

## BAB II

### TEORI DASAR

Pada pembuatan peralatan modulator dan demodulator menggunakan berbagai macam komponen elektronika baik elektronika analog maupun elektronika digital. Pada bab ini dibahas mengenai berbagai macam teori yang mendasari pembuatan rangkaian modulator dan demodulator FSK melalui gelombang radio.

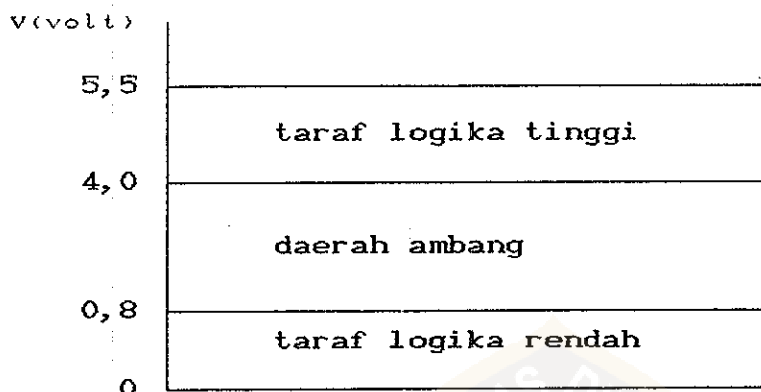
#### 2.1. Data Digital

Dalam ilmu elektronika terdapat konsep dasar yaitu analog dan digital yang digunakan untuk menentukan nilai-nilai secara efisien dan cermat dari sebuah besaran fisika. Sistem analog adalah besaran suatu sistem yang dinyatakan dengan besaran lain yang nilainya sebanding dengan besaran tersebut dengan perubahan besaran secara bertingkat. Sistem digital adalah kombinasi tingkat besaran listrik yang digunakan untuk menentukan kuantitas besaran tertentu.

Sistem elektronika digital bersifat diskrit artinya tidak ada suatu nilai yang mendua pada satu pernyataan, dalam besaran listrik ditampilkan dalam kondisi hidup (on) dan mati (off). Keadaan hidup biasa disebut dengan logika 1 (tinggi) sedangkan keadaan mati biasa disebut dengan

logika 0 (rendah).

Dari kombinasi logika tinggi dan rendah akan membentuk sebuah bilangan yang disebut bilangan biner yaitu bilangan yang berbasis pada dua angka saja (0 dan 1). Daerah tingkat tegangan listrik logika digital ditunjukkan pada gambar (2-1).

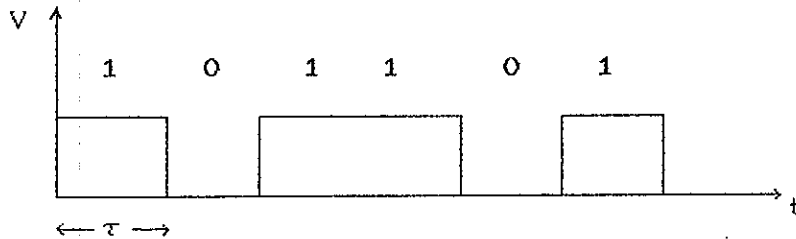


Gambar (2-1) Pembagian daerah taraf tegangan logika digital (Beach P. D., W. J. Foraker, 1991)

Unsur satuan terkecil pembentuk bilangan biner disebut bit. Misalnya pada kode ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) menentukan kode biner 01000001 untuk huruf A, kode biner 00110001 untuk angka 1 dan sebagainya. Kumpulan dari bit-bit yang mempunyai arti disebut karakter dan kumpulan dari karakter-karakter digital disebut data digital.

Suatu saluran data biner serial jika diamati dengan sebuah osiloskop maka data-data suatu karakter biner merupakan deret hidup dan mati yang ditunjukkan dengan

tingkat tegangan rendah dan tinggi seperti ditunjukkan gambar (2-2).



Gambar (2-2) Deret tegangan logika digital

Satu bit data digital memerlukan waktu  $\tau$  yang disebut dengan lebar pulsa. Semakin kecil lebar pulsa maka semakin cepat perubahan bit untuk memunculkan suatu karakter. Kecepatan ini ditentukan oleh pewaktuan (*clock*) dari pembangkit data digital tersebut.

Kombinasi data digital yang paling dasar menggunakan gerbang nalar primitif yaitu Or, And dan Not. Dari modifikasi tiga gerbang tersebut muncul rangkaian yang memungkinkan operasi matematika, pencacahan, penyimpanan data, dan lain sebagainya.

## 2.2. Gelombang Elektromagnetik

Dalam penjararannya suatu gelombang ada yang memerlukan medium ada pula yang tidak memerlukan medium transmisi. Gelombang elektromagnetik merupakan salah satu

contoh dari gelombang yang perambatannya tidak memerlukan medium perantara dalam transmisinya karena gelombang yang berjalan bukan merupakan gerakan partikel melainkan gerakan medan magnet dan medan listrik.

Medan elektromagnet pada gelombang elektromagnetik dihasilkan dari getaran listrik bolak-balik (AC) oleh osilator. Getaran listrik tersebut memiliki persamaan :

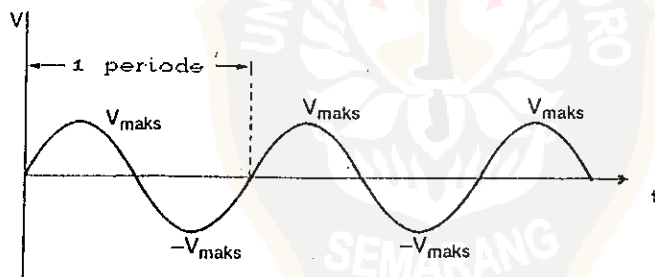
$$V_{(t)} = V_m \sin 2\pi f t \quad \dots (2-1)$$

$V_{(t)}$  = tegangan saat waktu  $t$

$V_m$  = tegangan maksimum

$f$  = frekuensi gelombang

$t$  = waktu getaran



Gambar (2-3) Osilasi dari gelombang listrik

Medan listrik yang dihasilkan oleh gerakan muatan listrik tersebut mempunyai persamaan :

$$E_y = E_{oy} \sin 2\pi f t \quad \dots(2-2)$$

$E_y$  = posisi medan listrik sepanjang sumbu-y

$E_{oy}$  = Posisi medan listrik maksimum

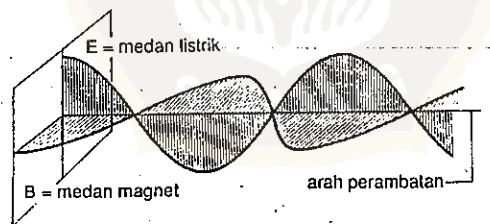
$f$  = frekuensi medan listrik

$t$  = waktu bergetar

Frekuensi yang dihasilkan medan listrik sama dengan frekuensi osilator sumber sehingga panjang gelombang dari medan listrik adalah (Tjipto Juwono, 1992) :

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \dots(2-3)$$

dimana  $v$  adalah cepat rambat dari gelombang elektromagnetik. Selain medan listrik osilator juga menghasilkan medan magnet yang amplitudo getarannya saling tegak lurus.

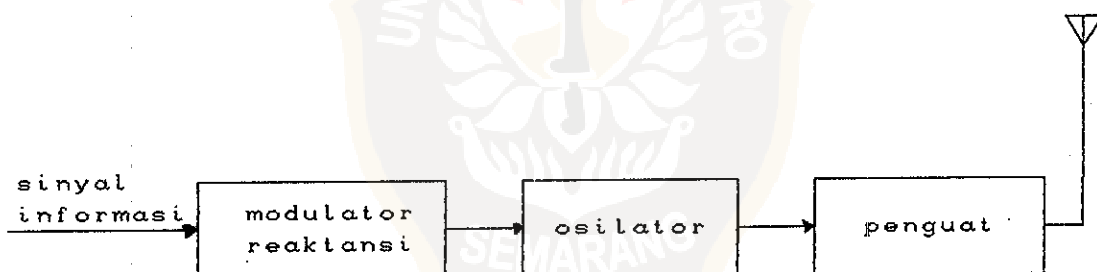


Gambar (2-4) Amplitudo getaran medan magnet dan medan listrik yang saling tegak lurus.

### 2.3. Sistem Pemancar dan Penerima Radio Komunikasi Frekuensi Modulasi

Gelombang radio merupakan jenis gelombang elektromagnetik yang dapat digunakan untuk komunikasi tanpa menggunakan kabel (*wireless communication*). Pada komunikasi radio sistem modulasi frekuensi (FM) terjadi pengaturan parameter frekuensi gelombang pembawa oleh sinyal informasi pada bagian pemancar dan dipisahkan kembali pada bagian penerima.

Modulasi frekuensi pada pemancar terjadi antara modulator reaktansi dan osilator seperti diperlihatkan gambar (2-5).



Gambar (2-5) Skema blok pemancar radio sistem modulasi frekuensi (FM). (Dennis Roddy - 1986)

Modulator reaktansi sederhana terbuat dari dioda varaktor (variabel reaktor) yang kapasitansinya dapat

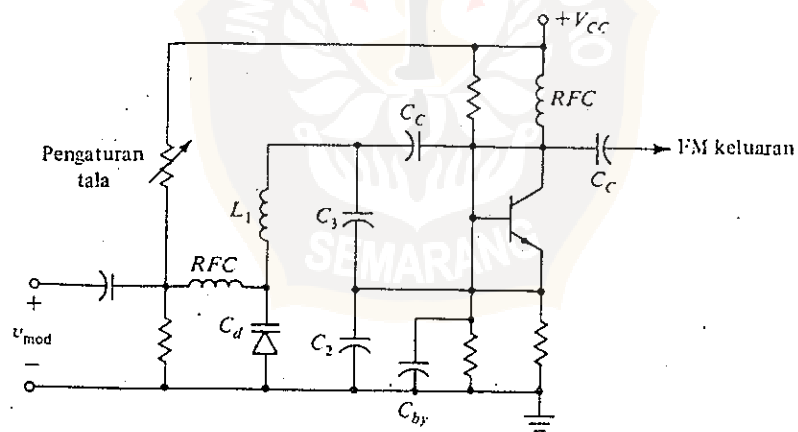
berubah jika diberi reaksi dari sinyal informasi. Kapasitansi dari dioda varaktor digunakan sebagai pengubah frekuensi dari osilator LC. Osilator memiliki frekuensi konstan (Dennis Roddy, 1986) sebesar :

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L C}} \quad \dots(2-4)$$

$f$  = frekuensi osilator (Hz)

$L$  = induktansi lilitan (Henry)

$C$  = kapasitansi kapasitor (farad)



Gambar (2-6) Rangkaian modulator dari dioda varaktor dan osilator. (Dennis Roddy - 1986)

Seperti diperlihatkan gambar (2-6) maka nilai kapasitansi dari osilator  $LC_3$  akan berubah sesuai dengan perubahan kapasitansi dioda varaktor  $C_d$  dan frekuensi osilator akan berubah selaras dengan perubahan sinyal informasi.

Jika tidak ada sinyal yang masuk maka osilator mengeluarkan gelombang harmonis dengan persamaan :

$$E_c = E_{cmak} \sin 2\pi f_c t \quad \dots(2-5)$$

dan persamaan sinyal informasi pemodulasi adalah :

$$E_m = E_{mmak} \sin 2\pi f_m t \quad \dots(2-6)$$

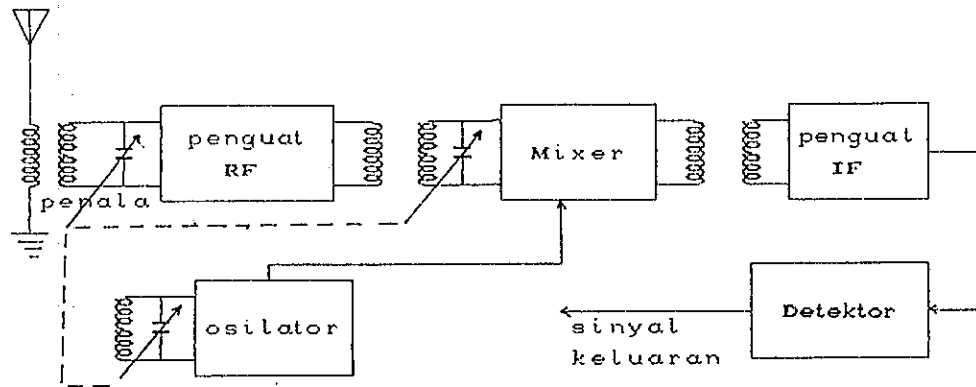
Maka frekuensi keluaran osilator hasil modulasi (Dennis Roddy, 1986) adalah :

$$f_i = f_c + f_m$$

$$f_i = f_c + \frac{\text{arc. sin } \frac{E_m}{E_{mmak}}}{2\pi t} \quad \dots(2-7)$$

Untuk mendapatkan kembali sinyal informasi yang telah dimodulasi frekuensi dengan gelombang pembawa diperlukan pesawat penerima (receiver). Skema blok dari radio penerima diperlihatkan gambar (2-7).

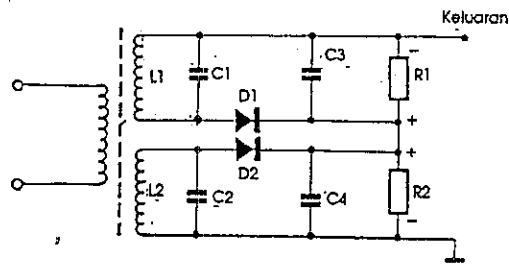




Gambar (2-7) Skema blok dari radio penerima FM.  
(Dennis Roddy - 1986)

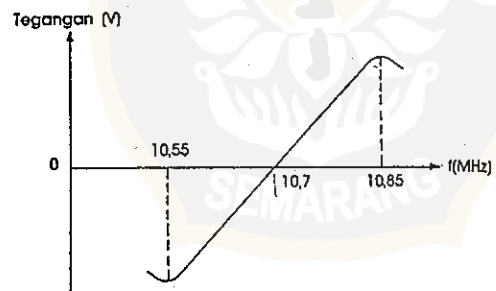
Gelombang radio dipilih melalui penala dan dikuatkan oleh penguat RF (*radio frequency*). Gelombang radio dengan frekuensi tinggi (ratusan mega hertz) tersebut digabungkan oleh mixer dengan frekuensi osilator sehingga didapatkan frekuensi antara (IF = *intermediate frequency*) yang lebih rendah sekitar 10,7 MHz. Sinyal informasi yang terdapat pada frekuensi antara dipisahkan oleh detektor sehingga diperoleh sinyal informasi yang dikirim pada pemancar. Cara kerja dari detektor gelombang radio FM diperlihatkan pada gambar (2-8).

$L_1$  dan  $C_1$  diatur untuk bersonansi pada frekuensi 10,55 MHz sedangkan  $L_2$  dan  $C_2$  pada frekuensi 10,85 MHz. Hasil keluarannya merupakan selisih tegangan antara resistor  $R_1$  dan  $R_2$ . Jika frekuensi masukan lebih besar dari 10,7 MHz maka  $L_2$  dan  $C_2$  lebih bersonansi dari pada  $L_1$  dan  $C_1$  sehingga tegangan selisih antara dioda positif. Jika frekuensi masukan lebih kecil dari 10,7 MHz maka  $L_1$



Gambar (2-8) Rangkaian detektor pada radio FM

dan  $C_1$  lebih beresonansi dari pada  $L_2$  dan  $C_2$  sehingga tegangan selisih diantara dioda negatif. Dengan demikian akan diperoleh bentuk tegangan sesuai sinyal informasi yang dikirim melalui gelombang radio. Kurva karakteristik detektor diperlihatkan pada gambar (2-9).



Gambar (2-9) kurva karakteristik keluaran detektor.

Untuk mendapatkan tegangan yang lebih besar dari keluaran detektor digunakan rangkaian penguat sinyal.

#### 2.4. Modulasi dan Demodulasi Data Digital

Modulasi artinya penyetelan atau pengaturan. Dalam dunia elektronika modulasi berarti pengaturan parameter yang dimiliki sinyal pembawa oleh sinyal informasi. Sinyal informasi tersebut misalnya : pulsa digital, sinyal dari pembangkit gelombang listrik, sinyal audio. Sebelum sinyal informasi dijadikan sebagai pengubah dari parameter sinyal pembawa maka sinyal informasi tersebut harus diubah menjadi fungsi yang sesuai kemudian baru dimodulasi dengan sinyal pembawa. Tugas tersebut dilakukan oleh peralatan pemodulasi yang disebut modulator. Untuk mendapatkan kembali sinyal yang telah dimodulasi diperlukan peralatan yang disebut demodulator.

Proses modulasi dan demodulasi sangat penting dalam pengiriman sinyal informasi pada jarak yang jauh. Proses ini merupakan solusi dari permasalahan jika suatu sinyal kecil diinginkan dapat diterima pada jarak yang jauh. Sebagai contoh data-data digital yang memiliki sinyal tegangan rendah 5 volt untuk ditransmisikan pada jarak jauh dan terhindar dari kehilangan daya sepanjang perkawatannya yang dapat merusak data maka sinyal digital tersebut diubah menjadi sinyal dengan parameter lain dan dimodulasi dengan sinyal pembawa.

Sebelum dimodulasi data-data digital diubah menjadi besaran parameter dari gelombang diantaranya :

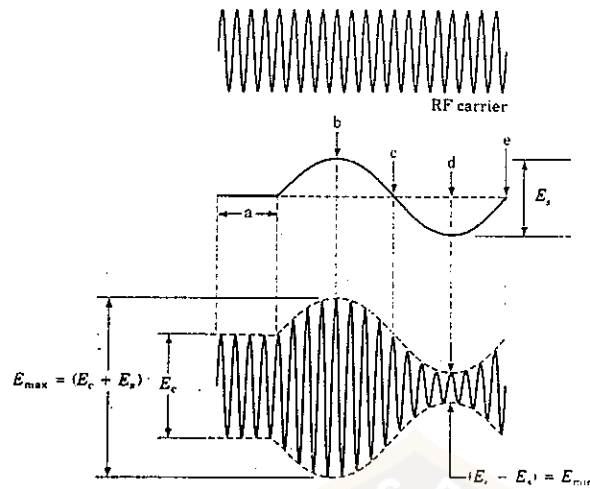
- parameter amplitudo atau *Amplitude-Shift Keying* (ASK) yaitu perubahan data digital menjadi dua besaran amplitudo yang berlainan.
- parameter dari perubahan fasa atau *Phase-Shift Keying* (PSK) yaitu perubahan data digital logika tinggi menjadi gelombang dengan beda fase  $180^\circ$  terhadap gelombang perubahan dari data logika rendah.
- parameter dari perubahan frekuensi atau *Frekuensi-Shift Keying* (FSK) yaitu dua buah data biner logika tinggi dan logika rendah diubah menjadi gelombang sinus dengan frekuensi yang berlainan.

Setelah dilakukan perubahan data digital menjadi parameter yang tepat sesuai yang dikehendaki kemudian dimodulasi dengan sinyal pembawa. Jenis modulasi dengan sinyal pembawa juga bermacam-macam, antara lain :

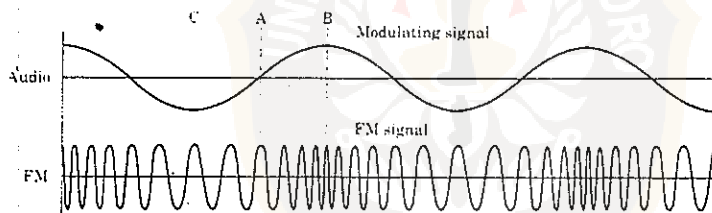
- sistem modulasi amplitudo (AM) yaitu jenis modulasi sinyal pembawa dengan perubahan besaran amplitudo gelombangnya.
- sistem modulasi frekuensi (FM) yaitu jenis modulasi sinyal pembawa dengan perubahan pada besaran frekuensi gelombangnya.
- sistem modulasi fasa (PM) yaitu jenis modulasi sinyal pembawa dengan

perubahan pada sudut fasa gelombangnya.

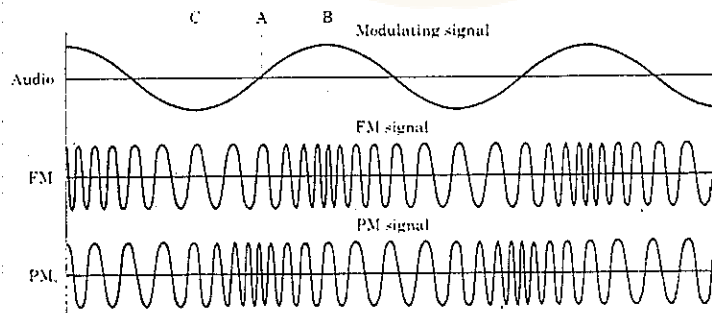
Bentuk dari gelombang pembawa adalah getaran harmonis dengan frekuensi tetap yang siap untuk diubah parameteranya sesuai dengan jenis modulasinya.



Gambar (2-10) Modulasi amplitudo



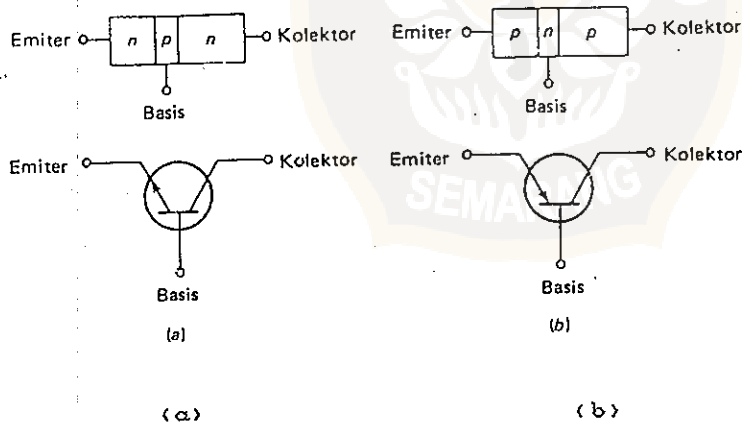
Gambar (2-11) Modulasi frekuensi



Gambar (2-12) Modulasi fasa

## 2.5. T r a n s i s t o r

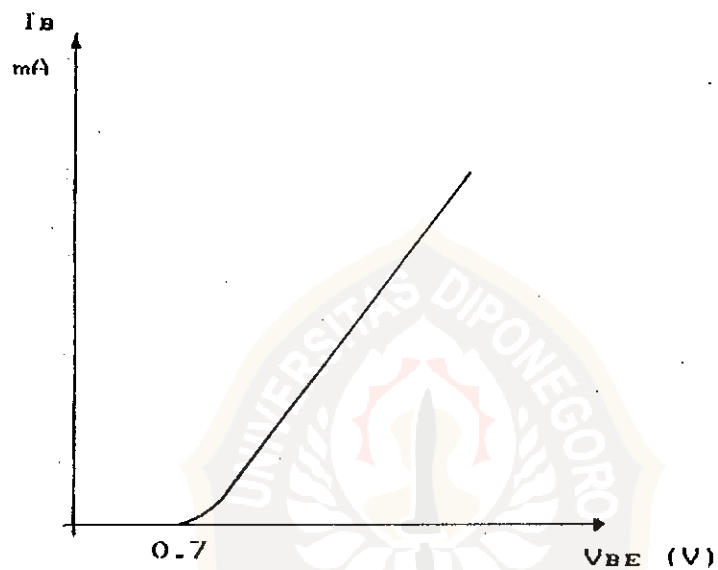
Persambungan tiga lapisan semikonduktor jenis P dan N menghasilkan komponen elektronika yang disebut transistor. Persambungan tersebut terdiri atas lapisan NPN atau PNP sekaligus merupakan klasifikasi transistor berdasarkan persambungannya. Lapisan pertama dinamakan emitor yang berfungsi sebagai penyalur atau penyuntik elektron ke lapisan tengah yaitu lapisan semikonduktor tipis yang disebut basis. Tugas dari basis adalah meneruskan elektron-elektron yang disuntikkan emitor ke lapisan ketiga yaitu lapisan kolektor. Lapisan kolektor merupakan lapisan terbesar pada transistor karena harus mengalami disipasi energi yang besar dari dua lapisan lainnya.



Gambar (2-13) Persambungan dan lambang-lambang transistor jenis NPN (a) dan jenis PNP (b).

### 2.5.1 Karakteristik Transistor

Transistor memiliki dua macam kurva karakteristik yaitu karakteristik masukan dan karakteristik keluaran. Kurva karakteristik masukan menunjukkan hubungan antara arus masukan dan tegangan masukan sedangkan kurva karakteristik keluaran menunjukkan hubungan antara arus masukan, arus keluaran dengan tegangan keluaran.



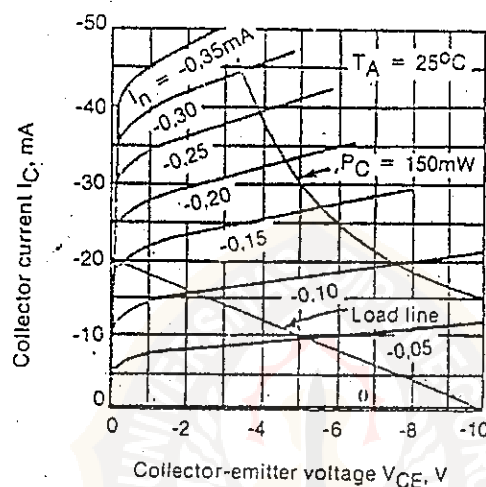
Gambar (2-14) Kurva karakteristik masukan transistor

Gambar (2-14) merupakan contoh dari kurva karakteristik keluaran transistor silikon yang mendapat tegangan bias maju basis-emitor  $V_{BE}$ . Hubungan arus masukan basis  $I_B$  dengan tegangan  $V_{BE}$  secara matematis dituliskan :

$$I_B = f(V_{BE}), \quad V_{CE} = \text{tetap} \quad \dots(2-8)$$

Kurva karakteristik transistor untuk hubungan basis-emitor yang diberikan tegangan bias maju  $V_{BE}$  dengan arus keluaran kolektor  $I_c$  tergantung pada pengaturan titik kerja arus  $I_B$  sehingga pada keluaran diperoleh harga tegangan  $V_{CE}$ , secara matematis dituliskan :

$$I_c = f ( V_{CE} ), I_B = \text{tetap} \quad \dots (2-9)$$

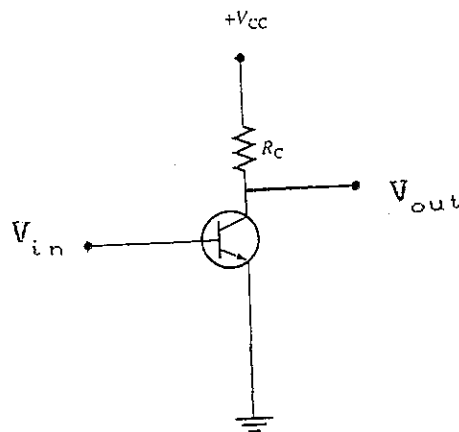


Gambar (2-15) Kurva karakteristik keluaran transistor. (H. C. Yohannes 1989)

### 2.5.2 Transistor sebagai Saklar dan Gerbang Not

Transistor difungsikan sebagai saklar dengan mengoperasikannya pada dua keadaan yang dimiliki yaitu keadaan saturasi (jenuh) dan keadaan *cut-off*. Keadaan saturasi dianggap sebagai saklar yang tertutup dan keadaan *cut-off* dianggap sebagai saklar yang terbuka.





Gambar (2-16) Transistor sebagai saklar

Jika tegangan masukan  $V_i$  pada basis sama dengan nol maka transistor berada pada keadaan *cut-off* karena tidak ada tegangan bias pada persambungan BE sehingga tegangan yang dikeluarkan transistor pada kolektor mendekati  $V_{cc}$ . Keadaan ini transistor dianggap sebagai saklar terbuka. Jika tegangan masukan  $V_i$  pada basis dinaikan maka transistor menuju ke keadaan saturasi karena tegangan tersebut menimbulkan tegangan bias pada persambungan BE sehingga tegangan pada kolektor mendekati nol. Keadaan ini transistor dianggap sebagai saklar yang tertutup.

Pengoperasian transistor pada keadaan saturasi dan *cut-off* merupakan dasar dari operasi gerbang logika *not*. Gerbang logika *not* mempunyai sebuah masukan dan sebuah keluaran. Keluaran dari gerbang *not* merupakan kebalikan dari masukannya sehingga gerbang ini disebut juga *penjungkir* atau *inverter*.



Gambar (2-17) Simbul gerbang logika digital not

Tabel kebenaran dari gerbang not adalah :

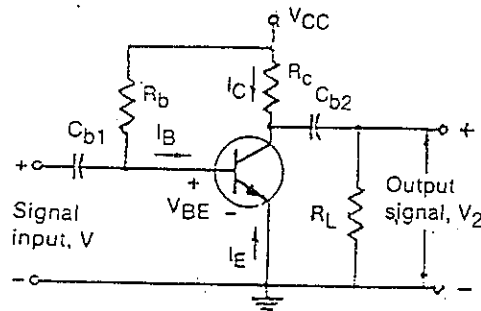
A	B
1	0
0	1

A merupakan logika masukan yang mengakibatkan transistor dalam keadaan saturasi atau *cut-off*. Jika masukan 1 berarti pada basis dimasukkan tegangan 5 volt yang mengakibatkan saturasi dan jika masukan berlogika 0 berarti tegangan masukan pada basis 0 volt dan transistor dalam keadaan *cut-off*.

## 2.6. Penguat Tunggal

Sinyal lemah dari suatu rangkaian dapat dikuatkan dengan menggunakan penguat tunggal. Penguat tunggal dengan menggunakan transistor dapat dibuat dengan rangkaian emitor terbumi (*common emiter*), basis terbumi (*common*

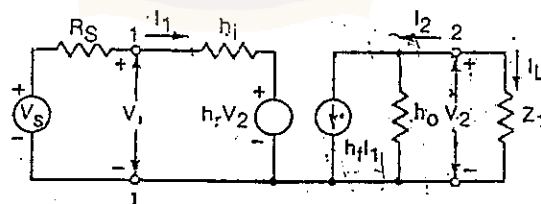
basis) atau kolektor terbumi (*common collector*).



Gambar (2-18) Rangkaian penguat dengan transistor common emitter. (H.C. Yohannes - 1989)

Agar dapat menguatkan sinyal masukan maka transistor harus diberi tegangan bias atau tegangan prasikap dengan tegangan DC yang disebut  $V_{CC}$ .  $V_{BE}$  dan  $V_{CB}$  diatur lewat tahanan-tahanan.

Untuk menghitung besarnya penguatan pada transistor maka rangkaian harus diubah ke suatu untaiian yang sama dengan rangkaian aslinya. Untaian setara terdiri atas tahanan, sumber arus, sumber tegangan serta parameter-parameter yang dimiliki transistor.



Gambar (2-19) Untai setara penguat transistor (H.C. Yohannes - 1989)

$R_s$  = hambatan dalam sumber

$V_s$  = tegangan sumber

$Z_L$  = impedansi beban

$h_i, h_o, h_f, h_r$  adalah parameter transistor

Transistor untai tertutup dan telah diberi beban memiliki  $I_1$  yaitu arus yang keluar dari suatu sumber ke kaki basis  $I_2$  yaitu arus keluaran transistor pada kaki kolektor menuju beban maka penguatan arus merupakan perbandingan antara arus keluaran dan arus masukan (H.C. Yohannes, 1989) dirumuskan :

$$A_I = \frac{I_L}{I_1} = - \frac{I_2}{I_1} \quad \dots (2-10)$$

Penguatan tegangan merupakan perbandingan antara tegangan keluaran dengan masukan (H.C. Yohannes, 1989) dirumuskan :

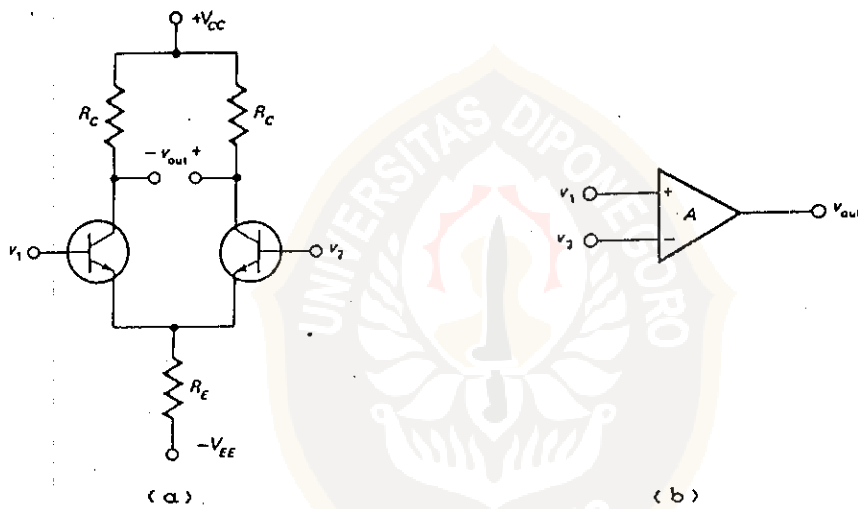
$$A_V = \frac{V_2}{V_1} \quad \dots (2-11)$$

## 2.7. Penguat Operasional (Op-amp)

Penguat operasional (*Operational amplifiere*) atau sering disingkat Op-amp merupakan rangkaian terintegrasi yang di dalamnya terdapat transistor, dioda, resistor dan kapasitor. Komponen ini memiliki dua buah masukan  $V_1$  dan  $V_2$  dan satu keluaran dari keluaran tegangan kolektor transistor di dalamnya.

Sifat-sifat ideal yang dimiliki oleh penguat operasional diantaranya :

- impedansi input  $Z_{in}$  tak berhingga
- impedansi output  $Z_{out}$  nol
- penguatan tegangan (voltage gain) tak berhingga
- lebar pita (bandwidth) tak berhingga
- Seimbang sempurna, misalnya  $V_1 = V_2$  maka  $V_{out}$  nol
- karakteristik tidak berubah oleh suhu



Gambar (2-20) Penguat operasional terdiri dari resistor dan transistor (a). Simbul Op-amp (b).

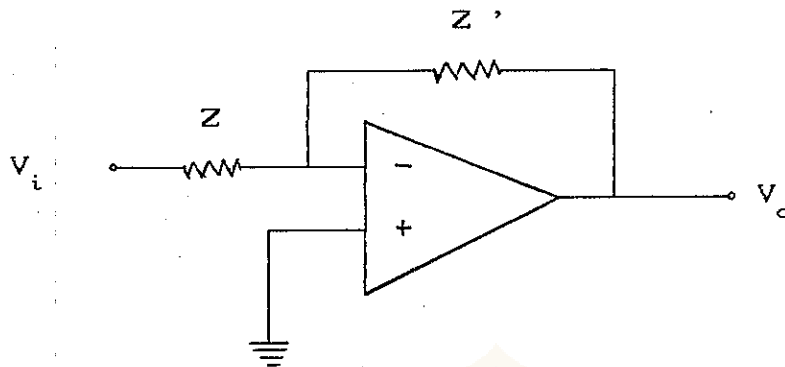
$V_1$  = tegangan input yang menyebabkan output membalik (inverting input)

$V_2$  = input tidak membalik (non-inverting input)

$V_{out}$  = tegangan keluaran

### 2.7.1 Op-amp sebagai Penguat Tegangan

Penguatan tegangan pada penguat operasional dengan menggunakan rangkaian sederhana seperti ditunjukkan gambar (2-21).



Gambar (2-21) Op-amp sebagai penguat tegangan

Besar penguatan tersebut (Malvino, 1986) adalah :

$$A = - \frac{Z'}{Z} \quad \dots (2-12)$$

maka tegangan keluarannya (Malvino, 1986) adalah :

$$V_o = - \frac{Z'}{Z} \cdot V_i \quad \dots (2-13)$$

$A$  = besar penguatan tegangan

$V_i$  = tegangan masukan

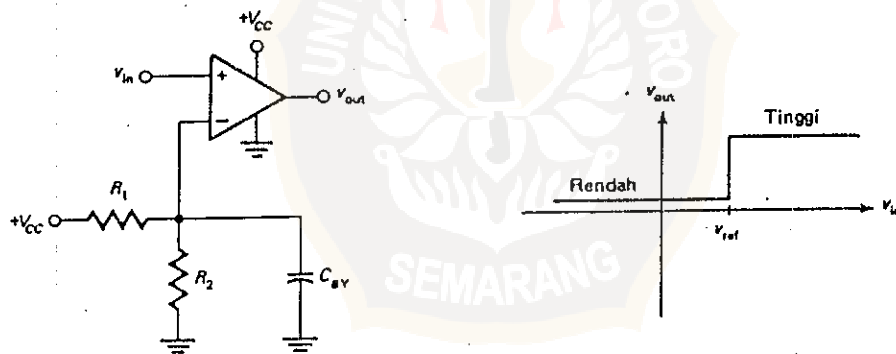
$V_o$  = tegangan keluaran

$Z, Z'$  = hambatan murni yang dipasang pada rangkaian

Pada penggunaan op-amp sebagai penguat tegangan, input tegangan *non-inverting* ditanahkan, sedangkan  $V_s$  adalah tegangan yang akan dikuatkan dimasukkan melalui masukan *inverting*.

### 2.7.2 Komparator

Komparator adalah pembanding dari suatu tegangan dengan tegangan lain untuk diketahui tegangan yang lebih besar. Rangkaian komparator dengan Op-amp membandingkan dua masukan tegangan pada *input inverting* dan *non-inverting*. Hasil pembandingan dikeluarkan pada tegangan keluaran.



Gambar (2-22) Op-amp sebagai komparator  
(Malvino - 1986)

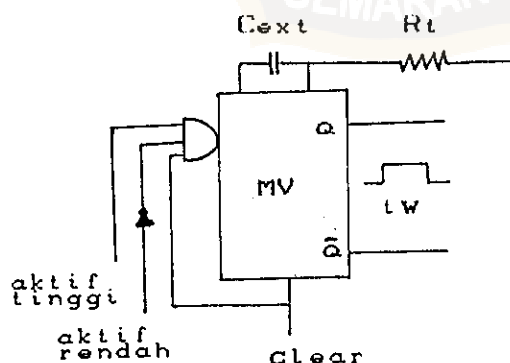
Tegangan acuan yang dimasukkan pada masukan *non-inverting* besarnya adalah :

$$V_{ref} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{cc} \quad \dots(2-14)$$

Bila  $V_{in} < V_{ref}$  maka tegangan defleksinya negatif dan keluarannya rendah, sedangkan bila  $V_{in} > V_{ref}$  maka tegangan kesalahannya positif dan keluarannya tinggi. Dari pernyataan tersebut maka Op-amp sebagai komparator hanya memiliki dua besar tegangan yaitu rendah dan tinggi. Kondisi ini sering dimanfaatkan pada rangkaian elektronika digital.

## 2.8. Monostabil Multivibrator

Multivibrator adalah rangkaian elektronik yang beresilasi dari dua status keluaran yang berbeda. Monostabil multivibrator memiliki satu keluaran kuasistabil dan keluaran stabil. Keluaran kuasistabil adalah keluaran yang hanya bertahan dalam jangka waktu tertentu. Keluaran kuasistabil akan terjadi jika mendapatkan pulsa *trigger* sisi naik pada masukannya.



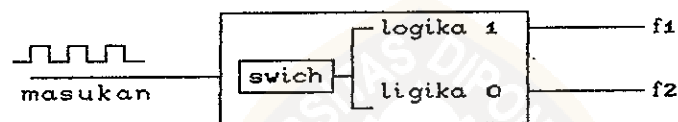
Gambar (2-23) Rangkaian monostabil multivibrator



Lebar pulsa yang dibentuk oleh keadaan kuasistabil monostabil multivibrator dapat ditentukan dari resistor dan kapasitor eksternalnya.

## 2.9. Generator Fungsi Frequency-Shift Keying (FSK)

Generator fungsi FSK adalah sebuah peralatan yang berfungsi sebagai pengubah data-data digital yang berupa gelombang kotak dengan tegangan maksimal 5 volt menjadi gelombang sinus dengan frekuensi keluaran yang berlainan antara masukan logika rendah dan logika tinggi.

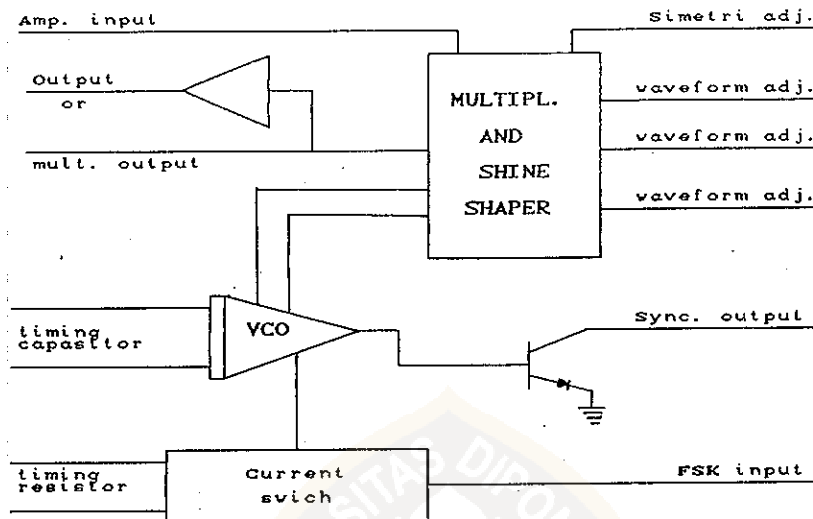


Gambar (2-24) Kerja dari generator fungsi

Generator fungsi mengeluarkan dua buah frekuensi sesuai logika masukan yaitu 0 dan 1. Frekuensi keluarannya ditentukan oleh kapasitor dan resistor eksternalnya.

Bagian utama dari generator fungsi adalah current swich yaitu bagian yang akan membedakan masukan logika tinggi dan logika rendah untuk diubah menjadi gelombang sinus dengan frekuensi yang berlainan. Bagian VCO adalah osilator yang terkendali sesuai dengan fungsi tegangan

bagian multiplier and shine shaper berfungsi sebagai penguat dan pembentuk gelombang sinus.



Gambar ( 2-25 ) Bagan dalam generator fungsi.