

MODEL SISTEM PENGUAT DAYA AUDIO RAGAM LINIER

Ir. Nugroho AD, MT Rachmat Arianto ST. Budi Sriyanto

Email : b03dhis@yahoo.com

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof.H. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang

Email : eeundip@indosat.net.id

Abstrak

Masalah yang dihadapi pada perancangan penguat audio pada umumnya adalah linieritas dan efisiensi, yang semua itu bergantung pada jenis penguatnya. Penguat daya audio ragam linier merupakan salah satu ragam penguat yang menawarkan linieritas dan efisiensi. Rangkaian penguat kelas A mempunyai linieritas yang bagus. Tapi efisiensi yang dihasilkan rendah, maksimal hanya 25%. Pada penguat operasi kelas B, efisiensi yang dihasilkan besar, maksimal 78,25%. Namun distorsi lintasan yang timbul mengakibatkan linieritas yang kurang baik pada penguat operasi kelas B. Untuk itu dikembangkan penguat operasi kelas AB. Dalam tugas akhir ini merupakan contoh penerapan penguat kelas AB. Keunggulan yang dihasilkan dari penguat jenis ini adalah kompromi antara linieritas dengan efisiensi dimana mempunyai linieritas yang lebih baik dibandingkan dengan penguat kelas B dan efisiensi yang lebih baik dari penguat kelas A.

I. Pendahuluan

Penguat daya audio ragam linier merupakan salah satu ragam rangkaian penguat yang menawarkan linieritas dan efisiensi. Rangkaian penguat kelas A umum diterapkan dalam skala sinyal kecil karena linieritasnya paling bagus namun efisiensinya rendah. Operasi kelas A bekerja sepanjang 360° dari siklus sinyal AC sehingga memberikan linieritas yang bagus tetapi efisiensi yang dihasilkan rendah, maksimum hanya 25%. Mengingat arus bias penguat terus mengalir sepanjang siklus, hamburan daya menjadi besar.

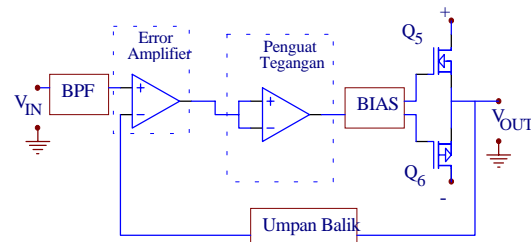
Konfigurasi kelas B beroperasi sepanjang 180° dari siklus sinyal ac, penentuan titik tenang ditempatkan di dekat titik putus dari garis beban dc dan ac. Sinyal ac akan berayun ke atas sepanjang garis beban ac. Rendahnya arus tenang akan mengurangi hamburan daya, sehingga konfigurasi ini lebih efisien dari konfigurasi kelas A, mencapai maksimum 78,25%. Arus tenang yang rendah membawa konsekuensi timbulnya distorsi pelintasan. Rendahnya arus tenang membuat tegangan sinyal lebih kecil dari potensial barrier transistor, sehingga tidak ada prategangan yang diterapkan pada dioda emiter untuk menghantar. Pada peralihan antara transistor satu dengan transistor pasangannya, sinyal mengalami distorsi pelintasan dimana sinyal bukan gelombang sinus lagi. Timbulnya distorsi lintasan memberikan linieritas yang kurang baik pada penguat operasi kelas B.

Distorsi pelintasan pada penguat kelas B dapat ditekan dengan penguat operasi kelas AB. Pada

operasi kelas AB digunakan sedikit prategangan maju yang cukup pada dioda emiter transistor untuk mengatasi potensial barrier transistor. Arus tenang mengalir sepanjang lebih dari 180° tetapi kurang dari 360° sehingga menempatkan titik tenang sedikit di atas titik putus. Kenaikan arus tenang, menaikkan hamburan daya tetapi mengurangi distorsi.

II. Penguat Audio Kelas AB

Sebuah sistem penguat kelas AB terdiri dari bagian blok penguat *differential*, blok penguat kelas A, blok penguat arus dan blok umpan balik.



Gambar 2.1. Blok sistem penguat audio kelas AB

Bagian awal model sistem penguat daya audio ragam linier adalah penguat *differential* berfungsi sebagai detektor kesalahan yang membandingkan sinyal masukan dengan sinyal umpan balik dari sistem ini. Blok selanjutnya adalah bagian penguatan tegangan kelas A yang memperkuat tegangan selisih antara masukan dengan umpan balik. Blok keluarannya adalah penguat arus

berupa rangkaian pengikut *source* kelas B yang mempunyai tegangan keluaran sama besar dengan tegangan masuknya. Blok umpan balik digunakan untuk memberikan bati tegangan sistem.

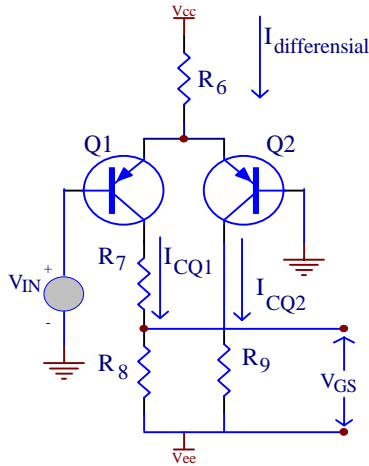
2.1. BPF

Bandpass filter difungsikan untuk menapis sinyal masukan pada frekuensi audio. Frekuensi audio bekerja pada frekuensi 20 Hz sampai 20 KHz. Maka perancangan *bandpass filter* untuk menapis frekuensi sinyal masukan dari 20 Hz sebagai batas bawah sampai 20 KHz sebagai batas atas.

2.2. Penguat Differensial

Merupakan rangkaian penguat linier yang mempunyai dua saluran masukan dan memberikan keluaran yang sebanding dengan perbedaan dalam isyarat antara kedua saluran masukan. Sinyal masukan dari umpan balik akan dibandingkan dengan sinyal masukan. Sinyal keluaran berupa penguatan dari sinyal selisih antara sinyal umpan balik dan sinyal masukan, akan diumpankan pada rangkaian penguat tegangan.

Gambar 2.2. adalah rangkaian penguat *differential* gandengan emiter yang digunakan pada penguat audio kelas AB ini.



Gambar 2.2. Penguat *differential* gandengan emiter

Persamaan tegangan keluaran adalah :

$$V_{GS} = I_{CQ1} R_8 \dots\dots\dots(1)$$

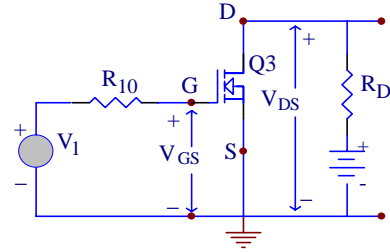
dengan

V_{GS} = tegangan gerbang sumber MOSFET, Q_3

I_{CQ1} = arus kolektor tansistor Q_1

2.3. Penguat Tegangan

Merupakan rangkaian penguat tegangan operasi kelas A yang menggunakan MOSFET Q_3 sebagai komponen aktifnya.



Gambar 2.3. Penguat tegangan MOSFET

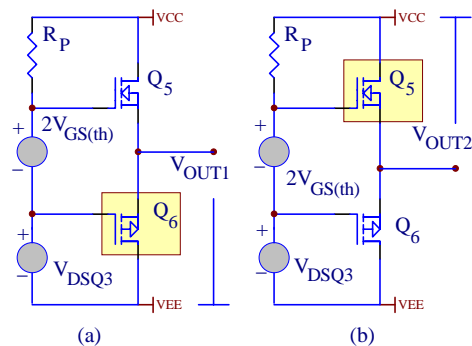
Pada gambar 2.3, aksi penguatan MOSFET Q_3 bergantung pada pengaturan tegangan antara gerbang dengan sumber V_{GS} . Perubahan pada tegangan gerbang V_{GS} , mengendalikan perubahan pada arus penguras I_D , dan ini mengakibatkan perubahan tegangan jatuh pada R_D . Perubahan tegangan jatuh pada R_D menyatakan perubahan pada tegangan keluaran V_{DS} . Penguatan terjadi karena perubahan pada V_{DS} dapat beberapa kali lebih besar dari pada perubahan pada V_{GS} .

Untuk mendapatkan aksi ini, V_{GS} harus mempunyai tegangan diatas tegangan ambang MOSFET Q_3 $V_{GS(th)}$. Dibawah tegangan ambang, MOSFET tidak bekerja. Besarnya tegangan V_{DS} dinyatakan sebagai berikut :

$$V_{DS} = -970V_{GS} + 3838,5 \text{ Volt} \dots\dots\dots(2)$$

2.4. Penguatan Arus

Rangkaian dorong-tarik MOSFET Q_5 dan Q_6 kelas B digunakan dalam tahap ini. Masing-masing transistor menangani setengah siklus sinyal masukan.



Gambar 2.4. Pengikut *source* dorong tarik kelas B
(a). Setengah siklus tegangan positif
(b). Setengah siklus tegangan negatif

Pada setengah siklus tegangan masuk positif, transistor Q_5 menghantar sedang transistor Q_6 putus. Transistor Q_5 bekerja sebagai pengikut sumber, sehingga tegangan keluarannya hampir sama dengan tegangan masukan. Sebaliknya, pada setengah siklus tegangan masuk negatif, transistor Q_6 yang akan menghantar sedang transistor Q_5 putus. Transistor Q_6 bekerja sebagai pengikut

sumber sehingga tegangan keluarannya hampir sama dengan tegangan masukannya. Bati tegangan keluaran adalah satu. Kepatuhan tegangan keluaran dapat berayun puncak ke puncak sebesar $2 V_{CC}$.

$$V_{OUT1} = V_{DSQ3} + 2V_{GS(th)} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$V_{OUT2} = 2V_{GS(th)} + V_{RP} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$V_{OUT} = V_{OUT1} + V_{OUT2} \quad \dots\dots\dots(5)$$

dengan

V_{DSQ3} = tegangan penguras-sumber MOSFET Q_3

$V_{GS(th)}$ = tegangan ambang MOSFET Q_5 dan Q_6

V_{RP} = tegangan jatuh tahanan R_P

V_{OUT1} = tegangan keluaran terhadap V_{EE}

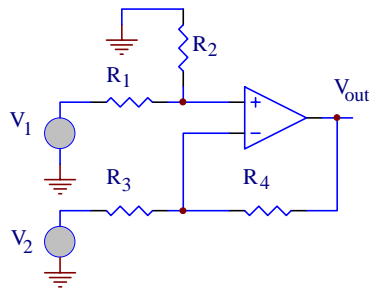
V_{OUT2} = tegangan keluaran terhadap V_{CC}

V_{OUT} = tegangan keluaran terhadap *ground*

Dinyatakan dalam satuan *volt*.

2.5. Umpan Balik

Bagian umpan balik difungsikan untuk memberikan bati tegangan total sistem.



Gambar 2.5. Konfigurasi umpan balik *differential*

Dari gambar 2.5, jika $R_1 = R_3$ dan $R_2 = R_4$, $V_1 = V_{IN}$ dan V_2 dihubungkan *ground* maka bati tegangannya didapatkan :

$$\frac{V_{out}}{V_{IN}} = \frac{R_4}{R_3} \quad \dots\dots\dots(3)$$

Bati tegangan total sistem ditentukan oleh tahanan R_3 dan R_4 .

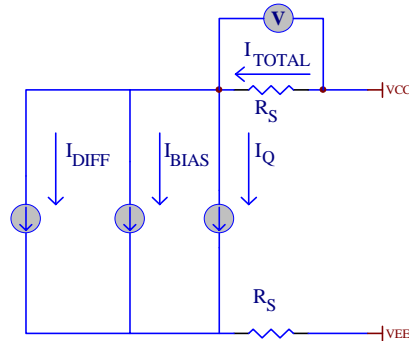
III. Perancangan Sistem

Sebelum melakukan perancangan sistem, perlu ditentukan terlebih dahulu parameter-parameter kendali agar sistem bekerja sesuai dengan harapan. Parameter tersebut meliputi :

1. Kisaran frekuensi kerja : 20 Hz – 20 KHz
2. Daya atau $V_{swingPP}$: 48 Volt
3. Bati tegangan : 20 V/V atau 26 dB
4. Arus tenang, I_Q : 18 mA

Perancangan model sistem penguat daya audio ragam linier meliputi perancangan rangkaian penguat *differential*, perancangan penguatan tegangan, perancangan rangkaian penguatan arus, dan perancangan sistem umpan balik. Dalam perancangan, perancangan arus bias yang

memanjar transistor-transistor menentukan kinerja sistem keseluruhan. Arus bias ini meliputi arus *differential* I_{DIFF} yang memanjar transistor-transistor Q_1 dan Q_2 pada penguat *differential*, arus bias I_{BIAS} yang memanjar transistor penguat tegangan Q_3 dan arus tenang I_Q yang memanjar sepasang transistor Q_5 dan Q_6 .



Gambar 3.1. Perancangan arus bias.

Dalam perancangan, ketiga arus bias tersebut ditetapkan yaitu :

1. Arus *differential* $I_{DIFF} = 2$ mA
Ditetapkan berdasarkan tegangan *offset* dan *noise*. Jika terlalu besar tegangan *offset* yang dihasilkan juga besar. Jika terlalu kecil, *noise* yang dihasilkan akan besar.
2. Arus bias $I_{BIAS} = 5$ mA
Dari parameter frekuensi kerja dan daya yang telah ditetapkan digunakan untuk menetapkan besarnya *slew rate*. Besarnya *slew rate* digunakan untuk menetapkan besarnya arus bias ini.
3. Arus tenang $I_Q = 18$ mA
Ditetapkan berdasarkan linieritas dan efisiensi yang dihasilkan. Jika terlalu besar efisiensi akan rendah, jika terlalu kecil distorsi pelintasan yang dihasilkan tinggi.

IV. Analisa dan Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan pada blok penguat *differential*, blok penguat tegangan, bagian keluaran dan blok umpan balik sistem. Untuk pengujian penguat *differential* dan penguat tegangan dilakukan pada kondisi sistem tanpa sinyal masukan dan tanpa beban. Sedangkan pengujian bagian keluaran dan bagian umpan balik sistem dilakukan pada kondisi sistem dengan sinyal masukan tanpa beban dan pada kondisi sistem dengan sinyal masukan dan beban 8 Ω .

4.1. Analisa DC

Pada pengukuran dc pada penguat *differensial* didapatkan nilai sebesar 1,85 mA. Harga ini cukup mendekati dengan perancangan sebesar 2 mA. Arus *differensial* ini menghasilkan tegangan *offset* penguat *differensial* sebesar 4 mV. Harga ini sudah mendekati dengan harga ideal tegangan *offset* yaitu sebesar 0 Volt. Adanya tegangan *offset* dapat disebabkan oleh arus bias masukan pada basis kedua transistor Q_1 dan Q_2 melihat hambatan yang berbeda pada masukan sehingga tegangan di tiap masukan berbeda. Tegangan *offset* juga disebabkan oleh faktor *non-identical* dari kedua transistor Q_1 dan Q_2 terutama terhadap perubahan suhu.

Tegangan keluaran rangkaian penguat *differensial* adalah tegangan jatuh pada tahanan R_8 yaitu sebesar 3,18 Volt. Tegangan ini digunakan untuk memberi tegangan masukan pada transistor Q_3 pada tahap penguatan tegangan selanjutnya. Pada pengukuran didapatkan nilai tegangan penguras sumber V_{DS} adalah 28 Volt. Maka fungsi dari MOSFET Q_3 adalah sebagai penguat tegangan karena menguatkan tegangan masukan 3,18 Volt menjadi 28 Volt.

Pengujian untuk mendapatkan nilai ketiga arus bias, I_{DIFF} , I_{BIAS} , dan I_Q dilakukan seperti pada gambar 3.1. Hasil pengukuran didapatkan besarnya ketiga arus bias itu seperti pada tabel 4.1, dimana nilai arus tenang adalah :

$$I_Q = I_{TOTAL} - (I_{DIFF} + I_{BIAS}) \quad \dots\dots\dots(4)$$

I_{TOTAL}	24,3 mA
I_{DIFF}	1,92 mA
I_{BIAS}	5,24 mA
I_Q	17,8 mA

Tabel 4.1

Pengaturan arus bias juga mempengaruhi kenaikan suhu dari transistor. Hal ini dapat menyebabkan arus tenang I_Q ikut turun. Perubahan arus tenang dapat menggeser titik kerja operasi yang selanjutnya dapat menurunkan tahap penguatan daya keluaran. Namun kenaikan suhu ini menyebabkan gerak dari elektron-elektron dalam transistor semakin cepat. Pergerakan elektron ini diharapkan mampu membawa kinerja transistor menjadi konsisten. Perubahan suhu yang terjadi dapat diatasi oleh transistor itu sendiri. Sehingga kinerja sistem diharapkan dapat konsisten.

Untuk itu dilakukan pengujian dengan menggunakan beban 8 Ω . Dari hasil pengukuran didapatkan nilai ketiga arus bias seperti pada tabel 4.2.

I_{TOTAL}	24,3 mA
I_{DIFF}	1,92 mA

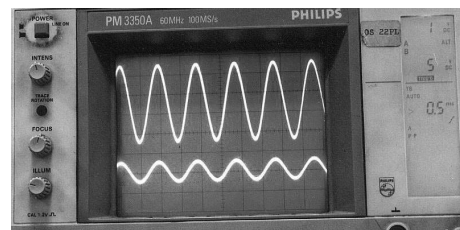
I_{BIAS}	5,28 mA
I_Q	17,1 mA

Tabel 4.2

Jika dibandingkan dengan hasil pengukuran pada tabel 4.1, perubahan yang terjadi tidak terlalu menonjol. Maka perubahan yang terjadi akibat kenaikan suhu tidak berpengaruh dominan pada sistem sehingga sistem dapat bekerja konsisten.

4.2. Pengamatan Daya Keluaran

Untuk mengetahui bati penguatan sistem dilakukan pengamatan terhadap sistem pada kondisi dengan sinyal masukan tanpa beban seperti terlihat pada gambar 4.1.

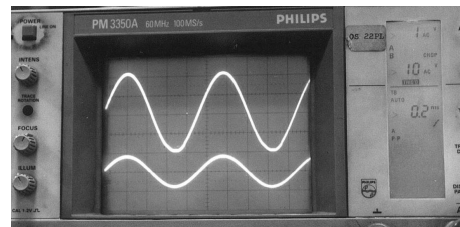


Gambar 4.1. Sinyal keluaran tanpa beban (sinyal atas),
 $V = 5 \text{ V/div}$ dan $H = 0,5 \text{ ms/div}$
 Sinyal masukan (sinyal bawah),
 $V = 1 \text{ V/div}$; $H = 0,5 \text{ ms/div}$

Sinyal masukan adalah sinyal sinus 1 V_{PP} 1 KHz (sinyal bawah). Sinyal keluaran mempunyai nilai tegangan sebesar 19,798 V_{pp} (Volt puncak ke puncak) ditunjukkan sinyal yang atas. Dari data tersebut dapat dihitung bati penguatan sistem yaitu :

$$A_{Vsistem} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{19,798}{1} = 19,798 \text{ V/V}$$

Selanjutnya pengamatan daya keluaran dilakukan dengan menggunakan beban 8 Ω . Hasil pengamatan daya keluaran maksimal yang dihasilkan oleh sistem penguat daya seperti terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Sinyal keluaran maksimal, beban 8 Ω (sinyal atas),
 $V = 10 \text{ V/div}$; $H = 0,2 \text{ ms/div}$
 Sinyal masukan (sinyal bawah),
 $V = 1 \text{ V/div}$; $H = 0,2 \text{ ms/div}$

Pada gambar 4.2, sinyal keluaran yang dihasilkan oleh sistem dengan sinyal masukan sebesar 1 V_{PP} 1

KHz adalah 20,17 V_{pp} (volt puncak ke puncak). Bati tegangannya adalah 20,17 V/V.

4.3. Linieritas dan Efisiensi.

Dari hasil pengamatan sinyal keluaran baik dengan beban maupun tanpa beban, distorsi pelintasan dapat ditekan oleh operasi kelas AB ini. Penetapan arus tenang sebesar 18 mA terhadap transistor Q₅ dan Q₆ mampu meminimalkan distorsi pelintasan yang terjadi pada operasi kelas B. Hasil sinyal keluaran dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2 dimana distorsi pelintasan sudah tidak tampak dominan sehingga linieritas sinyal keluaran menjadi lebih baik. Namun penetapan arus tenang ini mengakibatkan kehilangan efisiensi dan pemborosan daya.

Efisiensi merupakan suatu ukuran dari kemampuan suatu penguat untuk mengkonversikan daya dc dari catu daya menjadi daya ac yang diberikan kepada beban. Efisiensi didefinisikan sebagai :

$$\eta = \frac{P_{L(MAKS)}}{P_S} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots(5)$$

dimana

P_{L(MAKS)} = daya sinyal maksimal yang disampaikan ke beban (Watt)

P_S = daya dc yang diberikan ke rangkaian keluaran (Watt)

Dari hasil pengamatan dan pengukuran pada gambar 4.2, tegangan maksimal pada beban 8 Ω V_{PPL(MAKS)} adalah 40,59 Volt. Maka daya beban adalah:

$$V_{L(MAKS)} = V_{RMS} = \frac{V_{PPL(MAKS)}}{2\sqrt{2}} = 14,354 \text{ Volt}$$

$$P_{L(MAKS)} = \frac{V_{L(MAKS)}^2}{R_L} = \frac{(14,354)^2}{8} = 25,74 \text{ Watt}$$

Daya total dc yang diberikan ke rangkaian keluaran, jika V_{CC} = 32,5 Volt (dalam pengukuran sinyal keluaran gambar 4.2) adalah :

$$P_S = V_{CC} I_L = \frac{V_{CC} V_{L(MAKS)}}{R_L} = \frac{32,5 \cdot 14,354}{8} = 58,31 \text{ Watt}$$

Sehingga efisiensi dari sistem penguat ini pada persamaan (5) adalah :

$$\eta = \frac{25,75}{58,31} \times 100 \%$$

$$\eta = 44,15 \%$$

Ini berarti hanya 44,15% saja dari daya masuk dc yang mencapai keluaran dalam bentuk daya beban ac.

V. Penutup

5.1. Kesimpulan

Setelah melaksanakan perancangan, realisasi, pengujian dan analisa terhadap sistem penguat daya audio ragam linier, penulis dapat menyimpulkan :

1. Konsep dasar elektronika berlaku untuk cakupan yang luas, termasuk sistem penguat daya audio kelas AB.
2. Penentuan arus *differensial* didasarkan pada parameter *noise* dan *offset*. Penggunaan sepasang transistor yang hampir identik dan penetapan R₂ = R₄ dapat mengurangi *offset*.
3. Pelanturan suhu yang terjadi dapat mengakibatkan penurunan titik kerja operasi yaitu penurunan arus tenang yang membias transistor Q₅ dan Q₆. Penurunan ini menyebabkan linieritas yang dihasilkan tidak optimal meskipun efisiensi yang dihasilkan cukup besar.
4. Kenaikan suhu ini menyebabkan gerak dari ektron-elektron dalam transistor Q₅ dan Q₆ semakin cepat sehingga kinerja transistor itu sendiri dapat konsisten.
5. Ada dua tujuan perancangan sistem penguat kelas AB yang saling berlawanan, yaitu efisiensi dan linieritas. Penguat kelas AB ini mengorientasikan pada kompromi antara keduanya. Untuk mencapai tujuan ini, penentuan arus tenang ditetapkan sebesar 18 mA. Dari hasil pengamatan sinyal keluaran, distorsi pelintasan yang dihasilkan sudah dapat teredam sehingga linieritas yang dihasilkan tinggi.
6. Saat pengujian dilakukan, penguat kelas AB ini mempunyai efisiensi maksimal 44,15 %.

5.2. Saran

Dari hasil pengujian model sistem penguat daya audio ragam linier masih ada kekurangan. Saran penulis untuk memperbaiki sistem penguat ini agar didapatkan gelombang keluaran lebih baik adalah :

1. Penggunaan sepasang transistor pada penguat *differensial* dalam satu *chip*. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan sepasang transistor yang benar-benar identik terutama terhadap perubahan suhu yang terjadi.
2. Dalam perancangan ditentukan arus tenang yang lebih rendah lagi dan penggunaan transistor Q₅ dan Q₆ yang mempunyai mode *fast switching*. Hal ini

bertujuan untuk mendapatkan efisiensi yang lebih tinggi namun tetap menjaga linieritas.

VI. Daftar Pustaka

1. Albert Paul Malvino, Ph.D, *Prinsip-Prinsip Elektronika, Edisi ketiga Jilid 1.*
2. Arthur B. Williams, McGraw-Hill 1981, *Electronic Filter Design Handbook.*
3. Christos C. Halkias, Ph.D dan Jacob Millman, Ph.D, *Elektronika Terpadu : Rangkaian dan Sistem Analog dan Digital, Jilid Kedua.*
4. Christos C. Halkias, Ph.D dan Jacob Millman, Ph.D, *Integrated Electronics, Mcgraw-Hill International Editions.*
5. Frederick F. Driscoli dan Robert F. Coughlin, *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier Edisi Kedua.*
6. George Loveday, *Intisari Elektronika, Penjelasan Alfabetik dari A sampai Z.*
7. Gary Novak, free electronic plans on the internet, *New Audio Amplifier with Current Amplifier Outputs.*
8. Literature Number AN-948, International Rectifier, *Linier Power Amplifier Using Complementary HEXFETs.*
9. Literature Number AN-A, National Semiconductor, *The Monolithic Operasional Amplifier : A Tutorial Study.*
10. Literature Number SLOA065, Texas Instrument, *Filter Design on A Budget*
11. Literature Number SLOA068, Texas Instruments, *Guidelines for Measuring Audio Power Amplifier Performance.*
12. M.H. Miller, Introductory Electronic Notes The University of Michigan-Dearborn 2000, *BJT Biasing.*
13. M.H. Miller, Introductory Electronic Notes The University of Michigan-Dearborn 2000, *Differential Amplifier.*
14. M.H. Miller, Introductory Electronic Notes The University of Michigan-Dearborn 2000, *Power Amplifier.*
15. Vrej Bakhordian, International Rectifier, *Power Mosfet Basic.*