

**MODUL PRAKTIKUM**  
**TELEKOMUNIKASI DASAR:**  
**MODULASI ANALOG DAN DIGITAL**



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO DAN TEKNOLOGI INFORMASI**  
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA**  
**YOGYAKARTA**  
**2021**

# DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	2
PETUNJUK UMUM .....	3
A. Pengenalan TelcoLab .....	3
B. <i>Library</i> TelcoLab .....	5
C. Penulisan Kode TelcoLab .....	6
UNIT 1 Pembangkit Isyarat .....	9
A. Tujuan .....	9
B. Dasar Teori.....	9
C. Panduan Percobaan .....	10
D. Lembar Pengamatan.....	12
UNIT 2 Modulasi Analog: Modulasi Amplitudo (AM) .....	15
A. Tujuan .....	15
B. Dasar Teori.....	15
C. Panduan Percobaan .....	20
D. Lembar Pengamatan.....	20
E. Analisis .....	23
F. Jawaban Pertanyaan dan Kesimpulan.....	23
UNIT 3 Modulasi Analog: Modulasi Frekuensi (FM).....	24
A. Tujuan .....	24
B. Dasar Teori.....	24
C. Panduan Percobaan .....	25
D. Lembar Pengamatan.....	25
E. Analisis .....	26
F. Jawaban Pertanyaan dan Kesimpulan.....	26
UNIT 4 Modulasi Digital.....	28
A. Tujuan .....	28
B. Dasar Teori.....	28

## PETUNJUK UMUM

Praktikum Telekomunikasi Dasar ini dirancang untuk menunjang pembelajaran jarak jauh bidang telekomunikasi. Praktikum dilaksanakan secara dalam jaringan (daring) menggunakan media pembelajaran TelcoLab. Praktikum ini diharapkan dapat memenuhi **Learning Outcome (LO)** sebagai berikut: egebgabegwbgw

1. Praktikan dapat menjelaskan dasar-dasar modulasi analog dan digital meliputi modulasi analog: amplitudo dan frekuensi, dan modulasi digital: BPSK, BASK, dan BFSK.
2. Praktikan dapat menjelaskan langkah-langkah untuk melakukan modulasi isyarat
3. Praktikan dapat melakukan modulasi dan demodulasi analog dan digital
4. Praktikan dapat menjelaskan mengenai penerapan modulasi analog dan digital

### A. Pengenalan TelcoLab

TelcoLAB merupakan sebuah media simulasi bidang telekomunikasi berbasis *website* yang dapat menunjang simulasi modulasi dan demodulasi analog dan digital. TelcoLAB dapat diakses menggunakan perangkat PC/laptop. Praktikan dapat mengakses modul praktikum, merancang untai sebuah sistem modulasi menggunakan kode yang disusun pada *website*, dan melakukan simulasi untuk memberikan hasil dari sistem yang telah disusun. Modul modulasi yang dapat disimulasikan meliputi:

#### 1. Modulasi Analog

- Modulasi Amplitudo (AM): *Double Side-band Full Carrier (DSBFC)*
- Modulasi Amplitudo (AM): *Double Side-band Suppressed Carrier (DSBSC)*
- Modulasi Amplitudo (AM): *Single Side-band (SSB)*
- Modulasi Frekuensi (FM)

#### 2. Modulasi Digital

- *Binary Amplitude Shift Keying (BASK)*
- *Binary Frequency Shift Keying (BFSK)*
- *Binary Phase Shift Keying (BPSK)*

Berikut merupakan tampilan dan fitur yang terdapat pada TelcoLab:

# Selamat Datang di TelcoLAB

TelcoLab merupakan sebuah pengembangan website yang diharapkan dapat mendukung penyesuaian pelaksanaan praktikum bidang telekomunikasi. Website ini memiliki tampilan berupa simulator praktikum berdasarkan eksekusi kode sehingga praktikan dapat melaksanakan praktikum secara daring. Praktikan dapat mengakses modul praktikum, menyusun kode sesuai instruksi yang disediakan, dan melakukan simulasi untuk menghasilkan keluaran yang diharapkan. Terdapat enam modul yang dapat disimulasikan. Delapan modul tersebut terdiri atas satu modul pembangkit isyarat (*Signal Generator*), tiga modul modulasi amplitudo (AM DSBFC, AM DSBSC, AM SSB), satu modul modulasi frekuensi (FM *Modulation*), dan satu modul modulasi digital (*Digital Modulation*).

Cek panduan modul dengan menekan tombol di bawah.

Panduan

2

## Percobaan yang Tersedia

Berikut merupakan percobaan yang dapat disimulasikan secara langsung.

Signal Generator AM DSBFC AM DSBSC AM SSB FM Modulation Digital Modulation

3

Topik: Signal Generator

4

Berikut kode yang dapat digunakan pada modul ini

```
signal-generator amplitude A freq-sampling B frequency C
show plot
```

5

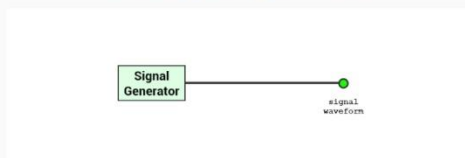
Hal yang harus diperhatikan dalam menuliskan kode

- 'A' harus diisi dengan nilai amplitudo isyarat
- 'B' harus diisi dengan nilai frekuensi pencuplikan
- 'C' harus diisi dengan nilai frekuensi isyarat
- 'plot' harus diisi dengan gelombang yang ingin ditampilkan, meliputi: **sine/cosine/square/sawtooth**
- Jika ingin menampilkan seluruh gelombang, isi 'plot' dengan **signal**
- Tidak ada baris dan kata yang diubah selain yang telah disebutkan pada poin di atas

6

Block Diagram: Signal Generator

7



Code: Signal Generator

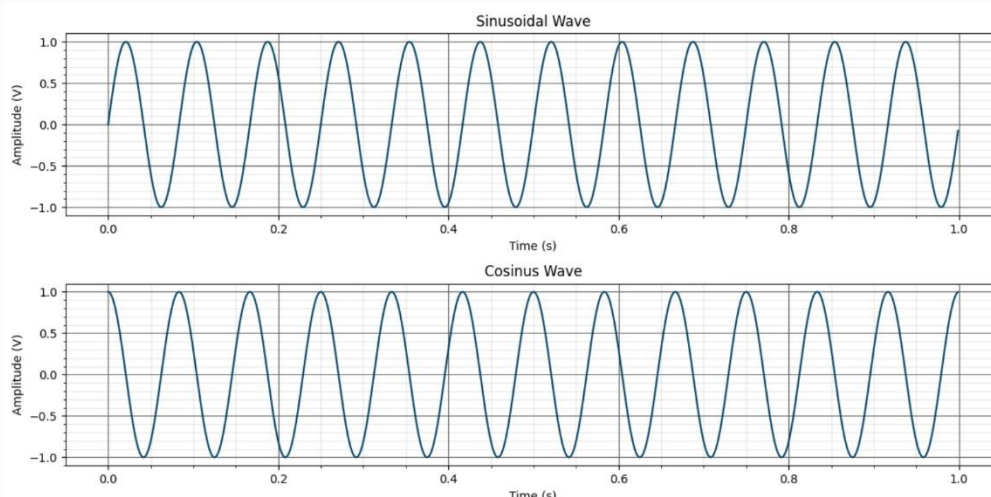
8

```
signal-generator amplitude 1 freq-sampling 1000 frequency 12
show signal
```

Show Result

Output: Signal Generator

9



No	Fitur	Keterangan
1	<i>Navigation Bar</i>	Home : Mengarahkan pada <i>headline</i> TelcoLab
		Praktik : Mengarahkan pada menu praktikum yang dapat
2	Panduan	Tombol untuk mengakses modul panduan
3	Menu Simulasi	Pilihan menu simulasi/praktikum yang dapat dilakukan
4	Topik Simulasi	Menunjukkan nama menu simulasi yang sedang dibuka
5	Sintaks	Petunjuk sederhana penulisan kode
6	Keterangan	Penjelasan singkat sintaks kode yang dituliskan
7	<i>Block Diagram</i>	<i>Block diagram</i> simulasi yang sedang dilakukan
8	<i>Textarea</i>	Tempat menuliskan susunan kode untuk simulasi
9	<i>Output Area</i>	Tempat menampilkan hasil <i>waveform</i> dari simulasi

## B. Library TelcoLab

Simulasi pada TelcoLAB dapat dilakukan dengan menyusun kode sesuai dengan sistem modulasi yang akan disimulasikan. Berikut adalah *library* dan cara penulisan kode yang dapat digunakan pada TelcoLAB.

No	<i>Library</i>	Keterangan
1	signal-generator	Membangkitkan isyarat
2	message-signal	Membangkitkan isyarat pesan
3	carrier-signal	Membangkitkan isyarat pembawa
4	cosine	Jenis isyarat dibangkitkan: isyarat cosinus
5	sine	Jenis isyarat dibangkitkan: isyarat sinus
6	square	Jenis isyarat dibangkitkan: isyarat kotak
7	sawtooth	Jenis isyarat dibangkitkan: isyarat segitiga
8	amplitude	Parameter amplitudo isyarat
9	freq-sampling	Parameter frekuensi cuplik isyarat
10	frequency	Parameter frekuensi isyarat
11	order	Parameter order dari <i>filter</i> yang digunakan
12	cutoff-frequency	Parameter frekuensi <i>cutoff</i> dari <i>filter</i> yang digunakan
13	show	Menampilkan sistem dari kode yang disusun

14	message-waveform	Hasil keluaran sebagai isyarat pemodulasi
15	carrier-waveform	Hasil keluaran sebagai isyarat pembawa
16	modulated-waveform	Hasil keluaran sebagai isyarat termodulasi
17	demodulated-waveform	Hasil keluaran sebagai isyarat demodulasi
18	envelope-waveform	Hasil keluaran sebagai selubung isyarat
19	filtered-waveform	Hasil keluaran sebagai isyarat tertapis
20	dsbfc-waveform	Seluruh keluaran dari modul modulasi AM-DSBFC
21	dsbsc-waveform	Seluruh keluaran dari modul modulasi AM-DSBSC
22	ssb-waveform	Seluruh keluaran dari modul modulasi AM-SSB
23	fm-waveform	Seluruh keluaran dari modul modulasi FM
24	signal	Seluruh keluaran dari modul signal generator
25	digital-modulation	Seluruh keluaran dari modul modulasi digital
26	BASK	Seluruh keluaran dari modulasi BASK
27	BFSK	Seluruh keluaran dari modulasi BFSK
28	BPSK	Seluruh keluaran dari modulasi BPSK
29	time-domain	Hasil keluaran pada kawasan waktu
30	frequency-domain	Hasil keluaran pada kawasan frekuensi

### C. Penulisan Kode TelcoLab

#### 1. Membangkitkan Isyarat

Isyarat yang dapat dibangkitkan adalah isyarat analog dan digital. Isyarat analog meliputi isyarat sinus, cosinus, kotak, dan isyarat segitiga. Isyarat digital yang dibangkitkan berupa data bit acak. Isyarat yang dibangkitkan digunakan sebagai isyarat masukan maupun isyarat pembawa pada simulasi yang dilakukan. Terdapat dua jenis kode yang digunakan untuk membangkitkan isyarat

Perintah	digunakan pada simulasi
<code>signal-generator amplitude A freq-sampling B frequency C</code>	<i>signal generator</i>
<code>signal wave amplitude A frequency B</code>	modulasi analog (AM dan FM)

Variabel	Library	Keterangan
signal	message-signal	Isyarat dibangkitkan sebagai isyarat informasi
	carrier-signal	Isyarat dibangkitkan sebagai isyarat pembawa
wave	sine	Isyarat dibangkitkan berupa isyarat sinus
	cosine	Isyarat dibangkitkan berupa isyarat cosinus
	square	Isyarat dibangkitkan berupa isyarat kotak
	sawtooth	Isyarat dibangkitkan berupa isyarat segitiga

Fungsi	Keterangan	Satuan
amplitude	Amplitudo	Volt
freq-sampling	Frekuensi pencuplik	Hertz
frequency	Frekuensi isyarat	Hertz

Contoh dari penulisan dan hasil keluaran fungsi pembangkit isyarat adalah sebagai berikut:

Kode	Keterangan
signal-generator amplitude 1 freq-sampling 700 frequency 5	Membangkitkan isyarat dengan nilai amplitudo 1V, frekuensi pencuplik 700 Hz, dan frekuensi isyarat 5 Hz.
message-signal sine amplitude 1 frequency 100	Membangkitkan isyarat pemodulasi berupa sinus dengan amplitudo 1V dan frekuensi isyarat 100 Hz.

## 2. Plotting

*Plotting* merupakan proses untuk menampilkan visualisasi dari simulasi yang dilakukan. *Plotting* dapat dilakukan untuk seluruh isyarat yang dibangkitkan dan dihasilkan berupa isyarat pesan, isyarat pembawa, isyarat termodulasi, dan isyarat demodulasi. Hasil visualisasi dapat ditampilkan pada kawasan waktu dan kawasan frekuensi. Terdapat dua jenis perintah plotting yang digunakan, yaitu

Perintah	digunakan pada simulasi
show <b>plot-waveform</b>	<i>signal generator</i> dan modulasi digital

show <b>plot-waveform</b> in <b>domain</b>	modulasi analog (AM dan FM)
--	-----------------------------

**plot-waveform** merupakan jenis *waveform* isyarat yang akan di-plot dan **domain** merupakan kawasan (ranah) di mana *plotting* dilakukan. Kode di atas merupakan blok osiloskop sebagai blok untuk menampilkan isyarat.

Variabel	Library	Keterangan
<b>domain</b>	time-domain	Hasil keluaran pada kawasan waktu
	frequency-domain	Hasil keluaran pada kawasan frekuensi
<b>plot-waveform</b>	signal	Seluruh keluaran dari modul signal generator
	digital-modulation	Seluruh keluaran dari modul modulasi digital
	BASK	Seluruh keluaran dari modulasi BASK
	BFSK	Seluruh keluaran dari modulasi BFSK
	BPSK	Seluruh keluaran dari modulasi BPSK
	message-waveform	Hasil keluaran sebagai isyarat pemodulasi
	carrier-waveform	Hasil keluaran sebagai isyarat pembawa
	modulated-waveform	Hasil keluaran sebagai isyarat termodulasi
	demodulated-waveform	Hasil keluaran sebagai isyarat demodulasi
	envelope-waveform	Hasil keluaran sebagai selubung isyarat
	filtered-waveform	Hasil keluaran sebagai isyarat tertapis
	dsbfc-waveform	Keluaran dari modul modulasi AM-DSBFC
	dsbsc-waveform	Keluaran dari modul modulasi AM-DSBSC
	ssb-waveform	Keluaran dari modul modulasi AM-SSB
	fm-waveform	Keluaran dari modul modulasi FM

Berikut merupakan contoh penulisan kode untuk *plotting* dengan jenis modulasi yang dilakukan.

Kode	Keterangan
show ssb-waveform in time-domain	Menampilkan seluruh hasil modulasi SSB pada kawasan waktu
show carrier-waveform in frequency-domain	Menampilkan isyarat pembawa pada kawasan frekuensi



# UNIT 1

## Pembangkit Isyarat

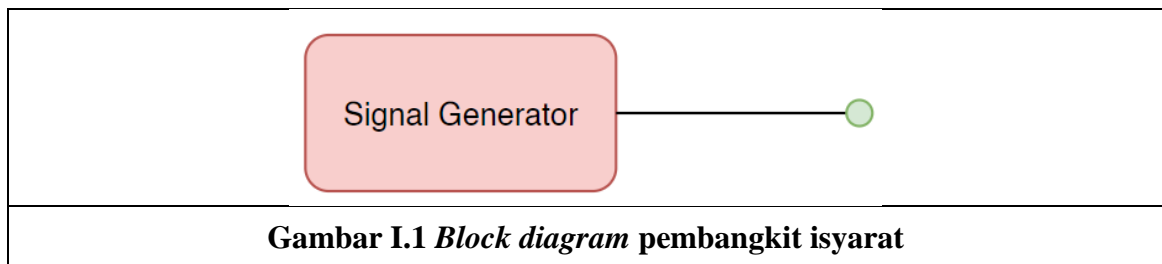
### A. Tujuan

Mengamati bentuk isyarat sinus (*sinusoidal wave*), kotak (*square wave*), dan gigi gergaji (*sawtooth wave*) dalam kawasan waktu dan frekuensi.

### B. Dasar Teori

Sistem komunikasi analog dan digital tidak lepas dari adanya penggunaan isyarat terutama sebagai informasi dalam komunikasi. Informasi diperoleh dari isyarat yang ditransmisikan dari pengirim ke penerima. Pada sistem komunikasi, dilakukan modulasi untuk .... Proses modulasi ini menggunakan isyarat informasi dari pengirim dan isyarat pembawa (*carrier*) yang dibangkitkan oleh osilator. Terdapat beberapa isyarat analog yang dapat dibangkitkan yaitu: isyarat sinusoidal, isyarat kotak, maupun isyarat gigi gergaji.

$x(t) = A \times \sin(\omega_t) + \phi$	
---	--



#### 1. Isyarat Sinus (*Sinusoidal wave*)

Isyarat sinus merupakan Isyarat dasar yang berbentuk grafik persamaan sinusoida. Isyarat ini merupakan isyarat yang umum digunakan dalam komunikasi analog. Hal ini dikarenakan sumber suara atau bunyi jika dikonversi maka akan membentuk isyarat sinus.

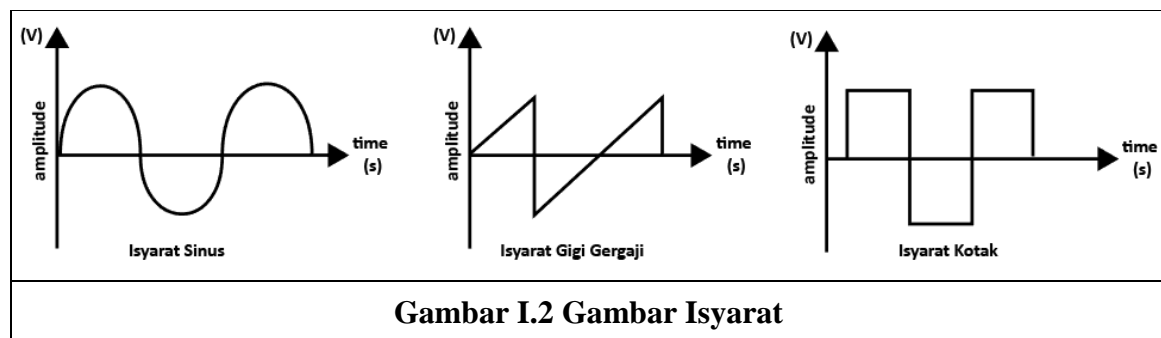
#### 2. Isyarat Kotak (*Square Wave*)

*Square wave* atau Isyarat kotak banyak dikenal dalam sistem digital. Sinyal atau Isyarat jenis ini dapat dikonversi ke bentuk sinus dengan menggunakan sistem ADC (*Analog to Digital Converter*). Dalam pengolahan isyarat, Isyarat sinus dirubah ke dalam bentuk Isyarat kotak kemudian dikuantisasi kemudian dirubah ke dalam urutan data yang selanjutnya menjadi data digital. Data tersebut selanjutnya diolah dalam pengolahan digital. Keluaran pengolah digital selanjutnya dirubah lagi ke dalam bentuk

sinyal sinusoida untuk dikuatkan dan digunakan dalam transmisi atau pengolahan isyarat.

### 3. Isyarat Gigi Gergaji (*Sawtooth Wave*)

Isyarat gigi gergaji dapat dihasilkan dari Isyarat sinusoida dengan rangkaian khusus. Penggunaan Isyarat ini biasanya pada bagian penguat vertikal dari system penerima televisi hitam-putih maupun televisi berwarna.



**Gambar I.2 Gambar Isyarat**

Isyarat dapat diamati dalam dua kawasan: kawasan waktu dan kawasan frekuensi. Pada kawasan waktu, isyarat dapat diamati waktu, periode, dan amplitudo isyarat menggunakan osiloskop. Pada kawasan frekuensi, isyarat dapat diamati frekuensinya dengan menggunakan *spectrum analyzer*. Karakteristik tertentu suatu isyarat ini lebih jelas bila diamati pada kawasan frekuensi dibanding kawasan waktu. Seperti pada isyarat dengan pada kehidupan sehari-hari yang terdiri dari berbagai frekuensi. isyarat dapat mengandung derau (*noise*). Namun, pada kawasan waktu tidak dapat terlihat dengan jelas frekuensi dari isyarat informasi dan derau akibat isyarat berupa gabungan dari seluruhnya. Oleh karena itu, digunakan ranah frekuensi untuk menganalisis dan memproses isyarat sehingga dapat lebih mudah mengetahui pada frekuensi berapa yang tidak berisi informasi dan dapat dihilangkan menggunakan *filter*.

Isyarat diamati pada kawasan frekuensi dengan mengubah isyarat dari fungsi waktu menggunakan Transformasi Fourier. Transformasi fourier ini dapat memberikan hasil spektrum frekuensi dari suatu persamaan isyarat.

### C. Panduan Percobaan

1. Buka laman TelcoLab.
2. Pilih menu simulasi “*Signal Generator*”.
3. Susun kode sesuai dengan petunjuk dan *block diagram* untuk pembangkit isyarat. Isyarat dibangkitkan berupa isyarat **sinusoidal**, **kotak**, dan **gigi gergaji**. Gunakan nilai parameter amplitudo dan frekuensi sesuai keterangan sebagai berikut:

a. Frekuensi = 10 Hz

Amplitudo = 2 V, 10 V, dan 15 V

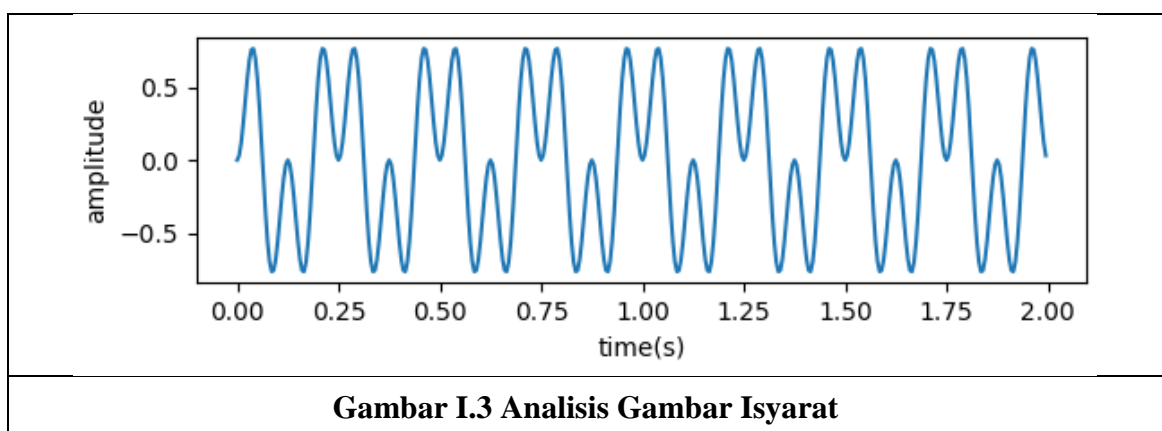
b. Frekuensi = 10 Hz, 50 Hz, dan 150 Hz

Amplitudo = 10 V

Tuliskan persamaan digunakan untuk membangkitkan isyarat!

4. Amati hasil keluaran setiap isyarat. Bagaimanakah hasil keluaran untuk isyarat dengan nilai amplitudo yang berbeda-beda? Apa pengaruh dari pergeseran nilai frekuensi pada isyarat dibangkitkan?

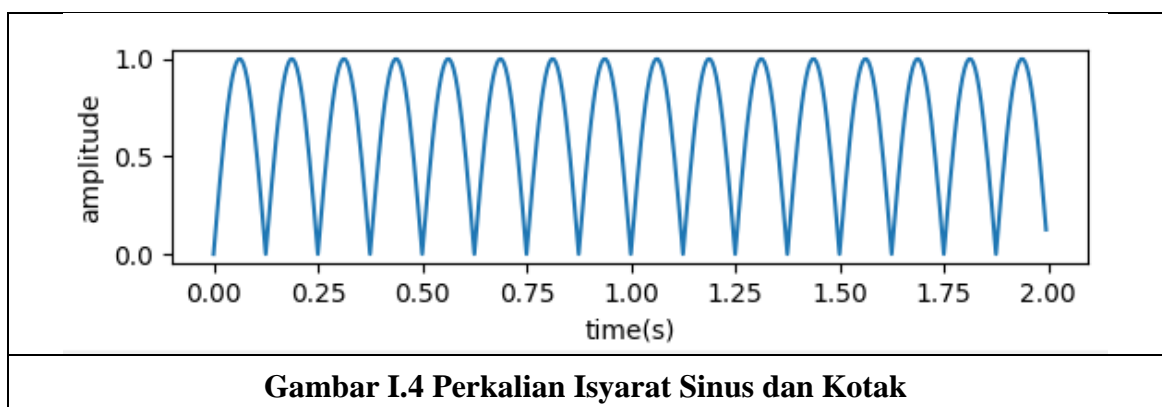
5. Amati dan analisis gambar keluaran berikut:



Hasil simulasi di atas merupakan hasil perkalian dua isyarat sinusoidal dengan nilai frekuensi isyarat pertama adalah  $f$  dan isyarat kedua  $2f$ . Jelaskan hasil dari simulasi di atas! Mengapa tampak terdapat perbedaan sebesar  $180^\circ$  pada hasil keluaran?

Note: Penjelasan dapat menggunakan ilustrasi kedua isyarat dengan mensimulasikan pada TelcoLAB sesuai dengan nilai parameter di atas. Gambar hasil keluaran dengan skala yang sama untuk kedua isyarat.

Lakukan analisis dengan melakukan cara yang sama untuk hasil simulasi berikut:



#### D. Lembar Pengamatan

##### 1. Isyarat sinusoidal

	Kawasan Waktu	Kawasan Frekuensi
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		

##### 2. Isyarat Kotak

	Kawasan Waktu	Kawasan Frekuensi
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		
Amplitudo = ... Freq = ...		

Fase = ...		
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		

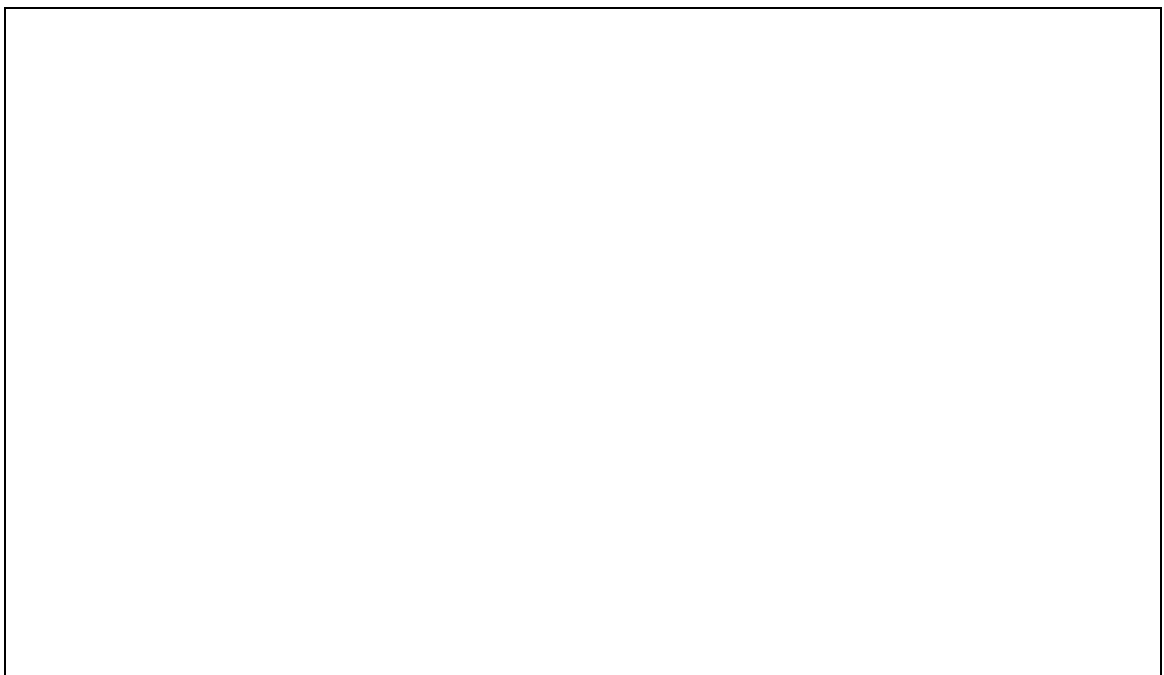
### 3. Isyarat gigi gergaji

	Kawasan Waktu	Kawasan Frekuensi
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		
Amplitudo = ... Freq = ... Fase = ...		

#### **D. Analisis**



#### **E. Kesimpulan**



## UNIT 2

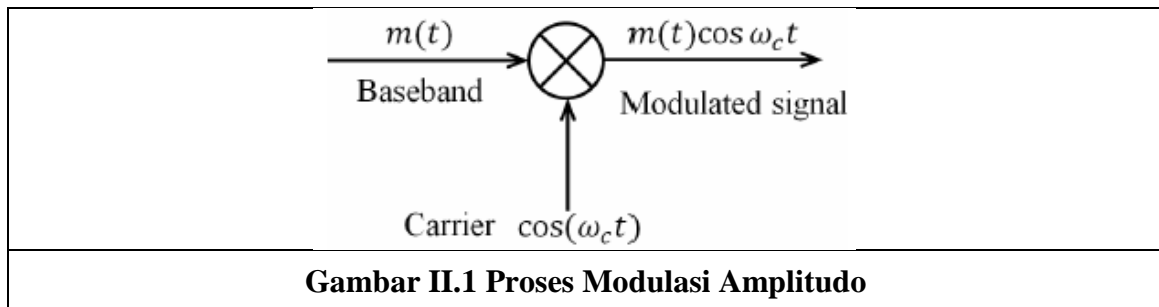
### Modulasi Analog: Modulasi Amplitudo (AM)

#### A. Tujuan

- Mengetahui dan memahami proses modulasi dan demodulasi amplitudo: AM-DSBFC, AM-DSBSC, dan AM-SSB
- Praktikan dapat melakukan modulasi dan demodulasi amplitudo

#### B. Dasar Teori

Modulasi amplitudo (AM) adalah perubahan amplitudo isyarat termodulasi berdasarkan perubahan amplitudo dari isyarat pemodulasi.



Pada modulasi amplitudo, terdapat indeks modulasi ( $m$ ) sebagai ukuran tingkat isyarat pembawa termodulasi. Indeks modulasi didapatkan dengan dari perbandingan nilai amplitudo isyarat informasi ( $A_m$ ) dengan isyarat pembawa ( $A_c$ ).

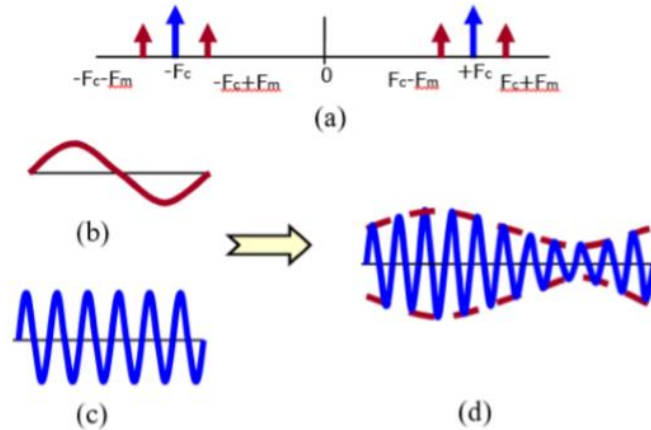
$m = \frac{A_m}{A_c}$	2.1
-----------------------	-----

Indeks modulasi memiliki nilai maksimum  $m = 1$  yang menandakan bahwa modulasi terjadi secara maksimum. Sementara nilai minimum indeks modulasi yaitu  $m = 0$  atau dapat juga dikatakan tidak terjadi modulasi. Apabila nilai indeks modulasi melebihi 1, maka akan terjadi distorsi pada hasil modulasi.

Terdapat tiga jenis modulasi AM yaitu DSBFC (*Double Side-band Full Carrier*), DSBSC (*Double Side-band Suppressed Carrier*), dan SSB (*Single Side-band*).

#### B.1 Modulasi Double Side Band Full Carrier (DSBFC)

AM-DSBFC atau pita-sisi ganda pembawa penuh merupakan modulasi yang memancarkan spektrum frekuensi AM yaitu LSB (*Lower Sideband*) dan USB (*Upper Sideband*). Teknik modulasi ini digambarkan sebagai berikut:



Proses modulasinya dilakukan dengan mengalikan antara pembawa dengan pemodulasi. Pengalihan dapat dilakukan menggunakan pengali non linier yang akan menghasilkan Isyarat DSB-FC AM dan ditambah dengan hasil sampingan. Agar hanya hasil yang diinginkan yang diperoleh, dilakukan penapisan agar sinyal hasil sampingan dari pengali dapat dihilangkan. Persamaan isyarat termodulasi AM-DSBFC sebagai berikut:

$v_{DSBFC}(t) = A_c \left( 1 + \frac{A_m}{A_c} \sin(2\pi f_m t) \right) \cos(2\pi f_c t)$	(2.2)
---	-------

Persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi

$m'(t) = \frac{1}{2} A_c + \frac{1}{2} m(t)$	(2.2)
--	-------

Dari persamaan di atas,  $c(t)$  merupakan isyarat pembawa dan  $m(t)$  merupakan isyarat masukan. Modulasi DSBFC AM dapat dilakukan ketika indeks modulasi  $\leq 100\%$ . Nilai indeks modulasi didapatkan dengan cara  $m = \frac{A_m}{A_c}$ . Blok diagram dari modulasi DSBFC AM terlihat pada gambar berikut



**Gambar I.5. Blok Diagram Modulasi DSBFC AM**

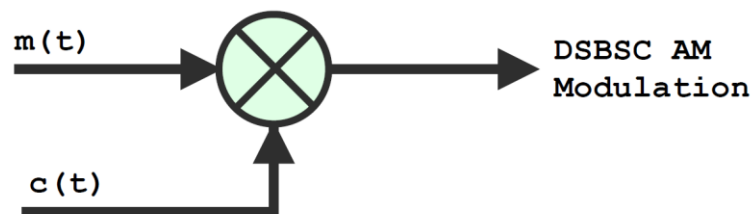


## B.2 Modulasi *Double Side Band Suppressed Carrier* (DSBSC)

Modulasi AM-DSBSC merupakan jenis modulasi yang lebih efektif daripada DSBFC. Hal ini dikarenakan modulasi DSBSC menghilangkan komponen isyarat pembawa pada DSBFC sehingga lebih menghemat daya. Modulasi ini dapat dilakukan dengan mengalikan lagi isyarat AM-DSBFC dengan isyarat pembawanya. Isyarat yang tidak diinginkan dapat dihilangkan sehingga dapat diperoleh isyarat pesan. Persamaan isyarat termodulasi DSBSC dapat dituliskan sebagai berikut:

$v_{DSBSC}(t) = m(t) \times c(t)$	(1.3)
$v_{DSBSC}(t) = (A_m \sin(2\pi f_m t)) \times (A_c \cos(2\pi f_c t))$	(1.4)

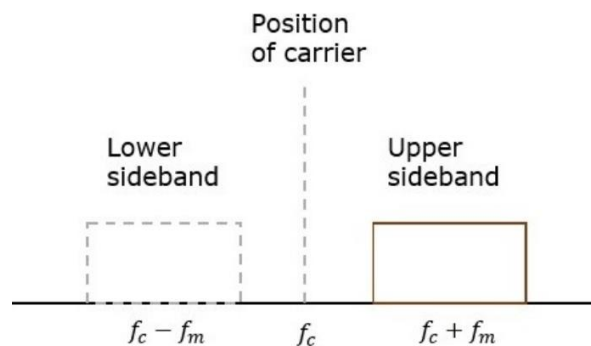
Blok diagram dari modulasi DSBSC AM yaitu:



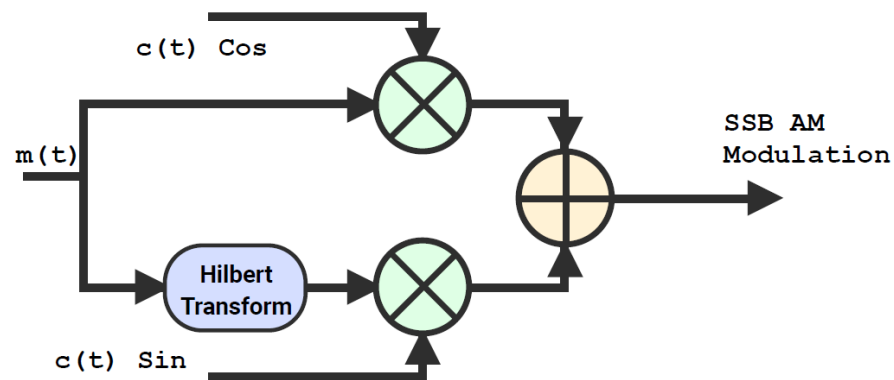
**Gambar I.6. Blok Diagram Modulasi DSBSC AM**

## B.3 Modulasi *Single Side Band* (SSB)

Pada modulasi amplitudo, komponen LSB dan USB memuat informasi yang sama. Oleh karena itu, untuk memuat lebar pita bidang maka digunakan modulasi amplitudo SSB: komponen dikirimkan dari transmitter hanya berupa LSB atau SSB saja.



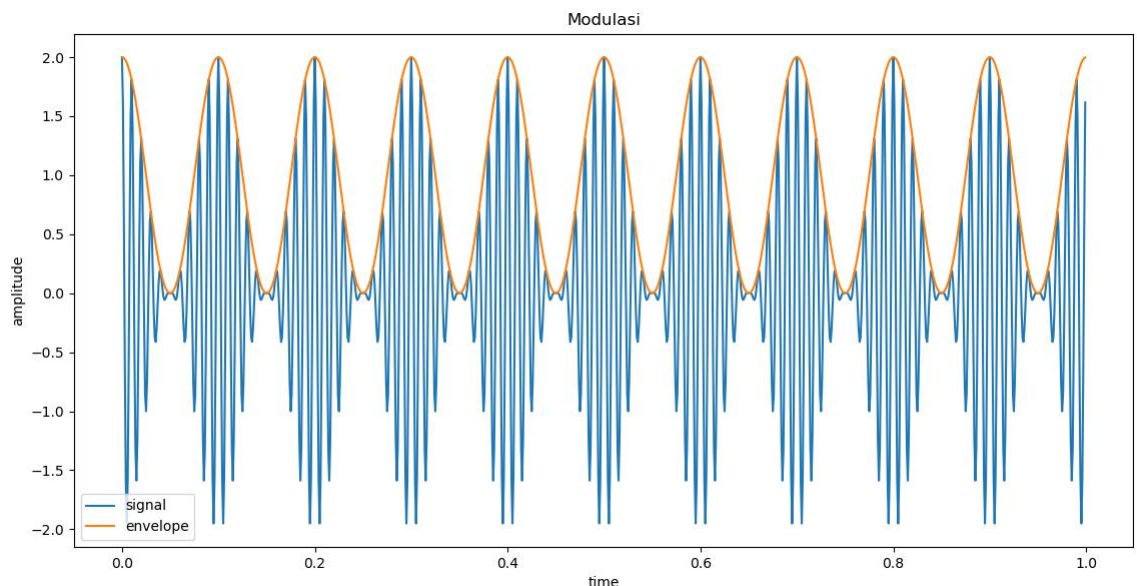
Blok diagram dari SSB AM yaitu:



**Gambar I.7. Blok Diagram Modulasi SSB AM**

## B.4 Demodulasi AM

Demodulasi merupakan proses pemulihan dari isyarat termodulasi hingga menjadi isyarat pemodulasi. Isyarat termodulasi akan dipisahkan untuk menemukan isyarat informasi yang dikirimkan. Pada modulasi DSBFC AM, selubung (*envelope*) dari isyarat termodulasi sebangun dengan isyarat pemodulasi. Menemukan isyarat informasi yang dikirimkan dapat dilakukan dengan mengambil selubung dari isyarat termodulasi, sehingga demodulasi DSBFC AM dapat dilakukan dengan menggunakan teknik detektor selubung (*envelope detector*).



*Envelope detector* menggunakan *Hilbert transform* [6]. *Hilbert transform* merupakan salah satu transformasi untuk *signal processing*. Hilbert transform pertama kali dikenalkan oleh David Hilbert dengan menyatakan bahwa  $\cos(wt)$

merupakan *Hilbert transform* dari  $\sin(\omega t)$ . Berdasarkan hal tersebut,  $\pm \pi/2$  phase-shift operator yang merupakan properti dari *Hilbert transform*.

*Hilbert transform* merupakan konvolusi antara *Hilbert transform*  $1/\pi t$  dan fungsi atau isyarat  $f(t)$  [4]. *Hilbert transform*  $\mathcal{H}[g(t)]$  dari isyarat  $g(t)$  dapat didefinisikan sebagai

$\mathcal{H}[g(t)] = g(t) * \frac{1}{\pi t} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{g(\tau)}{t - \tau} d\tau = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{g(t - \tau)}{\tau} d\tau$	(1.1)
--	-------

*Hilbert transform* dapat menghilangkan salah satu *sideband* dari modulasi AM dengan cara menambahkan isyarat *Hilbert transform* ke isyarat masukan [5]. Berdasarkan blok diagram Gambar I.7, isyarat termodulasi dari SSB AM yaitu

$v_{SSB} = m(t) \cos(2\pi f_c t) \pm \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t)$	(1.2)
---	-------

$m(t)$  merupakan isyarat masukan dan  $\hat{m}(t)$  merupakan *Hilbert transform* dari isyarat masukan. Berikut ini merupakan *Hilbert transform* dari isyarat sinus dan cosinus.

**Tabel I.1. Fungsi Hilbert Transform**

Fungsi	Fungsi Hilbert
$\cos(\omega t)$	$\sin(\omega t)$
$\sin(\omega t)$	$-\cos(\omega t)$

*Hilbert transform* dapat menghasilkan *analytic signal* dari *real signal* pada kawasan waktu. *Analytic signal* didapatkan dari isyarat termodulasi  $g(t)$  dan *Hilbert transform*  $\tilde{g}(t)$ .

$\mathfrak{N}(g(t)) = g(t) + i\tilde{g}(t)$	(1.3)
---	-------

*Envelope* dari isyarat termodulasi dapat diketahui dari nilai *absolute analytic signal*  $\mathfrak{N}(g(t))$  karena *analytic signal* merupakan bilangan kompleks yang terdiri dari bilangan real dan imajiner. Nilai *magnitude* dari *analytic signal* dapat mendeteksi selubung isyarat termodulasi.

Demodulasi DSBSC AM dan SSB AM menggunakan teknik *coherent demodulation*. Demodulasi yang dilakukan yaitu mengalikan ulang isyarat termodulasi dengan replika isyarat pembawa. Perkalian ini menghasilkan frekuensi isyarat pemodulasi dan frekuensi  $2f_c$ . Komponen frekuensi  $2f_c$  harus dibuang dengan cara dilewatkan pada *low-pass filter*. Hasil dari filter didapatkan dengan cara mengkonvolusi tanggapan impulse (*impulse response*) dari filter dengan hasil kali isyarat [7]. Tanggapan impulse filter yaitu:

$h_{d,lowpass}[n] = \frac{\theta_2}{\pi} \text{sinc} \left[ \frac{\theta_2(n - 0.5N)}{\pi} \right]$	(1. 4)
---	--------

### C. Panduan Percobaan

1. Buka laman TelcoLab
2. Pilih menu modul modulasi yang akan disimulasikan:
  - a. AM-DSBFC
  - b. AM-DSBSC
  - c. AM-SSB
3. Bangkitkan dua isyarat sinus dengan nilai frekuensi 10 Hz sebagai isyarat pesan dan 50 Hz sebagai isyarat pembawa. Amplitudo ditetapkan bernilai 1V untuk setiap isyarat.
4. Kedua isyarat yang telah dibangkitkan dikali. Kemudian, hasil perkalian dari kedua isyarat dijumlahkan sehingga didapatkan isyarat termodulasi.
5. Gunakan *envelope detector* untuk mendapatkan hasil isyarat terdemodulasi.
6. Tampilkan hasil keluaran isyarat pada kawasan waktu dan kawasan frekuensi.
7. Lakukan setiap percobaan dengan mengubah-ubah parameter amplitudo untuk setiap modul modulasi.
8. Bagaimana hasil keluaran ketika nilai frekuensi isyarat masukan lebih besar dari isyarat pembawa? Mengapa demikian?

Notes: Gunakan persamaan indeks modulasi sebagai acuan untuk menganalisis hasil dari simulasi tersebut.

### D. Lembar Pengamatan

[Variabel dan hasil yang dapat diamati/diukur]

- Untai modulasi amplitudo dan modulasi frekuensi
- Hasil keluaran modulasi dan demodulasi
- Perbedaan hasil keluaran dengan variabel yang diubah sesuai dengan modulasi: amplitudo dan frekuensi.

1. Modulasi Analog: AM-DSBFC

	<b>Kawasan Waktu</b>	<b>Kawasan Frekuensi</b>
Isyarat Informasi		
Isyarat Pembawa		
Isyarat Termodulasi		
Isyarat Demodulasi		

## 2. Modulasi Analog: AM-DSBSC

	<b>Kawasan Waktu</b>	<b>Kawasan Frekuensi</b>
Isyarat Informasi		
Isyarat Pembawa		
Isyarat Termodulasi		
Isyarat Demodulasi		

### 3. Modulasi Analog: AM-SSB

	Kawasan Waktu	Kawasan Frekuensi
Isyarat Informasi		
Isyarat Pembawa		
Isyarat Termodulasi		
Isyarat Demodulasi		

### 4. Modulasi Analog: Frekuensi

	Kawasan Waktu	Kawasan Frekuensi
Isyarat Informasi		
Isyarat Pembawa		
Isyarat Termodulasi		

Isyarat Demodulasi		
--------------------	--	--

#### **E. Analisis**

--

#### **F. Jawaban Pertanyaan dan Kesimpulan**

--

## UNIT 3

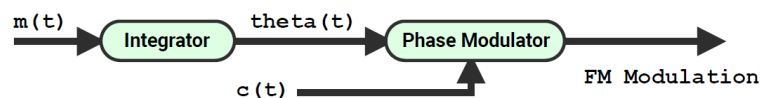
### Modulasi Analog: Modulasi Frekuensi (FM)

#### A. Tujuan

- Mengetahui dan memahami proses modulasi dan demodulasi frekuensi
- Praktikan dapat melakukan modulasi dan demodulasi frekuensi

#### B. Dasar Teori

Modulasi frekuensi akan mengubah frekuensi dari isyarat termodulasi ( $e_{FM}$ ) berdasarkan pada tegangan dan frekuensi pemodulasi ( $m_t$ ). Blok diagram dari modulasi FM yaitu



**Gambar I.8. Blok Diagram Modulasi FM**

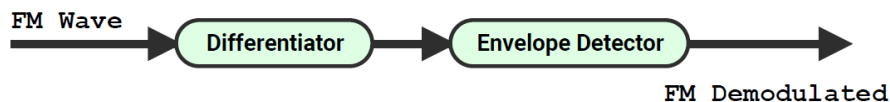
Tahap pertama dari modulasi FM yaitu isyarat masukan harus diintegrasikan untuk mendapatkan persamaan *phase*  $\theta(t)$ . Persamaan dari *integrator* yaitu

$\theta(t) = 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau$	(1.5)
--	-------

Persamaan dari *phase modulator* yaitu

$s(t) = A \cos(\theta(t))$	(1.6)
----------------------------	-------

A merupakan amplitudo dari isyarat pembawa (*carrier signal*) dan  $\theta(t)$  merupakan *phase* yang sudah diintegrasikan.  $k_f$  adalah indeks modulasi dan  $m(\tau)$  adalah isyarat pesan yang dikirimkan.



**Gambar I.9. Blok Diagram Demodulasi FM**

Demodulasi FM menggunakan teknik demodulasi diskriminator frekuensi (*frequency discriminator*). Isyarat termodulasi akan didiferensialkan terlebih dahulu.

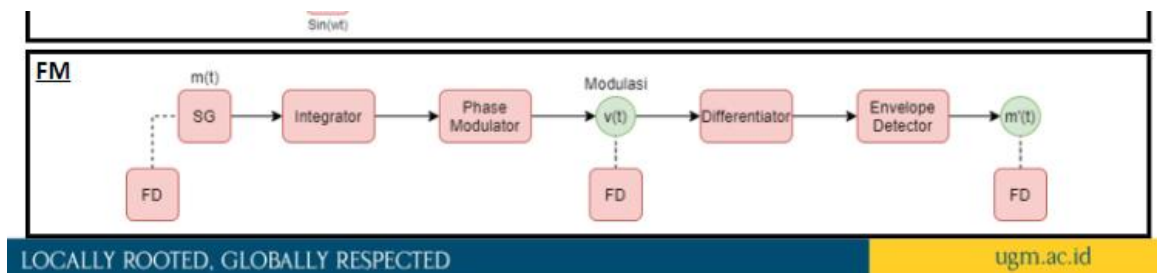
Hasil diferensial akan diambil selubungnya untuk mendapatkan isyarat informasi dengan menggunakan *envelope detector*. Teknik untuk *envelope detector* menggunakan



*Hilbert transform*. Nilai *magnitude* dari *analytic signal* dapat mendeteksi selubung isyarat.

### C. Panduan Percobaan

1. Buka laman TelcoLab
2. Pilih menu modul modulasi frekuensi (FM)
3. Bangkitkan dua isyarat sinus dengan nilai frekuensi 10 Hz sebagai isyarat pesan dan 50 Hz sebagai isyarat pembawa. Amplitudo ditetapkan bernilai 1V untuk setiap isyarat.



4. Modulasi frekuensi dapat dilakukan dengan menggunakan *integrator* dan *phase modulator*.
5. Lakukan setiap percobaan dengan mengubah-ubah parameter amplitudo, frekuensi, dan fase sesuai keterangan sebagai berikut:
  - c. Amplitudo = 2, 10, dan 15
  - d. Frekuensi = 10, 50, dan 150 Hz

### D. Lembar Pengamatan

[Variabel dan hasil yang dapat diamati/diukur]

- Untai modulasi amplitudo dan modulasi frekuensi
- Hasil keluaran modulasi dan demodulasi
- Perbedaan hasil keluaran dengan variabel yang diubah sesuai dengan modulasi: amplitudo dan frekuensi.

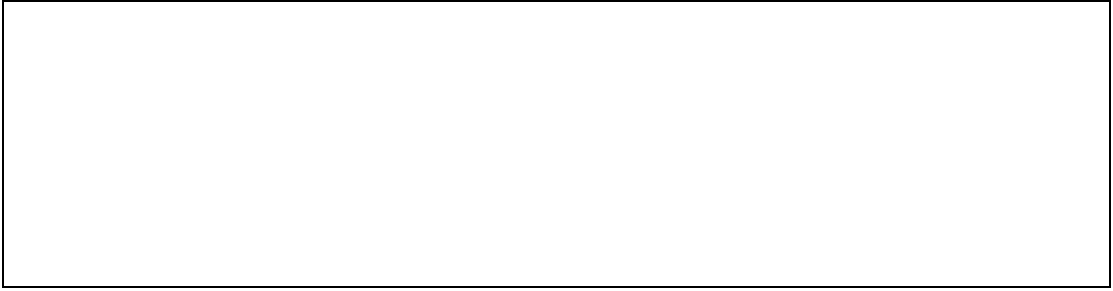
	<b>Kawasan Waktu</b>	<b>Kawasan Frekuensi</b>
--	----------------------	--------------------------

Isyarat Informasi		
Isyarat Pembawa		
Isyarat Termodulasi		
Isyarat Demodulasi		

#### **E. Analisis**

Empty space for analysis
--------------------------

#### **F. Jawaban Pertanyaan dan Kesimpulan**



## UNIT 4

### Modulasi Digital

#### A. Tujuan

- Mengetahui dan memahami proses modulasi dan demodulasi digital
- Praktikan dapat melakukan modulasi dan demodulasi digital: modulasi BASK, BFSK, dan BPSK.

#### B. Dasar Teori

Isyarat digital hanya mengenal dua keadaan yaitu biner (0 dan 1). Modulasi digital merupakan proses penumpangan isyarat digital ke dalam isyarat pembawa. Dengan teknik modulasi ini, isyarat digital dapat diubah menjadi isyarat analog untuk dikirimkan dan setelah sampai ke penerima akan diubah kembali menjadi sinyal digital. Teknik demodulasi adalah teknik untuk mengubah isyarat analog menjadi sinyal digital. Perbedaan mendasar antara modulasi analog dan digital terletak pada bentuk isyarat informasinya. Pada modulasi analog, sinyal informasinya berbentuk analog dan isyarat pembawanya analog. Sedangkan pada modulasi digital, isyarat informasinya berbentuk digital dan isyarat pembawanya analog.

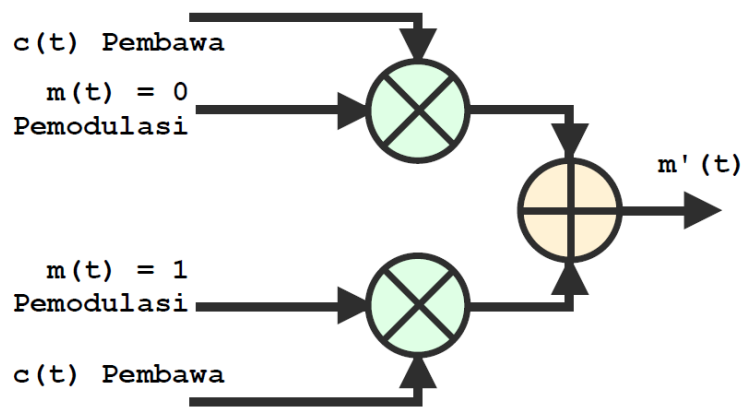
Teknik modulasi digital di antaranya adalah:

1. *Amplitude Shift Keying* (ASK)
2. *Frequency Shift Keying* (FSK)
3. *Phase Shift Keying* (PSK)

Modulasi digital terbagi menjadi modulasi *Binary Phase-Shift Keying* (BPSK), *Binary Amplitude-Shift Keying* (BASK), dan *Binary Frequency-Shift Keying* (BFSK).

Perubahan parameter pada modulasi digital terjadi setiap adanya perubahan nilai bit dari 0 ke 1 dan sebaliknya. Hasil dari *array* data bit yang dimodulasikan dengan isyarat pembawa akan memberikan nilai untuk isyarat pemodulasi 0 atau 1. Sehingga, luaran dari modulasi ini berupa penjumlahan dari modulasi untuk kedua nilai tersebut secara berurutan sesuai dengan data isyarat termodulasi. Modulasi digital dengan cara ini secara garis besar dapat diilustrasikan menggunakan blok diagram sebagai berikut:

<b>Gambar I.1. Data Flow Diagram (DFD)</b>
--

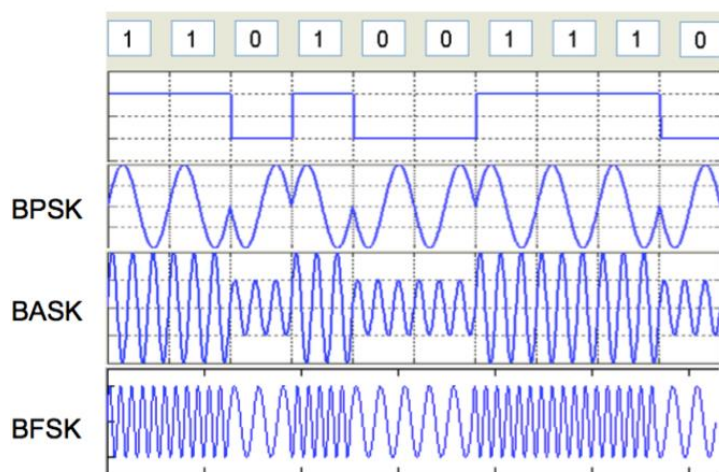


Gambar blok diagram modulasi digital menggunakan nilai masukan 0 dan

1

Contoh hasil luaran dari modulasi digital dengan nilai sama untuk modulasi BASK, BFSK, dan BPSK dapat dilihat dan dibandingkan dengan ilustrasi berikut.

<b>Gambar I.1. Data Flow Diagram (DFD)</b>
--



Gambar isyarat masukan dan hasil modulasi BPSK, BASK, dan BFSK.

### ***Binary Amplitude-Shift Keying (BASK)***

Modulasi BASK merupakan proses modulasi amplitudo isyarat digital dengan isyarat pembawa . Nilai 0 dan 1 merepresentasikan nilai amplitudo dari isyarat. Secara matematis, modulasi ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$v_{BASK} = [1 + v_m] \left[ \frac{A}{2} \cos(\omega_c t) \right]$$

Isyarat pembawa dimodulasi dengan isyarat masukan berupa bit informasi. Terdapat dua variabel isyarat:  $v_{BASK}$  merupakan hasil isyarat termodulasi BASK dan  $v_m$  merupakan isyarat masukan/isyarat pemodulasi. Nilai  $\omega_c$  sama dengan nilai  $2\pi f$ , yaitu nilai frekuensi isyarat pembawa analog dalam rad/s. modulasi dilakukan dengan mengalikan amplitudo sesuai dengan nilai bit isyarat pemodulasi, atau pada persamaan di atas dituliskan sebagai  $[1 + v_m]$ . Persamaan  $\frac{A}{2} \cos(\omega_c t)$  merupakan persamaan untuk isyarat pembawa dengan  $\frac{A}{2}$  adalah amplitudo isyarat pembawa tidak termodulasi.

Pada persamaan BASK tersebut, apabila digunakan masukan berupa isyarat biner ternormalisasi dengan 1V bernilai *logic* 1 dan -1V bernilai *logic* 0 maka untuk isyarat masukan 1V akan bernilai,

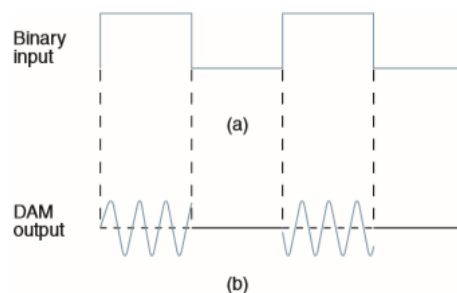
$$\begin{aligned} v_{(ask)}(t) &= [1 + 1] \left[ \frac{A}{2} \cos(\omega_c t) \right] \\ &= A \cos(\omega_c t) \end{aligned}$$

Ketika nilai isyarat masukan bernilai -1V maka hasil isyarat termodulasi adalah sebagai berikut,

$$\begin{aligned} v_{(ask)}(t) &= [1 - 1] \left[ \frac{A}{2} \cos(\omega_c t) \right] \\ &= 0 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan nilai isyarat masukan berupa isyarat ternormalisasi dengan ketentuan *logic* yang telah disebutkan, maka hasil dari modulasi BASK adalah sebagai berikut:

**Gambar I.1. Data Flow Diagram (DFD)**



### Gambar hasil luaran modulasi BASK

Dengan berdasarkan persamaan dan hasil modulasi menggunakan nilai isyarat ternormalisasi, modul modulasi BASK dapat dirancang dengan ketentuan untuk nilai bit 0 memiliki nilai amplitudo pada hasil modulasi lebih rendah dari amplitudo dengan data masukan bernilai 1. Untuk nilai amplitudo digunakan dapat bervariasi selama memenuhi ketentuan tersebut.

#### **Binary Frequency-Shift Keying (BFSK)**

Pada modulasi BFSK, terdapat pergeseran frekuensi isyarat setiap adanya perubahan nilai dari isyarat masukan yaitu nilai 0 dan 1. Secara matematis, modulasi ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$v_{BFSK} = v_c \cos[(\omega_c + 2\pi v_m \Delta f)t]$$

$$v_{BFSK} = v_c \cos[2\pi(f_c + v_m \Delta f)t]$$

Dari persamaan di atas, variabel isyarat:  $v_{BFSK}$  merupakan hasil isyarat termodulasi BFSK dan  $v_m$  merupakan isyarat masukan/isyarat pemodulasi. Nilai  $\Delta f$  adalah deviasi frekuensi atau simpangan nilai frekuensi antarpergeseran puncak isyarat pembawa.  $f_c$  merupakan nilai frekuensi isyarat pembawa. Dengan menggunakan nilai isyarat pemodulasi berupa *array* data yang ternormalisasi, maka untuk nilai data masukan 1 dengan *logic* bernilai 1 akan memberikan hasil sebagai berikut,

$$v_{BFSK} = v_c \cos[2\pi(f_c + v_m \Delta f)t]$$

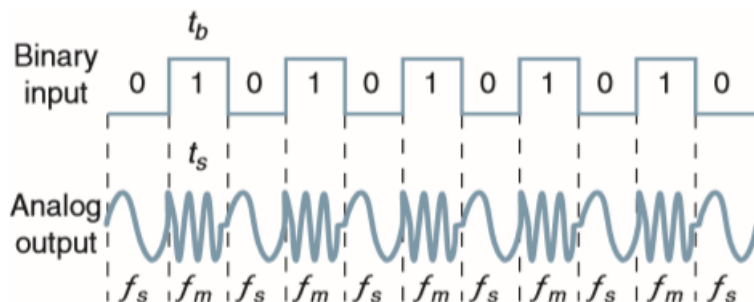
$$v_{BFSK} = v_c \cos[2\pi(f_c + \Delta f)t]$$

Sementara itu, untuk masukan bernilai -1 dengan *logic* atau bit data bernilai 0 akan memberikan keluaran:

$$v_{BFSK} = v_c \cos[2\pi(f_c + v_m \Delta f)t]$$

$$v_{BFSK} = v_c \cos[2\pi(f_c - \Delta f)t]$$

Hasil dari modulasi BFSK dengan persamaan di atas adalah sebagai berikut,



Berdasarkan hasil perhitungan modulasi BFSK dengan nilai ternormalisasi, maka didapatkan ketentuan bahwa untuk masukan dengan bit 0 maka akan memiliki pergeseran frekuensi negatif (-) atau nilai frekuensi lebih renggang. Sementara untuk nilai data masukan dengan bit 1 akan memberikan hasil luaran modulasi dengan frekuensi yang lebih rapat.

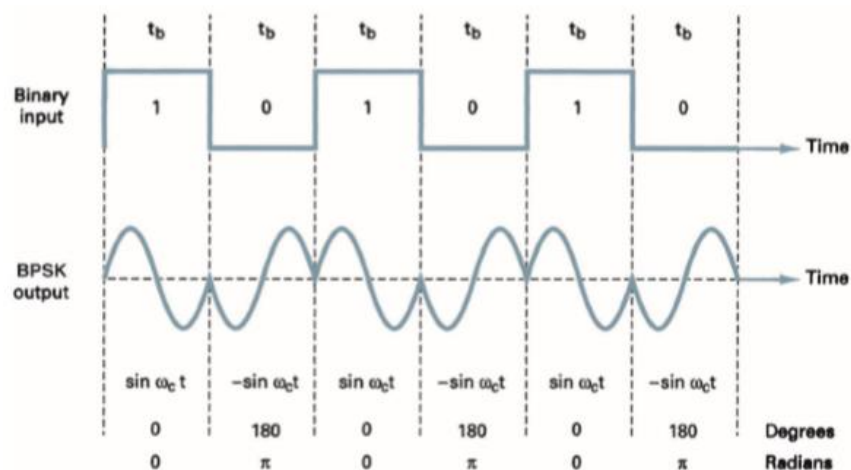
### **Binary Phase-Shift Keying (BPSK)**

Modulasi BPSK adalah proses modulasi dengan adanya pergeseran fase sebesar  $180^\circ$  setiap ada perubahan nilai dari isyarat masukan dari nilai bit 0 ke 1 dan sebaliknya. Pada modulasi BPSK, hasil isyarat termodulasi berupa perkalian yang dilakukan antara isyarat pembawa dengan isyarat masukan berupa data bit. Bila diasumsikan isyarat masukan berupa data bit ternormalisasi, maka untuk nilai masukan -1V diartikan sebagai *logic* 0 dan 1V diartikan sebagai *logic* 1. Sehingga, isyarat pembawa sama dengan dikalikan negatif atau positif. Hasil perubahan negatif dan positif pada isyarat pembawa inilah yang memberikan keluaran berupa perubahan fase pada hasil isyarat termodulasi.

Secara matematis, penjelasan di atas dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{BPSK output} = [\sin(2\pi f_a t)] \times [\sin(2\pi f_c t)]$$

Hasil luaran dari modulasi BPSK di atas tampak seperti ilustrasi berikut:



Dengan berdasarkan hasil di atas, maka didapatkan bahwa untuk nilai isyarat masukan berupa bit 0 akan memberikan pergeseran fase sebesar  $180^\circ$  dari fase isyarat pembawa sebelum termodulasi dan untuk nilai masukan berupa bit 1 akan memberikan



pergeseran fase sebesar  $0^\circ$  atau dapat dikatakan memiliki nilai fase yang sama dengan isyarat pembawa sebelum termodulasi.

### C. Panduan Percobaan

1. Buka laman TelcoLab.
2. Buka bagian “*Digital Modulation*”.
3. Tuliskan kode isyarat modulasi yang akan dilakukan:
  - Bangkitkan isyarat informasi dengan jumlah data 10
  - Bangkitkan isyarat pembawa berupa gelombang sinus dengan besar frekuensi 10 Hz dan amplitudo 10V
  - Lakukan modulasi BASK, BFSK, dan BPSK

Modulasi digital dapat dilakukan dengan merubah parameter isyarat pembawa sesuai dengan data masukan berupa bit untuk setiap modul modulasi yang dilakukan.

4. Lakukan setiap percobaan dengan membangkitkan data bit secara acak.
5. Amati dan analisis hasil keluaran isyarat termodulasi terhadap isyarat pembawa dan data masukan. Apa yang terjadi bila nilai pergeseran frekuensi BFSK terlalu besar atau terlalu kecil?

### D. Lembar Pengamatan

1. Modulasi Digital: BASK

	Kawasan Waktu	Kawasan Frekuensi
Isyarat Informasi		
Isyarat Pembawa		

Isyarat Termodulasi		
Isyarat Demodulasi		

## 2. Modulasi Digital: BFSK

	<b>Kawasan Waktu</b>	<b>Kawasan Frekuensi</b>
Isyarat Informasi		
Isyarat Pembawa		
Isyarat Termodulasi		
Isyarat Demodulasi		

## 3. Modulasi Digital: BPSK

	<b>Kawasan Waktu</b>	<b>Kawasan Frekuensi</b>
Isyarat Informasi		

Isyarat Pembawa		
Isyarat Termodulasi		
Isyarat Demodulasi		

#### **E. Analisis**

#### **F. Jawaban Pertanyaan dan Kesimpulan**