

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi sistem komunikasi dan instrumentasi semakin pesat, hal ini terlihat dengan bermunculannya peralatan-peralatan komunikasi yang mampu menjalankan fungsinya dengan baik sehingga manusia sebagai pengguna dapat menikmati dengan leluasa. Untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik dalam sistem komunikasi, maka didalam peralatan-peralatan komunikasi tersebut tentunya terdapat suatu sistem yang mendukung agar peralatan komunikasi tersebut berfungsi dengan baik. Salah satu sistem itu adalah tapis. Tapis adalah pengolah sinyal yang bergantung pada frekuensi. Tanggapan frekuensi tapis terdiri dari tanggapan *magnitude* dan tanggapan *phase*. Tanggapan *magnitude* berupa fungsi penguatan atau pelemahan sinyal terhadap frekuensi, sedangkan tanggapan *phase* berupa fungsi pergeseran *phase* terhadap frekuensi. Dalam sistem komunikasi dan instrumentasi, tapis mempunyai peranan yang sangat penting, hal ini disebabkan karena salah satu proses yang menentukan berhasil atau tidaknya operasi dari suatu sistem komunikasi ada dalam tapis. Berbagai jenis tapis dengan klasifikasi yang berbeda-beda diantaranya berdasarkan komponen penyusunnya, daerah frekuensi yang dilewatkan, bentuk tanggapan frekuensi terhadap *gain* dan klasifikasi berdasarkan sifat penguatannya

Klasifikasi tapis berdasarkan komponen penyusunnya,

1. Tapis LC Pasif dan RC Aktif
2. Tapis SAW (*Surface Acoustic Waves*)
3. Tapis Elektromekanik
4. Tapis Kristal *Piezoelektris*

Klasifikasi tapis berdasarkan daerah frekuensi yang dilewatkan, tapis dibagi menjadi :

1. LPF (*Low Pass Filter*)
2. BPF (*Band Pass Filter*)
3. HPF (*High Pass Filter*)
4. BSF/BRF (*Band Stop Filter/Band Reject Filter*)
5. *All Pass Filter* (hanya memperhatikan tanggapan *Phasa*)

Klasifikasi tapis berdasarkan bentuk tanggapan frekuensi terhadap *gain*, tapis dibagi menjadi :

1. Tapis *Bessel* (*Maximally Flat Time Delay*)
2. Tapis *Cauer* (*Elliptic*)
3. Tapis *Butterworth* (*Maximally Flat*)
4. Tapis *Chebyshev* (*Tchebycheff*)

Klasifikasi tapis berdasarkan sifat penguatannya, tapis dibagi menjadi :

1. Tapis aktif : bersifat menguatkan
2. Tapis pasif : Bersifat tidak menguatkan

Dari sekian banyak jenis tapis, masing-masing tapis mer  
dan aplikasi yang berbeda-beda. Salah satu aplikasinya dalam sist

*carrier* yang berfrekuensi tinggi dengan sinyal informasi yang berfrekuensi rendah. Untuk mendapatkan sinyal informasi yang berfrekuensi rendah maka digunakan tapis lolos rendah. Agar sinyal informasi yang didapatkan seakurat mungkin, maka kinerja tapis lolos rendah juga harus seoptimal mungkin atau dapat juga dikatakan tanggapan *magnitude* tapis lolos rendah harus seideal mungkin, dimana tapis lolos rendah memiliki tanggapan ideal berupa garis lurus mendatar (*horizontal*) dari frekuensi yang sama dengan nol hingga mencapai frekuensi *cut off* dimana kurva tanggapan selanjutnya (untuk frekuensi diatas frekuensi *cut off*) adalah berupa garis lurus vertikal. (George Clayton, Steve Windcr, 2005).

Untuk mendapatkan *output* tapis lolos rendah yang mendekati ideal maka tapis yang akan dibuat adalah jenis tapis aktif lolos rendah *butterworth*. Tapis aktif lolos rendah *butterworth* mempunyai kelebihan, antara lain tapis ini bersifat menguatkan, hal ini dimaksudkan agar sinyal masukan tidak segera mengalami pelemahan (*attenuation*) selama rangkaian meneruskan sinyal-sinyal dengan frekuensi yang dikehendaki. Kelebihan yang lain adalah tanggapan *magnitude* pada daerah *passband* menghasilkan kerataan yang maksimal dan pada daerah peralihan yang curam.

Tapis lolos rendah banyak diaplikasikan dalam sistem komunikasi, salah satunya adalah aplikasi pada proses demodulasi tegangan AM (*Amplitudo Modulation*), dimana pada aplikasi ini isyarat pemodulasinya menggunakan

## B. Identifikasi Masalah

Dalam pembuatan tapis aktif lolos rendah *butterworth* ini dilakukan identifikasi masalah :

1. Tapis lolos rendah memiliki tanggapan ideal berupa garis lurus mendatar (*horizontal*) dari frekuensi yang sama hingga mencapai frekuensi *cut off* dimana kurva tanggapan selanjutnya (untuk frekuensi diatas frekuensi *cut off*) adalah berupa garis lurus vertikal, namun fakta dilapangan tanggapan yang ideal ini sulit didapatkan dan juga adanya efek *non linear* sehingga mengakibatkan tanggapan tapis jauh dari keadaan ideal dan hal ini pada beberapa aplikasi akan menimbulkan pengaruh yang tidak diinginkan, seperti adanya salah pengiriman sinyal informasi atau sinyal informasi yang diterima pada stasiun penerima kurang akurat. Hal ini tentu akan mengganggu jalannya komunikasi.
2. Terjadinya attenuasi yang berhingga (*finite*) pada *stop band* dan terjadi ombak (*ripple*) baik pada *passband* maupun *stopband*.

## C. Batasan Masalah

Dalam skripsi penapis aktif lolos rendah *butterworth* dengan frekuensi *cut off* 1 KHz ini masalah akan dibatasi pada bagaimana membuat tapis lolos rendah yang

#### D. Tujuan

Tujuan dari pembuatan tapis aktif lolos rendah *butterworth* ini adalah :

1. Membuat tapis aktif lolos rendah *butterworth* yang tanggapan *magnitude*-nya mendekati ideal dengan frekuensi *cut off* sebesar 1 KHz.
2. Dapat mengetahui tanggapan *magnitude* dan tanggapan *phase* terhadap adanya perubahan frekuensi.

#### E. Manfaat

Dengan dibuatnya tapis aktif lolos rendah *Butterworth* dengan frekuensi *cut off* 1 KHz, diharapkan dapat diaplikasikan pada sistem komunikasi. Misalkan saja diaplikasikan pada proses demodulasi tegangan AM (*Amplitudo Modulation*), dimana pada proses ini isyarat pemodulasinya menggunakan frekuensi 1 KHz. Pada aplikasi ini tapis lolos rendah berfungsi untuk memurnikan gelombang pemodulasi sehingga akan menghasilkan SNR (*Signal Noise to Ratio*) yang tinggi, dan hal ini akan berakibat pada sinyal informasi yang diterima pada stasiun penerima akan terdengar jernih dan mirip dengan aslinya. Aplikasi yang lain dari tapis lolos rendah adalah sebagai tapis sinyal audio.

## **F. Sistematika Penulisan**

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bagian ini membahas tentang latar belakang, identifikasi masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Bagian ini membahas tentang pengertian tapis, klasifikasi tapis, komponen tapis.

### **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

Bagian ini membahas tentang alat dan bahan, tata cara, diagram blok rangkaian tapis aktif, analisis data dan pembahasan serta kesimpulan.

### **BAB IV. HASIL DAN ANALISIS DATA**

Bagian ini membahas tentang hasil perancangan alat dan analisis data.

### **BAB V. PENUTUP**

Bagian ini berisi kesimpulan dan saran

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Tapis

Tapis didefinisikan sebagai rangkaian atau jaringan listrik yang dirancang untuk melewatkan atau meloloskan arus bolak-balik yang dibangkitkan pada frekuensi tertentu serta memblokir atau memperlemah semua arus bolak-balik yang dibangkitkan dengan frekuensi-frekuensi yang lain. Tapis memiliki aplikasi yang sangat luas dalam rekayasa listrik dan elektronik serta merupakan elemen yang sangat penting peranannya dalam banyak sistem komunikasi dan instrumentasi dimana proses pemisahan dari sinyal-sinyal yang diinginkan dan yang tidak diinginkan, termasuk didalamnya adalah sinyal-sinyal pengganggu *noise*, ini merupakan proses yang esensial untuk mencapai keberhasilan operasi dari fungsi sistem yang bersangkutan. (George Clayton, Steve Winder, 2005)

Dalam telekomunikasi, penyaringan sinyal-sinyal diperlukan untuk memisahkan sinyal yang dikehendaki dari sinyal-sinyal lain yang dipancarkan, dan juga untuk memperkecil pengaruh kebisingan dan interferensi pada sinyal yang dikehendaki tersebut. Tapis-tapis elektrik dapat dibuat dengan menggunakan resistor-resistor, kapasitor-kapasitor dan induktor-induktor atau ketiga jenis komponen tersebut sekaligus, dan akan terlihat bahwa sekurang-kurangnya harus

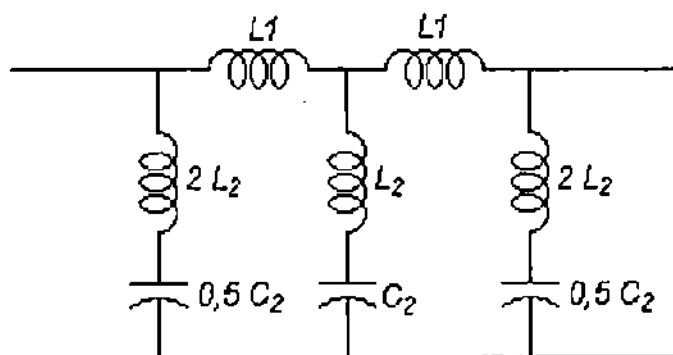
## 1. Klasifikasi Tapis

### a. Klasifikasi Tapis Berdasarkan Komponen Penyusunnya

(Dennis Roddy, John Coolen, Edisi 3, 1984)

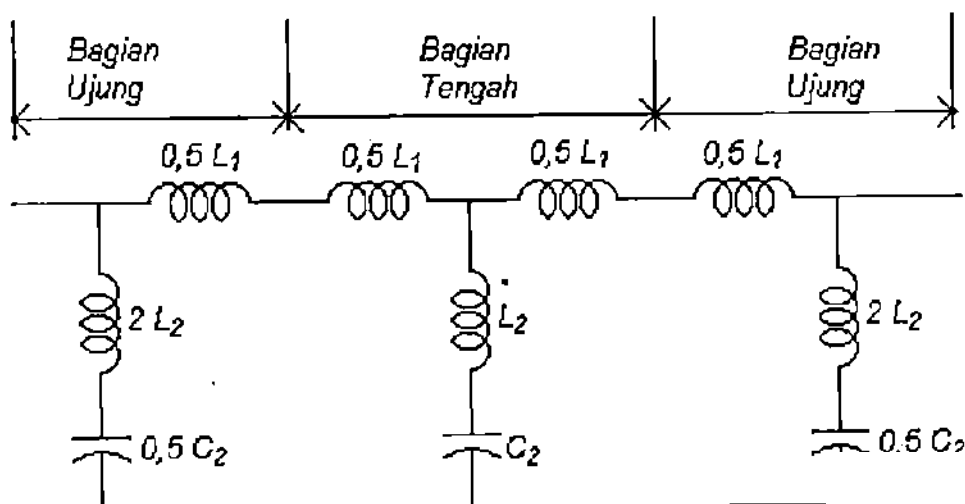
#### 1. Tapis LC Pasif dan RC Aktif

Rangkaian tapis LC lolos rendah dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rangkaian Tapis Lolos Rendah

Rangkaian tapis pada Gambar 2.1 dapat dianggap sebagai terbuat dari 2 bagian ujung dan sebuah bagian tengah (*intermediate*) seperti terlihat pada Gambar 2.2.





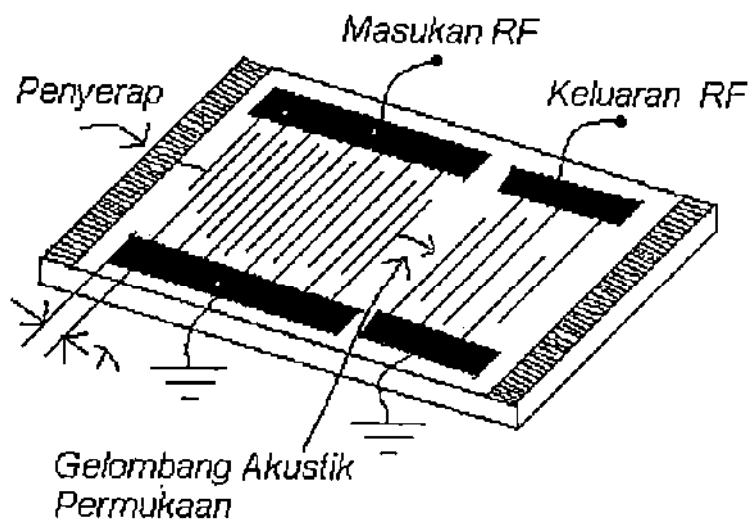
Tapis dapat diperpanjang dengan menambah bagian-bagian tengah, sementara bagian-bagian ujung tetap tidak diubah. Pemanjangan tapis dengan cara seperti ini dapat mempertajam *cut off* atau daerah transisi tanggapan.

## 2. Tapis SAW (*Surface Acoustic Waves*)

Kristal *piezoelektris* bekerja tergantung pada gelombang-gelombang akustik volume (*bulk acoustic waves*), yaitu getaran-getaran mekanis yang merambat melalui volume atau massa dari benda padat. Dengan meningkatnya frekuensi kerja, diperlukan pula kristal-kristal yang lebih tipis dan ini menentukan suatu batas frekuensi tertinggi yang terletak kira-kira pada 50 MHz. Gelombang-gelombang akustik permukaan (*Surface Acoustic Waves*) dapat juga ditimbulkan pada sebuah benda padat, dimana getaran-getaran mekanis merambat pada permukaan dari benda padat tersebut. Molekul-molekul pada permukaan sebenarnya mengikuti suatu jalur eliptis yang sedikit menembus atau merembes kedalam volume benda tersebut. Dalam hal bahan *piezoelektris*, suatu EMF *piezoelektris* dibangkitkan pada permukaan, dan ini memberikan suatu cara untuk menggandengkan suatu sinyal listrik kedalam atau keluar dari gelombang akustik permukaan. Kecepatan rambatan dari gelombang akustik permukaan adalah dalam orde 3000 m/detik. Karena panjang gelombang dan frekuensi saling berhubungan menurut  $v = \lambda f$

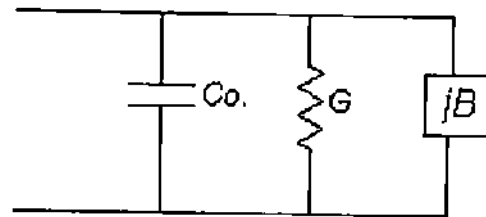
suatu frekuensi dari 100 MHz misalnya akan menimbulkan

gelombang permukaan sebesar  $30 \mu\text{m} = (1 \mu\text{m} = 0,000001\text{m})$ . Susunan elektroda pada suatu peralatan gelombang akustik permukaan memerlukan jarak-jarak dalam orde satu panjang gelombang, sehingga dengan demikian dapat dibuat peralatan-peralatan yang sangat ringkas. Karena proses terjadi di permukaan, ukuran volume dapat dipilih untuk memberikan kekuatan mekanis tanpa mengganggu proses dipermukaan. Elektroda-elektroda dapat diletakkan (*deposited*) pada permukaan dengan menggunakan salah satu dari beberapa metode-metode yang sudah terkenal dalam penerapan produksi untuk pembuatan *integrated circuit* silikon. Konfigurasi elektroda dasar dapat dilihat pada Gambar 2.3. susunan elektroda terdiri dari garis-garis logam yang diselang-seling, dimana jarak antara garis-garis yang dihubungkan satu dengan yang lain adalah satu panjang-gelombang  $\lambda$ . Ini adalah panjang gelombang pusat dan tapis mempunyai suatu karakteristik *bandpass*, dimana tanggapan akan berangsur-angsur mengecil bila frekuensi masukan digeserkan kemasing-masing sisi dari frekuensi tengah (pusat). Bentuk kurva tanggapan yang sebenarnya tergantung pada konfigurasi elektroda, dan bermacam-macam kombinasi amplitudo dan fasa mungkin terjadi. Meskipun demikian,



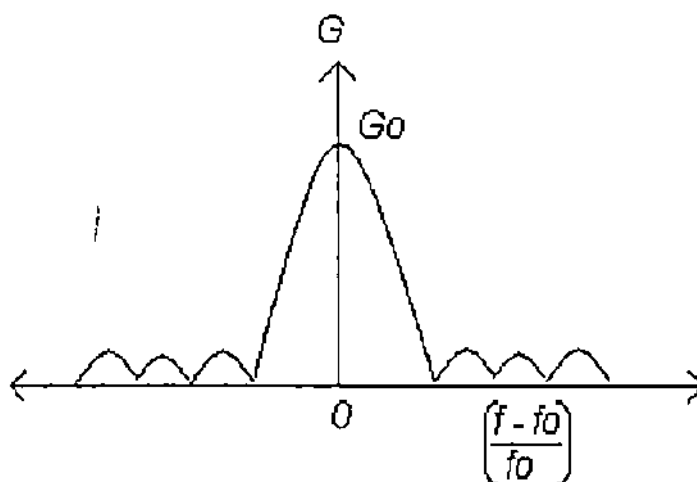
Gambar 2.3 Konfigurasi Dasar untuk Sebuah Saluran Pelambat Gelombang Akustik Permukaan

Susunan elektroda keluaran dan masukan adalah serupa, dan ini dikenal dengan nama transduser-transduser interdigital (interdigital transducers = IDT). Gelombang akustik permukaan yang dibangkitkan oleh gandingan masukan (*input coupling*) merambat kedua jurusan. Jadi hanya sebagian dari keseluruhan gelombang akustik permukaan dapat mencapai IDT keluaran. Bagian yang lain diserap atau disebarkan pada elektroda yang ditempatkan diujung untuk maksud tersebut. Ini mencegah terjadinya gelombang-gelombang pantulan. Rangkaian ekuivalen dari IDT dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Rangkaian Ekuivalen untuk Sebuah Transduser Gelombang Akustik Permukaan Interdigital

Kapasitansi  $C_0$  ditentukan oleh struktur geometris dan konstanta dielektrik dari substrat. Komponen suseptansi dari  $jB$  adalah nol pada frekuensi tengah tapis dan memperlihatkan suatu variasi periodik dengan frekuensi. Disekitar frekuensi tengah suseptansi ini adalah induktif untuk frekuensi-frekuensi yang lebih tinggi dan kapasitif untuk frekuensi-frekuensi yang lebih rendah. Konduktansi  $G$  adalah juga suatu fungsi dari frekuensi. Perubahan  $G$  dengan frekuensi dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Tanggapan Frekuensi dari Komponen Konduktansi  $G$ .  $f_0$  adalah Frekuensi Tengah dari Tapis

### 3. Tapis Elektromekanis

Suatu piringan logam yang digerakkan secara mekanis oleh suatu gaya yang berosilasi dan dikenakan pada sumbunya akan memperagakan suatu modus resonansi yang analog dengan resonansi paralel dalam rangkaian listrik. Demikian pula, suatu batang (*rod*) yang digerakkan pada sumbunya akan memperagakan resonansi seri. Bila serangkaian piringan dan batang-batang saling dihubungkan untuk membentuk suatu jala-jala berbentuk tangga (*ladder network*), dan resonansi dari bermacam-macam komponen tersebut dipilih dengan tepat, dapat dihasilkan suatu tapis *bandpass* dengan karakteristik *cut off* yang tajam. *Collins* Radio telah mengembangkan suatu filter mekanis jenis ini untuk penggunaan tapis mekanis sebagai tapis-tapis *sideband* pada pesawat-pesawat penerima komunikasi. Tapis ini digerakkan secara elektrik lewat penggandeng-penggandeng magnetostriktif (*magnetostrictive couplers*), dan pada umumnya bekerja dalam daerah 100 KHz. *Bandwidth* sampai selebar 5 KHz dengan karakteristik *cut off* yang sangat tajam dapat diperoleh. Unit ini dibungkus dalam kemasan-kemasan yang berukuran panjang kira-kira 2 inci dan penampang  $\frac{1}{2}$  inci persegi, dan dirancang untuk montase (*mounting*) pada papan rangkaian cetak (*printed circuit board*).

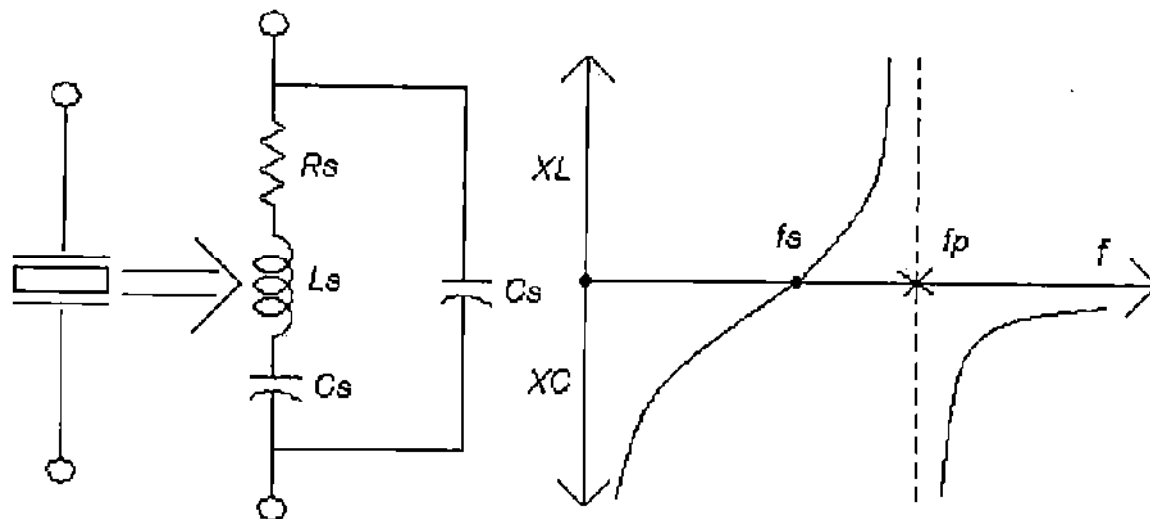
### 4. Tapis Kristal Piezoelektris

Kristal-kristal *Piezoelektris* mempunyai sifat bal

secara fisik akan membengkok atau berubah bentuk. Sebaliknya, bila kristal yang sama diubah bentuknya secara mekanis dengan tekanan, suatu potensial listrik akan terjadi diantara permukaan-permukaannya. Kristal itu juga memperlihatkan gejala resonansi mekanis bila dipacu oleh suatu potensial bolak-balik (*alternating*) dengan frekuensi yang tepat. Frekuensi resonansi mekanis itu ditentukan oleh ukuran besar dan bentuk dari contoh kristal yang bersangkutan dan dapat diatur untuk mendapatkan beberapa tingkat frekuensi, yaitu kira-kira 20 KHz hingga kira-kira 50 MHz, dengan ketelitian yang cukup baik. Secara listrik, resonansi mekanis alat ini membuat kristalnya terlihat sebagai suatu rangkaian resonansi seri dengan  $Q$  yang tinggi sekali, dan dengan sebuah kapasitor yang paralel dengannya. Kapasitor ini menyebabkan suatu resonansi paralel kedua, yang terjadi pada suatu frekuensi dekat sekali dengan titik resonansi mekanis. Reaktansi suatu kristal kuarsa (*quartz*) dapat dilihat pada Gambar 2.6, dan terlihat bahwa untuk frekuensi-frekuensi rendah hingga resonansi mekanis seri, kristal itu bersifat kapasitif. Untuk frekuensi-frekuensi diantara resonansi seri dan titik-titik resonansi paralel, reaktansi itu induktif, dan untuk frekuensi-frekuensi diatas resonansi paralel, reaktansi tersebut kembali bersifat kapasitif. Pada resonansi  $X_{L_s} = X_{C_s}$  dan reaktansi adalah nol, sedangkan pada resonansi paralel  $X_{L_s} = (X_{C_s}$  seri  $X_{C_p})$  dan reaktansi adalah tak terhingga. Frekuensi-frekuensi

kristal adalah sangat tertentu dan sangat mantap (*stable*).

rangkaian resonansi  $Q$ -tinggi yang mengatur frekuensi kerja dari rangkaian osilator.



Gambar 2.6 Kristal Piezoelektris Kuarsa

Penempatan suatu induktansi paralel dengan kristal kuarsa akan merubah karakteristik reaktansinya dengan radikal. Frekuensi resonansi seri tetap tidak berubah, tetapi frekuensi resonansi paralel digeser menjadi lebih tinggi, sehingga jarak pemisah antara keduanya adalah lebih besar dari pada jarak untuk kristal itu sendiri.

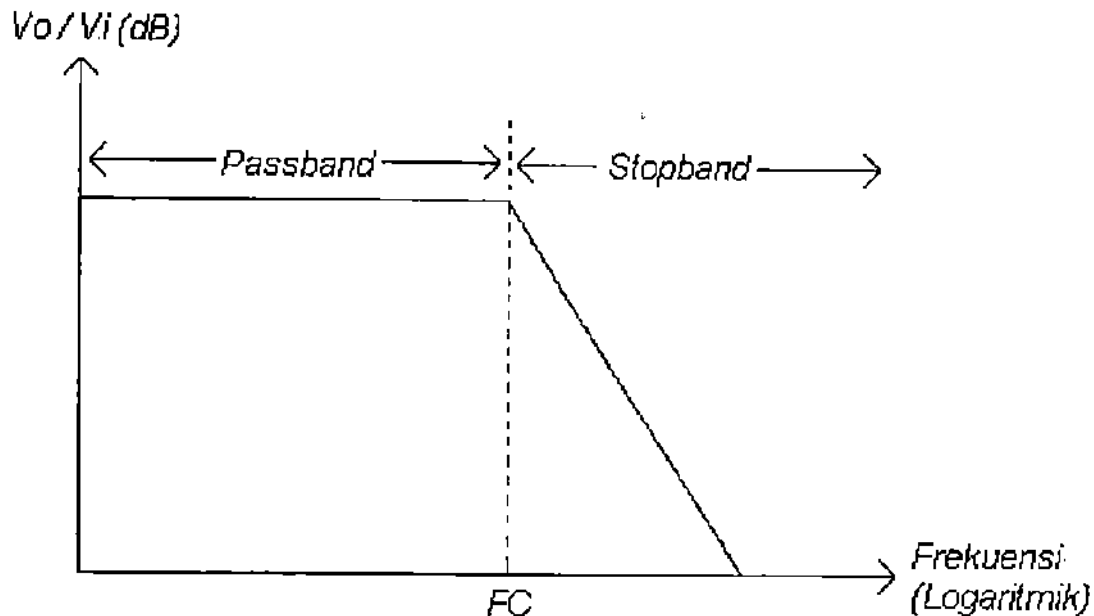
## b. Klasifikasi Tapis Berdasarkan Daerah Frekuensi yang Dilewatkan

(Agfianto Eko Putra, 2002)

### 1. LPF (*Low Pass Filter*)

Sebuah tapis lolos rendah membolehkan sinyal-sinyal dengan frekuensi rendah dilewatkan (diloloskan) hanya dengan sedikit habuk dan tidak s

hingga frekuensi sinyal tertentu, diatas frekuensi ini, tapis akan menahan sinyal-sinyal masukan.



Gambar 2.7 Kurva Umum Karakteristik Tapis Lolos Rendah

Keterangan :

$\frac{V_o}{V_i}$  (dB) = *Amplitude Response* (tanggap amplitude), satuannya *deci*

*Bell*

$f_c$  = *Cut Off Frequency*.

Berdasar definisi :

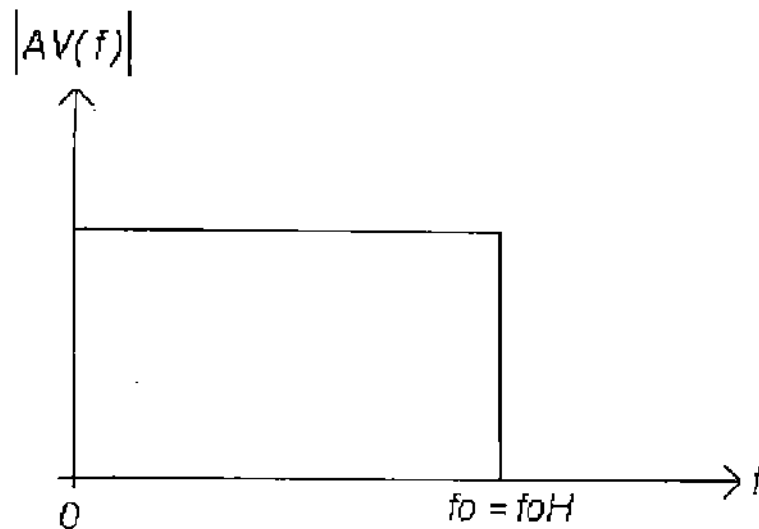
$$\text{dB} = -20 \log_{10} \frac{V_o}{V_i}$$

jika  $V_o > V_i$  ; terjadi penguatan, nilai dB merupakan nilai positif

jika  $V_o < V_i$  ; terjadi pelemahan (attenuasi) karena dB



Tanggapan tapis lolos rendah yang ideal dapat ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Karakteristik Tapis Lolos Rendah Ideal

Dalam gambar diatas seluruh sinyal dalam pita  $0 \ll f \ll f_0$  dipancarkan tanpa kehilangan, sedangkan masukan-masukan dengan frekuensi-frekuensi  $f > f_0$  memberikan keluaran nol. Suatu pendekatan untuk suatu tapis lolos rendah adalah sebagai berikut :

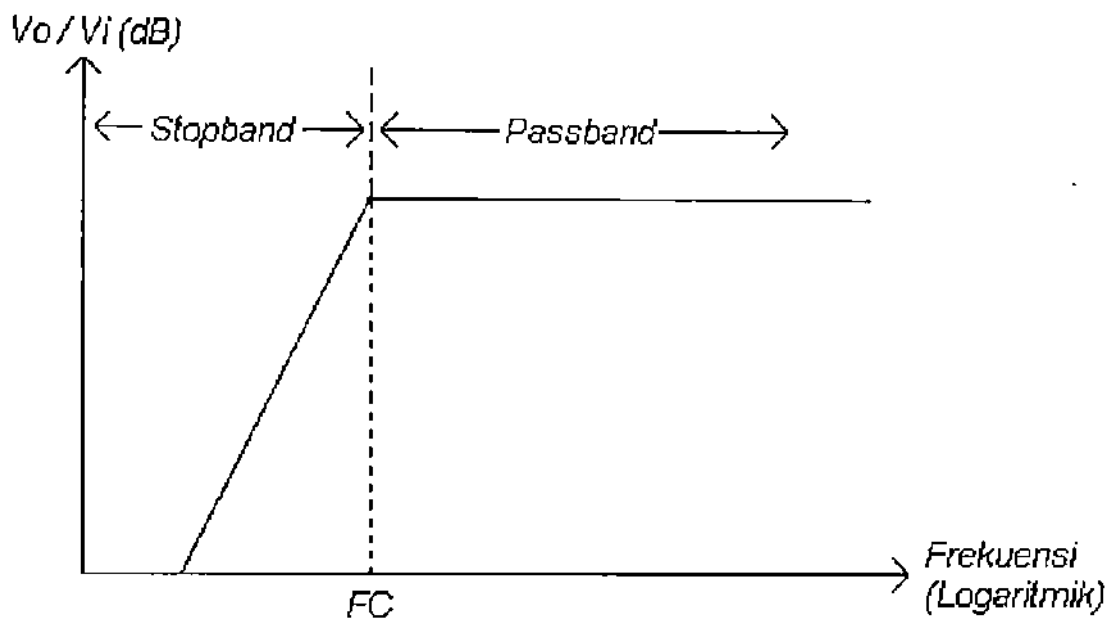
$$\frac{AV(s)}{AV_0} = \frac{1}{P_n(s)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$P_n(s)$  merupakan suatu *Polynomial* dalam sebuah (variabel)  $s$  dengan

## 2. HPF (*High Pass Filter*)

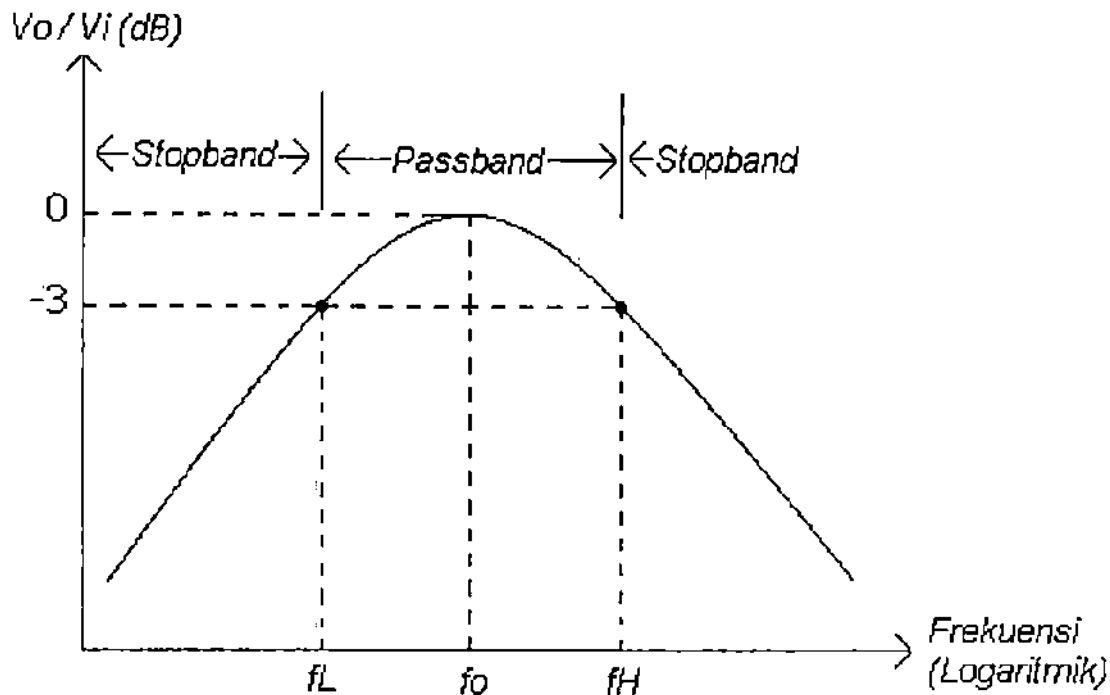
Merupakan kebalikan dari tapis lolos rendah, tapis ini akan menahan semua sinyal yang frekuensinya dibawah *frequency cut off* serta akan meneruskan sinyal diatasnya.



Gambar 2.9 Kurva Karakteristik Tapis Lolos Tinggi Secara Umum

## 3. BPF (*Band Pass Filter*)

Tapis lolos pita akan meneruskan sinyal-sinyal dengan frekuensi antara (*median frequency*) dan menahan frekuensi dibawah dan diatas



Gambar 2.10 Kurva Karakteristik Tapis Lolos Pita

keterangan gambar :

$f_L$  : *Lower Frequency* = frekuensi bawah

$f_H$  : *Upper Frequency* = frekuensi atas

Untuk tapis jenis ini dikenal istilah frekuensi tengah (*center frequency*)

dan lebar pita (*band width*), dengan pengertian sebagai berikut :

1. Frekuensi tengah ( $f_0$ ) merupakan titik munculnya penguatan tegangan paling besar (maksimum)
2. Lebar pita (*bandwidth*) dari suatu tapis lolos pita adalah perbedaan antara frekuensi atas dan bawah dibawah penguatan tegangannya (*voltage gain*) yaitu 0,707 kali dari nilai maksimum atau 3 dB lebih rendah dari penguatan tegangan frekuensi tengah atau

Lebar Pita =  $f_H - f_L$

Karena semua tanggapan tapis digambar dengan skala *log*, maka terlihat bahwa tapis lolos pita seakan-akan simetri pada frekuensi tengah. Sehingga jika kemudian disimpulkan bahwa  $f_o$  adalah ditengah-tengah  $f_H$  dan  $f_L$  maka hal tersebut adalah tidak benar. Ternyata, frekuensi tengah sama dengan rata-rata geometrik atau dapat dituliskan sebagai berikut:

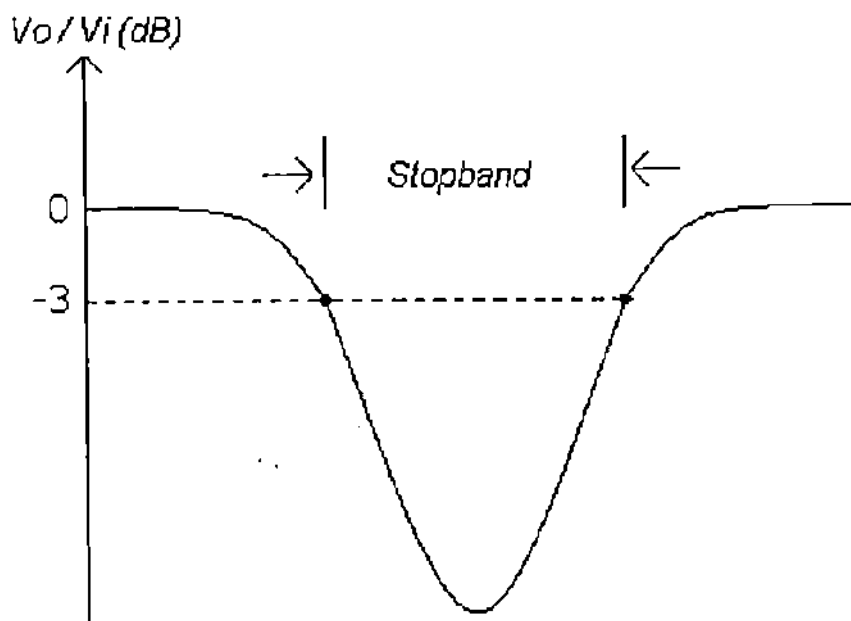
$$f_o = (f_H f_L)^{1/2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Jika diketahui lebar pita dan frekuensi tengahnya maka:

$$f_L = \frac{-BW + [(BW)^2 + (2f_o)^2]^{1/2}}{2} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$f_H = f_L + BW \dots\dots\dots(2.5)$$

#### 4. BSF/BRF (*Band Stop Filter/Band Reject Filter*)



Tapis *notch* merupakan kebalikan dari tapis lolos pita, tapis ini akan menghalangi atau menahan sinyal-sinyal dengan frekuensi antara (*median*) dan akan meneruskan sinyal-sinyal dengan frekuensi dibawah dan di atas frekuensi antara. Definisi lebar pita dan Q sama seperti pada tapis lolos pita.

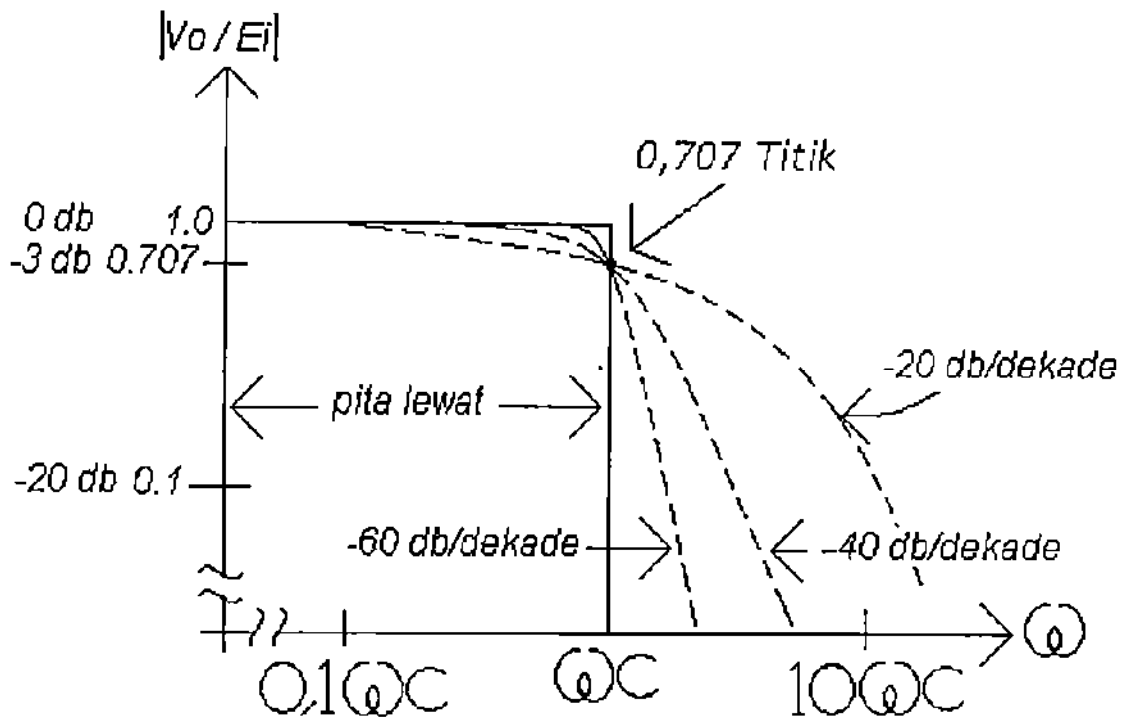
### c. **Klasifikasi Tapis Berdasarkan Bentuk Tanggapan Frekuensi Terhadap Gain**

(George Clayton, Steve Winder, 2005)

#### 1. **Tapis *Butterworth***

Tanggapan lolos rendah *Butterworth* mensyaratkan bahwa pada frekuensi yang sama dengan nol *gain* rangkaian adalah berupa garis mendatar dan dipertahankan agar sedapat mungkin tetap mendatar hingga frekuensi *cut off*-nya. Semakin tinggi orde rangkaian tapis maka akan semakin dekat tanggapan rangkaian ke tanggapan idealnya.

(George Clayton, Steve Winder, 2005)



Gambar 2.12 Tanggapan Frekuensi untuk Tiga Jenis Tapis *Butterworth* Lolos Rendah (Robert F Coughlin, Frederick F Driscoll, 1982)

Suatu pendekatan umum dari persamaan 2.1 menggunakan *Butter Polynomialworth*  $B_n(s)$  untuk  $P_n(s)$ , dimana besarnya  $B_n(\omega)$  diberikan sebagai berikut :

$$|B_n(\omega)| = \sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{2n}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Catatan bahwa besarnya dari  $AV$  turun 3 dB pada  $\omega = \omega_0$  untuk semua  $n$  dan menurun secara monoton. Makin besar harga dari  $n$ , makin dekat kurva kepada tanggapan lolos rendah ideal. Order ( $n$ ) didefinisikan sebagai pangkat tertinggi dari koefisien fungsi alih randa.

Kalau dinormalkan frekuensi dengan cara memisalkan  $\omega_0 = 1 \text{ rad/det}$ , maka Tabel 2.1 memberikan *Polynomial Butterworth* untuk  $n$  sampai dengan 8.

Tabel 2.1 Pengertian *Polynomial Butterworth*

$n$	Faktor dari Polynomial $B_n(s)$
1	$(s + 1)$
2	$(s^2 + 1,414s + 1)$
3	$(s + 1)(s^2 + s + 1)$
4	$(s^2 + 0,765s + 1)(s^2 + 1,848s + 1)$
5	$(s + 1)(s^2 + 0,618s + 1)(s^2 + 1,618s + 1)$
6	$(s^2 + 0,518s + 1)(s^2 + 1,414s + 1)(s^2 + 1,932s + 1)$
7	$(s + 1)(s^2 + 0,445s + 1)(s^2 + 1,247s + 1)(s^2 + 1,802s + 1)$
8	$(s^2 + 0,390s + 1)(s^2 + 1,111s + 1)(s^2 + 1,663s + 1)(s^2 + 1,962s + 1)$

(Jacob Milman, jilid 2, 1992)

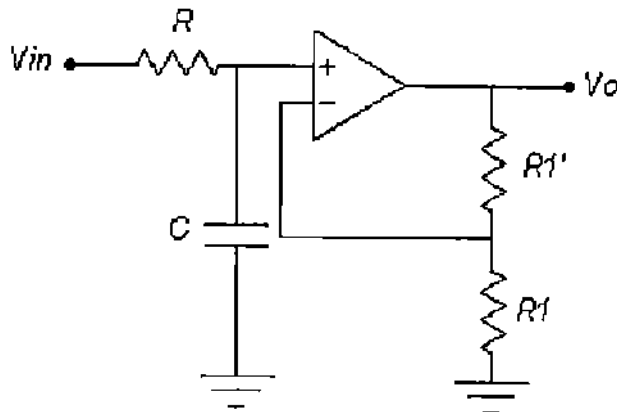
Catatan, bahwa untuk  $n$  yang genap *Polynomial* merupakan hasil kali bentuk kuadrat dan untuk  $n$  ganjil, disini ada penambahan faktor  $s + 1$ . faktor peredam  $k$  didefinisikan sebagai hanya setengah koefisien dari  $s$  dalam setiap faktor kuadrat dalam Tabel 2.1. Contoh, untuk  $n = 4$ , faktor peredam ada 2 yaitu  $0,765 / 2 = 0,383$  dan  $1,949 / 2 = 0,924$ .

Dari Tabel 2.1 dan persamaan 2.1 terlihat bahwa fungsi alih tapis *Butterworth* order 1 yang khas mempunyai bentuk :

$$\underline{AV(s)} = \underline{1}$$

(2.7)

Gambar 2.13 merupakan rangkaian tapis aktif lolos rendah *Butterworth* order 1.



Gambar 2.13 Rangkaian Tapis Aktif Lolos Rendah *Butterworth* Order 1

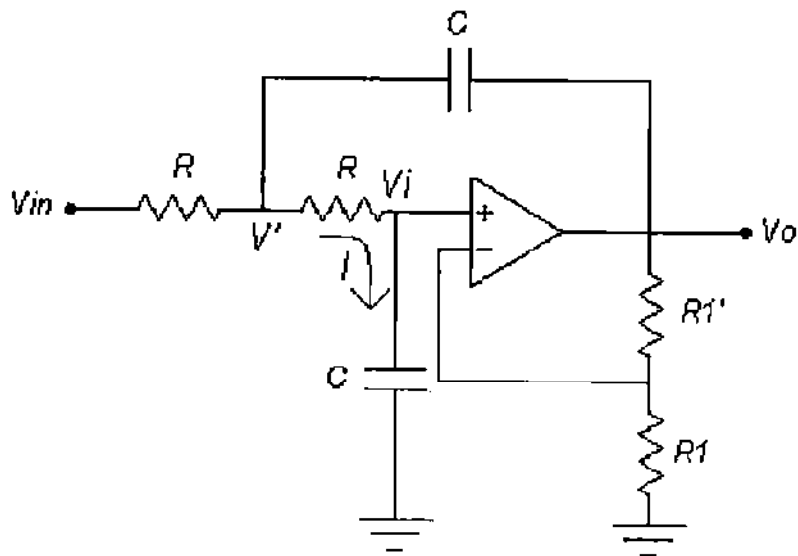
Dan fungsi alih tapis *Butterworth* order 2 yang khas mempunyai bentuk :

$$\frac{AV(s)}{AV_o} = \frac{1}{\left(\frac{S}{\omega_0}\right)^2 + 2k\left(\frac{S}{\omega_0}\right) + 1} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana  $\omega_0 = 2\pi f$  yang merupakan titik 3-dB frekuensi-tinggi.

Gambar 2.14 merupakan rangkaian tapis aktif lolos rendah





Gambar 2.14 Rangkaian Tapis Aktif Lolos Rendah *Butterworth* Order 2

Gambar 2.14 merupakan rangkaian tapis aktif lolos rendah *Butterworth* order 2 dimana elemen aktif merupakan penguat operasional yang mempunyai perolehan pita tengahnya sama dengan pada op-amp bukan pembalik, yaitu :

$$AV_o = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1 + R_1'}{R_1} \dots\dots\dots(2.9)$$

Karena arus masuk penguat sama dengan nol, arus  $I = sCV_i$  dalam kapasitor dihubungkan keterminal bukan pembalik yang sama dengan arus dalam tahanan yang dikaitkan pada terminal ini. Oleh karena itu :

$$V' = I\left(R + \frac{1}{sC}\right) = sCV_i\left(R + \frac{1}{sC}\right) = \frac{V_o}{AV_o}(sCR + 1) \dots\dots\dots(2.10)$$

Jika digunakan HAK ke simpul  $V'$ , diperoleh :

$$AV(s) = \frac{1}{s^2CR^2 + sCR + 1}$$

Catatan bahwa persamaan 2.8 dan persamaan 2.11 mempunyai bentuk yang sama. Dengan menyamakan koefisien dari  $S^2$  dalam 2 persamaan ini, didapatkan :

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dan dengan menyamakan koefisien dari  $S$  dalam persamaan ini menghasilkan :

$$2k = 3 - AV_0 \text{ atau } AV_0 = 3 - 2k \dots\dots\dots(2.13)$$

(Jacob Milman, jilid 2, 1992)

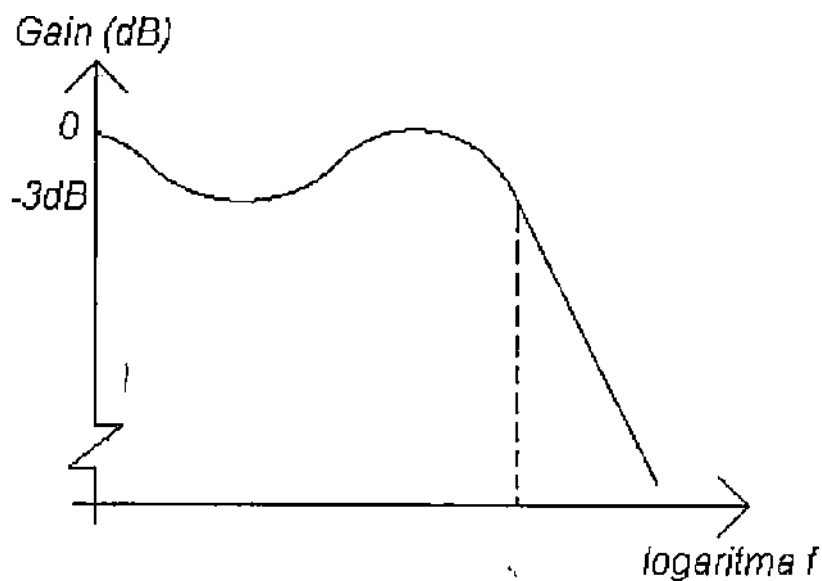
## 2. Tapis *Chebyshev*

Pendekatan *Chebyshev* merupakan salah satu upaya untuk mengatasi kegagalan praktis tanggapan *Butterworth* untuk mempertahankan *passband* yang benar-benar datar jika frekuensi operasi rangkaian tapis ditingkatkan hingga mencapai frekuensi *cut off* . Rangkaian *Chebyshev* dirancang untuk menyebarkan setiap deviasi atau penyimpangan *gain* secara merata atau seragam di sepanjang *passband* dalam bentuk riak-riak gelombang. Untuk frekuensi-frekuensi yang bernilai diatas frekuensi *cut off*, seperti rangkaian *Butterworth*, *roll-off* *Chebyshev* pada akhirnya akan cenderung untuk menjadi monotonik pada  $20n$  dB per *decade*, dimana  $n$  adalah orde dari rangkaian taj

tapis *Chebyshev* orde kedua dan ketiga memiliki *roll-off* m

lebih kecil dari pada *roll-off* mula mula rangkaian tapi

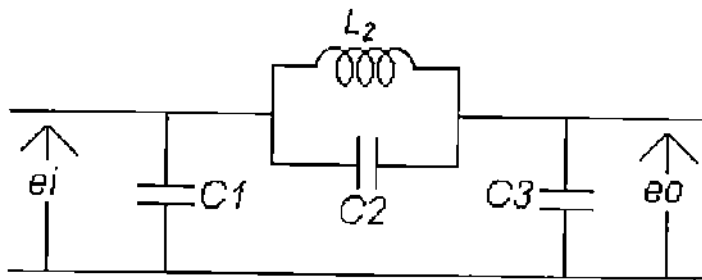
dengan orde yang sama. Sementara untuk rangkaian tapis orde keempat dan seterusnya, tanggapan rangkaian *Chebyshev* memiliki tekukan yang lebih tajam.



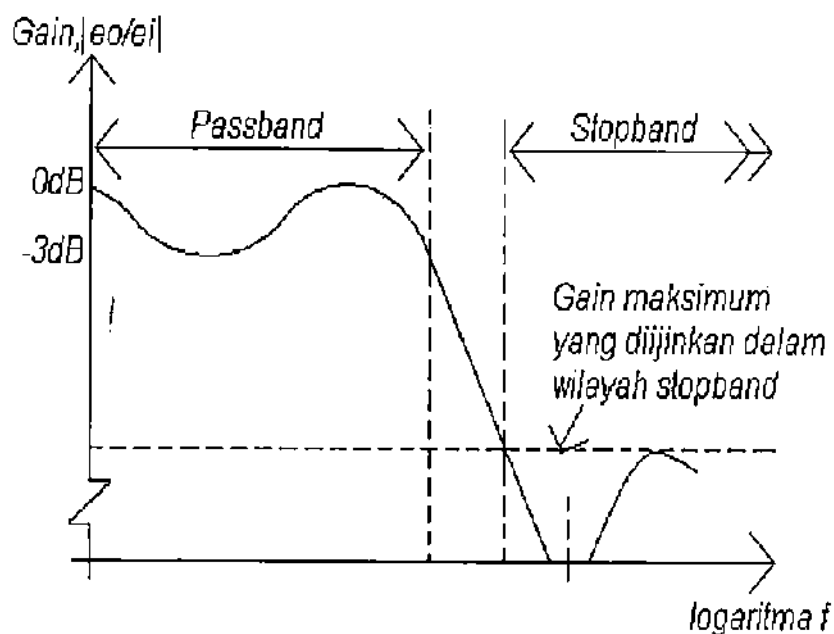
Gambar 2.15 Tanggapan Rangkaian *Chebyshev* Orde Ketiga

### 3. Tapis *Cauer* (Eliptik)

Tanggapan *Cauer* dirancang untuk aplikasi-aplikasi dimana diisyaratkan bahwa sebuah pelemahan tak hingga dicapai pada sebuah nilai frekuensi tertentu dan untuk setiap nilai frekuensi-frekuensi yang lebih tinggi nilai minimum pelemahan masih dapat dipertahankan. Rangkaian tapis orde tiga *cauer* dapat dilihat pada Gambar 2.16a dan tanggapan yang dihasilkan oleh rangkaian tapis orde 3 *Cauer* diperlihatkan



Gambar 2.16a Rangkaian Tapis Orde Tiga *Cauer*



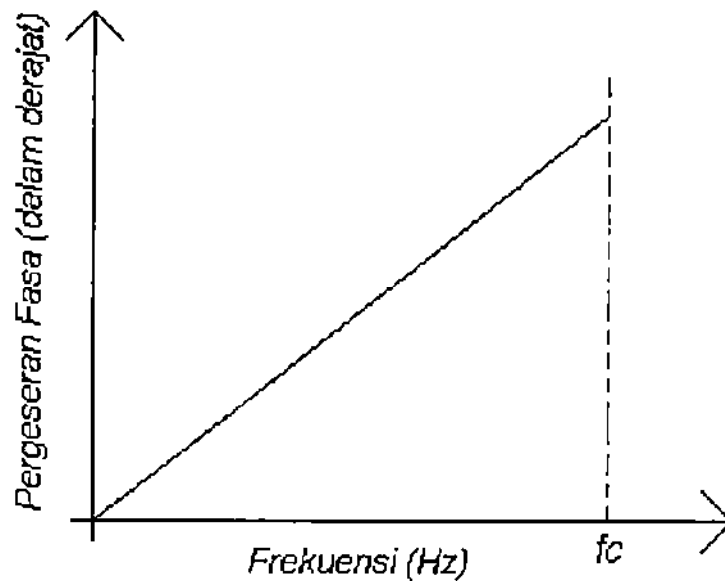
Gambar 2.16b Tanggapan yang Dihasilkan Oleh Rangkaian Tapis Orde Tiga Tapis *Cauer*

#### 4. Tapis *Bessel*

Pendekatan *Bessel* merupakan suatu upaya untuk menghasilkan sebuah rangkaian tapis fasa linear. Rangkaian dengan tanggapan *Bessel* akan memiliki tampilan yang sama dengan rangkaian *Butterworth* dan *Chebyshev*. Perbedaannya hanya terletak pada nilai-nilai ko-

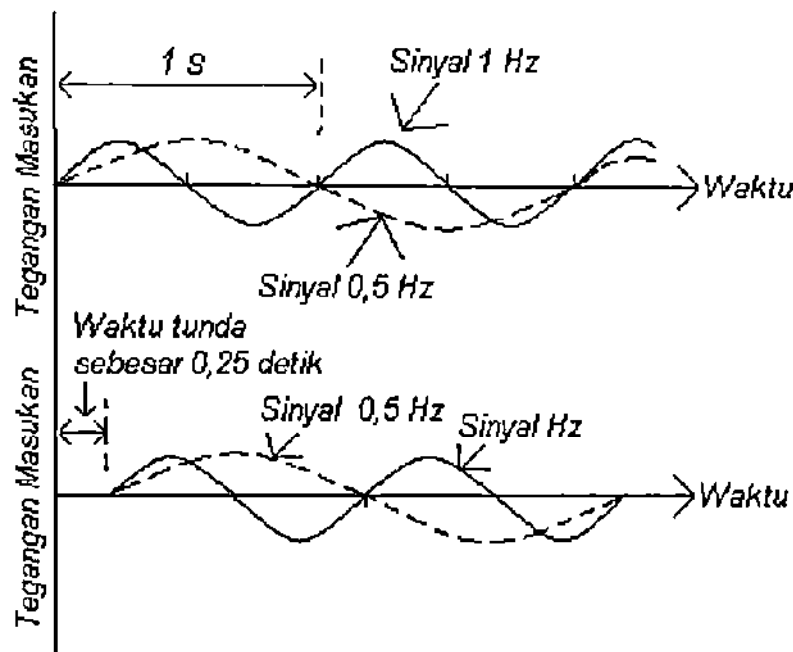
diperlukan untuk menghasilkan konstanta waktu  $t$

dipersyaratkan pada semua nilai frekuensi



Gambar 2.17 Relasi Linear Antara Frekuensi dan Pergeseran Fasa Pada Tapis Lolos Rendah Ideal

Gambar 2.17 menunjukkan relasi yang ideal antara frekuensi sinyal dan pergeseran fasa rangkaian tapis. Dengan mengacu pada waktu transit sinyal yang melewati rangkaian tapis, sinyal-sinyal pada semua nilai rentang frekuensi seharusnya mengalami waktu tunda yang sama. Demikian pula sinyal-sinyal yang sefasa pada sisi masukan akan tetap memiliki fasa yang sama pada sisi keluaran rangkaian. Namun demikian, sebuah sinyal yang memiliki frekuensi dua kali nilai frekuensi sinyal yang lain akan mengalami pergeseran fasa sebesar dua kalinya. Efek ini dapat



Gambar 2.18 Bentuk Gelombang Terhadap Waktu yang Menunjukkan Bagaimana Suatu Konstanta Waktu Sebesar 0,25 Detik akan Menghasilkan Pergeseran Fasa Sebesar 90 Derajat pada Sinyal dengan Frekuensi 1 Hz dan hanya akan Menghasilkan Pergeseran Fasa Sebesar 45 Derajat pada Sinyal dengan Frekuensi 0,5 Hz

#### d. Klasifikasi Tapis Berdasarkan Sifat Penguatannya

(Dennis Roddy, John Coolen, Edisi 3, 1984)

##### 1. Tapis aktif

Tapis aktif merupakan tapis yang bersifat menguatkan. Komponen penyusunnya berupa penguat (*operational amplifier*), kapasitor, resistor.

Tapis aktif mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan

terutama karena ukurannya yang lebih kecil, lebih ringan,

demikian tapis aktif juga memiliki kekurangan, yaitu memerlukan catu daya, lebih peka terhadap perubahan-perubahan disekitarnya (misalnya : perubahan suhu).

## 2. Tapis pasif

Tapis pasif merupakan tapis yang bersifat tidak menguatkan. Komponen penyusunnya berupa induktor, kapasitor, resistor.

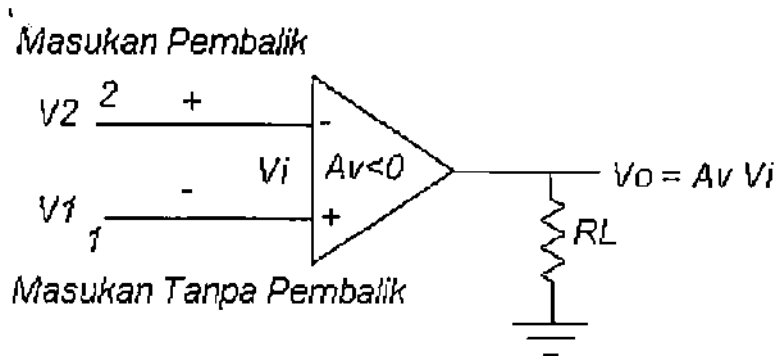
## 2. Komponen Tapis

### a. *Operational Amplifier*

*Operational Amplifier* merupakan suatu penguat berperolehan tinggi di kopel langsung, kemana umpan balik ditambahkan untuk mengendalikan karakteristik tanggapan keseluruhannya. Op-amp digunakan untuk membentuk fungsi-fungsi linear yang bermacam-macam (dan juga operasi-operasi tak linear) dan sering disebut sebagai Rangkaian Terpadu Linear Dasar (analog). Penguat operasional terpadu menjamin semua keuntungan dari rangkaian terpadu monolitik, yakni : ukuran yang kecil, keandalan yang tinggi, harga lebih murah, kebal *temperature*, dan tegangan serta arus penggangtunya (*offset*) yang rendah.

Sejumlah besar penguat operasional mempunyai sebuah masukan differensial, dengan tegangannya  $V_2$  dan  $V_1$ , yang didefini

Perolehan antara  $V_o$  dan  $V_1$  positif (bukan kebalikan, *non inverting*) sedangkan penguatan antara  $\frac{V_o}{V_2}$  negatif (kebalikan, *inverting*). Suatu penguat dengan satu ujung dapat dianggap sebagai peristiwa khusus, dimana salah satu terminal masuk dibumikan. Hampir semua OP-AMP hanya mempunyai satu terminal keluaran. Penguat operasional dasar dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Penguat Operasional Dasar

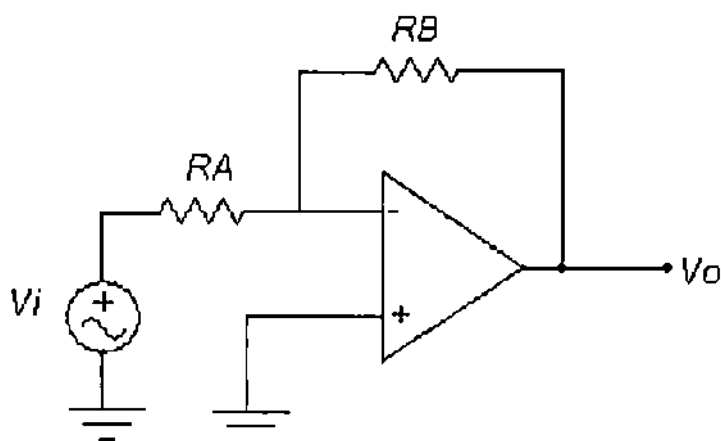
Penguat operasional ideal memiliki sifat- sifat :

1. Resistansi masukan  $R_i = \infty$
2. Resistansi keluaran  $R_o = 0$
3. Perolehan tegangan  $A_v = -\infty$
4. Lebar pita  $= \infty$
5.  $V_o = 0$  kalau  $V_1 = V_2$  tidak tergantung pada besarnya  $V_1$
6. Karakteristiknya tidak tergantung pada frekuensi



*Operational Amplifier* digunakan dalam pengatur tegangan, tapis aktif, instrumentasi, pengubah analog ke digital dan digital ke analog. Alasan penggunaan yang luas dari *operational amplifier* adalah digunakan umpan balik negatif. Penampilan penguat dengan elemen umpan balik terutama dikendalikan dan ditentukan hanya oleh elemen-elemen umpan balik dan tidak tergantung pada karakteristik transistor, tahanan dan kapasitor yang membentuk penguat operasional. Karena elemen-elemen umpan balik umumnya pasif, operasi rangkaian dibuat sangat stabil dan penampilannya dapat diperkirakan. Beberapa penggunaan *Operational Amplifier* antara lain :  
(Agfianto Eko Putra, 2002)

### 1. Penguat Pembalik (*Inverting*)



Gambar 2.20 Rangkaian Penguat Pembalik

Keterangan :

$R_A$  = resistor masukan

$R_B$  = resistor umpan balik

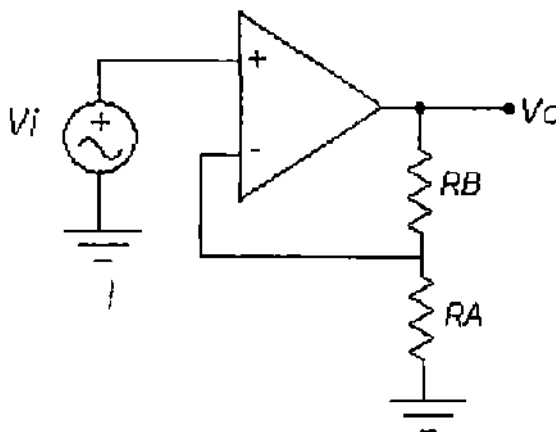
Persamaan yang berkaitan dengan Gambar 2.20 adalah :

$$V_o = -\frac{R_B}{R_A} V_i \dots \dots \dots (2.14)$$

Konsekuensinya, penguatan tegangan atau perbandingan tegangan keluaran terhadap tegangan masukan dapat dituliskan sebagai :

$$\text{Penguatan Tegangan} = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_B}{R_A} \dots \dots \dots (2.15)$$

## 2. Penguat Bukan Pembalik (*Non Inverting*)



Gambar 2.21 Rangkaian Penguat Bukan Pembalik

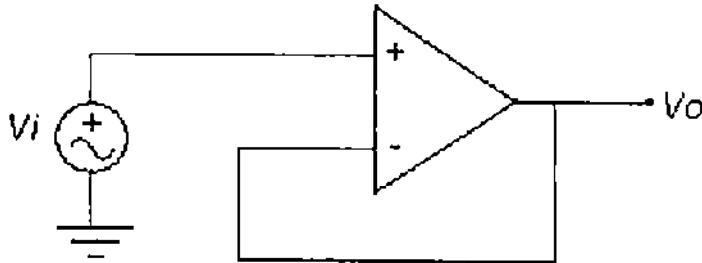
Gambar 2.21 diatas menunjukkan penguat bukan pembalik. Persamaan yang dapat dituliskan dari gambar tersebut adalah :

$$V_o = \left(1 + \frac{R_B}{R_A}\right) V_i \dots \dots \dots (2.16)$$

Sehingga persamaan yang menentukan penguat tegangannya adalah :

$$\text{Penguatan Tegangan} = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_B}{R_A}$$

### 3. Pengikut Tegangan (*Voltage Follower*)



Gambar 2.22 Sebuah Pengikut Tegangan

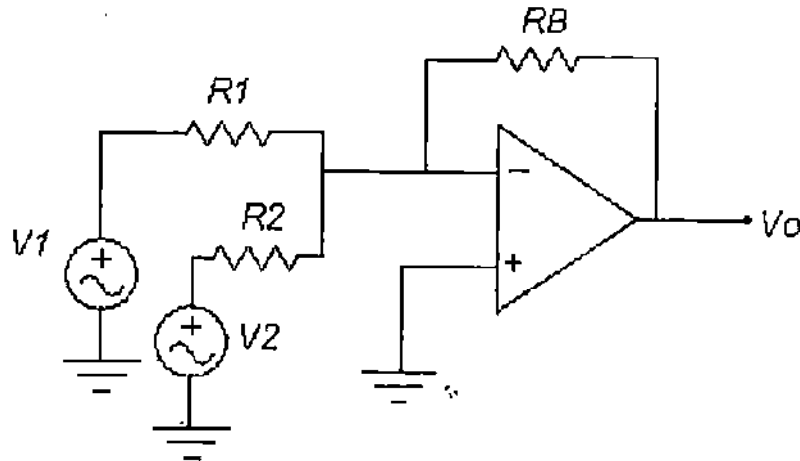
Gambar 2.22 diatas menunjukkan sebuah pengikut tegangan. Pengikut tegangan kadang disebut sebagai penyangga atau *buffer* dan memiliki fungsi yang sama seperti pengikut emitor (*emither follower*) atau pengikut katoda (*cathode follower*). Ciri-cirinya adalah :

- a. Memiliki impedansi masukan yang sangat tinggi (lebih dari 100 K $\Omega$ )
- b. Memiliki impedansi keluaran yang sangat rendah (kurang dari 75  $\Omega$ )

Jika dibandingkan dengan rangkaian penguat non inversi, maka rangkaian pengikut tegangan adalah sama, dengan  $R_A = \infty$  dan  $R_B = 0$ , dengan demikian penguatan tegangan selalu = 1. Sinyal keluaran sama persis (identik) dengan sinyal masukan atau keluaran mengikuti masukan. Fungsi utama : sebagai

penyangga atau penyangga input/output

#### 4. Penguat Penjumlah (Summing Amplifier)



Gambar 2.23 Rangkaian Penguat Penjumlahan

Gambar 2.23 diatas menunjukkan sebuah penguat penjumlah (*Summing Amplifier*). Dua atau lebih masukan-masukan bebas dapat dijumlahkan (*independen*) menggunakan rangkaian diatas. Penguat tegangan untuk masing-masing masukan berdasarkan persamaan-persamaan :

$$\text{Penguatan Tegangan 1} = \frac{V_o}{V_1} = -\frac{R_B}{R_1} \dots\dots\dots(2.18)$$

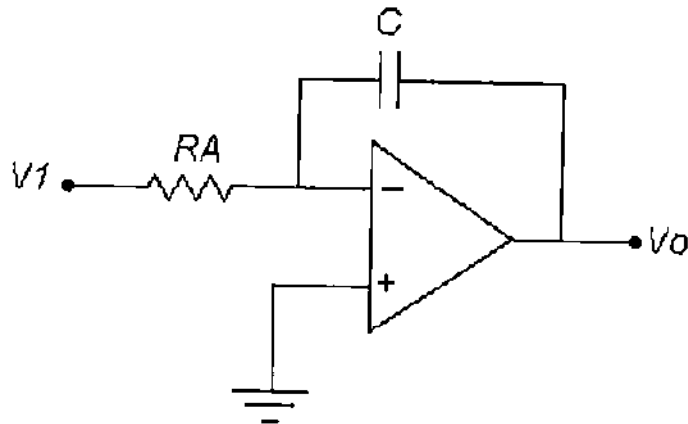
$$\text{Penguatan Tegangan 2} = \frac{V_o}{V_2} = -\frac{R_B}{R_2} \dots\dots\dots(2.19)$$

Tegangan keluarannya :

$$V_o = -\left(\frac{R_B}{R_1}V_1 + \frac{R_B}{R_2}V_2\right) \dots\dots\dots(2.20)$$

Impedansi untuk masing-masing masukan berhubungan dengan nilai masing-masing resistor yang terdapat (guna hukum Ohm)

## 5. Integrator



Gambar 2.24 Sebuah Integrator OP -AMP

Gambar 2.24 diatas menunjukkan sebuah *integrator* op-amp yang dibangun dengan mengubah resistor umpan balik dari penguat *inverse* dengan sebuah kapasitor. Sinyal masukan di integralkan dan sekaligus menyatakan "luas dibawah kurva", penguatan tegangannya :

$$\text{Penguatan Tegangan} = -\frac{1}{R_A C} \int_0^t V_i dt \dots\dots\dots(2.21)$$

Bentuk  $\frac{1}{R_A C}$  harus sesuai dengan masukan frekuensi minimum yang diharapkan :

$$R_A C = \frac{1}{2\pi f_{\min}} \dots\dots\dots(2.22)$$

### 1. Karakteristik Tanggapan Frekuensi dari Op-Amp Riil

*Gain* didefinisikan sebagai rasio atau perbandingan  $\frac{V_o}{V_i}$  tegangan keluaran terhadap perubahan tegangan masukan yang

lambat. Parameter-parameter tanggapan sinusoidal, menggambarkan cara sebuah op-amp memberi tanggapan terhadap sinyal-sinyal sinusoidal. Parameter-parameter ini terutama akan menunjukkan ketergantungan tanggapan op-amp pada frekuensi sinyal. Parameter-parameter tanggapan transien mengkarakterisasikan cara sebuah op-amp memberi reaksi terhadap sinyal masukan tangga atau persegi. Dalam hal menganalisis karakteristik tanggapan ini perlu dibedakan antara parameter-parameter tanggapan terhadap sinyal kecil dan sinyal besar. Perbedaan ini muncul sebagai akibat dari adanya efek-efek saturasi dinamik yang terjadi pada sinyal-sinyal besar.

Sebuah op-amp ideal diasumsikan memiliki suatu *gain loop* terbuka yang tidak tergantung pada frekuensi sinyal. Akan tetapi untuk op-amp riil, *gain* yang dimiliki akan bergantung pada frekuensi sinyalnya. Kedua parameter dari *gain loop* terbuka yaitu *magnituda* dan fasanya adalah parameter-parameter yang nilainya bergantung pada frekuensi. Ketergantungan terhadap frekuensi ini akan memberikan efek pada kinerja *loop* tertutup op-amp.

#### a. Diagram *Bode* (*Bode Plot*)

Karakteristik *gain*/frekuensi seringkali ditampilkan dalam bentuk grafik. Penggambaran grafik karakteristik *gain*/frekuensi dilakukan dengan memetakan *magnituda gain* dalam besaran deibel (dB) terhadap frekuensi pada skala logaritmik (basis 10) untuk menentukan besarnya  $\omega$

$$\text{Gain tegangan dalam dB} = 20 \text{Log} \left| \frac{V_{\text{Output}}}{V_{\text{Input}}} \right| \dots \dots \dots (2.23)$$

Pemetaan *gain*/frekuensi seringkali diberikan dalam bentuk kurva pendekatan yang terbentuk dari sambungan beberapa garis lurus dan bukannya kurva kontinyu yang mulus. Garis-garis lurus pembentuk kurva pendekatan ini dikenal dengan nama pendekatan *bode* sementara grafiknya dikenal sebagai diagram *bode*.

Tanggapan frekuensi *loop* terbuka dari op-amp dirancang agar mengikuti bentuk persamaan berikut ini :

$$A_{ol}(f) = \frac{A_{ol}}{1 + j \frac{f}{f_c}} \dots \dots \dots (2.24)$$

Dimana :

$A_{ol}(f)$  adalah besaran kompleks yang merepresentasikan karakteristik *magnituda* dan fasa dari *gain* pada frekuensi  $f$ .

$A_{ol}$  merepresentasikan nilai arus searah (nilai DC) dari *gain loop* terbuka.

$f_c$  adalah sebuah konstanta, kadang-kadang dikenal juga dengan nama *break frequency*.

Karakteristik fasa/frekuensi yang bersesuaian dengan persamaan 2.24 ditentukan melalui persamaan :

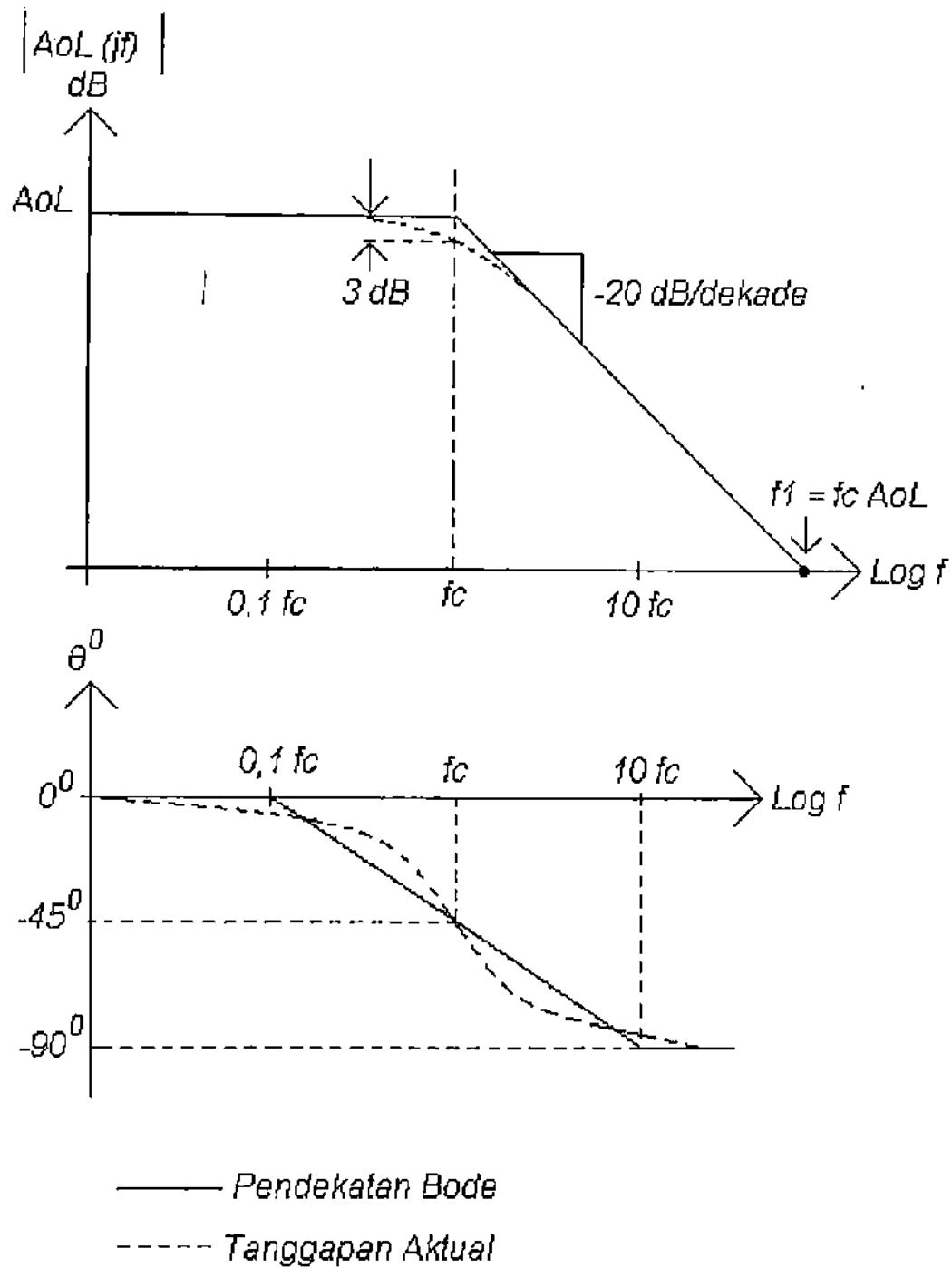
$$\theta = -\tan^{-1} \frac{f}{f_c} \dots \dots \dots (2.25)$$

Pada  $f \ll f_c$ , nilai  $\theta$  akan mendekati  $0^\circ$  ; pada  $f = f_c$ , nil

sama dengan  $-45^\circ$  ; dan pada  $f \gg f_c$  nilai  $\theta$  akan mendekati  $-90^\circ$

Pendekatan fasa *bode* melakukan pendekatan pergeseran fasa dengan batas asimtotik  $0^\circ$  pada  $\frac{1}{10f_c}$  dan  $-90^\circ$  pada nilai  $10f_c$ . Batas-batas asimtotik ini dihubungkan oleh sebuah garis yang memiliki gradien kemiringan  $-45^\circ$  mendekati frekuensi seperti terlihat pada Gambar 2.25.





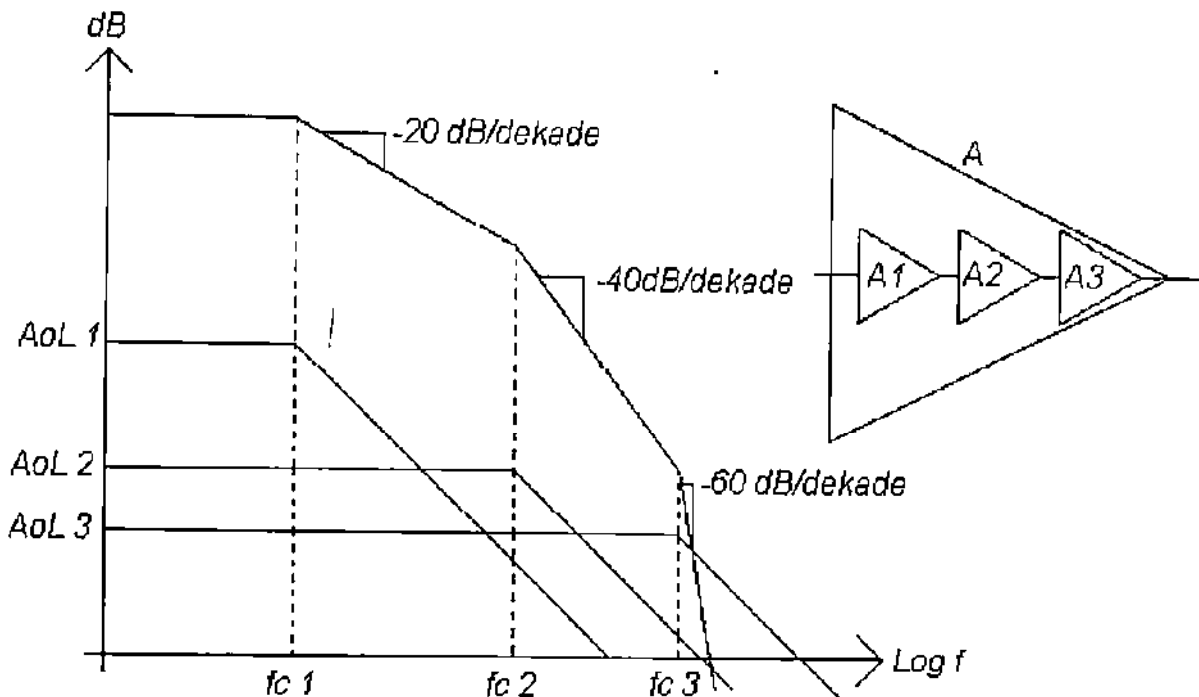
Gambar 2.25 Tanggapan Magnitudo dan Fasa "Low Pass" Orde Pertama dan

Tabel 2.2 Kesalahan-Kesalahan Pendekatan

$f$	Magnitude Kesalahan	Kesalahan Fasa
$0,1f_c$	0,04 dB	$+5,7^\circ$
$0,5f_c$	1dB	$-4,9^\circ$
$1f_c$	3 dB	0
$2f_c$	1 dB	$+4,9^\circ$
$10f_c$	0,04 dB	$-5,7^\circ$

Dengan mengetahui nilai dari  $A_{OL}$  dan  $f_1$ , maka sudah dapat memetakan karakteristik tanggapan frekuensi dari sebuah rangkaian penguat. Pendekatan untuk *magnituda* dan *bode* dapat diperoleh dengan menggambarkan dua buah garis lurus yang masing-masing adalah berupa sebuah garis lurus horizontal dengan nilai sama dengan  $A_{OL}$  dan garis lurus kedua yang melauai titik  $f_1$  dengan gradien kemiringan  $-20$  dB/dekade. Titik perpotongan kedua diantara kedua garis lurus ini terjadi pada frekuensi  $f_c$ .

Diagram *bode* berguna untuk mengevaluasi karakteristik tanggapan frekuensi *gain* bertingkat. *Gain* dari rangkaian op-amp bertingkat diperoleh dengan mengalikan *gain* dari masing-masing op-amp. Akan tetapi, karena dalam diagram *bode gain* direpresentasikan dalam skala logaritmik maka tanggapan total rangkaian bertingkat dapat diperoleh dengan cara menjumlahkan secara linear diagram-diagram *bode* dari masing-masing tingkat yang terpisah seperti tampak pada Gambar 2.26



Gambar 2.26 Tanggapan Frekuensi untuk *Gain* Bertingkat

(George Clayton, Steve Winder, 2005)

## 2. Tanggapan Frekuensi *Loop* Tertutup untuk Sinyal Kecil

Karakteristik yang ingin diperoleh dari rangkaian-rangkaian op-amp dilandasi oleh penggunaan umpan balik negatif. Efek-efek kuantitatif umpan balik akan berelasi pada *gain* loop  $\beta A_{OL}$ . Op-amp riil menunjukkan bahwa  $A_{OL}$  adalah besaran yang bergantung pada frekuensi, dan dalam beberapa aplikasi fraksi umpan balik  $\beta$  juga merupakan besaran yang nilainya bergantung pada frekuensi.

Adanya ketergantungan terhadap frekuensi berimplikasi pada terjadinya perubahan *magnituda* dan fasa terhadap frekuensi. Pada rangkaian yang memiliki umpan balik negatif hanya diperlukan pergeseran fasa pada *loop* umpan balik untuk membuat agar rangkaian memiil

positif. Hal ini dapat menimbulkan permasalahan yang cukup serius. Rangkaian umpan balik op-amp akan menghasilkan osilasi mandiri yang berkesinambungan jika pergeseran fasa pada *loop* umpan balik mencapai  $180^\circ$  saat *magnituda* dari *gain loop* lebih besar dari satu.

Pergeseran fasa pada *loop* umpan balik yang lebih besar dari pada  $90^\circ$  namun lebih kecil dari  $180^\circ$  tidak akan menghasilkan osilasi mandiri yang berkesinambungan. Meskipun demikian, pergeseran fasa ini dapat mengakibatkan tanggapan frekuensi mencapai nilai puncaknya dibatas lebar pita frekuensi sebelum terjadi *roll off*. Kondisi ini akan mengakibatkan rangkaian memiliki tanggapan transien menunjukkan adanya *overshoot* dan getaran (*ringing*).

Batas fasa merupakan sebuah terminologi yang digunakan untuk mengungkapkan kestabilan relatif dari sebuah rangkaian op-amp *loop* tertutup. Batas fasa adalah besarnya pergeseran fasa yang lebih kecil dari  $180^\circ$  pada frekuensi dimana *magnituda* dari *gain loop* sama dengan satu.

(George Clayton, Steve Winder, 2005)

### 3. Kestabilan *Loop* Tertutup

Sebagian besar op-amp merupakan op-amp yang memiliki kompensasi frekuensi internal serta memiliki tanggapan frekuensi *loop* terbuka dengan *roll off* 20 dB/dekade. Tanggapan seperti ini secara prinsip dapat menj op-amp akan stabil *loop* tertutup pada semua kondisi umpan b

Meskipun demikian, harus tetap diperhatikan bahwa

amp yang memiliki kompensasi frekuensi internal tidak selalu dapat menjamin tercapainya kestabilan *loop* tertutup.

Efek kapasitansi pada rangkaian op-amp yang terjadi karena pemberian beban-beban kapasitif pada terminal keluarannya ataupun karena kapasitansi tersebar yang muncul diantara terminal masukan pembalik dan pentanahan akan dapat berakibat pada terjadinya pergeseran fasa yang selanjutnya akan mengakibatkan terjadinya kondisi ketidakstabilan rangkaian. Bahkan pada rangkaian-rangkaian op-amp dengan umpan balik resistif sekalipun, gejala ini dapat terjadi juga. Untuk aplikasi op-amp sebagai diferensiator dimana fraksi umpan balik  $\beta$  secara sengaja dibuat agar bergantung terhadap frekuensi, penggunaan op-amp dengan kompensasi frekuensi internal akan dapat menghasilkan kondisi ketidakstabilan.

(George Clayton, Steve Winder, 2005)

#### 4. Batas Fasa yang Menentukan Puncak *Gain Loop* Tertutup

Puncak *gain* muncul sebagai akibat dari batas fasa yang tidak mencukupi serta karena umpan balik yang bernilai positif. Umpan balik positif dapat terjadi bila sinyal umpan balik memiliki sebuah komponen yang sefasa dengan sinyal masukan eksternal. Jika nilai *gain* adalah lebih besar dari satu pada saat pergeseran fasa mencapai  $180^\circ$  maka rangkaian akan mengalami osilasi.

Dalam mengkaji besarnya puncak *gain* yang muncul

mempertimbangkan efek dari perilaku *magnituda/fasa gain loop* terhadap faktor kesalahan *gain*.

$$\beta A_{OL(jf)} = |\beta A_{OL(jf)}| e^{-j\theta} \dots\dots\dots(2.26)$$

Nilai faktor kesalahan *gain* selanjutnya dapat dinyatakan sebagai :

$$\frac{1}{1 + \frac{1}{\beta A_{OL(jf)}}} = \frac{1}{1 + \frac{e^{j\theta}}{\beta A_{OL(jf)}}}$$

$$\frac{1}{1 + \frac{\cos \theta + j \sin \theta}{|\beta A_{OL(jf)}|}} \dots\dots\dots(2.27)$$

Dengan demikian *magnituda* dari faktor kesalahan *gain* dapat dituliskan sebagai :

$$\left| \frac{1}{1 + \frac{1}{\beta A_{OL(jf)}}} \right| = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{1}{|\beta A_{OL(jf)}|^2} + \frac{2 \cos \theta}{|\beta A_{OL(jf)}|}}} \dots\dots\dots(2.28)$$

Karena nilai *cosinus* untuk sudut antara  $90^\circ$  dan  $180^\circ$  adalah negatif maka akan terdapat kemungkinan bahwa *magnituda* dari faktor kesalahan *gain* adalah lebih besar dari pada satu untuk nilai-nilai  $\beta$  yang lebih besar dari pada  $90^\circ$ . Variasi dari faktor kesalahan *gain* inilah yang menjadi penyebab dari terjadinya puncak *gain loop* tertutup

Puncak *gain loop* pada umumnya muncul sebagai akibat dari pergeseran fasa dengan frekuensi yang terkendali oleh fungsi

tunggal. Dalam hal ini, frekuensi pemutus (*break frequency*)

besar satu dekade dari pada frekuensi pemutus lainnya

(George Clayton, Steve Winder, 2005)

## 5. Kompensasi Frekuensi (Kompensasi Fasa)

Kompensasi frekuensi atau kompensasi fasa adalah nama yang diberikan untuk proses penambahan atau pengurangan *magnituda/fasa gain loop* dari sebuah rangkaian op-amp dengan umpan balik untuk memperoleh batas fasa yang mencukupi. Batas fasa yang mencukupi akan menjamin tercapainya kestabilan *loop* tertutup serta dapat menghilangkan pemunculan dari puncak *gain loop* tertutup. Diagram *bode* utamanya akan sangat bermanfaat dalam pengkajian stabilitas dan tanggapan frekuensi dari sebuah rangkaian umpan balik.

Op-amp-op-amp untuk keperluan umumnya biasanya telah dilengkapi dengan kompensasi frekuensi internal serta memiliki stabilitas tak bersyarat untuk semua nilai umpan balik resistif. Pergeseran fasa untuk *gain loop* terbukanya pada umumnya diatur agar bernilai  $135^\circ$  atau lebih kecil untuk semua frekuensi dimana *magnituda gain loop* terbuka lebih besar dari pada satu, yang menjamin batas fasa minimum  $45^\circ$  untuk semua nilai umpan balik resistif. Kompensasi frekuensi internal memberikan keuntungan bagi para pengguna karena dapat menghemat pengeluaran untuk perangkat pengendali laju perubahan tegangan keluaran yang akan diperlukan pada saat op-amp digunakan pada *gain loop* tertutup yang lebih besar dari pada satu.

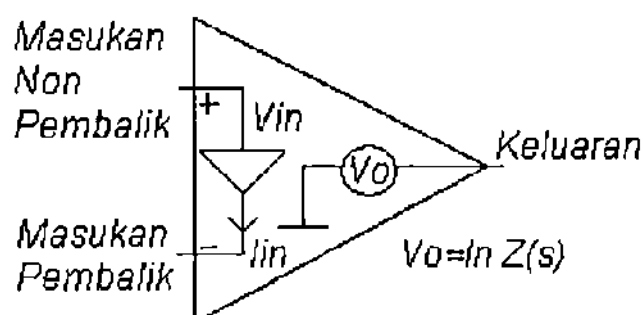
Penting untuk diperhatikan bahwa op-amp-op-amp

bebannya bersifat cukup kapasitif. Resistansi internal dan kapasitansi eksternal dapat mengakibatkan terjadinya pergeseran fasa pada terminal keluaran op-amp. Walaupun op-amp bisa saja memiliki batas fasa sebesar  $45^{\circ}$  atau lebih, pergeseran fasa pada terminal keluarannya dapat lebih besar dari nilai ini yang akan mengakibatkan keluaran op-amp menuju ke kondisi yang berosilasi. Hal ini dapat terjadi karena umpan balik op-amp diambil dari terminal keluarannya.

(George Clayton, Steve Winder, 2005)

## 6. Op-Amp Umpan Balik Arus

Kerugian dari op-amp umpan balik tegangan adalah karakteristik *gain* lebar pita frekuensinya yang konstan. Perluasan lebar pita frekuensi harus dibayar dengan pengorbanan *gain*. Op-amp umpan balik arus memiliki seluruh karakteristik relasi *gain* lebar pita frekuensi yang berbeda. Bahkan pada kenyataannya, lebar pita frekuensi dapat dikatakan selalu konstan untuk setiap nilai *gain* op-amp. Model yang paling sederhana dari sebuah penguat dengan umpan balik arus diperlihatkan pada Gambar 2.27.



Gambar 2.27 Model dari Sebuah Op-Amp Umpan Balik Arus



Op-amp umpan balik arus adalah mirip seperti op-amp umpan balik tegangan karena keduanya didera oleh pergeseran fasa yang besar pada frekuensi-frekuensi yang lebih tinggi. Ketidakstabilan dapat terjadi jika pergeseran fasa mendekati nilai  $180^\circ$ . Karena nilai optimum  $R_2$  akan berubah terhadap *gain loop* tertutup maka pihak-pihak pembuat op-amp akan selalu menyertakan diagram *bode* dan tabel-tabel sebagai pendukung data pelengkap dari produk yang dikeluarkan untuk memberikan nilai-nilai dari lebar pita frekuensi dan batas fasa untuk berbagai nilai *gain*. Lebar pita frekuensi *loop* tertutup yang lebih besar dapat diperoleh pada batas fasa yang lebih rendah. Namun hal ini akan berakibat pada munculnya puncak-puncak nilai *gain* pada tanggapan daerah frekuensinya serta munculnya *overshoot* dan dering pada tanggapan daerah waktunya.

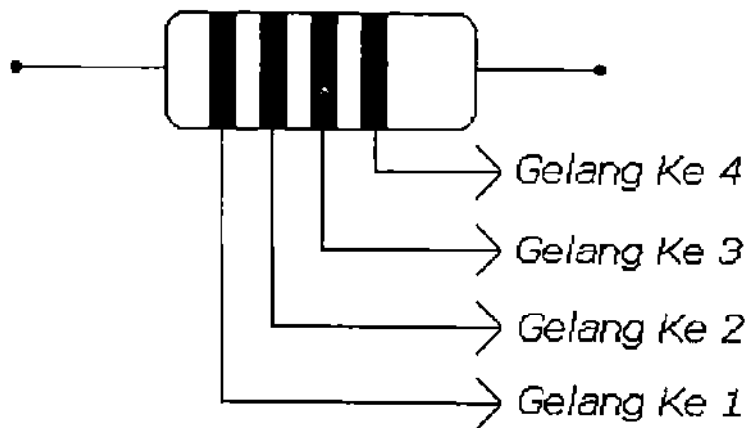
(George Clayton, Steve Winder, 2005)

## b. Resistor

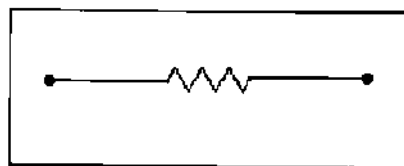
Resistor merupakan suatu komponen yang dapat menghambat arus listrik pada suatu penghantar. Besar kecilnya nilai tahanan dapat dinyatakan dengan satuan *Ohm* atau ditulis dengan huruf latin  $\Omega$  (*omega*) dan notasinya ditulis dengan huruf *R*. Untuk menuliskan nilai resistor pada badan resistor dipergunakan kode warna yang dicantumkan dalam bentuk gelang-gelang berwarna yang sesuai dengan besarnya nilai resistor tersebut.

yang dipergunakan dapat dilihat pada Gambar 2.22





Gambar 2.28 Kode Warna Pada Resistor



Gambar 2.29 Lambang Resistor

Tabel 2.3 Kode Warna Resistor

Warna	Gelang 1	Gelang 2	Gelang 3	Gelang 4
Hitam	0	0	1	
Coklat	1	1	10	
Merah	2	2	100	
Oranye	3	3	1000	2 %
Kuning	4	4	10000	
Hijau	5	5	100000	
Biru	6	6	1000000	
Violet	7	7	-	
Abu-abu	8	8	-	
Putih	9	9	-	
Emas	-	-	-	5 %
Perak	-	-	-	10 %
Tidak berwarna	-	-	-	20 %



# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi sistem komunikasi dan instrumentasi semakin pesat, hal ini terlihat dengan bermunculannya peralatan-peralatan komunikasi yang mampu menjalankan fungsinya dengan baik sehingga manusia sebagai pengguna dapat menikmati dengan leluasa. Untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik dalam sistem komunikasi, maka didalam peralatan-peralatan komunikasi tersebut tentunya terdapat suatu sistem yang mendukung agar peralatan komunikasi tersebut berfungsi dengan baik. Salah satu sistem itu adalah tapis. Tapis adalah pengolah sinyal yang bergantung pada frekuensi. Tanggapan frekuensi tapis terdiri dari tanggapan *magnitude* dan tanggapan *phase*. Tanggapan *magnitude* berupa fungsi penguatan atau pelemahan sinyal terhadap frekuensi, sedangkan tanggapan *phase* berupa fungsi pergeseran *phase* terhadap frekuensi. Dalam sistem komunikasi dan instrumentasi, tapis mempunyai peranan yang sangat penting, hal ini disebabkan karena salah satu proses yang menentukan berhasil atau tidaknya operasi dari suatu sistem komunikasi ada dalam tapis. Berbagai jenis tapis dengan klasifikasi yang berbeda-beda diantaranya berdasarkan komponen penyusunnya, daerah frekuensi yang dilewatkan, bentuk tanggapan frekuensi terhadap *gain* dan klasifikasi berdasarkan sifat penguatannya

Klasifikasi tapis berdasarkan komponen penyusunnya,

1. Tapis LC Pasif dan RC Aktif
2. Tapis SAW (*Surface Acoustic Waves*)
3. Tapis Elektromekanik
4. Tapis Kristal *Piezoelektris*

Klasifikasi tapis berdasarkan daerah frekuensi yang dilewatkan, tapis dibagi menjadi :

1. LPF (*Low Pass Filter*)
2. BPF (*Band Pass Filter*)
3. HPF (*High Pass Filter*)
4. BSF/BRF (*Band Stop Filter/Band Reject Filter*)
5. *All Pass Filter* (hanya memperhatikan tanggapan *Phasa*)

Klasifikasi tapis berdasarkan bentuk tanggapan frekuensi terhadap *gain*, tapis dibagi menjadi :

1. Tapis *Bessel* (*Maximally Flat Time Delay*)
2. Tapis *Cauer* (*Elliptic*)
3. Tapis *Butterworth* (*Maximally Flat*)
4. Tapis *Chebyshev* (*Tchebycheff*)

Klasifikasi tapis berdasarkan sifat penguatannya, tapis dibagi menjadi :

1. Tapis aktif : bersifat menguatkan
2. Tapis pasif : Bersifat tidak menguatkan

Dari sekian banyak jenis tapis, masing-masing tapis mer  
dan aplikasi yang berbeda-beda. Salah satu aplikasinya dalam sist

*carrier* yang berfrekuensi tinggi dengan sinyal informasi yang berfrekuensi rendah. Untuk mendapatkan sinyal informasi yang berfrekuensi rendah maka digunakan tapis lolos rendah. Agar sinyal informasi yang didapatkan seakurat mungkin, maka kinerja tapis lolos rendah juga harus seoptimal mungkin atau dapat juga dikatakan tanggapan *magnitude* tapis lolos rendah harus seideal mungkin, dimana tapis lolos rendah memiliki tanggapan ideal berupa garis lurus mendatar (*horizontal*) dari frekuensi yang sama dengan nol hingga mencapai frekuensi *cut off* dimana kurva tanggapan selanjutnya (untuk frekuensi diatas frekuensi *cut off*) adalah berupa garis lurus vertikal. (George Clayton, Steve Windcr, 2005).

Untuk mendapatkan *output* tapis lolos rendah yang mendekati ideal maka tapis yang akan dibuat adalah jenis tapis aktif lolos rendah *butterworth*. Tapis aktif lolos rendah *butterworth* mempunyai kelebihan, antara lain tapis ini bersifat menguatkan, hal ini dimaksudkan agar sinyal masukan tidak segera mengalami pelemahan (*attenuation*) selama rangkaian meneruskan sinyal-sinyal dengan frekuensi yang dikehendaki. Kelebihan yang lain adalah tanggapan *magnitude* pada daerah *passband* menghasilkan kerataan yang maksimal dan pada daerah peralihan yang curam.

Tapis lolos rendah banyak diaplikasikan dalam sistem komunikasi, salah satunya adalah aplikasi pada proses demodulasi tegangan AM (*Amplitudo Modulation*), dimana pada aplikasi ini isyarat pemodulasinya menggunakan

## B. Identifikasi Masalah

Dalam pembuatan tapis aktif lolos rendah *butterworth* ini dilakukan identifikasi masalah :

1. Tapis lolos rendah memiliki tanggapan ideal berupa garis lurus mendatar (*horizontal*) dari frekuensi yang sama hingga mencapai frekuensi *cut off* dimana kurva tanggapan selanjutnya (untuk frekuensi diatas frekuensi *cut off*) adalah berupa garis lurus vertikal, namun fakta dilapangan tanggapan yang ideal ini sulit didapatkan dan juga adanya efek *non linear* sehingga mengakibatkan tanggapan tapis jauh dari keadaan ideal dan hal ini pada beberapa aplikasi akan menimbulkan pengaruh yang tidak diinginkan, seperti adanya salah pengiriman sinyal informasi atau sinyal informasi yang diterima pada stasiun penerima kurang akurat. Hal ini tentu akan mengganggu jalannya komunikasi.
2. Terjadinya attenuasi yang berhingga (*finite*) pada *stop band* dan terjadi ombak (*ripple*) baik pada *passband* maupun *stopband*.

## C. Batasan Masalah

Dalam skripsi penapis aktif lolos rendah *butterworth* dengan frekuensi *cut off* 1 KHz ini masalah akan dibatasi pada bagaimana membuat tapis lolos rendah yang



#### D. Tujuan

Tujuan dari pembuatan tapis aktif lolos rendah *butterworth* ini adalah :

1. Membuat tapis aktif lolos rendah *butterworth* yang tanggapan *magnitude*-nya mendekati ideal dengan frekuensi *cut off* sebesar 1 KHz.
2. Dapat mengetahui tanggapan *magnitude* dan tanggapan *phase* terhadap adanya perubahan frekuensi.

#### E. Manfaat

Dengan dibuatnya tapis aktif lolos rendah *Butterworth* dengan frekuensi *cut off* 1 KHz, diharapkan dapat diaplikasikan pada sistem komunikasi. Misalkan saja diaplikasikan pada proses demodulasi tegangan AM (*Amplitudo Modulation*), dimana pada proses ini isyarat pemodulasinya menggunakan frekuensi 1 KHz. Pada aplikasi ini tapis lolos rendah berfungsi untuk memurnikan gelombang pemodulasi sehingga akan menghasilkan SNR (*Signal Noise to Ratio*) yang tinggi, dan hal ini akan berakibat pada sinyal informasi yang diterima pada stasiun penerima akan terdengar jernih dan mirip dengan aslinya. Aplikasi yang lain dari tapis lolos rendah adalah sebagai tapis sinyal audio.

## **F. Sistematika Penulisan**

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bagian ini membahas tentang latar belakang, identifikasi masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Bagian ini membahas tentang pengertian tapis, klasifikasi tapis, komponen tapis.

### **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

Bagian ini membahas tentang alat dan bahan, tata cara, diagram blok rangkaian tapis aktif, analisis data dan pembahasan serta kesimpulan.

### **BAB IV. HASIL DAN ANALISIS DATA**

Bagian ini membahas tentang hasil perancangan alat dan analisis data.

### **BAB V. PENUTUP**

Bagian ini berisi kesimpulan dan saran