

Balanced Amplifier dengan Menggunakan Driver Op Amp

Handry Khoswanto, Yohanes T.D.S, Iwan Wahyudi

Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra
e-mail: handry@peter.petra.ac.id

Abstrak

Pada umumnya *amplifier* konvensional melibatkan jalur *power supply* (*ground*) yang berhubungan dengan jalur *audio*. Hal ini mengakibatkan pengolahan sinyal *audio* akan muncul *IHM* (*Interval Hum Modulation*) *noise*. Oleh karena itu, untuk dapat menekan timbulnya *noise* seminimal mungkin, maka dibuat sebuah *amplifier* yang tidak bereferensi pada *ground power supply*. *Amplifier* tersebut harus benar-benar *balance* dari *input* sampai ke *output*. Untuk merealisasikan *balance amplifier* tersebut maka ditetapkan spesifikasi klas AB *push-pull* dengan daya rms sebesar 120 Watt dan lebar *bandwidth* antara 50 sampai 10kHz. Pada *power amplifier* digunakan sistem rangkaian *complementary pairs* sebagai penguat arus.

Berdasarkan hasil pengujian ternyata daya *output* yang keluar ke *speaker* hanya 110 Watt dengan tegangan *supply* 22 volt dan memiliki lebar *bandwidth* antara 30 Hz sampai 15 Hz dengan penguatan sebesar 13.5 dB. Sedangkan pengujian cacat signal juga dilakukan dengan membandingkan antara *balanced power amplifier* dan *unbalanced power amplifier* dan hasilnya *balanced power amplifier* memiliki *IHM noise* jauh lebih kecil dibandingkan *unbalanced power amplifier*.

Kata kunci: *balance amplifier, push-pull, klas AB, op-amp.*

Abstract

Conventional amplifier usually uses ground power supply as a signal reference. So it caused the conventional amplifier has IHM noise (Interval Hum Noise Modulation). The system of amplifier must be really balance from the input to output in order to minimalize the noise. This research make a balance amplifier class AB push-pull with power rms 120 Watt and frequency bandwidth between 50Hz to 10kHz. This amplifier use complementary pair as a current-driver.

The Experimental result show that the balanced amplifier has power output only 110 Watt, 22 Volt operating voltage and have a bandwidth from 30 Hz until 15 KHz, gain 13,5 dB. Beside that the Experimental result, balanced power amplifier also has very small IHM compared with unbalanced power amplifier.

Keywords: *balance amplifier, push-pull, class AB, op-amp.*

1. Pendahuluan

Saat ini kebutuhan *entertainment* tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia. Bahkan dunia *entertainment* berkembang dengan sedemikian pesatnya. Salah satu bentuk *entertainment* yang sangat berkembang adalah perangkat *audio*. *Audio* tidak dapat dipisahkan dari produksi dan reproduksi musik. Untuk mereproduksi musik ada beberapa perangkat *audio* yang sangat menunjang kualitas musik itu sendiri yaitu *amplifier* dan *speaker*.

Dalam bahasan makalah ini lebih ditekankan pada *amplifier* secara khusus. Terkadang *amplifier* belum dapat memenuhi kepuasan pengguna.

Hal ini disebabkan karena *amplifier* tersebut memiliki kualitas suara yang kurang sempurna yang diakibatkan oleh timbulnya gangguan suara atau biasa disebut *noise*. *Noise* yang dimaksud disini adalah *hum noise*.

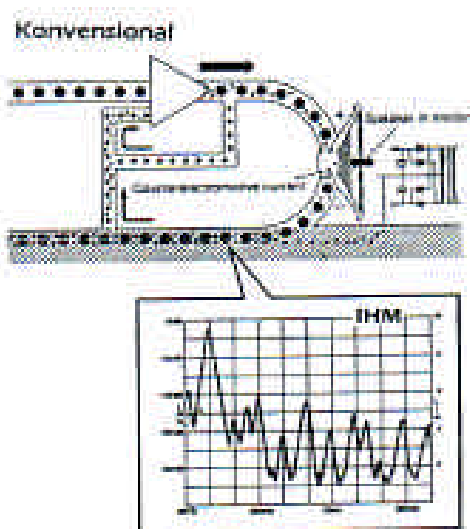
Dengan adanya masalah-masalah di atas maka timbul gagasan untuk membuat *amplifier* yang diharapkan dapat memuaskan konsumen. Hal ini dapat dipenuhi dengan meningkatkan kualitas dari *amplifier* tersebut. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam peningkatan kualitas adalah dengan pengurangan *hum noise*, peningkatan kualitas dari output, dan lain-lain.

2. Balanced Amplifier

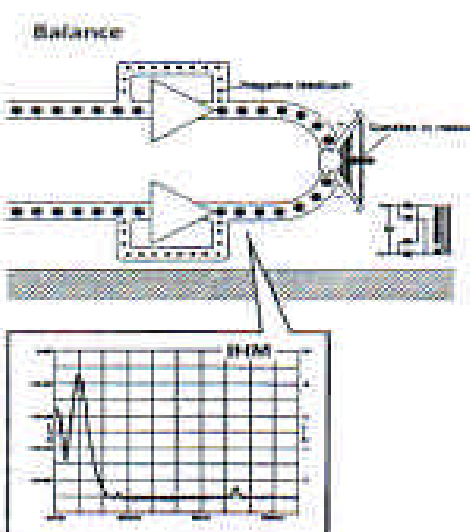
Pada umumnya *amplifier* konvensional melibatkan jalur *ground power supply* yang berhubungan dengan jalur *audio*. Sehingga dalam

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Desember 2004. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro volume 5, nomor 1, Maret 2005.

pengolahan sinyal *audio* akan muncul IHM (*Interval Hum Modulation*) noise. Apabila diamati pada gambar 1, *hum noise* ini terutama berasal dari *power supply* yaitu sisa *ripple* tegangan jala-jala 50Hz yang mengalir masuk pada jalur *ground* dan kemudian ikut masuk kembali ke *input amplifier*. Selain itu IHM juga dapat berasal dari pergerakan konus *speaker* yang menimbulkan GGL induksi lawan pada jalur *ground*. Sisa *ripple* dan GGL induksi *speaker* menyebabkan jalur *ground* yang seharusnya nol menjadi tidak sempurna nol. IHM hasil dari *amplifier* konvensional memenuhi bidang frekuensi audio mulai dari 20 Hz sampai 20 kHz.



Gambar 1. Amplifier Konvensional



Gambar 2. Balance Amplifier

Untuk memperkecil *hum noise* tersebut perlu dipergunakan *amplifier* yang benar-benar

balance mulai dari *input* sampai *output*. Seperti terlihat pada gambar 2, *balance amplifier* ini sama sekali tidak melibatkan jalur *ground power supply* pada sinyal *audio*. Karena *amplifier* ini tidak bereferensi pada *ground*, maka IHM dari *amplifier* diharapkan dapat ditekan menjadi kecil. *Balance amplifier* ini menggunakan rangkaian yang simetris baik *power supply*, *input* dan *output* tanpa melibatkan jalur *ground* sama sekali. Grafik IHM *balance amplifier* menurun 40 db mulai dari frekuensi 200 Hz sampai 20 kHz.

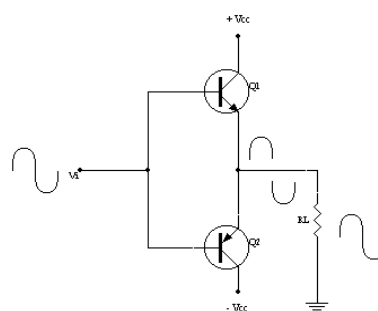
3. Penguat Daya

Penguat daya adalah penguat yang mampu menghasilkan daya *output* yang besar. Istilah daya sendiri memiliki komponen tegangan dan komponen arus. Oleh karena itu untuk membentuk sebuah penguat daya harus terdiri atas penguat tegangan dan penguat arus. Dalam kasus ini penguat tegangan dapat dibentuk oleh sebuah konfigurasi *common emitter* dan penguat arus dapat dibentuk oleh konfigurasi *common collector*.

Untuk menghasilkan daya *ouput* yang besar, maka diperlukan sistem penguat yang mempunyai impedansi *output* yang rendah. Karena dengan impedansi *output* yang rendah maka tidak akan membebani rangkaian yang didepannya.

3.1 Penguat Daya Kelas B

Rangkaian dasar penguat klas B menggunakan dua transistor, yang satu transistor jenis NPN dan yang satunya lagi transistor jenis PNP. Emitor kedua transistor tersebut berhubungan dengan tahanan beban, R_L . Sedangkan sinyal *input* dimasukkan pada basis dari kedua transistor tersebut. Gambar dari rangkaian dasar penguat klas B ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 3. Penguat Daya Kelas B

Jika diberi sinyal *input* positif, maka transistor NPN (Q_1) akan aktif dan transistor PNP (Q_2) *cut-off*. Begitu juga sebaliknya, jika diberi sinyal *input* negatif, maka transistor NPN (Q_1) *cut-off* dan transistor PNP (Q_2) aktif. Jadi transistor NPN (Q_1) meneruskan sinyal *input* positif dan transistor PNP (Q_2) akan meneruskan sinyal *input* negatif, sehingga akan dihasilkan sinyal *output* yang lengkap. Perhitungan daya penguat kelas B adalah sebagai berikut ini :

Tegangan rms diketahui sebagai berikut :

$$V_{RMS} = \frac{V_P}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

Sedangkan arus rms adalah :

$$I_{RMS} = \frac{I_P}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

$$I_{RMS} = \frac{V_P}{R_L \cdot \sqrt{2}} \quad (3)$$

Sehingga dari sini diketahui bahwa daya yang keluar ke *speaker* (P_{rms}) atau daya beban adalah sebagai berikut :

$$P_{RMS} = V_{RMS} \cdot I_{RMS} \quad (4)$$

$$P_{RMS} = \frac{V_P^2}{2 \cdot R_L} \quad (5)$$

Bila penguat menerapkan *dual power supply* maka tegangan dihitung dari $-V_{CC}$ sampai $+V_{CC}$

$$V_{SUPPLY} = 2 \cdot V_P = 2 \cdot V_{CC}$$

Sehingga daya beban pada penguat *dual power supply* adalah :

$$P_{RMS} = \frac{(2 \cdot V_P)^2}{2 \cdot R_L}$$

$$P_{RMS} = \frac{4 \cdot V_P^2}{2 \cdot R_L} \quad (6)$$

Diketahui daya disipasi transistor (P_D) dirumuskan sebagai berikut :

$$P_D = \frac{V_P^2}{\Pi^2 \cdot R_L} \quad (7)$$

Tegangan DC:

$$V_{DC} = \frac{V_P}{\Pi} \quad (8)$$

Arus DC :

$$I_{DC} = \frac{I_P}{\Pi}$$

$$I_{DC} = \frac{V_P}{\Pi \cdot R_L} \quad (9)$$

Daya *power supply* yang mengalir adalah :

$$P_{SUPPLY} = V_P \cdot I_{DC}$$

$$P_{SUPPLY} = \frac{V_P^2}{\Pi \cdot R_L} \quad (10)$$

Karena menggunakan *double supply* maka daya total dari *power supply* adalah :

$$P_{SUPPLY(TOTAL)} = 2 \cdot \frac{V_P^2}{\Pi \cdot R_L} \quad (11)$$

Oleh karena itu efisiensi daya maksimum dari penguat klas B adalah :

$$\% Efisiensi = \left(100 \cdot \frac{P_{OUT}}{P_{SUPPLY(TOTAL)}}\right)$$

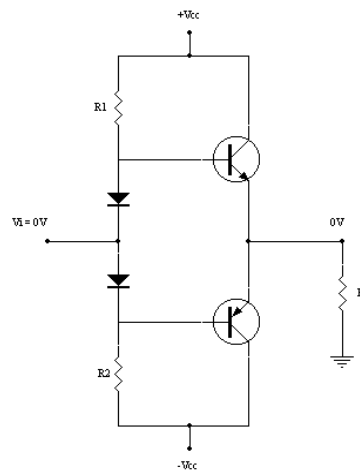
$$\% Efisiensi = \left(100 \cdot \frac{V_P^2 / 2 \cdot R_L}{2 \cdot V_P^2 / \Pi \cdot R_L}\right)$$

$$\% Efisiensi = \left(100 \cdot \frac{\Pi}{4}\right)$$

$$\% Efisiensi = 78,5\% \quad (12)$$

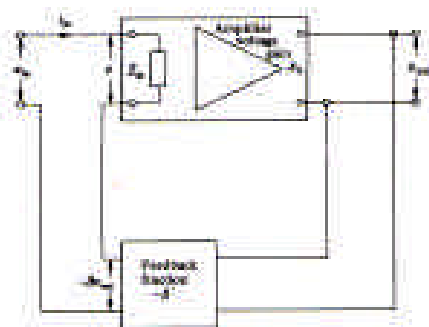
3.2 Penguat Daya Kelas AB

Penguat daya klas AB sebenarnya hampir sama dengan penguat klas B. Perbedaannya hanya terletak pada pemasangan dioda pada masing-masing basis dari kedua transistor untuk klas AB. Pemasangan dioda ini akan menghilangkan cacat yang terjadi pada penguat daya klas B. Karena pada saat tegangan *input*, $v_i = 0$, maka tegangan basis, $v_B = 0,7V$. Maka dari itu pada penguat klas AB tidak terdapat cacat pada sinyal *output*nya seperti pada klas B. Gambar dari penguat klas AB diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Penguat Daya Kelas AB

3.3 Negative Feedback



Gambar 5. Penguat dengan *Negative Feedback*

Bila *negative feedback* dipasang pada penguat tegangan *loop* terbuka A_o , dengan sebagian β diumpan balik ke *input* seperti terlihat pada gambar di atas, maka penguatan tegangan *loop* tertutup A diberikan oleh

$$A = \frac{A_o}{1 + \beta A_o} \quad (13)$$

Bila tegangan *input* V_{in} dimasukkan pada *input amplifier* maka

$$V_{OUT} = A \cdot V_{IN} \quad (14)$$

$$V_{OUT} = \frac{A_o \cdot V_{IN}}{1 + \beta A_o} \quad (15)$$

Pada saat *ouput* dihubungkan, V_{out} sama dengan nol, maka *factor feedback* juga nol sehingga *amplifier* berubah menjadi *loop* terbuka. Jika impedansi *output*, Z_o dari *loop* terbuka *amplifier*, arus output *short-circuit* diberikan oleh

$$i_{SC} = \frac{A_o \cdot V_{IN}}{Z_o} \quad (16)$$

Sekarang impedansi *output* Z , dengan *feedback*, diberikan oleh

$$Z = \frac{V_{OUT}}{i_{SC}} \quad (17)$$

$$Z = \frac{A_o \cdot V_{IN}}{1 + \beta A_o} \cdot \frac{Z_o}{A_o \cdot V_{IN}} \quad (18)$$

$$Z = \frac{Z_o}{1 + \beta A_o} \quad (19)$$

Jadi tampak bahwa impedansi *output* dengan *feedback* tegangan akan dikurangi dengan factor $\frac{1}{1 + \beta A_o}$. Kemudian tegangan pada impedansi

input Z_{in} adalah :

$$e = V_{IN} - \beta V_{OUT} \quad (20)$$

Oleh karena itu arus *input*

$$I_{IN} = \frac{V_{IN} - \beta V_{OUT}}{Z_{IN}} \quad (21)$$

Jika Z'_{in} adalah impedansi *input* dari *amplifier* dengan *feedback* maka

$$Z'_{IN} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}} \quad (22)$$

$$Z'_{IN} = \frac{V_{IN}}{V_{IN} \left(\frac{1 - \beta A_o}{Z_{IN}} \right)} \quad (23)$$

Dengan mengganti $A = \frac{A_o}{1 + \beta A_o}$

Maka :

$$Z'_{IN} = Z_{IN} (1 + \beta A_o) \quad (24)$$

Jadi tampak bahwa impedansi *input* bertambah besar dengan faktor : $(1 + \beta A_o)$

4. Perencanaan Power Amplifier

Perencanaan sistem yang akan dibahas meliputi beberapa bagian yaitu bagian penggerak depan (*voltage amplifier signal*) dan penguat arus (*current amplifier*). Perencanaan *balance amplifier* yang diinginkan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Daya rms (P_{RMS}) = 120 Watt
- Impedansi beban = 8 Ω

4.1 Penguat Arus

Untuk beban (*loudspeaker*), perancangan penguat arus *balance* menggunakan pasangan transistor NPN dan PNP yang memiliki karakteristik yang sama.

Diketahui bahwa $P_{rms} = 120$ Watt dan impedansi beban (*loudspeaker*) = 8 Ω , maka :

$$V_p = \sqrt{P_{RMS} \cdot \frac{1}{2} \cdot R_L} \quad (25)$$

$$V_p = \sqrt{120 \cdot \frac{1}{2} \cdot 8}$$

$$V_p = 22 \text{ volt}$$

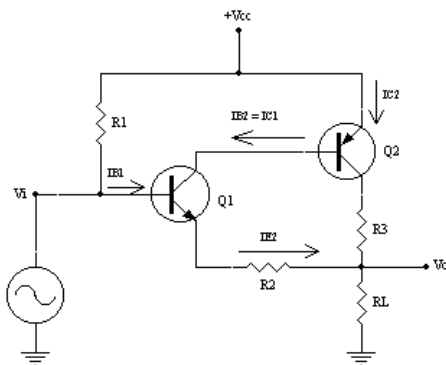
$$V_p = V_{CC}$$

Berdasarkan pada persamaan 3 yang telah dibahas di atas, maka arus maksimum yang lewat ke *loudspeaker* adalah

$$I_{RMS} = \frac{V_p}{R_L \cdot \sqrt{2}}$$

$$I_{RMS} = \frac{22}{8\sqrt{2}}$$

$$I_{RMS} = 2A$$



Gambar 6. Penguat Complementary Pairs

Berdasarkan pada gambar di atas, I_{RMS} disini sama dengan I_{c2} . Sedangkan daya disipasi transistor dapat dicari dengan menggunakan persamaan 7 sebagai berikut :

$$P_D = \frac{V_P^2}{\Pi^2 \cdot R_L}$$

$$P_D = \frac{22^2}{\Pi^2 \cdot 8}$$

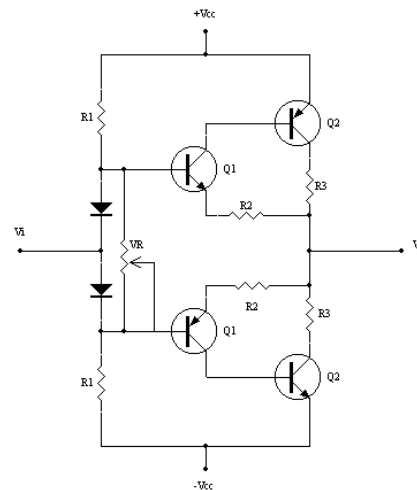
$$P_D = 6,1Watt$$

Dari perhitungan di atas, sebagai penguat arus digunakan transistor PNP, MJ2955 dan transistor NPN dengan tipe 2N3055, sebagai penguat *push-pull*. Diketahui spesifikasi dari pasangan transistor ini adalah :

- Daya (maks) = 115 Watt
- I_c (maks) = 15 Ampere
- V_{CE} (maks) = 60 Volt

Untuk merancang penguat dengan daya *output* sesuai dengan spesifikasi maka diterapkan konfigurasi pasangan komplementer. Pasangan komplementer untuk transistor PNP MJ2955, dipilih transistor NPN BD139. Hubungan transistor NPN dan PNP ini akan berfungsi sebagai suatu transistor NPN yang memiliki penguatan arus, β_{dc} total, yaitu perkalian β_{dc} dari masing-masing transistor. Karena penguatan arus, β_{dc} kedua transistor berbeda, supaya pasangan transistor ini bekerja sesuai dengan rancangan, maka dipasang tahanan R_s sebagai tahanan bias untuk transistor MJ2955. Sedangkan pasangan komplementer untuk transistor NPN 2N3055, dipilih transistor PNP BD140.

Gambar dari rangkaian penguat arus (*current-drive*) adalah sebagai berikut :



Gambar 7. Rangkaian Penguat Arus

Dari perhitungan sebelumnya diketahui :

- $V_{cc} = V_p = 22$ Volt
- $I_{rms} = I_c$ (maks) = 2 Ampere

Dari *data sheet* diketahui β_{dc} dari masing-masing transistor adalah :

- $\beta_{dc} Q1 = 50$ (β_{dc} dari transistor BD139 dan BD140)
- $\beta_{dc} Q2 = 50$ (β_{dc} dari transistor MJ 2955 dan 2N3055)

Maka I_{B2} bisa dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{\mathbf{b}_{DC(Q2)}} \tag{26}$$

$$I_{B2} = \frac{2}{50}$$

$$I_{B2} = 40mA$$

Setelah nilai dari I_{B2} ketemu, maka I_{B1} juga dapat dicari nilainya :

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{\mathbf{b}_{DC(Q1)}}$$

$$I_{B1} = \frac{I_{B2}}{\mathbf{b}_{DC(Q1)}} \tag{27}$$

$$I_{B1} = \frac{40}{50}$$

$$I_{B1} = 0,8mA$$

Tegangan pada R_3 diset 0,7Volt dan arus yang mengalir pada R_3 maksimum adalah sebesar 2 A. Oleh karena itu R_3 dapat diperoleh nilainya.

$$R_3 = \frac{V}{I}$$

$$R_3 = \frac{0,7}{2} = 0,35\Omega$$

Karena disipasi daya yang dikonversikan menjadi panas pada resistor cukup tinggi maka digunakan nilai daya yang lebih tinggi yaitu 5 Watt.

Pada rangkaian penguat arus kali ini digunakan dioda dengan tipe 1N4002. Dioda disini berfungsi sebagai kompensasi terhadap transistor. Kita asumsikan arus yang mengalir pada R1 adalah sebesar 50 kali dari arus I_{B1} sehingga arus yang mengalir pada R1 sebesar 40mA.

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_D}{I_{R3}} \quad (28)$$

$$R_1 = \frac{22 - 0,7}{40}$$

$$R_1 = 532,5\Omega \approx 510\Omega$$

Daya yang bekerja pada R1 dicari dengan menggunakan rumus :

$$P_{R1} = V_{R1} \cdot I_{R1} \quad (29)$$

$$P_{R1} = 21,3.40$$

$$P_{R1} = 0,852Watt$$

Karena disipasi daya yang dikonversikan menjadi panas pada resistor cukup tinggi maka digunakan nilai daya yang lebih tinggi yaitu 2 Watt.

Untuk menentukan harga R2, pertama-tama harus tahu berapa arus yang lewat pada R2. Pada gambar 6 arus yang melewati R2 adalah I_{e1} . Sedangkan diketahui bahwa $I_{e1} = I_{b1} + I_{c1}$. Karena I_{b1} harganya sangat kecil maka dapat diabaikan. Sehingga $I_{e1} = I_{c1}$. Setelah kita tahu harga I_{R2} , langkah selanjutnya adalah mencari V_{R2} . Pada data sheet, diketahui tegangan pada dioda 1N 4002 adalah 0,8V. Dari rangkaian 7 maka didapat harga $V_{R2} = 0,8V - 0,7V = 0,1V$. Maka besarnya nilai R2 adalah :

$$R_2 = \frac{V_{R2}}{I_{R2}}$$

$$R_2 = \frac{0,1volt}{40mA}$$

$$R_2 = 25\Omega \approx 22\Omega$$

Dari analisa DC diketahui:

- R1=510Ω
- R2=22Ω
- R3=0,33Ω
- RL=8Ω
- $\beta_{dc1}=50$
- $\beta_{dc2}=50$

$$r\pi_1 = \frac{\beta_{dc1}}{g_m} = \frac{50}{0,486} = 103 \quad (30)$$

$$r\pi_2 = \frac{\beta_{dc2}}{g_m} = \frac{50}{0,486} = 103 \quad (31)$$

$$Z_r = \frac{V_o}{V_i} = [g_m^2 \cdot r\pi_1 \cdot r\pi_2 - 1 - g_m \cdot r\pi_1] \cdot R_L$$

$$= 1960$$

Maka impedansi *input* dari penguat arus diketahui dengan perhitungan:

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = R_1 // (r\pi_1 + Z_r) \quad (33)$$

$$= 510 // (103 + 1960)$$

$$= 409\Omega$$

Penguatan tegangan diperlihatkan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$A_{vi} = \frac{Z_r}{R_1 + r\pi_1} \quad (34)$$

$$= \frac{1960}{510 + 103}$$

$$= 3,2$$

Penguatan arus dapat dicari dengan perhitungan sebagai berikut:

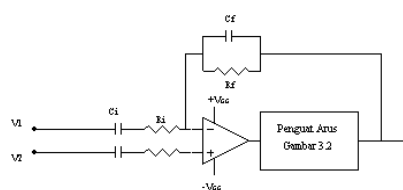
$$A_i = A_{vi} \times \frac{Z_i}{R_L} \quad (35)$$

$$= 3,2 \times \frac{409}{8}$$

$$= 163$$

4.2 Penguat Tegangan

Perencanaan *balance amplifier* ini menggunakan op-amp FET sebagai penguat tegangan (*voltage-drive*), yang dirangkai dalam mode penguat *differensial amplifier*, seperti diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. Rangkaian Penguat Tegangan

Dari persamaan pada dasar teori, diketahui penguatan loop tertutup :

$$A_v = \frac{R_f}{R_i} \quad (36)$$

Perencanaan *gain* pada penguat tegangan, A_v adalah sebesar 5 kali.

Bila tahanan *input* R_i ditentukan $2,2k\Omega$, tahanan R_f diketahui dengan perhitungan:

$$\begin{aligned} R_f &= (R_i \times A_v) & (37) \\ &= 2,2k\Omega \times 5 \\ &= 11k\Omega \\ &\approx 10k\Omega \end{aligned}$$

Pada rancangan kali ini digunakan op-amp TL072 yang mempunyai karakteristik *low noise*.

Untuk mencegah tegangan DC yang masuk ke rangkaian penguat berikutnya maka dipasang kapasitor kopling C_i . Harga dari kapasitor kopling C_i adalah $10\mu F$.

Frekuensi yang dapat dikuatkan oleh penguat, ditentukan oleh kapasitor C_f dan tahanan R_f yang dirangkai secara paralel. Pada rancangan kali ini frekuensi yang dikuatkan adalah frekuensi tengah yaitu $1kHz$. Sehingga harga kapasitor C_f dapat dicari dengan rumus :

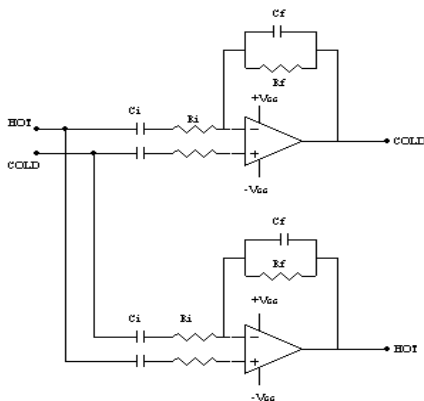
$$R_f = X_c$$

$$R_f = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_f} \quad (38)$$

Maka :

$$\begin{aligned} C_f &= \frac{1}{2\pi \cdot 1kHz \cdot 10k\Omega} \\ &= 15,9nF \\ &\approx 15nF \end{aligned}$$

Rangkaian lengkap *voltage amplifier signal* diperlihatkan pada gambar di bawah ini. Untuk membentuk tegangan *output balance*, maka dirancang dua penguat simetris untuk jalur *hot* maupun jalur *cold*.



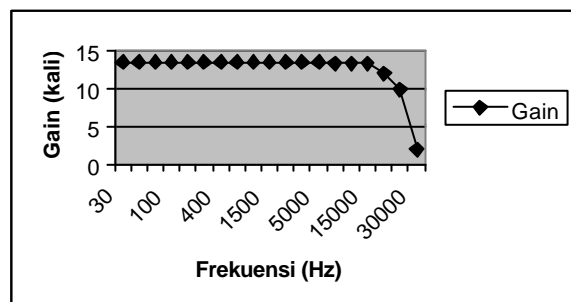
Gambar 9. Rangkaian Balance Voltage Amplifier Signal

5. Pengujian Sistem

Pengujian terhadap *power amplifier* dilakukan saat *bass* dan *treble* pada *tone control* yang diinputkan dalam kondisi *flat*. Maka dari itu, input dari *power amplifier* sama dengan sinyal *output* pada *tone control* saat kondisi *flat*. Pengujian dilakukan dengan memberikan gelombang sinusoidal dengan frekuensi antara 30 Hz sampai dengan 30.000 Hz. Hasil pengujian tampak seperti tabel di bawah ini.

Tabel 1. Pengujian Penguatan Power Amplifier

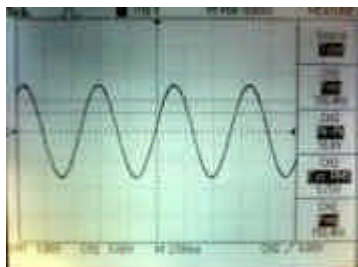
Frekuensi (Hz)	Tegangan		Gain (dB)
	IN / V_{PP} (Volt)	OUT / V_{PP} (Volt)	
30	0,8	3,8	13,5
50	0,8	3,8	13,5
70	0,8	3,8	13,5
100	0,8	3,8	13,5
150	0,8	3,8	13,5
200	0,8	3,8	13,5
400	0,8	3,8	13,5
800	0,8	3,8	13,5
1000	0,8	3,8	13,5
1500	0,8	3,8	13,5
2000	0,8	3,8	13,5
3000	0,8	3,8	13,5
5000	0,8	3,8	13,5
10000	0,8	3,7	13,3
12500	0,8	3,7	13,3
15000	0,8	3,7	13,3
20000	0,8	3,2	12
25000	0,8	2,5	9,9
30000	0,8	1	2



Gambar 10. Grafik Balanced Power Amplifier Saat Tone Control Dalam Kondisi Flat

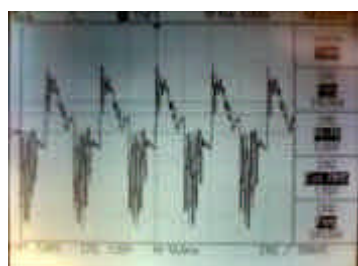
Dari grafik terlihat bahwa respon frekuensi pada *power amplifier* hampir merata dari frekuensi rendah sampai frekuensi tinggi, yaitu mulai dari frekuensi 30Hz sampai 15kHz. Pada frekuensi di atas 20kHz *gain* mulai menurun.

Pengujian terhadap power amplifier juga dilakukan dengan menggunakan *oscilloscope*. Dari hasil pengujian ini dapat dilihat bahwa sinyal output dari *balanced power amplifier* tidak mempunyai *noise*.



Gambar 11. Sinyal Output Balanced Power Amplifier

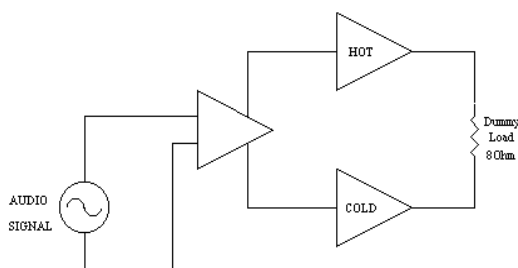
Pengujian dengan menggunakan *oscilloscope* juga dilakukan terhadap *unbalanced amplifier*. Ternyata dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa sinyal output unbalanced amplifier mempunyai *noise* yang cukup tinggi. Sinyal tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 12. Sinyal Output Unbalanced Power Amplifier

5.1 Pengukuran Daya Output

Pada pengukuran daya *output* dilakukan dengan mengukur tegangan output *hot* dan *cold balance power amplifier*. Sebagai tahanan beban digunakan *dummy load* sebesar 8 ohm. Pengukuran daya *output* diperlihatkan seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 13. Pengukuran Daya Output

Dari hasil pengukuran tegangan tertinggi pada *Hot* dan *Cold* adalah sebesar 42 volt. Sehingga daya output dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$P_o = \frac{V_p^2}{2.RL} \quad (39)$$

6. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan dapat diperoleh dari hasil pengujian dan analisa rangkaian adalah sebagai berikut :

1. Pada pengujian pengamatan signal pada *oscilloscope*, *noise* pada *balance power amplifier* lebih kecil dibandingkan dengan *unbalance power amplifier*. Berdasarkan hasil uji dengar, masih terdapat *noise* pada *balance power amplifier*.
2. Berdasarkan hasil pengujian ternyata daya *output* yang keluar ke *speaker* hanya 110 Watt dengan tegangan *supply* 22 volt dan memiliki lebar *bandwidth* antara 30 Hz sampai 15 Hz dengan penguatan sebesar 13.5 dB.

Daftar Pustaka

- [1] Boylestad, Robert. *Electronics Device and Circuit Theory*. New Jersey: Prentice Hall Career & Technology, 1992.
- [2] Stover, Wm A. *Circuit Design for Audio, AM/FM, and TV*. New York: McGraw Hill Book Company, 1967.
- [3] Coughlin, Robert F *Operational Amplifier and Integrated Circuit*. New Jersey: Prentice Hall Career & Technology, 1982.