

3.6. Gangguan-Gangguan Transmisi

Sinyal merambat melalui media transmisi dari pengirim menuju ke penerima. Selama melalui proses rambatan tersebut sinyal akan mengalami penurunan energi dan juga menerima gangguan eksternal. Gangguan akibat penurunan energi disebut dengan *atenuasi*. Sementara itu gangguan dari luar dapat disebabkan oleh adanya *distorsi* dan *derau* (*noise*).

3.6.1. Atenuasi

Sesuai dengan hukum Termodinamika II, tidak mungkin tidak ada energi yang terbuang selama sebuah sistem melakukan proses. Demikian pula halnya dengan sinyal yang merambat melalui media transmisi, secara natural pasti akan mengalami kehilangan energi akibat adanya gesekan elektron dengan media (terbuang menjadi energi panas). Hal ini menyebabkan adanya penurunan daya sinyal pada sisi penerima (P_{tujuan}) jika dibandingkan dengan daya yang dikirimkan oleh sisi pengirim (P_{sumber}). Kedua daya diukur dalam satuan *watt*. Penurunan daya inilah dalam komunikasi data disebut dengan istilah *atenuasi* yang diukur dalam satuan *desibel* (dB). Atenuasi didefinisikan dengan rumusan:

$$Atenuasi(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{tujuan}}{P_{sumber}} \right) \quad (3.9)$$

Gangguan akibat adanya atenuasi ini dapat diatasi dengan menambahkan peralatan yang disebut dengan *repeater* di antara sisi pengirim dan sisi penerima. *Repeater* atau *Amplifier* bertugas untuk menguatkan kembali sinyal yang telah kehilangan daya tersebut. Tanpa adanya *repeater*, maka sinyal tidak akan dapat dideteksi dengan baik oleh peralatan di sisi penerima.

Contoh 3.3.

Misalkan sebuah sinyal komunikasi nirkabel bergerak melintasi kanal sehingga daya yang diterima adalah separo dari daya yang dipancarkan, berapa atenuasi dari sinyal tersebut?

Jawaban:

$P_{\text{tujuan}} = \frac{1}{2} P_{\text{sumber}}$, maka Atenuasi = $10 \log (1/2) = 3 \text{ dB}$. Karena itu kehilangan daya separo seringkali disebut dengan atenuasi 3 dB.

3.6.2. Distorsi

Distorsi mengakibatkan adanya perubahan bentuk sinyal di sisi penerima sehingga peralatan pada sisi penerima tidak dapat mendeteksi sinyal dengan benar. Salah satu penyebab distorsi adalah adanya berbagai macam filter di sepanjang jalur komunikasi antara pengirim dan penerima. Bahkan media transmisi sendiri dapat berfungsi sebagai filter. Karena tidak ada filter yang bersifat ideal, maka sinyal yang melewatinya pasti akan terdistorsi. Salah satu jenis distorsi yang secara dominan mengganggu komunikasi data terutama dalam komunikasi nirkabel disebut dengan istilah *Inter-Symbol Interference* (ISI). Akan tetapi kabar baiknya adalah jenis distorsi ISI dapat dikurangi dengan menambahkan peralatan *equalizer* pada sisi penerima (jusak,2006).

3.6.3. Derau (Noise)

Derau dapat dikategorikan ke dalam beberapa macam, yaitu *thermal noise*, *induced noise*, *crosstalk*, dan *impulse noise*. *Thermal noise* secara natural terjadi akibat adanya gesekan elektron dalam media. *Induced noise* berasal dari perangkat-

perangkat lain di sekitar jalur komunikasi, misalnya adanya medan listrik di sekitar media komunikasi. *Crosstalk* terjadi akibat saling pengaruh antara media pengirim dan penerima. Tidak jarang saat anda berbicara melalui pesawat telepon, pada saat bersamaan anda mendengar pembicaraan orang lain. Inilah yang disebut dengan *crosstalk*. *Impulse noise* merupakan derau dengan energi sangat tinggi tetapi berlangsung dalam waktu cukup singkat. Misalnya, energi yang berasal dari petir yang menjalar melalui media komunikasi dapat digolongkan sebagai *impulse noise*.

Perbandingan antara daya dari sinyal asli dan daya dari derau disebut dengan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR). SNR diukur dalam satuan desibel (dB) dan didefinisikan dengan rumus:

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{P_s}{P_N} \right) \quad (3.10)$$

Yang mana P_s adalah daya rata-rata sinyal dalam satuan *watt* dan P_N adalah daya rata-rata dari derau dalam satuan *watt*. Apabila nilai daya rata-rata dari derau cukup besar dibandingkan dengan daya rata-rata dari sinyal, maka SNR akan bernilai kecil. Daya rata-rata derau yang besar ini adalah kondisi yang tidak diinginkan. Nilai SNR dapat dinaikkan dengan cara memperbesar daya rata-rata dari sinyal.

Contoh 3.4.

Sinyal untuk sebuah sistem komunikasi nirkabel ditransmisikan dengan daya (P_s) 10 mW. (i) Pada kondisi kanal tanpa derau, berapa nilai SNR? (ii) Apabila diketahui bahwa bahwa daya dari derau (P_N) pada media tersebut adalah 1 mikro Watt, berapakah nilai SNR (dB)?

Jawaban:

- (i) Kanal tanpa derau, $SNR = 10 \times 10^{-3} / 0 = \infty$, adalah kondisi ideal yang tidak mungkin tercapai dalam keadaan nyata.
- (ii) $SNR = 10 \times 10^{-3} / 1 \times 10^{-6} = 10000$, maka $SNR \text{ (dB)} = 10 \log 10000 = 40 \text{ dB}$.

3.7. Kapasitas Kanal

Pada sus-bab 3.6 kita telah melihat adanya gangguan-gangguan yang mungkin ada dijalur transmisi. Sekarang muncul pertanyaan baru, apa pengaruh adanya gangguan-gangguan tersebut terhadap data yang kita kirimkan? Pada sinyal digital, gangguan tersebut akan membatasi kecepatan data (*data rate* atau *bit rate*) yang dapat dicapai. Kecepatan data maksimal yang dapat dicapai melalui suatu kanal disebut dengan *kapasitas kanal* (*channel capacity*).

Kecepatan data maksimal yang dapat dicapai melalui suatu kanal disebut dengan kapasitas kanal (*channel capacity*).

Misalkan kita sedang berada pada kondisi ideal dimana pada kanal komunikasi tidak terdapat noise sama sekali (*noiseless channel*), maka dengan menggunakan *Nyquist Theorem* kita dapat menghitung kecepatan pengiriman bit (*bit rate*) dengan rumusan seperti di bawah ini:

$$R = 2B \log_2 L \quad (3.11)$$

Yang mana B adalah bandwidth (Hertz) dari kanal, L adalah jumlah level dari sinyal digital dan R adalah bit rate (bps). Walaupun perhitungan bit rate dengan Nyquist Theorem tidak mungkin dicapai pada kondisi sebenarnya (tidak ada kanal tanpa derau sedikitpun), rumusan tersebut tetap perlu untuk menghitung ambang atas bit rate (bit rate maksimal) dari suatu sistem.

Apabila kanal transmisi mengandung derau didalamnya, maka kapasitas kanal (C) dalam satuan *bit per second* (bps), dapat ditentukan dengan *Shannon Theorem* sebagai berikut:

$$C = B \log_2 (1 + SNR) \quad (3.12)$$

Persamaan 3.12 adalah definisi dari bit rate maksimum yang dapat dicapai pada saat sinyal digital dikirimkan melalui kanal yang mengandung derau. Perhatikan bahwa persamaan 3.12 tidak mengandung variabel L (level sinyal digital). Hal ini berarti bahwa tidak peduli berapapun level sinyal digital yang dikirimkan, bit rate maksimal tidak akan pernah melebihi nilai C .

Perlu diingat bahwa rumusan kapasitas kanal dalam persamaan 3.12 adalah kondisi ideal. Dalam keadaan nyata kapasitas kanal sebenarnya lebih kecil bila dibandingkan dengan *Shannon Theorem*. Hal ini disebabkan karena adanya keterbatasan peralatan, tidak ada peralatan yang ideal

Contoh 3.5.

Pada sistem komunikasi *Asymmetric Digital Subscriber Line* (ADSL) dengan teknik modulasi *discrete multitone technique* (DMT), setiap kanal memiliki bandwidth 4,312 kHz. Apabila SNR pada saluran telokomunikasi kabel adalah 3162, berapa nilai kapasitas kanal secara teoritis?

Jawaban:

$C = 4,312 \times 10^3 \times \log_2 (1 + 3162) = 4.312 \times 11,62 = 50.105,44$ bps. Namun karena keterbatasan peralatan kondisi ideal seperti ini tidak pernah tercapai. Apabila toleransi sebesar 10% digunakan untuk mengkompensasi keterbatasan peralatan, maka nilai kapasitas kanal pada kondisi nyata adalah $50.105,44 \times 90\% = 45,095$ kbps.

3.8. Parameter Ukur Unjuk Kerja

Sampai di sini pembaca telah memahami karakteristik dari data dan sinyal. Pada bagian akhir dari bab ini kita akan mempelajari beberapa parameter yang seringkali digunakan untuk mengukur unjuk kerja dari sistem komunikasi.

Bandwidth, digunakan untuk menentukan jangkauan frekuensi yang terkandung dalam suatu sinyal komposit. Bandwidth dapat ditentukan dengan menggunakan dua macam satuan yaitu *Hertz* dan *bps*. Bandwidth dengan satuan *Hertz* digunakan untuk mengukur

jangkauan frekuensi sinyal analog, sedangkan bandwidth yang dinyatakan dengan satuan *bps* digunakan untuk mengukur kecepatan data digital maksimal yang dapat dikirimkan melalui sebuah kanal komunikasi (yaitu: kapasitas kanal, *C*).

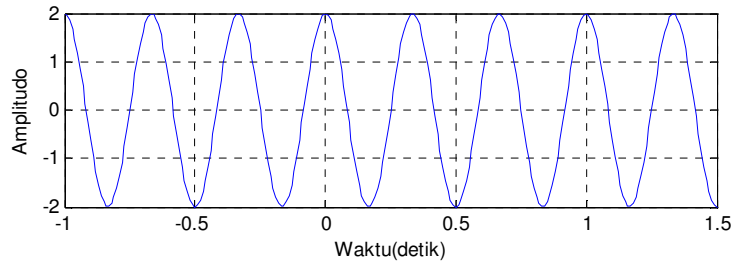
Throughput, adalah jumlah data yang secara nyata dapat dikirimkan melalui kanal komunikasi. Misalkan, sebuah komunikasi serial pada komputer secara teoritis dapat mengirimkan data sebanyak 56 kbps, namun karena adanya gangguan-gangguan di dalam media transmisi, kecepatan data 56 kbps tersebut secara nyata tidak mungkin tercapai. Kecepatan aktual akan berada di bawah 56 kbps. Kecepatan data aktual itulah *throughput*.

Efisiensi, biasanya digunakan untuk menentukan tingkat efisiensi pemakaian bandwidth dari suatu kanal komunikasi data. Efisiensi dirumuskan perbandingan antara jumlah bandwidth yang terpakai (aktual) dengan jumlah bandwidth yang tersedia dinyatakan dalam satuan persen (%).

Waktu Tunda (delay), adalah selisih waktu antara saat mulainya data dikirimkan sampai saat data tiba di sisi penerima. *Waktu tunda* secara natural ada di dalam proses komunikasi karena data membutuhkan waktu untuk merambat melalui media transmisi.

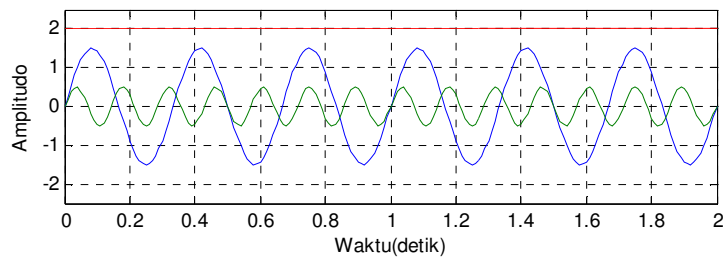
3.9. Soal Pengayaan

1. Sebutkan perbedaan antara data dan sinyal?
2. Tentukan nilai amplitudo, frekuensi, periode dan pergeseran fasa gelombang sinus pada Gambar 3.12!



Gambar 3.12. Gelombang sinus untuk soal no. 2.

3. Representasikan sinyal dalam Gambar 3.13 ke dalam domain frekuensi!



4. Mengapa sinyal digital periodik dan tidak-periodik apabila direpresentasikan ke dalam domain frekuensi keduanya memiliki *bandwidth* tak terhingga? (Lihat sub-bab 3.4)
5. Sebuah sinyal komposit priodikmemiliki bandwidth sebesar 1500 Hz tersusun atas dua buah gelombang sinus. Gelombang perbama memiliki frekuensi 250 Hz dengan amplitudo maksimum 20 V sedangkan gelombang kedua memiliki amplitudo maksimum 8 V. Gambarkan representasi domain frekuensi dari sinyal tersebut!
6. Sebuah stasiun televisi mentransmisikan frame gambar dengan resolusi 1280 x 800 pixel. Setiap pixel mengandung 1024 warna. Karena gambar harus bergerak, maka dalam 1 detik dibutuhkan pengiriman sebanyak 30 frame gambar. Berapa bandwidth pada jalur tranmisi yang dibutuhkan oleh stasiun televisi tersebut?
7. Beberapa gelombang elektromagnetik (dengan $c=3.10^8$) memiliki spesifikasi seperti dalam tabel. Isikan bagian kosong dari tabel tersebut:

<i>No</i>	λ (meter)	<i>F</i> (Hertz)	<i>T</i> (detik)
1	10 nm		
2		8 MHz	
3			0,6 mili detik
4		300 GHz	
5	0,03 mm		

8. Jika bandwidth dari sebuah kanal adalah 128 Kbps, berapa waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data sebanyak 500.000 bit?
9. Sebuah sinyal dengan daya 100 miliwatt dilewatkan melalui 8 buah peralatan yang masing-masing memiliki derau sebesar 20 mikrowatt. Berapa nilai *SNR* dari sinyal tersebut?
10. Sebuah kanal komunikasi memiliki bandwidth sebesar 56 KHz. Jika diinginkan agar data dapat terkirim dengan kecepatan 228 Kbps, berapa jumlah *SNR* minimum yang dibutuhkan?
11. Daya dapat diukur dalam satuan Watt, dBWatt dan dBm. Carilah melalui literatur yang lain persamaan hubungan di antara ketiganya. Jika diketahui sebuah perangkat mobile memancarkan daya sebesar 5 mW. Berapa dBWatt dan dBm?
12. Asumsikan peralatan hanya mampu mencapai 80% dari kriteria Shannon. Apabila perangkat mobile memancarkan daya sebesar 5 mW dengan noise disekitar media diperkirakan sebesar 0,1 mW. Berapakah kapasitas kanal apabila digunakan bandwidth sebesar 250 kHz?