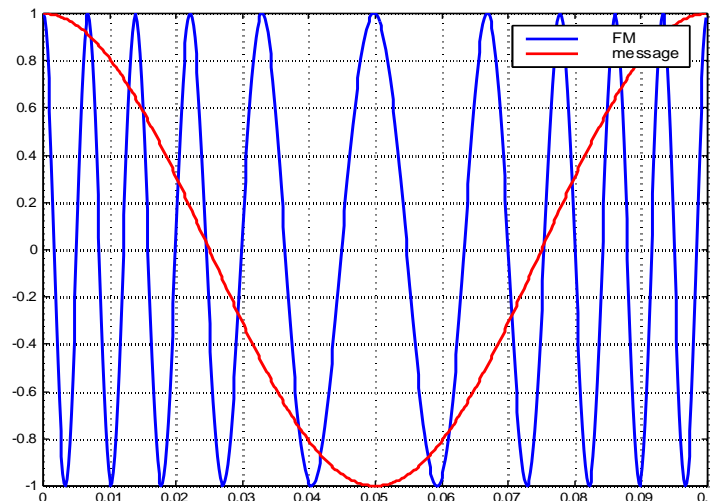


## FREQUENCY MODULATION (FM)

Modulasi : menumpangkan sinyal informasi ke sinyal carrier

Frequency Modulation : sinyal informasi ditumpangkan ke frekuensi sinyal carrier → frekuensi sinyal carrier akan berubah-ubah sesuai dengan sinyal informasi (sinyal pemodulasi)

Sinyal carrier mempunyai frekuensi yang jauh lebih tinggi dari sinyal informasi.



**Ilustrasi Sinyal FM dalam domain waktu**

Gambar di atas menunjukkan perubahan frekuensi sinyal carrier (biru) terhadap perubahan sinyal informasi (merah). Pada amplituda sinyal pemodulasi/ informasi yang semakin besar, maka frekuensi akan semakin tinggi (lebih rapat gelombangnya), sedangkan pada amplituda sinyal pemodulasi/ informasi yang lebih rendah, maka frekuensi akan semakin kecil (lebih renggang gelombangnya).

### A. PERSAMAAN SINYAL FM

Kecepatan sudut sesaat/instant ( $\omega_i$ ) adalah perubahan sudut fasa sesaat ( $\theta_i$ ) dibagi perubahan waktu

$$\omega_i = \frac{d\theta_i(t)}{dt}$$

Ingat :  $\omega = 2\pi f$ , sehingga frekuensi sesaat  $f_i$  adalah :

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta_i(t)}{dt} \quad \text{atau} \quad \theta_i(t) = \int_0^t 2\pi f_i(t) dt$$

Pada sinyal FM, frekuensi sesaat berubah-ubah sesuai sinyal informasi di sekitar frekuensi carrier, model persamaannya adalah :

$$f_i(t) = f_c + k_f m(t)$$

$k_f$  adalah konstanta modulasi FM dengan satuan Hz/volt

$m(t)$  adalah sinyal informasi dengan satuan volt --> Hz/ volt x volt = Hz

Sehingga :

$$\theta_i(t) = \int_0^t 2\pi(f_c + k_f m(t)) dt$$

Karena frekuensi carrier  $f_c$  dan nilai  $k_f$  adalah konstan, maka bisa dikeluarkan dari integral menjadi :

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(t) dt$$

Dengan demikian kita mendapatkan **PERSAMAAN UMUM SINYAL FM** :

$$s_{FM}(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(t) dt \right]$$

Di mana sinyal carrier adalah  $s_c(t) = A_c \cos 2\pi f_c t$

$m(t)$  = sinyal informasi (pemodulasi)

$k_f$  = konstanta modulasi FM dengan satuan Hz/Volt.

Apabila sinyal informasi  $m(t)$  adalah sinyal sinusoidal :

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$$

$$\text{Maka : } \int_0^t m(t) dt = \frac{A_m}{2\pi f_m} \sin(2\pi f_m t)$$

Sehingga persamaan sinyal FM dengan pemodulasi sinyal sinusoidal adalah :

$$S_{FM}(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + \frac{A_m k_f}{f_m} \sin(2\pi f_m t) \right]$$

$$S_{FM}(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)]$$

$$\text{Di mana } \beta = \frac{A_m k_f}{f_m}$$

$\beta$  adalah indeks modulasi FM.

$A_m$  = amplituda sinyal informasi/ pemodulasi

$f_m$  = frekuensi sinyal informasi/ pemodulasi

## B. DEVIASI FREKUENSI DAN INDEKS MODULASI FM

Frekuensi sinyal FM akan berubah-ubah direntang frekuensi tertentu. Nilai perubahan frekuensi maksimum disebut deviasi frekuensi :

$$\Delta f = \text{frequency deviation} = k_f A_m$$

sehingga

$$f_i|_{\max} = f_c + \Delta f$$

$$f_i|_{\min} = f_c - \Delta f$$

Indeks modulasi FM ( $\beta$ ) merepresentasikan seberapa besar perubahan sinyal carrier terhadap bandwidth sinyal info. Dari persamaan  $\beta$  sebelumnya dan persamaan deviasi frekuensi, maka diperoleh :

$$\beta = \frac{A_m k_f}{f_m} = \frac{\Delta f}{f_m}$$

## C. BANDWIDTH SINYAL FM

Bandwidth sinyal FM bukan berdasarkan deviasi frekuensi.

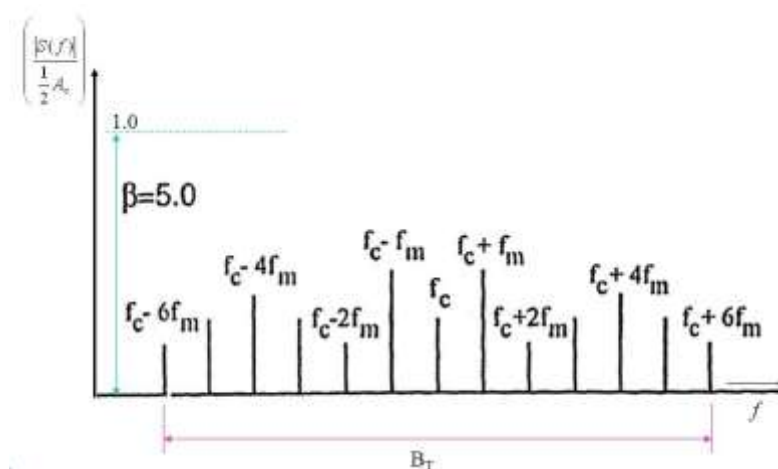
Jika diasumsikan sinyal informasi adalah sinyal sinusoidal dengan frekuensi tertentu/ tunggal (single tone), maka persamaan FM seperti sudah dicantumkan di atas adalah :

$$S_{FM}(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \beta \sin(\omega_m t)]$$

Persamaan tersebut bisa dijabarkan menjadi :

$$S(t) = A_c \sum_{-\infty}^{+\infty} J_n(\beta) \cos(\omega_c + n\omega_m)t$$

Di mana ini merupakan penjumlahan deretan sinyal-sinyal sinusoidal yang berbeda frekuensi sebesar  $\omega_m$  dari  $-\infty$  sampai  $\infty$ . Simetris di kiri dan kanan frekuensi sinyal carrier. Jika digambarkan spektrum sinyal FM adalah sebagai berikut :

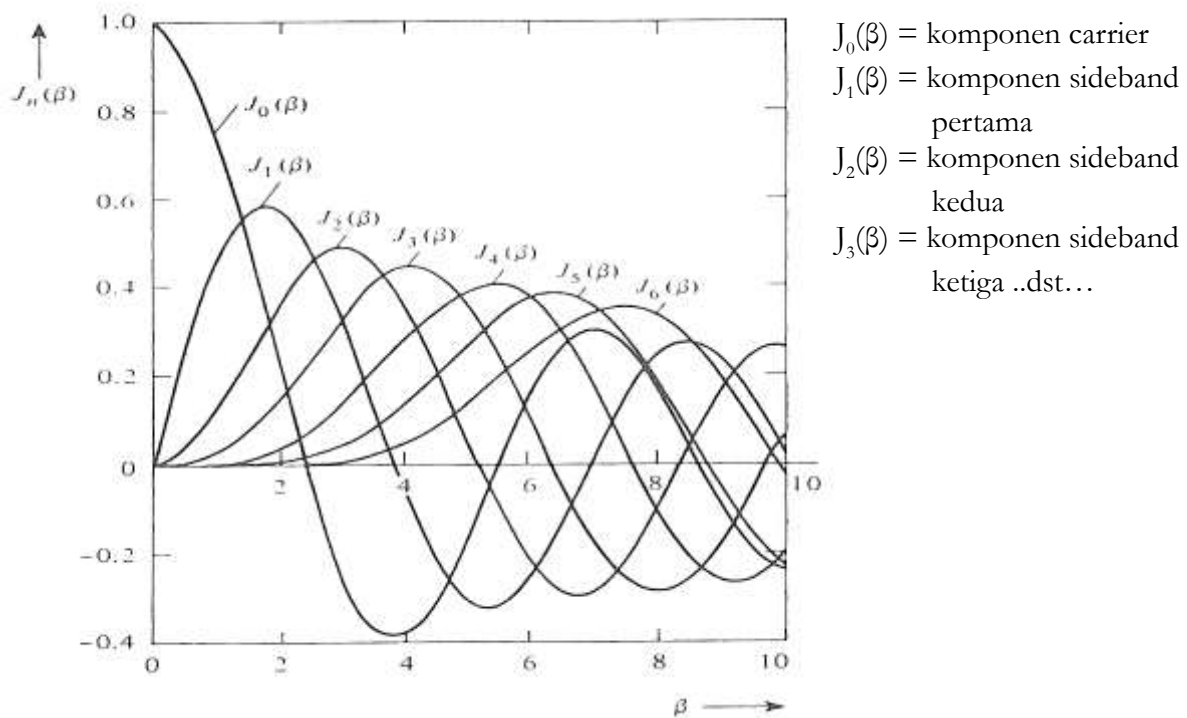


Di mana sebenarnya spektrumnya adalah dari  $-\infty$  s/d  $+\infty$ .

## LECTURE NOTE

Hanya saja biasanya semakin jauh dari frekuensi carrier, amplitudanya semakin kecil.

Dari persamaan di atas, Amplituda dari setiap spectrum frekuensi sinyal AM adalah  $J_n(\beta)$  di mana nilai  $J_n$  tergantung nilai  $\beta$  (indeks modulasi) yang digunakan. Nilai  $J_n$  ini diambil dari deret Bessel :



Gambar di atas adalah Grafik Fungsi Bessel dengan sumbu horizontal adalah nilai  $\beta$ . Terlihat untuk nilai  $\beta$  yang berbeda, nilai  $J_0, J_1, J_2$ , dst akan berbeda.

Spectrum sinyal FM adalah simetris di kiri kanan frekuensi carrier  $\omega_c$ . Nilai  $J_n = J_{-n}$

Karena spectrum sinyal FM adalah tak berhingga, sehingga secara teoritis, bandwidth sinyal FM adalah tak hingga. Hal ini akibat dari fungsi Bessel.

Tetapi karena pada jarak yang jauh dari frekuensi carrier amplituda spectrum frekuensi nya sangat kecil, maka cukup beberapa komponen spectrum saja yang dilewatkan.

Untuk pendekatan, maka bandwidth FM didekati dengan BANDWIDTH CARSON :

$$BW = 2(\Delta f + f_m) = 2f_m(\beta + 1)$$

Ingat :

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$$

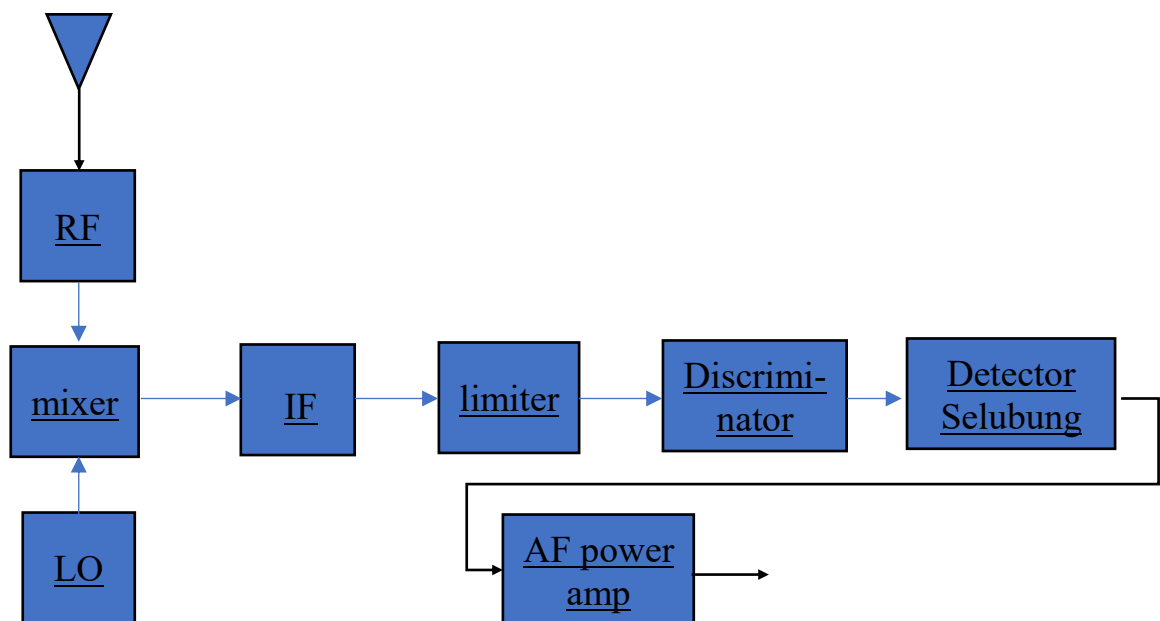
Pada BANDWIDTH CARSON kandungan energi sinyal FM adalah 98 % dari kandungan energi total sinyal FM.

**Overview :**

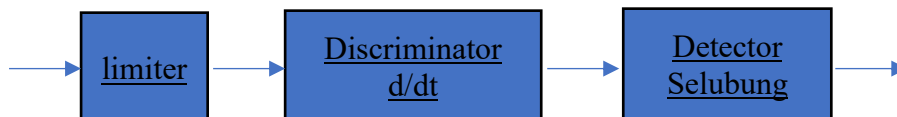
- Fungsi bessel merepresentasikan sideband – sideband yang ditempatkan diantara frekuensi carrier dan terletak pada frekuensi informasi dan kelipatannya
- Jumlah sideband pada fungsi bessel tak hingga
- Pada sinyal FM, fungsi bessel menentukan amplituda sinyal carrier dan amplituda sidebandnya
- Sideband yang amplitudanya kurang dari 1% amplituda carrier, dapat diabaikan

#### D. PENERIMA/ DEMODULATOR FM

Sistem penerima radio FM menggunakan prinsip superheterodyne (RF-IF)



Sedangkan bagian demodulatornya adalah :




Proses demodulasi FM pada dasarnya dilakukan oleh bagian discriminator/ differensiator dan detektor selubung. Secara konsep proses yang terjadi de discriminator adalah :

Sinyal FM yang diterima (persamaan umum sinyal FM) :

$$s_{FM}(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(t) dt \right]$$

Discriminator melakukan proses differensial :

$$s'_{FM}(t) = A_c \left[ \underline{2\pi f_c + 2\pi k_f m(t)} \right] \sin \left( 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(t) dt \right)$$


**Informasi terkandung pada bagian selubung dari  $S'(t)$ .**

**Dideteksi dengan detektor selubung**

Terlihat informasi yang tersimpan di dalam frekuensi/ fasa muncul di depan sebagai amplituda termasuk sinyal informasi  $m(t)$  yang ingin diambil.

Karena  $m(t)$  muncul di amplituda sinyal, maka dengan detektor selubung bisa diambil informasi tersebut (Lihat penjelasan mengenai detektor selubung pada bagian AM).

Lalu apa fungsi limiter?

Fungsi limiter adalah menghilangkan variasi amplituda sinyal FM sebelum dilakukan differensiasi. Hal ini diperlukan agar perubahan amplituda yang terjadi sesudah sinyal keluar discriminator benar-benar mencerminkan perubahan pada sinyal informasi  $m(t)$  karena referensi amplituda awal sudah sama.

Dapat dilihat pada ilustrasi gambar berikut, sinyal keluaran limiter akan mempunyai amplituda yang sama/ rata.

