

BAB II

TEORI PENERIMA SINGLE SIDE BAND

2.1 Pengantar

Memodulasi berarti mengatur, atau menyetel, dan dalam telekomunikasi tepatnya berarti mengatur suatu parameter dari suatu *pembawa* (*carrier*) frekuensi-tinggi dengan pertolongan sinyal informasi yang berfrekuensi lebih rendah. Keperluan akan modulasi mula-mula timbul dalam transmisi radio dari sinyal-sinyal frekuensi rendah (misalnya frekuensi audio). Didapatkan bahwa untuk radiasi yang efisien, dimensi-dimensi antena harus kira-kira sama orde besarnya dengan panjang-gelombang (*wavelength*) dari sinyal yang sedang dipancarkan. Persamaan (2.1), frekuensi f dan panjang gelombang λ dari sebuah gelombang elektromagnetis dihubungkan dengan kecepatan fasa v_p oleh

$$f \lambda = v_p \quad (2.1)$$

Kebanyakan sinyal-sinyal informasi frekuensi-rendah mempunyai frekuensi dalam orde 1 kHz, dan karena gelombang-

gelombang elektromagnetis bergerak dalam ruang angkasa dengan kecepatan sinar, panjang gelombangnya akan sama dengan

$$\lambda = \frac{300 \times 10^6}{1000} \text{ m} = 300 \text{ km}$$

Jelas bahwa tidak mungkin untuk membuat antena dengan ukuran ini.

Masalah ini diatasi dengan menggunakan sinyal frekuensi-rendah tersebut untuk memodulasi sebuah sinyal frekuensi-tinggi yang dinamakan *gelombang pembawa* (carrier wave), yang kemudian dipancarkan. Gelombang pembawa adalah selalu berbentuk sinusoida, dan perubahan tegangan-waktu dari gelombang dapat dinyatakan dengan persamaan

$$e = E_{\text{cmaks}} \sin (\omega_c t + \theta) \quad (2.2)$$

Parameter-parameter dari gelombang ini yang dapat dimodulasi adalah (1) E_{cmaks} untuk modulasi amplitudo; (2) f_c (atau $\omega_c = 2\pi f_c$) untuk modulasi frekuensi; (3) θ untuk modulasi fasa. Modulasi frekuensi dan fasa keduanya masuk dalam kategori umum modulasi sudut.

Modulasi juga membawa kita ke pengembangan suatu bentuk transmisi yang dikenal sebagai *frequency-division multiplexing*.

Sebagian besar dari sifat-sifat penting modulasi amplitudo dapat dipelajari dengan menggunakan asumsi bahwa sinyal (frekuensi-rendah) yang memodulasi adalah sebuah gelombang sinus atau kosinus. Jika tidak dinyatakan yang lain, sinyal yang memodulasi akan direpresentasikan dengan

$$e_m = E_{\text{mmaks}} \sin \omega_m t \quad (2.3)$$

dimana :

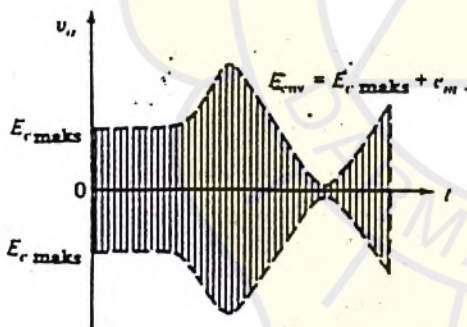
$$\omega_m = 2\pi f_c$$

2.2 Modulasi Amplitudo

Bila suatu gelombang pembawa dimodulasi amplitudo, maka amplitudo bentuk gelombang tegangan pembawa dibuat berubah sebanding dengan tegangan yang dimodulasi, sehingga

$$e_c = (E_{cmaks} + e_m) \sin \omega_c t \quad (2.4)$$

Dimana e_c adalah tegangan sesaat dari sinyal yang dimodulasi, E_{cmaks} tegangan pembawa puncak tanpa modulasi, dan e_m tegangan modulasi sesaat (instantaneous).



GAMBAR 2.1. Bentuk gelombang sebuah sinyal yang dimodulasi-amplitudo

GAMBAR 2.1 memperlihatkan perubahan-perubahan dengan waktu dari sinyal yang dimodulasi untuk satu siklus, dengan memisalkan bahwa baik pembawa maupun sinyal modulasi adalah berbentuk sinusoida. Puncak-puncak dari siklus pembawa dapat dihubungkan sehingga membentuk sebuah gelombang selubung

(envelope wave), yang diberikan oleh

$$e_{env} = E_{cmaks} + e_m \quad (2.5)$$

dimana e_{env} adalah nilai sesaat dari bentuk gelombang selubung.

Dengan menggantikan e_m dari Persamaan (2.3) ke dalam Persamaan (2.5) dan e_{env} dari Persamaan (2.5) ke dalam persamaan (2.4), maka tegangan sinyal yang dimodulasi menjadi

$$\begin{aligned} e &= e_{env} \sin w_c t \\ &= (E_c maks + E_m maks \sin w_m t) \sin w_c t \end{aligned} \quad (2.6)$$

Suatu ukuran modulasi yang berguna ialah *indeks modulasi m*, yang didefinisikan sebagai

$$m = \frac{E_m maks}{E_c maks} \quad (2.7)$$

Daya rata-rata total P_T dalam gelombang yang dimodulasi karena itu terdiri dari jumlah rata-rata komponen masing-masing :

$$P_T = P_c + \frac{m^2}{4} P_c + \frac{m^2}{4} P_c \quad (2.8)$$

Karena itu,

$$P_T = P_c \left(1 + \frac{m^2}{2} \right) \quad (2.9)$$

Untuk modulasi 100%, $m = 1$, daya rata-rata pada salah satu dari frekuensi sisi dari Persamaan (2.9), adalah

$$P_{sf} = \frac{1}{4} P_c \quad (2.10)$$

Dan juga dari Persamaan (2.9), daya rata-rata total adalah

$$P_T = 1,5 P_c \quad (2.11)$$

Karena itu, perbandingan dari daya frekuensi sisi tunggal

terhadap daya total adalah $1/6$. Karena frekuensi sisi mengandung semua informasi tentang sinyal modulasi (amplitudo dan frekuensi), maka sebenarnya hanya satu frekuensi sisi saja yang perlu dipancarkan. Sudah tentu, dalam praktek sinyal modulasi akan sangat kompleks, sehingga perbandingan daya $1/6$ tidak akan selalu benar dan juga, yang harus dipancarkan adalah sebuah jalur sisi (sideband) dan bukannya hanya satu frekuensi saja. Tetapi secara umum masih tetap benar bahwa dengan transmisi jalur sisi tunggal, diperoleh penggunaan yang lebih efisien dari daya yang dipancarkan.

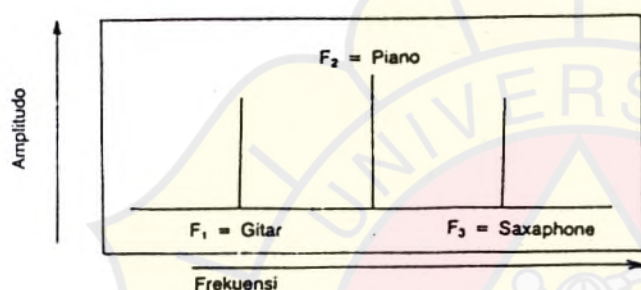
2.3 Modulasi Jalur Sisi Tunggal

Dalam tahun-tahun terakhir ini komunikasi pada jalur HF adalah menjadi semakin ramai, sehingga diperlukan jarak antar sinyal yang lebih dekat dalam spektrum. Sistem jalur sisi tunggal (single sideband system), yang hanya memerlukan setengah dari lebar jalur sebuah sinyal AM biasa dan dengan demikian juga daya yang jauh lebih kecil, karena itu digunakan secara luas dalam bagian ini.

Mungkin kita mempertanyakan apa itu *single side band*. Sekarang kita tinjau dahulu apa itu *single side*.

Sebagai contoh misalnya kita hanya mendengarkan suara musik yang isinya hanya mempergunakan gitar, piano dan saksofon. tentu ketiganya mempunyai suara yang berbeda-beda dalam arti

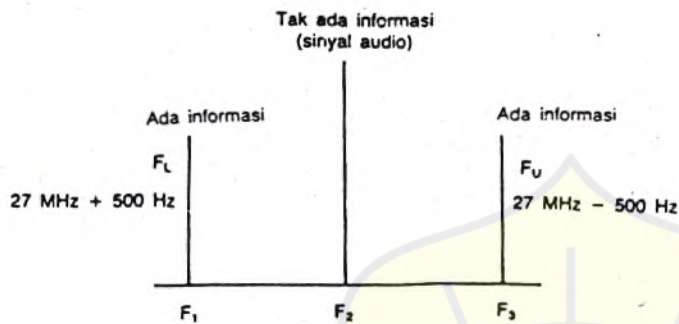
frekuensi dari ketiga alat instrumen. Misalkan ketiga frekuensi itu adalah F_1 , F_2 , dan F_3 . Kalau musik itu kita masukkan ke *spectrum analyzer* yang mirip dengan osiloskop, maka gambar akan terlihat seperti pada GAMBAR 2.2. Dengan menggunakan equalizer kita dapat meredam F_1 atau F_2 dan F_3 , juga nada yang keluar dari equalizer itu.



GAMBAR 2.2. Frekuensi alat musik pada spectrum analyzer

Pada GAMBAR 2.3 terlihat tiga grafik yang mirip dengan GAMBAR 2.2, yaitu F_1 , F_2 dan F_3 yang merupakan frekuensi dari alat musik, sedangkan pada GAMBAR 2.3 merupakan sinyal yang keluar dari pemancar yaitu F_L , F_C , F_U mempunyai frekuensi $27 \text{ MHz} - 500 \text{ Hz}$ dan F_C dengan frekuensi 27 MHz , F_U dengan frekuensi $27 \text{ MHz} + 500 \text{ Hz}$. Beda GAMBAR 2.2 dan GAMBAR 2.3 ialah amplitudo F_L dan F_U , F_L sama dengan F_U . Seperti halnya instrumen musik gitar, piano, atau saxophone yang nadanya dapat diredam, demikian juga salah satu dari ketiga band frekuensi yaitu F_L , F_C dan F_U . Jika kita hanya mengambil F_L atau F_U , maka akan diperoleh *single side band*, sedangkan F_C diredam atau dihilangkan. Jika yang diambil F_L dan F_U , maka

akan diperoleh *double side band* (suppressed carrier) atau DSBSC.

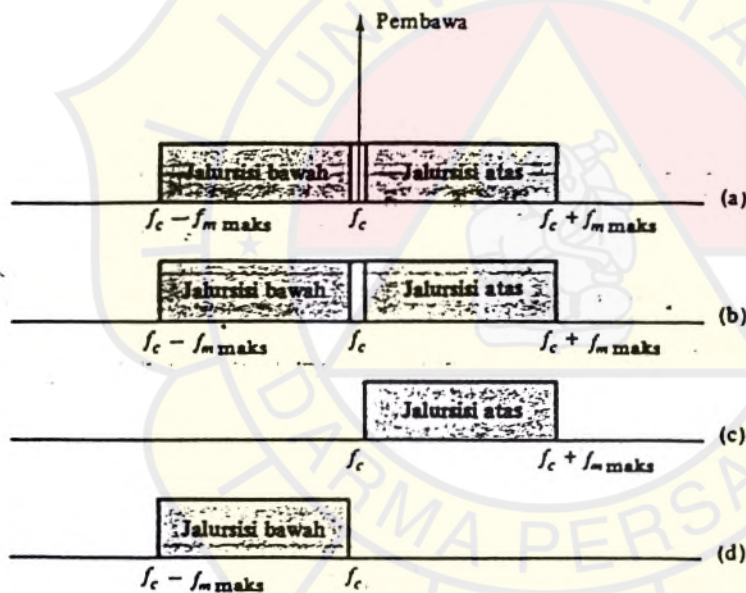


GAMBAR 2.3. Modulasi amplitudo dengan spectrum analyzer

Pada *single side band* sering kita mendengar istilah LSB singkatan dari *lower side band* dan USB singkatan dari *upper side band*. Pada gambar terlihat grafik LSB, yaitu $LSB = 27 \text{ MHz} - 500 \text{ Hz}$, dan bila diambil F_U , maka kita memperoleh USB yaitu $USB = 27 \text{ MHz} + 500 \text{ Hz}$.

Telah ditunjukkan dalam Bagian 2.2 bahwa semua informasi modulasi yang perlu untuk transmisi sinyal dan diperolehnya kembali sinyal tersebut terdapat pada masing-masing jalursisi dari suatu sinyal yang dimodulasi-amplitudo. Ditunjukkan juga bahwa pada modulasi sinusoida 100%, hanya $1/6$ dari daya total terdapat pada masing-masing jalursisi, sementara yang $2/3$ lagi ada pada sinyal pembawa, yang tidak mengandung informasi. Jadi jika pembawa dan salah satu jalursisi dapat dihapuskan dari sinyal sebelum transmisi, hanya setengah dari lebar jalur diperlukan untuk transmisi (yang sesuai dengan frekuensi modulasi maksimum yang akan dipancarkan), dan hanya $1/6$ dari

daya total yang perlu dipancarkan untuk sinyal yang sama. Suatu perbandingan dari spektra sinyal dari sinyal-sinyal AM lengkap (DSBFC = double-sideband full carrier) dengan jalursisi ganda pembawa ditekan (DSBSC = double sideband suppressed carrier) dan dengan sinyal-sinyal jalursisi tunggal pembawa ditekan (SSBSC = single sideband suppressed carrier) yang menggunakan salah satu jalursisi ditunjukkan dalam GAMBAR 2.4. Perhatikan bahwa dalam



GAMBAR 2.4. Spektra sinyal yang dimodulasi-amplitudo; (a) Jalursisi ganda pembawa lengkap (DSBFC); (b) Jalursisi ganda pembawa ditekan (DSBSC); (c) Jalursisi tunggal pembawa ditekan (SSBSC), yang menggunakan jalursisi atas (USB = upper sideband); (d) SSBSC yang menggunakan jalursisi bawah (LSB = lower sideband).

(c) dan (d) hanya terdapat satu jalursisi, dan bahwa itu hanya memerlukan setengah lebar jalur dari (a) atau (b).

2.4 Prinsip-prinsip Jalur Sisi Tunggal

Persamaan (2.12) menunjukkan bahwa suatu sinyal yang dimodulasi sinusoida biasa mengandung tiga komponen, pada suatu frekuensi sisi atas, pada frekuensi sisi bawah, dan pada frekuensi pembawa. Lebih lanjut, sinyal ini adalah ekuivalen dari sinusoida pembawa yang dikalikan dengan sinyal modulasi dan ditambah dengan suatu komponen dc

$$\begin{aligned}
 e_{am} &= (1 + m \sin w_m t) \sin w_c t \\
 &= \sin w_c t + \frac{m}{2} \cos (w_c - w_m) t - \\
 &\quad \frac{m}{2} \cos (w_c + w_m) t \qquad (2.12)
 \end{aligned}$$

Kedua frekuensi sisi sepenuhnya disebabkan oleh perkalian dari pembawa dan sinyal modulasi, sedangkan suku pembawa hanya disebabkan oleh adanya ketidakseimbangan dc dalam sinyal modulasi. Karena itu, jika rangkaian modulasi dapat dibalans sehingga suku dc ditiadakan, tetapi suku perkalian tetap ada keluaran akan mengandung hanya dua suku jalursisi, seperti ditunjukkan dalam Persamaan (2.13). Rangkaian semacam ini dinamakan suatu "modulator balans" (balanced modulator), dan beberapa rangkaian modulator balans akan dibicarakan dalam bagian-bagian yang berikut.

$$\begin{aligned}
 e_{modbal} &= m \sin w_m t \sin w_c t \\
 &= \frac{m}{2} \cos (w_c - w_m) t - \frac{m}{2} \cos (w_c + w_m) t \qquad (2.13)
 \end{aligned}$$

Metoda pertama untuk membangkitkan suatu sinyal SSB diturunkan langsung dari prinsip yang disebutkan di atas.

Rangkaian terdiri dari sebuah modulator balans yang menghilangkan pembawa, dan diikuti oleh sebuah filter bandpass yang menghapuskan jalursisi yang tidak dikehendaki. Baik jalursisi atas maupun jalursisi bawah dapat digunakan, asal saja penerima dapat diatur untuk mendemodulasikan salah satu dengan semestinya.

Metoda "Pergeseran Fasa" ("Phasing") dan yang dinamakan "Metoda Kedua" keduanya tergantung pada pergeseran fasa majemuk (multiple phase shifting) dan penghapusan deferensial untuk menghilangkan pembawa dan jalursisi yang tidak dikehendaki.

Demodulasi suatu sinyal SSB dapat dilakukan dengan mengalikannya dengan suatu tegangan pembawa yang dibangkitkan secara lokal pada penerima. Detektor-detektor yang menggunakan prinsip ini dikenal sebagai "detektor-detektor hasilkali" (product detector), dan kebanyakan rangkaian modulator balans dapat juga digunakan untuk maksud ini, karena mereka juga bergantung pada proses perkalian dalam operasinya. Adalah penting bahwa dibuat sedekat mungkin serempak dalam frekuensi dan fasa dengan pembawa aslinya. Untuk memperagakan bahwa proses perkalian mendemodulasi jalursisi tunggal yang masuk, tinjaulah suatu frekuensi sisi bawah $A_L \cos(\omega_c - \omega_m)t$, di mana amplitudo A_L adalah sebanding dengan amplitudo dari sinyal modulasi $E_{m\text{maks}}$. Dengan memperkalikannya dengan suatu gelombang pembawa $\sin \omega_c t$ dihasilkan

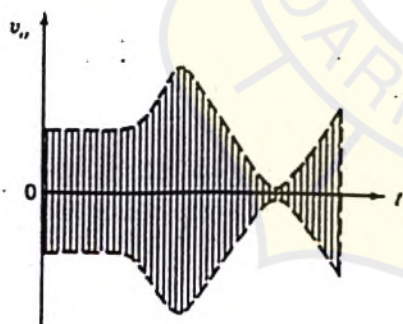
$$A_L \cos(\omega_c - \omega_m)t \sin \omega_c t = \left(\frac{1}{2}\right) A_L \{ \sin[(\omega_c - \omega_m)t + \omega_c t] \\ - \sin[(\omega_c - \omega_m)t - \omega_c t] \}$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{1}{2}\right) A_L [\sin (2\omega_c - \omega_m)t - \sin(-\omega_m)t] \\
 &= \left(\frac{1}{2}\right) A_L [\sin(2\omega_c - \omega_m)t + \sin \omega_m t] \quad (2.14)
 \end{aligned}$$

Suku kedua dari sisi sebelah kanan, yaitu $\left(\frac{1}{2}\right)A_L \sin \omega_m t$, adalah sinyal informasi yang dikehendaki.

2.5 Demodulasi SSB

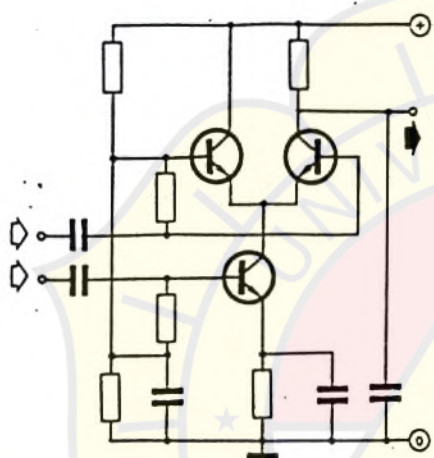
Pendemodulasian dari sebuah sinyal AM (GAMBAR 2.5.) adalah begitu sederhana, tetapi pada sinyal-sinyal SSB akan timbul suatu masalah besar dari gelombang pembawa yang hilang. Oleh karena gelombang pembawa ini pada hakekatnya diperlukan sekali untuk demodulasinya, maka gelombang pembawa tersebut dengan cara apapun akan disulap pemunculan keluaranya dari sinyal masuk atau dibangkitkan.



GAMBAR 2.5. Sinyal AM

Untuk alat penerima amatir, maka metoda pertama adalah tidak atau hampir tidak penting sama sekali, penekanan dari gelombang pembawanya dari pemancar biasanya sebesar 50dB - 60dB

adalah suatu pekerjaan yang secara praktis tidak mungkin dapat dilakukan untuk membawakan gelombang pembawa diam ini pada suatu tingkat yang sepantasnya. Supaya metoda modulasi ini benar-benar dapat dibuat mungkin, maka banyak stasiun SSB komersial ikut mengirimkan sebagian kecil dari gelombang dukung sebagai frekuensi percobaan.



GAMBAR 2.6. Detektor produk.

Walaupun sebuah detektor dapat dibangun secara baik dengan bantuan dari sebuah mixer yang simetris, pada umumnya masih digunakan suatu penghubung yang lebih sederhana, oleh karena penekanan dari komponen-komponen sinyal HF yang tak diinginkan dapat saja dengan mudah terjadi di lain tempat. Suatu kerugian dari sejumlah penghubung yang lebih sederhana, walaupun bagaimana penghubung-penghubung tersebut memberikan juga deteksi terselubung AM. Penyelidikan pada laboratorium menunjukkan bahwa dari seluruh detektor yang diketahui, setengah dari konfigurasi penstabil dari GAMBAR 2.6.

dibandingkan dengan versi-versi simetris lengkap telah memberikan hasil akhir yang terbaik.

Hingga sejauh ini telah dibicarakan secara khusus tentang metoda berdasarkan pada pembangkitan gelombang dukung oleh regenerasi dari sinyal masuk. Yang terbanyak digunakan adalah prinsip alat penerima lainnya yang telah disebutkan, yang oleh karenanya detektor produk memperoleh sajian sebuah sinyal gelombang pembawa buatan dari sebuah alat penyeimbang (oscillator) yang stabil yang terdapat dalam alat penerima (BFO).

