

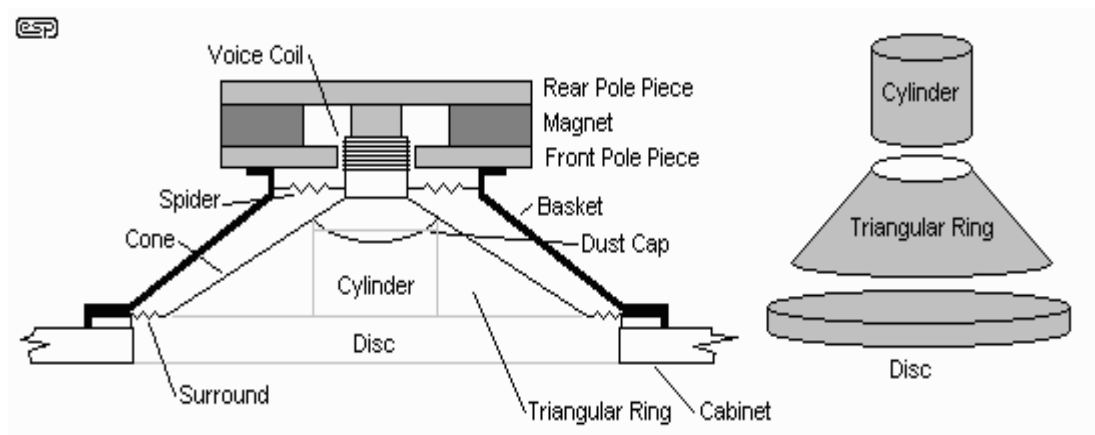
2. TEORI PENUNJANG

Sebelum memasuki perhitungan speaker aktif yang akan digunakan, terlebih dahulu kita mengetahui tentang teori atau pengetahuan dari bagian bagian speaker aktif yang penting. Antara lain speaker, kotak speaker, vent, tone control, penguat common kolektor, differensial amplifier, feed back negative, power amplifier, noise. Berikut penjelasan dari masing masing komponen.

2.1. Speaker

Dalam komponen speaker atau yang dikenal sebagai *loud speaker* secara umum berfungsi untuk menghasilkan frekuensi output signal audio yang diberikan dan dapat ditangkap oleh telinga kita. Berikut ini penjelasan tentang speaker dan jenis jenis speaker yang ada.

2.1.1. Bagian bagian dari speaker



Gambar 2.1¹. Bagian Bagian Dari Speaker

¹ <http://www.spicels.com/audioidiy>

✓ *Basket / frame*

Terbuat dari plat logam yang dapat menyangga seluruh bagian speaker dimana bagian bagian speaker yang lain dapat dilekatkan hingga menjadi speaker yang utuh

✓ *Magnet*

Magnet disini digunakan untuk membangkitkan medan magnet permanen yang akan digunakan untuk menggerakkan *voice coil*, sehingga dapat menghasilkan suara.

✓ *Voice Coil*

Voice Coil merupakan bagian terpenting dari sebuah speaker. *Voice coil* terdiri dari *robbin* (tempat menggulung coil) dan *coil* (merupakan gulungan BWR – *Brass Wire Rope*). *Coil* ini akan bergerak sesuai dengan sinyal yang diterima.

✓ *Spieder / Damper*

Spider atau *damper* digunakan untuk suspensi speaker yang berfungsi untuk meredam getaran dari *voice coil*, sehingga *voice coil* dapat bergerak leluasa.

✓ *Cone Paper*

Cone Paper merupakan bagian dari suspensi dari speaker yang berfungsi sekaligus sebagai penguat getaran yang ditimbulkan oleh *Voice coil* sehingga dapat terbentuk suara yang jelas dari signal yang diterima speaker.

✓ *Dust Cap*

Dust Cap berfungsi sebagai penyalur getaran suara bersama cone paper dan melindungi bagian dalam speaker (celah udara tempat *voice coil* bergerak) dari debu dan kotoran.

2.1.2. Tipe Speaker

Speaker sendiri dibedakan menjadi beberapa tipe. Berikut ini merupakan tipe tipe speaker yang banyak beredar di masyarakat secara umum

▪ *Woofers*

Woofers biasanya berdiameter antara 6,5” sampai 15” dan dirancang untuk menghasilkan frekuensi 20 Hz – 500 Hz.

- *Midrange*
Midrange umumnya berukuran 2,5” sampai 6,5” dan dirancang untuk menghasilkan frekuensi 200 Hz – 4k Hz.
- *Tweeter*
 Umumnya berukuran 0,5” sampai 1” dirancang untuk menghasilkan frekuensi 2k Hz – lebih dari 20 k Hz.

2.2. Kotak Speaker :

Salah satu bagian yang paling penting untuk menghasilkan suara adalah kotak speaker yang dapat meningkatkan performa dari suara yang di keluarkan melalui speaker. Dalam udara bebas speaker dapat disamakan dengan ikan yang mengelepar gelepar di atas air. Dari hasil pengujian yang dilakukan pada speaker polos dan speaker yang tertutup tampak berbeda karena speaker tertutup dapat memberikan intensitas suara 100 kali lebih besar pada frekuensi frekuensi rendah dari pada speaker polos (dalam udara bebas), dengan catatan ukuran kotak speaker cocok. Kebanyakan kotak speaker dibuat dari MDF (*Medium Density Fiberboard*) dan ditutupi dengan kulit kayu atau yang lainnya.

2.2.1. Tipe Kotak Dan Perbandingan

Setelah mengetahui fungsi dari kotak speaker, kita harus juga meninjau perbedaan dari tipe kotak speaker. Pada umumnya ada 3 macam kotak yang sering digunakan antara lain kotak tertutup (*sealed*), *Bass Reflex*, dan *Band Pass*. Tipe kotak yang berbeda dapat menyebabkan *delay* dan frekuensi respon nampak perbedaannya bila dibandingkan dengan kotak speaker dengan tipe yang berbeda. Di bawah ini merupakan macam tipe kotak speaker yang banyak digunakan

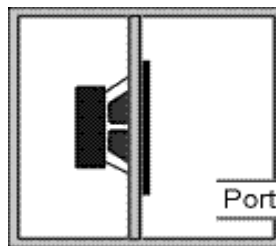
Sealed Box



Bass Reflex Box



Single Reflex Bandpass Box



Gambar 2.2². Jenis Jenis Kotak Speaker

Pada gambar kotak speaker di atas memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, di bawah ini merupakan keterangan dari kotak kotak speaker pada umumnya:

- *Sealed Box* (kotak tertutup)

Sealed Box adalah kotak yang paling sederhana dari ketiga kotak yang disebutkan. Ini sangat mudah dengan kotak dimana *driver* (speaker) ada didalamnya. Udara didalam kotak bekerja sebagai suspensi dari speaker. Bergantung dari ukuran kotak frekuensi respon yang berbeda dapat dicapai. Dengan perbedaan dalam volume muncul perbedaan pada penyimpangan *cone* dan kelompok delay sebaik yang lain.

² <http://www.mmxpress.com>

Keuntungan

- a. Mudah untuk dibuat (tidak terlalu sensitive jika volume tidak tepat)
- b. Group delay/respon transient yang baik (rendah) yang berarti sangat ketat untuk desain yang sesungguhnya.
- c. Sealed box dapat mengambil power yang banyak melalui segala range frekuensi.

Kekurangan

- a. Effisiensi relative rendah.
- b. Respon frekuensi akan terganggu dalam beberapa kasus tertentu pada octave/frekuensi.

- *Bass Reflex Box*

Bass Reflex Box sedikit lebih rumit dari *Sealed Box*. Pada penggunaan menambahkan penetapan jumlah udara untuk menghasilkan frekuensi. *Bass Reflek Box* ini menggunakan *port* (lubang udara) yang dapat membantu dalam menghasilkan frekuensi rendah. *Port* dapat diubah ubah untuk menghasilkan respon frekuensi yang berbeda. Variable *port* yang digunakan adalah panjang *port* dan luas *port* (seperti diameter port silinder). Bergantung pada frekuensi yang kita inginkan, *port* dapat diatur, panjang *port* dapat diberikan untuk area yang disediakan dengan menggunakan rumus tertentu.

Keuntungan

- a. Respon frekuensi yang lebih panjang.
- b. Effisiensi yang tinggi.
- c. Penanganan power yang tinggi diatas *port tuning* frekuensi.

Kekurangan

- a. Sulit untuk membuat dan mendapatkan dengan tepat.
- b. Penanganan power yang rendah dibawah *port tuning* frekuensi.
- c. Group delay / respon transient yang buruk dibandingkan kotak tertutup (tetapi lebih baik dari pada *bandpass*) tetapi masih dapat diterima bila didesain yang sesungguhnya.

- Single Reflex Bandpass Box

Single Reflex Bandpass Box merupakan salah satu macam dari *Bandpass Box*. *Single Reflex Bandpass* adalah *bandpass* yang akan mempengaruhi efek negative kualitas suara dari semua tipe *bandpass*. Dengan adanya *port* untuk menghasilkan semua *bass* frekuensi.

Sejak semua suara akan datang dari *port*, jelas bahwa *port* membutuhkan aliaran udara yang bebas dan suara tidak dialihkan dengan logam, kain atau bahan yang lainnya. Lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar di atas, *Single Reflex Bandpass Box* mempunyaidua ruang dimana membuatnya menjadi sulit untuk dibuat dan menepatkannya. Berdasarkan dari volume ruangan panjang dan luas dari *port* (*tuning*), frekuensi respon yang berbedadapat dicapai. *Bandpass* dapat dibangun untuk memberikan efisiensi yang tinggi pada range frekuensi yang sempit, atau kotak dapat didesign untuk menghasilkan efisiensi yang rendah pada range frekuensi yang lebar. Dan beberapa diantaranya sudah umum.

Bandpass box dalam kebanyakan kasua hanya diperuntukan untuk orang yang telah berpengalaman. Bila tidak dirancang dengan sesungguhnya dengan volume ruang yang benar dan *variable port*, akan mengisi 99% dari kasus suara menjadi jelek dan banyak SPL (*Sound Presure Level*) menjadi sangat rendah dari pada *Sealed Box* yang simple. Ini selalu menjadikan ide yang baik untuk mengecek dengan pembuatan dari speaker untuk volume dan panjang atau luas *port* bila kita ingin memutuskan untuk membuat *Bandpass*.

Keuntungan

- a. Dapat dibuat dengan efisiensi yang tinggi yang dapat menjadikan kotak memiliki Sound Presure Level yang tinggi.
- b. Dapat dibuat agar dapat memiliki perluasan frekuensi yang besar.

Kerugian

- a. Sulit untuk dibuat.
- b. Group delay/ respon transient yang jelek bila dibandingkan dengan kotak lain.

2.2.2. Perhitungan Kotak Speaker

Dalam perhitungan kotak sangat berpengaruh pada respon frekuensi yang sesuai. Dan perhitungan ini sangat berhubungan erat dengan parameter driver speaker yang digunakan, karena setiap produksi dan model speaker memiliki parameter yang berbeda. Perhitungan kotak dapat dilakukan dengan menggunakan software (seperti Boxplot, LSPCad, Winsibeta, dan sebagainya) atau dengan manual dengan menggunakan tabel di bawah ini:

Tabel 2.1³. Tabel Nilai Speaker Yang Diperoleh Dari Pengujian Sebenarnya

Ukuran (inci)	f_s (Hz)	Q	V_{AS} (kaki kubik)
4	55	0,35	0,23
6½"	57*	0,6*	0,7*
8	43	0,46	2,15
8	40	0,41	2,55
10	40	0,93	4,3
12	20	0,87	10,8

Nilai nilai pada tabel di atas telah diperoleh dari hasil tes sebenarnya. Perubahan diatas dapat terjadi menurut perubahan speakernya.

Dalam perhitungan kotak speaker perlu diperhatikan parameter- parameter yang dimiliki oleh sebuah speaker. Kita dapat mengetahui nilai nilai parameter dari speaker tersebut dari pabrik pembuat speaker tersebut. Berikut ini istilah-istilah yang dipakai untuk kotak speaker dan speaker antara lain:

³ David B.Weems, Merancang Dan Menguji Sistem Speaker, hal 169

- f_s = frekuensi resonansi udara bebas.
- Q = Q driver total, dapat ditulis dengan Q_t atau Q
 - o Q_e = electrical Q
 - o Q_m = mechanical Q
- V_{as} = persamaan volume udara dari pergerakan bagian suspensi.
- V_b = volume kotak netto
- f_b = frekuensi kotak resonansi
- f_3 = frekuensi cut-off sistem, turun 3 dB
- R_s = hambatan speaker coil DC.

Untuk pemilihan tipe kotak pertama tama hitung Efficiency Bandwidth Product (EBP)

$$EBP = f_s/Q_e \quad (2.1)$$

Bila $EBP < 50$, menunjukkan bahwa speaker lebih baik ditukar dengan design Sealed Box dari pada menggunakan Vented Box. Dan bila berkisar 100, ini menunjukkan bahwa design Vented Box adalah pilihan yang cocok.

Bila ada variabel Q_e dan Q_m , maka kita dapat menghitung Q_t .

$$Q_T = 1/((1/Q_m) + R_s/((R+R_s)Q_e)) \quad (2.2)$$

Dimana nilai R adalah hambatan dari pengkabelan, yang besarnya 0.5 ohm. Alternative lain, menggunakan Q_t yang spesifik dalam parameter table speaker dibawah ini. Kurang lebih diharapkan bahwa nilai :

$$Q_e = 1.25Q_t \quad (2.3)$$

$$Q_m = 5Q_t \quad (2.4)$$

Dibawah ini merupakan tabel Metode Thiele's yang dipilih berdasarkan pada Q_t .

Tabel 2.2⁴. Tabel Nilai Q_t Menurut Keele

Alignment			Box design				
No	Type	Ripple(dB)	f_3/f_s	f_B/f_s	V_B/V_{AS}	Q_T	
1	QB ₃	---	2.68	2.000	0.0954	0.180	
2	QB ₃	---	2.28	1.730	0.1337	0.209	
3	QB ₃	---	1.77	1.420	0.2242	0.259	
4	QB ₃	---	1.45	1.230	0.3390	0.303	
5	B ₄	---	1.000	1.000	0.7072	0.383	optimally flat
6	C ₄	---	0.867	0.927	0.9479	0.415	
7	C ₄	0.13	0.729	0.829	1.372	0.446	
8	C ₄	0.25	0.641	0.757	1.790	0.518	
9	C ₄	0.55	0.600	0.716	2.062	0.557	
9.5	C ₄	1.52	0.520	0.638	2.60	0.625	

Yang harus diperhatikan bahwa tabel di atas untuk kotak yang ideal. Sedikit disarankan bahwa volume dinaikan sebesar 30 % untuk mengganti kekurangan pada kotak.

Pada tabel nilai f_B dapat dinilai dengan perhitungan ketika $Q_t < 0$.

$$f_B = 0.38f_s/Q_t \text{ untuk kotak ideal} \quad (2.5)$$

$$f_B = 0.4f_s/Q_t \text{ bila pengurangan kotak dengan } Q_b = 7 \quad (2.6)$$

Respon kotak dihitung sebagai fungsi dari kotak volume dan volume kotak yang terbaik yang ditentukan. Disarankan kotak volume antara :

$$V_B > 2 * V_{AS}(Q_T^2) \quad (2.7)$$

$$V_B < 10 * V_{AS}(Q_T^2) \quad (2.8)$$

⁴ <http://retro.co.za>

Dan frekuensi f_3 -3dB akan dihitung :

$$f_3 = \sqrt{\frac{V_{as}}{V_b}} \quad (2.9)$$

2.3. Vent

Penambahan *Vent* atau *port* pada speaker khususnya dibutuhkan pada speaker dengan tipe kotak *Bass Reflek*. Bertujuan agar dapat memperoleh respon range frekuensi rendah menjadi lebih lebar. Untuk mendapatkan ukuran vent dari sebuah kotak speaker maka digunakan rumus :

Minimum vent diameter:

$$dv \geq 39.37 \times \left(\frac{411.25 \times V_d}{\sqrt{F_b}} \right)^{0.5} \quad (2.10)$$

$$dv \geq 39.37 \times (F_b \times V_d)^{0.5} \quad (2.11)$$

Keterangan :

- dv = diameter yang dibutuhkan dari port (inches)
- F_b = tuning frekuensi pada kotak dalam Hz
- V_d = volume yang menggantikan driver (m^2) melalui penyimpangan penuh (*peak to peak*). Untuk mengetahui V_d dari speaker, dicari nilai S_d untuk driver pada table dibawah ini, dan mengkalikan dengan besar X_{max} (dalam meter) pada speaker.

Tabel 2.3⁵. Tabel Nilai Sd

Driver Diameter	Sd (M ²)
18"	0.1300
15"	0.0890
12"	0.0530
10"	0.0330
8"	0.0220
6.5"	0.0165
6"	0.0125
5.25"	0.0089

Panjang vent :

$$L_v = \frac{1.463 \times 10^7 R^2}{F_b^2 V_b} - 1.463R \quad (2.12)$$

Keterangan :

- F_b = tuning frekuensi pada kotak dalam Hz.
- L_v = panjang dari port (inches)
- R = jari jari dalam dari tabung vent
- V_b = volume dalam kotak (inches). Untuk mengubah cubic feet menjadi cubic inches, dikalikan dengan 1728.

Bila ingin menghitung vent dalam bentuk kotak, rumus dibawah ini akan memberikan nilai dari R

$$\sqrt{\frac{a}{\pi}}$$

⁵ <http://www.audiovideo101.com>

pada rumus di atas, a adalah luas dari vent kotak (tinggi x lebar), dan π (Pi) dengan nilai 3.141592

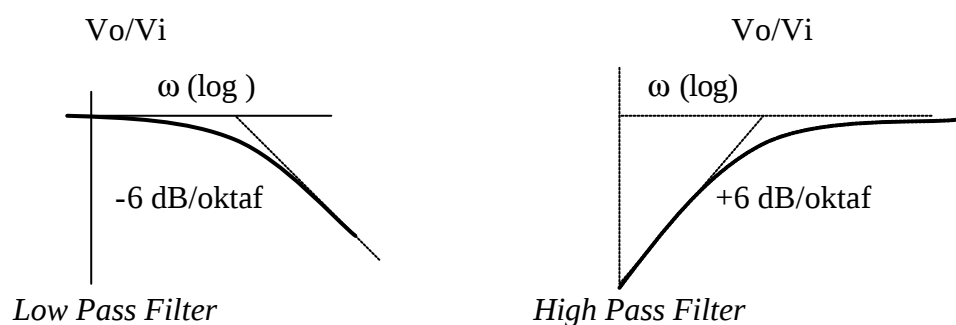
2.4. Tone Control

Frekuensi signal *input* akan di batasi *range* frekuensinya untuk diolah. Pembatasan signal input itu biasanya dilakukan dengan pemotongan signal *input* dengan menggunakan *tone control*.

Pada dasarnya ada dua metode *tone control* yang dapat diterapkan pada rangkaian, yaitu metode *tone control* pasif dan aktif. Tetapi pada dasar nya *tone control* merupakan rangkaian penyaring R-C atau filter R-C yang cukup sederhana. *Tone control* ini akan berfungsi sebagai pengatur frekuensi tinggi (*treble*) dan frekuensi rendah (*bass*). Untuk jenis *tone control* aktif mempunyai nilai redaman yang jauh lebih besar dibandingkan dengan metode pasif, sehingga pada tingkat berikutnya harus ditambah transistor sebagai penguat mini.



Gambar 2.3⁶. Rangkaian Low Pass Filter Dan High Pass Filter



Gambar 2.4⁷. Respon Frekuensi Low Pass Dan High Pass Filter

Gambar diatas merupakan rangkaian filter frekuensi dimana

⁶ Sutrisno, Teori Dasar Dan Penerapannya, hal 32

⁷ Sutrisno, Teori Dasar Dan Penerapannya, hal 35

$$\omega_p = \frac{1}{RC}$$

Untuk low pass filter

$$\frac{V_o}{V_1} = G(\omega) = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} \quad (2.13)$$

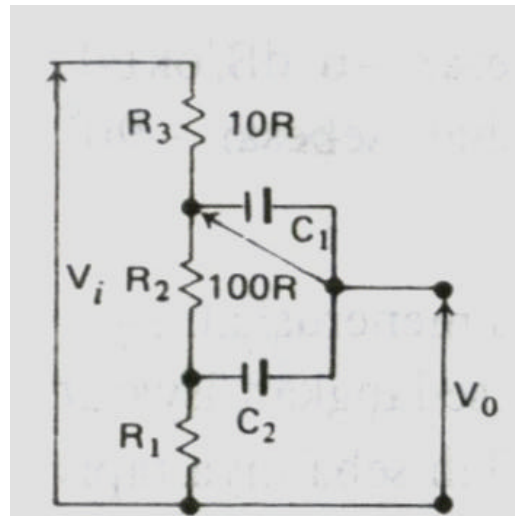
Untuk high pass filter

$$\frac{V_o}{V_1} = G(\omega) = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} \quad (2.14)$$

Tone control (pengatur nada) berfungsi sebagai pengubah tanggapan frekuensi pada system *amplifier*, fungsinya hampir sama dengan *filter low pass* dan *filter high pass*. Pada *tone control* akan membuat tanggapan frekuensi input menjadi datar artinya penguatan frekuensi dari yang tertinggi hingga terendah dikuatkan dengan penguat yang sama dan akan menguatkan nada *bass* (*bass boosting*) serta nada tinggi (*treble boosting*). Rangkaian *tone control* biasanya menggunakan rangkaian RC

2.4.1. Pengatur Nada Bass

Sesuai dengan fungsinya rangkaian tone control untuk mengatur nada bass akan diulas dibawah ini



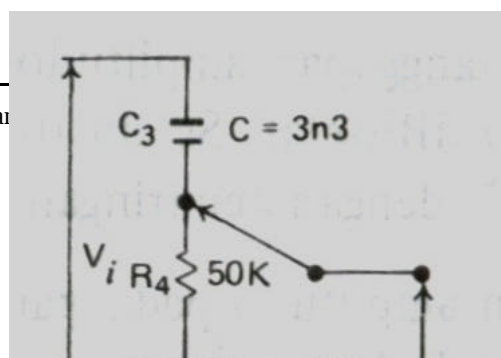
Gambar 2.5⁸. Rangkaian Bass Tone Control

Gambar rangkaian dasar pengatur nada bass seperti tampak diatas. Pada R2 adalah resistor variable yang berfungsi sebagai pengatur kuat lemahnya nada bass. Jika kotak R2 digeser ke arah R3 maka bass diperkuat maksimum, bila digeser ke kotak R1 bass akan ditekan secara maksimum.

2.4.2. Pengatur Nada Treble

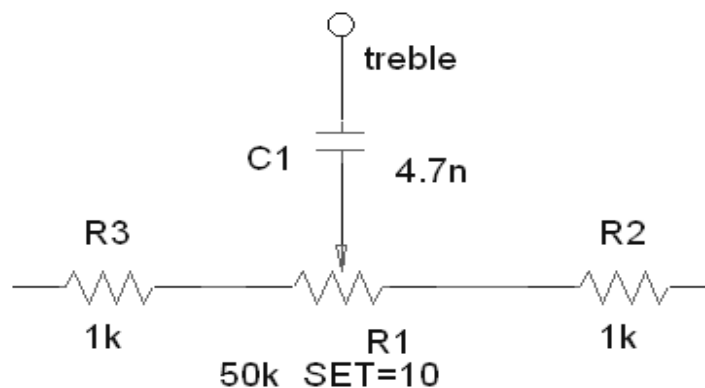
Setelah nada bass maka nada treble juga dapat diatur dengan mengunakan tone control pula. Dengan tujuan yang sama untuk menguatkan atau melemahkan frekuensi tinggi seperti rangkaian treble dibawah ini

⁸ Sutrisno, Teori Dasar Dan



Gambar 2.6⁹. Rangkaian Treble Tone Control

Pada gambar rangkaian diatas pengatur treble R4 berfungsi sebagai pengatur treble. Bila R4 digeser mendekati C3 maka treble dikuatkan secara maksimum, dan bila R4 digeser mendekati C4 treble akan ditekan secara maksimum.



Gambar 2.7. Rangkaian Equivalent Treble Tone Control

Gambar rangkaian di atas merupakan rangkaian treble dimana penekanan dan penigkatan frekuensi treble diatur oleh C1, R1, R2, R3. Tampak rangkaian diatas adalah rangkaian pembagi tegangan yang bersifat reaktif, artinya mengandung reaktansi, sehingga fungsi alihnya bergantung pada frekuensi.

Fungsi alih kompleks untuk bagian bass pada keadaan penguatan bass maksimum adalah:

⁹ Sutrisno, Teori Dasar Dan Penerapannya, hal 46

$$G(\omega) = \frac{R_1 + R_2 // \frac{1}{j\omega C_2}}{R_1 + R_2 // \frac{1}{j\omega C_2} + R_3} \quad (2.15)$$

Jika digunakan $R_1 = R$, dan $R_2 = 100 R$ dan $R_3 = 10 R$, fungsi alih kompleks menjadi:

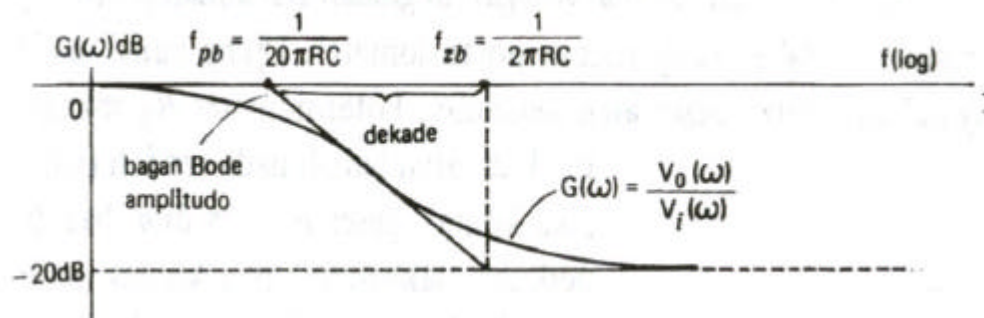
$$G(\omega) = \frac{1 + j\omega RC}{10 + j\omega RC} \quad (2.16)$$

dimana :

$$f_{pb} = \frac{1}{20\pi RC} \quad (2.17)$$

$$f_{zb} = \frac{1}{2\pi RC}$$

Berikut merupakan gambar bagan bode untuk rangkaian bass dapat dilihat sebagai berikut



Gambar 2.8¹⁰. Grafik Tangapan Dari Bass Tone Control

Pada gambar bagian pole diatas pada f_{pb} menyebabkan bagan bode berubah kemiringan sebesar $-6 \text{ dB/oktaf} = -20 \text{ dB/decade}$ dan pada f_z kemiringan bertambah $+20 \text{ dB/decade}$ lagi sehingga tanggapan frekuensi menjadi datar lagi. Tampak pada frekuensi rendah (bass) $V_o = V_i$, akan tetapi pada daerah frekuensi di atas f_z signal output menjadi melemah sebesar -20 dB , sehingga $V_o = V_i / 10$.

¹⁰ Sutrisno, Teori Dasar Dan Penerapannya, hal 46

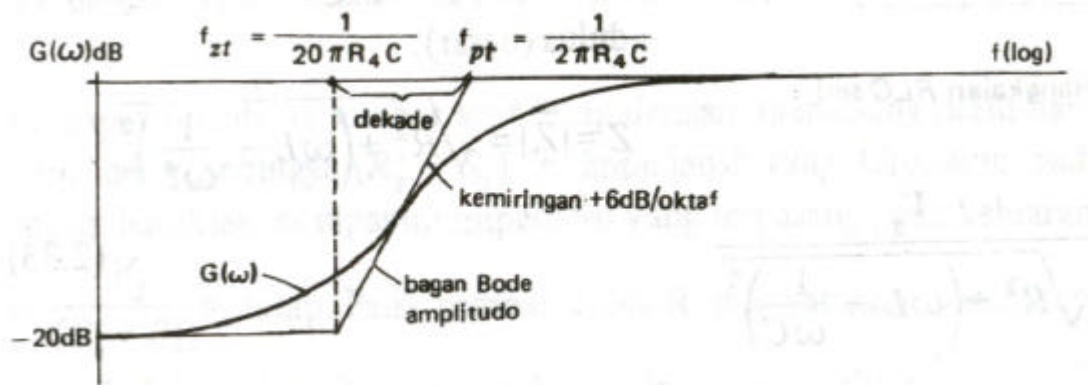
Fungsi alih bagian treble

$$G(\omega) = \frac{\frac{1}{j\omega C_4} + R_4}{\frac{1}{j\omega C_3} + R_3 + \frac{1}{j\omega C_4}} = \frac{j\omega + R_4 C_4}{j\omega + \omega_{pt}}$$

Dimana

$$\omega_{pt} = \frac{1}{R_4 \left(\frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} \right)} \quad (2.18)$$

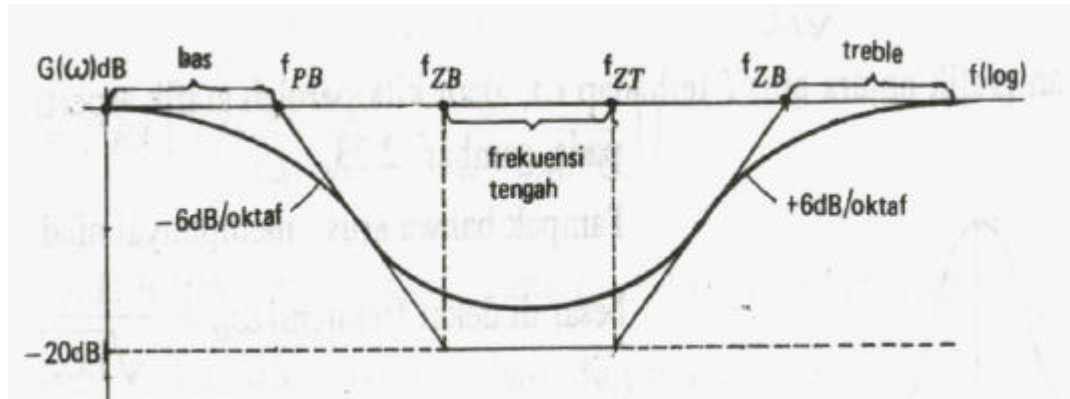
ω_{pt} merupakan pole sedangkan $1/R_4 C_4$ adalah nol. Jika digunakan $C_3 = C$ dan $C_4 = 10 C$ maka $\omega_z = 1/10 R_4 C$ dan $\omega_p = 1/1,1 R_4 C$. Jadi nilai nol ada disebelah kiri pole untuk treble. Bentuk gambar bagan bode serta respon amplitud untuk rangkaian treble sebagai berikut



Gambar 2.9¹¹. Gambar Tanggapan Treble Tone Control

Jika gambar pada rangkaian bass dan treble digabung diharapkan menghasilkan respon frekuensi seperti gambar dibawah ini

¹¹ Sutrisno, Teori Dasar Dan Penerapannya, hal 47

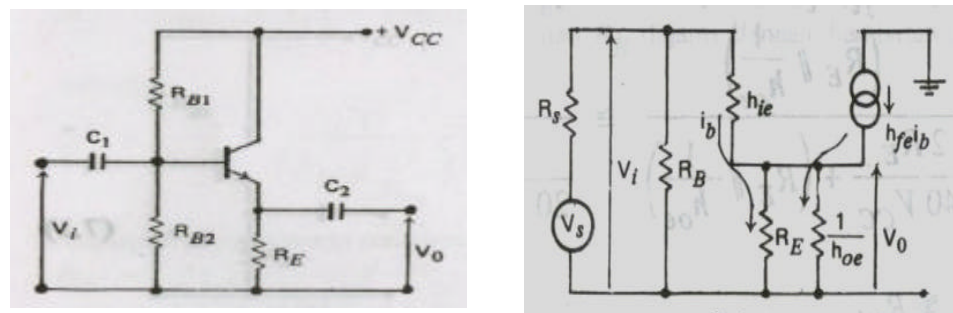


Gambar 2.10¹². Gambar Tanggapan Bass Dan Treble

pada gambar di atas respon bass dan treble ada diatas frekuensi tengah sebesar 20 dB tetapi pada kenyataannya sangat susah untuk mendapatkan respon frekuensi tengah yang dalam (- 20 dB).

2.5. Penguat *Common Collector*

Pada penguat kolektor ditanahkan, kolektor transistor dihubungkan langsung dengan V_{CC} . Sinyal *input* melalui basis, emitor dihubungkan dengan suatu hambatan ke ground tampak pada gambar dibawah ini



Gambar 2.11¹³. Penguatan *Common Collector* dan Rangkaian Ekuivalen AC

Untuk gambar diatas analisa AC penguat *common collector* dapat dilihat pada gambar rangkaian ekuivalen AC. Pada gambar $1/h_{oe}$ digambarkan parallel dengan R_E dan tampak arus I_b dan $h_{fe} I_b$ keduanya mengalir melalui $R_E // 1/h_{oe}$, ke *ground* sehingga

$$V_o = (1 + h_{fe}) I_b (R_E // 1/h_{oe}) \quad (2.19)$$

¹² Sutrisno, Teori Dasar Dan Penerapannya, hal 47

¹³ Sutrisno, Teori Dasar Dan Penerapannya, hal 165

Tegangan sinyal *input*:

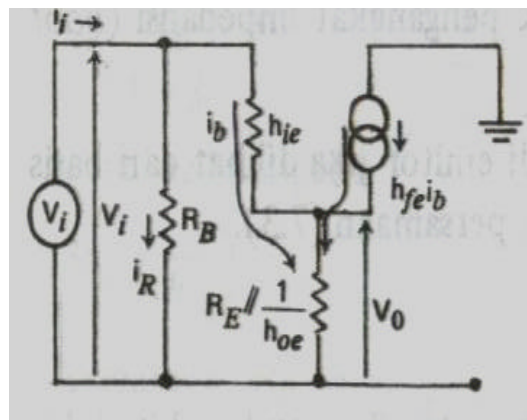
$$V_i = I_b h_{ie} + (1 + h_{fe}) I_b (R_E // 1/h_{oe}) \quad (2.20)$$

Penguat tegangan :

$$K_v = V_o / V_i$$

Sehingga : $K_v = 1$

Jadi terbukti bahwa penguatan $K_v = 1$, yang berarti tegangan sinyal *output* lebih kecil dari pada tegangan sinyal *input*. Untuk menghitung impedansi input dipasang sumber tegangan sinyal V_i pada input, dan $R_i = V_i / I_i$



Gambar 2.12¹⁴. Rangkaian *Common Collector*

Dari gambar dapat dihitung

$$I_i = I_R + I_b = (V_i / R_B) + (V_i / R_{it})$$

$$1/R_i = I_i / V_i$$

$$R_i = R_B // R_{it}$$

Dimana R_{it} diperoleh dari

$$R_{it} = V_i / I_b$$

Maka

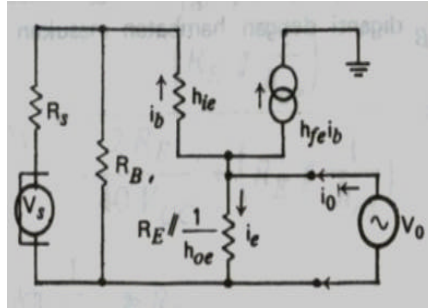
$$V_i = I_b h_{ie} + I_b (1 + h_{fe}) (R_E // 1/h_{oe})$$

Sehingga

$$R_{it} = V_i / I_b = h_{ie} + (1 + h_{fe}) (R_E // 1/h_{oe}) \quad (2.21)$$

Pada perhitungan impedansi output dihubungkan dengan tegangan sinyal V_o , seperti gambar dibawah berikut ini

¹⁴ Sutrisno, Teori Dasar Dan Penerapannya, hal 165



Gambar 2.13¹⁵. Rangkaian Penghitung Impedansi Output

Karena ada arus balik I_b , sumber arus $h_{fe} I_b$ juga terbalik hingga

$$I_e = V_o / (R_E // 1/h_{oe})$$

$$I_b = V_o / (h_{ie} + R_B // R_s)$$

Persamaan menjadi

$$I_o = (V_o / (R_E // 1/h_{oe})) + ((1 + h_{fe}) V_o / (h_{ie} + R_B // R_s))$$

$$1/R_o = I_o/V_o$$

sehingga

$$R_o = (R_E // 1/h_{oe}) // (h_{ie} + R_E // R_s) / (1 + \beta) \quad (2.22)$$

Faktor penentu pada persamaan diatas adalah

$$\begin{aligned} (h_{ie} + R_E // R_s) / (1 + \beta) &\sim r_e + (R_B // R_s / (1 + \beta)) \\ &= (1/40 I_e) + (R_B // R_s / (1 + \beta)) \end{aligned}$$

Faktor tersebut lebih kecil daripada $(R_E // 1/h_{oe})$

Maka :

$$R_o \sim (1/40 I_e) + (R_B // R_s / (1 + \beta)) \sim (1/40 I_e) + (R_s / (1 + \beta))$$

Karena pada umumnya $R_s = R_B$.

Nilai arus I_e yang besar dan β yang besar dapat dicapai dengan menggunakan dua buah transistor yang dihubungkan secara Darlington.

2.6. Differential Amplifier

Sebelum signal dialirkan ke speaker, signal melewati rangkaian *differential amplifier* atau biasanya disebut rangkaian *pre amp. Differential*

¹⁵ Sutrisno, Teori Dasar Dan Penerapannya, hal 167

amplifier sendiri dapat menggunakan dua transistor atau *op amp*, dimana fungsi ke dua duanya sama yaitu untuk memperkuat signal.

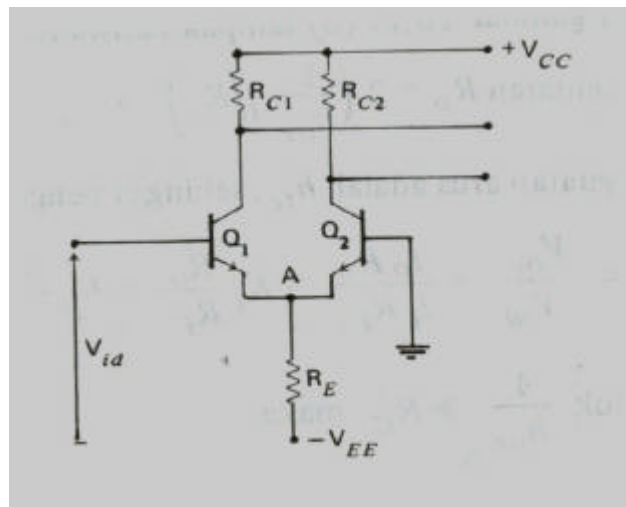
Tahapan *input* dari suatu penguat ideal memerlukan *impedansi input* yang tinggi. Salah satu yang banyak dipakai merupakan *differential amplifier*. Penguat ini memiliki dua input dan dua output. Selisih tegangan signal antara ke dua output sebanding dengan selisih kedua signal input pada input jika penguat tegangan kedua penguat sama.

$$V_{01} = A_1 V_{i1} \text{ dan } V_{02} = A_2 V_{i2} \text{ jika } A_1 = A_2 = A$$

$$V_{01} - V_{02} = A (V_{i1} - V_{i2}) \text{ atau}$$

$$V_{od} = A V_{id} \text{ dengan } V_{od} = V_{01} - V_{02} \text{ dan } V_{id} = V_{i1} - V_{i2}$$

Penguatan A juga disebut *differential amplifier*. Berikut ini gambar dari rangkaian differential amplifier yang mempunyai satu input dan dua output yang biasanya disebut dengan differnsial amplifier dengan penguatan tunggal



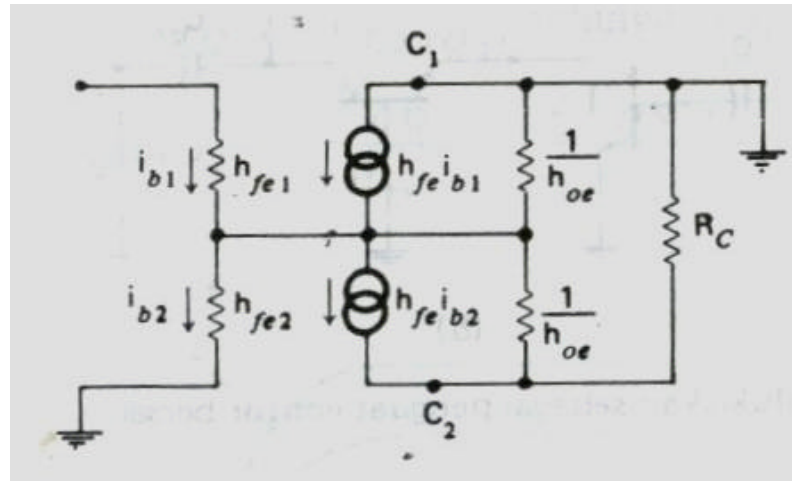
Gambar 2.14¹⁶. Rangkaian Differential Amplifier

Bila V_{id} diperbesar, arus I_{E1} akan diperbesar pula. Akibatnya tegangan titik A akan naik, $V_{BE(Q2)}$ akan berkurang sehingga I_{E2} akan berkurang. Ini berarti

$$I_{E1} + I_{E2} = I_E$$

¹⁶ Sutrisno, Elektronika : Teori Dasar Dan Penerapannya 2, Hal 45

tetap besarnya. Oleh karena $V_A = I_E R_E - V_{EE}$, tegangan pada titik A tidak dipengaruhi oleh signal diferensial. Dengan kata lain tegangan pada titik A mempunyai nilai tetap terhadap isyarat diferensial. Dipastikan signal differensial, R_E tak dilalui arus signal sehingga tidak muncul pada rangkaian setara isyarat kecil.



Gambar 2.15¹⁷. Rangkaian Equivalen Differensial Amplifier

Dari gambar diatas nampak bahwa hambatan input $R_i = 2 h_e$ dan hambatan output

$$R_o = \frac{1}{h_{oe}} \parallel R_C \quad (2.23)$$

Penguat arus $K_i = h_{fe}$, sehingga penguatan tegangan adalah:

$$K_v = \frac{V_o}{V_{id}} = \frac{i_o R_o}{i_i R_i} = K_i \frac{R_o}{R_i} = h_{fe} \frac{(h_{oe} \parallel R_C)}{h_{ie}} \quad (2.24)$$

¹⁷ Sutrisno, Elektronika : Teori Dasar Dan Penerapannya 2, Hal 51

Untuk

$$\frac{1}{h_{oe}} = R_c$$

Maka

$$K_{v,dif} = h_{fe} \frac{R_c}{h_{ie}} \quad (2.25)$$

Sehubungan dengan sifat penguatan diferensial terhadap sinyal modus bersama didefinisikan sebagai *Common Mode Rejection Ratio* (CMRR). CMRR berfungsi untuk menekan sinyal *noise* yang berasal dari *feedback* agar tidak mempengaruhi sinyal input. CMRR dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{CMRR} &= A_d / A_{CM} = h_{fe} R_c / h_{ie} \\ \text{CMRR (dB)} &= 20 \log (A_d / A_{CM}) \end{aligned} \quad (2.26)$$

Dimana :

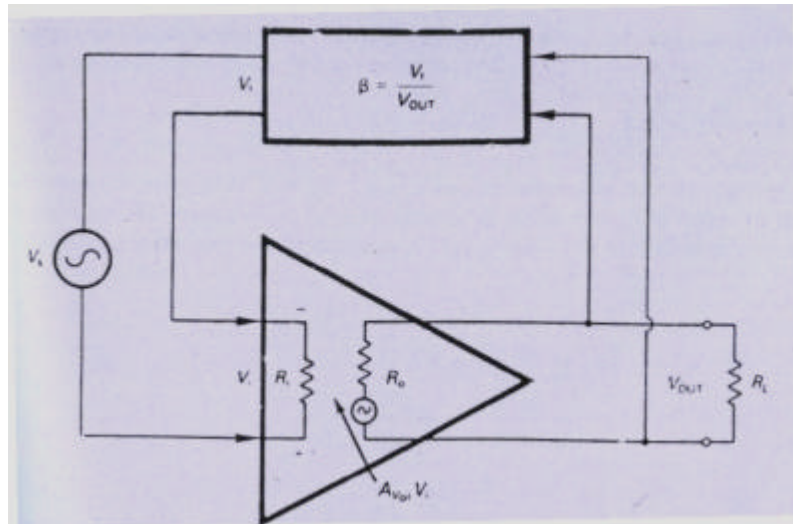
A_{CM} = penguat modus bersama

A_d = penguat differensial (K_v)

Secara ideal diharapkan $A_{CM} = 0$ tetapi dalam praktek $A_{CM} \neq 0$ hanya bernilai lebih kecil dari pada penguat differensial.

2.7. Feedback Negatif

Bila *feedback* negative ditempatkan pada penguat tegangan loop terbuka A_o , dengan sebagian tegangan β diumpan balik ke input. Seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 2.16¹⁸

Penguat Dengan *Feedback* Tegangan

Gambar diatas menunjukan penguatan tegangan *loop* tertutup A ditunjukan sebagai berikut

$$A = (A_o / (1 + \beta A_o))$$

Bila tegangan *input* V_{in} diinputkan pada penguat maka

$$V_o = A V_{in} = (A_o / (1 + \beta A_o)) V_{in} \quad (2.27)$$

Saat output short circuit tegangan *output* nol, maka factor *feedback* juga nol. Pada kondisi penguat kembali beroperasi sebagai penguat *loop* terbuka. Kemudian jika R_o adalah impedansi *output* dari penguat *loop* terbuka, maka arus hubungan singkat diberikan oleh

$$I_{sc} = (A_o / R_o) V_{in}$$

Sekarang impedansi output R_{out} , dengan *feedback* diberikan oleh

$$R_{out} = V_o / I_{sc} = (A_o V_{in} / (1 + \beta A_o)) \times (R_o / A_o V_{in})$$

$$R_{out} = R_o / (1 + \beta A_o)$$

Nampak bahwa impedansi output semakin kecil dengan faktor *feedback* sebagai berikut

$$1 / (1 + \beta A_o)$$

Kemudian tegangan pada impedansi input R_i diberikan oleh :

¹⁸ Ramakan A. Ggayakwad, Op Amps And Linear Integrated Circuits, Hal 112

$$e = V_{in} - \beta V_o$$

Oleh karena itu arus input

$$I_{in} = (V_{in} - \beta V_o) / R_i = V_{in} (1 - \beta A_o) / R_i$$

Bila impedansi Z_{in} adalah impedansi input dari penguat dengan umpan balik substitusi untuk I_{in} , sehingga Z_{in} adalah

$$Z_{in} = (V_{in} R_i) / V_{in} (1 - \beta A_o) = R_i / (1 - (\beta A_o / (1 + \beta A_o)))$$

Oleh karena itu impedansi input adalah

$$Z_{in} = R_i / (1 + \beta A_o) \quad (2.28)$$

Nampak bahwa impedansi input bertambah besar dengan faktor umpan balik sebagai berikut :

$$(1 + \beta A_o)$$

2.8. Power Amplifier

Power amplifier merupakan penguat akhir setelah *differensial amplifier*, dimana signal akan diperkuat lagi tetapi tidak sebesar pada penguatan *differensial amplifier*. *Power amplifier* ini dibagi menjadi beberapa tipe kelas dimana akan digolongkan pemakaiannya menurut pemakaian.

2.8.1 Pembagian Kelas Pada Power Amplifier :

Pembagian kelas pada power amplifier dibedakan karena hasil signal *output* yang berbeda serta penggunaannya yang berbeda juga.

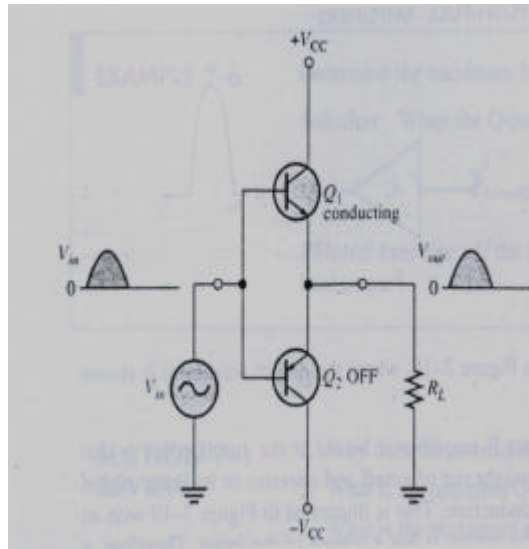
- Penguat kelas A:

Keunggulan dari system *amplifier* kelas A yaitu tampak pada sifat linear yang sangat baik. Karena sistem *amplifier* kelas A ini dapat menghasilkan signal output yang sama dengan signal *input*, meskipun hanya dilakukan penguatan yang tidak begitu besar. Tapi kerugiannya adalah penggunaan *amplifier* kelas A sangat tidak efisien. Sistem *amplifier* kelas A ini sudah jarang sekali digunakan.

- Penguat kelas B:

System *amplifier* kelas B mampu menghasilkan nilai output dengan daya yang tinggi. Efisiensi penggunaan penguat kelas B tergolong baik serta tidak membutuhkan arus yang terlalu besar. Kelemahan pada kelas B ini yaitu

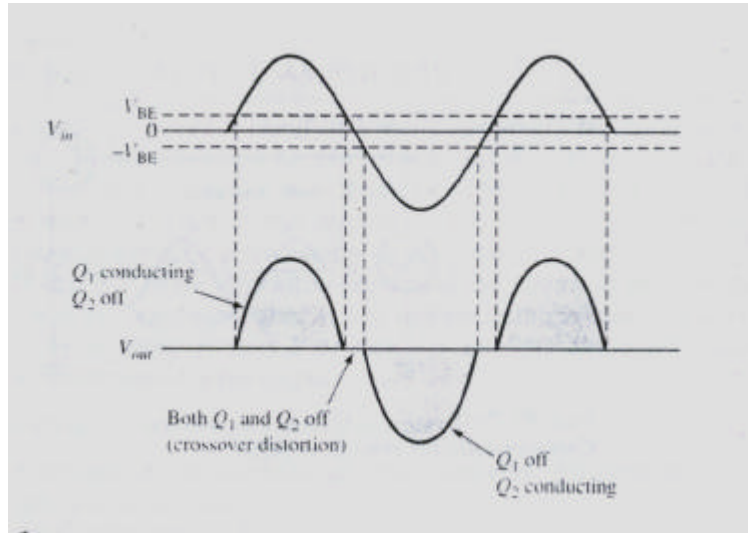
sangat sulit untuk menyeimbangkan signal output 2 transistor dengan sistem push – pull yang biasa digunakan pada sistem kelas B. Ketidakseimbangan pada kelas B ini mengakibatkan munculnya *noise* terutama pada level rendah. Berikut ini hasil output dari penguat kelas B.



Gambar 2.17¹⁹. Rangkaian Penguat Kelas B

Pada rangkaian penguat diatas dapat dilihat penyebab cacat pada penguat kelas B, kerja transistor yang bergantian menyebabkan pengolahan akhir pada output terdapat delay yang menyebabkan signal output agak terputus. Lebih jelas lagi kita lihat pada gambar signal dibawah ini.

¹⁹ Thomas L. Floyd, Electronic Devices, hal 384



Gambar 2.18²⁰. Hasil Output Penguat Kelas B

Signal yang terputus biasanya disebut sebagai *crossover distortion*. Efek yang sama akan terjadi pada penguat kelas AB tetapi *crossover distortion*nya dapat diatasi.

2.8.2. Perhitungan Daya Penguat Kelas B

Cacat pada penguat kelas B tidak seberapa tampak hingga dapat menutupi crossover distortion yang ada. Berikut ini perhitungan penguat kelas B:

Daya beban

$$P_{pp} = \frac{V_{pp}^2}{8R_L} \quad (2.28)$$

Dimana catu daya

$$P_{pp} = (V_{pp} I_{dc}) \quad (2.29)$$

Diketahui arus

$$I_{DC} = \frac{V_{pp}}{\pi R_L} \quad (2.30)$$

²⁰ Electronic devices Thomas L. Floyd hal 384

Sehingga catu daya dari sumber adalah

$$P_{pp} = V_{pp} \frac{V_{Lp}}{\pi R_L} \quad (2.31)$$

Jadi daya maksimum yang dibutuhkan dari sumber daya terjadi saat tegangan output maksimum:

$$V_{Lp(max)} = V_{pp}$$

Sehingga daya rata rata maksimum yang mengalir dari sumber daya adalah:

$$P_{cc(max)} = \frac{V_{pp}^2}{\pi R_L} \quad (2.32)$$

Jadi total daya

$$P_{cc total(max)} = \frac{V_{pp}^2}{2 \pi R_L} \quad (2.33)$$

Effisiensi

$$\% \text{ effisiensi} = \left(100 \times \frac{P_{L(max)}}{P_{cc total(max)}} \right) \quad (2.34)$$

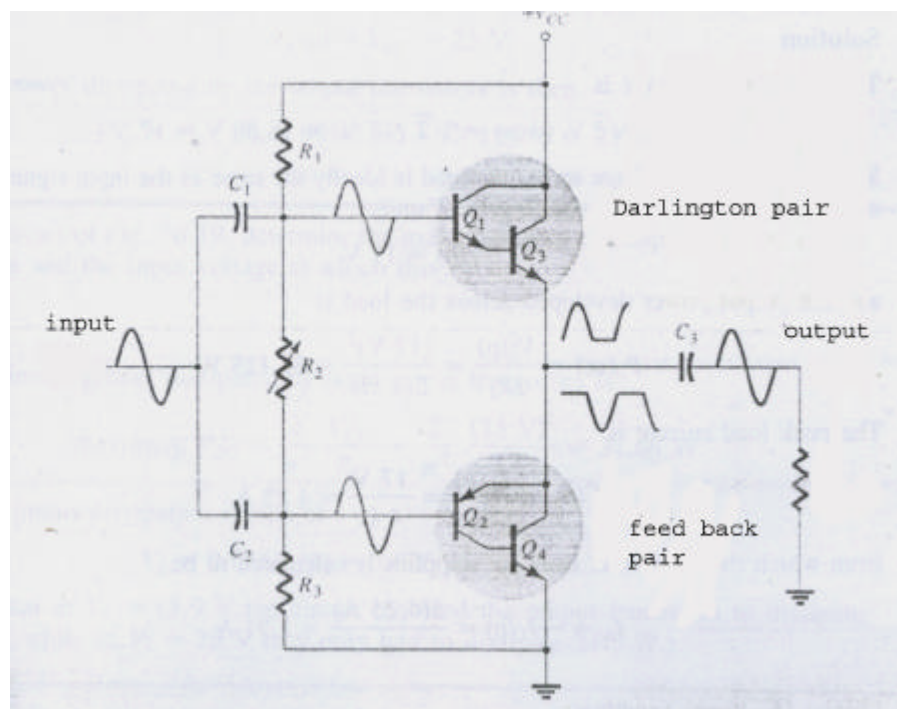
$$\% \text{ effisiensi} = \left(100 \times \frac{\pi}{4} \right) = 78,5 \%$$

Cacat pada kelas B timbul karena drop tegangan pada diode emitter transistor NPN dan PNP. Seperti pada gambar diatas. Transistor NPN dan PNP tidak akan bekerja hingga tegangan masukan mencapai 0.7 V. maka timbul cacat seperti gambar diatas yang dinamakan sebagai *crossover distortion*.

- Penguat kelas AB :

System penguatan kelas AB ini merupakan penggabungan dari penguatan kelas A dan B. Penggabungan kelas A dan B memiliki efisiensi

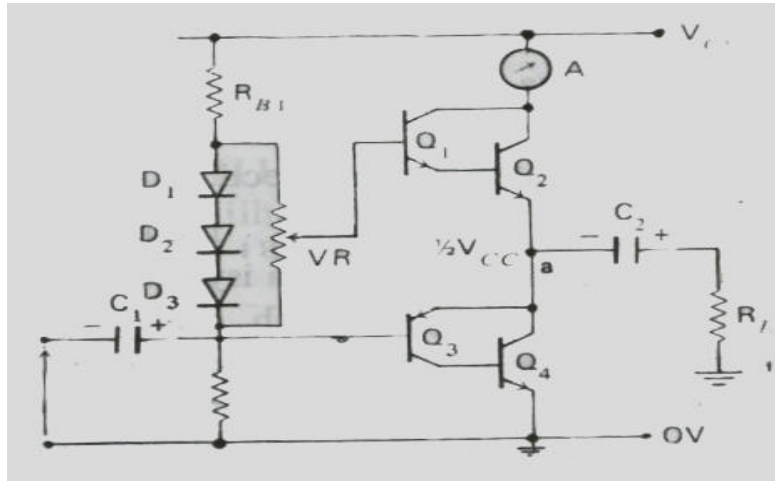
yang tinggi serta mampu menghasilkan daya penguatan yang tinggi. Penguat kelas AB ini menggunakan system *linier switching* atau *non switching amp* (penguat tanpa saklar). Jadi keunggulan pada penguat kelas B yaitu efisiensi tinggi serta hanya sedikit panas, dan keunggulan penguat A yaitu memiliki noise yang sangat rendah digabung menjadi satu. Pada sistem kelas AB ini, transistor – transistor positif dan negatifnya tidak pernah dimatikan secara penuh, tetapi dipertahankan sedikit di atas daerah saturasi dengan arus yang kecil.



Gambar 2.19²¹. Rangkaian Penguat Kelas AB

Pada rangkaian diatas dapat menekan lebar dari *crossover distortion*, dimana hasil output tidak terlalu cacat. Pada umumnya penguat amplifier yang kebanyakan digunakan pada speaker aktif tergolong dalam kelas B dan AB karena banyak jenis dan hasil suara yang dihasilkan cukup bagus.

²¹ Robert , B.,& Louis, N., Electronic Devices And Circuit Theoty, hal 691



Gambar 2.20²². Rangkaian Penguat Komplementer

Gambar diatas merupakan penguat setangkup *complementer* yang juga penguat kelas AB yang menggunakan kapasitor sebagai keluaran disebut penguat OTL (*Output Transformer Less*), karena tidak menggunakan trafo sebagai output. Pada penguat OTL tegangan DC pada titik a harus $0.5 V_{CC}$. Agar arus DC tidak mengalir ke beban maka dipasang kapasitor. Bias voltage menggunakan 3 buah diode yang dapat mengubah bias voltage dari 0 V hingga 1.8 V. Bias voltage diatur agar dapat menghilangkan *crossover distortion*.

2.9. Noise

Noise merupakan gangguan yang timbul pada rangkaian elektronik. Noise merupakan signal yang tidak diharapkan yang harus diminimumkan. Noise dibedakan menjadi 2 macam noise internal dan noise external. Noise external antara lain gelombang elektromagnetik yang ditimbulkan oleh trafo dan masih banyak contoh lainnya. Untuk internal noise berhubungan dengan rangkaian itu sendiri yang disebabkan berbagai macam. Antara lain

- Thermal noise

Berhubungan dengan panas yang dihasilkan oleh komponen

²² Sutrisno, Elektronika : Teori Dasar Dan Penerapannya, Hal 66

- Shot noise

Berasal dari komponen dalam semikonduktor yang menyebabkan perbedaan level energi molekul.

- Flicker (1/f) noise

Merupakan efek dari frekuensi rendah, yang berpengaruh langsung pada pengurangan frekuensi.

Noise dapat dihitung dengan

$$V_n = I_n R \quad \text{dimana nilai } I_n = (0.5 \text{ pA} / \sqrt{\text{Hz}})$$

$$V_{n \text{ total}} = V_n \sqrt{BW_n}$$

$$S/N \text{ ratio} = 20 \log_{10} (V \text{ sinyal} / V \text{ noise}) \quad (2.35)$$

Nilai S/N ratio yang baik untuk peralatan audio berkisar 65 dB hingga 75 dB agar efek dari noise yang ditimbulkan dapat ditekan nilai nya sekecil mungkin.