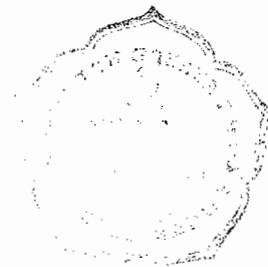


**TRANSFORMER-LESS AUDIO POWER AMPLIFIER
USING BRIDGE METHOD**

**PENGUAT DAYA AUDIO TANPA TRAFU
DENGAN METODE JEMBATAN**

SKRIPSI

**Untuk Memenuhi Sebagian dari Syarat-Syarat
Guna Meraih Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Elektro**



Oleh :

HENDRIKUS HURIT HEWEN

NO. Mhs : 955114026

NIRM : 950051123107120025

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA**

2002

TUGAS AKHIR

**TRANSFORMER LESS AUDIO POWER AMPLIFIER
USING BRIDGE METHOD**

**PENGUAT DAYA AUDIO TANPA TRAFU
DENGAN METODE JEMBATAN**

Oleh :

HENDRIKUS HURIT HEWEN

NIM : 955114026

NIRM : 950051123107120025

Telah disetujui oleh :

Pembimbing I



(Ir. Bambang Sutopo, M.Phil.)

Tanggal ..11 - 06 - 02

Pembimbing II



Ir. Linggo Sumarno, MT.)

Tanggal ..11 - 06 - 02

TUGAS AKHIR

**TRANSFORMER-LESS AUDIO POWER AMPLIFIER
USING BRIDGE METHOD**

**PENGUAT DAYA AUDIO TANPA TRAFU
DENGAN METODE JEMBATAN**

Oleh:

Hendrikus Hurit Hewen

NIM: 95 5114 026

NIRM: 950051123107120025

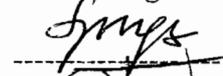
Dipertahankan dihadapan panitia penguji
pada tanggal: **22 juni 2002**
dan dinyatakan memenuhi syarat.

Susunan Panitia Penguji

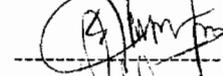
Nama lengkap

Tanda tangan

Ketua : Ir. Linggo Sumarno., MT.



Sekretaris : Ir. Iswanjono., MT.



Anggota : Ir. Bambang Sutopo., M.Phil.



Anggota : B. Djoko Untoro SSi., MT.



Anggota : Ir. Th. Prima Ari S., MT.



Yogyakarta, 2002
Fakultas Teknik
Universitas Sanata Dharma
Yogyakarta
Dekan,



Greg. Harjanto.

Kupersembahkan buat :

Yang tercinta Bapa Suban Hewen, Ema Paja Ritan, di Flores Timur

Kakak-kakakku :

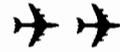
Lusia Hewen sekeluarga, Wendelinus Hewen sekeluarga,

Kristina Hewen sekeluarga,

Yang tersayang Aloysia Kenoba.

Motto

**KADANG-KADANG SATU-SATUNYA JALAN
UNTUK MEMELIHARA PERDAMAIAN
ADALAH SIAP UNTUK BERPERANG**



ABSTRAK

Seiring dengan perkembangan teknologi khususnya dibidang elektronika, banyak ditemui berbagai macam jenis penguat daya *audio* dengan harga yang bervariasi, tergantung dari kualitas masing-masing penguat daya tersebut. Kondisi ini akan mempengaruhi pertimbangan konsumen dalam pemilihan alat-alat tersebut. Konsumen tentunya memilih penguat daya yang menghasilkan suara yang lebih besar dan berkualitas tinggi serta harga yang murah. Namun pada umumnya di pasaran, harga dari penguat daya yang berkualitas tinggi, sangat mahal. Oleh karena itu, penulis merancang sekaligus memperkenalkan suatu penguat daya *audio* yang berkualitas baik dengan harga yang terjangkau sesuai dengan harapan konsumen.

Penguat daya tersebut dirancang dari komponen-komponen yang ada di pasaran yang murah harganya dengan menggunakan **Metode Jembatan Tanpa Trafo (BTL-Bridge Transformer Less)**. Komponen yang digunakan antara lain transistor (komponen aktif) dan komponen pasif, resistor dan kapasitor. Prinsip dari penguat daya dengan metode jembatan-BTL adalah merancang dua buah *power amplifier* yang identik dan diberi sinyal masukan yang berbeda fase satu dengan yang lainnya sebesar 180° dari rangkaian penggeser fase. Hal ini bertujuan untuk memperoleh tegangan puncak ke puncak menjadi dua kali.

Hasil tersebut dapat dibuktikan apabila penguat daya tanpa menggunakan metode jembatan maka daya yang dihasilkan, diperoleh dari tegangan *output* dikuadratkan dibagi dengan hambatan beban. Apabila dengan metode jembatan maka daya yang dihasilkan menjadi, dua kali tegangan *output* dikuadratkan, dibagi dengan hambatan beban. Oleh karena itu daya *output* yang dihasilkan oleh penguat daya dengan metode BTL adalah empat kali jika dibandingkan dengan penguat daya tanpa menggunakan metode jembatan. Dengan demikian dapat disimpulkan, dengan metode jembatan secara teoritis dapat dibuktikan bahwa daya yang dihasilkan menjadi empat kalinya, jika dibandingkan dengan penguat daya tanpa menggunakan metode jembatan. Namun berdasarkan praktek karena adanya faktor disipasi daya yang tidak dapat dihindarkan daya yang dihasilkan berkurang menjadi $\pm 2,89$ kali, dibandingkan penguat daya tanpa menggunakan metode jembatan.

ABSTRACT

It can't be further ignored by us, in the market there were lot of audio's amplifiers with various kinds and brands, and they were different in their price, based on a quality having by those amplifiers. As consumers, we surely are eager to wish sound of audio produced by tape, radio or others kind has bigger power and has better quality.

Nevertheless, to obtain a big and good qualified audio's amplifier, its price is very expensive in the market. Looking at this matter, the author, had planned and also introduced an audio's amplifier with cheap price. If a person wish to plan by him or herself (it meant the components of audio's amplifiers in the market were lots and cheap) and the power which produced is big and has a good quality, that is, with method of bridge transformer less. Components required within this BTL was only using a transistor and passive components, such as a resistor and a capacitor whose price cheap in the market.

The principle is we have to plan two quite exactly power amplifiers. To both of them, we put in an input's signal at a different phase of 180° each other. It meant that, this was implemented in order to be able to get any voltage, peak to peak, become approximately double of capacities. This can be proved from an equation: if only using one unit of power amplifier, then the power generated is, voltage of output in power of two was divided by load resistant, so output produced by BTL become four times of voltage of output in power of two was divided with load resistant.

It was clear with BTL method, the power generated become twice. Theoretically, we can prove that power generated has become four times. However, because of the power's dissipation effect, then its output reduced to about 2,89 times.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur, penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala rahmat dan segala bimbingan-Nya, serta atas segala kasih karunia hidup yang telah dilimpahkan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang merupakan salah satu syarat untuk meraih gelar sarjana pada jurusan Teknik Elektro fakultas teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Deretan peristiwa yang memperkaya pengalaman hidup penulis selama kurun waktu penyelesaian tugas ini, penulis menyadari bahwa tanpa campur tangan pihak lain tugas akhir ini tidak akan terselesaikan. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimah kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Bambang Sutopo, M.Phil. Selaku Pembimbing I, atas waktu, saran dan kesabaran dalam membimbing penulis, sehingga penulisan ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Ir. Linggo Sumarno, MT. Selaku Pembimbing II, atas kebaikan, kesabaran dan saran-sarannya sehingga selesailah tugas akhir ini.
3. Bapak B. Djoko Untoro Suwarno, S.Si. MT. Selaku pembimbing akademik penulis, yang dengan rela memberikan dorongan, sehingga tugas akhir ini dapat berjalan dengan baik.
4. Ibu Ir. Prima Ari S., MT. Yang telah meluangkan waktu mengoreksi tulisan tugas akhir ini, sehingga penulisan semakin lebih baik.

5. Bapak Ir. Iswanjono, MT. Selaku sekretaris jurusan teknik elektro atas kebaikan memberikan gambaran langkah-langkah tentang penyelesaian skripsi
6. Bapak dan Ema tercinta, Kakak-kakakku, keluarga kakak Philipus Pajon Sukun yang tersayang atas segala dukungan moril dan materil yang tak ternilai.
7. Tersayang Aloysia Kenoba yang selalu mendukungku dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Dosen-dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Sanata Dharma, dan seluruh karyawan Fakultas Teknik.
9. Kakak Antonius Harut Liwun sekeluarga dan adik Mansen Hewen. Atas dukungan materil untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Sahabat-sahabat dan teman-temanku: Pasilius, ST., Yosaphat, ST., Susanto, ST., Adreas Paleng ST., Marcellius Dwi Susanto, Hironimus Ruron SH., Marianus Kenoba S.Sos, G'rard W Goru., Anton Dwi M, ST., Kristo Papua , Iput Solo., Henry Tampubolon (Utal) Batak dan yang tak disebutkan disini atas kebaikan dan dorongan semangat.
11. Seluruh teman-teman seperjuanganku di Fakultas Teknik, khususnya teknik elektro angkatan 95, Universitas Sanata Dharma.

Semoga Allah Yang Maha Pengasih Dan Maha Penyayang membalas segala kebaikan yang telah mereka berikan secara tulus kepada penulis.

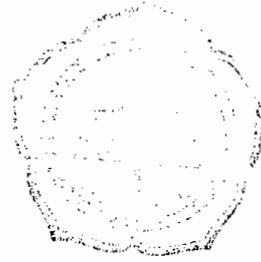
Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini sangat jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan saran untuk kesempurnaan skripsi ini akan diterima dengan senang hati.

Akhirnya semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, 2002

Penulis

DAFTAR ISI



HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
HALAMAN MOTTO HIDUP PENULIS.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	1
1.3. Pembatasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II DASAR TEORI	
2.1. Komponen dan Prinsip Kerja BTL.....	5

2.2. Penggeser Fase	8
2.3. Penguat Diferensial	12
2.4. Tahap Pemacu	17
2.4.1. Amplifier Kelas A	18
2.5. Penguat Akhir	21
2.5.1. Penguat Kelas B	21
2.5.2. Penguat Darlington dan Darlington komplementer.....	26
2.5.2.1. Penguat Darlington.....	26
2.5.3.2. Penguat Darlington Komplementer.....	29
2.6. Penguatan daya desibel	31
2.7. Penguatan tegangan desibel.....	32
2.9. Penyaluran panas.....	34
2.10. Kemantapan Titik Kerja Transistor.....	35
2.11. Kapasitor Kopling dan Pintas.....	36
2.11.1. kapasitor Kopling	36
2.11.2. Kapasitor Pintas.....	37
2.11.3. Ukuran Kasitor Kopling dan Pintas.....	38
2.12. Pengeras Suara (<i>Loudspeaker</i>).....	38
2.13. Penyearah Jembatan	40

BAB III PERANCANGAN BTL

3.1. Catu Daya	43
3.2. Penggeser Fase	46
3.3. Perancangan <i>Power Amplifier</i>	49

3.3.1. Penguat Diferensial	49
3.3.2. Penguat Pemacu	52
3.3.3. Penguat Darlington.....	54
3.3.4. Penguat Darlington Komplementer.....	55
3.3.5. Perancangan Keseluruhan	58
3.4. Pembuatan PCB.....	59
3.5. Perakitan Akhir.....	59
3.5.1. Penyatuan Unit	60
3.5.2. Panel dan Instrumentasi.....	60
 BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1. Catu Daya	62
4.2. Penggeser Fase	62
4.3. <i>Power Amplifier</i>	65
4.3.1. Pengujian Tanpa diberi Sinyal Masukan.....	66
4.3.2. Pengujian Dengan diberi Sinyal Masukan	78
4.3.3. Pengujian Dengan metode BTL	72
 BAB V KESIMPULAN	
5.1. Kesimpulan.....	75
5.2. Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram kotak penguat daya <i>Audio</i> dengan tanpa metode jembatan.....	6
Gambar 2.2. Diagram kotak penguat daya <i>audio</i> dengan metode jembatan.....	6
Gambar 2.3. Rangkaian penggeser Fase	8
Gambar 2.4. Rangkaian ekivalen AC penggeser fase	9
Gambar 2.5. Titik kerja rangkain penggeser fase.....	9
Gambar 2.6. Penguat diferensial	13
Gambar 2.7. Rangkaian ekivalen AC penguat diferensial	13
Gambar 2.8. Rangkaian penguat Kelas A	18
Gambar 2.9. Rangkaian ekivalen AC penguat kelas A	18
Gambar 2.10. Titik kerja rangkaian penguat kelas A.....	19
Gambar 2.11. Rangkaian penguat daya Kelas B.....	22
Gambar 2.12. Rangkaian ekivalen AC penguat daya kelas B.....	23
Gambar 2.13. Garis beban penguat daya kelas B.....	24
Gambar 2.14. Rangkaian Darlington dan Darlington Komplementer.....	26
Gambar 2.15. Rangkaian ekivalen AC penguat Darlington.....	28
Gambar 2.16. Rangkaian ekivalen AC penguat Darlington komplementer.....	28
Gambar 2.17. <i>Heat sink</i> transistor.....	34
Gambar 2.18. Penerapan kapasitor kopling dalam rangkaian.....	36
Gambar 2.19. Penerapan kapasitor pintas dalam rangkaian.....	37
Gambar 2.20. Magnet dengan tempat konus.....	39

Gambar 2.21. Korus dengan kumparan Suara.....	39
Gambar 2.22. Rangkaian penyearah jembatan.....	40
Gambar 3.1. Diagram Kotak perancangan BTL.....	43
Gambar 3.2. Rangkaian catu daya.....	44
Gambar 3.3. Rangkaian penggeser fase	46
Gambar 3.4. Penguat diferensial	52
Gambar 3.5. Rangkaian penguat pemacu.....	53
Gambar 3.6. Rangkain Darlington	54
Gambar 3.7. Rangkaian Darlington komplementer.....	56
Gambar 3.8. Gabungan Darlington dan Darlington komplementer.....	57
Gambar 3.9. Rancangan keseluruhan	58
Gambar 3.9. Panel dan instrumentasi.....	61
Gambar 4.1 Diagram kotak pengujian penggeser fase.....	63
Gambar 4.2. Sinyal keluaran AC penggeser fase	66
Gambar 4.3. Diagram kotak pengujian <i>Amplifier</i> yang dicatu pada emiter	68
Gambar 4.4. Sinyal keluaran pengujian <i>Amplifier</i> yang dicatu pada emiter	70
Gambar 4.5. Diagram kotak pengujian <i>Amplifier</i> yang dicatu pada kolektor.....	70
Gambar 4.6. Sinyal keluaran pengujian <i>Amplifier</i> yang dicatu pada kolektor.....	72
Gambar 4.7. Diagram kotak pengujian BTL.....	72
Gambar 4.8. Sinyal keluaran BTL	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Data persamaan transistor yang digunakan dalam perancangan.....	33
Tabel 4.1. Data pengukuran DC pada rangkaian penggeser fase.....	63
Tabel 4.2. Data pengukuran AC pada rangkaian penggeser fase.....	64
Tabel 4.3. Data hasil pengukuran DC penguat diferensial (<i>non inverting</i>).....	66
Tabel 4.4. Data hasil pengukuran DC penguat diferensial (<i>inverting</i>).....	66
Tabel 4.5. Data hasil pengukuran DC penguat pemacu	66
Tabel 4.6. Data hasil pengukuran DC penguat Darlington	67
Tabel 4.7. Data hasil pengukuran DC penguat Darlington komplementer	67
Tabel 4.8. Data hasil pengukuran AC <i>amplifier</i> yang dicatu pada kaki emiter penggeser fase.....	69
Tabel 4.9. Data hasil pengukuran AC <i>amplifier</i> yang dicatu pada kaki kolektor penggeser fase	71
Tabel 4.10. Data hasil pengukuran BTL (AC).....	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I. a. Rangkaian keseluruhan perancangan BTL	77
Lampiran I. b. Data persamaan transistor.....	78
Lampiran II. Harga-harga kapasitansi kapasitor	79
Lampiran III. Harga- harga resitansi standart di pasaran	80
Lampiran IV. Kode warna resistor	81
Lampiran V. Contoh kode warna resistor	82
Lampiran VI. Kode warna toleransi resistor	83
Lampiran VII. Cara menentukan kaki kolektor dan emiter transistor.....	84
Lampiran VIII. Cara menentukan basis transistor.....	85
Lampiran IX. Gambar Osiloskop.....	86
Lampiran X. Fungsi tombol-tombol pada Osiloskop.....	87
Lampiran XI. Grafik jalannya tegangan pada kapasitor.....	88
Lampiran XII. Analisis grafik pada penguat dorong-tarik (kelas B).....	89
Lampiran XII. Bentuk sinyal <i>output</i> AC dan DC pada rangkaian, dengan sinyal <i>input</i> yang diberikan adalah AC berbentuk sinus.....	90
Lampiran XIII. Karakteristik V-I pada dioda biasa dan dioda zener	91
Lampiran XIV. Karakteristik $V_{CE}-I_C$ transistor dengan β_{dc} sebesar 100.....	92

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Pada era teknologi seperti yang dialami sekarang ini mengindikasikan bahwa elektronika memegang peranan yang amat penting. Hal ini dapat diketahui dengan munculnya peralatan elektronika di pasaran dengan berbagai variasinya. Manusia sebagai konsumen berlomba-lomba untuk memiliki peralatan elektronika yang terbaru walaupun dengan harga yang mahal. Persoalan ini jika ditinjau dari aspek ekonomi maka sangatlah tidak ekonomis. Salah satu contoh adalah penguat daya *audio (power amplifier)* yang banyak sekali muncul di pasaran dengan berbagai jenisnya.

Keinginan konsumen untuk menguatkan suara pada *tape recorder, radio* ataupun *televisi* merupakan suatu kepuasan dan tujuan akhirnya. Oleh karena itu sering ditemukan dua atau tiga penguat suara atau *power amplifier* dipasang seri untuk memenuhi keinginan tersebut.

Dengan melihat persoalan ini, penulis ingin merancang sekaligus memperkenalkan suatu metode perancangan penguat *audio* dengan mengeluarkan biaya yang relatif murah, untuk memperoleh daya *audio* yang besar yaitu: **penguat daya *audio* tanpa trafo dengan metode jembatan.**

1.2. Perumusan Masalah.

Konsep dasar penguat daya *audio* dengan metode jembatan (*Bridge Transformer-Less*) adalah harus memiliki dua buah *power amplifier* yang sama

(identik). Kedua *power amplifier* tersebut diberikan sinyal masukan yang berbeda fase 180° dari keluaran rangkaian penggeser fase.

1.3. Batasan Masalah.

Penguat daya *audio* yang akan dirancang adalah dibatasi pada spesifikasi sebagai berikut :

1. Setiap *power amplifier* mempunyai daya $\cong 30$ watt, yang dirancang tanpa menggunakan IC, tetapi menggunakan komponen aktif transistor dan komponen pasif yakni resistor dan kapasitor.
2. Rangkaian penggeser fase yang dirancang dengan menggunakan komponen transistor, kapasitor dan resistor dan masukannya diberikan sinyal berupa bunyi dari radio FM.
3. Tegangan catu daya yang diberikan pada rangkaian *power amplifier* yaitu positif-negatif, (yaitu: $+30 V_{DC}$ dan $-30 V_{DC}$) dan tegangan yang diberikan pada rangkaian penggeser fase $7,5V_{DC}$.

1.4. Tujuan Penelitian.

1. Dapat mengukur daya yang dihasilkan oleh penguat daya *audio* tanpa trafo dengan sistem metode jembatan sehingga dapat mengetahui perbedaan penguat daya *audio* tanpa trafo dengan metode jembatan dan penguat daya *audio* yang lain.

2. Dapat mengetahui prinsip kerja dan menganalisa rangkaian penggeser fase yang menghasilkan sinyal sefase dengan masukan dan sinyal yang berbeda fase 180° dengan masukan.
3. Dapat mengetahui prinsip kerja dan menganalisa penguat daya tanpa trafo dengan metode jembatan yang dirancang.

1.5. Manfaat Penelitian.

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk:

1. Memahami proses kerja rangkaian penggeser fase yang menggunakan transistor dan rangkaian penguat daya tanpa trafo dengan metode jembatan.
2. Memperoleh daya yang besar tanpa menggunakan IC penguat dalam perancangan *power amplifier* dengan menggunakan metode jembatan, sehingga biayanya dapat ditekan.

1.6. Sistematika Penulisan.

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini terdiri dari 5 bab, yang secara keseluruhan merupakan pokok-pokok penunjang dari tugas akhir ini.

Kelima bab tersebut adalah :

1. BAB I. PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

2. BAB II. DASAR TEORI

Dasar teori menjelaskan tentang prinsip kerja rangkaian penggeser fase, rangkaian *power amplifier*, komponen pembentuk rangkaian penggeser fase dan *power amplifier* dan faktor-faktor penunjang kerja, rangkaian-rangkaian yang dirancang.

3. BAB III. PERANCANGAN PENGUAT DAYA *AUDIO* TANPA TRAFU DENGAN METODE JEMBATAN

Bab ini menjelaskan tentang perancangan penguat daya audio tanpa trafo dengan metode jembatan yang terdiri dari rangkaian *power supply*, rangkaian penggeser fase dan dua unit *power amplifier* dengan menggunakan transistor sebagai rangkaian dasar.

4. BAB IV. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil pengujian dan menganalisa dari hasil pengamatan.

5. BAB V. PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran, meliputi ringkasan hasil penelitian yang telah dilakukan dan usulan yang berisi ide-ide untuk perbaikan dan pengembangan terhadap penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Komponen dan Prinsip kerja Penguat Daya *Audio* Dengan Metode Jembatan (*Bridge Transformer Less*).

Komponen utama dari penguat daya *audio* tanpa trafo dengan metode jembatan (BTL) terdiri dari rangkaian penggeser fase, dua buah rangkaian *power amplifier* yang identik, dan *power supply* yang menggunakan transformator CT (*center tapped*).

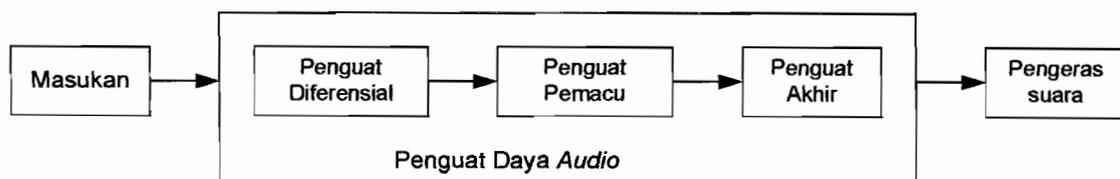
Prinsip kerjanya adalah sumber sinyal diberikan pada rangkaian penggeser fase dan sinyal keluaran yang berasal dari rangkaian penggeser fase, yaitu sinyal yang sefase dan berbeda fase 180° dengan masukan, dicatukan ke kedua unit *power amplifier* dan sinyal keluaran positif dari kedua unit *power amplifier* dihubungkan ke pengeras suara (*loudspeaker*). Persoalan inilah yang dimaksud dengan penguat daya *audio* dengan metode jembatan.

Perbedaan antara penguat daya *audio* dengan metode jembatan dan penguat daya *audio* yang lainnya dapat dijelaskan berikut:

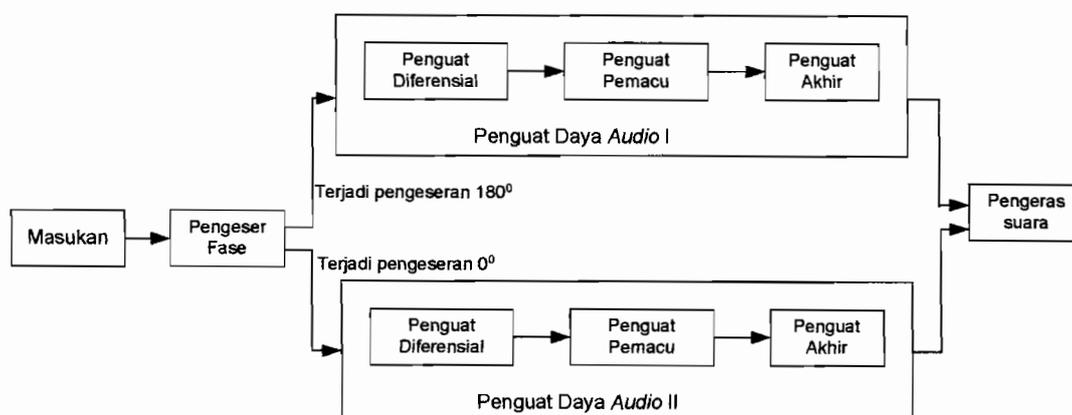
1. Penguat daya *audio* dengan metode jembatan, sinyal masukan harus dicatukan ke penggeser fase, sehingga keluaran yang dihasilkan berbeda fase 180° dengan masukan dan sefase dengan masukan sedangkan penguat daya *audio* tanpa menggunakan metode jembatan, sinyal masukan langsung dicatukan pada *power amplifier*.

2. Penguat daya *audio* dengan metode jembatan, harus mempunyai dua unit *amplifier* yang identik, sedangkan pada penguat daya *audio* tanpa menggunakan metode jembatan, tidak membutuhkan dua unit *amplifier* yang identik.
3. Keluaran *power amplifier* pada metode jembatan, terminal positif pada unit *power amplifier* pertama dihubungkan terminal positif unit *power amplifier* yang lain.

Gambar 2.1 dan 2.2 berikut adalah diagram kotak yang menjelaskan perbedaan antara penguat daya *audio* dengan metode jembatan dan penguat daya *audio* tanpa menggunakan metode jembatan



Gambar 2.1. Diagram kotak penguat daya *audio* tanpa menggunakan Metode Jembatan



Gambar 2.2. Diagram kotak penguat daya *audio* dengan Metode Jembatan.

Fungsi dari setiap blok pada gambar 2.1 dan 2.2. dapat dijelaskan berikut:

1. Masukan yaitu berupa sumber suara, dalam tugas akhir digunakan radio FM yang berfungsi untuk memberi sinyal masukan.
2. Penggeser fase (pada penguat daya *audio* dengan metode jembatan), merupakan bagian yang mengatur sinyal masukan untuk mengeluarkan dua sinyal keluaran. Diantara kedua keluaran, yang satu sefase dengan masukan dan satunya berbeda fase 180° dengan masukan.
3. Penguat diferensial, berfungsi untuk memperkuat beda tegangan yang masuk. Tegangan yang masuk melalui masukan tidak membalik (*non inverting*) dan membalik (*inverting*).
4. Penguat pemacu, berfungsi menguatkan sinyal keluaran dari penguat diferensial dan selanjutnya sinyal tersebut dialirkan ke penguat tingkat akhir.
5. Penguat akhir, berfungsi untuk menguatkan sinyal yang berasal dari penguat pemacu, sehingga sinyal yang dihasilkan dapat menghasilkan daya yang besar.
6. *Loudspeaker*, yaitu berfungsi untuk mengeraskan sinyal suara yang berasal dari masukan, dalam hal ini yaitu radio FM.

Berdasarkan gambar 2.1 dan 2.2. daya keluaran yang dihasilkan oleh penguat daya, dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Penguat daya *audio*, tidak menggunakan metode jembatan daya yang dihasilkan adalah:

$$P_o = \frac{V_o^2}{R_L} \quad (2.1)$$

2. Penguat daya dengan metode jembatan, daya yang dihasilkan adalah:

$$P_o = \frac{(2V_o)^2}{R_L} \quad (2.2)$$

Keterangan :

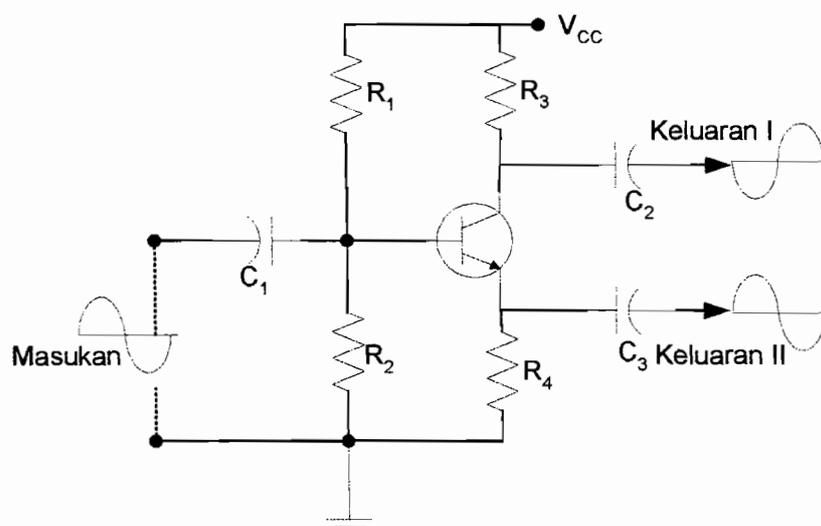
P_o = daya *output*

V_o = tegangan *output*

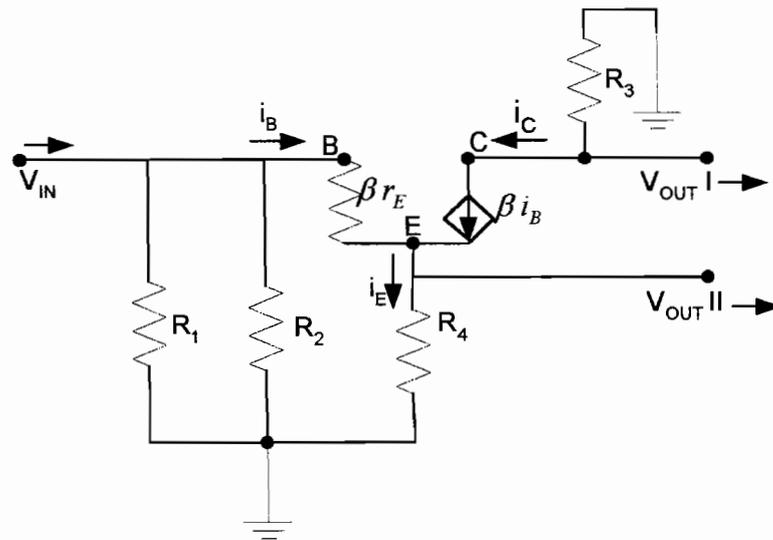
R_L = hambatan beban

2.2. Penggeser Fase

Penggeser fase berfungsi untuk menggerakkan sinyal masukan yang diperoleh dari sinyal *audio* dan menghasilkan dua sinyal pada keluaran yaitu: sinyal yang sefase dengan masukan dan sinyal yang berbeda fase 180° dengan masukannya. Rangkaian yang digunakan adalah dengan menggunakan transistor.



Gambar 2.3. Rangkaian penggeser fase dengan menggunakan transistor.



Gambar 2.4. Rangkaian ekivalen AC penggeser fase menggunakan transistor.

Analisis AC dan DC dapat dijelaskan berturut-turut sebagai berikut:

a. Analisis AC

Berdasarkan rangkaian ekivalen AC (gambar 2.4), analisis AC keluaran berbeda fase 180° atau keluaran pada kolektor adalah sebagai berikut:

Tegangan masukan (*input*) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{in} &= i_B \beta r_E + i_E R_4 \\
 &= i_B \beta r_E + i_B (\beta + 1) R_4 \\
 &= i_B (\beta r_E + (\beta + 1) R_4)
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

Arus yang mengalir pada basis transistor, diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$i_B = \frac{V_{in}}{\beta r_E + (\beta + 1) R_4} \tag{2.4}$$

Tegangan keluaran yang diperoleh dari kolektor transistor diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} V_{out1} &= i_C R_3 \\ &= -\beta i_B R_3 \\ &= -\beta \left(\frac{V_{in}}{\beta r_E + (\beta + 1)R_4} \right) R_3 \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-\beta R_3}{\beta r_E + (\beta + 1)R_4} \quad (2.6)$$

Jika $\beta + 1 \approx \beta$, maka $\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_3}{r_E + R_4}$, tanda negatif (-), menunjukkan antara

keluaran dan masukan berbeda fase 180° . $I_C = \beta i_B$, $I_E = i_B(\beta + 1)$, $V_{out} = -i_E \cdot R_3$, tanda negatif didapat karena arus mengalir dari negatif ke positif.

Analisis AC keluaran sefase dengan masukan atau keluaran yang dicatu pada kaki emiter transistor adalah sebagai berikut:

Arus yang mengalir pada basis transistor dapat diperoleh dengan persamaan:

$$i_B = \frac{V_{in} - V_{out}}{\beta r_E} \quad (2.7)$$

Tegangan keluaran (V_{out}), atau diperoleh dari emiter transistor dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} V_{out2} &= i_E R_4 \\ &= (\beta + 1) i_B R_4 \\ &= (\beta + 1) \left(\frac{V_{in} - V_{out}}{\beta r_E} \right) R_4 \end{aligned} \quad (2.8)$$

Tiap sisi dikalikan dengan βr_E , maka

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{(\beta + 1)R_4}{\beta r_E + (\beta + 1)R_4} \quad (2.9)$$

jika $(\beta + 1) \approx 1$, maka persamaan tegangan keluaran dan masukan menjadi seperti berikut:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{\beta R_4}{\beta r_E + \beta R_4} = \frac{R_4}{r_E + R_4} \quad (2.10)$$

Berdasarkan persamaan 2.8 $V_{out} = i_E R_4$. Tidak ada tanda negatif (-), karena arus mengalir dari positif ke negatif. Hambatan pada emiter harus lebih kecil dari pada tahanan pada kaki kolektor. Hal ini disebabkan aliran pada kaki kolektor $i_C = \alpha i_E$; $\alpha = \frac{i_C}{i_E}$; α adalah perbandingan antara aliran arus kolektor dan emiter. Namun karena aliran arus kolektor hampir sama dengan aliran arus pada emiter sehingga tahanan keduanya disamakan.

b. Analisa DC

Analisis DC, bertujuan untuk menentukan titik kerja rangkaian pengeser fase. Hal ini berdasarkan gambar rangkaian 2.3. dilakukan sebagai berikut:

Perhitungan arus basis (I_B), berdasarkan persamaan berikut:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (2.11)$$

Hambatan basis (R_B) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} R_B &= R_1 // R_2 \\ R_B &= \frac{R_1 + R_2}{R_1 \times R_2} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Besarnya arus yang mengalir pada kolektor, dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

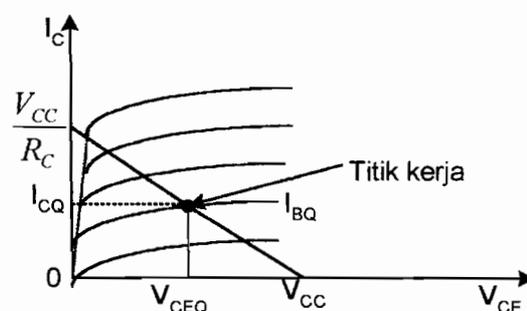
$$I_C = \beta I_B \quad (2.13)$$

Besarnya arus yang mengalir pada emiter (I_E), hampir sama dengan arus kolektor sehingga dapat dikatakan $I_E \cong I_C$

Tegangan kolektor-emiter (V_{CE}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{RC} - V_E \quad (2.14)$$

Berdasarkan analisis DC, dapat digambarkan garis kerja DC dan titik kerja sebagai berikut:



Gambar 2.5. Titik kerja rangkaian penggeser fase.

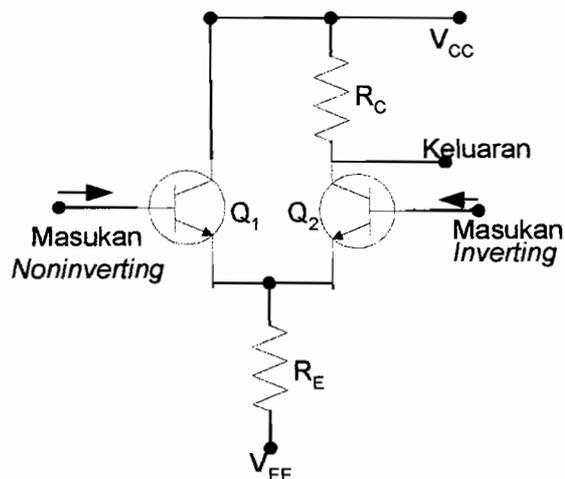
Keterangan penulisan rumus (huruf) yang membedakan AC dan DC, dijelaskan sebagai berikut, DC huruf pertama adalah kapital (besar) dan huruf kedua besar *subscript*, sedangkan AC huruf pertama menggunakan huruf kecil dan huruf kedua besar *subscript*.

2.3. Penguat Diferensial.

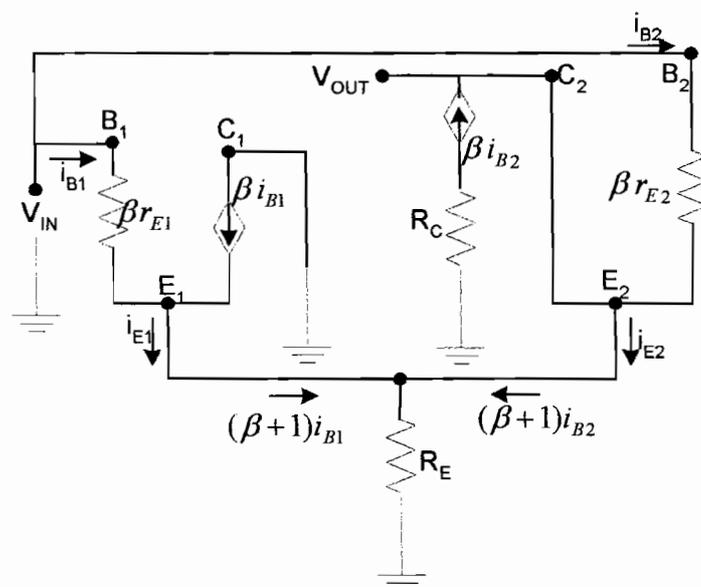
Penguat diferensial digunakan untuk menguatkan beda tegangan yang masuk, yaitu pada masukan tidak membalik (*non inverting*) dan membalik (*inverting*).

Dalam perancangan penguat diferensial yang digunakan adalah masukan berujung ganda dan keluaran berujung tunggal, sehingga dalam pembahasan ini hanya sebatas penguat diferensial dengan masukan ganda dan keluaran tunggal.

Masukan *non inverting* dicatu dari keluaran rangkaian pengeser fase dan masukan *inverting* diperoleh dari keluaran rangkaian tingkat akhir (Darlington dan Darlington komplementer).



Gambar 2.6. Rangkaian penguat diferensial.



Gambar 2.7. Rangkaian ekivalen AC penguat diferensial.

Apabila sinyal tegangan masukan pada *inverting* dan *non inverting* sama besarnya, maka penguat diferensial tidak bekerja. Namun hal ini tidak mungkin terjadi karena penguat diferensial menolak memperkuat sinyal masukan yang sama. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut, jika sinyal tegangan yang masuk pada kedua masukan sama besar, hambatan emiter yang tidak ditanahkan akan mempengaruhi besarnya hambatan pada masing-masing emiter transistor. Sehingga penguatan tegangan ragam sekutu pada masukan *inverting* dan *non inverting* akan tidak sama.

a. Analisis DC Penguat Diferensial

Berdasarkan gambar 2.5. jika transistor yang digunakan identik, arus emiter akan terpecah sama besarnya diantara emiter transistor pertama dan transistor kedua. Maka setiap emiter diberi prategangan melalui hambatan $2R_E$. Prategangan emiter setiap transistor diberi prategangan oleh V_{EE} dan hambatan $2R_E$. Sehingga arus yang mengalir pada emiter adalah:

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{2R_E} \quad (2.15)$$

persamaan ini berarti hambatan basis kurang dari $\frac{1}{100} \times 2\beta_{dc}R_E$ atau dapat ditulis

$R_B < 0,02\beta_{dc}R_E$. Bila hal ini dipenuhi maka tegangan DC dari setiap basis mendekati nol.

Arus *offset* masukan atau arus yang mengalir melalui basis transistor pertama I_{B1} dan basis transistor kedua I_{B2} ke tanah melalui hambatan-hambatan basis, ditetapkan sebagai perbedaan antara arus- arus basis.

$$I_{in(off)} = I_{B1} - I_{B2} \quad (2.16)$$

arus prategangan masukan adalah harga rata-rata dari dua arus basis, yang ditunjukkan persamaan:

$$I_{in(prat)} = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2} \quad (2.17)$$

Tegangan *offset* masukan atau tegangan masukan yang dibutuhkan untuk membuat tegangan keluaran menjadi nol. Dijabarkan, jika semakin kecil tegangan *offset* masukan maka semakin baik penguat diferensial, karena kedua transistor adalah sama. Persamaannya adalah

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C \quad (2.18)$$

b. Analisis AC Penguat Diferensial.

Gambar 2.6. adalah rangkaian ekivelen AC, analisis AC dari penguat diferensial adalah sebagai berikut:

Penguatan tegangan untuk sinyal ragam sekutu dapat diperoleh dengan menggunakan rumus berikut :

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-R_C}{r_E + 2R_E} \quad (2.19)$$

Keterangan:

$-R_C$ = hambatan kolektor pada masukan membalik (*inverting*).

$2R_E$ = hambatan emiter masukan tidak membalik (*non inverting*) dan membalik (*inverting*) menggunakan hambatan emiter yang sama.

Karena R_E selalu jauh lebih besar daripada r_E , maka dalam menentukan penguatan tegangan ragam sekutu, r_E dapat diabaikan, sehingga persamaan menjadi:

$$A_{CM} = \frac{-R_C}{2R_E} \quad (2.20)$$

keterangan:

A_{CM} = penguatan ragam sekutu

R_C = hambatan kolektor

R_E = hambatan emiter

Untuk menentukan kualitas penguat diferensial, sehingga dapat mengetahui seberapa besar penguatan differensial yang terjadi dilakukan dengan perhitungan *Common Mode Rejection Ratio* (CMRR) atau ratio penolakan ragam bersama. Besaran ini ditetapkan sebagai perbandingan penguatan tegangan diferensial terhadap penguatan tegangan ragam sekutu.

$$CMRR = \frac{A}{-A_{CM}} \quad (2.21)$$

Keterangan:

Tanda negatif (-), menunjukkan beda fase 180° .

A = penguatan diferensial, ditentukan oleh persamaan berikut:

$$A = \frac{V_{OUT}}{(V_1 - V_2)} \quad (2.22)$$

CMRR, jika dicantumkan dalam desibel, maka persamaan yang digunakan adalah:

$$CMRR' = 20 \log CMRR \quad (2.23)$$

Arus emiter yang melalui transistor pertama Q_1 adalah:

$$i_{E1} = \frac{V_1}{2r_E} \quad (2.24)$$

Karena arus kolektor hampir sama dengan arus emiter, maka tegangan keluaran

AC adalah:

$$V_{out} = I_C R_C = \frac{V_i}{2r_E} \cdot R_C \quad (2.25)$$

Penguatan tegangan untuk masukan *non inverting* ditentukan persamaan berikut :

$$A_{V_{out}} = \frac{R_C}{2r_E} V_1 \quad (2.26)$$

Masukan membalik (*inverting*) Q_2 , arus emiter dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$i_E = \frac{V_2}{2r_E} \quad (2.27)$$

Tegangan keluaran pada Q_2 adalah:

$$V_{out} = -i_C R_C = -\frac{V_2}{2r_E} R_C \quad (2.28)$$

Penguatan tegangan (A_V) pada masukan membalik (*inverting*) adalah:

$$A_{V_{out}} = -\frac{R_C}{2r_E} V_2 \quad (2.29)$$

Penguatan diferensial total apabila kedua masukan bekerja pada saat yang sama adalah ditentukan oleh rumus:

$$A = \frac{R_C}{2r_E} \quad (2.30)$$

Impedansi masukan pada penguat diferensial adalah

$$Z_{in} = 2\beta r_E \quad (2.31)$$

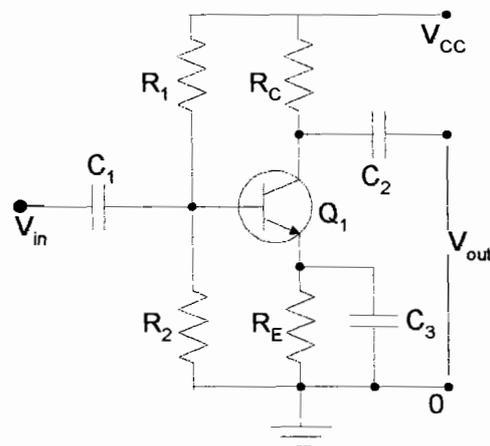
2.4. Tahap Pemacu (*Driver*)

Tahap pemacu atau tahap penggerak dalam rancangan tugas akhir adalah menggunakan sebuah transistor yang bekerja pada kelas A, sehingga selalu

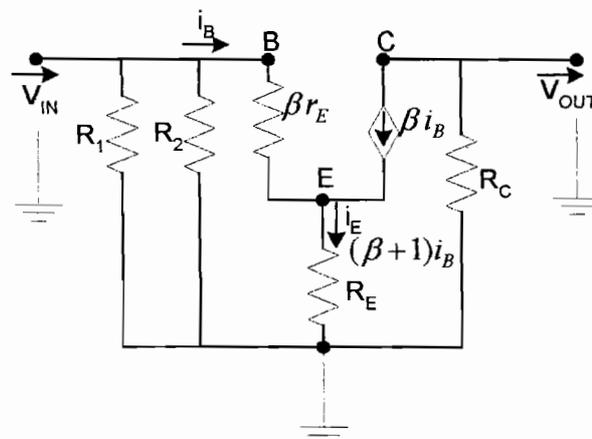
bekerja pada daerah aktif. Penguat pemacu dicatu pada keluaran penguat diferensial, dan keluarannya dihubungkan ke penguat tingkat akhir.

2.4.1. Amplifier Kelas A

Penguat kelas A berarti transistor selalu beroperasi di daerah aktif, atau bekerja pada seluruh siklus, arus kolektor mengalir sepanjang 360° dari siklus AC. Dalam suatu unit *amplifier* yang berkualitas tinggi biasanya *amplifier* kelas A digunakan pada penguat awal.



Gambar 2.8. Rangkaian penguat kelas A.



Gambar 2.9. Rangkaian ekivalen penguat daya kelas A.

Berdasarkan gambar 2.8. dan 2.9. analisis DC dan AC adalah sebagai berikut:

a. Analisis DC

Analisis DC bertujuan untuk menentukan titik kerja dari transistor. Pada penguat daya kelas A adalah sebagai berikut:

Arus yang mengalir pada basis (I_B) transistor adalah:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (2.32)$$

keterangan:

R_B adalah $R_1 // R_2$

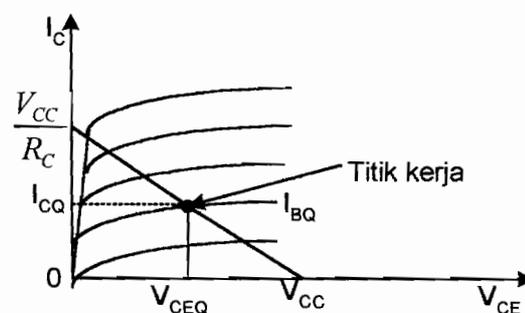
Arus yang mengalir pada kolektor (I_C) transistor ditentukan berdasarkan persamaan:

$$I_C = \beta I_B \quad (2.33)$$

Tegangan kolektor-emiter (V_{CE}) adalah:

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{RC} - V_E \quad (2.34)$$

Dari persamaan-persamaan analisis DC, maka titik kerja dari transistor yang bekerja pada kelas A, dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.10. Titik kerja dan garis beban penguat daya kelas A

b. Analisis AC.

Analisis AC bertujuan untuk menentukan penguatan tegangan dan arus dari penguat daya kelas A. Berdasarkan gambar 2.9. rangkaian ekivalen AC, penentuan penguatan tegangan (A_V) dan penguatan arus (A_I) adalah:

Penguatan Tegangan (A_V).

Terdiri dari penguatan tegangan tanpa beban dan penguatan tegangan dengan beban, yang secara berurutan dihitung dengan menggunakan rumus berikut. Penguatan (A_V) tanpa beban adalah:

$$A_V = -\frac{R_C}{r_E} \quad (2.35)$$

Sedangkan penguatan dengan beban, ditentukan dengan persamaan berikut:

$$A_V = -\frac{r_C}{r_E} \quad (2.36)$$

$r_C = R_C // R_L$, hal ini karena adanya hambatan AC yang masuk pada kolektor.

Penguatan Arus (A_I).

Penguatan arus adalah perbandingan arus kolektor AC terhadap arus basis AC. Dapat dituliskan seperti berikut:

$$A_I = \frac{i_C}{i_B} \quad (2.37)$$

Penguatan Daya (A_P).

Dengan memperhitungkan daya masuk pada basis dan daya yang keluar pada kolektor maka, penguatan daya dapat diperoleh dari persamaan :

$$A_P = \frac{P_{out}}{P_{in}} = -\frac{V_{out} i_C}{V_{in} i_B} \quad (2.38)$$

2.5. Penguat Akhir

Penguat akhir pada penguat daya *audio* berfungsi untuk menguatkan sinyal tegangan dari penguat yang berada pada tahap di depan sehingga dapat memperoleh daya yang besar pada keluaran.

Sasaran dari tingkat keluaran adalah agar mampu memberi arus beban keluaran, hambatan keluaran rendah dan ayunan tegangan keluaran yang besar, yang secara ideal tegangan keluaran mencapai $V_{CC} + V_{EE}$.

Konfigurasi yang dapat memiliki sifat ini adalah penguat daya kelas B. Dalam rancangan tugas akhir, penguat kelas B merupakan gabungan antara penguat Darlington dan Darlington komplementer yang dihubungkan secara paralel.

2.5.1. Amplifier Kelas B

Amplifier kelas B adalah *amplifier* yang pencatuan (*biasing*) pada basis hampir sama dengan nilai *cutt-off* transistor, sehingga arus kolektor mendekati nol pada saat tidak ada sinyal masukan (AC) pada basis, dan arus kolektor mengalir hampir sama dengan setengah siklus (*cycle*) atau 180^0 untuk setiap siklus bila diberikan sinyal AC pada basis.

Karena arus kolektor hanya mengalir setengah siklus, maka digunakan dua buah transistor yang dirangkai membentuk rangkaian dorong-tarik (*push-pull circuit*), dengan tujuan transistor dapat bekerja secara bergantian setiap setengah siklus. (lihat gambar 2.11). Hal ini dapat dijelaskan, pada saat setengah siklus positif yang masuk ke rangkaian dorong tarik transistor Q_1 *on*, Q_2 *off* dan ketika

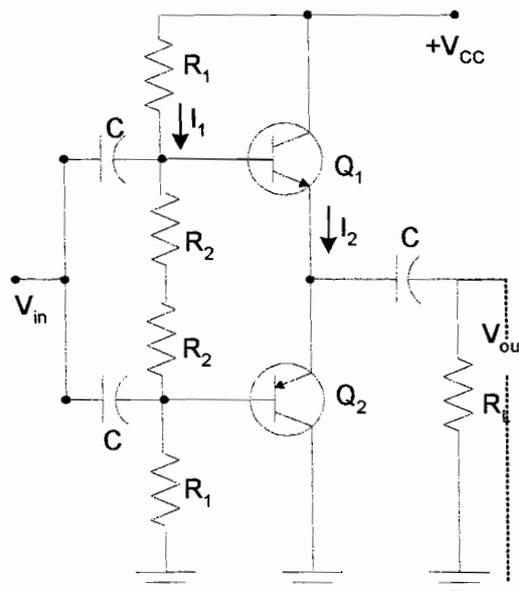
setengah siklus negatif yang masuk, transistor Q_2 *on*, Q_1 *off*. Transistor Q_1 dan Q_2 bekerja bergantian mengikuti sinyal AC masukan yang dicatu.

Hambatan R_1 dan R_2 yang dipasang pada masing-masing transistor berfungsi untuk menetapkan titik kerja pada titik putus (*cut-off*). Kondisi ini memberikan prategangan dioda emiter pada setiap transistor di antara 0,6 Volt sampai 0,7 Volt, yaitu tegangan yang dibutuhkan untuk mematikan dioda emiter.

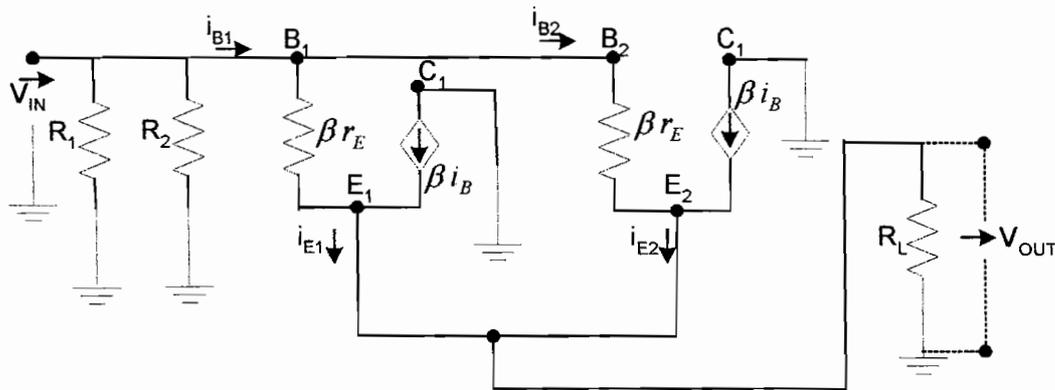
Hambatan R_1 pada Q_1 harus sama besarnya dengan hambatan R_1 pada Q_2 dan R_2 pada Q_1 yang harus besarnya dengan hambatan R_2 pada Q_2 , agar arus yang masuk pada Q_1 dan Q_2 sama besarnya. Dengan demikian titik kerja rangkaian dorong tarik konstan.

Jika pemberian hambatan Q_1 dan Q_2 bernilai sama maka, tegangan kolektor emiter (V_{CE}), dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$V_{CEQ} = \frac{V_{CC}}{2} \quad (2.39)$$



Gambar 2.11. Rangkaian penguat daya kelas B.



Gambar 2.12. Rangkaian ekivalen AC penguat daya kelas B.

a. Analisis DC

Analisis AC ditentukan berdasarkan gambar 2.11. Karena tak ada hambatan DC pada kaki kolektor atau emiter maka arus jenuh DC berharga tak terhingga. Dan garis beban DC dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

Arus yang mengalir pada basis transistor Q_1 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$I_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (2.40)$$

Arus yang mengalir pada kolektor transistor Q_1 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$I_{CQ1} = \frac{V_{CC}}{2R_L} \quad (2.41)$$

Pada transistor Q_2 , arus basis dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$I_{B2} = \frac{-V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (2.42)$$

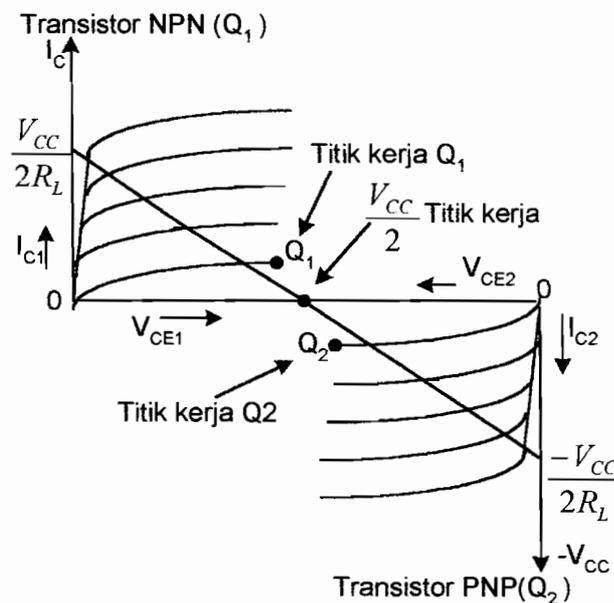
Arus yang mengalir pada kolektor transistor kedua dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$I_{CQ2} = \frac{-V_{CC}}{2R_L} \quad (2.43)$$

Karena hambatan-hambatan pemberi prategangan adalah sama maka setiap dioda emiter diberi prategangan yang sama. Maka akibatnya setengah tegangan jatuh melintasi setiap transistor yaitu:

$$V_{CEQ} = \frac{V_{CC}}{2} \quad (2.44)$$

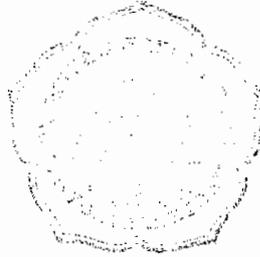
Dari persamaan-persamaan analisis DC, dapat digambarkan garis kerja DC penguat daya kelas B sebagai berikut:



Gambar 2.13. Garis beban DC penguat daya kelas B.

b. Analisis AC

Berdasarkan gambar 2.12. analisis AC pada penguat kelas B dapat dijabarkan sebagai berikut:



Penguatan tegangan (A_v).

Penguatan tegangan adalah perbandingan hambatan beban dengan penjumlahan hambatan beban dan hambatan AC pada kaki emiter atau dapat ditulis seperti berikut:

$$A_v = \frac{R_L}{R_L + r_e} \quad (2.45)$$

Penguatan Arus (A_i).

Penguatan arus pada kelas B hampir sama dengan β , sehingga dapat ditentukan:

$$(A_i) \cong \beta \quad (2.46)$$

Penguat Daya (A_p).

Penguatan daya merupakan perkalian dari penguatan tegangan dan arus.

$$A_p = A_v \cdot A_i \quad (2.47)$$

Efisiensi Daya

Efisiensi daya pada penguat kelas B dapat ditentukan berdasarkan pada persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{L(maks)}}{P_{S(maks)}} \times 100\% \quad (2.48)$$

η = efisiensi daya yang dihasilkan penguat daya kelas B.

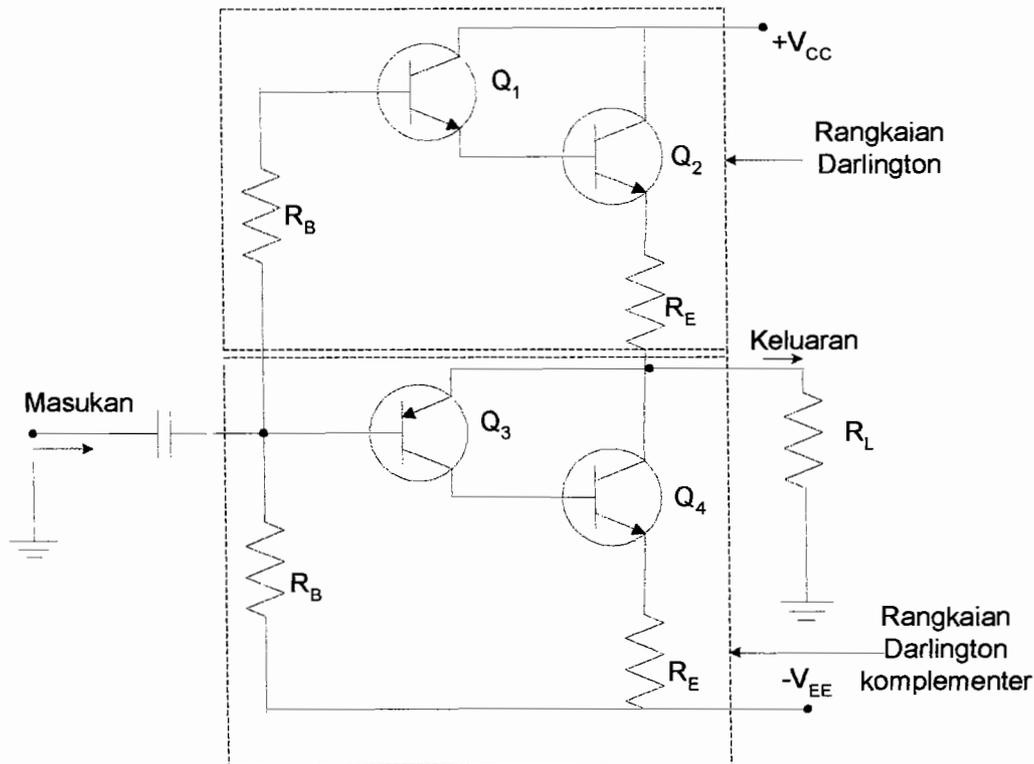
$P_{L(maks)}$ = sinyal keluaran AC, dari penguat daya kelas B.

$P_{S(maks)}$ = sinyal masukan DC, pada penguat daya kelas B.

Menurut teori, dikatakan efisiensi daya yang dihasilkan oleh penguat kelas B adalah sebesar 78,5%.

2.5.2. Penguat Darlington Dan Darlington Komplementer.

Penguat Darlington dan Darlington komplementer yang dihubungkan secara paralel dalam rancangan digunakan untuk penguatan akhir. Penguat Darlington dan Darlington komplementer bekerja pada kelas B.



Gambar 2.14. Rangkaian penguat Darlington dan Darlington komplementer

2.5.2.1. Penguat Darlington

Rangkaian penguat Darlington adalah terdiri dari dua buah transistor pengikut emiter yang dihubungkan kaskade. Rangkaian Darlington terbentuk oleh transistor Q_1 dan Q_2 pada gambar rangkaian penguat Darlington dan Darlington komplementer. Penguat tegangan keseluruhan (*overall voltage gain*) mendekati 1.

Pengaruh utamanya adalah penambahan impedansi masukan yang sangat besar dan penurunan impedansi keluaran secara dramatis.

Prinsip aplikasi teori analisis DC dan AC penguat Darlington dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Analisis DC

Berdasarkan gambar 2.14. rangkaian Darlington yang terbentuk oleh Q_1 dan Q_2 , arus yang mengalir pada basis transistor dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta_D R_E} \quad (2.49)$$

keterangan:

$\beta_D = \beta_1 \beta_2$ (perkalian β transistor Q_1 dan Q_2).

Arus yang mengalir pada emiter rangkaian Darlington (Q_2) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$I_E = (\beta_D + 1)I_B \approx \beta_D I_B \quad (2.50)$$

Tegangan emiter (V_E) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$V_E = I_E R_E \quad (2.51)$$

Tegangan yang mengalir pada basis (V_B) transistor, diperoleh dari persamaan berikut:

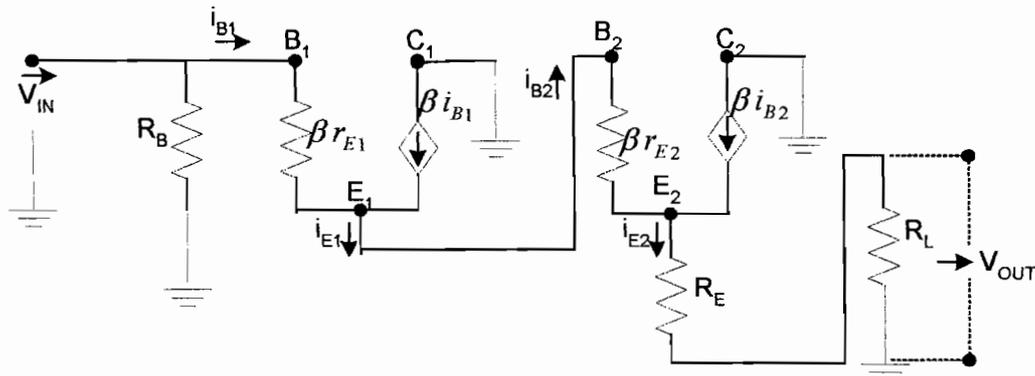
$$V_B = V_E + V_{BE} \quad (2.52)$$

keterangan:

$V_{BE} = 0,7$ volt (pada silikon)

b. Analisis AC

Berdasarkan gambar 2.14. rangkaian Darlington yang terbentuk oleh Q_1 dan Q_2 dapat digambarkan rangkaian ekivalen AC seperti terlihat pada gambar 2.15. berikut:



Gambar 2.15. Rangkaian ekivalen AC penguat Darlington

Pada kedua transistor akan ada tegangan jatuh pada basis dan emitemnya masing-masing sebesar V_{BE} . Karena tegangan jatuh sebesar $2V_{BE}$, maka arus emiter pada tingkat kedua adalah:

$$I_{E2} = \frac{V_{Th} - 2V_{BE}}{r_E} \quad (2.53)$$

Arus emiter pada tingkat pertama sama dengan arus basis DC pada tingkat kedua

$$I_{E1} = \frac{I_{E2}}{\beta_{DC}} \quad (2.54)$$

Tegangan basis pada penguat Darlington diperoleh dari, tegangan keluaran dari penguat pemacu.

Jika hambatan R_{E2} diabaikan, maka impedansi masukan dari tingkat kedua dianalisa dari emiter transistor pertama, dan persamaanya adalah:

$$Z_{in(2)} \cong \beta_2 r_E \quad (2.55)$$

Dan jika R_{E1} diabaikan maka impedansi masukan dilihat dari basis transistor pertama yaitu:

$$Z_{in(1)} = \beta_1 \beta_2 r_E \quad (2.56)$$

Dengan melihat persamaan ini maka diketahui bahwa *impedansi input* sangat tinggi karena merupakan perkalian dari beta-beta AC.

Impedansi keluaran pada transistor pertama diperoleh dari persamaan:

$$Z_{out(1)} = r_{E1} + \frac{r_{th}}{\beta_1} \quad (2.57)$$

Impedansi keluaran pada tingkat kedua :

$$Z_{out(2)} = \frac{r_{E2} + r_{E1} + r_{th} // \beta_1}{\beta_2} \quad (2.58)$$

2.5.2.2. Rangkaian Darlington Komplementer

Rangkaian Darlington komplementer dibentuk oleh Q_3 dan Q_4 pada gambar 2.14. rangkaian penguat Darlington dan Darlington komplementer, yang bekerja seperti satu transistor pnp (transistor yang posisinya sebagai masukan) dengan penguatan arus yang sangat tinggi. Tujuan utama rangkaian Darlington komplementer pada rancangan untuk memudahkan pencocokan pemilihan transistor pada tingkat akhir agar dapat mengurangi distorsi pada penguat. Dalam hal ini transistor tingkat akhir Q_1 dan Q_3 dengan mudah dicocokkan karena sama jenisnya. Berikut adalah analisis DC dan AC rangkaian darlington komplementer:

a. Analisis DC Rangkaian Darlington Komplementer

Berdasarkan gambar 2.14. rangkaian Darlington komplementer yang terbentuk oleh transistor Q_3 dan Q_4 analisis DC adalah sebagai berikut. Arus DC yang mengalir pada basis transistor pertama adalah :

$$I_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{EB}}{R_B + \beta_1 \beta_2 R_C} \quad (2.59)$$

sedangkan aliran arus pada basis transistor kedua adalah sama dengan aliran arus pada kolektor transistor pertama yaitu sebesar:

$$I_{C1} = \beta_1 I_{B1} \quad (2.60)$$

Aliran arus pada kolektor transistor kedua dapat ditentukan :

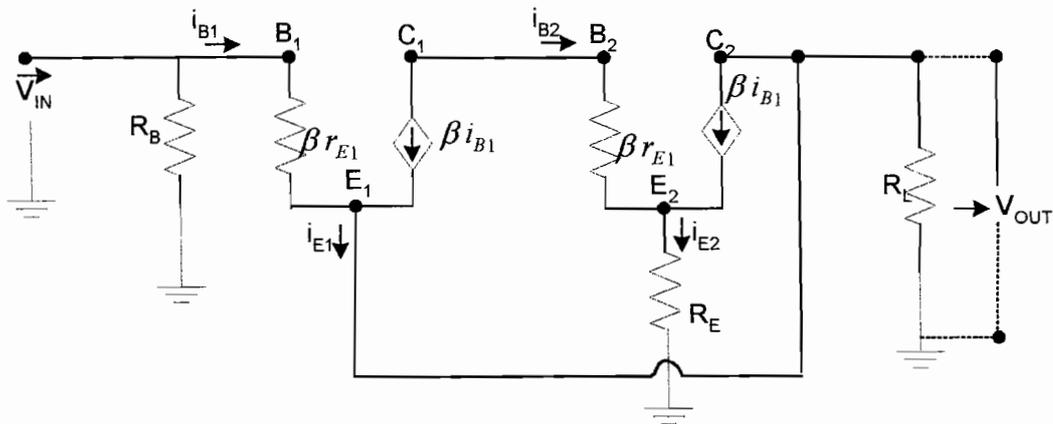
$$I_{C2} = \beta_2 I_{B2} \quad (2.61)$$

Dengan berpatokan pada persamaan 2.56. dan 2.57. maka arus total yang mengalir pada rangkaian balikan adalah sebesar

$$I_C = I_{E1} + I_{E2} \approx I_{C1} + I_{C2} \approx I_{C2} \quad (2.62)$$

b. Analisis AC Rangkaian Darlington Komplementer

Berdasarkan gambar 2.14. rangkaian Darlington komplementer yang terbentuk oleh transistor Q_3 dan Q_4 dapat gambarkan rangkaian ekivalen AC seperti terlihat pada gamabar 2.16 berikut:



Gambar 2.16. Rangkaian ekivalen AC penguat Darlington komplementer.

Penguatan arus (*gain*) (A_i) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$A_i = \frac{I_O}{I_i} = \frac{I_O I_{B1}}{I_{B1} I_i} \quad (2.63)$$

Penguatan (*gain*) tegangan yang dihasilkan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$A_o = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\beta_1 \beta_2 R_C}{\beta_1 \beta_2 R_C + r_{i1}} \quad (2.64)$$

2.6. Penguatan Daya Desibel.

Penguatan daya (*gain*) sebuah penguat adalah perbandingan daya keluar terhadap daya masuk.

$$G = \frac{P_{Output}}{P_{Input}} \quad (2.65)$$

Sedangkan penguatan *daya desibel* diperoleh dari persamaan berikut:

$$G' = 10 \log G \quad (2.66)$$

Keterangan:

G' = penguatan daya dalam desibel

Log = logaritma dengan bilangan dasar 10

G = penguatan daya

Penguatan daya dihitung berdasarkan tahap-tahap yang ada dalam suatu penguat. Sebagai contoh dalam suatu penguat terdapat tiga tahap. Tahap pertama mempunyai daya masuk P_1 , daya keluar P_2 . Tahap kedua mempunyai daya masuk P_2 , daya keluar P_3 . Bati daya total dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$G = \frac{P_2}{P_1} \frac{P_3}{P_2} \quad (2.67)$$

Keterangan:

G = *gain* total (penguatan total) adalah perkalian *gain* tahap pertama dan tahap kedua

$$\frac{P_2}{P_1} = \textit{gain} \text{ tahap pertama}$$

$$\frac{P_3}{P_2} = \textit{gain} \text{ tahap kedua}$$

Maka penguatan daya dalam desibel total ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$G' = G'_1 + G'_2 \quad (2.68)$$

Keterangan:

G' = *gain* daya desibel total

G'_1 = *gain* daya desibel untuk tahapan pertama, didapat dari $10 \log G_1$.

G'_2 = *gain* daya desibel untuk tahapan kedua, didapat dari $10 \log G_2$.

2.7. Penguatan Tegangan Desibel

Penguatan (*gain*) tegangan desibel dalam suatu penguat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$A' = 20 \log A \quad (2.69)$$

Keterangan:

A' = *gain* tegangan dalam desibel

A = *gain* tegangan

2.8. Kemampuan Transistor.

Kemampuan daya transistor menyatakan besarnya daya lesapan yang dapat diterima oleh transistor tanpa membuat transistor tersebut rusak. Kemampuan tegangan transistor adalah menyatakan berapa beda tegangan maksimum yang dapat ditahan antara dua kaki transistor yaitu emiter dan kolektor. Untuk hal ini acuanya berdasarkan pada data dan persamaan transistor.

Tabel 2.1. Data transistor yang digunakan dalam perancangan BTL.

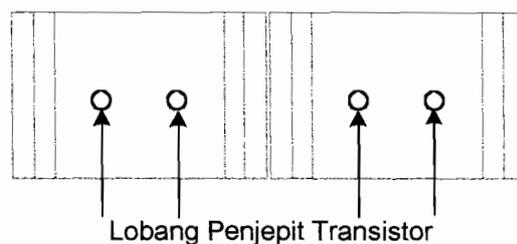
Transistor number	P O L	M A T	V_{CB} Max	V_{CE} Max	V_{EB} Max	I_C Max	T_J Max	P Total	F_T Min	C_{OB} Max	H_{FE}	H_{FE} Bias
FCS 9012	P	S	20V	25V	3V	1A	150C	600mWF	200m	20P	60	5mA
FCS 9013	N	S	20V	25V	3V	1A	150C	600mWF	200m	20P	60	5mA
FCS 9014	N	S	20V	18V	3V	100mA	150C	1mWF	150m	3,5P	60	5mA
FCS 9015	P	S	20V	18V	3V	100mA	150C	600mWF	300m	6P	60	5mA
2SC1061	N	S	50V	.	4V	3A	150C	25WC	10m	10P	80	1A

Pada tabel 2.1. diperlihatkan data persamaan jenis transistor yang digunakan dalam perancangan penguat daya *audio* tanpa trafo dengan metode jembatan BTL.

2.9. Penyaluran Panas (*Heat Sink*)

Fungsi dari penyaluran panas (*heat sink*) atau lebih dikenal dengan nama pendingin yang digunakan pada transistor adalah agar panas yang terjadi pada saat transistor bekerja cepat terbuang. Dengan alasan ini maka batas kemampuan daya transistor dapat dipertahankan, sehingga transistor yang digunakan tidak cepat putus atau rusak. Panas yang dibuang sangat dipengaruhi oleh luas permukaan *heat sink*. Semakin luas permukaan, semakin cepat panas terhambur ke udara sekitar, dan sebaliknya luas permukaan sempit maka panas pada transistor semakin lambat terbuang.

Bentuk *heat sink* dipasaran terdiri atas beberapa jenis, mengikuti bentuk fisik transistor. Beberapa jenis transistor dipasaran, sudah dikemas langsung dengan *heat sink* menjadi satu kesatuan, namun pada kenyataannya panas yang timbul disekitar transistor tersebut masih sangat tinggi. Sehingga diperlukan *heat sink* lagi untuk mengurangi panas. Dalam perancangan tugas akhir ini digunakan *heat sink* sirip disesuaikan dengan transistor daya yang digunakan (2SC1061).



Gambar 2.17. *Heat Sink* transistor (tampak depan)

Dalam pemasangan *heat sink* perlu diperhatikan beberapa hal, agar transistor yang digunakan tidak terhubung singkat yaitu sebagai berikut:

1. Antara *heat sink* dan transistor diusahakan tidak terjadi hubung singkat.
2. Antara transistor dan *heat sink* agar tidak terhubung singkat harus dilapisi dengan isolasi antara transistor dan *heat sink*.
3. Agar terjadi penghantaran panas yang baik antara *heat sink* dengan mika, dan mika dengan transistor perlu diberikan minyak penghantar, yang sering dikenal dengan nama *silicon oil*.

Perlu diketahui suhu lingkungan (*Ambient Temperature*) sangat mempengaruhi batas kemampuan transistor, biasanya sekitar 25° . Tetapi hal ini tidak mutlak karena jika pada siang hari suhunya menjadi naik, mengakibatkan suhu lingkungan lebih panas.

2.10. Kemantapan Titik Kerja Transistor (Q).

Transistor dalam kerjanya sangat dipengaruhi oleh suhu, sehingga apabila suhu naik, titik kerja akan bergeser sepanjang garis beban. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut, ketika diberi tegangan, arus basis mengalir ke emiter membangkitkan tegangan rata sebesar 0,7 V (pada silikon), maka menimbulkan daya panas sebesar $I_B \times V_{BE}$, demikian juga arus yang mengalir pada emiter-kolektor, menimbulkan daya panas sebesar $I_C \times V_{CE}$.

Berdasarkan keterangan diatas maka dapat disimpulkan ada dua yang dipengaruhi suhu pada transistor, yang pertama apabila suhu naik, arus jenuh yang

mengalir pada basis-kolektor ikut naik dan yang kedua titik kerja transistor naik, karena nilai V_{BE} naik.

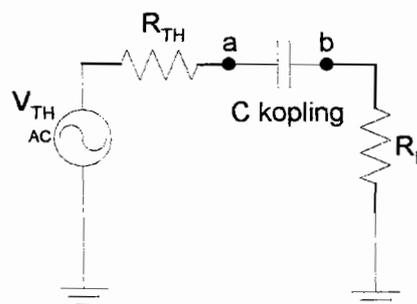
Untuk mengurangi pengaruh suhu terhadap titik kerja transistor, dilakukan kompensasi agar arus kolektor (I_C) dan tegangan kolektor-emiter tidak berubah atau konstan. Konstan disini artinya walaupun arus basis (I_B) berubah, arus kolektor tidak berubah.

Komponen yang digunakan untuk kompensasi dalam perancangan ini adalah dioda, karena dioda adalah komponen yang peka terhadap suhu. Stabilisasi (S), dalam teori didefinisikan, $S = \beta + 1$. Persamaan ini berlaku untuk rangkaian yang konstan.

2.11. Kapasitor Kopling dan Pintas.

Kapasitor yang digunakan dalam suatu rangkaian transistor dibedakan atas dua, yaitu kapasitor kopling (*coupling capacitor*) dan kapasitor pintas (*bypass capacitor*). Perbedaan kapasitor kopling dan kapasitor pintas dapat dilihat pada gambar dan penjelasan dibawah ini.

2.11.1. Kapasitor Kopling

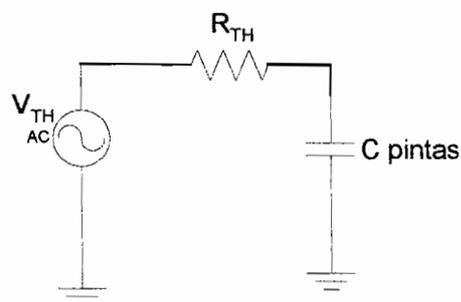


Gambar 2.18. Penerapan kapasitor kopling dalam rangkaian.

Kapasitor kopling digunakan untuk meneruskan sinyal AC dari suatu tahap ketahap yang lain yang tidak ditanahkan. Arus DC tidak dapat mengalir dalam rangkaian karena rangkaian yang dihubungkan dengan kapasitor kopling terbuka terhadap arus DC. Gambar 2.18 adalah contoh penerapan kapasitor yang digunakan sebagai kopling. Pada titik a dan b, hanya sinyal AC yang mengalir, sedangkan arus DC tidak mengalir karena kapasitor terbuka untuk arus DC.

2.11.2. Kapasitor Pintas

Kapasitor pintas digunakan untuk menghubungkan suatu titik yang tidak ditanahkan ke titik yang ditanahkan. Tujuan dipasang kapasitor pintas dalam suatu rangkaian adalah untuk menghubungkan singkat sinyal AC ke tanah, agar pada pada titik yang dipintas tersebut yang bekerja hanyalah sinyal DC.



Gambar 2.19. Penerapan kapasitor pintas dalam rangkaian.

Besarnya arus AC yang mengalir dalam rangkaian yang menggunakan kapasitor kopling dan kapasitor pintas adalah sebesar:

$$I = \frac{V_{TH}}{\sqrt{R^2 + XC^2}} \quad (2.70)$$

Keterangan:

I = arus AC yang mengalir dalam rangkaian.

V_{TH} = tegangan masukan. Tegangan thvenin digunakan apabila pada tahap tersebut tidak memiliki sumber tegangan.

X_C = reaktansi kapasitif.

R = hambatan total.

$R = R_{TH} + R_L$.

2.11.3. Ukuran Kapasitor Kopling dan Kapasitor Pintas

Ukuran kapasitor koping dan pintas dalam suatu rangkaian tergantung pada frekuensi terendah yang hendak diberikan pada penguat yang dirancang, karena reaktansi kapasitif berbanding terbalik dengan frekuensi. Persamaan yang digunakan untuk menentukan besarnya kapasitor kopling dan pintas yang digunakan adalah:

$$T = R \times C \quad (2.71)$$

$$C = \frac{T}{R} \quad (2.72)$$

Keterangan:

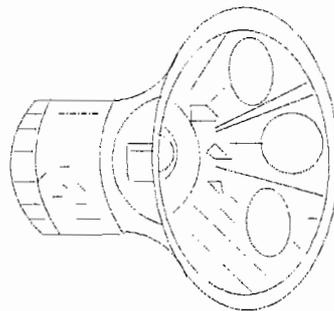
T = periode; $T = \frac{1}{f}$

C = kapasitansi

R = hambatan total

2.12. Pengeras Suara (*Loudspeaker*).

Pengeras suara atau *loudspeaker* adalah suatu komponen elektronik yang mengubah variasi tegangan menjadi suara. Bagian utama dari pengeras suara adalah magnet dengan tempat konus dan konus dengan kumparan suara. Kumparan udara ditempatkan di dalam celah udara yang sempit antara kutub utara dan kutub selatan magnet.



Gambar 2.20. Magnet dengan tempat konus.

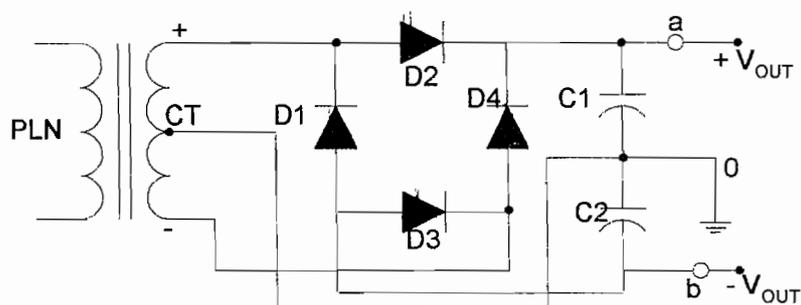
Prinsip kerja dari pengeras suara atau *loudspeaker* adalah apabila arus bolak balik (AC), mengalir melalui kawat yang terletak didalam medan magnet maka timbul kekuatan yang akan memindahkan kawat itu dari medan magnet dan hal ini menyebabkan kedudukan kumparan suara menjadi berubah.

Aliran arus bolak-balik yang mengalir melalui kumparan suara (*Voice coil*) menggerakkan kumparan suara bolak-balik, sehingga kumparan dan konus pengeras suara ikut bergetar, sebab kumparan dan konus merupakan satu-kesatuan. Apabila konus bergerak ke arah depan maka udara di depan konus dipadatkan dan sebaliknya apabila konus bergerak ke arah belakang maka udara dibelakang konus dipadatkan. Getaran konus diubah menjadi getaran suara

Dalam teori dikatakan bahwa pada daerah dengan udara yang dipadatkan dengan daerah yang tidak dipadatkan getaran udara merambat dengan kecepatan 330 meter perdetik dari konus yang bergetar keseluruh arah sekitarnya. Ini berarti bahwa getaran mencapai suatu titik pada jarak 33 meter dari konus didalam 0,1 detik setelah konus bergetar.

2.13. Penyearah Jembatan (*Bridge Rectifier*) Menggunakan Trafo CT dan Tapis

Penyearah jembatan dengan menggunakan trafo sadapan tengah (*center tapped -CT*), berfungsi untuk memperoleh tegangan keluaran positif dan negatif.



Gambar 2.22. Rangkaian penyearah jembatan untuk memperoleh tegangan keluaran positif dan negatif.

Prinsip kerja dari rangkaian penyearah jembatan pada gambar 2.22. adalah sebagai berikut: pada saat setengah siklus positif yang masuk pada dioda-dioda penyearah, dioda D_2 dan D_3 dibias maju (*forward*) sedangkan dioda D_1 dan D_4 dibias balik (*reverse*). Arus mengalir dengan arah positif ke beban (titik a) dan pada saat ini terjadi pengisian kapasitor (C_1).

Sebaliknya pada saat setengah siklus negatif yang masuk, dioda D_1 dan D_4 dibias maju sedangkan dioda D_2 dan D_3 dibias balik. Arus mengalir dengan arah

Prinsip kerja dari rangkaian penyearah jembatan pada gambar 2.22. dijelaskan sebagai berikut: pada saat setengah siklus positif yang masuk pada dioda-dioda penyearah, dioda D_2 dan D_3 dibias maju (*forward*) sedangkan dioda D_1 dan D_4 dibias balik (*reverse*). Arus mengalir dengan arah positif ke beban (titik a) dan pada saat ini terjadi pengisian kapasitor (C_1).

Sebaliknya pada saat setengah siklus negatif yang masuk, dioda D_1 dan D_4 dibias maju sedangkan dioda D_2 dan D_3 dibias balik. Arus mengalir dengan arah negatif ke beban (titik B) dan mengisi kapasitor C_2 . Besarnya tegangan masukan harus lebih besar dua kali tegangan bias maju pada dioda (tegangan bias maju pada dioda silikon $\approx 0,7V$ dan untuk dioda germanium $\approx 0,2V$). Jika tegangan dibawahnya, dioda tidak dapat membias dan tidak ada arus yang mengalir.

Fungsi dari kapasitor C_1 dan C_2 yang dipasang adalah untuk menambah kestabilan tegangan keluaran yang dihasilkan. Pada saat tegangan masukan mencapai nilai puncak (V_P), terjadi pengisian kapasitor hingga mencapai tegangan puncak dikurangi tegangan pada dioda. Ketika tegangan masukan turun mencapai nol dan ke negatif, tegangan pada kapasitor tidak akan segera turun. Tegangan pada kapasitor dijabarkan sebagai berikut:

$$V_C(t) = (V_P - 2V_f)e^{-\frac{t}{R_L C}} \quad (2.73)$$

Keterangan:

V_P = tegangan puncak

V_f = tegangan bias maju dioda

R_L = hambatan beban

t = waktu pengisian

C = kapasitor.

Perbandingan antara tegangan puncak dan tegangan pada kapasitor disebut riak (*ripple*). *Power supply* yang baik apabila menghasilkan riak yang kecil. Hal ini ditentukan oleh besar kecilnya kapasitansi kapasitor yang digunakan. Jika kapasitansi besar maka riaknya akan kecil, sebaliknya kapasitansi kecil maka riaknya besar.

Tegangan yang tertera pada kapasitor harus disesuaikan tegangan keluaran dari transformator yang hendak dihubungkan. Tidak boleh lebih kecil dari tegangan pada transformator. Jika tegangan pada transformator lebih besar dari tegangan yang terdapat pada label kapasitor, akan menyebabkan kerusakan pada kapasitor tersebut.

Berdasarkan gambar 2.22. tegangan keluaran yang dihasilkan pada titik a dan b adalah:

$$V_a = V_{rms} \cdot \sqrt{2} \quad (2.74)$$

$$V_b = -V_{rms} \cdot \sqrt{2} \quad (2.75)$$

Keterangan

V_a = tegangan keluaran pada titik a.

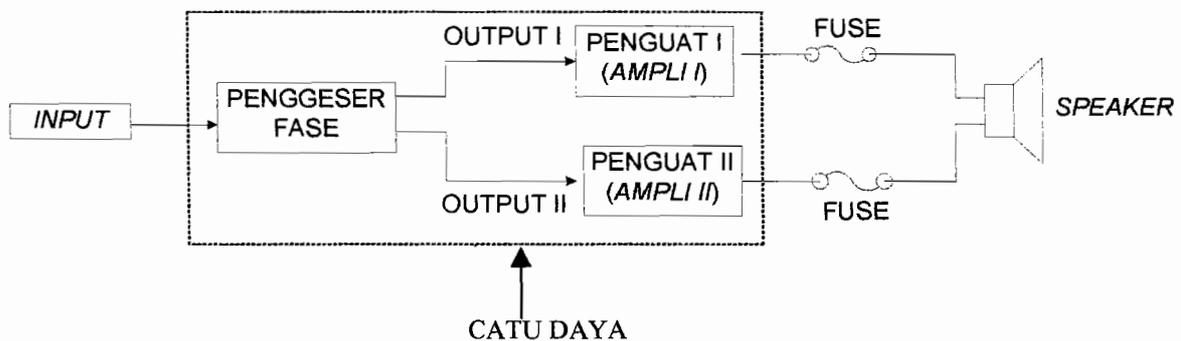
V_b = tegangan keluaran pada titik b.

V_{rms} = tegangan efektif dari trafo.

BAB III

PERANCANGAN PENGUAT DAYA AUDIO TANPA TRAFO DENGAN METODE JEMBATAN

Rangkaian penunjang yang digunakan dalam perancangan penguat daya audio tanpa trafo terdiri atas rangkaian catu daya, rangkaian penggeser fase, dua buah unit *power amplifier* dan pengeras suara (*loudspeaker*). Tiap-tiap rangkaian saling berhubungan yang membentuk fungsi penguat suara yang didapat dari masukan, baik berupa *radio*, *tape recorder* dan jenis lainnya yang dapat menghasilkan suara.

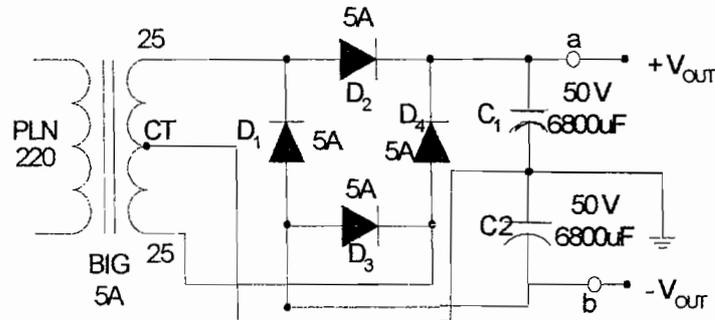


Gambar 3.1. Diagram kotak perancangan BTL yang dilengkapi dengan *input* dan *output*.

3.1. Catu daya.

Kedua unit rangkaian *power amplifier* dan rangkaian penggeser fase bekerja menggunakan sumber catu daya yang berasal dari PLN 220 V_{AC}. Sumber tegangan yang dibutuhkan ada tiga yaitu sebesar +30 V_{DC}; -30 V_{DC} untuk kedua unit *power amplifier* dan 7,5 V_{DC} untuk rangkaian penggeser fase.

Dalam perancangan digunakan satu buah trafo penurun tegangan dengan spesifikasi, BIG, 5A.



Gambar 3.2. Rangkaian catu daya + 30 Volt, -30 Volt.

Fungsi dari komponen-komponen yang digunakan dalam rangkaian catu daya dapat dijelaskan berikut ini.

1. Transformator, berfungsi untuk menurunkan tegangan AC (*step down voltage*). Dalam rancangan digunakan transformator 5A sadapan tengah (*centre tapped*) dan tegangan sekunder atau tegangan keluaran yang digunakan adalah $25V_{AC}$, CT, $25V_{AC}$ disesuaikan dengan tegangan yang dibutuhkan oleh *amplifier* setelah disearahkan yaitu sebesar $\approx 30V_{DC-CT} \approx 30V_{DC}$ jika dihubungkan dengan beban.
2. Dioda, digunakan sebagai penyearah tegangan AC ke DC. Dalam rancangan digunakan empat buah dioda 5A yang dibentuk menjadi jembatan (*bridge*) dengan tujuan keluaran catu daya menghasilkan tegangan positif dan negatif yang merupakan suatu gelombang penuh. (*full wave rectifier*). Penggunaan dioda 5A disesuaikan dengan trafo yang digunakan.

3. Kapasitor digunakan untuk menambah kestabilan tegangan keluaran yang dihasilkan atau mengurangi riak. Penggunaan kapasitor dalam rangkaian harus diperhatikan kapasitansi dan tegangan yang tertera pada label kapasitor dan tegangan keluaran dari trafo yang hendak dihubungkan agar tidak menimbulkan arus bocor (kerusakan pada kapasitor). Tegangan yang tertera pada label kapasitor harus lebih besar dari pada tegangan keluaran dari trafo dan dalam merangkai kutup positif dan negatif tidak boleh terbalik. Dalam rancangan digunakan 6800uF / 50V dua buah, tegangan trafo yang dihubungkan adalah 25V_{AC}. Rangkaian catu daya yang dimaksud seperti pada gambar 3.2.

Tegangan keluaran yang dihasilkan pada titik a atau keluaran positif dan titik b atau keluaran negatif ditentukan berdasarkan persamaan 2.74 dan 2.75 yakni sebagai berikut:

$$V_a = 25\sqrt{2} = 35,25 \text{ V}$$

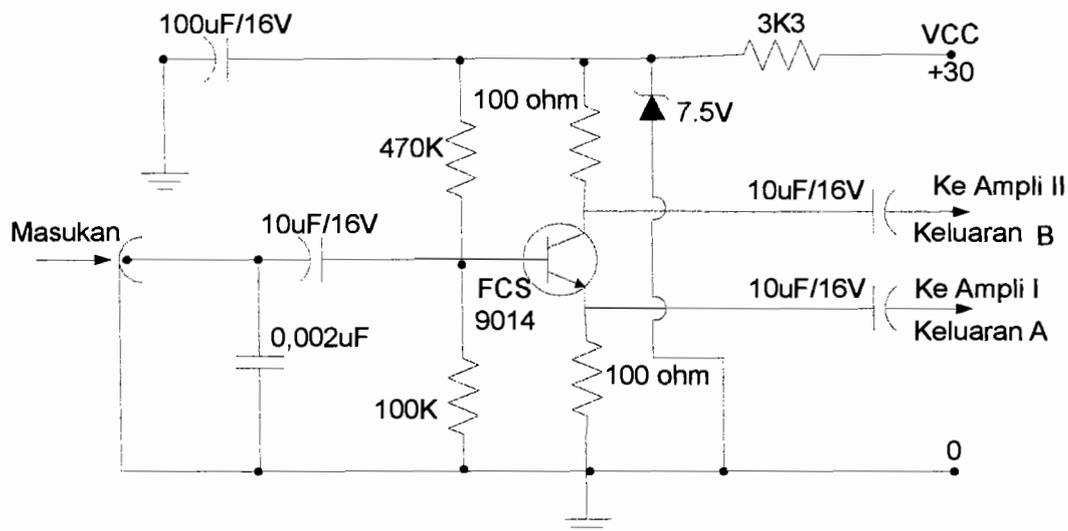
$$V_b = -25\sqrt{2} = -35,25 \text{ V}$$

Besarnya tegangan pada titik a dan titik b diatas adalah tegangan keluaran sebelum dihubungkan dengan beban atau sebelum dihubungkan dengan kedua unit *power amplifier* dan penggeser fase.

Tegangan keluaran setelah dihubungkan dengan beban turun menjadi 29,98V_{DC} \approx 30V_{DC} dan -29,98V_{DC} \approx -30V_{DC} sesuai dengan *range* tegangan yang dibutuhkan oleh rangkaian *power amplifier* yakni 25V_{DC} sampai 30V_{DC}, sehingga tidak menimbulkan kerusakan pada transistor penguat yang digunakan.

3.2. Penggeser Fase

Komponen utama yang digunakan dalam rancangan adalah transistor. Tipe transistor yang digunakan adalah FCS 9014 dengan karakteristik $V_{CB} \text{ max } 20\text{V}$, $V_{CE} \text{ max } 18\text{V}$, $V_{EB} \text{ max } 3\text{V}$, $I_C \text{ max } 100 \text{ mA}$, $\beta = 60$, $I_c \text{ Max } = 100$. Agar transistor bekerja dengan baik dan tidak menimbulkan kerusakan, dalam perancangan transistor dihubungkan dengan komponen pasif resistor dan kapasitor. Nilai resistansi dan kapasitansi disesuaikan dengan karakteristik transistor, tegangan masukan (V_{CC}), dan sinyal masukan yang diberikan.



Gambar 3.3. Rangkaian penggeser fase.

Penggunaan komponen dalam rangkaian penggeser fase dapat dijelaskan berikut ini :

1. Hambatan $4,5 \text{ K}\Omega$ atau hambatan sumber digunakan untuk menghambat tegangan sumber dari catu daya sebesar 30V_{DC} , agar tegangan turun menjadi $7,5\text{V}_{DC}$, sesuai yang dibutuhkan rangkaian penggeser fase.

Dioda Zener, digunakan untuk menghasilkan tegangan konstan untuk rangkaian penggeser fase. Karena tegangan keluaran yang dihasilkan oleh catu daya setelah diberikan hambatan sumber sebesar $7,83V_{DC}$. Dengan alasan ini maka digunakan dioda zener $7,5V$ sehingga tegangan yang dihasilkan menjadi $7,5V_{DC}$.

Besarnya hambatan sumber ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$R = \frac{V_{maks} - V_Z}{I_{Zmaks}} = \frac{30 - 7,5}{0,005} = 4500 \Omega$$

Keterangan:

V_{maks} = tegangan sumber maksimal setelah dihubungkan dengan beban.

V_Z = tegangan pada dioda zener.

I_Z = arus maksimum pada dioda zener yang digunakan. (berdasarkan data persamaan dioda)

2. Hambatan kolektor 100Ω . Diberikan hambatan kolektor sebesar 100Ω . Hal ini dengan tujuan untuk menurunkan tegangan DC yang masuk ke kolektor transistor. Perlu diketahui pemberian hambatan kolektor transistor yang digunakan untuk penguat, jangan sampai membuat transistor yang digunakan jenuh atau tersumbat, tetapi diantara jenuh dan tersumbat..
3. Hambatan emiter. Hambatan emiter yang digunakan adalah 100Ω , hal ini disesuaikan dengan hambatan kolektor, karena berdasarkan teori dan pengukuran arus kolektor dan arus emiter adalah sama.

4. Hambatan basis. Hambatan basis yang digunakan terdiri atas dua resistor yang dipasang paralel yaitu R_1 ($470K\Omega$) dan R_2 ($100K\Omega$). Hambatan basis yang digunakan lebih besar dari pada hambatan kolektor dan emiter agar arus pada basis selalu lebih kecil dari pada emiter dan kolektor.

Alasan digunakan dua hambatan adalah untuk membagi tegangan, karena catu yang digunakan V_{CC} dan 0. Besarnya nilai hambatan pada basis ditentukan sedemikian agar tegangan pada basis dapat menggerakkan tegangan basis-emiter (V_{BE}) transistor. Tegangan DC pada basis adalah sebesar

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{CC} = \frac{100K\Omega}{470K\Omega + 100K\Omega} \times 7,5 = 1,228V$$

Dengan nilai V_B ini maka V_{BE} dapat digerakan oleh V_B karena tegangan basis-emiter (V_{BE}) lebih kecil dari pada tegangan basis V_B . Pemasangan hambatan pembagi tegangan (R_1 dan R_2), tidak boleh terbalik karena dapat mengakibatkan kerusakan pada transistor.

$$I_B = \frac{V_{CC}}{R_B} = \frac{7,5V}{470K\Omega // 100K\Omega} = 90\mu A$$

5. Penggunaan kapasitor, C_1 ($10\mu F/16V$) digunakan untuk menggabungkan (*coupling*) sinyal *input* dan rangkaian penggeser fase, C_4 ($10\mu F/16V$) dan C_5 ($10\mu F/16V$) sebagai kopleng untuk menggabungkan sinyal pada rangkaian penggeser fase dan kedua unit *power amplifier* pada tahap berikutnya, C_3 ($100\mu F/16V$) digunakan untuk mencegah terjadinya osilasi frekuensi tinggi melalui catu daya. Sedangkan C_2 ($0,002\mu F$) digunakan untuk menghubungkan singkat arus sinyal masukan (*decoupling*)

3.3. Perancangan Penguat (*Power Amplifier*)

Power amplifier yang dirancang terdiri atas dua unit yang identik. Dalam rancangan yang dibuat sebelum digabungkan menjadi satu unit *amplifier* yang utuh, rangkaian yang dirancang terdiri atas empat penguat dasar yaitu rangkaian penguat diferensial sebagai penguat awal, penguat pemacu (*driver*) sebagai tingkat perolehan, dan rangkaian penguat Darlington dan rangkaian Darlington komplementer sebagai penguat akhir.

3.3.1. Perancangan Penguat diferensial

Penguat diferensial yang dirancang adalah: mempunyai dua terminal masukan dan satu keluaran, seperti terlihat pada gambar 3.4. Kolektor Q_2 dihubungkan langsung dengan V_{CC} sehingga berada pada tanah AC, sedangkan kolektor Q_1 dihubungkan ke basis transistor penguat pemacu. Transistor yang digunakan dalam rangkaian penguat differensial harus identik agar arus yang mengalir melalui emiter kedua transistor sama besar. Dalam rancangan penguat terbentuk oleh dua buah transistor yang sejenis, yaitu FCS 9014.

Hambatan emiter $50K\Omega$ yang diberikan berupa resistor variabel, dengan tujuan agar dapat distel, apabila suaranya mengalami cacat atau gangguan. Besarnya hambatan emiter ditentukan berdasarkan persamaan 2.15. pada teori yaitu:

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{2R_E} = \frac{30 - 0,7}{2.15} = 0,97 A$$

$$2R_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{I_E} = \frac{29,3}{0,97 A} = 30,2\Omega$$



maka hambatan emiter untuk setiap transistor adalah $\frac{30,2}{2} = 15,1\Omega$.

Pada masukan *non inverting* diberikan kapasitor sebesar 0,1uF berfungsi untuk menggandengkan (*coupling*) rangkaian penguat diferensial dengan rangkaian penggeser fase.

Karena pada keluaran rangkaian penggeser fase yang dihubungkan dengan rangkaian penguat diferensial diberikan kapasitor kopling sebesar 10uF, sehingga besarnya kapasitor kopling total yang digunakan adalah 10,1uF. Untuk mencegah kerusakan kapasitor dipasang tahanan sebesar 2,2K Ω . Besarnya kapasitor kopling ditentukan berdasarkan persamaan 2.72. yang dijabarkan sebagai berikut:

$$C = \frac{T}{R} = \frac{1}{\frac{20Hz}{2200\Omega}} = \frac{0.05}{2200\Omega} = 22\mu F$$

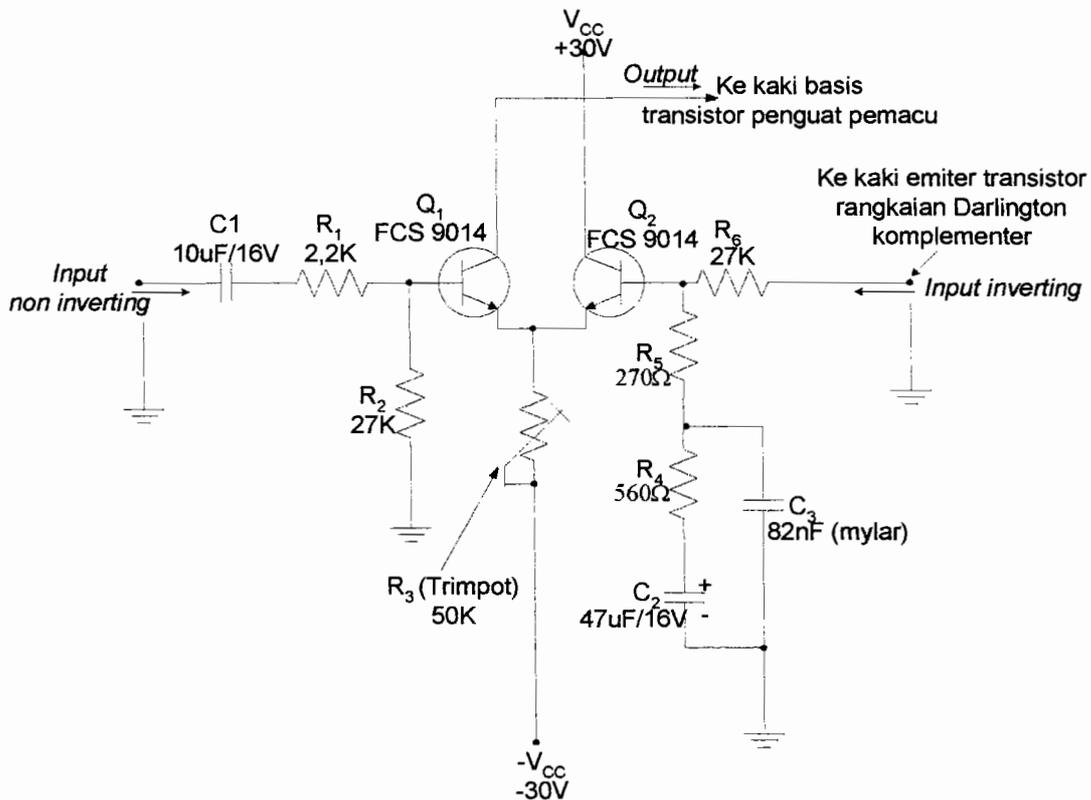
Dari hasil perhitungan ini, terdapat perbedaan perhitungan teori kapasitor yang digunakan dan praktek. Hal ini dipilih pendekatan kapasitor yang terdapat dipasaran.

Pada basis transistor masukan *inverting* diberi hambatan sebesar 27K Ω berfungsi untuk menghambat tegangan yang masuk, agar arus basis selalu lebih kecil dari arus kolektor dan arus emiter. Fungsi dari hambatan (R_4) 560 Ω , kapasitor (C_3) 82nF (*mylar*) dan kapasitor 47uF/16V yang dipasang pada masukan *inverting* dapat dijelaskan seperti berikut, hambatan (R_4) 560 Ω diparalel dengan kapasitor (C_3) 82nF berfungsi sebagai filter aktif pelewat bawah (*low pass*

filters), agar sinyal suara yang disalurkan ke pengeras suara terdapat perbedaan antara suara rendah dan tinggi.

Besarnya reaktansi kapasitif tergantung pada frekuensi yang diberikan. Apabila diberi frekuensi rendah, reaktansi kapasitor (X_c) besar dan sebaliknya apabila frekuensi tinggi reaktansinya menjadi kecil. Dalam rancangan ini, pemberian frekuensi sesuai dengan ambang pendengaran manusia, yakni antara 20Hz sampai dengan 20KHz. Jika frekuensi yang diberikan 20Hz maka tegangan bolak-balik pada kapasitor (C_3) lebih besar dibandingkan pada hambatan (R_4), dan jika frekuensi yang diberikan 20KHz maka tegangan bolak balik pada kapasitor (C_3) lebih kecil dibandingkan dengan hambatan (R_4).

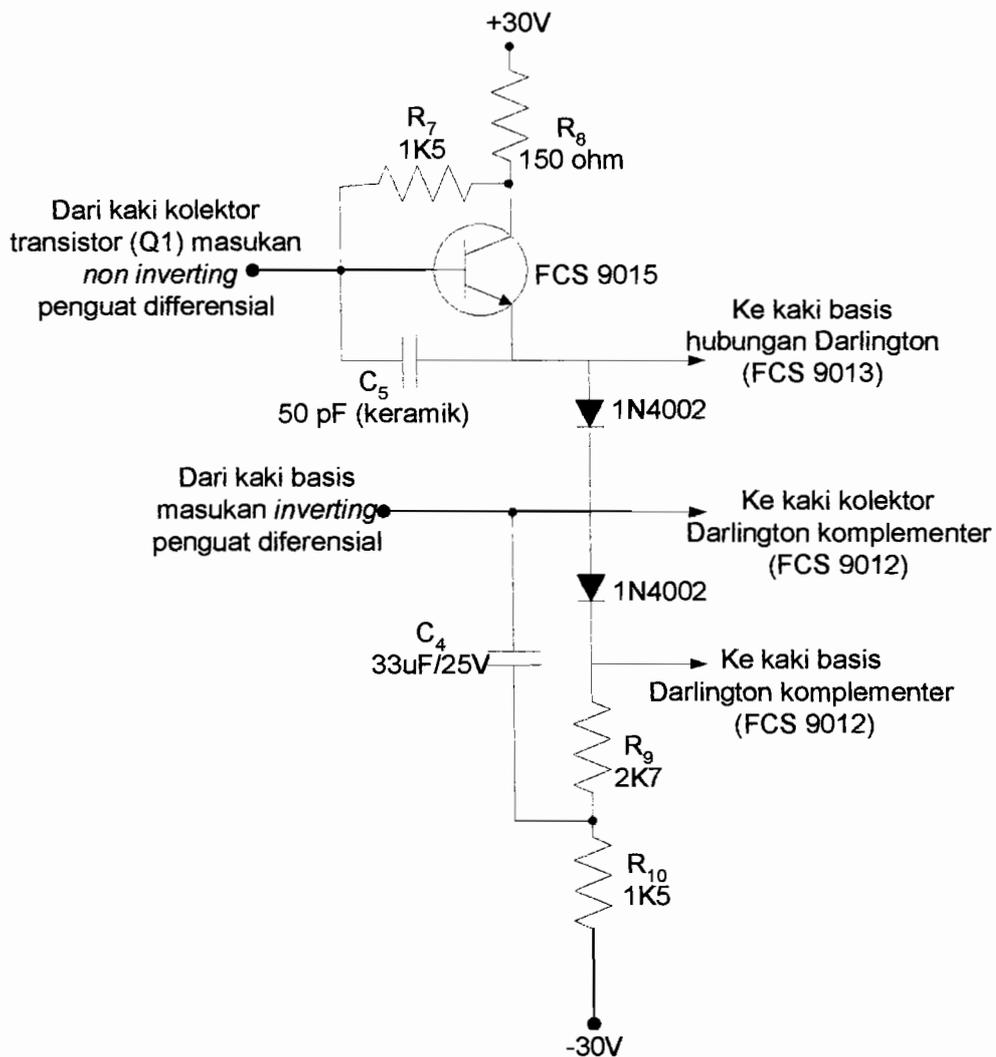
Tegangan yang mengalir diantara ujung resistor dan kapasitor tergantung pada frekuensi yang diberikan. Kapasitor C_2 (47 μ F/16V) yang digunakan pada rangkaian adalah untuk mencegah osilasi ferkuensi tinggi melalui catu daya.



Gambar 3.4. Rangkaian penguat diferensial.

3.3.2. Perancangan Rangkaian Pemacu

Fungsi dari rangkaian penguat pemacu dalam penguat daya disini adalah untuk mengerjakan sinyal keluaran yang dihasilkan penguat diferensial ke tahap rangkaian Darlington dan rangkaian Darlington Komplementer. Tahap pemacu yang dirancang, digunakan transistor PNP FCS 9015, dengan karakteristik $V_{CB} \text{ max} = 20V$, $V_{CE} \text{ max} = 18V$, $V_{EB} \text{ max} = 3V$, $I_C \text{ max} = 100 \text{ mA}$, $\beta = 60$.



Gambar 3.5. Rangkaian penguat pemacu.

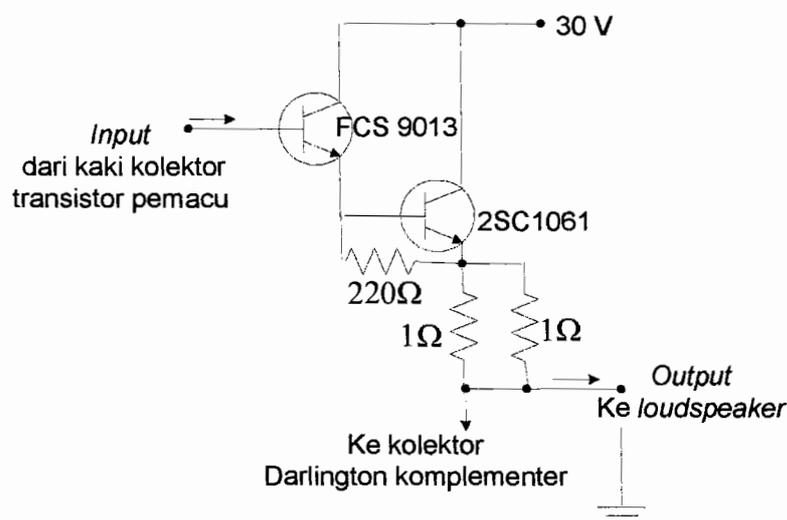
Pada kaki emiter dipasang dua buah dioda yang katodanya menuju ke V_{EE} dengan tujuan menghasilkan sumber arus tetap. Hambatan R_8 (150Ω) atau hambatan kolektor berfungsi untuk menurunkan tegangan yang mengalir ke kolektor, R_7 ($1,5K\Omega$) digunakan untuk menghambat tegangan yang masuk ke basis, agar arus basis selalu lebih kecil dari pada arus emiter dan kolektor. Untuk mencegah tegangan dan arus bolak-balik masuk kaki emiter diberikan kapasitor

kopling C_5 (50pF). Hambatan R_{10} (1,5K Ω) dan R_9 (2,7K Ω) diberikan untuk menurunkan tegangan DC V_{EE} yang masuk ke basis transistor rangkaian Darlington komplementer. Kapasitor C_4 (33uF) yang dihubungkan antara R_{10} dan R_9 berfungsi sebagai kopling agar tegangan bolak-balik tidak mengalir ke rangkaian Darlington dan Darlington komplementer. R_{10} berfungsi juga untuk mencegah kerusakan pada kapasitor kopling C_4 .

Penguat pemacu dalam rangkaian ini, bekerja pada kelas A, sehingga sinyal yang dihasilkan mengalami distorsi relatif kecil.

3.3.3. Perancangan Rangkaian Darlington

Rangkaian Darlington yang dirancang terdiri dari dua buah transistor yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.6. Rangkaian Darlington.

Jenis transistor yang digunakan FCS 9013 dengan karakteristik V_{CB} maks = 20 V, V_{CB} maks = 25 V, V_{EB} maks = 3 V, I_C maks = 3 A, $\beta = 60$, β bias = 5 mA,

dan 2SC1060 dengan karakteristik $V_{CB} \text{ maks} = 40 \text{ V}$, $V_{CB} \text{ maks} = 40 \text{ V}$, $V_{EB} \text{ maks} = 4 \text{ V}$, $I_C \text{ maks} = 3 \text{ A}$, $\beta = 80$, $\beta \text{ bias} = 1 \text{ A}$.

Arus *input* dari rangkaian Darlington didapat dari keluaran rangkaian pemacu yaitu sebesar 100 mA, sehingga arus basis pada rangkaian Darlington adalah 100 mA. Pada kaki emiter diberi hambatan 1Ω diparalel dengan 1Ω atau sebesar $0,5\Omega$ berfungsi untuk menahan tegangan pada kaki emiter. Perhitungan nilai hambatan yang diberikan pada kaki emiter dapat dijelaskan berikut:

$$I_{E2} = \frac{V_{TH} - 2V_{BE}}{R_E}$$

$$= \frac{1,3 - 1,4}{0,5} = -0,2$$

$$R_E = \frac{1,3 - 1,4}{-0,2} = 0,5\Omega$$

keterangan:

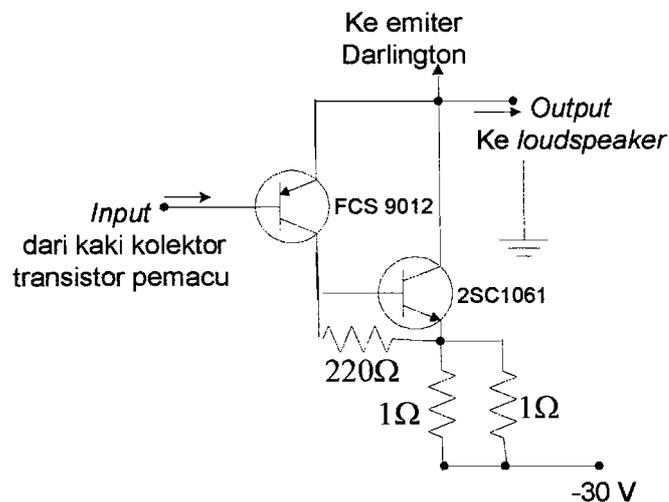
V_{TH} adalah tegangan yang masuk ke penguat Darlington.

Hambatan R_{11} (220Ω) yang dipasang menghubungkan kaki emiter dan basis transistor 2SC1060 berfungsi sebagai penguatan.

3.3.4. Perancangan Rangkaian Darlington Komplementer

Dalam menentukan penggunaan transistor untuk membentuk hubungan Darlington komplementer harus disesuaikan dengan transistor yang digunakan pada rangkaian Darlington, karena jika transistor Q_1 (FCS 9013) pada rangkaian Darlington dan Q_3 (FCS 9012) pada rangkaian Darlington Komplementer tidak cocok, maka penguat kelas B yang dirancang akan mengalami distorsi. (Lihat

gambar 3.8), perancangan gabungan rangkaian Darlington dan Darlington komplementer.

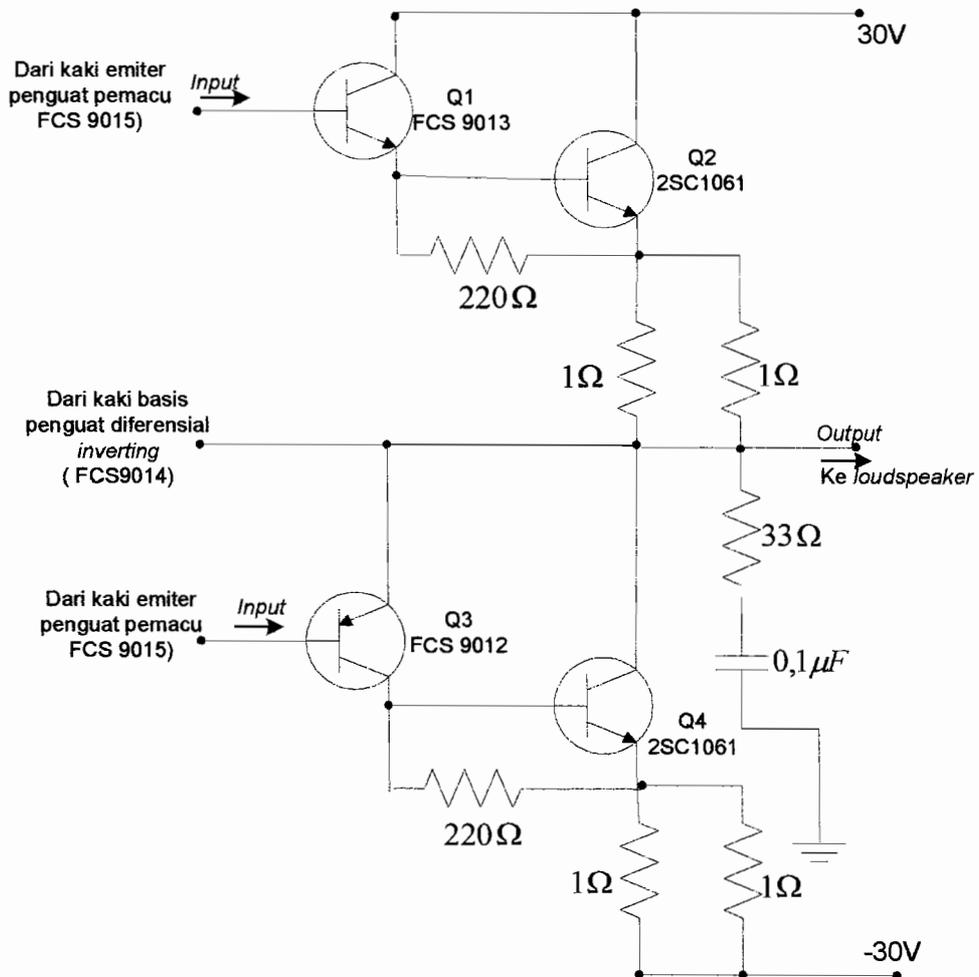


Gambar 3.7. Rangkaian Darlington komplementer

Kecocokan yang dimaksud terlihat pada karakteristik yang dimiliki oleh transistor yang digunakan dalam perancangan yaitu FCS 9013 dengan jenis NPN dan FCS 9012 PNP. Hal ini berdasarkan data dan persamaan transistor. Hambatan emiter yang diberikan sebesar 1Ω diparalel dengan 1Ω atau sebesar $0,5\Omega$ disesuaikan dengan hambatan Darlington. Apabila hambatan pada rangkaian Darlington dan rangkaian Darlington komplementer tidak sama maka keluaran akan mengalami distorsi. Perlu diketahui, berdasarkan pengujian sering hambatan emiter rusak (putus) yang dipengaruhi oleh tegangan V_{CC} dan V_{EE} yang kurang stabil (mengalami peningkatan), dan pengaruh tegangan balik dari *loudspeaker*. Untuk mengurangi resiko rusak (putusnya) hambatan emiter yang dimaksud, harus digunakan resistor yang dayanya (watt) yang besar.

Gambar 3.8. berikut adalah perancangan gabungan rangkaian Darlington dan Darlington komplementer. Pada keluaran (*output*) diberikan kapasitor C_6

($0,1\mu\text{F}$) dan resistor R_{17} (33Ω) bertujuan untuk mengimbangi perubahan reaktansi pengeras suara dengan frekuensi.



Gambar 3.8. Rangkaian penguat Darlington dan Darlington komplementer

3.4. Pembuatan PCB

Rangkaian yang dirancang, terpisah menjadi dua bagian, yaitu rangkaian penggeser fase dan kedua unit *power amplifier*. Pemisahan ini dilakukan dengan alasan ukuran keping PCB yang terbatas dan untuk mempermudah perancangan jalur PCB sesuai dengan rancangan rangkaian yang akan dibentuk. Argumen lainnya bahwa, secara mendasar rangkaian penggeser fase dan rangkaian *power amplifier* merupakan dua unit yang berbeda. Pada beberapa titik dari tiap unit akan dihubungkan dengan kabel.

Penggambaran jalur pada papan rangkaian tercetak (PCB- *Printed Circuit Board*) disesuaikan skema rangkaian yang dirancang. Jarak lubang untuk pemasangan komponen disesuaikan dengan dimensi tiap-tiap komponen agar tidak terjadi kesulitan dalam pemasangan komponen.

Setelah keping PCB digambar, proses berikutnya adalah merendam keping ini kedalam cairan *feri klorit* agar jalur-jalur tembaga penghubung antar komponen terbentuk. Kemudian dilakukan pengeboran pada semua lobang untuk pemasangan komponen. Pengerjaan pematiran (*soldering*) harus dilakukan secara teliti agar tidak terjadi kesalahan hubungan tiap sambungan antar komponen. Proses pemanasan timah patri yang berlebihan juga sebaiknya dihindari agar tidak menyebabkan kerusakan komponen akibat panas yang berlebihan.

3.5. Perakitan Akhir

Penyatuan seluruh komponen penunjang ditempatkan pada kotak panel (*casing*) yang terbuat dari plat 1mm. Kedua keping PCB yang telah selesai dirakit

dipasang pada panel dan dikencangkan dengan baut. Penguncian rangkaian *power amplifier* dilakukan pada keping pendingin yang dilobangi sesuai jarak transistor *power* yang dirakit.

3.5.1. Penyatuan Unit

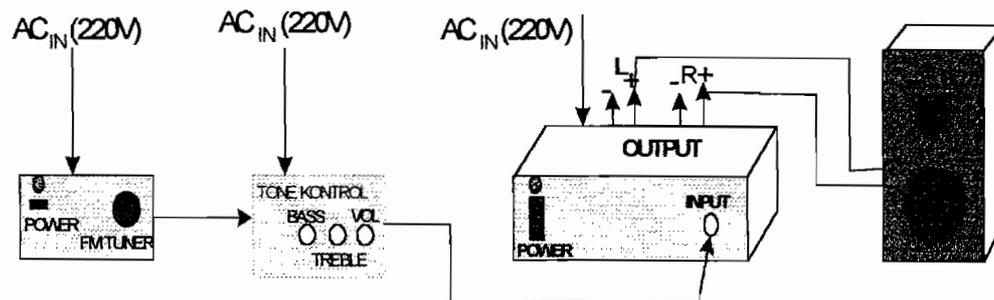
Tiap-tiap rangkaian dihubungkan dengan sumber tegangan dan pentanahan. Penyatuan rangkaian PCB penggeser fase dan *power amplifier* dengan menambah kabel penghubung pada beberapa titik yang ditentukan. Kaki transistor penggeser fase emiter dihubungkan ke unit *power amplifier* I dan kaki kolektor dihubungkan dengan unit *power amplifier* II. Setelah kaki-kaki transistor dipasang kapasitor kopling.

Transformator juga dipasang pada alas panel dengan menggunakan baut yang kokoh dan tiap titik sambungan dihubungkan dengan kabel-kabel sesuai dengan hubungan masing-masing. Keluaran dari transformator setelah disearahkan dihubungkan pada rangkaian penggeser fase dan kedua unit *power amplifier*.

3.5.2. Panel dan Instrumentasi

Bagian akhir dari perakitan adalah pembuatan dudukan komponen pada panel depan dan belakang. Lobang yang dibuat disesuaikan dengan komponen yang akan dipasang pada panel. Saklar *power*, terminal masukan dipasang pada panel depan. Pada panel bagian belakang dipasang dua buah sekering (*fuse*) 3A untuk *loudspeaker* dan satu buah sekering untuk *power*. Pada panel bagian

belakang juga diberikan satu buah kipas angin (*fan*) $12V_{DC}$ dengan tujuan, panas yang ditimbulkan oleh transistor daya yang dipasang pada *heat sink* cepat terhambur. Sehingga transistor tetap stabil, walaupun digunakan dalam jangka waktu yang lama. Berikut gambar panel dan instrumentasi secara keseluruhan.



Gambar 3.10. Panel dan instrumentasi

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Catu Daya.

Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh catu daya yang dirancang adalah $35,25 V_{DC}$ dan $-35,25 V_{DC}$, sebelum dihubungkan dengan beban dan tegangan yang dihasilkan setelah dihubungkan dengan beban turun menjadi $29,98V_{DC} \approx 30V_{DC}$ dan $-29,98V_{DC} \approx -30V_{DC}$. Dengan melihat hasil pengukuran maka tegangan keluaran setelah dihubungkan dengan beban turun sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan oleh rangkaian *power amplifier*.

Berdasarkan persamaan 2.75 dan 2.76 tegangan yang dihasilkan $25\sqrt{2} = 35,25 V_{DC}$ dan $-25\sqrt{2} = -35,25 V_{DC}$ tanpa beban. Namun dalam prakteknya tegangan keluaran sebelum dihubungkan dengan beban turun menjadi $33,25V_{DC}$ dan $-33,25V_{DC}$. Hal ini disebabkan transformator yang digunakan tidak murni 5 ampere, tetapi tidak menjadi permasalahan karena saat dihubungkan dengan beban, tegangan turun sesuai yang dibutuhkan *power amplifier*, tanpa membuatnya rusak.

4.2. Penggeser Fase

Pengujian rangkaian penggeser fase dilakukan dua tahap yaitu pengujian dengan tanpa diberi sinyal masukan atau pengujian (DC) dan diberi sinyal masukan atau pengujian (AC).

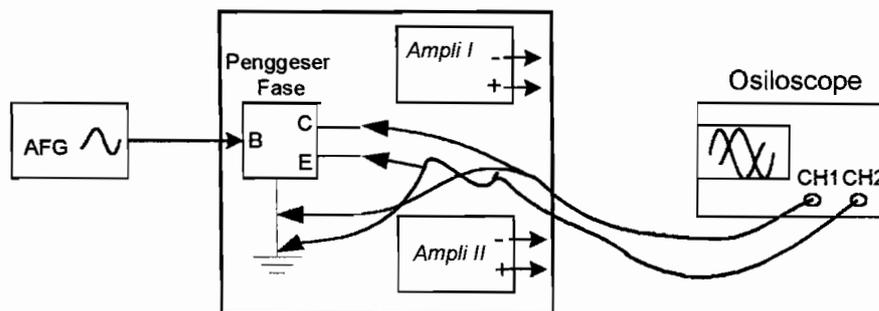
Hasil pengukuran tegangan dan arus yang diperoleh tanpa diberi sinyal masukan (AC) dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.1. Hasil pengukuran DC pada rangkaian penggeser fase

Letak Pengukuran Pada kaki transistor	Tegangan (<i>Volt</i>)	Arus (<i>ampere</i>)
Basis	1,229V	1,29uA
Kolektor	29,46V	0,758mA
Emiter	29,466V	0,76mA

Dari tabel 4.1. tegangan pada kaki kolektor dan emiter dapat dikatakan sama besarnya, begitupun dengan arus pada emiter dan kolektor. Sehingga keluaran yang dihasilkan, untuk dihubungkan ke *power amplifier* antara kaki kolektor dan emiter sama besarnya. Dimana hal ini merupakan tujuan perancangan rangkaian penggeser fase.

Hasil pengujian dan pengamatan dengan diberi sinyal masukan dapat dilihat pada tabel 4.1. Sinyal masukan yang digunakan dalam pengukuran dari AFG (*automatic frequency generator*) dan keluarannya dihubungkan ke *osiloscope* agar selain mengamati besarnya tegangan, juga dapat mengamati bentuk sinyal keluaran yang dihasilkan.



Gambar 4.1. Diagram kotak pengujian AC rangkaian penggeser fase

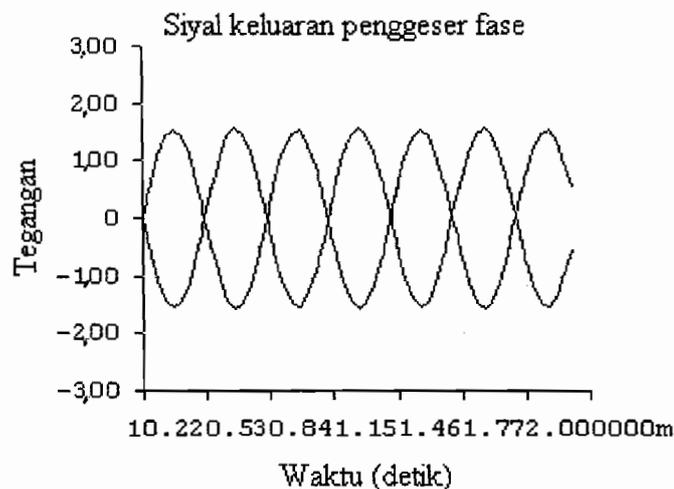
Tabel 4.2. Data hasil pengujian rangkaian penggeser fase.

Frekuensi masukan (Hz)	Tegangan Masukan (Volt)	Periode (sinyal <i>output</i>)		Tegangan <i>output</i> (volt/div)	
		Colektor (detik)	Emiter (detik)	Kolektor (volt/div)	Emiter (volt/div)
20	0,01	50ms	50ms	0,22	-0,22
30	0,01	33ms	33ms	0,22	-0,22
40	0,01	25ms	25ms	0,22	-0,22
50	0,01	20ms	20ms	0,22	-0,22
60	0,01	16ms	16ms	0,22	-0,22
70	0,01	14ms	14ms	0,22	-0,22
80	0,01	12ms	12ms	0,22	-0,22
90	0,01	11ms	11ms	0,22	-0,22
100	0,01	10ms	10ms	0,22	-0,22
150	0,01	7ms	7ms	0,22	-0,22
200	0,01	5ms	5ms	0,22	-0,22
250	0,01	4ms	4ms	0,22	-0,22
500	0,01	2ms	2ms	0,22	-0,22
1000	0,01	1ms	1ms	0,22	-0,22
1500	0,01	0,65ms	0,65ms	0,22	-0,22
2000	0,01	0,5 ms	0,5 ms	0,22	-0,22
2500	0,01	0,4 ms	0,4 ms	0,22	-0,22
3000	0,01	0,32 ms	0,32 ms	0,22	-0,22
3500	0,01	0,28 ms	0,28 ms	0,22	-0,22
4000	0,01	0,24ms	0,24ms	0,22	-0,22
5000	0,01	0,20ms	0,20ms	0,22	-0,22
6000	0,01	0,18 ms	0,18 ms	0,22	-0,22
7000	0,01	014ms	0,14ms	0,22	-0,22
8000	0,01	0,12 ms	0,12 ms	0,22	-0,22
9000	0,01	0,11 ms	0,11 ms	0,22	-0,22
10000	0,01	0,10 ms	0,10 ms	0,22	-0,22
12000	0,01	80 μ s	80 μ s	0,22	-0,22
14000	0,01	70 μ s	70 μ s	0,22	-0,22
16000	0,01	65 μ s	65 μ s	0,22	-0,22
18000	0,01	60 μ s	60 μ s	0,22	-0,22
20000	0,01	50 μ s	50 μ s	0,22	-0,22

Keterangan tabel : tanda – menunjukkan beda fase 180° antara keluaran kolektor dan emiter

Bentuk gelombang sinyal keluaran pada kolektor dan emiter setiap kenaikan frekuensi yang diberikan adalah sinus, sesuai gelombang *input* yang diberikan, yang berbeda adalah periodenya. Berikut gambar sinyal keluaran dari

hasil pengamatan pada rangkaian penggeser fase pada frekuensi paling tinggi sesuai ambang pendengaran manusia yaitu 20000Hz.



Gambar 4.2. Bentuk gelombang keluaran rangkaian penggeser fase .

4.3. Power Amplifier

Pengujian rangkaian *power amplifier* dibagi menjadi tiga bagian, tahap pertama pengujian setiap rangkaian yang membentuk rangkaian *power amplifier* tanpa diberikan sinyal masukan, yang terdiri dari penguat diferensial, penguat pemacu dan penguat akhir yang merupakan gabungan penguat darlington dan rangkaian Darlington Komplementer. Tahap kedua pengujian tiap unit rangkaian *power amplifier* dengan diberikan sinyal masukan dari AFG, yang dihubungkan dengan rangkaian penggeser fase, dan tahap tiga pengujian dengan dengan metode BTL (jembatan). Pengujian pada tahap ketiga (metode jembatan) dijelaskan sebagai berikut: rangkaian penggeser fase yang telah dicatukan dengan kedua unit *power amplifier* diberikan sinyal *input* dari AFG dan *ouput* positif dari kedua unit

power amplifier dihubungkan pada *osilloscope* untuk mengetahui berapa besar penguatan dan bentuk sinyal yang dihasilkan.

4.3.1. Pengujian Tanpa Diberikan Sinyal Masukan / Pengujian (DC)

1. Pengujian rangkaian penguat diferensial. Dari hasil pengukuran rangkaian penguat diferensial, pada masukan tidak membalik (*non inverting*) diperoleh data seperti pada tabel 4.3. berikut:

Tabel 4.3 Hasil pengukuran DC pada penguat diferensial *non inverting*.

Letak Pengukuran Pada kaki transistor	Tegangan (Volt)	Arus (ampere)
Basis	0,1	0
Kolektor	30,2	0,71A
Emiter	0,7	0,5A

Pengukuran pada masukan membalik (*inverting*) diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.4. Hasil pengukuran DC pada penguat diferensial *inverting*

Letak Pengukuran Pada kaki transistor	Tegangan (Volt)	Arus (ampere)
Basis	0,1	0
Kolektor	30,2V	0,71A
Emiter	0,7	30,5mA

2. Pengujian rangkaian penguat pemacu. Masukan penguat pemacu diperoleh dari keluaran penguat diferensial, sehingga besarnya tegangan dan arus basis rangkaian penguat pemacu sama dengan tegangan dan arus kolektor penguat diferensial transistor Q_1 (berpatokan pada gambar 3.4) dan hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.5. Hasil pengukuran DC pada rangkaian penguat pemacu

Letak Pengukuran Pada kaki transistor	Tegangan (Volt)	Arus (ampere)
Basis	30,7V	0,002A
Kolektor	1.3V	6,98mA
Emiter	30,2V	7,70mA

3. Rangkaian Darlington. Masukan rangkaian Darlington adalah *output* dari rangkaian penguat pemacu, sehingga arus dan tegangan basis pada penguat Darlington sama besarnya dengan arus dan tegangan pada penguat pemacu dan selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.6. Hasil pengukuran DC pada rangkaian Darlington

Letak Pengukuran Pada kaki transistor	Tegangan (Volt)	Arus (ampere)
Basis	0,2V	0,1A
Kolektor	1,2V	0A
Emiter	32,4V	2.4A

4. Rangkaian penguat Darlington komplementer. Masukan dari rangkaian penguat Darlington komplementer juga mendapat masukan dari rangkain penguat pemacu. Dari hasil pengukuran diperoleh data seperti pada tabel berikut:

Tabel 4.7. Hasil pengukuran DC pada rangkaian Darlington komplementer

Letak Pengukuran Pada kaki transistor	Tegangan (Volt)	Arus (ampere)
Basis	0,2V	0,1A
Kolektor	14,8V	0A
Emiter	1,2V	0,62A

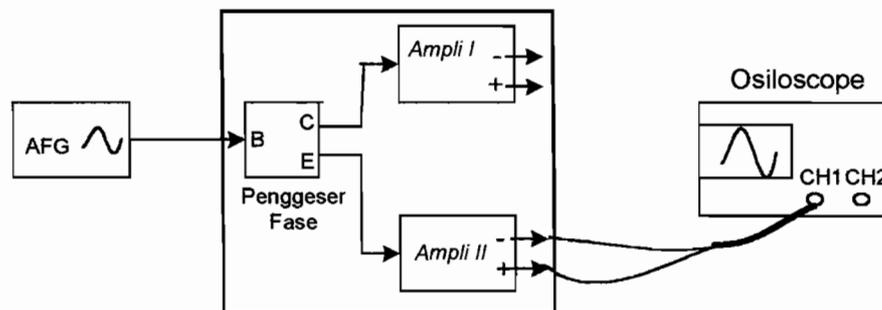
Berdasarkan data-data hasil pengukuran DC yang didapat, dapat dihitung daya *output amplifier*, berdasarkan persamaan 2.1 dan 2.2. yaitu: jika satu unit

power amplifier daya keluarannya adalah: 27,38 watt dan jika BTLkan daya outputnya adalah: 109,52 watt.

4.3.2. Pengujian Rangkaian Dengan Diberikan Sinyal Masukan

Pengujian rangkaian penguat daya atau *power amplifier* dengan diberikan sinyal masukan dapat dijelaskan sebagai berikut: sinyal masukan yang didapat dari sumber sinyal, dalam hal ini yaitu AFG (*automatic frequency generator*) dihubungkan (dicatu) dengan rangkaian penggeser fase. Pada pengujian ini dilakukan satu persatu pada dua unit *power amplifier* yang dirancang. Berikut diagram kotak yang menjelaskan cara pengujian rangkaian *power amplifier* dengan diberikan sinyal masukan.

1. Pengujian rangkaian *power amplifier* yang dihubungkan kaki emiter rangkaian penggeser fase.

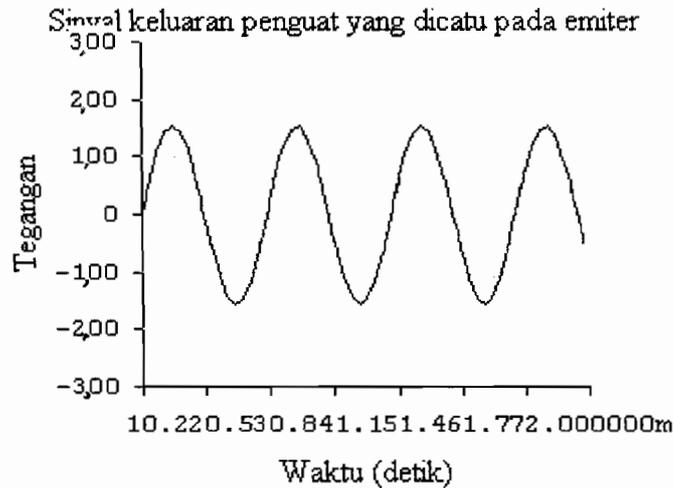


Gambar 4.3. Diagram kotak pengukuran penguat daya (*amplifier*) yang dicatu pada kaki emiter rangkaian penggeser fase

Tabel 4.8 Data hasil pengukuran *power amplifier* yang dicatu pada kaki emiter rangkaian penggeser fase

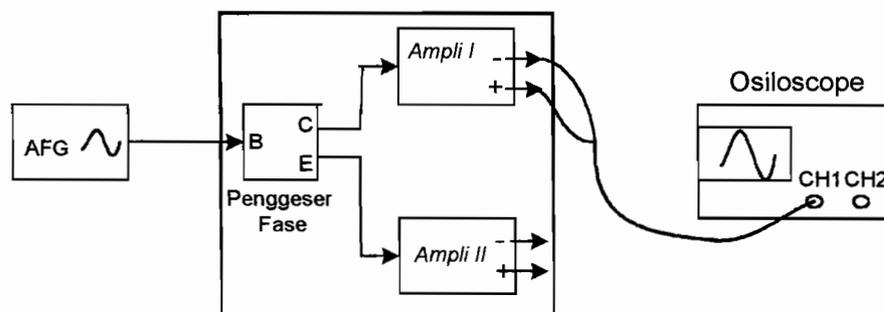
Frekuensi masukan (Hz)	Tegangan Masukan (Volt)	Periode sinyal <i>output</i> (detik)	Tegangan <i>output</i> (volt/div)
20	0,01	48ms	0,23
30	0,01	34ms	0,32
40	0,01	26 ms	0,39
50	0,01	20 ms	0,46
60	0,01	16 ms	0,52
70	0,01	14,5ms	0,55
80	0,01	12,5 ms	0,59
90	0,01	11 ms	0,62
100	0,01	10,5 ms	0,64
150	0,01	7 ms	0,69
200	0,01	5 ms	0,72
250	0,01	4 ms	0,726
300	0,01	3,5 ms	0,73
350	0,01	2,8 ms	0,735
400	0,01	2,6 ms	0,74
450	0,01	2,4 ms	0,748
500	0,01	2 ms	0,75
550	0,01	1,8 ms	0,78
600	0,01	1,6 ms	0,76
700	0,01	1,4 ms	0,764
800	0,01	1,25 ms	0,77
900	0,01	1,2 ms	0,775
1000	0,01	1 ms	0,78
1200	0,01	0,825 ms	0,08
1400	0,01	0,7 ms	0,083
1800	0,01	55 μ s	0,085
2000	0,01	50 μ s	0,088
2500	0,01	40 μ s	0,9
3000	0,01	34 μ s	1
3500	0,01	29 μ s	1,05
4000	0,01	26 μ s	1,1
4500	0,01	24 μ s	1,2
5000	0,01	20 μ s	1,25
6000	0,01	16 μ s	1,35
7000	0,01	15 μ s	1,5
8000	0,01	13,5 μ s	1,55
9000	0,01	12 μ s	1,6
10000	0,01	10 μ s	1,8
12000	0,01	8,5 μ s	2
14000	0,01	7,5 μ s	2
16000	0,01	6,5 μ s	2
18000	0,01	5,5 μ s	2
20000	0,01	5 μ s	2

Bentuk gelombang sinyal keluaran, hasil pengamatan rangkaian *power amplifier* yang dihubungkan pada kaki emiter rangkaian penggeser fase.



Gambar 4.4. Sinyal keluaran penguat yang dicatu pada emiter penggeser fase.

2. Pengujian rangkaian *power amplifier* yang dihubungkan pada kaki Kolektor rangkaian penggeser fase.



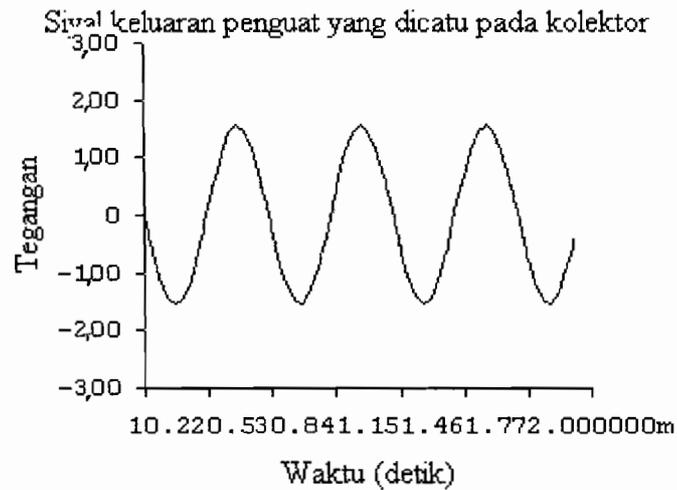
Gambar 4.5. Diagram Kotak Pengukuran *Power Amplifier* yang dicatu pada kaki kolektor rangkaian penggeser fase.

Data hasil pengujian AC, *power amplifier* yang dihubungkan pada kaki kolektor rangkaian penggeser fase dapat dilihat pada tabel 4.9. berikut.

Tabel 4.9. Data hasil pengukuran *power amplifier* yang dicatu pada kaki emiter rangkaian penggeser fase

Frekuensi masukan (Hz)	Tegangan Masukan (volt)	Periode sinyal <i>output</i> (detik)	Tegangan <i>output</i> (volt/div)
20	0,01	48ms	0,23
30	0,01	34ms	0,32
40	0,01	26 ms	0,39
50	0,01	20 ms	0,46
60	0,01	16 ms	0,52
70	0,01	14,5ms	0,55
80	0,01	12,5 ms	0,59
90	0,01	11 ms	0,62
100	0,01	10,5 ms	0,64
150	0,01	7 ms	0,69
200	0,01	5 ms	0,72
250	0,01	4 ms	0,726
300	0,01	3,5 ms	0,73
350	0,01	2,8 ms	0,735
400	0,01	2,6 ms	0,74
450	0,01	2,4 ms	0,748
500	0,01	2 ms	0,75
600	0,01	1,6 ms	0,76
700	0,01	1,4 ms	0,764
800	0,01	1,25ms	0,77
900	0,01	1,2 ms	0,775
1000	0,01	1 ms	0,78
1200	0,01	0,825ms	0,08
1400	0,01	0,7ms	0,083
1800	0,01	55 μ s	0,085
2000	0,01	50 μ s	0,088
3000	0,01	34 μ s	1
4000	0,01	26 μ s	1,1
5000	0,01	20 μ s	1,25
6000	0,01	16 μ s	1,35
7000	0,01	15 μ s	1,5
8000	0,01	13,5 μ s	1,55
9000	0,01	12 μ s	1,6
10000	0,01	10 μ s	1,8
12000	0,01	8,5 μ s	2
14000	0,01	7,5 μ s	2
16000	0,01	6,5 μ s	2
18000	0,01	5,5 μ s	2
20000	0,01	5 μ s	2

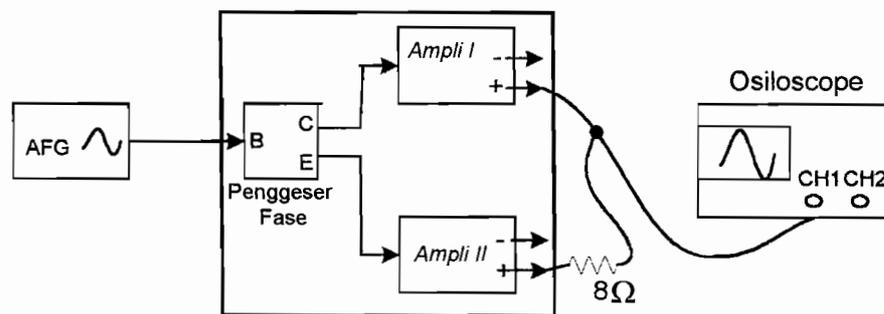
Bentuk gelombang sinyal keluaran dari hasil pengamatan dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.6. Bentuk gelombang sinyal keluaran *amplifier* yang dihubungkan pada kaki kolektor rangkaian penggeser fase.

4.3.3. Pengujian Dengan Metode BTL (Jembatan)

Pengujian dengan metode BTL artinya keluaran positif dari kedua unit *power amplifier* dihubungkan ke beban (*loudspeaker*), *osiloscope* dihubungkan pada kutub positif dan negatif *loudspeaker*. Keluaran negatif dibiarkan mengambang.



Gambar 4.7. Diagram kotak Pengukuran penguat daya dengan metode BTL.

Keterangan:

Hambatan 8Ω adalah pengganti pengeras suara (*loudspeaker*).

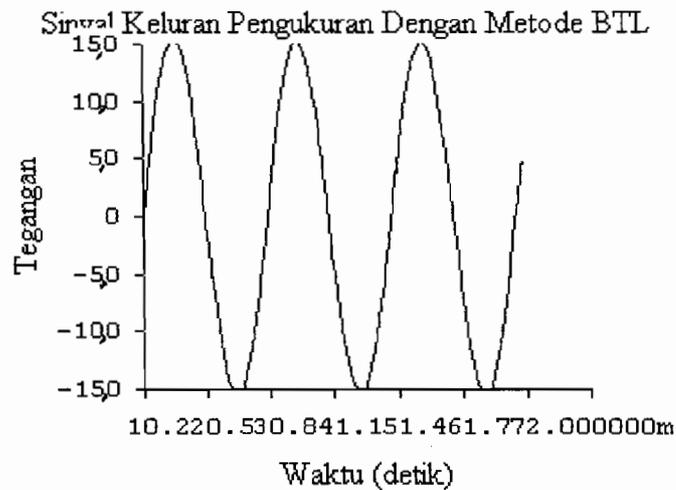
Dari hasil pengujian dan pengamatan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.10. Data hasil pengujian keseluruhan dengan metode BTL.

Frekuensi Masukan (Hz)	Tegangan Masukan (Volt)	Periode sinyal <i>output</i> (detik)	Tegangan <i>output</i> (volt/div)
20	0,01	48ms	0,6V
30	0,01	34ms	0,84V
40	0,01	26ms	1,1V
50	0,01	20ms	1,3V
60	0,01	16ms	1,4V
70	0,01	14ms	1,55V
80	0,01	12ms	1,6V
90	0,01	11ms	1,65V
100	0,01	10ms	1,7V
150	0,01	7ms	1,9V
200	0,01	5ms	1,95V
250	0,01	4ms	2V
500	0,01	2ms	2V
1000	0,01	1ms	2V
1500	0,01	0,6ms	2V
2000	0,01	50 μ s	2V
2500	0,01	40 μ s	2V
3000	0,01	34 μ s	2,1V
3500	0,01	29 μ s	2,1V
4000	0,01	26 μ s	2,1V
5000	0,01	20 μ s	2,1V
6000	0,01	16 μ s	2,1V
7000	0,01	15 μ s	2,1V
8000	0,01	13 μ s	2,1V
9000	0,01	12 μ s	2,1V
10000	0,01	10 μ s	2,2V
12000	0,01	8,5 μ s	2,25V
14000	0,01	7,5 μ s	2,25V
16000	0,01	6,5 μ s	2,25V
18000	0,01	5,5 μ s	2,25V
20000	0,01	5 μ s	2,25V

Bentuk sinyal keluaran pada hasil pengukuran dengan metode BTL adalah sinus, seperti pada sinyal masukan. Perbedaannya terletak pada periodenya.

Berikut gambar hasil, pengujian dengan metode BTL, pada frekuensi 20Hz



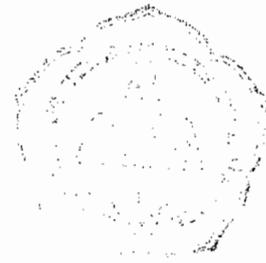
Gambar 4.8. Sinyal keluaran pada pengujian dan pengamatan dengan metode BTL.

Dari hasil pengujian dengan diberikan sinyal masukan, baik rangkaian penggeser fase, kedua unit *power amplifier* yang dicatu pada keluaran rangkaian penggeser fase, maupun pengujian dengan metode jembatan (BTL), dijelaskan sebagai berikut:

1. Bentuk sinyal keluaran pada setiap rangkaian yang diuji mengikuti bentuk sinyal masukan yang diberikan. Dalam hal ini adalah gelombang sinusoidal, (sinyal masukan yang diberikan dari AFG adalah sinusoidal)
2. Periode sinyal keluaran berbanding terbalik dengan tinggi-rendahnya frekuensi yang diberikan. (Apabila frekuensi yang diberikan rendah maka periodenya besar dan sebaliknya apabila ferkuensi yang diberikan tinggi maka periodenya kecil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN



5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Transistor dapat bekerja apabila aliran arus pada kaki basis transistor lebih kecil dari pada aliran arus pada kaki emiter dan kolektor.
2. Aliran arus pada kaki kolektor transistor sangat tergantung pada aliran arus pada kaki emiter.
3. Penggunaan transistor sebagai penguat, berarti arus yang masuk ke dalam transistor tersebut, tidak membuat transistor tersebut jenuh atau tersumbat, atau arus kolektor harus berharga antara nol dan jenuh.
4. Keuntungan Penguat daya dengan menggunakan metode jembatan antara lain:
 - a. Tidak membutuhkan trafo pada masukan dan keluaran untuk perancangan penguat daya.
 - b. Biaya perancangan dapat ditekan karena komponen utama dalam rancangan hanya menggunakan transistor, resistor dan capasitor.
5. Daya *output* untuk satu unit *power amplifier* yang dirancang tanpa menggunakan metode jembatan 27,38 watt, dan jika secara BTL dayanya menjadi 109,52 watt.

6. Setiap penguat, selalu memiliki dua beban yaitu beban DC dan beban AC. Beban DC, berarti kapasitor kopling dan dekopling dihubung singkat. Sedangkan beban AC, kapasitor kapasitor kopling dan dekopling tidak dihubung singkat.
7. Harga penguatan dalam suatu penguat tidak konstan, karena kapasitor-kapasitor yang berada dalam rangkaian sangat dipengaruhi oleh frekuensi.
8. Setiap perubahan frekuensi, amplitudo mengalami perubahan. Dimana jika frekuensi yang diberikan semakin besar, amplitudonya semakin kecil.
9. Pada frekuensi nol, reaktansi kapasitif (X_C) tidak terhingga, jadi keluaran nol dan penguatan juga nol.

5.2. Saran

1. Pemberian tegangan (V_{CC} dan V_{EE}) harus disesuaikan dengan kemampuan transistor agar tidak merusak transistor yang digunakan dalam perancangan.
2. Transformator yang digunakan untuk catu daya, keluarannya harus simetris sehingga besarnya V_{CC} sebanding dengan V_{EE} , jika tidak keluarannya akan mengalami distorsi.
3. Sebelum melakukan perancangan, harus dilakukan pengukuran transistor untuk mengetahui posisi Basis, Kolektor, dan Emitter. Dan untuk mengetahui baik tidaknya transistor yang akan digunakan.

LAMPIRAN

Lampiran I. Data Persamaan Transistor

TRANSISTOR NUMBER	P O A L T	PACK-AGE	LEAD INFO	V _{CE} MAX	V _{CE} MAX	V _{LE} MAX	I _C MAX	T _J MAX	P TOT	F _T MIN	C _{OM} MAX	H _{FE}	H _{FE} BIAS	USE	MFR	EURO EQUIV	USA EQUIV
25C1007	N S	TO18	L01	60V	40V	8V	20MA	150C	300MWF	110M		80MN	10MA	RLS		b	2N2222A
25C1008	N S	TO39	L57	80V	80V	5V	750MA	180C	750MWF	100M		80MN	40MA	RMP	NEC		
25C1008A	N S	TO5	L04	100V	80V	8V	700MA	150C	800MWF	35M	30P	140TP	50MA	AMH	NEC	BF	2N5662
25C1009	N S	X12	L29	57V	30V	5V	50MA	180C	180MWF	100M		35MN	1MA	RLG	NEC		
25C1010	N S	TO18	L01	50V	40V	5V	30MA	150C	300MWF	50M	10P	550TP	1MA	ALM	NEC	BC109	2N630
25C1011	N S		L85	40V		4V	750MA	200C	2500MWF	400M		20MN	100MA	VMP	MIT		
25C1012	N S	TO18	L01	250V	220V	5V	50MA	180C	2WC			10MN	35MA	ALE	MAT		BFT59
25C1012A	N S	TO39	L04	250V		5V	80MA	175C	2500MWF	50M		20MN	40MA	VLE	MAT		BF259
25C1013	N S	TOP66	L32	35V	20V	5V	1500MA	125C	7WC			40MN	500MA	AMS	MIT		BD589
25C1014	N S	TOP66	L32	50V	40V	5V	1500MA	125C	7WC			35MN	500MA	AMS	MIT		BD589
25C1015	N S	X28	L85	40V		4V	3A	175C	33WC	400M		20MN	100MA	VHP	MIT		
25C1016	N S		L85	40V		4V	500MA	175C	2WC	400M		20MN	100MA	VHP	MIT		
25C1017	N S	X17	L34	75V		4V	1A		4WC	12M		20MN	100MA	RMG	MIT	BD535	2N5294
25C1018	N S	X17	L34	75V		4V	1A		4WC	12M		20MN	100MA	RMG	MIT	BD535	2N5294
25C1019	N S	X808	X80	80V			4A	175C	40WC			50TP	100MA	UHP	MIT		
25C1020	N S	X808	X80	60V			8A	175C	70WC			50TP	100MA	UHP	MIT		
25C1021	N S	X28	L85	80V		4V	8A	175C	80WC	400M		20MN	100MA	VHP	MIT		
25C1022	N S	X28	L85	80V		4V	8A	175C	80WC	400M		20MN	100MA	VHP	MIT		
25C1023	N S	TO92	L21	25V	20V	3V	25MA	125C	150MWF	100M	3P6	40TP	1MA	RLG	FUJ	BC182L	2N3856A
25C1024	N S	TO66	L43	80V	50V	4V	3A	150C	25WC			70MN	1A	AHG	SAN	BUY38	2N3064
25C1025	N S	TO66	L43	120V	80V	4V	3A	150C	25WC			80MN	200MA	AHH	SAN	BDY72	2N3441
25C1026	N S	X28	L85	45V		4V	3A	175C	40WC	375M		20MN	100MA	VHP	MIT		
25C1027	N S			250V		5V	8A	150C	50WC			9MN	6A	AHH	SAN		
25C1030	N S	TO3	L05	150V	80V	8V	8A	150C	50WC	12M		35MN	1A	RHP	HIT		
25C1031	N S	TO66	L43	300V	270V	8V	6A	175C	27WC			50MN	600MA	AHE	NEC	BLY50A	2N6235
25C1032	N S	TO92	L21	25V	20V	3V	25MA	125C	150MWF	100M	3P6	70TP	1MA	R,G	FUJ	BC182L	2N3856A
25C1033	N S	TO18	L01	200V	150V	5V	10MA	175C	300MWF	75M	7P	30MN	5MA	RLE	MAT	BSX21	
25C1033A	N S	TO18	L01	250V	200V	5V	10MA	175C	300MWF	75M	7P	20MN	5MA	ALE	MAT	BF259	
25C1034	N S	X03	L05	1100V	1100V	13V	1A	150C	25WC	2500K	190P	4/40	750MA	TLE	SOY		
25C1035	N S	TO72	L09	30V	15V	3V	20MA	150C	150MWF	350M	0P7	100TP	1MA	ULR	SAN		
25C1036	N S	TO72	L09	30V	15V	3V	20MA	150C	150MWF	350M	0P7	100TP	1MA	TUO	SAN		
25C1037	N S	TO60	L81	80V		4V	4A	175C	50WC	300M		20MN	1A	VHP	MIT		BLY35
25C1038	N S	X28	L85	40V	20V	3V	150MA	175C	4WC	1G		25MN	70MA	UMP	NEC		
25C1039	N S	X28	L85	40V	20V	3V	250MA	175C	8WC	1G		25MN	100MA	UMP	NEC		
25C1040	N S	X28	L85	40V	30V	5V	2A	170C	10WC	150M		40MN	2A	RHP	NEC		
25C1041	N S	X28	L85	40V	20V	3V	150MA	175C	4WC	1G		20MN	70MA	UMP	NEC		
25C1042	N S	X28	L85	40V	20V	3V	250MA	175C	8WC	1G		20MN	100MA	UMP	NEC		
25C1043	N S	X28	L85	40V	20V	3V	300MA	175C	8WC	1G		40MN	100MA	UMP	NEC		
25C1044	N S	TO72	L06	45V	30V	5V	40MA	170C	730MWF	350M		80MN	5MA	VLG	NEC		
25C1045	N S	TO3	L05	1000V	550V	5V	1A	125C	25WC			200MX	200MA	AME	SAN	BFX73	2N618
25C1046	N S	TO3	L05	1000V	400V	8V	3A	125C	25WC			200MX	2A	AME	SAN	BU206	
25C1047	N S	TO82	L21	30V	20V	3V	15MA	175C	150MWF	325M	196	40MN	1MA	TUM	MAT	BF182	
25C1048	N S	TO39	L04	200V	200V	8V	50MA	150C	600MWF	80M	7P	90TP	25MA	ALE	SAN	BF257	2N4927
25C1050	N S	TO3	L05	300V	300V	8V	1A	150C	40WC			45MN	300MA	TLR	SAN	BU126	2N5241
25C1051	N S	TO3	L05	150V	110V	8V	5A	200C	50WC			80MN	1A	AHH	SAN	BDY73	2N3442
25C1051L	N S	TO3	L05	100V	80V	8V	7A	150C	60WC	8M		320MX	1A	AHH	SAN	BDX95	2N3716
25C1052	N S	TO5	L04	75V	40V	5V	1A	175C	800MWF			20MN	500MA	RMS	FUJ	BFY50	2N2297
25C1053	N S	TO5	L04	75V	40V	5V	700MA	175C	800MWF			25MN	500MA	RMS	FUJ	BFY50	2N2297
25C1054	N S	TO72	L09	35V	3V	3V	50MA	175C	180MWF	350M	1P	80TP	15A	VLN	FUJ		
25C1055	N S	TO66	L43	130V		6V	7A	175C	25WC	12M		30MN	5A	RHE		BDY79	
25C1055H	N S	TO66	L43	130V	80V	6V	7A	170C	25WC			30/140	3A	AHH	HIT		
25C1056	N S	TO5	L04	260V	260V	5V	100MA	125C	475MWF	75M	10P	10MA	VLE	SOY		BF259	
25C1057	N S	X28	L85	50V		3V	1A	175C	12WC			20MN	500MA	UHP			
25C1058	N S	X28	L85	50V		3V	2A	175C	20WC	50MA		20MN	1A	UHP			
25C1059	N S	TO66	L43	300V	300V	4V	150MA	150C	8WC	10M		80MN	50MA	RLE	HIT		2N3585
25C1060	N S	TOP66	L33	50V		4V	3A	150C	25WC			80TP	1A	AHG	HIT		2N6293
25C1061	N S	TOP66	L32	50V		4V	3A	150C	25WC			80TP	1A	AHG	HIT	BD589	2N6123
25C1061K	N S	TOP66	L32	50V	50V	4V	3A	150C	25WC	3M		35/320	1A	AHG	HIT	BD203	2N5296
25C1062	N S	TO5	L04	200V	180V	4V	100MA	175C	700MWF			30MN	50MA	ALE	NEC	BF257	2N3439
25C1063	N S	TO5	L04	10V		5V	1A	150C	750MWF	100M		30MN	65MA	RMS		BSW54	2N2219
25C1064	N S	TO5	L04	60V	30V	5V	1A	175C	800MWF	200M		20MN	500MA	RMS		BSW54	2N2219A
25C1065	N S	TO5	L04	90V	60V	5V	1A	175C	800MWF	200M		20MN	500MA	RMS		BSW54	2N2219A
25C1066	N S	TO18	L01	20V	12V	3V	25MA	175C	200MWF	400M		50MN	2MA	ULA			2N618
25C1067	N S	TO72	L09	35V	3V	3V	50MA	175C	180MWF	250M	1P	80TP	1MA	VLP	FUJ		
25C1068	N S	TO5	L04	25V	12V	3V	150MA	175C	600MWF	1G		50MN	40MA	UMG			2N5109
25C1069	N S	TO5	L04	100V		8V	1A	175C	800MWF	200M		20MN	500MA	RHH	TUG	BSS14	2N3735
25C1070	N S	X99	X99	30V	25V		20MA		150MWF	750M	0P6						
25C1071	N S	TO18	L01	30V	17V	5V	200MA	175C	300MWF	200M		40MN	30MA	RMS	NEC	BSW64	2N7277
25C1072	N S	TO5	L04	80V	45V	5V	700MA	175C	800MWF			20MN	500MA	RMS	NEC	BSS14	2N5860
25C1072A	N S	TO5	L04	86V	56V		700MA	175C	800MWF		12P	35MN	500MA	VMS	FUJ	BSV95	2N5262
25C1073	N S	X55E	X55	36V	18V	4V	1500MA	175C	2WF	500M		20MN	100MA	UHP	MAT	BLW92	
25C1074	N S	X55E	X55	36V	18V	4V	2A	175C	10WC	350M	25P	15MN	200MA	UMP	MAT	BLX93	
25C1075	N S	X55E	X55	36V	18V	4V	4A	175C	20WC	400M	25P	15MN	400MA	UMP	MAT	BLX94	
25C1078	N S	X55E	X55	36V	16V	4V	8A	175C	30WC	400M	30P	15MN	600MA	UMP	MAT	BLX89	
25C1077	N S	X27	L84	65V	35V	5V	5A	175C	50WC			20MN	1A	RHP	TOS		

Lampiran II. Harga-harga Kapasitansi Kapasitor di Pasaran

pF	μF	μF	μF	μF
10	0,001	0,1	10	1000
12	0,0012			
13	0,0013			
15	0,0015	0,15	15	
18	0,0018			
20	0,002			
22	0,0022	0,22	22	2200
24				
27				
30				
33	0,0033	0,33	33	3300
36				
43				
47	0,0047	0,47	47	4700
51				
56				
62				
68	0,0068	0,68	68	6800
75				
82				
100	0,01	1,0	100	10.000
110				
120				
130				
150	0,015	1,5		
180				
200				
220	0,022	2,2	220	22.000
240				
270				
300				
330	0,033	3,3	330	
360				
390				
430				
470	0,047	4,7	470	47.000
510				
560				
620				
680	0,068	6,8		
750				
820				82.000
910				

Lampiran III. Harga- harga Resitansi Standart di Pasaran

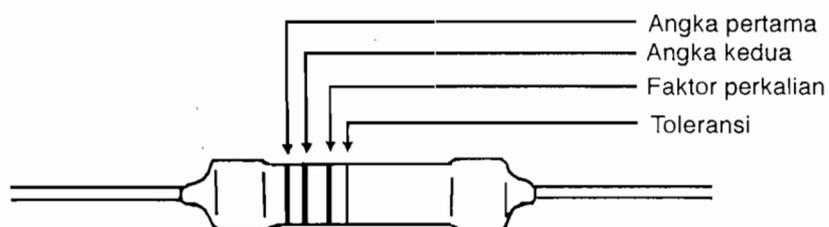
Ω	Ω	Ω	k Ω	k Ω	k Ω	M Ω	M Ω
1,0	10	100	1,0	10	100	1,0	10
1,1	11	110	1,1	11	110	1,1	
1,2	12	120	1,2	12	120	1,2	
1,3	13	130	1,3	13	130	1,3	
1,5	15	150	1,5	15	150	1,5	
1,6	16	160	1,6	16	160	1,6	
1,8	18	180	1,8	18	180	1,8	
2,0	20	200	2,0	20	220	2,0	
2,2	22	220	2,2	22	220	2,2	
2,4	24	240	2,4	24	240	2,4	
2,7	27	270	2,7	27	270	2,7	
3,0	30	300	3,0	30	300	3,0	
3,3	33	330	3,3	33	330	3,3	
3,6	36	360	3,6	36	360	3,6	
3,9	39	390	3,9	39	390	3,9	
4,3	43	430	4,3	43	430	4,3	
4,7	47	470	4,7	47	470	4,7	
5,1	51	510	5,1	51	510	5,1	
5,6	56	560	5,6	56	560	5,6	
6,2	62	620	6,2	62	620	6,2	
6,8	68	680	6,8	68	680	6,8	
7,5	75	750	7,5	75	750	7,5	
8,2	82	820	8,2	82	820	8,2	
9,1	91	910	9,1	91	910	9,1	

Lampiran IV. Kode Warna Resistor

Tahanan karbon dengan nilai yang sangat luas digunakan pada alat-alat elektronik. Itu berarti, bahwa nilai tahanan harus tampak jelas. Hal itu dilukiskan dengan tiga lingkaran berwarna. Lingkaran keempat pada tahanan mempunyai arti lain. Setiap warna sesuai dengan angka tertentu. Warna yang dipergunakan serta angka-angkanya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

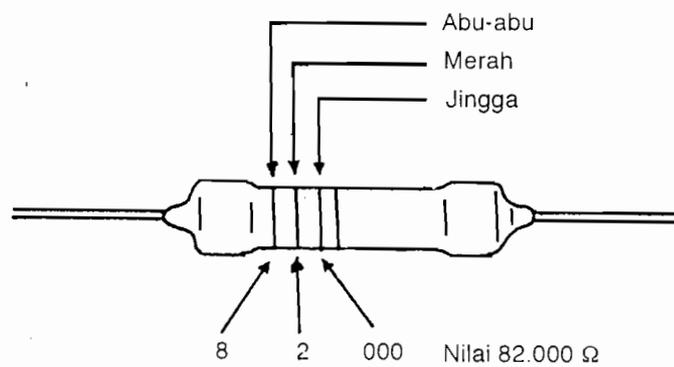
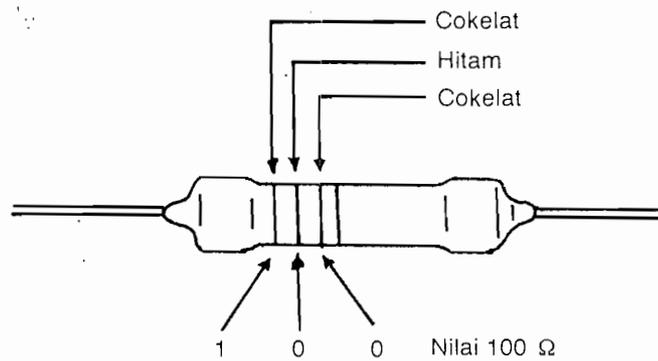
Gelang Ke-	Lingkaran Pertama	Lingkaran Kedua	Lingkaran Ketiga
Warna	Angka	Angka	Faktor Perkalian
hitam	0	0	$\times 10^0$
cokelat	1	1	$\times 10^1$
merah	2	2	$\times 10^2$
jingga	3	3	$\times 10^3$
kuning	4	4	$\times 10^4$
hijau	5	5	$\times 10^5$
biru	6	6	$\times 10^6$
ungu	7	7	$\times 10^7$
abu-abu	8	8	$\times 10^8$
putih	9	9	$\times 10^9$
emas	-	-	$\times 10^{-1}$
perak	-	-	$\times 10^{-2}$

Kode warna harus dibaca mulai dari ujung menuju ke tengah-tengah tahanan.



Lampiran V. Contoh Kode Warna Resistor

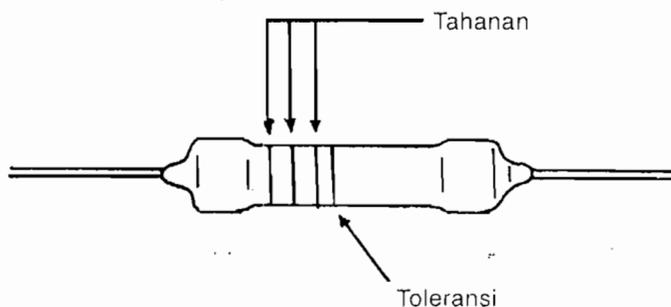
Lingkar Pertama	Lingkar Kedua	Lingkar Ketiga	Nilai Tahanan
biru	abu-abu	cokelat	680
abu-abu	merah	merah	8.200
cokelat	hitam	kuning	100.000
cokelat	hitam	hitam	10
merah	merah	cokelat	220
jingga	jingga	merah	3.300
cokelat	hitam	emas	1



Lampiran VI. Kode Warna Toleransi Resistor

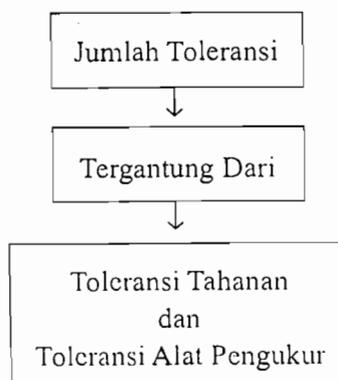
Toleransi dari tahanan dilukiskan dengan lingkaran berwarna yang keempat yang terdapat pada tahanan itu.

Arti warna-warna tersebut adalah sebagai berikut:



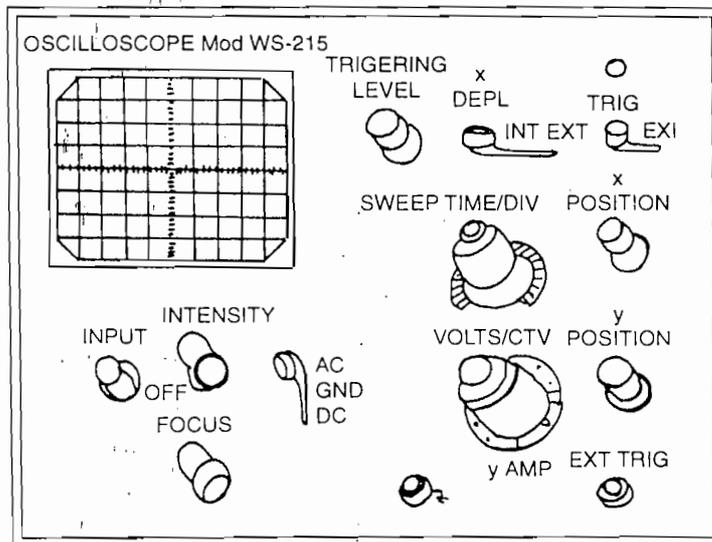
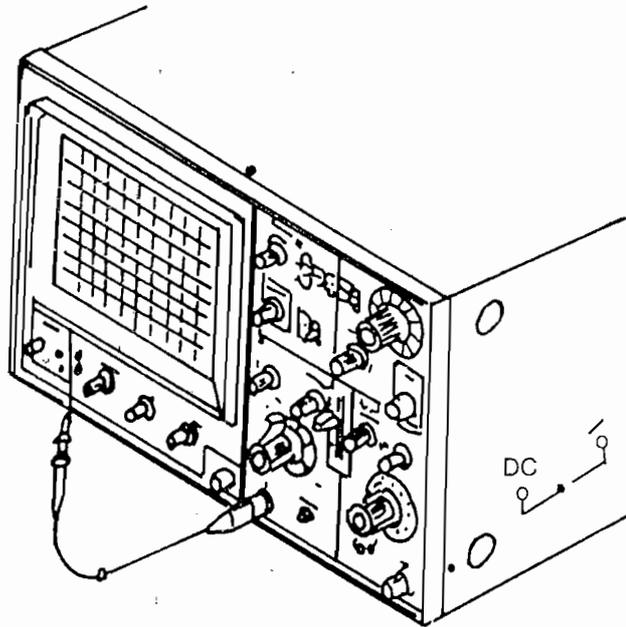
Warna	Toleransi
cokelat	$\pm 1\%$
merah	$\pm 2\%$
emas	$\pm 5\%$
perak	$\pm 10\%$
tanpa lingkaran	$\pm 20\%$

abu-abu/merah/merah/perak		$8.200 \pm 10\%$
cokelat/hitam/kuning/merah		$100.000 \pm 2\%$
hijau/biru/cokelat/emas		$560 \pm 5\%$
cokelat/hitam/hitam/merah		$10 \pm 2\%$



Bagaimanapun juga, penyimpangan yang besar terhadap nilai nominal menunjukkan kesalahan

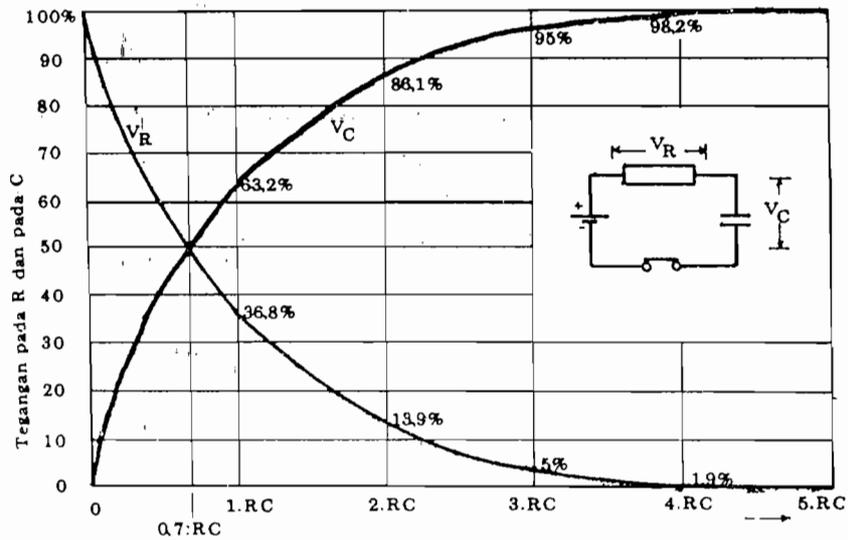
Lampiran IX. Gambar Osiloskop



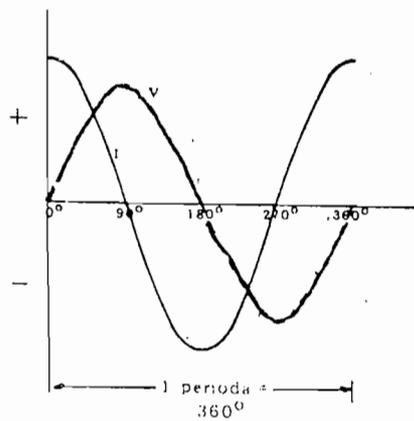
Lampiran X. Fungsi Tombol-tombol pada Osiloskop

No.	Nama Tombol	Fungsinya
1.	<i>Power On/Off</i>	Untuk menghidupkan osiloskop. Apabila sakelar pada posisi <i>on</i> maka lampu pilot akan menyala. Setelah sepuluh detik terlihat garis horizontal atau titik pada CRT.
2.	<i>Illum</i>	Untuk mengatur iluminasi/pencahayaan skala pada layar CRT.
3.	<i>Intensity</i>	Untuk mengatur terangnya bentuk gelombang pada CRT, jika tombol ini diputar ke arah jarum jam (ke kanan) maka bentuk gelombang semakin terang.
4.	Fokus	Apabila tombol ini diputar maka tebal garis horizontal atau ukuran bintik berubah, dengan tombol ini dibuat garis horizontal sesempit mungkin atau bintik sekecil mungkin.
5.	Kalibrator	Merupakan terminal keluaran gelombang persegi yang terkalibrasi dengan frekuensi sekitar 100 Hz. Gelombang persegi digunakan untuk mengkalibrasi sensitivitas sinkroskop.
6.	CH ₁ /CH ₂	Merupakan terminal masukan untuk sinyal yang diamati. Beberapa sinkronos memiliki prob pengetes sebagai terminal masukan tambahan. Apabila prob ini digunakan maka tegangan sinyal yang keluar pada sinkroskop menurun 1/10 kali.
7.	Posisi vertikal	Garis horizontal atau bintik pada CRT dapat digerakkan pada arah vertikal dengan tombol ini.
8.	Pull CH ₂ Inv.	Jika tombol ini ditarik polaritas dari CH ₂ akan berubah.
9.	Volt /cm	Sakelar pengatur sensitivitas vertikal adalah peredam yang terletak pada masukan penguat vertikal. Apabila tombol variabel diputar ke kanan sampai maksimum maka skala pada layar menunjukkan besarnya tegangan dalam volt/cm.
10.	Variabel	Untuk mengatur halus sensitivitas vertikal, tombol ini dapat menyetel secara halus sensitivitas penguat vertikal. Dengan tombol ini didapatkan ukuran bentuk gelombang yang sesuai untuk diamati.
11.	Pull x 10	Jika tombol variabel ditarik maka sensitivitas vertikal akan naik 10 kali.
12.	AC GND DC	Untuk memilih sinyal masukan. Sakelar ini memilih agar komponen DC dihentikan (AC) atau diteruskan (DC). Posisi GND untuk mengatur garis <i>bol</i> pada CRT.

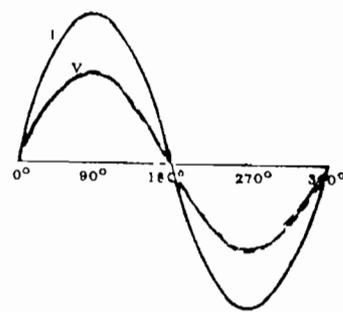
Lampiran XI. Grafik jalannya tegangan pada kapasitor.



Jalannya arus-pemuatan yang dilukiskan oleh jalannya tegangan V_R . Jalannya tegangan pada kondensator (V_C) berlawanan dengan jalannya arus-pemuatan.

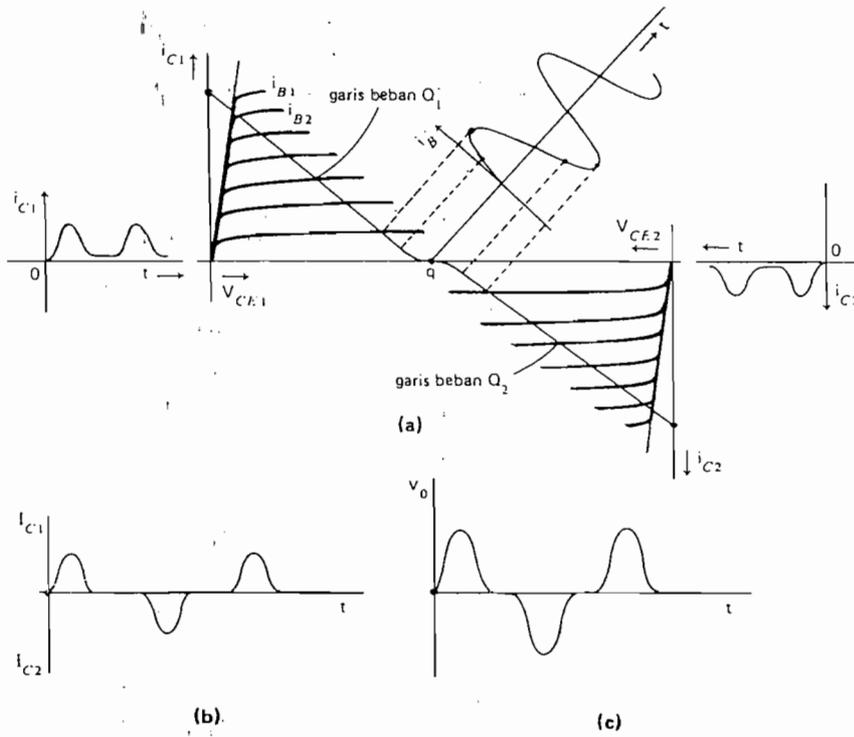


Jalannya arus-bb dan tegangan-bb pada kondensator. I mendahului V dengan 90°

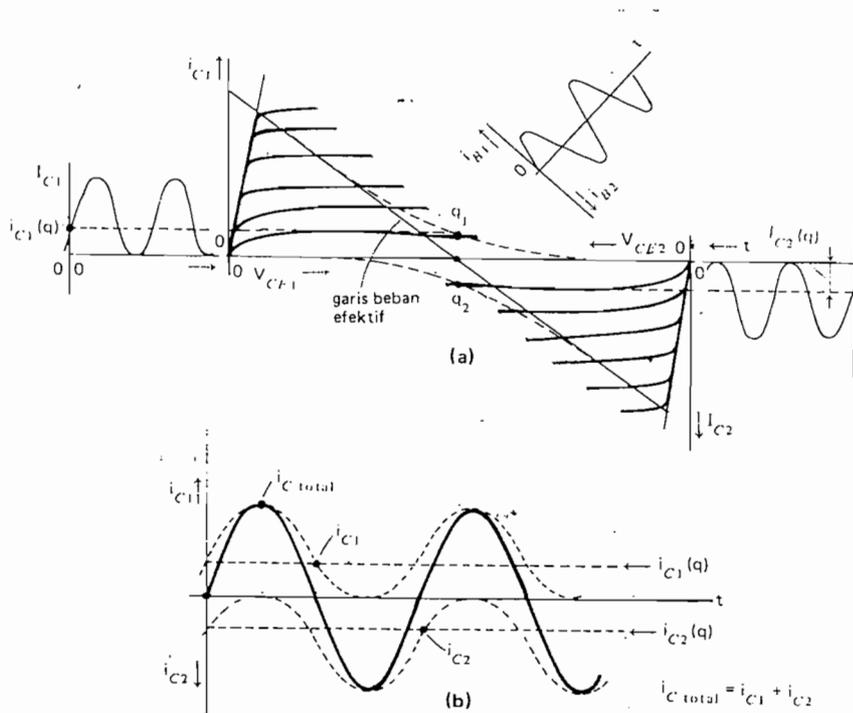


Jalannya arus dan tegangan pada perlawanan ohm. I dan V berjalan se-fasa.

Lampiran XII. Analisis grafik pada penguat dorong-tarik (kelas B).



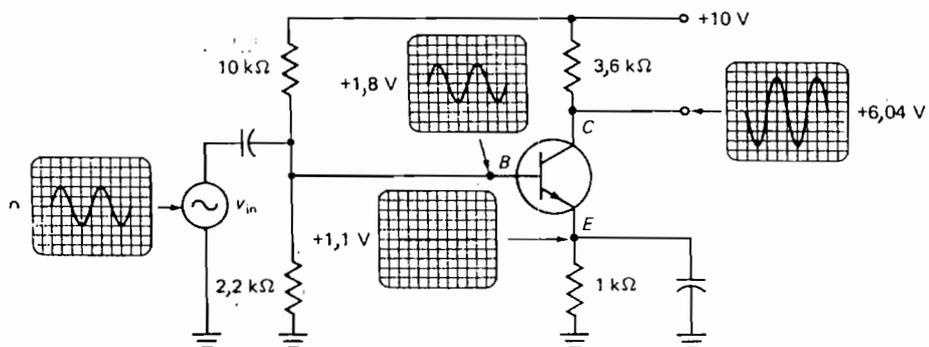
Analisis grafik isyarat pada penguat tolak-tarik kelas B



(a) Tanggapan terproyeksi terputus untuk penguat tolak-tarik; (b) bentuk isyarat keluaran tanpa cacat penyeberangan

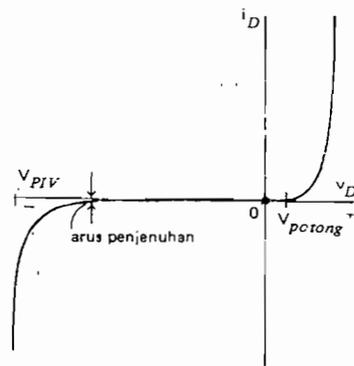
Lampiran XII. Bentuk sinyal *output* AC dan DC pada rangkaian,

dengan sinyal *input* yang diberikan adalah AC berbentuk sinus.

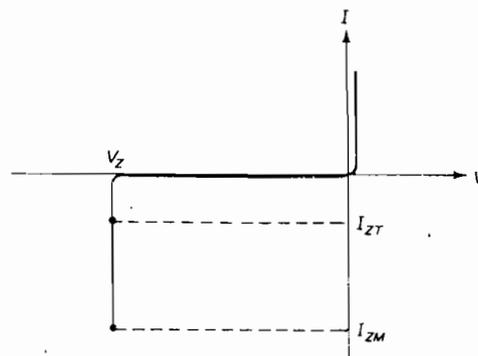


Komponen-komponen dc dan ac yang dilihat dengan osiloskop terdang-dc.

Lampiran XIII. Karakteristik V-I pada dioda biasa dan dioda zener.



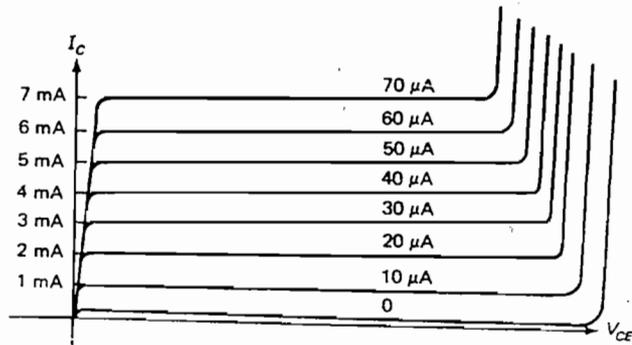
(b) Lengkung ciri dioda.



(c)

(a) Lambang dioda zener, (b) Lambang dioda biasa, (c) Lambang dioda zener yang lain, (d) Lengkungan I-V.

Lampiran XIV. Karakteristik V_{CE} - I_C transistor dengan β_{dc} sebesar 100.



Gambar 5-11 Kurva transistor dengan β_{dc} sebesar 100.

