

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Pemancar televisi berdaya rendah

Sesuai dengan tingkat kebutuhan di jurusan teknik elektro pada bidang sistem telekomunikasi informasi, maka dibuat pemancar televisi berwarna berdaya rendah dengan sistem video multi input.

Berikut ini akan dipaparkan bagaimana sifat-sifat dasar dan karakteristik suatu pemancar TV warna berdaya rendah. Karakteristik dasar suatu pemancar harus memiliki beberapa persyaratan yang utama adalah sebagai berikut :

- a. Mampu membangkitkan sinyal pembawa informasi suara dan gambar (Audio dan Video).
- b. Memiliki kemampuan yang komabilitas.

Kompabilitas berarti pemancaran sinyal baik itu informasi sinyal hitam putih maupun informasi sinyal warna, yang artinya kedua sistem ini dapat digunakan bersama-sama tanpa mengubah sesuatu di dalam kedua sistem tersebut.

Sinyal TV dalam bentuk frekuensi radio (RF) terdiri atas sinyal gambar (*video signal*) bermodulasi amplitudo dan sinyal suara (*audio signal*) bermodulasi frekuensi. Diumpamakan sinyal TV ini beroperasi pada saluran VHF kanal 5 (frekuensi 181-188 Mhz). Sinyal pembawa berturut-turut adalah 182,25 Mhz dan 187,75 Mhz.

Persamaan gelombang bermodulasi amplitudo secara umum dapat dituliskan sebagai persamaan 2.1.

$$V(t) = V_c \cos \omega_c t + m V_c \cos \omega_m t \cos \omega_c t \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

V_c = Amplitudo sinyal pembawa (Volt)

$\omega_c = 2\pi f_c$, f_c = Frekuensi pembawa video (Hz)

$\omega_m = 2\pi f_m$, f_m = Frekuensi pemodulasi (Hz)

m = indeks modulasi

Pada persamaan ini, f_m adalah sinyal video komposisi, yang di dalamnya terkadang ada :

- Sinyal video frekuensi 25 HZ – 5 MHZ
- Sinyal pulsa blanking 15625 HZ
- Sinyal pulsa sinkronisasi 15625 HZ
- Sinyal sub pembawa 4,43 MHZ bermodulasi amplitudo dengan pembawa ditekan (suppres carrier)

Persamaan gelombang bermodulasi frekuensi secara umum dapat dituliskan sebagai persamaan 2.2.

$$V(t) = V_c \cos (1+ m \sin \omega_m t) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

V_c = Amplitudo sinyal pembawa

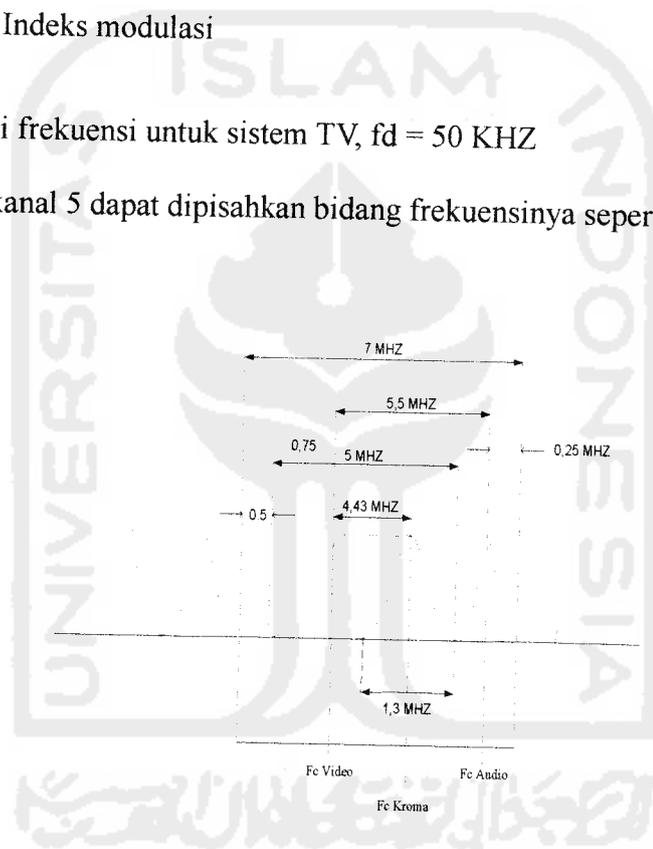
$\omega_c = 2\pi f_c$, f_c = Frekuensi pembawa suara

$\omega_m = 2\pi f_m$, f_m = Frekuensi pemodulasi (suara)

$m = \frac{f_d}{f_m}$ = Indeks modulasi

f_d = Deviasi frekuensi untuk sistem TV, $f_d = 50$ KHZ

Sinyal TV pada kanal 5 dapat dipisahkan bidang frekuensinya seperti gambar 2.1.

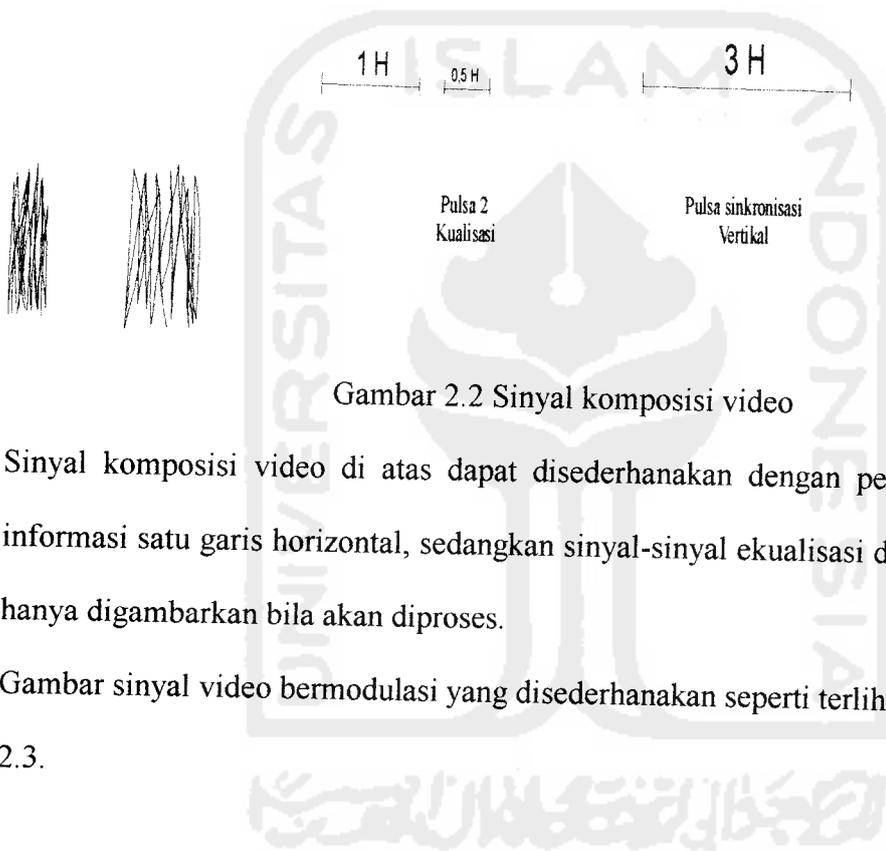


Gambar 2.1. Sinyal TV warna pada bidang frekuensi

Sinyal TV untuk keperluan pengukuran dilakukan pada pemodulasi berupa sinyal video komposisi. Tingkatannya adalah puncak sinkronisasi dengan sinyal video pada ruang hitam (*black level*). Daya sinyal ini dapat menghasilkan penyesuaian

antara daya 1 watt puncak sinkronisasi informasi video tingkat gelap 1, hitam sama dengan 0,59 watt. Data rata-rata selanjutnya dapat dibakukan sebagai sinyal televisi yang baik minimum 56 dB μ V atau 600 μ V pada 300 ohm.

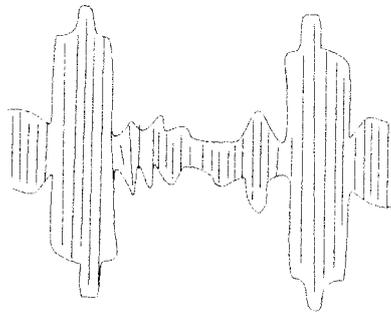
Sinyal TV dapat diuraikan dan dilukiskan pada bidang waktu. Sinyal video komposisi untuk sinyal hitam putih seperti gambar 2.2.



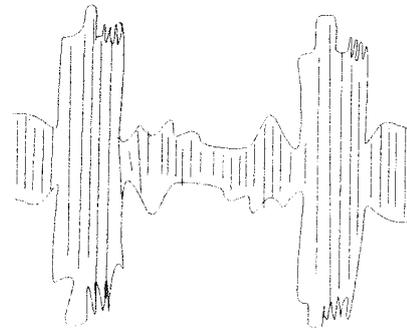
Gambar 2.2 Sinyal komposisi video

Sinyal komposisi video di atas dapat disederhanakan dengan pendekatan gambar informasi satu garis horizontal, sedangkan sinyal-sinyal ekualisasi dan sinyal vertikal hanya digambarkan bila akan diproses.

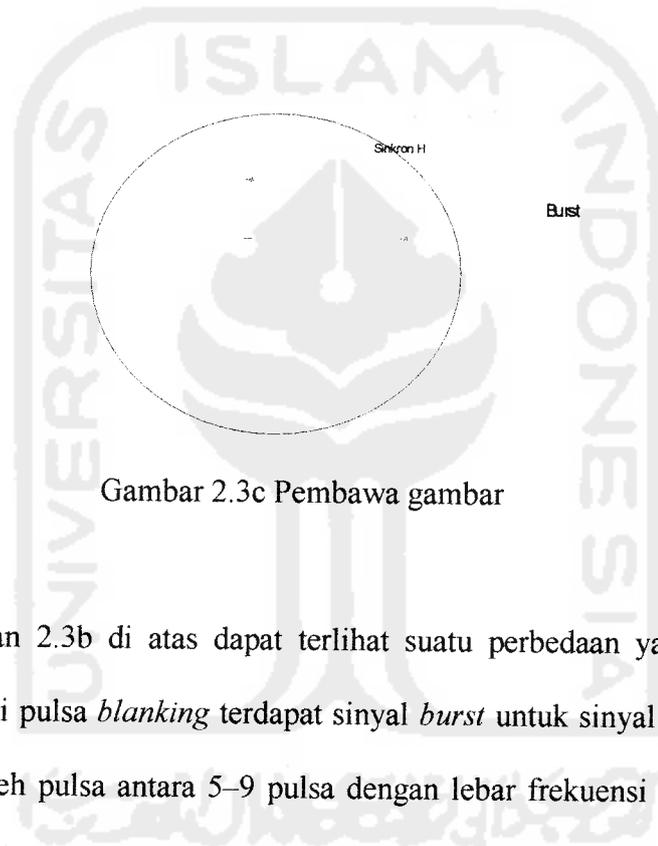
Gambar sinyal video bermodulasi yang disederhanakan seperti terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3a Sinyal hitam putih



Gambar 2.3b Sinyal warna

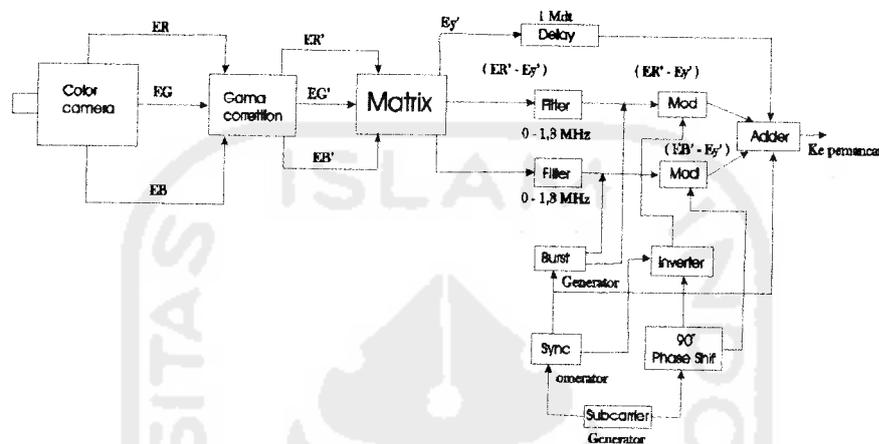


Gambar 2.3c Pembawa gambar

Gambar 2.3a, dan 2.3b di atas dapat terlihat suatu perbedaan yang tampak pada bagian depan dari pulsa *blanking* terdapat sinyal *burst* untuk sinyal TV warna sinyal *burst* diwakili oleh pulsa antara 5–9 pulsa dengan lebar frekuensi 4,43 MHz. Guna sinyal *burst* untuk mensinkronkan dengan penerimaan sinyal kroma pada pesawat penerima TV.

2.2. Kamera

Salah satu bagian penting dalam pemancar TV adalah kamera. Susunan diagram blok kamera sistem PAL yang disederhanakan.



Gambar 2.4. Blok diagram kamera

Tegangan sinyal warna dasar dari kamera ada tiga, yaitu (ER, EG, dan EB). Pertama diumpungkan ke rangkaian koreksi gama disini kompensasi untuk non linier dari tabung penampil (CRT). Tanpa koreksi maka gambar akan terpotong dan penguncian pada level rendah akan ditekan, dengan demikian perbandingan non linier menjadi kontras. Keluaran dari koreksi gama menjadi tegangan ER^1 , EG^1 dan EB^1 kemudian sinyal gama diteruskan ke matrik yang mempunyai dua fungsi ; fungsi pertama, adalah penambahan sinyal koreksi secara proporsional untuk menghasilkan sinyal Y koreksi gama. Fungsi kedua, menghilangkan sinyal hijau, dan menyisakan warna merah dan biru untuk di pancarkan oleh karena warna hijau dapat ditemukan kembali di pesawat penerima melalui rangkaian matrik dengan perbandingan sinyal

$$Y = 0,3 \text{ merah (R)} + 0,59 \text{ hijau (G)} + 0,11 \text{ biru (B)} \dots\dots (2.3)$$

$$G - Y = -0,51 (R-Y) - 0,19 (B-Y) \dots\dots\dots (2.4)$$

Selanjutnya keluaran dari matrik diteruskan ke tiga bagian, untuk sinyal E_y^1 diumpankan ke rangkaian $1 \mu d$, sedang untuk sinyal $(ER^1 - EY^1)$ dan $(EB^1 - EY^1)$ ke masing-masing rangkain filter (*band pass filter*) dengan frekuensi 0-1,3 MHZ namun sebelum dipancarkan terlebih dahulu dimodulasi dengan frekuensi sub pembawa sebesar $f_c = 4,43361875$ MHZ. Untuk sinyal informasi warna merah dengan sinyal informasi warna biru dibedakan sudut pasanya setiap 1 garis (*secanning*) horizontal adalah sebesar 90^0 , adapun sinyal warna merah diumpankan ke modulator $ER^1 - EY^1$, dan untuk warna biru ke modulator $EB^1 - EY^1$. Terakhir sinyal dari keluaran penunda $1 \mu d$, modulator $ER^1 - EY^1$, modulator $EB^1 - EY^1$ diumpankan ke rangkain penjumlah frekuensi sub pembawa digunakan untuk mengaktifkan pembangkit sinyal pembawa atau *sinkronisasi*, dan dari pembangkit sinyal *sinkronisasi* diteruskan ke rangkaian penjumlah dan pembangkit sinyal *burst*. Sinyal *burst* ini di modulasikan lagi dengan sinyal warna yang ada, sebagai sinyal identitas dari keberadaan 2 warna tadi.

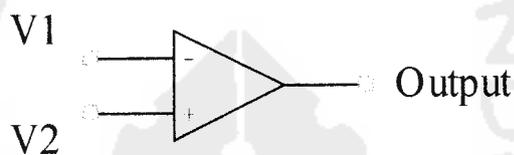
2.3. Penguat Operasional (*Operational Amplifier*)

Penguat Operasional adalah suatu penguat yang sangat stabil, digunakan sebagai implemtasi penguat operasi linier dan tidak linier melalui perubahan dari beberapa unsur eksternal seperti resistor, kapasitor, dioda dan sebagainya.

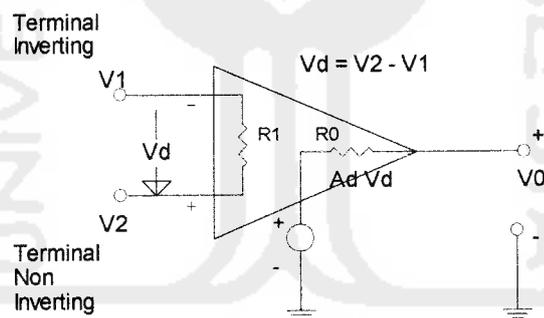
Penguat Operasional pada dasarnya terdiri atas tiga tahapan :

- Penguat diferensial berimpedansi masukan tinggi
- Penguat tegangan dengan penggeser level dapat berarus positif atau negatif
- Penguat berimpedansi output rendah

Gambar 2.5 dan 2.6 adalah lambang penguat op-amp dan rangkaian op-amp



Gambar 2.5 Simbol Penguat Operasional



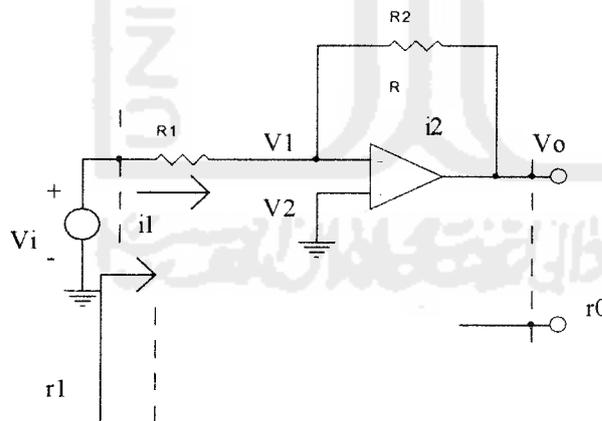
Gambar 2.6 Rangkaian ekivalen

Simbol rangkaian penguat operasional dilukiskan sebagai lambang segitiga yang sangat sederhana sekali. Model rangkaian ekivalen terdiri dari sebuah impedansi masukan R_1 terhubung antara dua terminal input V_1 dan V_2 . Rangkaian keluaran terdiri sumber tegangan terkendali $A_d V_d$ seri dengan resistensi keluaran R_0 terhubung antara terminal keluaran dan ground.

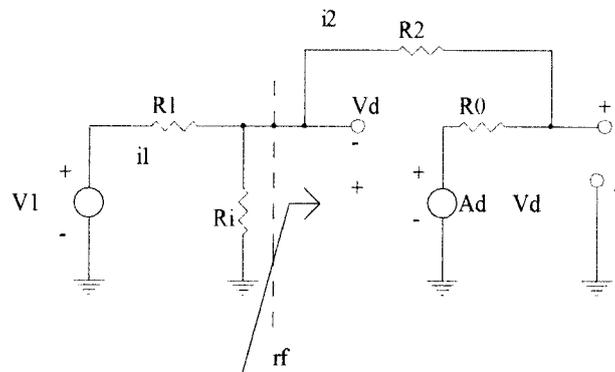
Penguatan tegangan A_d dari penguat operasional biasanya sangat besar (tipikal 100000), dibandingkan dengan penguatan keseluruhan yang dipekerjakan pada faktanya, biasanya penguatan tidak terbatas. Impedensi masukan $R_i \geq 100 \text{ k}\Omega$, resistansi eksternal dalam sistem juga sering dianggap tidak terbatas.

Tegangan masukan diferensial $V_d = V_2 - V_1 \approx 0$. Untuk keadaan ini $V_d = V_o/A_d$, dan jika V_o terbatas dan A_d tidak terbatas, V_d harus sama dengan nol. Dalam prakteknya tegangan keluaran dari suatu penguat tipikal kurang dari 10 Volt. Jika dianggap $V_d = 100000$, tegangan masukan diferensial yang menghasilkan 10 Volt pada keluaran $100\mu\text{V}$, jadi suatu selisih biasanya dapat diabaikan. Jadi sering $V_d \approx 0$ sehingga keadaan ini dianggap hubung singkat $V_1 \approx V_2$ sehingga R_i tak terhingga antara V_1 dan V_2 . Arus yang mengalir dalam R_i biasanya diabaikan karena V_o/R_i ($100\mu\text{V}/100 \text{ k}\Omega$) = 1 nA .

2.3.1. Penguatan linier pembalik (*Inverting Amplifier*)



Gambar 2.7 Rangkaian penguat linear inverting



Gambar 2.8 Rangkaian ekivalen

a. Penguat tegangan

Jika penguat operasional ideal, $i_d = 0$ penguat keseluruhan $A_v = V_o / V_i$ dari *inverter*

diperoleh dengan catatan $i_1 = i_2$

Keterangan :

V_d = Tegangan masukan differensial (Volt)

A_v = Penguatan keseluruhan (Volt)

V_1 = Input tegangan (Volt)

i = Arus (Amper)

R = resistor / tahanan (ohm)

$$i_1 = \frac{V_1 + V_d}{R_1} = i_2 = \frac{-V_d - V_o}{R_2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Karena $V_d = V_o/A_d$, dan penguat operasi ideal $V_d = 0$ karenanya rumus 2.5 dapat diturunkan sebagai berikut :

$$\frac{V_1}{R_1} = -\frac{V_o}{R_2} \dots\dots\dots(2.6a)$$

Penyelesaian untuk A_v , diperoleh

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} \dots\dots\dots(2.6b)$$

b. Impedansi masukan

$$r_i = \frac{V_i}{i_1} \dots\dots\dots(2.7)$$

Melalui hukum Kirchoff tegangan

$$V_i = R_1 i_1 - V_d \dots\dots\dots(2.8)$$

Dalam penguat operasi ideal $V_d = 0$

$$r_i \approx R_1 \dots\dots\dots(2.9)$$

Lihat gambar ekivalen diatas gambar 2.7 impedansi masukan r_i .

$$r_i = R_1 + (R_i // r_f) \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana $r_f = -\frac{V_d}{i_2}$; R_2 termasuk dalam loop dengan memakai hukum Kirchoff

tegangan

$$-V_d = R_2 i_2 + R_0 i_2 + A_d V_d \dots\dots\dots(2.11)$$

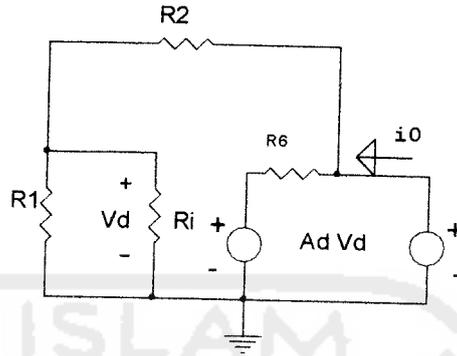
dan ini ditentukan

$$r_f = -\frac{V_d}{i_2} = \frac{R_2 + R_0}{1 + A_d} \dots\dots\dots(2.12)$$

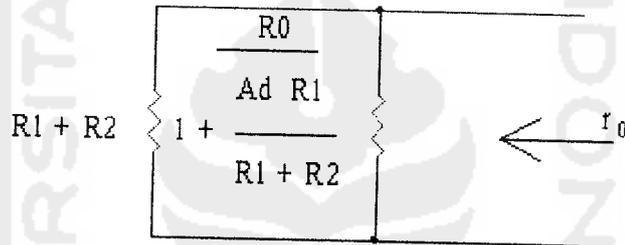
Dalam prakteknya $r_f \ll R_2$ dan $r_f \ll R_1$ jadi $r_i \approx R_1$

c. Impedansi Keluaran

Impedansi keluaran dari penguat *inverting* (penguat pembalik) seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.9 Rangkaian ekuivalen untuk menghitung impedansi keluaran



Gambar 2.10 Gambar dua resistensi paralel

Impedansi keluaran dari penguat adalah $r_o = \frac{V_o}{i_o}$

$$i_o = \frac{V_o - AdVd}{R_o} + \frac{V_o}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots (2.13a)$$

dianggap $R_i \gg R_1$ dengan asumsi

$$-Vd = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_o \dots\dots\dots (2.13b)$$

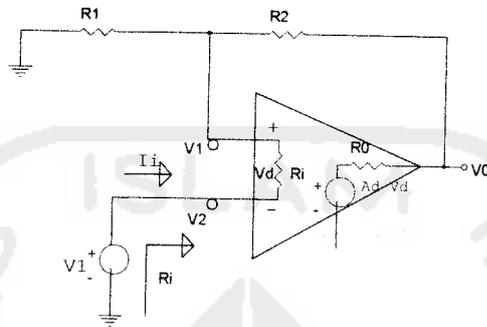
Substitusi dari persamaan 2.13b kedalam 2.13a dan pembagiya melalui V_o

$$\frac{1}{r_o} = \frac{i_o}{V_o} = \frac{1 + R_1 Ad / (R_1 + R_2)}{R_o} + \frac{1}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots (2.14)$$

dari gambar 2.8 terlihat $R_1 + R_2 \gg R_0 / [1 + AdR_1(R_1 + R_2)]$ jadi

$$r_0 \approx \frac{R_0}{1 + R_1 Ad / (R_1 + R_2)} \dots \dots \dots (2.15)$$

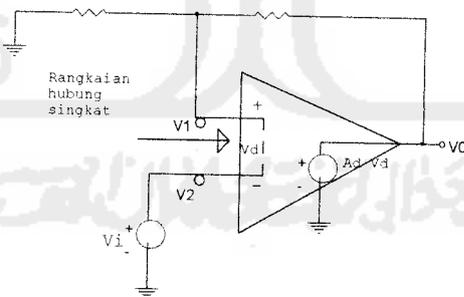
2.3.2. Penguat linier tak membalik



Gambar 2.11 Penguat Linier tak membalik

a. Penguat tegangan

Secara keseluruhan penguat tak pembalik sangat mudah ditetapkan bila penguatannya dianggap ideal. Maka $R1=0$. Ri tidak terbatas, dan Ad tidak terbatas, jadi $Vd = 0$. Maka dihasilkan gambar ekivalen seperti berikut ini.



Gambar 2.12 Rangkaian ekivalen

Dari rangkaian 2.12 diperoleh

$$V_i = V_2 = V_1 \dots \dots \dots (2.16a)$$

$$\text{dan } V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_0 \dots\dots\dots (2.16b)$$

$$\text{sehingga } A_v = \frac{V_0}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \dots\dots\dots (2.17)$$

Jadi penguatan keseluruhan tak membalik selalu lebih besar atau sama dengan ketentuan.

b. Impedensi Masukan

Pada penguat tak pembalik impedensi masukannya adalah $r_i = \frac{V_i}{i_i}$ karena $i_i = \frac{V_d}{R_i}$

$$i_i = \frac{V_d}{R_i} \dots\dots\dots (2.18a)$$

Karena $V_d = \frac{V_0}{A_d}$ jadi

$$i_i = \frac{V_0}{A_d R_i} \dots\dots\dots (2.18b)$$

Catatan bahwa

$$V_0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i \dots\dots\dots (2.18c)$$

$$\text{Diperoleh } i_i = \frac{1 + R_2 / R_1}{A_d R_i} V_i \dots\dots\dots (2.18d)$$

Sehingga impedensi keluaran adalah

$$r_i = \frac{V_i}{i_i} = \frac{A_d R_i}{1 + R_2 / R_1} \dots \dots \dots (2.19)$$

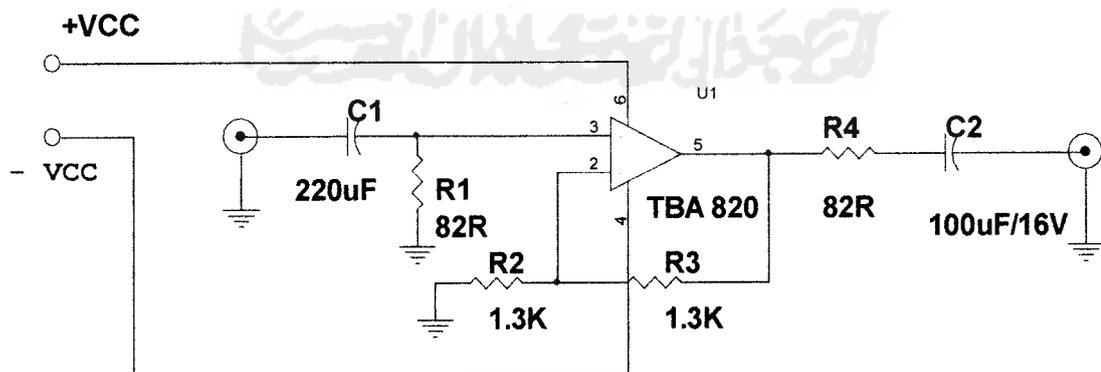
c. Impedansi Keluaran

Untuk memperoleh impedansi keluaran r_o , harus diganti sumber tegangan masukan V_i dengan menghubungkan singkat rangkaian, beri suatu sumber tegangan pengetesan pada keluaran, dan ukur arusnya melalui sumber pengetesan. Rangkaian ekivalen adalah identik terhadap rangkaian penghitung r_o untuk penguat membalik. Sehingga r_o dapat diperoleh dari.

$$\frac{1}{r_o} = \frac{1 + R_1 A_d / (R_1 + R_2)}{R_o} + \frac{1}{R_1 + R_2} \dots \dots \dots (2.20)$$

2.4. Penguat Video (*pre amp video*)

Penguat video sebuah rangkaian penguat op-amp, yang berfungsi menguatkan sinyal video, dan bisa juga berfungsi sebagai *buffer* (penyangga). Agar sinyal informasi gambar yang masuk pada rangkaian pemancar lebih baik, dan tidak membebani pemancar. Seperti pada gambar 4.7 rangkaian penguat video



Gambar 2.13. Rangkaian penguat video

Penguat video digunakan menguatkan sinyal output dari VCD, komputer, kamera, sebagai input gambar yang akan dikirimkan oleh pemancar. Pada sistem penguatan video bisa ditentukan berapa jumlah penguatan video yang dilakukan oleh penguat video. seperti pada rangkaian penguat video gambar 4.7 dapat diketahui jumlah penguatannya dengan cara sebagai berikut.

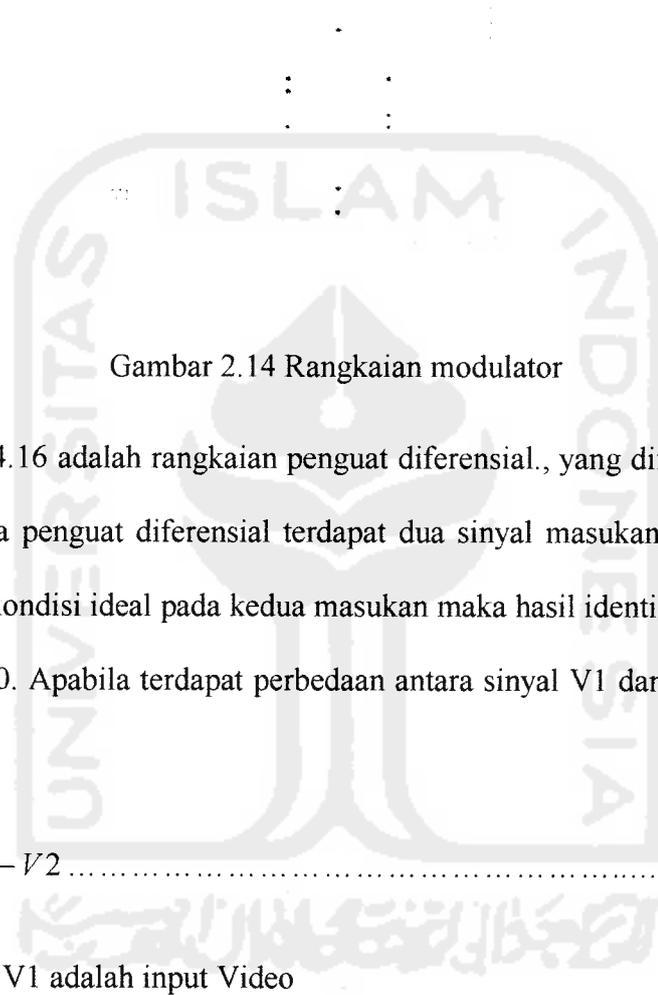
$$A_v = \frac{R_2}{R_3} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dari rumus V_{out} adalah hasil dari pembagian antara R_2 dan R_3 , maka didapat hasilnya sama dengan (1). Jadi (1) menunjukkan jumlah penguatan yang dilakukan oleh penguat. Maka penguat video tidak merubah sinyal yang masuk, dan penguat video bisa difungsikan sebagai *buffer* (penyangga), agar sinyal informasi gambar yang masuk pada pemancar tidak menjadi beban.

Pada rangkaian penguat video komponen C_1 dan R_1 berfungsi sebagai filter. Fungsi filter adalah menghilangkan noise pada sinyal yang masuk pada penguat. Setelah dikuatkan sinyal output gambar difilterkan kembali dengan R_4 dan C_2 agar sinyal yang masuk pada pemancar lebih baik. Sinyal hasil penguatan sama dengan sinyal yang masuk, karena penguatan yang digunakan hanya penguatan 1 kali, maka tidak terjadi perubahan pada sinyal keluaran dari penguat.

2.5. Modulator

Modulator yang digunakan pada sistem gambar adalah modulator AM (Amplitudo). Modulator adalah rangkaian pencampur dua input untuk menghasilkan satu output. Pada gambar 4.16 rangkaian dasar modulator.



Gambar 2.14 Rangkaian modulator

Gambar 4.16 adalah rangkaian penguat diferensial, yang difungsikan sebagai modulator. Pada penguat diferensial terdapat dua sinyal masukan (*input*) yaitu V_1 dan V_2 . Dalam kondisi ideal pada kedua masukan maka hasil identik ($V_{id} = 0$), maka keluaran $V_{od} = 0$. Apabila terdapat perbedaan antara sinyal V_1 dan V_2 , maka $V_{id} = V_1 - V_2$.

$$V_{id} = V_1 - V_2 \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana : V_1 adalah input Video

V_2 adalah Input Osilator carrier

V_{id} ini merupakan selisih dari input tegangan video dan input tegangan osilator pembawa, dengan menggunakan sistem pengurangan. Dimana output

modulator merupakan pencampura antara tegangan video dan tegangan osilator pembawa menjadi satu keluaran. Pada sistem pengiriman gambar menggunakan sistem modulasi amplitudo.

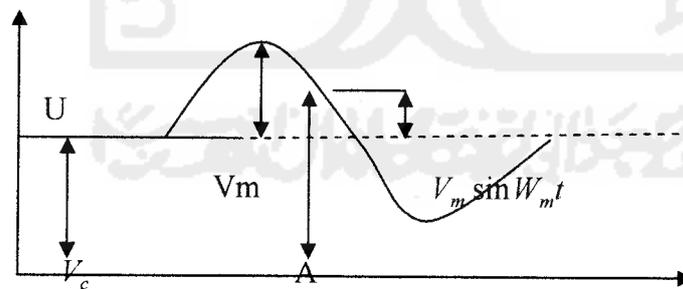
2.6. Modulasi Amplitudo

Pada modulasi amplitudo, amplitudo sinyal pembawa diubah-ubah oleh amplitudo sinyal informasi, yang memiliki frekuensi lebih rendah dibanding frekuensi sinyal pembawa. Jika sinyal informasi dan sinyal pembawa secara matematis dinyatakan sebagai berikut :

$$V_c(t) = V_c \sin W_c t \dots\dots\dots(2.23)$$

$$V_m(t) = V_m \sin W_m t \dots\dots\dots(2.24)$$

Bila terjadi modulasi, maka amplitudo sinyal termodulasi sesuai dengan perubahan amplitudo sinyal pemodulasi (informasi), seperti ditunjukkan pada gambar 4.15. untuk mempermudah pengertian, pertama dianggap sinyal pembawa atau *carrier* berupa sinyal searah DC.



Gambar 4.15 Amplitudo sinyal termodulasi AM

Dari gambar 2.15. amplitudo sinyal termodulasi dapat dinyatakan secara matematis,

$$A = V_c + V_m = V_c + V_m \sin W_m t \dots\dots\dots(2.25)$$

$$= V_c + mV_c \sin W_m t = V_c \{1 + m \sin W_m t\} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dimana m adalah indek modulasi $= V_m / V_c$

Indeks modulasi berharga antara 0 samapai 1, dan sering disebut presentasi modulasi.

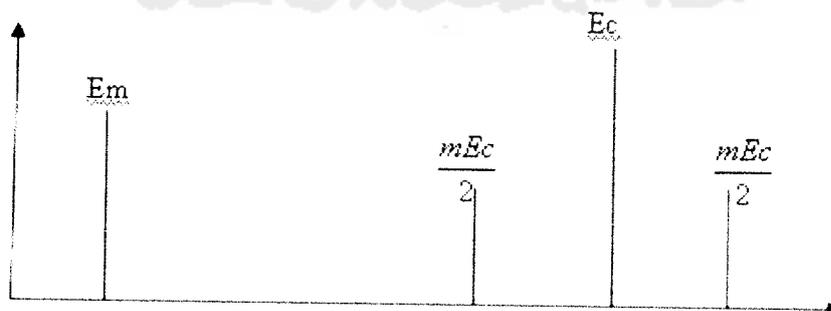
Harga tegangan sesaat sinyal termodulasi AM dapat diatur menjadi,

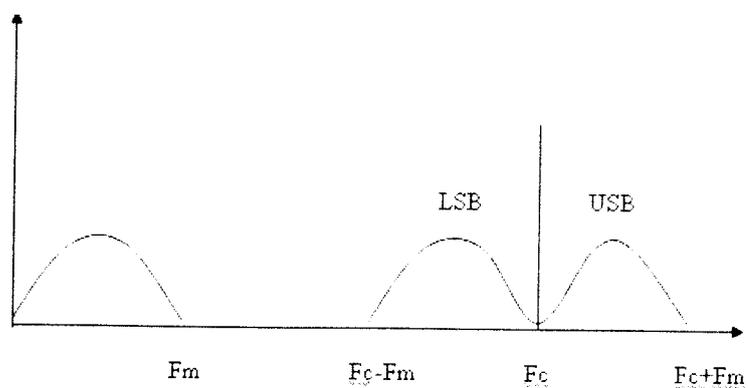
$$V = A \sin = A \sin W_c t = V_c \{1 + m \sin W_m t\} \sin W_c t \dots\dots\dots(2.27)$$

$$= V_c \sin W_c t + \frac{mV_c}{2} \cos(W_c - W_m)t - \frac{mV_c}{2} \cos(W_c + W_m)t \dots\dots\dots(2.28)$$

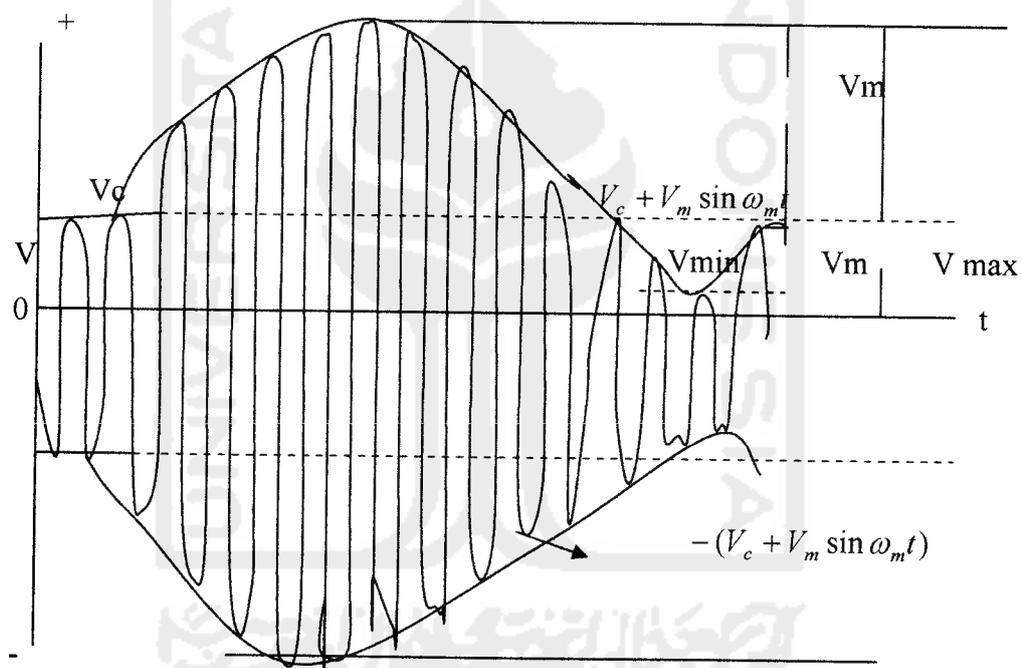
Dari persamaan diatas dapat dibaca adanya dua frekuensi *side band*. Frekuensi *lower side band* (LSB) adalah sebesar $f_c - f_m$, dan frekuensi *upper side band* (USB) sebesar $f_c + f_m$. Sehingga spektrum dari sinyal termodulasi AM dapat ditunjukkan seperti gambar 2.16, lebar *band* yang ditunjukkan untuk dapat menyalurkan sinyal AM sebesar dua kali spektrum sinyal *base band*. ($BW = 2B$).

Bentuk spektrum sinyal termodulasi AM dapat dilihat seperti pada gambar 2.16.





Gambar 2.16 Spektrum frekuensi sinyal AM



Gambar 2.17 Bentuk sinyal termodulasi AM

Melihat dari gambar 4.19 indeks modulasi sinyal AM dapat diturunkan seperti berikut,

$$V_m = \frac{V_{maks} - V_{min}}{2} \dots\dots\dots(2.29)$$

Dan

$$V_c = V_{maks} - V_m = V_{maks} - \frac{V_{maks} - V_{min}}{2} \dots\dots\dots(2.30)$$

$$= \frac{V_{maks} + V_{min}}{2} \dots\dots\dots(2.31)$$

Maka indeks modulasi dapat dihitung,

$$m = \frac{V_m}{V_c} = \frac{(V_{maks} - V_{min})/2}{(V_{maks} + V_{min})/2} \dots\dots\dots(2.32)$$

2.7. Antena

Pada sebuah pemancar antena bagian yang tidak kalah penting, karena untuk memancarkan sebuah frekuensi diperlukan antena. Antena dapat memancarkan gelombang / denyut dengan jarak tertentu. dimana dapat dilihat dari lengkung bumi yang mempunyai efek yang lebih penting, yaitu bahwa air memberikan suatu horizon (kaki langit) yang membatasi jangkauan pemancar. Jangkauan ini adalah lebih besar daripada jangkauan optis, karena atmosfer bumi mempunyai pengaruh sedemikian sehingga menyebabkan pembelokan dari gelombang radio, sehingga membawanya melewati batas horizon optis.

$$a' = \frac{3}{4}a \dots\dots\dots(2.33)$$

a = Jari – jari bumi sebenarnya

a' = Jari – jari aktif pembiasan (*refraction*)

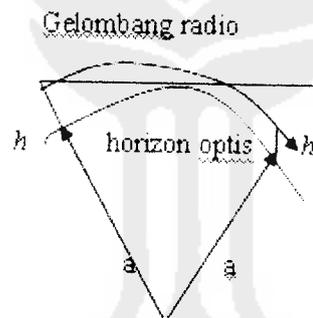
Dimana a adalah jari-jari bumi yang sebenarnya, dan a' jari – jari aktif yang memperhitungkan juga pembiasan (*refraction*).

$$(a')^2 + d_i^2 = (a' + h_T)^2 \dots\dots\dots(2.34)$$

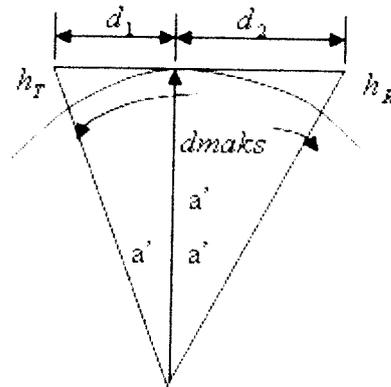
d = jarak pancar

h_T = Tinggi antenna pemancar

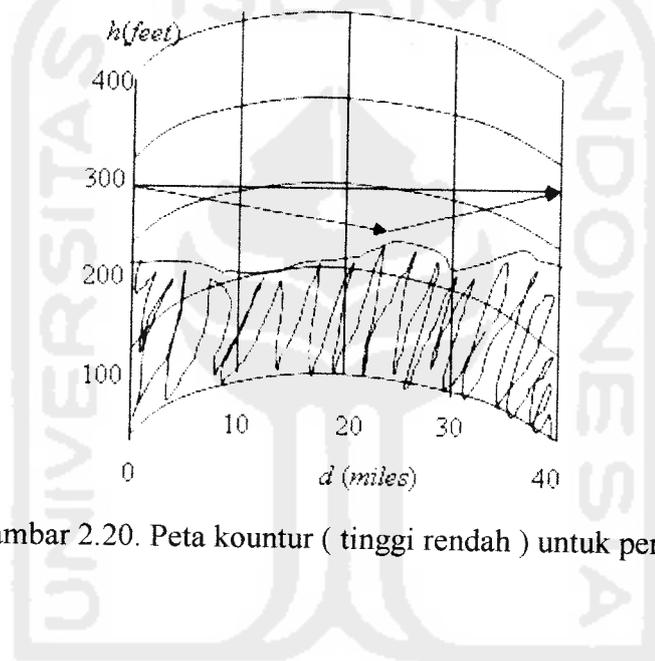
h_R = Tinggi antenna penerima



Gambar 2.18 Lengkung jalur sinar yang ditimbulkan dari perubahan indeks bias Udara



Gambar 2.19 Sinar garis lurus ekuivalen untuk jari-jari bumi aktif



Gambar 2.20. Peta kountur (tinggi rendah) untuk perencanaan jalur

karena itu ,

$$d_1^2 = 2a'h_T + h_T^2 \dots\dots\dots(2.35)$$

Tetapi karena $a \gg h_T$

$$d_1^2 = 2a'h_T \dots\dots\dots(2.36)$$

Demikian pula,

$$d_1^2 = 2a'h_R \dots\dots\dots(2.37)$$

Jangkauan pemancar maksimum d_{maks} adalah

$$d_{maks} \approx d_1 + d_2 \dots \dots \dots (2.38)$$

$$= \sqrt{2a'h_T} + \sqrt{2a'h_R} \dots \dots \dots (2.39)$$

Dengan memasukan nilai – nilai angka, $a' = \frac{4}{3} \times 3960$ mil dan dengan menyatakan h_T

dan h_R dalam feet, diperoleh rumus yang sangat berguna.

$$d_{maks} = \sqrt{2h_T(\text{feet})} + \sqrt{2h_R(\text{feet})} \dots \dots \dots (2.40)$$

Atau dalam satuan metris

$$d_{maks}(m) = \sqrt{17h_T(m)} + \sqrt{17h_R(m)} \dots \dots \dots (2.41)$$

