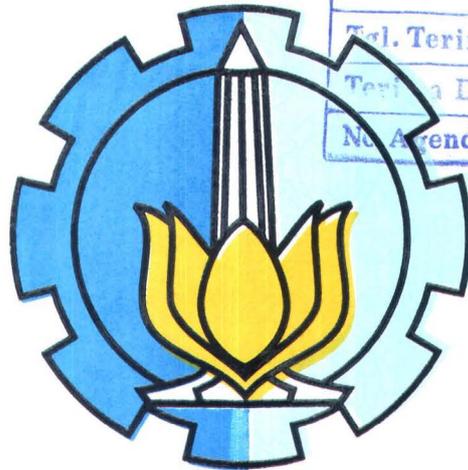


**PEMBUATAN ALAT UNTUK PENGATURAN ARAH PUTAR
KECEPATAN DAN Pengereman MOTOR INDUKSI SATU
FASA DENGAN DIGITAL KONTROL**

TUGAS AKHIR



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	7 - 8 - 2000
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	21.1568

RSE
681.76
Wid
P-1

2000

Oleh:

MARGA BUDI WIDJAJA

Nrp. 2297 039 020

**BIDANG STUDI ELEKTRO INDUSTRI
PROGRAM D III POLITEKNIK DEPNAKER - ITS
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO - FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2000**



**PEMBUATAN ALAT UNTUK PENGATURAN ARAH PUTAR
KECEPATAN DAN PENEREMAN MOTOR INDUKSI SATU
FASA DENGAN DIGITAL KONTROL**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Menyelesaikan Studi di Program D3 Politeknik Depnaker - ITS**

**Pada
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

**Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing**



**Ir. Soedibyo
Nip. 130 885 769**

ABSTRAKSI

Motor induksi satu fasa adalah salah satu jenis dari pada mesin listrik yang banyak dijumpai penggunaannya pada mesin-mesin perkakas baik dalam industri maupun rumah tangga. Motor induksi satu fasa dapat digunakan sebagai penggerak utama pada alat-alat listrik seperti mesin penggulung benang, penggerak pintu gerbang, mesin cuci, ex haust fan, dan masih banyak lagi.

Sistem mekanik yang membutuhkan penggerak utama dengan torsi awal yang tinggi dan daya yang kecil akan selalu menggunakan motor induksi satu fasa sebagai sumber penggeraknya.

Namun terkadang dalam pengoperasiannya diperlukan suatu sistem pengaturan, untuk dapat mengoperasikan motor induksi satu fasa agar sesuai dengan fungsinya dalam suatu peralatan listrik seperti tersebut diatas.

Salah satu contoh adalah pengoperasian motor induksi satu fasa dalam aplikasinya sebagai penggerak pintu gerbang otomatis. Dalam hal ini diperlukan pengaturan kecepatan, pengaturan arah putar, dan pengaturan pengereman motor induksi satu fasa yang terintegrasi dalam satu rangkaian sistem.

Sehingga dengan rangkaian sistem seperti ini, dapat memungkinkan motor induksi satu fasa mampu untuk melakukan fungsinya sebagai sumber penggerak utama dalam peralatan tersebut.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan rasa syukur atas Berkat dan Karunia Tuhan Yang Maha Esa, sehingga saya dapat menyelesaikan pembuatan tugas akhir. Walaupun dalam proses pembuatannya, saya menemukan hambatan-hambatan yang cukup berarti.

Dengan melakukan tugas akhir ini saya mendapatkan banyak masukan berupa pengalaman yang sangat berharga dan belum pernah saya dapatkan sebelumnya. Dengan pengalaman tersebut saya dapat mengerti keadaan suatu teori yang saya dapatkan di bangku kuliah jika diaplikasikan dalam suatu praktek. Selain itu kemampuan yang saya peroleh setelah sekian lama belajar bisa saya ukur sampai sejauh mana saya telah menguasainya.

Selama melaksanakan pembuatan tugas akhir ini saya banyak sekali mendapatkan bantuan moral maupun materil baik secara formal maupun informal. Untuk itu saya mengucapkan rasa terima kasih kepada:

- Orang tua, adik-adik, dan sanak keluarga saya yang telah memberikan motivasi dan dukungan doa guna tercapainya cita-cita saya.
- Ketua Jurusan DIII Teknik Elektro beserta pihak pengajaran.
- Kepala Balai Latihan Kerja dan Industri Surabaya beserta staf.
- Dosen pembimbing Ir. Soedibyo.
- Ketua Jurusan DIII-ITS Jurusan Elektro Industri di BLKI Drs. Achmad Sugeng.
- Tenaga teknisi di bengkel elektro BLKI Surabaya.
- Teman-teman seperjuangan di Jurusan Elektro Industri.

Semoga apa yang telah saya lakukan dalam tugas akhir ini berguna untuk agama, bangsa, dan negara.

DAFTAR ISI

	Halaman
Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstraksi	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Sistematika Pembahasan dan Pelaporan	4
BAB II TEORI PENUNJANG	6
2.1 Komponen Penyusun	6
2.1.1 Semi Konduktor	7
2.1.2 Dioda Penyearah	12
2.1.2.1 Kurva Dioda Forward	13
2.1.2.2 Kurva Dioda Reverse	15
2.1.2.3 Dioda Ideal	16
2.1.3 Transistor Bipolar	17
2.1.3.1 Bias Forward-Forward	18
2.1.3.2 Bias Reverse-Reverse	19
2.1.3.3 Bias Forward-Reverse	20
2.1.3.4 Rangkaian Transistor	22
2.1.4 Penguat Operasional	24
2.1.5 Elektronika Digital	27

2.1.5.1	Gerbang Logika	28
2.1.5.2	IC Gerbang Logika	30
2.1.6	Transformator	30
2.1.6.1	Bagian-Bagian Transformator	30
2.1.6.2	Prinsip Kerja Transformator	31
2.1.6.3	Rugi-Rugi Transformator	32
2.1.7	Motor Satu Phasa	33
2.1.7.1	Prinsip Kerja	34
2.2	Teori Rangkaian Sistem	36
2.2.1	Rangkaian Digital	37
2.2.1.1	Dasar rangkaian Digital	38
2.2.1.2	Rangkaian Self Holding	40
2.2.1.3	Rangkaian Interlock	41
2.2.1.4	Relay	42
2.2.2	Sistem Pengereman dengan Arus Searah	42
2.2.3	Pengaturan Frekuensi	44
2.2.3.1	Penyearah AC ke DC	44
2.2.3.1.1	Penyearah Setengah Gelombang	45
2.2.3.1.2	Penyearah Gelombang Penuh dengan Trafo Tap-Tengah	46
2.2.3.1.3	Penyearah Gelombang Penuh Jembatan	47
2.2.3.2	Transistor dengan Operasi push-pull	50
2.2.3.3	Rangkaian Penguat Operatif	52
2.2.3.3.1	Rangkaian Pengikut Tegangan	52
2.2.3.3.2	Pembangkit Gelombang Sinus	53
2.2.3.3.3	Penggeser Fasa	56
BAB III	PERENCANAAN DAN PENGUJIAN ALAT	58
3.1	Tahap Perencanaan Alat	58
3.1.1	Rangkaian Kontrol Pembalik Arah Putar	58

3.1.2	Rangkaian Pengatur Frekuensi	63
3.1.2.1	Penyearah Gelombang Penuh	63
3.1.2.2	Inverter DC-AC	64
3.1.2.3	Driver	66
3.1.2.4	Penggeser Fasa	68
3.1.2.5	Pembangkit Gelombang Sinus	69
3.2	Tahap Pengujian Alat	70
3.2.1	Pengujian Rangkaian Kontrol Pembalik Arah Putar	70
3.2.2	Pengujian Sistem Pengereman Motor dengan Tegangan Searah	71
3.2.3	Pengujian Pengaturan Kecepatan Motor dengan Perubahan Frekuensi	72
BAB IV	PENUTUP	75
4.1	Kesimpulan	75
4.2	Saran	76
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Model Atom Bohr	7
Gambar 2.2 Junction $p-n$	10
Gambar 2.3 Muatan dioda saat forward bias	11
Gambar 2.4 Muatan dioda saat reverse bias	12
Gambar 2.5 Dioda penyearah	13
Gambar 2.6 Rangkaian dan kurva dioda forward	14
Gambar 2.7 Rangkaian dan kurva dioda reverse	16
Gambar 2.8 Kurva dioda ideal	16
Gambar 2.9 Tiga daerah transistor	17
Gambar 2.10 Bias forward-forward	19
Gambar 2.11 Bias reverse-reverse	20
Gambar 2.12 Bias forward-reverse	21
Gambar 2.13 Simbol Op-amp	24
Gambar 2.14 Penguat Op-amp 741	26
Gambar 2.15 Gerbang AND	28
Gambar 2.16 Gerbang OR	29
Gambar 2.17 Gerbang NOT	30
Gambar 2.18 Prinsip kerja transformator	31
Gambar 2.19 Skema rugi-rugi transformator	33
Gambar 2.20 Lengkung kopel putaran	35
Gambar 2.21 Rangkaian ekivalen motor induksi satu fasa	36
Gambar 2.22 Diagram perencanaan system	36
Gambar 2.23 Aplikasi rangkaian NOT	38
Gambar 2.24 Aplikasi rangkaian AND	39
Gambar 2.25 Aplikasi rangkaian OR	39
Gambar 2.26 Rangkaian self holding	40
Gambar 2.27 Rangkaian interlock	42

Gambar 2.28 Kopel lengkung putaran	43
Gambar 2.29 Diagram rangkaian pengatur frekuensi	44
Gambar 2.30 Penyearah setengah gelombang	45
Gambar 2.31 Penyearah tap-tengah	46
Gambar 2.32 Penyearah jembatan	47
Gambar 2.33 Filter kapasitor shunt	50
Gambar 2.34 Rangkaian ekivalen ac	51
Gambar 2.35 Rangkaian pengikut tegangan	53
Gambar 2.36 Rangkaian pengujian untuk mencari frekuensi $f_o = \frac{1}{2\pi RC}$	54
Gambar 2.37 Oscilator gelombang sinus jembatan Wein	55
Gambar 2.38 Tegangan masukan dan tegangan keluaran untuk $\theta = -90^\circ$	56
Gambar 2.39 Rangkaian penggeser fasa	57
Gambar 3.1 Rangkaian sekuensial pembalik arah putar motor induksi satu fasa	58
Gambar 3.2 Rangkaian kontrol	60
Gambar 3.3 Rangkaian kontrol digital	61
Gambar 3.4 Rangkaian penyangga tegangan keluaran digital	62
Gambar 3.5 Rangkaian penyearah gelombang penuh jembatan dengan trafo tap-tengah	63
Gambar 3.6 Rangkaian dasar inverter dengan power transistor	64
Gambar 3.7 Rangkaian inverter	65
Gambar 3.8 Rangkaian driver	67
Gambar 3.9 Rangkaian penggeser fasa	68
Gambar 3.10 Oscilator gelombang sinus	69
Gambar 3.11 Rangkaian pengikut tegangan	69

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Tabel kebenaran gerbang AND	28
Tabel 2.2 Tabel kebenaran gerbang OR	29
Tabel 2.3 Tabel kebenaran gerbang NOT	30
Tabel 3.1 Data percobaan pengaturan kecepatan motor	74

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan perkembangan sains dan teknologi, telah melahirkan inovasi-inovasi baru dalam bidang kelistrikan. Terlebih lagi pada sistem pengaturan motor.

Sesuai dengan fungsinya, motor sebagai alat pengkonversi energi listrik menjadi energi mekanis, menjadikan motor digunakan sebagai mesin penggerak utama pada peralatan-peralatan industri, baik industri skala besar maupun kecil, bahkan rumah tangga. Berkaitan dengan peran motor sebagai alat pengkonversi dengan output berupa gerak putar homogen, yang diharap dapat dimanfaatkan untuk peralatan industri yang memerlukan tenaga gerak putar dari motor sebagai input, untuk dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya. Misal untuk penggerak lift, conveyor, penggerak pada tangga berjalan, dan sebagainya. Maka dalam hal ini dibutuhkan sistem pengaturan gerak motor untuk memenuhi hal tersebut.

Ada beberapa jenis sistem pengaturan pada motor, diantaranya yaitu: pengaturan arah putar, pengaturan kecepatan, dan pengaturan sistem pengereman. Ketiga macam pengaturan diatas merupakan dasar dari semua alat kontrol motor yang sampai saat ini telah berkembang dan banyak diterapkan dalam dunia industri. Dalam hal ini motor tersebut adalah motor induksi.

Sistem kontrol dengan metode sequent terasa kurang efektif, karena untuk pengembangan dari satu sistem ke sistem kontrol yang lain memerlukan biaya dan dimensi yang cukup besar. Sehingga kini telah dikembangkan pengaturan digital dengan P.L.C (Progammable Logic Control), yang memungkinkan pengembangan dari satu sistem ke sistem kontrol yang lain dapat dilakukan dengan mudah.

Namun metode-metode pengaturan tersebut sebenarnya telah terkonsep pada sistem elektronika.

Pada pengaturan arah putar motor, prinsip dasar dari timbulnya medan putar pada kumparan medan utama digunakan untuk mendapatkan arah putar yang diinginkan. Dengan pemberian polaritas yang dibalik pada kumparan jangkar dan polaritas tetap pada kumparan medan atau sebaliknya sehingga akan didapatkan arah putar yang juga terbalik dari arah jarum jam. Maka dibutuhkan suatu fungsi pensaklaran yang melakukan pemutusan dan pembalikan polaritas kumparan terhadap sumber.

Untuk pengaturan kecepatan motor dapat dilakukan dengan beberapa cara, namun cara yang cukup efektif adalah dengan mengubah frekuensi jala-jala. Dengan metode *solid state frequency converter*, memungkinkan untuk mengatur kecepatan dengan merubah frekuensi jala-jala namun dengan daerah pengaturan kecepatan yang terbatas.

Sistem pengereman mesin listrik digunakan pada suatu sistem yang membutuhkan ketepatan dalam proses penghentiannya. Ketepatan dalam hal ini adalah ketepatan posisi dan waktu, dimulai saat sistem beroperasi sampai saat operator menghendaki sistem berhenti, pada suatu posisi dan waktu yang tepat.

Saat seperti inilah dibutuhkan sistem pengereman mesin listrik untuk dapat mencapai ketepatan yang dikehendaki. Ada beberapa jenis pengereman pada motor induksi yaitu pengereman arus searah, pengereman arus eddy, dan pengereman mendadak.

Pada pengaturan arah putar, kecepatan, dan sistem pengereman motor induksi, dibutuhkan suatu koordinasi interlock dari satu rangkaian kontrol dengan rangkaian kontrol yang lain. Supaya motor dapat dioperasikan sesuai dengan fungsi rangkaian kontrolnya.

1.2 Permasalahan

Seperti halnya sistem kontrol dengan metode sequent, yang pada umumnya rangkaian kontrolnya berdiri sendiri sesuai dengan fungsinya, berlaku pula untuk pengaturan dengan metode elektronik ini.

Sedangkan masalah utama yang timbul pada pengaturan arah putar, kecepatan, dan sistem pengereman motor induksi dalam tugas akhir ini, adalah menggabungkan ketiga jenis pengaturan tersebut dan mengkoordinasi interlock saat mengoperasikan ketiga rangkaian pengaturan tersebut.

1.3 Batasan Masalah

Rangkaian kontrol elektronik pada pengaturan motor induksi ini terbatas pada pembalikan arah putar motor, pengaturan kecepatan motor dilakukan dengan pengubahan dari kecepatan (rpm) terendah sampai dengan kecepatan nominal motor pada saat frekuensi mencapai harga nominalnya (50 Hertz), dan sistem

pengereman berfungsi untuk mendapatkan waktu penghentian yang singkat pada gerak putar motor dengan memberi tegangan searah pada kumparan stator.

Adapun motor yang digunakan dalam perencanaan dan pembuatan tugas akhir ini adalah motor induksi 1 ϕ . Sehingga sistem kontrolnya juga 1 ϕ .

1.4 Tujuan

Dengan terlaksananya sistem pengontrolan motor induksi 1 ϕ ini, diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk sistem 3 ϕ dan dapat diaplikasikan untuk memenuhi kebutuhan industri.

1.5 Sistematika Pembahasan dan Pelaporan

Pembahasan dan pelaporan dalam Tugas Akhir ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

Bab I mengenai pendahuluan yang berisi tentang latar belakang, permasalahan, pembatasan masalah, tujuan, serta langkah-langkah pembahasan dan pelaporan.

Bab II berisi pembahasan-pembahasan tentang teori-teori yang menunjang dalam perencanaan dan pembuatan rangkaian kontrol elektronik. Pembahasan dasar teori dalam bab ini terbagi atas dua sub bab. Yang pertama membahas dasar teori tentang komponen yang digunakan dalam rangkaian sistem. Dan yang kedua membahas dasar teori tentang rangkaian elektronika sistem.

Bab III pembahasan mengenai perencanaan dan pengujian alat.

Tahap perencanaan dan pengujian masing-masing rangkaian dibahas pada sub bab yang terpisah.

Bab IV berisi tentang penutup, yang didalamnya mencakup kesimpulan dan saran.

Pada bagian akhir dicantumkan beberapa lampiran yang dapat menunjang kelengkapan naskah tugas akhir ini.

BAB II

TEORI PENUNJANG

Teori penunjang yang akan disajikan dalam bab ini terbagi menjadi dua bagian.

Bagian pertama merupakan pembahasan tentang teori komponen penyusun yang digunakan dalam rangkaian sistem. Teori komponen penyusun tersebut antara lain teori tentang semikonduktor, dioda, transistor, penguat operatif, IC gerbang logika, transformator, dan motor induksi satu fasa.

Bagian kedua dari bab ini merupakan pembahasan rangkaian-rangkaian komponen elektronika yang dititik beratkan pada rangkaian yang digunakan untuk menyusun sistem pengaturan ini. Adapun jenis rangkaian sistem yang terdapat pada bagian ini antara lain: rangkaian digital, sistem pengereman elektris, dan pengaturan frekuensi yang meliputi rangkaian penyearah, transistor dengan rangkaian push-pull, dan rangkaian penguat operatif.

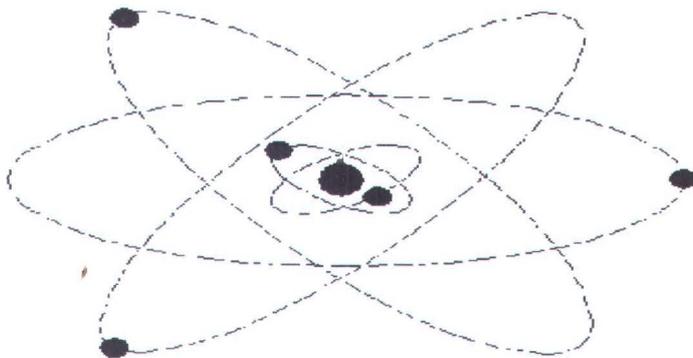
2.1 KOMPONEN PENYUSUN

Komponen penyusun yang akan dibahas dalam bab ini adalah teori tentang komponen-komponen yang mendukung rangkaian elektronik sistem.

Semi konduktor, transformator, motor induksi satu fasa, dan IC gerbang logika, akan dibahas secara berurutan dalam sub-bab II.1 komponen penyusun.

2.1.1 Semi Konduktor

Teori atom menurut Bohr, bahwa suatu atom memiliki inti yang dikelilingi oleh elektron-elektron yang mengorbit (Gambar 2.1). Inti atom yang bermuatan positif menarik elektron, mengakibatkan elektron jatuh ke dalam inti bila tidak ada gaya sentrifugal dalam gerakannya. Jika elektron bergerak pada orbit yang stabil, kecepatan elektron juga stabil, elektron mempunyai kecepatan yang sesuai untuk gaya sentrifugal untuk mengimbangi penarikan oleh inti atom.



Gambar 2.1 Model Atom Bohr

Atom silikon terisolir memiliki 14 proton dalam intinya,. Dua elektron bergerak pada orbit pertama, delapan elektron pada orbit kedua, dan empat pada orbit terluar atau orbit valensi. 14 elektron yang berputar menetralkan muatan inti atom, sehingga secara listrik, dari luar atom adalah netral.

Germanium terisolir memiliki 32 proton dalam inti atomnya dan 32 elektron yang mengorbit. Orbit terluar germanium juga memiliki 4 elektron. Oleh sebab itu, silikon dan germanium disebut elemen tetravalent.

Elektron dapat berpindah dari orbit yang lebih kecil ke orbit yang lebih besar karena kerja untuk mengatasi penarikan oleh inti. Perpindahan orbit oleh

elektron membutuhkan energi. Jika semakin besar energi yang dimiliki suatu elektron, maka semakin besar pula orbit elektron tersebut.

Apabila atom-atom bergabung membentuk padatan (solid) dengan pola tatanan tertentu maka akan terbentuk kristal. Gaya saling mengikat antar atom disebut ikatan kovalen.

Pada suhu nol mutlak, elektron tidak dapat bergerak elektron tidak dapat bergerak melalui kristal. Sehingga pada suhu nol mutlak, kristal berlaku seperti isolator sempurna.

Dan pada suhu diatas nol mutlak, energi panas akan memutuskan ikatan kovalen, dan mendorong elektron valensi kedalam pita konduksi. Semakin tinggi suhu makin besar pula elektron yang terdorong pada pita konduksi.

Pada suhu ruang (25° celcius), arus yang dapat dihantarkan melalui kristal terlalu kecil. Pada suhu ini kristal tidak merupakan isolator maupun konduktor yang baik, karena hal inilah disebut semikonduktor.

Kristal germanium dan silikon adalah semikonduktor pada suhu ruang. Perbedaan yang terdapat antar keduanya yaitu bahwa pada suhu ruang kristal silikon memiliki elektron bebas yang lebih sedikit daripada kristal germanium. Oleh sebab itu kristal silikon lebih banyak dipakai untuk penyusun komponen semikonduktor.

Semikonduktor Tipe-n

Terbentuk jika kristal di-dop dengan atom-atom pentavalen untuk mendapatkan tambahan elektron pita konduksi. Untuk kenyataan ini, elektron berlaku sebagai pembawa mayoritas dan *hole* sebagai pembawa minoritas.

Atom pentavalen disebut atom donor, karena mereka menghasilkan elektron pita konduksi.

Semikonduktor Tipe-p

Terbentuk jika kristal di-dop dengan atom-atom trivalen untuk mendapatkan tambahan *hole*. Untuk keadaan ini, hole berelaku sebagai pembawa mayoritas dan elektron pita konduksi sebagai pembawa minoritas.

Atom trivalen disebut juga atom akseptor, karena tiap hole dapat menerima elektron selama konduksi.

Semikonduktor yang di-dop sedikit memiliki resistansi. Resistansi ini disebut dengan resistansi bulk. Semikonduktor yang di-dop sedikit mempunyai resistansi bulk yang tinggi. Dengan bertambahnya doping, maka resistansi bulk akan berkurang.

Junction *p-n*

Junction (pertemuan) adalah daerah dimana semikonduktor tipe-*p* dan tipe-*n* bertemu, dan dioda junction adalah nama lain untuk kristal *pn*.

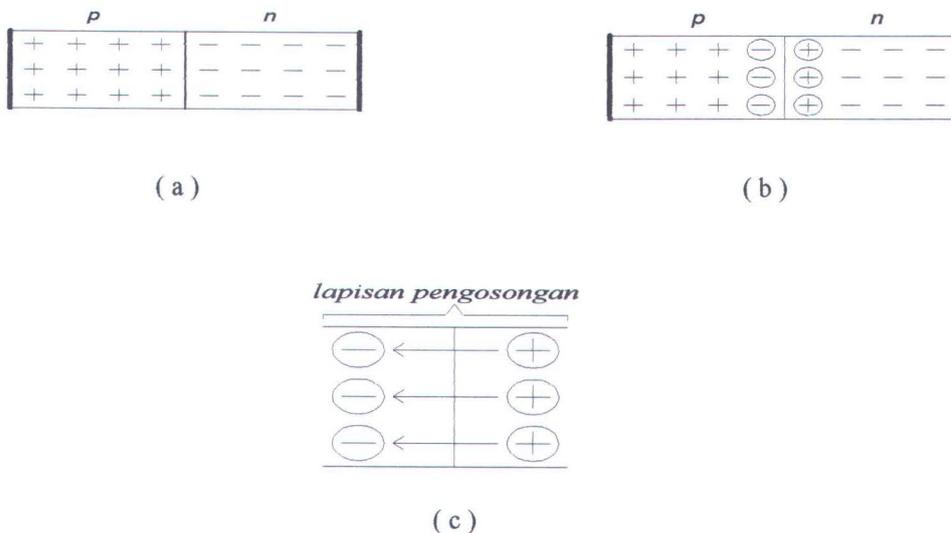
Dioda tanpa bias

Gambar 2.2a menunjukkan dioda *junction* tanpa bias, yang berarti tidak ada tegangan luar dikenakan pada dioda. Sisi *p* memiliki banyak *hole* dan sisi *n* memiliki banyak elektron pita konduksi.

Elektron pita konduksi pada sisi *n* cenderung untuk berdifusi (menyebar) ke segala arah. Beberapa berdifusi melewati junction. Elektron yang masuk daerah *p*, adalah pembawa minoritas. Pembawa minoritas dalam sisi *p* memiliki umur hidup yang singkat, karena akan segera jatuh ke dalam hole dan elektron pita konduksi

akan menjadi elektron valensi. Difusi elektron pita valensi melalui *junction* menghasilkan sepasang ion, gambar 2.2b menunjukkan ion-ion pada masing-masing *junction*. Ion tetap dalam struktur kristal karena ikatan kovalen dan tidak dapat berkeliling seperti elektron pita konduksi maupun *hole*. Tiap pasang ion positif dan ion negatif disebut *dipole*. Jika terbentuk beberapa *dipole*, daerah dekat *junction* dikosongkan dari muatan-muatan bergerak. Daerah pengosongan ini disebut dengan lapisan pengosongan (*depletion layer*).

Tiap *dipole* memiliki medan listrik (gambar 2.2c), anak panah menunjukkan arah gaya pada muatan positif. Jika elektron memasuki lapisan pengosongan, medan mencoba mendorong kembali elektron ke dalam daerah *n*. Kekuatan medan bertambah dengan berpindahannya tiap elektron sampai akhirnya menghentikan difusi elektron yang melewati *junction*.



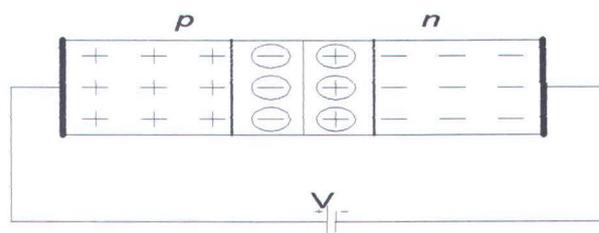
Gambar 2.2 Junction *p-n* (a) sebelum difusi. (b) sesudah difusi
(c) medan lapisan pengosongan.

Adanya medan diantara ion adalah ekivalen dengan perbedaan potensial yang disebut potensial barrier. Pada suhu ruang 25°C , potensial barrier kira-kira sama dengan $0,3\text{V}$ untuk dioda germanium dan $0,7\text{V}$ untuk dioda silikon.

Forward bias.

Gambar 2.3 menunjukkan dioda saat dibias forward. Elektron meninggalkan terminal negatif dan masuk ujung kanan kristal n . Elektron bergerak melalui daerah n sebagai elektron pita konduksi. Sampai mendekati *junction*, elektron bergabung dan menjadi elektron valensi. Dan terus bergerak dalam daerah p sebagai elektron valensi. Setelah sampai pada sisi kiri kristal, elektron mengalir ke dalam terminal positif sumber.

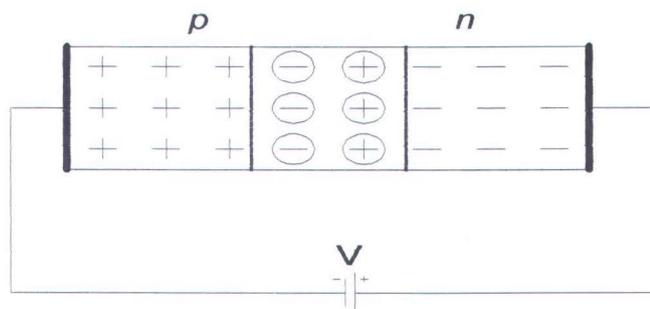
Forward bias merendahkan bukit energi, dengan cara ini diperoleh aliran elektron yang kontinu melalui dioda. Dioda dengan forward bias mudah konduksi, sebagai pendekatan ideal adalah saklar keadaan tertutup.



Gambar 2.3 Muatan dioda saat forward bias

Reverse bias

Jika rangkaian dioda pada gambar 2.3 dibalik polaritas sumber tegangan, berarti dioda di reverse bias (gambar 2.4)



Gambar 2.4 Muatan dioda saat reverse bias

Pada reverse bias lapisan pengosongan melebar, medan yang dihasilkan dari luar searah dengan arah melebarnya lapisan pengosongan.

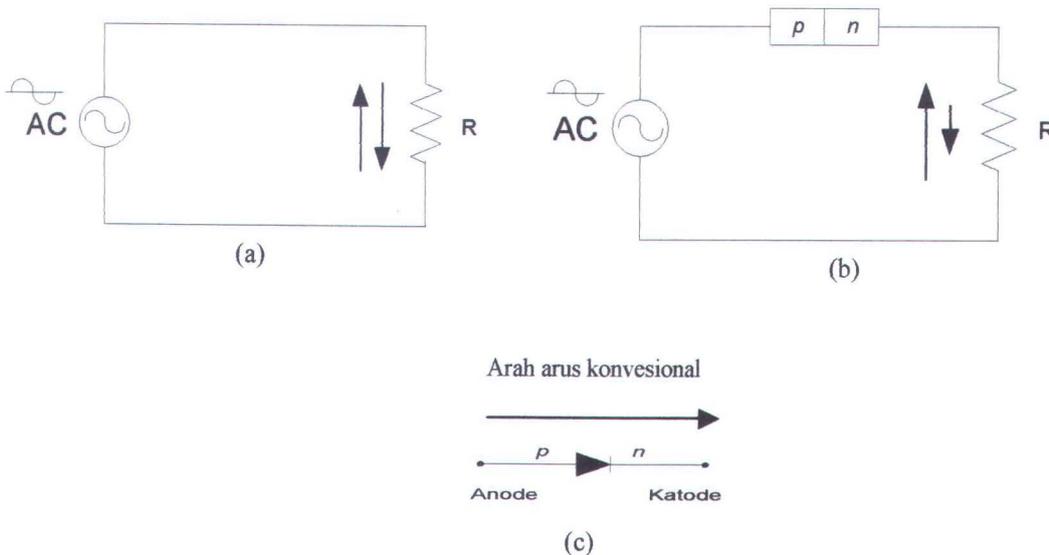
Sehingga *hole* dan elektron bergerak menuju ujung-ujung kristal menjauhi *junction*. Elektron bergerak meninggalkan ion positif dan *hole* meninggalkan ion negatif. Karena itu lapisan pengosongan bertambah lebar. Semakin besar lapisan pengosongan, semakin besar beda potensial pada lapisan pengosongan. Lapisan pengosongan berhenti bertambah, jika perbedaan potensial sama dengan tegangan reverse yang diberikan. Sehingga dengan demikian dioda dengan reverse bias sukar sekali konduksi, sebagai pendekatan idealnya adalah saklar keadaan terbuka.

2.1.2 Dioda Penyearah

Pada gambar 2.5a, ada suatu sumber bolak-balik (AC) mendorong elektron ke atas melalui resistor selama $\frac{1}{2}$ perioda positif tegangan input dan turun melalui resistor selama $\frac{1}{2}$ perioda negatif, hal yang serupa juga terjadi pada arus.

Jika rangkaian tersebut diberi dioda, seperti pada gambar 2.5b, menunjukkan bahwa $\frac{1}{2}$ perioda positif dari tegangan input akan memberikan bias forward pada dioda, sehingga dioda akan konduksi selama $\frac{1}{2}$ perioda positif. Dan

saat $\frac{1}{2}$ perioda negatif, dioda dibias reverse dan arus reverse yang mengalir adalah kecil.



Gambar 2.5. Dioda penyearah (a) Arah arus sama. (b) Arus disearahkan.

(c) Lambang dioda

Tanda panah besar menunjukkan aliran elektron keatas dan yang kecil untuk aliran ke bawah. Dioda telah menyearahkan arus AC, berarti mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah.

Secara simbolik dioda digambarkan seperti pada gambar 2.5c. Sisi *p* disebut *anoda* dan sisi *n* disebut *katoda*.

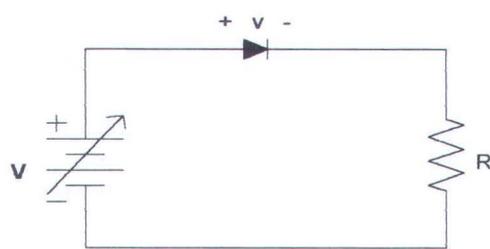
Dioda yang dibias forward konduksinya baik dan yang dibias reverse konduksinya buruk

2.1.2.1 Kurva Dioda Forward

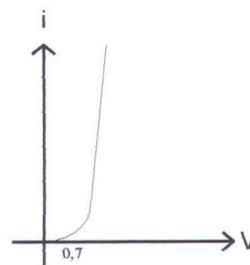
Gambar 2.6a menunjukkan sebuah rangkaian dioda yang dibias forward. Bentuk grafik dioda silikon terbias forward tampak seperti pada gambar 2.6b, dimana tegangan sebagai variabel bebas terletak pada sumbu horizontal. Dan arus sebagai variabel tak bebas terletak pada sumbu vertikal.

Dari grafik yang diperoleh, dapat dilihat bahwa dioda tidak dapat konduksi dengan baik hingga mencapai potensial barrier. Pada sepersepuluh volt pertama arus yang mengalir kecil. Saat mencapai 0,7 V, elektron pita konduksi dan *hole* mulai melewati *junction* dalam jumlah yang besar. Bersamaan pula dengan bertambahnya arus dengan cepat. Diatas 0,7 V, setiap penambahan 0,1 V menghasilkan pertambahan arus yang curam.

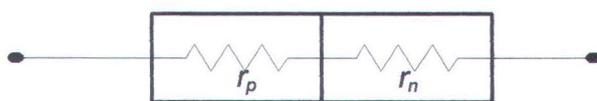
Tegangan dimana arus bertambah dengan cepat disebut tegangan knee dari dioda. Untuk dioda silikon, tegangan knee sama dengan potensial barrier kira-kira 0,7 V. Dioda germanium memiliki tegangan knee sekitar 0,3 V. Diatas tegangan knee penambahan tegangan sedikit saja pada dioda menyebabkan penambahan yang besar pada arus dioda.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 2.6 Rangkaian dan kurva dioda forward

(a) Rangkaian dioda. (b) Kurva forward. (c) Resistansi bulk. (d) Arus forward

Hal ini karena setelah melewati potensial barier, semua penghambat arus adalah resistansi daerah p dan n yang disimbolkan sebagai r_p dan r_n seperti pada gambar 2.6c, Resistansi ini disebabkan karena konduktor didaerah p dan n . jumlah resistansi ini disebut resistansi bulk dioda, yang dirumuskan sebagai:

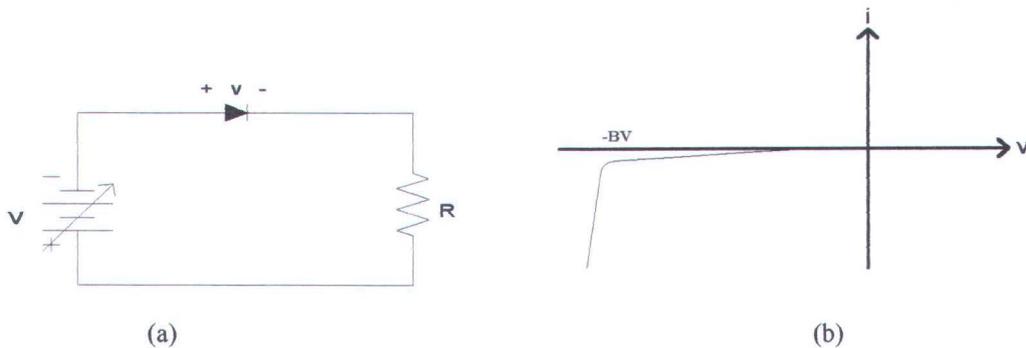
$r_B = r_p + r_n$, nilai r_B tergantung pada doping dan besarnya daerah p dan n , r_B pada umumnya bernilai dari 1 sampai 25 ohm.

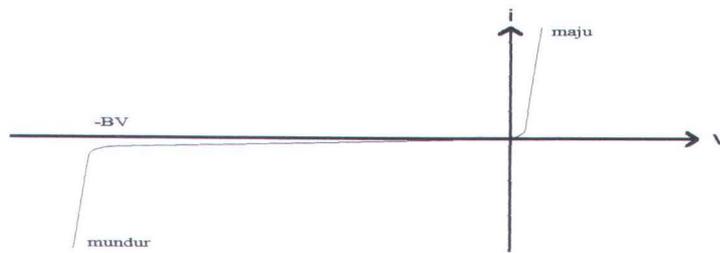
2.1.2.2 Kurva Dioda Reverse

Gambar 2.7a, adalah rangkaian dioda jika dibias reverse. Dari kurva reverse pada gambar 2.7b, tampak bahwa arus reverse adalah kecil.

Arus dioda sangat kecil untuk semua tegangan reverse yang lebih rendah daripada tegangan breakdown BV . Pada tegangan breakdown, arus bertambah dengan cepat untuk pertambahan tegangan yang sedikit saja.

Dengan menggunakan pendekatan harga positif untuk arus dan tegangan forward, dan harga negatif untuk arus dan tegangan reverse, maka dapat digambarkan kurva forward dan reverse pada sebuah grafik (pada Gambar 2.7c)





(c)

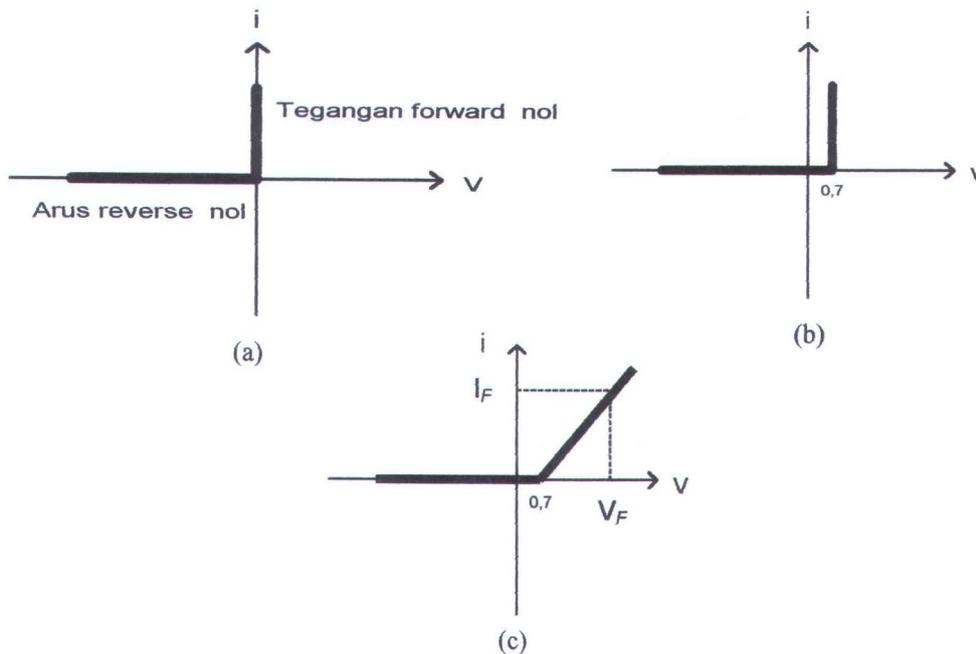
Gambar 2.7. Rangkaian dan kurva dioda reverse

(a) Bias reverse. (b) Kurva reverse. (c) Kurva lengkap dioda

2.1.2.3 Dioda Ideal

Secara ideal, dioda berlaku seperti konduktor sempurna (tegangan nol) jika dibias forward dan seperti isolator sempurna (arusnya nol) jika dibias reverse.

Seperti yang ditunjukkan gambar 2.8a.



Gambar 2.8 Kurva dioda ideal

(a) kurva dioda ideal. (b) kurva dioda pengaruh potensial barier

(c) kurva pengaruh r_B

Pada gambar 2.8b, menunjukkan kurva tegangan dioda dengan pengaruh potensial barier. Dengan aproksimasi bahwa sebelum dioda konduksi dengan baik

dibutuhkan tegangan sebesar 0,7 V. Dan sebelum mencapai 0,7 V tidak ada arus yang mengalir.

Sedangkan pada gambar 2.8c menunjukkan kurva dioda jika didalamnya kita masukkan resistansi bulk. Setelah dioda silikon konduksi, arus menghasilkan tegangan pada r_B . semakin besar arus, semakin besar pula tegangan. Setelah rangkaian luar mengatasi potensial barrier, kemudian memaksa arus konvensional searah dengan anak panah dioda. Tegangan total pada dioda silikon saat seperti ini adalah:

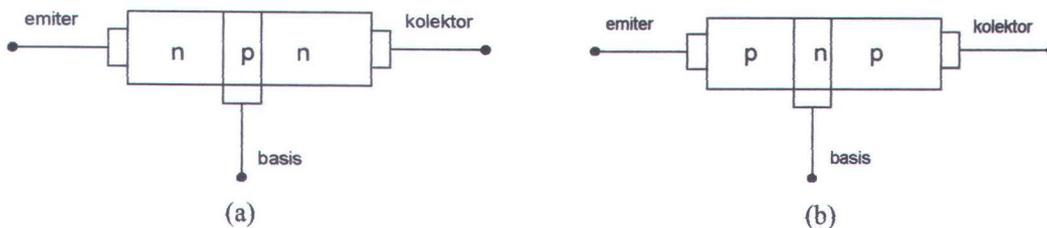
$$V_F = 0,7 + I_F r_B$$

Untuk dioda germanium digunakan tegangan knee 0,3 V

2.1.3 Transistor Bipolar

Untuk mendapatkan kristal npn atau pnp, dapat dilakukan dengan cara mendop semikonduktor. Kristal ini disebut sebagai transistor *junction*.

Daerah n memiliki banyak sekali elektron pita konduksi dan daerah p memiliki banyak sekali *hole*. Karena itu transistor *junction* sering juga disebut transistor bipolar.



Gambar 2.9 Tiga daerah transistor (a) Transistor NPN (b) Transistor PNP

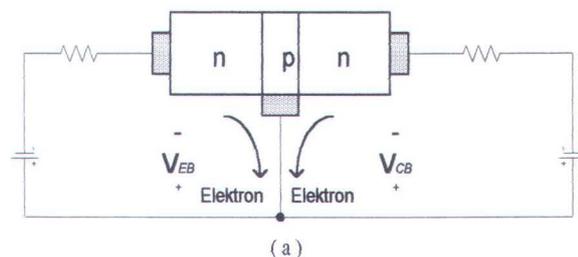
Gambar 2.9a, menunjukkan kristal *nnp*. Emiter di-dop sangat banyak, tugasnya adalah mengemisikan atau menginjeksikan elektron ke dalam basis. Basis di-dop sangat sedikit dan sangat tipis, basis melalukan sebagian besar elektron yang

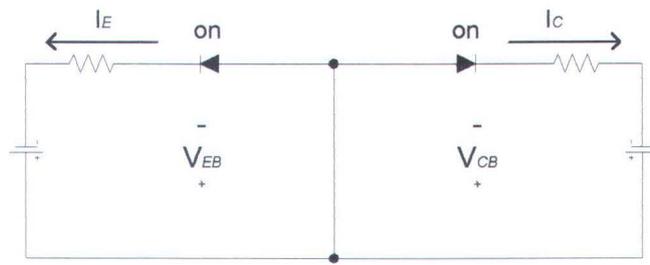
diinjeksikan emiter ke dalamnya menuju ke kolektor. Banyaknya doping pada kolektor adalah diantara banyaknya doping pada emitor dan pada basis. Kolektor merupakan yang terbesar diantara ketiga daerah tersebut. Transistor pada gambar 2.9a memiliki dua *junction*, yang satu adalah antara emiter dan basis, dan yang lain adalah antara basis dan kolektor. Karenanya transistor seperti dua dioda, dioda sebelah kiri disebut basis-emiter/dioda emiter, dan dioda sebelah kanan disebut basis-kolektor/dioda kolektor. Pada transistor *npn* adalah komplemen dengan transistor *pnp*, dalam hal ini diperlukan arus dan tegangan yang berlawanan dengan arus dan tegangan pada transistor *pnp*.

Seperti halnya pada dioda, pembawa mayoritas bergerak melewati *junction*. Elektron bebas berdifusi melewati *junction* sehingga menghasilkan dua daerah pengosongan. Untuk setiap lapisan pengosongan potensial barrier transistor silikon kira-kira 0,7V pada suhu ruang 25°C (untuk germanium 0,3V). Karena ada tiga daerah, lapisan pengosongan tidak memiliki lebar yang sama.

2.1.3.1 Bias Forward-Forward.

Gambar 2.10a menunjukkan bias forward-forward. Karena dioda emiter dan dioda kolektor dibias forward. Pembawa melewati kedua *junction* dan mengalir ke bawah melalui basis.





(b)

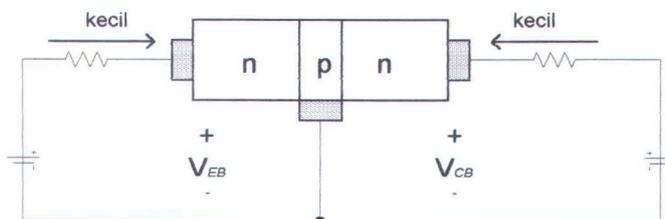
Gambar 2.10 Bias FF

(a) Rangkaian sebenarnya (b) Rangkaian ekivalen

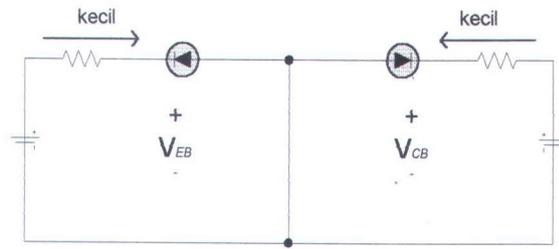
Gambar 2.10b menunjukkan rangkaian ekivalen untuk bias FF. Tegangan emiter-basis V_{EB} mem-bias forward dioda emiter dan menghasilkan arus konvensional I_E . Begitupula yang terjadi pada dioda kolektor, tegangan kolektor-basis V_{CB} mem-bias forward dioda kolektor dan menghasilkan arus konvensional I_C .

2.1.3.2 Bias Reverse-Reverse

Transistor juga dapat dibias reverse-reverse seperti pada gambar 2.11a. Untuk keadaan ini, hanya arus kecil yang mengalir yang terdiri dari arus saturasi yang dihasilkan secara thermal dan arus bocor permukaan. Komponen yang dihasilkan secara thermal bergantung pada suhu dan kira-kira berlipat dua setiap kenaikan 10°C . Gambar 2.11b adalah rangkaian ekivalen untuk bias reverse-reverse. Kedua dioda ter buka kecuali jika V_{EB} dan V_{CB} melampaui tegangan breakdown dioda.



(a)



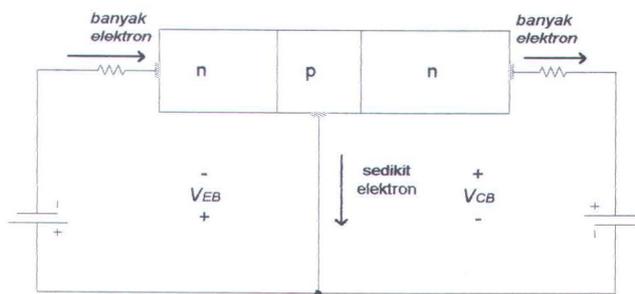
(b)

Gambar 2.11 Bias RR

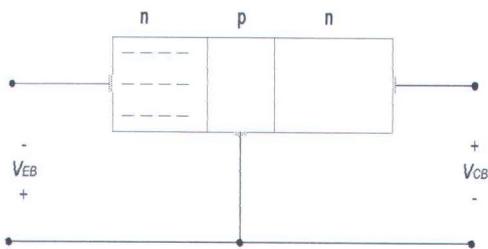
(a) Rangkaian sebenarnya (b) Rangkaian ekivalen

2.1.3.3 Bias Forward-Reverse

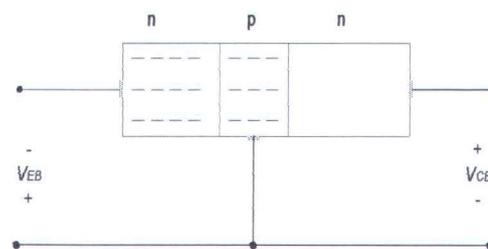
Dioda emiter dibias forward, dioda kolekter dibias reverse adalah cara lain pada pembiasan dioda. Pada cara ini arus emiter menjadi besar karena dibias forward, begitupula arus kolekter juga besar karena dibias reverse



(a)

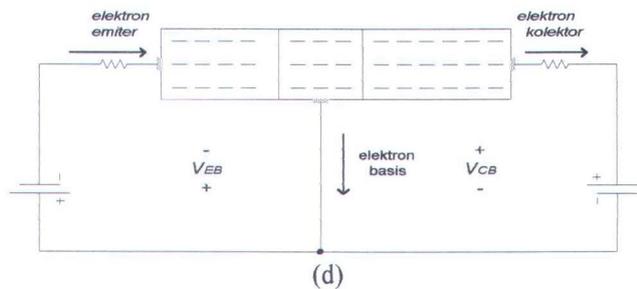


(b)



(c)





Gambar 2.12 Bias FR

- (a) Rangkaian sebenarnya (b) Elektron bebas dalam emiter (c) Elektron bebas memasuki basis (d) Elektron bebas berdifusi ke dalam kolektor

Pada saat bias forward diberikan pada dioda emiter, elektron-elektron dalam emiter belum memasuki daerah basis (gambar 2.12b). Saat V_{EB} lebih besar daripada potensial barier, banyak elektron memasuki daerah basis (gambar 2.12c). Elektron mengalir ke dua arah, pertama mengalir ke bawah basis yang tipis menuju kawat basis, atau melewati junction kolektor menuju ke dalam daerah kolektor.

Dalam kerja transistor basis sangat tipis. Dalam gambar 2.12c basis penuh dengan elektron pita konduksi yang dimasukkan dan menyebabkan difusi ke dalam lapisan pengosongan kolektor. Saat memasuki lapisan pengosongan, elektron didorong oleh medan lapisan pengosongan ke dalam daerah luar kolektor (gambar 2.12d). Elektron kolektor kemudian mengalir ke dalam daerah kawat kolektor luar.

Alpha dc suatu transistor menunjukkan hubungan antara arus kolektor dan arus emitor, didefinisikan sebagai:

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E} \quad (2.1)$$

Secara ideal α_{dc} sama dengan 1, jika semua elektron yang diinjeksikan menuju kolektor.

Sedangkan β_{dc} suatu transistor adalah hubungan antara arus kolektor dengan arus basis, yang didefinisikan sebagai:

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} \quad (2.2)$$

β_{dc} sering pula disebut sebagai penguatan arus.

Hubungan α_{dc} dengan β_{dc} .

Hukum Kirchhoff menyatakan:

$$I_E = I_C + I_B \quad (2.3)$$

jika dibagi I_C , maka: $\frac{I_E}{I_C} = \frac{I_C}{I_C} + \frac{I_B}{I_C}$ atau

$$\frac{1}{\alpha_{dc}} = 1 + \frac{1}{\beta_{dc}}$$

dengan aljabar dapat disusun menjadi:

$$\beta_{dc} = \frac{\alpha_{dc}}{1 - \alpha_{dc}} \quad (2.4)$$

atau dapat dinyatakan dalam α_{dc} dalam term β_{dc} :

$$\alpha_{dc} = \frac{\beta_{dc}}{\beta_{dc} + 1} \quad (2.5)$$

2.1.3.4 Rangkaian Transistor.

Base bersama

Rangkaian ini didapat dengan mengetanahkan base transistor.

Sifat-sifat dari rangkaian ini antara lain:

- Penguatan arus lebih kecil dari satu.
- Penguatan tegangan tinggi.
- Penguatan daya relatif besar.
- Tahanan input pada rangkaian emiter relatif rendah (sekitar 60Ω).
- Tahanan output pada rangkaian kolektor relatif tinggi (sekitar $100 \text{ K}\Omega$).
- Sinyal masukan dan keluaran sefasa

Emiter bersama

Rangkaian ini didapat dengan mengetanahkan emiter transistor.

Sifat-sifat dari rangkaian ini antara lain:

- Penguatan arus tinggi.
- Penguatan tegangan tinggi.
- Penguatan daya sangat tinggi.
- Tahanan masukan relatif rendah (sekitar 680Ω).
- Tahanan keluaran sedang (sekitar $20 \text{ K}\Omega$)
- Sinyal masukan dengan sinyal keluaran berbeda fasa 180° .

Kolektor bersama

Rangkaian ini didapat dengan mengetanahkan kolektor transistor.

Sifat-sifat dari rangkaian ini antara lain:

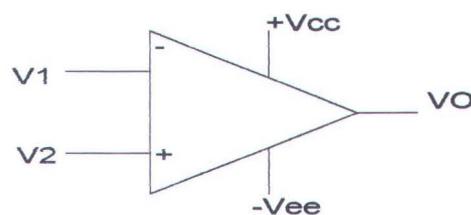
- Penguatan arus sangat besar.
- Penguatan tegangan lebih kecil dari satu, yakni tegangan keluaran lebih kecil dari tegangan masukan.
- Penguatan daya sangat rendah.

- Tahanan masukan tinggi.
- Tahanan keluaran rendah.
- Sinyal masukan dan sinyal keluaran sefasa.

Rangkaian dengan emiter bersama biasa dipakai sebagai penguatan, karena memiliki penguatan tegangan dan arus yang lebih dari pada satu, oleh karena itu penguatan dayanya sangat baik.

2.1.4 Penguat Operasional.

Penguat operasional (Operational Ampilfier) merupakan komponen elektronika yang dirancang sesuai dengan rangkaian untuk melakukan operasi-operasi matematis seperti penjumlahan, pengurangan, pembagian, perkalian, integral maupun diferensial dari suatu tegangan listrik. Op-Amp sering juga digunakan untuk perhitungan-perhitungan analog, instrumentasi, maupun aplikasi kontrol. Op-Amp mempunyai lima terminal dasar yaitu dua terminal untuk mensuplai daya, dua terminal untuk masukan dan satu terminal keluaran, yang bentuknya telah diintegrasikan pada sebuah IC (chip). Simbol dari Op-Amp diperlihatkan seperti gambar 2.13. Op-Amp merupakan dasar penguat differensial dengan perbedaan tegangan pada inputnya.



Gambar 2.13 Simbol Op-Amp

Terminal-terminal Op-Amp

➤ Terminal Suplai Daya

Terminal suplai daya ditandai $+V_{cc}$ dan $-V_{ee}$. Suplai dayanya adalah suplai bipolar atau suplai simetris yang memiliki harga khas sebesar $K15v, K12v$, dan $K6v$ (dilihat dari data sheet). Tegangan suplai maksimum yang dapat diterapkan antara $+V_{cc}$ dan $-V_{ee}$ adalah $\pm 18 V$.

➤ Terminal masukan

Dua terminal masukan yang bertanda (-) dan (+). Masukan (-) ditandai sebagai masukan pembalik atau inverting input dan masukan (+) ditandai sebagai masukan tak membalik atau non inverting input. Dan keduanya disebut terminal-terminal masukan differensial karena tegangan keluaran V_o besarnya tergantung pada perbedaan tegangan antara dua terminal itu (E_d) dan gain dari penguatannya (A_{ol}). Polaritas keluaran (V_o) hanya tergantung pada perbedaan tegangan antara masukan tak membalik (V_2) dan masukan pembalik (V_1). Perbedaan tegangan ini dapat dicari dengan ;

$$E_d = V_2 - V_1$$

Satu sifat penting yang lain dari terminal-terminal masukan adalah impedansi yang tinggi antara keduanya dan juga di antara tiap terminal masukan dengan ground.

➤ Terminal keluaran

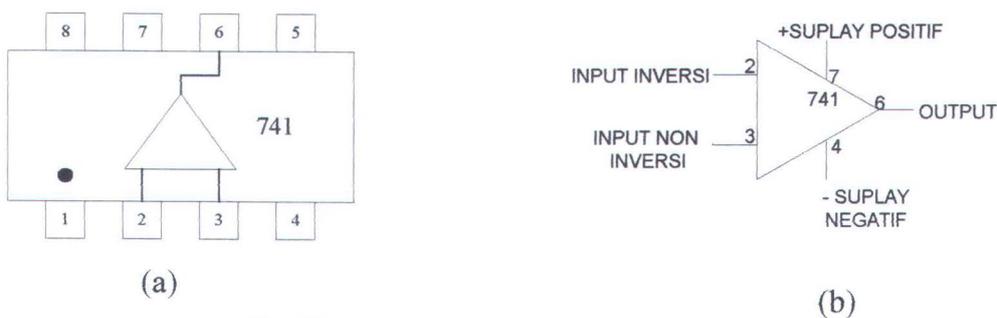
Tegangan keluaran V_o diukur terhadap ground. Batas atas dari V_o disebut tegangan kejenuhan positif ($+V_{sat}$) dan batas bawahnya disebut tegangan

kejenuhan negatif ($-V_{sat}$) sehingga besar V_o berisolasi diantara batas-batas tersebut. $V_o = E_d \cdot A_{ol}$

Penguat Operasional 741 (Op-Amp 741)

Penguat operasional atau Op-Amp 741 dapat diperoleh dalam bentuk bulat seperti halnya sebuah transistor, atau dalam kemasan plastik segi empat dengan 8 pin atau 14 pin. Di dalam kemasan plastik Op-Amp 741 terdapat sebuah chip silikon yang kecil yang terdiri atas rangkain penguat linier yang lengkap. Rangkaian yang rumit ini terdiri atas 20 transistor, 11 resistor, dan sebuah kapasitor.

Sebagai Penguat Op-Amp 741 melakukan operasi penguatan terhadap sinyal input-nya. Sinyal-sinyal input yang masuk dalam penguat operasional ini adalah tegangan-tegangan input dan sinyal output-nya adalah sebuah tegangan output. Penguat operasional melakukan operasi penguatan terhadap selisish antara dua tegangan input. Karena alasan tersebut kadang-kadang penguat ini disebut penguat diferensial.



Gambar 2.14 Penguat Op-Amp 741

(a) Simbol diagram Op-Amp 741 (b) Hubungan-hubungan pin pada 8 pin Op-Amp 741 DIL

Op-Amp 741 memiliki dua terminal input dan satu terminal output serta memiliki dua terminal untuk suplay daya. Simbol Diagram Op-Amp 741 ditunjukkan pada gambar 2.14(b).

Hubungan Pin pada Op-Amp 741 ditentukan dari sebuah diagram pandangan atas dari kemasan dual-in-line. Penomoran pin dari 1 sampai 8 ditetapkan berlawanan arah jarum jam, seperti pada gambar 2.14(a).

Fungsi dari pin-pin Op-Amp 741 yaitu :

- PIN 1: Pengatur Nol : Hubungan pada terminal ini tidak dibutuhkan dalam rangkaian-rangkaian.
- PIN 2: Input inversi
- PIN 3: Input non inversi
- PIN 4: Dihubungkan dengan terminal negatif pencatu daya
- PIN 5: Pengatur nol
- PIN 6: Output
- PIN 7: Dihubungkan dengan terminal positif pencatu daya
- PIN 8: Tidak ada hubungan

2.1.5 Elektronika Digital.

Peralatan dengan bentuk apapun, selama memiliki sifat-sifat logika digital dalam pengoperasiannya, akan dapat dibuat perangkat digitalnya.

Selain biaya perakitannya lebih rendah dari perangkat mekanik, dimensi yang diperlukan untuk perangkat ini juga jauh lebih kecil dari perangkat mekanik.

Namun komponen ini lebih peka terhadap gangguan-gangguan luar seperti panas, getaran, tegangan, dan berbagai bentuk radiasi lainnya. Oleh sebab itu perlu diperhitungkan faktor keselamatan dari penggunaan peralatan ini. Pada

umumnya tegangan catu digital adalah 5 Volt dc untuk tipe TTL dan 18 Volt dc untuk tipe Mos.

2.1.5.1 Gerbang Logika.

Setiap rangkaian logika mempunyai satu atau lebih jalan masukan (input) dan memiliki satu jalan keluaran (output). Pola dasar yang mempunyai satu atau lebih jalan masukan dan satu jalan keluaran disebut *gate circuit* atau gerbang logika.

Beberapa macam gerbang yang merupakan dasar dari seluruh rangkaian dapat dibagi menjadi:

AND gate (gerbang AND).

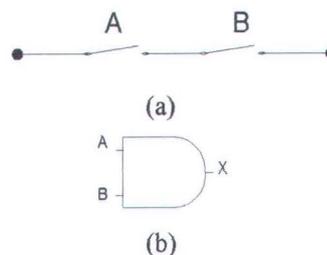
Gerbang AND adalah suatu rangkaian logika dimana nilai keluarannya akan menjadi satu (1), apabila semua nilai masukannya adalah satu (1), pada tabel kebenaran (tabel 2.1). Dalam aliran listrik dinyatakan sebagai dua saklar dengan hubungan seri (gambar 2.15a)

Berdasarkan aljabar Boolean dinyatakan dengan persamaan :

$$X = A \times B \quad (2.6)$$

A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabel 2.1



Tabel 21. Tabel kebenaran gerbang AND.

Gambar 2.15 Gerbang AND (a) Analogi gerbang AND dengan dua saklar hubungan seri (b) Simbol gerbang AND.

OR gate (gerbang OR)

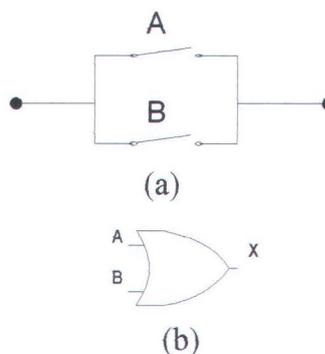
Gerbang OR adalah suatu rangkaian logika dimana keluarannya akan bernilai satu (1), jika salah satu atau semua nilai masukannya bernilai satu (1), pada tabel kebenaran (tabel 2.2). Dalam aliran listrik dianalogikan sebagai dua saklar yang dihubung paralel (gambar 2.16a).

Berdasarkan aljabar Boolean dinyatakan dengan persamaan:

$$X = A + B \quad (2.7)$$

A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Tabel 2.2



Tabel 2.2 Tabel kebenaran gerbang OR

Gambar 2.16 Gerbang OR (a) Analogi gerbang OR dengan dua saklar dihubung paralel. (b) Simbol gerbang OR

NOT gate (gerbang NOT)

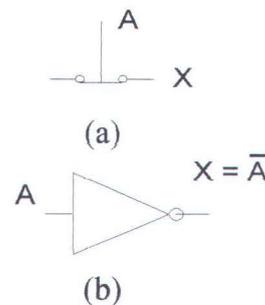
Gerbang NOT merupakan jalinan penyangkal, dalam bidang elektronika dikenal dengan istilah inverter. Jika masukannya bernilai satu (1), maka pada keluarannya akan bernilai nol (0). Begitupula jika masukannya bernilai nol (0), keluarannya akan bernilai satu (1), pada tabel kebenaran (tabel 2.3).

$$\text{Persamaan aljabar Boolean } X = \bar{A} \quad (2.8)$$

Dalam aliran listrik digambarkan sebagai saklar yang apabila tidak bekerja kontaknya terhubung, gambar 2.17a.

A	X
0	1
1	0

Tabel 2.3



Tabel 2.3 tabel kebenaran gerbang NOT

Gambar 2.17 Gerbang NOT (a) Analogi gerbang NOT dengan saklar tertutup
(b) simbol gerbang NOT

2.1.5.2 IC Gerbang Logika.

Sampai saat ini gerbang-gerbang logika telah diintegrasikan dalam suatu rangkaian elektronika dalam bentuk kepingan (chip).

74LS08 merupakan IC TTL gerbang AND dengan 2 jalan masuk, dalam satu IC terdapat 4 gerbang AND. 74LS32 merupakan IC TTL gerbang OR dengan 2 jalan masuk, dalam satu IC terdapat 4 gerbang OR.

74LS04 merupakan IC TTL gerbang NOT, dengan 6 gerbang NOT dalam satu IC.

(Untuk lebih jelas dapat dilihat pada lembar lampiran.)

2.1.6 Transformator.

Transformator adalah suatu peralatan listrik statis yang berfungsi meneruskan/memindahkan energi listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian yang lain dengan besaran tegangan atau arus berubah namun frekuensi tetap.

2.1.6.1 Bagian-Bagian Transformator.

Inti besi.

Terbuat dari semacam silikon besi yang disusun berlapis-lapis.

Berfungsi sebagai media untuk gandengan magnet (fluksi magnetik), selain itu juga sebagai tempat untuk lilitan kumparan.

Lilitan kumparan.

Terbuat dari kawat tembaga, alumunium, atau super konduktor (untuk trafo tertentu yang bekerja pada suhu $<0^{\circ}\text{C}$).

Macam-macam lilitan:

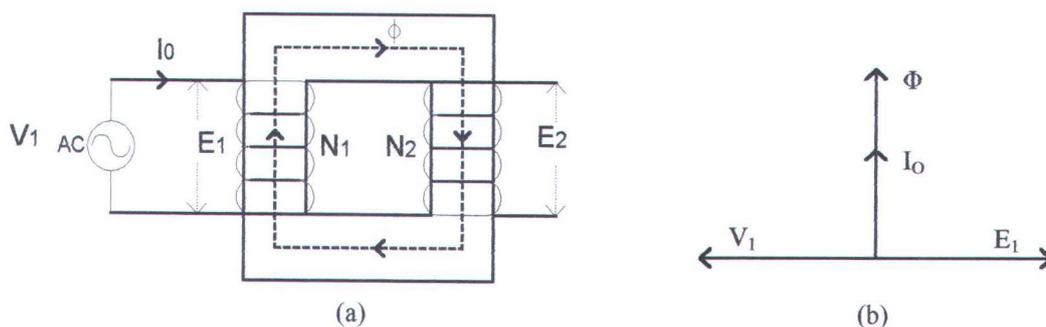
- Lilitan primer: belitan yang terhubung dengan masukan (input) transformator. Bagian ini terhubung dengan tegangan sumber.
- Lilitan sekunder: belitan ini terhubung dengan keluaran (output) transformator. Bagian ini terhubung dengan rangkaian beban.

2.1.6.2 Prinsip Kerja Transformator

Apabila suatu kumparan dialiri tegangan bolak-balik V_1 (sinusoid) maka akan mengalir arus I_0 yang juga bolak-balik, dan tertinggal 90° dari tegangan V_1 (jika belitan kumparan reaktif murni).

Arus I_0 akan menimbulkan fluks (Φ) yang sefasa dan berbentuk sinusoid.

Seperti nampak pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Prinsip kerja transformator (a) Rangkaian transformator (b) Diagram vektor

Persamaan fluks yang dihasilkan adalah:

$$\phi = \phi_{maks} \sin \omega t \quad (2.9)$$

Fluks sinusoid akan menghasilkan tegangan induksi e_1 (hukum Faraday)

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$e_1 = -N_1 \frac{d(\phi_{maks} \sin \omega t)}{dt} = -N_1 \omega \phi_{maks} \cos \omega t \quad (\text{tertinggal } 90^\circ \text{ dari } \Phi)$$

harga efektif E_1 adalah:

$$E_1 = \frac{N_1 \cdot 2\pi \cdot f \cdot \phi_{maks}}{\sqrt{2}} = 4,44 N_1 \cdot f \cdot \phi_{maks}$$

Pada rangkaian sekunder fluks menimbulkan tegangan e_2 .

$$e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

$$E_2 = \frac{N_2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot \phi_{maks}}{\sqrt{2}} = 4,44 N_2 \cdot f \cdot \phi_{maks}$$

dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor didapat persamaan:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (2.10)$$

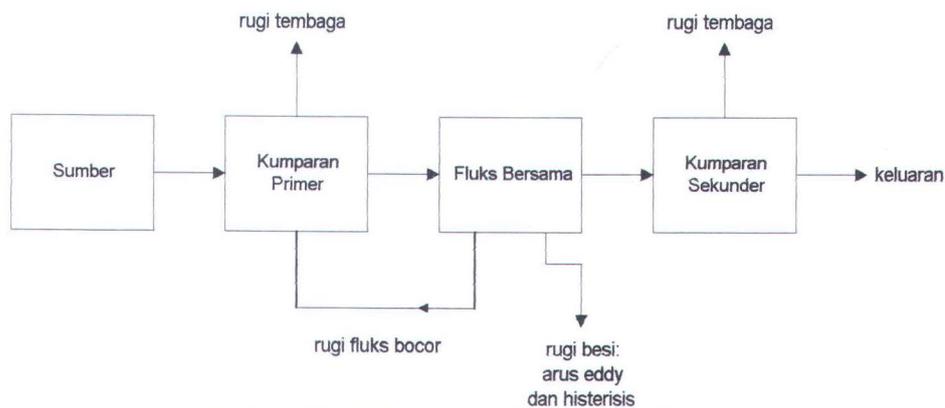
a = perbandingan transformasi

Dalam hal ini tegangan induksi E_1 mempunyai kebesaran yang sama namun berlawanan arah dengan sumber tegangan V_1 .

2.1.6.3 Rugi-Rugi Transformator.

Pada transformator yang dialiri suatu sumber tegangan arus bolak-balik, terdapat sejumlah rugi-rugi yang dapat mempengaruhi efisiensi kerja suatu transformator.

Adapun jenis dari pada rugi-rugi yang dapat terjadi pada kerja transformator nampak pada skema gambar 2.19.



Gambar 2.19 Skema rugi-rugi transformator

- Rugi tembaga (P_{cu}).

Rugi yang disebabkan arus beban yang mengalir melalui kawat tembaga,

$$P_{cu} = I^2 R \quad (2.11)$$

Karena arus pada beban berubah-ubah nilainya, maka besarnya rugi tembaga juga tidak tetap dan tergantung pada beban.

- Rugi besi (P_i).

Rugi besi terdiri atas:

1. Rugi Histerisis, yaitu rugi yang disebabkan fluks bolak-balik pada inti besi.
2. Rugi 'arus eddy', yaitu rugi yang disebabkan arus pusar pada inti.

Sehingga rugi besi adalah penjumlahan dari rugi histerisis dan rugi 'arus eddy'.

2.1.7 Motor Satu Phasa.

Seperti halnya transformator, prinsip kerja motor juga memakai hukum-hukum elektromagnet. Yang membedakan antara motor dengan transformator ialah bahwa hasil dari konversi tenaga listrik pada motor berupa tenaga mekanik

(gerak). Sehingga dengan demikian motor dapat didefinisikan sebagai alat listrik yang dapat mengubah (mengkonversi) tenaga listrik menjadi energi mekanik.

Motor jenis satu fasa sudah jarang sekali ditemui pengoperasiannya pada dunia industri, namun bukan berarti motor ini tidak lagi digunakan. Motor satu fasa lebih banyak digunakan pada rumah tangga.

Ada beberapa jenis motor induksi satu fasa yang dirancang untuk berbagai keperluan yang berbeda.

Struktur motor induksi satu fasa sama dengan motor induksi tiga fasa jenis rotor sangkar, kecuali kumparan stator yang hanya terdiri dari satu fasa.

2.1.7.1 Prinsip Kerja

Lain halnya dengan motor induksi tiga fasa, yang berputar dengan adanya perbedaan slip yang menghasilkan medan putar pada kumparan statornya.

Motor induksi satu fasa tidak menghasilkan medan putar. Sumber tegangan bolak-balik yang sinusoid akan menghasilkan fluks yang sinusoid pula ($e = \frac{d\phi}{dt}$).

Fluks sinusoid menghasilkan medan pulsasi. Bila keadaan fluks sebagai fungsi waktu adalah: $\phi = \phi_m \cos \omega t$ (2.12)

Maka fluks sebagai fungsi waktu dan ruang adalah:

$$\phi = \phi_m \cos \omega t \cos \theta \quad (2.13)$$

dimana ωt = kecepatan dan θ = sudut ruang

$$\text{atau: } \phi = \frac{1}{2} \phi_m \cos(\theta - \omega t) + \frac{1}{2} \phi_m \cos(\theta + \omega t) \quad (2.14)$$

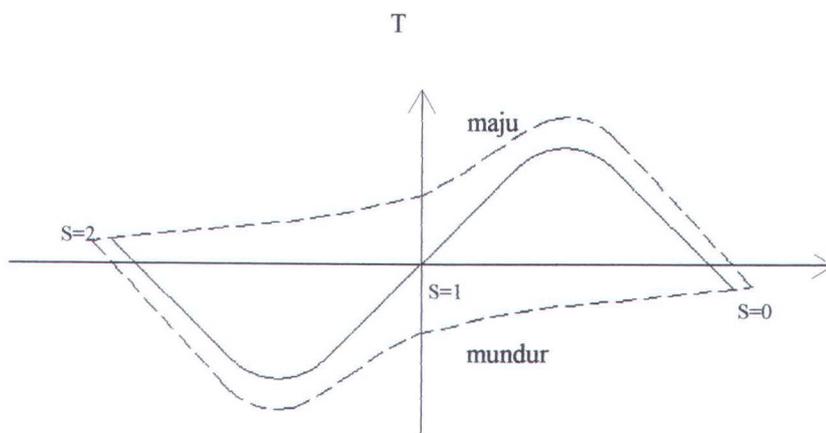
dengan demikian fluks yang dihasilkan pada kumparan fasa tunggal merupakan fluks dengan dua komponen, yaitu komponen fluks dengan arah maju/sinkron

$\frac{1}{2}\phi_m \cos(\theta - \omega t)$ dan komponen fluks dengan arah mundur/invers

$\frac{1}{2}\phi_m \cos(\theta + \omega t)$. Kedua komponen fluks tersebut bergerak berlawanan arah

dengan kecepatan sudut ωt yang sama, sehingga kedudukannya terhadap ruang seolah-olah tetap. Kopel yang dihasilkan kedua komponen fluks ini juga sama besar dan berlawanan arah seperti terlihat pada gambar 2.20.

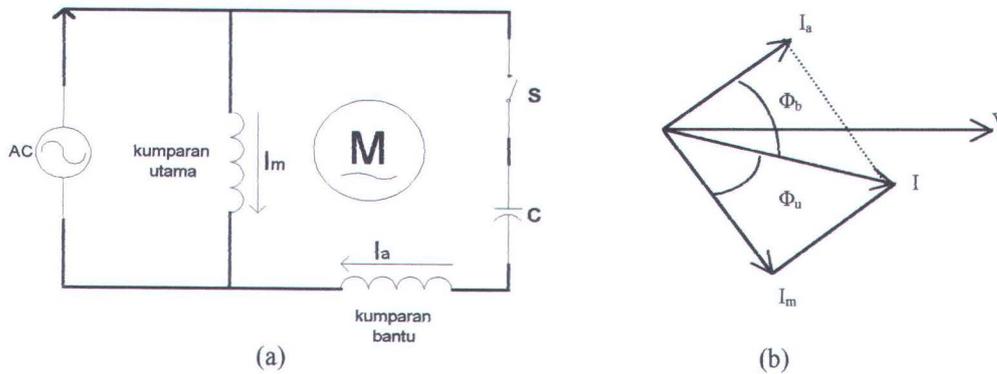
Kopel resultan yang dihasilkan kedua komponen fluks tersebut mempunyai kemampuan untuk menggerakkan motor dengan arah maju atau mundur. Saat start kemampuan motor untuk gerak maju sama besarnya dengan kemampuan motor untuk gerak mundur, sehingga motor tetap diam. Perlu suatu alat bantu untuk dapat memberikan kopel mula dengan arah yang maju atau mundur untuk dapat menggerakkan motor sesuai dengan arah kopel bantu yang diberikan.



Gambar 2.20 Lengkung kopel putaran

Kopel bantu biasanya dilakukan dengan melengkapkan motor satu fasa dengan sebuah kumparan bantu dan sebuah kapasitansi atau hambatan dalam

hubungan seri dan dipararel dengan kumparan utama seperti terlihat pada gambar 2.21.

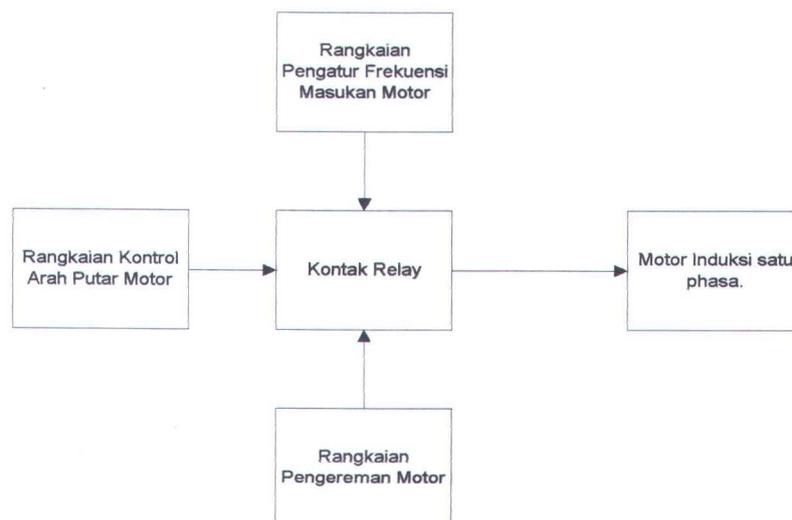


Gambar 2.21(a) Rangkaian ekivalen motor induksi satu fasa (b) diagram vektor arus terhadap tegangan

Dengan dipasangnya kapasitor pada rangkaian kumparan bantu, akan diperoleh beda fasa 90° antara arus kumparan utama I_m dengan arus kumparan bantu I_a yang mendahului 90° .

2.2 TEORI RANGKAIAN SISTEM

Bagan dari sistem yang akan dibahas nampak seperti gambar 2.22.



Gambar 2.22 Diagram perencanaan sistem

Dari gambar diagram perencanaan sistem diatas akan dibahas empat tahapan pokok dalam teori tentang rangkaian sistem. Adapun empat tahapan pokok itu antara lain:

1. IC digital TTL sebagai implementasi dari kontrol sekuen bersama dengan kontak relay sebagai titik temu antara ketiga rangkaian utama, seperti terlihat pada bagan.
2. Pengereman motor.
3. Pengatur frekuensi.

2.2.1 Rangkaian Digital.

Kontrol sequent yang biasa digunakan untuk pengoperasian mesin-mesin listrik saat ini terasa kurang efektif, setelah hadirnya suatu sistem kontrol berbasis mikrokontroler seperti misal *PLC (Programmable Logic Control)*.

Sistem seperti *PLC* menawarkan berbagai pilihan yang dapat dilakukan dengan mudah dan memberikan keefektifan yang jauh lebih baik daripada kontrol sekuen.

Namun biaya yang diperlukan untuk memiliki suatu sistem dengan basis *PLC* jauh lebih mahal di banding dengan biaya untuk suatu kontrol sekuen.

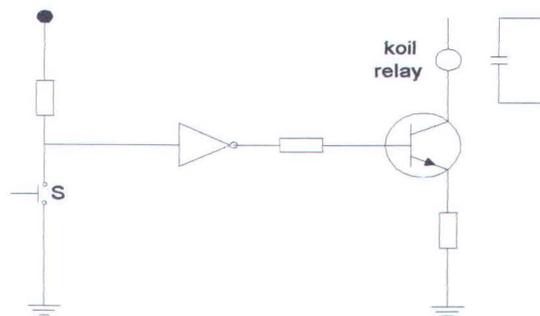
Dari persoalan ini kontrol dengan basis digital ternyata cukup efektif digunakan sebagai pengganti sekuen maupun *PLC*. Karena sistem dengan dasar digital tidak membutuhkan biaya yang terlalu besar dan pengopersiannya juga tidak terlalu rumit. Sehingga dengan begitu kontrol dengan basis digital dapat dipakai sebagai alternatif.

2.2.1.1 Dasar Rangkaian Digital

Dengan dasar operasi gerbang logika, operasi instrumen listrik dalam bentuk apapun yang mensifati watak digital tentu bisa dioperasikan dengan rangkaian digital. Salah satu komponen listrik yang memiliki sifat digital yaitu saklar, sehingga fungsi pensaklaran dapat juga diterapkan dalam bentuk digital.

Rangkaian gerbang NOT.

Aplikasi rangkaian NOT tampak seperti pada gambar 2.23. Jika saklar s ditekan (on), maka koil relay tidak bekerja. Namun sebaliknya, jika saklar s tidak ditekan (off), maka kumparan relay bekerja (on).

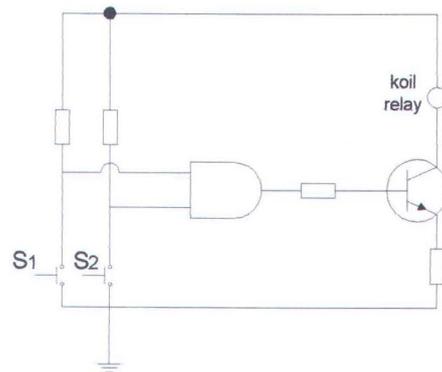


Gambar 2.23 Aplikasi rangkaian NOT

Rangkaian gerbang AND.

Seperti dibahas dalam subbab komponen II.1.5.1, gerbang AND merupakan jalinan logika konjungsi, yang dianalogikan dengan hubungan seri dua buah saklar. Rangkaian aplikasi terlihat pada gambar 2.24.

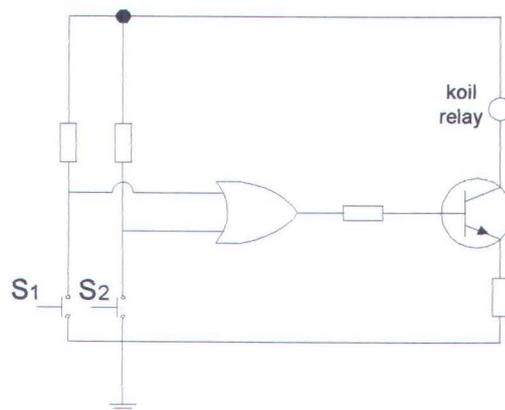
Sesuai tabel kebenaran gerbang AND (tabel 2.1), maka kumparan relay akan bekerja jika kedua saklar s_1 dan s_2 diteka (on). Apabila hanya salah satu saklar saja yang ditekan (on), maka kumparan relay tidak bekerja (off). Sifat ini sesuai dengan logika yang dimiliki gerbang AND.



Gambar 2.24 Aplikasi rangkaian AND.

Rangkaian gerbang OR.

Gerbang OR merupakan jalinan logika disjungsi. Terlihat pada tabel 2.2, bahwa logika keluaran (output) satu diperoleh jika salah satu atau kedua masukan (input) berlogika satu. Apabila kedua input berlogika nol, maka pada output berlogika nol. Hal ini terjadi karena gerbang OR dianalogikan sebagai dua saklar yang dihubungkan paralel. Rangkaian aplikasi dari pada gerbang OR terlihat pada gambar 2.25. Kumparan relay bekerja (on) jika salah satu saklar (s_1 atau s_2) ditekan (on).



Gambar 2.25 aplikasi rangkaian OR

Suatu pernyataan digital diperlukan untuk merangkaikan beberapa dasar gerbang logika. Adapun dasar daripada pernyataan digital dirumuskan dalam aljabar Boolean dan hukum-hukum De Morgan.

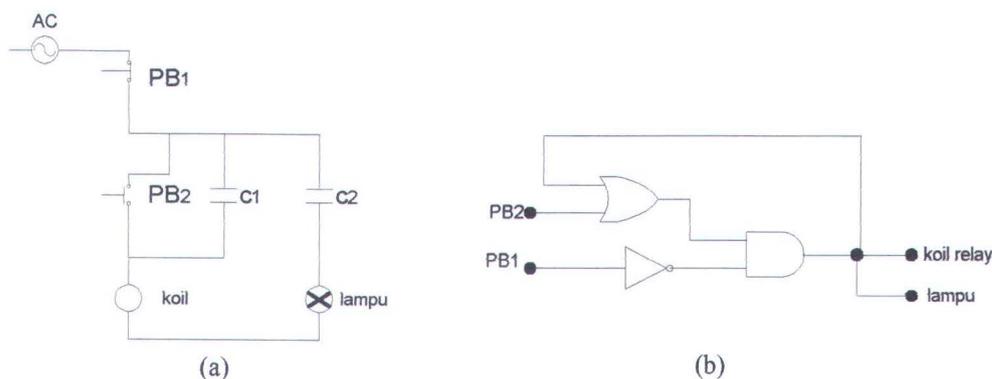
2.2.1.2 Rangkaian Self Holding

Rangkaian pada gambar 2.26a, adalah rangkaian penahan model sekuen. Rangkaian ini jika dinyatakan dalam pernyataan digital menjadi:

$$C = PB_1 \cdot (PB_2 + C_1)$$

$$X = PB_1 \cdot C_2$$

Prinsip kerja dari rangkaian tersebut adalah jika push-button dua ditekan ($PB_2 = \text{on}$), maka arus mengalir dari sumber tegangan menuju kumparan relay dan menyebabkan kontak relay yang semula terbuka (open=NO) menjadi tertutup (close=NC). Saat push-button dua dilepas (off), aliran arus masih terus berlangsung lewat kontak c_1 yang masih tertutup bersamaan dengan keadaan ini lampu yang terhubung dengan c_2 juga menyala. Pemutusan aliran arus pada rangkaian dilakukan dengan menekan push button satu (PB off), dengan demikian kumparan relay tidak bekerja dan lampu akan padam karena kontak c_2 terbuka.



Gambar 2.26 Rangkaian self holding

(a) Rangkaian penahan sekuen (b) Rangkaian penahan digital

Pada gambar 2.26b adalah rangkaian penahan sekuen yang dinyatakan dalam pernyataan digital.

2.2.1.3 Rangkaian Interlock

Rangkaian pengunci (interlock) sering digunakan pada rangkaian sekuen yang digunakan untuk mengoperasikan peralatan/rangkaian listrik yang lebih dari satu. Rangkaian ini berfungsi untuk mengunci peralatan/rangkaian yang lain apabila ada suatu peralatan yang sedang dioperasikan. Rangkaian interlock dalam bentuk sekuen diperlihatkan pada gambar 2.27a. adapun pernyataan digital rangkaian tersebut adalah:

$$K_1 = PB_1 \cdot (PB_2 + C_1) \cdot \overline{C_2}$$

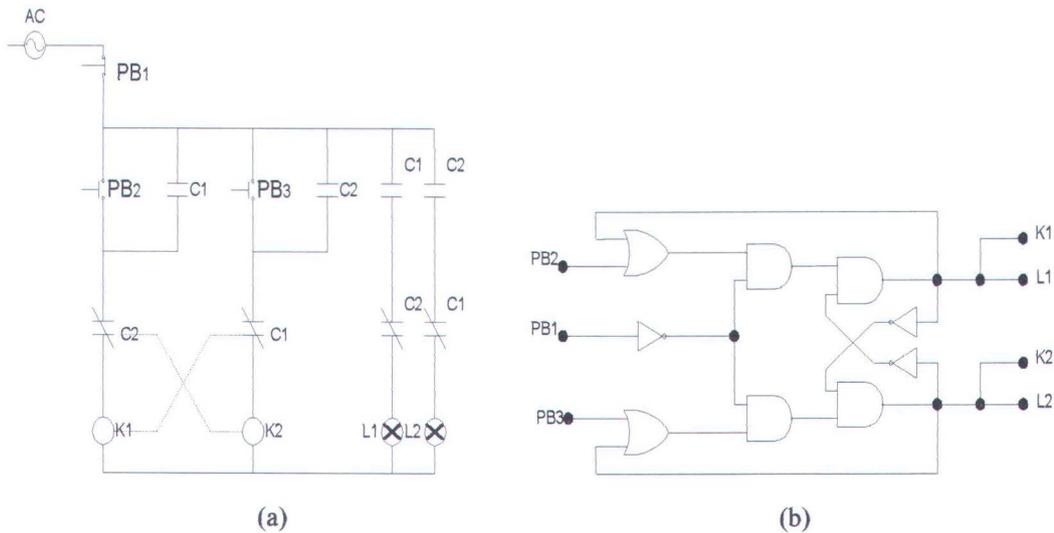
$$K_2 = PB_1 \cdot (PB_3 + C_2) \cdot \overline{C_1}$$

$$L_1 = PB_1 \cdot C_1 \cdot \overline{C_2}$$

$$L_2 = PB_1 \cdot C_2 \cdot \overline{C_1}$$

prinsip kerja dari aliran arus listrik adalah jika PB_2 ditekan (on) maka arus listrik mengalir menuju kumparan satu (K_1), pada saat yang sama lampu L_1 juga menyala. K_1 akan terus bekerja walaupun PB_2 dilepas (off), karena ada self holding . selama K_1 bekerja kumparan K_2 tidak dapat dikerjakan hanya dengan menekan PB_3 , hal ini karena pada kumparan dua diberi rangkaian interlock dengan menambahkan kontak normaly close pada koil dua. Begitupun jika kumparan dua bekerja koil satu juga tidak dapat dikerjakan, sampai ditekan PB_1 untuk memutuskan aliran arus dalam rangkaian dan dapat mengaktifkan kumparan yang lain.

Pada gambar 2.27b adalah bentuk rangkaian interlock yang dinyatakan dalam bentuk digital



Gambar 2.27 Rangkaian Interlock (a) bentuk sekuen (b) bentuk digital

2.2.1.4 Relay

Keluaran (ouput) dari rangkaian digital berupa tegangan searah kurang lebih 5 V. Tegangan output ini yang digunakan untuk sinyal pada relay. Relay dalam hal ini adalah relay dc, berfungsi sebagai media penerus dengan prinsip elektromagnetik, kumparan relay yang dialiri arus akan menggerakkan kontak. Kontak relay dihubungkan dengan tegangan yang lebih tinggi, yang diperlukan peralatan listrik yang dikontrol.

2.2.2 Sistem Pengereman Dengan Arus Searah.

Persoalan pengereman motor sama pentingnya dengan persoalan saat menjalankan motor. Suatu motor yang dipakai sebagai penggerak lift harus dapat dihentikan dengan baik. Untuk itulah diperlukan suatu pengereman untuk mendapatkan ketepatan waktu pada saat motor berhenti.

Suatu motor berputar n putaran dengan digerakkan oleh suatu medan putar yang memiliki kecepatan putar n_s , yaitu putaran sinkron. Apabila medan putar ini

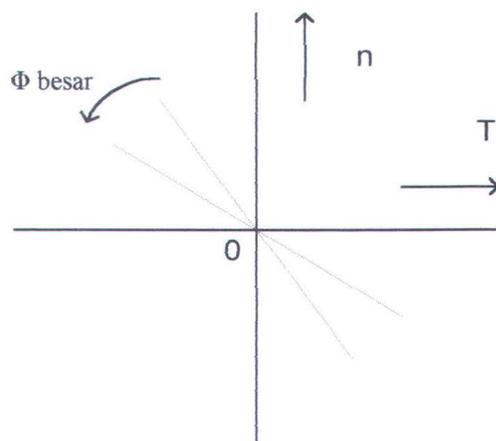
dihilangkan maka tidak ada lagi suatu daya dorong yang menggerakkan rotor, sehingga lambat laun rotor akan berhenti berputar. Proses pemberhentian motor dengan menghilangkan medan putar ini akan dapat dipercepat dengan mengalirkan arus searah pada kumparan stator. Arus searah ini akan menghasilkan medan statis. Saat rotor berputar dalam medan statis, maka dalam rotor akan diinduksikan suatu gaya gerak listrik E , yang akan mengalirkan arus induksi I .

Gaya gerak listrik E dan arus induksi I yang dihasilkan berbanding lurus dengan putaran n . Sehingga kopel yang dihasilkan akan sebanding dengan arus I dan fluks Φ . Dengan demikian motor bekerja sebagai generator.

Karena : $T \sim I\Phi \sim n$ atau : $T \sim n$

Sehingga lengkung kopel rem ini sebagai fungsi dari putaran n merupakan garis lurus melalui titik nol sebagaimana terlihat pada gambar 2.28.

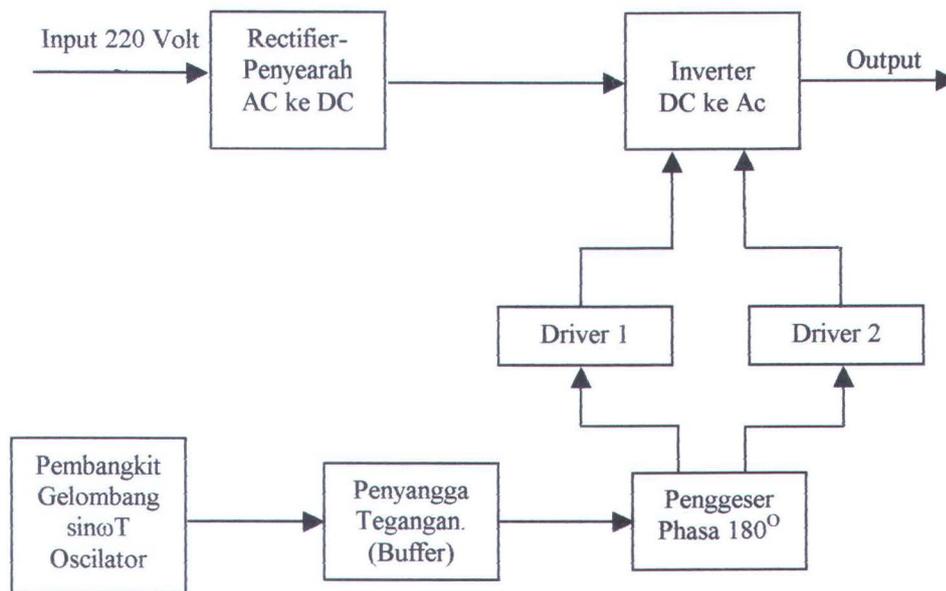
Jika fluks diperbesar atau tegangan searah yang diberikan semakin besar, maka kopel pengereman yang dihasilkan akan semakin kuat, dan yang terjadi pada proses penghentian motor akan semakin cepat.



Gambar 2.28 Kopel lengkung putaran

2.2.3 Pengaturan Frekuensi.

Frekuensi yang terdapat pada tegangan bolak-balik dapat diatur dengan cara langsung maupun tidak langsung. Dengan cara langsung misal dengan cycloconverter dimana tegangan input bolak-balik tidak perlu disearahkan, sedangkan cara tidak langsung yakni dengan menyearahkan tegangan bolak-balik terlebih dahulu kemudian baru di rubah ke tegangan bolak-balik dengan frekuensi yang dapat diatur melalui inverter dc ke ac. Adapun bagan dari pengatur frekuensi dengan cara tidak langsung dapat dilihat pada gambar 2.29



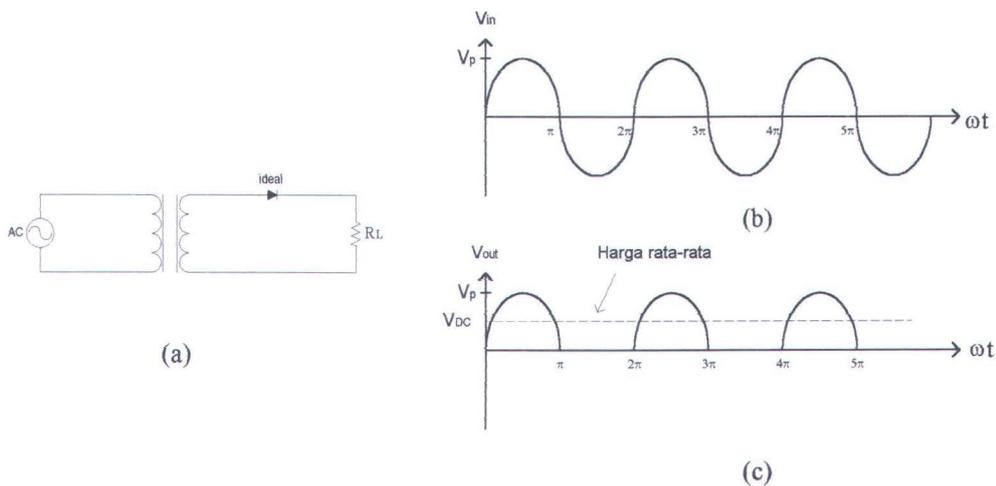
Gambar 2.29 Diagram rangkaian pengatur frekuensi

2.2.3.1 Penyearah AC ke DC (Rectifier)

Penyearah (rectifier) adalah suatu rangkaian yang dapat mengubah sistem arus bolak-balik (ac) menjadi sistem arus searah (dc). Oleh karena perubahan ini rectifier termasuk dalam rumpun converter. Ada beberapa jenis rangkaian penyearah dioda.

2.2.3.1.1 Penyearah Setengah Gelombang.

Gambar 2.30a memperlihatkan suatu rangkaian penyearah setengah gelombang. Pada setengah siklus positif tegangan jala-jala, dioda dibias forward. Sedangkan pada setengah siklus negatif dioda dibias reverse. Karena itu tegangan pada R_L merupakan sinyal setengah gelombang seperti pada gambar 2.30c. Gambar 2.30b menunjukkan bentuk gelombang masukan dari tegangan jala-jala.



Gambar 2.30 Penyearah setengah gelombang (a) Rangkaian (b) sinyal input (c) sinyal output

Harga rata-rata tegangan output dc dari sinyal setengah tegangan adalah:

$$V_{DC} = \frac{V_p}{\pi} \quad (2.15)$$

dimana : $V_p = V_{rms} \sqrt{2}$ dan $\pi \cong 3,14$

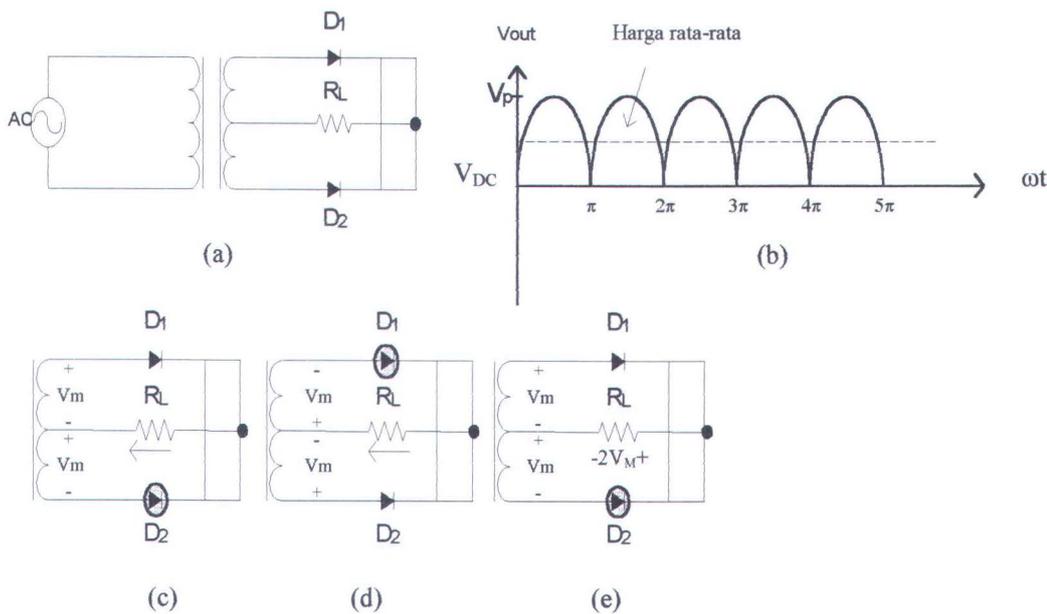
Perioda sinyal output adalah sama dengan perioda pada sinyal input, terlihat pada gambar 2.30c.

Saat dioda terbias reverse tegangan maksimum sekunder transformator muncul pada dioda. Tegangan maksimum ini dikenal sebagai tegangan inverse puncak

(peak inverse voltage = PIV). *PIV* mewakili tegangan maksimum yang harus ditahan dioda selama bagian reverse dari siklus.

2.2.3.1.2 Penyearah Gelombang Penuh Dengan Trafo Tap-Tengah.

Gambar 2.31a menunjukkan penyearah tap-tengah (center-tap rectifier). Selama setengah siklus positif tegangan sekunder dioda D_1 dibias forward dan dioda D_2 dibias reverse. Sehingga arus mengalir melalui D_1 - R_L - setengah lilitan atas (gambar 2.30c).



Gambar 2.31 Penyearah tap-tengah

Sedangkan selama setengah perioda negatif, arus melalui dioda D_2 - R_L -dan setengah lilitan bawah (gambar 2.31d). Dalam gambar 2.31c dan 2.31d arah arus beban adalah sama. Sehingga tegangan beban merupakan sinyal gelombang penuh seperti ditunjukkan pada gambar 2.31b.

Harga rata-rata sinyal gelombang penuh dc adalah:

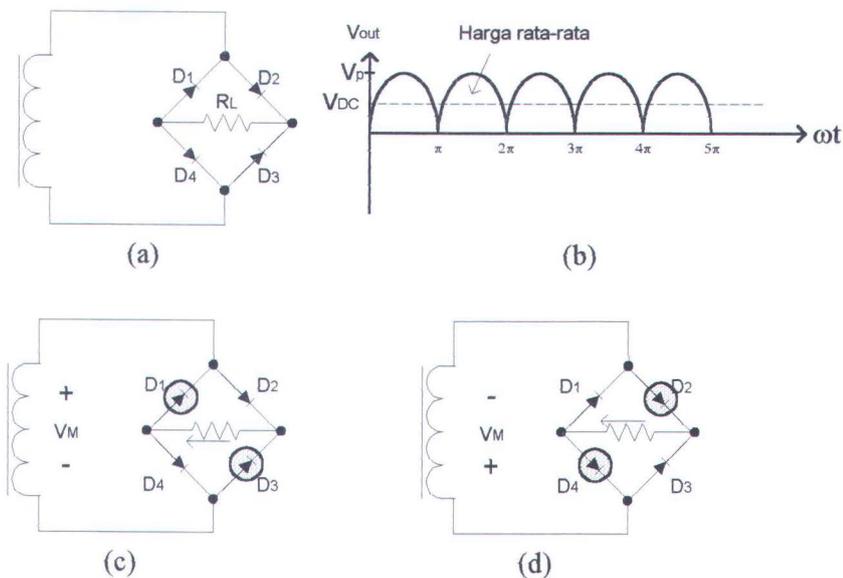
$$V_{dc} = \frac{2v_p}{\pi} \quad (2.16)$$

pada gambar 2.31b, perioda sinyal output adalah setengah dari perioda sinyal input, dalam hal ini setiap siklus sinyal input menghasilkan dua siklus output ($f_{out} = 2f_{in}$).

Gambar II.31e menunjukkan rangkaian pada saat tegangan sekunder mencapai harga maksimum V_M . V_M adalah tegangan pada setengah lilitan sekunder sehingga tegangan reverse pada dioda yang tidak konduksi adalah $2V_M$.

2.2.3.1.3 Penyearah Gelombang Penuh Jembatan

Gambar 2.32a menunjukkan suatu penyearah dioda gelombang penuh dengan metoda jembatan.



Gambar 2.32 Penyearah Jembatan

Selama setengah siklus positif tegangan sekunder, dioda D_2 dan D_3 dibias forward, sehingga arus beban ke arah kiri, gambar 2.32c.

Selama setengah siklus negatif, dioda D_1 dan D_4 dibias forward arah arus beban juga ke kiri, gambar 2.32d. Arah arus beban memiliki arah yang sama sehingga sinyal gelombang penuh seperti pada gambar 2.32b.

Tegangan beban rata-rata adalah sama dengan pada persamaan 2.16. Tegangan inverse puncak dan frekuensi outputnya juga sama dengan tegangan inverse puncak dan frekuensi output pada penyearah gelombang penuh dengan tap-tengah.

Faktor Ripple.

Faktor ripple adalah suatu ukuran untuk menentukan kesempurnaan dari tegangan atau arus dari catu daya. Faktor ripple di definisikan sebagai:⁽¹⁾

$$\gamma = \frac{\text{Harga efektif tegangan AC}}{\text{Harga rata-rata tegangan DC}}$$

Harga efektif dari arus beban total adalah:

$$I_{rms} = \sqrt{I_{dc}^2 + I_{ac}^2} \quad (2.17)$$

dimana I_{ac} dapat dicari dan faktor ripple dapat di tulis sebagai berikut:⁽²⁾

$$\gamma = \sqrt{\{(I_{rms} / I_{dc})^2 - 1\}} \quad (2.18)$$

Rangkaian setengah gelombang jika dibebani dengan beban resistif murni akan memberikan faktor ripple sebesar 1,21 atau 121%. Sedangkan rangkaian gelombang penuh memberikan faktor ripple 0,48 atau 48%. Semakin kecil harga faktor ripple pada suatu pencatu daya maka akan semakin baik.

⁽¹⁾ John D. Ryder, Electronic Fundamental and Application 4th Edition, Prentice Hall of India Privated Limited, New Delhi, 1971, P.103

⁽²⁾ Ibid, P.105

Rangkaian Filter.

Rangkaian filter digunakan dengan tujuan untuk menghapus faktor ripple atau paling tidak memperkecil faktor ripple, sehingga dengan demikian daya yang masuk pada beban terbebas dari pengaruh harmonisa-harmonisa.

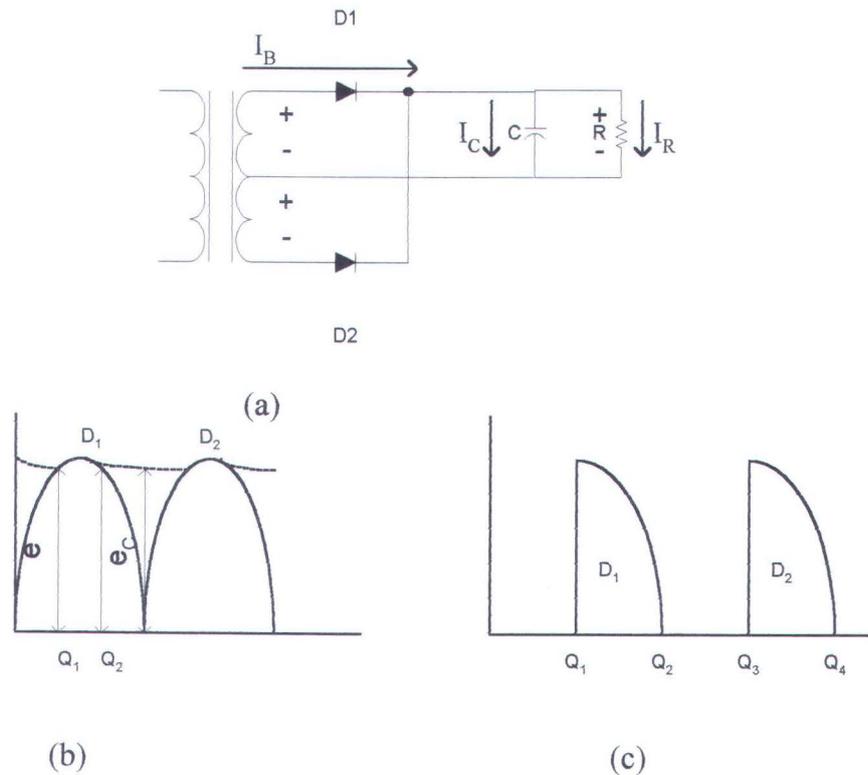
Dalam upaya menghilangkan faktor ripple pada tegangan beban maka di ciptakan bermacam-macam filter sesuai dengan tujuannya.

Pada rangkaian konverter AC-DC dalam tugas akhir ini merupakan fungsi tegangan dan menggunakan rangkaian filter kapasitor shunt, oleh karenanya pembahasan rangkaian filter dititik beratkan pada kapasitor shunt.

Gambar 2.33a merupakan bentuk dari rangkaian kapasitor shunt. Kapasitor shunt merupakan bentuk yang efisien dan sederhana dari sebuah rangkaian filter. Dengan memilih kapasitansi sehingga $XC \ll R$, dan arus bolak-balik yang terdapat pada reaktansi shunt (pada C) sangat tinggi. Oleh karenanya arus bolak-balik yang lewat R sangat kecil dan hanya akan menghasilkan tegangan ripple yang kecil.

Prinsip kerja dari rangkaian filter tersebut adalah:

Pada setengah perioda positif dioda D_1 dibias dibias forward sehingga on, dan dioda D_2 off. Saat tegangan e mulai turun sampai e_2 maka hubungan sumber dengan beban terputus. Beban akan mendapat supply daya dari kapasitor sampai Q_3 . Pada setengah perioda negatif berikutnya D_1 off, dan D_2 on. Maka beban mendapat supply daya dari sumber sampai Q_4 . Proses ini berlangsung terus menerus, sehingga terbentuk gelombang tegangan dan arus seperti nampak pada gambar 2.33b dan 2.33c



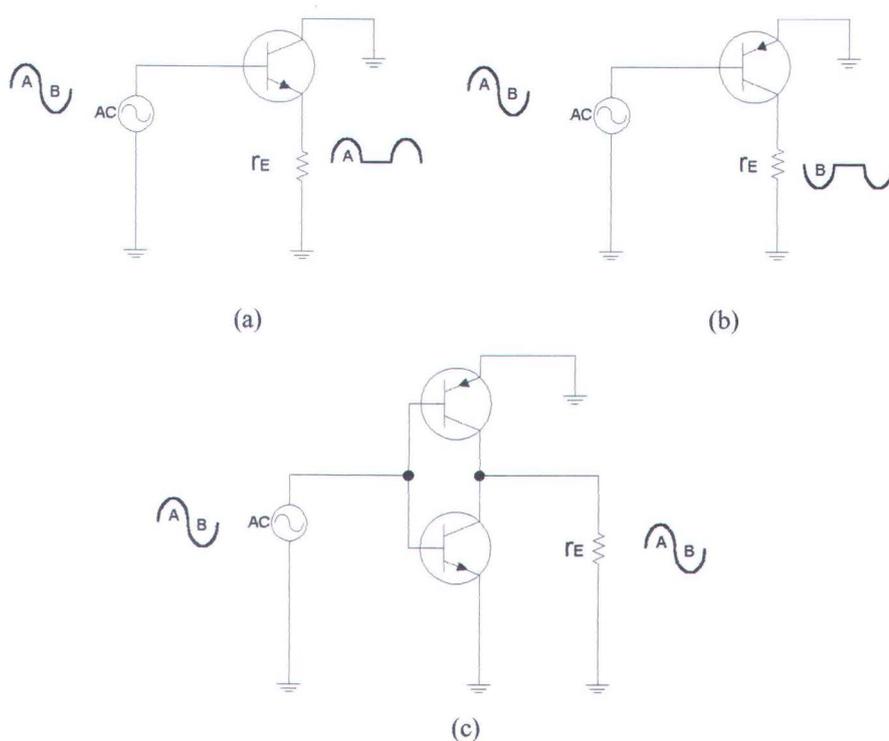
Gambar 2.33 Filter kapasitor shunt

(a) Rangkaian (b) Bentuk sinyal gelombang tegangan

(c) Bentuk sinyal gelombang arus

2.2.3.2 Transistor Dengan Operasi *push-pull*.

Transistor dengan rangkaian *push-pull* terlihat pada gambar 2.34c, terdiri dari dua transistor *nnp* dan *pnnp* yang dirangkai bersama pada pengikut emiternya. Pada gambar 2.34a menunjukkan rangkaian ekuivalen ac untuk sebuah pengikut emiter transistor *nnp*. Selama setengah perioda positif dari tegangan sumber, dioda emiter dinyalakan (turned on). Selama setengah perioda negatif dari tegangan sumber, dioda emiter dibias balik, sehingga tidak ada arus yang mengalir. Oleh sebab itu tegangan pada r_E adalah sinyal setengah gelombang



Gambar 2.34 Rangkaian ekivalen ac

Pada pengikut emiter *pnp* dalam gambar 2.34b, yang terjadi selama setengah perioda positif tegangan sumber adalah dioda emiter dibias balik sehingga tidak ada arus kolektor yang mengalir. Dan pada setengah perioda negatif dari tegangan sumber, dioda emiter dibias maju, sehingga arus mengalir melalui r_E dengan polaritas negatif terhadap pentanahan, hal ini tampak pada gambar sinyal output tegangan pada r_E adalah setengah siklus negatif.

Untuk mendapatkan rangkaian balans dapat dilakukan dengan menggabungkan dua pengikut emiter seperti terlihat pada gambar 2.34c.

Transistor atas *nnp* bertugas memelihara setengah siklus positif dari tegangan sumber, transistor bawah *pnp* bertugas memelihara setengah siklus negatif dari tegangan sumber. Dengan cara ini maka diperoleh sinyal tegangan

output berupa gelombang sinus lengkap. Kerja dari rangkaian ini adalah melengkapi tiap setengah siklus, yaitu arus dan tegangan dari setengah siklus sama dan berlawanan dengan setengah siklus yang lainnya.

Rangkaian *push-pull* yang lain dapat diperoleh dengan cara menggabungkan dua penguat emiter bersama (common emitter).

2.2.3.3 Rangkaian Penguat Operatif (Op-Amp).

Penguat operatif memiliki fungsi yang serbaguna dan mudah dalam penggunaannya. Karena alasan ini penguat operatif tidak hanya digunakan sebagai penguat umpan balik negatif, tetapi juga untuk pembentukan gelombang, penyaringan (filtering), dan operasi matematis. Sub-bab ini membahas beberapa penggunaan dari penguat operatif.

2.2.3.3.1 Rangkaian Pengikut Tegangan.

Rangkaian voltage follower sering disebut rangkaian buffer, penguat gain 1, atau penguat isolasi. rangkaian ini mengisolasi sinyal input dari beban dengan penguat tahap gain 1, seperti pada gambar 2.35a. Voltage follower mempunyai impedansi input yang tinggi dan impedansi output yang rendah. Tegangan input (V_{in}) dimasukkan dalam non inverting input dari Op-Amp (+). Maka persamaan tegangan outputnya yaitu

$$V_{in} = V_{out} \quad (2.19)$$

Karena tegangan antar terminal input pada Op-Amp dianggap 0. Besarnya output sama dengan tegangan input baik tanda maupun besarnya, karenanya tegangan output mengikuti tegangan input, voltage follower gain tegangannya 1, terlihat pada persamaan :

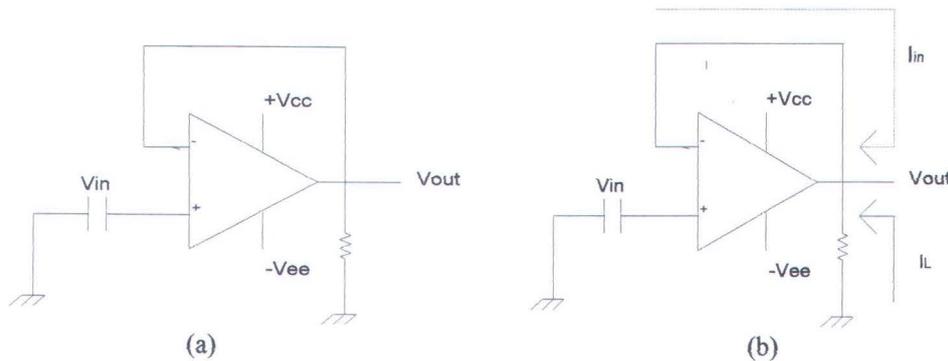
$$A_{cl} = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (2.20)$$

Jika pada rangkaian voltage follower diberi beban, seperti pada gambar 2.35b maka besarnya arus pada beban dapat diturunkan dari hukum ohm

$$I_L = \frac{V_{out}}{R} \quad (2.21)$$

sehingga arus pada terminal output besarnya dapat diperoleh sesuai persamaan

$$I_{out} = I_{in} + I_L \quad (2.22)$$



Gambar 2.35 Rangkaian pengikut tegangan

(a)Rangkaian Voltage Follower (b)Rangkaian Voltage Follower dengan Beban

2.2.3.3.2 Pembangkit Gelombang Sinus.

Pembangkit gelombang sinus dengan menggunakan op-amp dikenal dengan rangkaian oscilator. Dalam rangkaian ini sebagian dari output diberikan kembali pada input, sinyal umpan balik ini merupakan satu-satunya sinyal input pada penguat dalamnya.

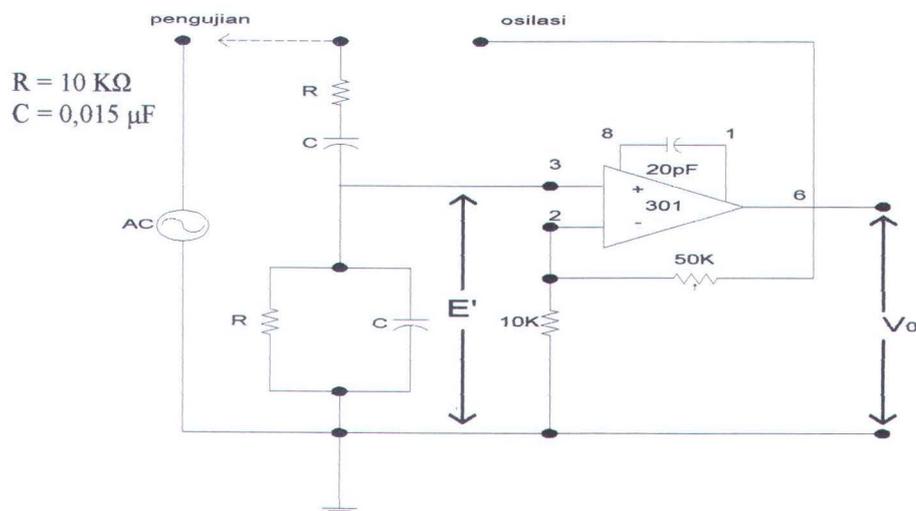
Suatu oscilator gelombang sinus harus dapat membangkitkan gelombang sinus hanya pada satu frekuensi.

Gambar 2.36 memperlihatkan sebuah rangkaian praktis oscilator. E_i adalah tegangan dari suatu oscilator audio. Jaringan RC adalah pemilih frekuensi jenis jembatan Wein. E' , diterapkan ke penguat tak-membalik. Gain penguat disetel dengan pot 50 K Ω . Jika frekuensi E_i berubah-ubah, hanya ada satu frekuensi yang akan terbentuk pada E' yang memiliki pergeseran fasa sebesar 0° , frekuensi

dihitung dari:
$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.23)$$

Dengan memindahkan saklar dari “pengujian” ke “osilasi”, akan menutup untaiian, yang memiliki gain sebesar $1(\frac{1}{3} \times 3 = 1)$.

Saat ini V_o akan berpindah dari $+V_{sat}$ ke $-V_{sat}$ pada frekuensi f_0 , dengan arti lain V_o tidak memperlihatkan osilasi dan terkunci pada $+V_{sat}$ atau $-V_{sat}$.



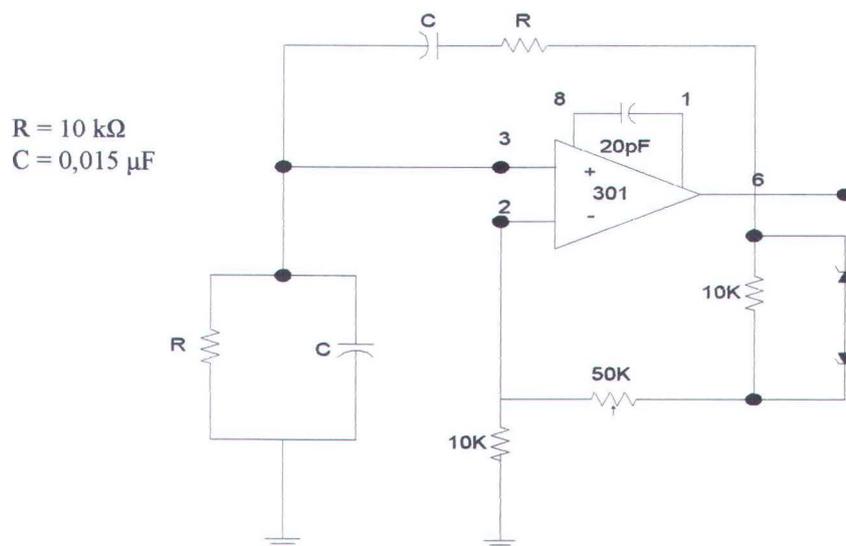
Gambar 2.36 Rangkaian pengujian untuk mencari frekuensi $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$

Dengan menyetel potensiometer 50k Ω , akan terbentuk suatu amplitudo gelombang sinus. Sehingga osilator dengan rangkaian ini membutuhkan suatu pengendali amplitudo.

Osilator Jembatan Wein.

Rangkaian osilator pada gambar 2.36 telah memperlihatkan bahwa tegangan keluaran V_o bisa bertambah tanpa batas sekali osilasinya dimulai. Sehingga rangkaian osilator tersebut memerlukan rangkaian yang dapat mengindera amplitudo dari tegangan keluarannya dan mengurangi gain penguatan jika tegangan tersebut melampaui suatu taraf tertentu.

Dengan menambahkan dioda zener punggung-ke-punggung dan sebuah tahanan kita dapatkan bentuk rangkaian osilator jembatan Wein seperti tampak pada gambar 2.37.



Gambar 2.37 Osilator gelombang sinus jembatan Wein

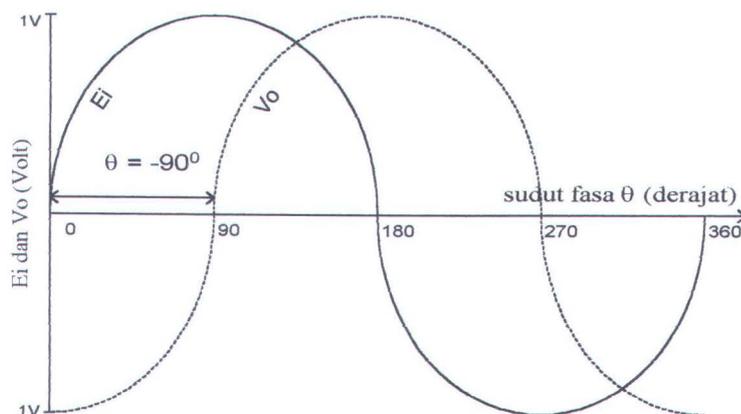
Saat tegangan keluaran naik diatas tegangan zener, salah satu zener akan runtuh (tergantung polaritas V_o). Dioda zener akan melangsir tahanan 10k Ω untuk gain penguat dan mencegah V_o dari harga-harga puncak yang besarnya sekitar

1,5V \approx 8V. Keluaran sinyal tegangan gelombang sinus yang dihasilkan dari osilator terlalu kecil, sehingga diperlukan sebuah rangkaian pengikut tegangan untuk menghindari perubahan sinyal akibat pembebanan lebih.

2.2.3.3.3 Penggeser Fasa.

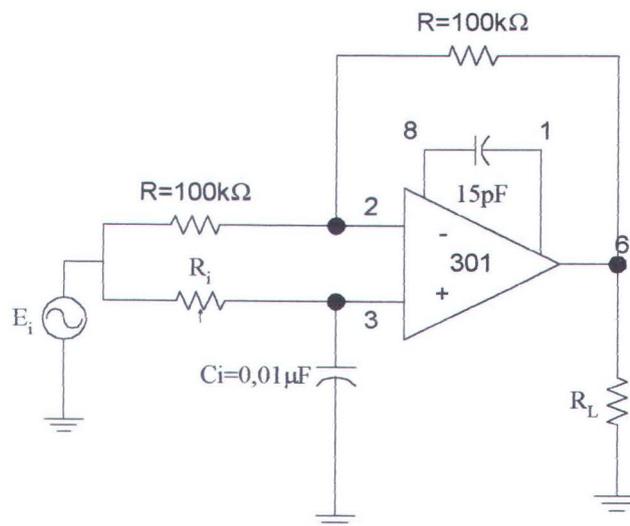
Suatu rangkaian penggeser fasa ideal harus memancarkan suatu gelombang tanpa mengubah amplitudo, tapi mengubah sudut fasa sebesar yang telah ditetapkan sebelumnya. Gambar 2.38 adalah bentuk gelombang sinus yang digeser tertinggal 90° (garis putus-putus/ V_O) dari sinyal gelombang masukan ($E_i=1$ V). Nampak pada gambar bahwa V_O memiliki frekuensi dan amplitudo yang sama tapi tertinggal 90° dari E_i . Secara matematis V_O dapat dinyatakan oleh $V_O = E_i \angle -90^\circ$. Sebuah pernyataan umum untuk tegangan keluaran dari sebuah rangkaian penggeser fasa dinyatakan dengan:

$$V_O = E_i \angle -\theta \quad (2.24)$$



Gambar 2.38 Tegangan masukan dan tegangan keluaran untuk $\theta = -90^\circ$

Satu op-amp, tiga tahanan, dan satu kapasitor adalah semua yang diperlukan untuk sebuah rangkaian penggeser fasa seperti terlihat pada gambar 2.39.



Gambar 2.39 Rangkaian penggeser fasa

Tahanan-tahanan R harus sama, dengan harga mulai dari 10 sampai 220 k Ω bisa digunakan. Sudut fasa θ tergantung pada R_i , C_i , dan frekuensi f dari E_i . Hubungan secara matematisnya adalah:

$$\theta = 2 \arctan 2\pi f R_i C_i \quad (2.25)$$

dimana θ dalam derajat, f dalam hertz, R_i dalam ohm, dan C_i dalam farad.

Jika sudut fasa yang diinginkan diketahui dan harga C_i telah dipilih, maka nilai R_i kumparan adalah:

$$R_i = \frac{\tan(\theta/2)}{2\pi f C_i} \quad (2.26)$$

BAB III

PERENCANAAN DAN PENGUJIAN ALAT

Dalam tugas akhir ini akan direncanakan rangkaian kontrol pembalik arah putar, sistem pengereman dengan arus searah, dan rangkaian kontrol kecepatan motor induksi satu fasa.

Seperti terlihat pada gambar diagram 2.22, penggabungan dari ketiga rangkaian sistem terletak pada kontak relay.

Sedangkan untuk tahap pengujian alat, dilakukan pada tiap-tiap rangkaian sistem terhadap motor induksi satu fasa.

3.1 TAHAP PERENCANAAN ALAT

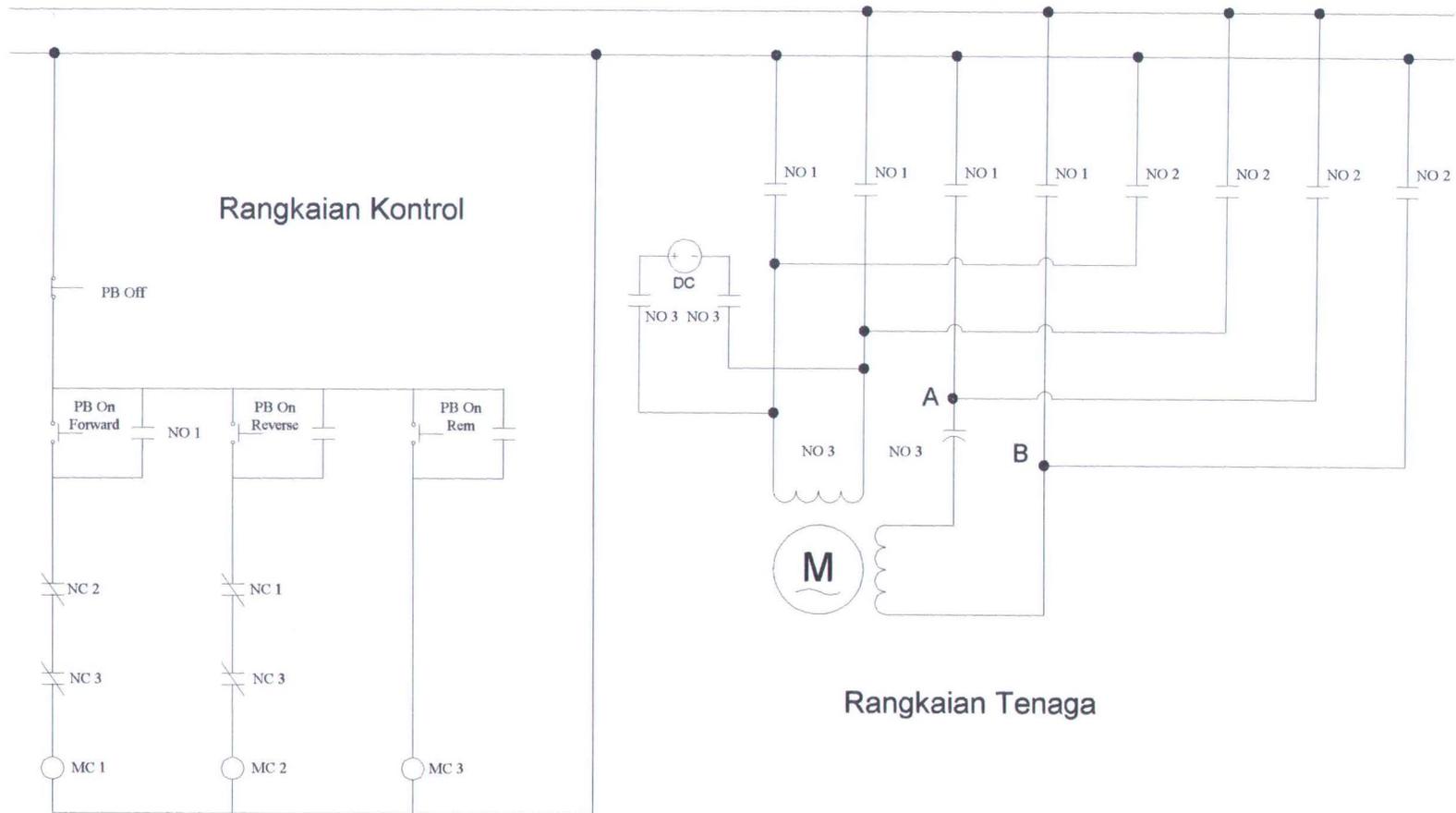
3.1.1 Rangkaian kontrol pembalik arah putar dan pengereman

Rangkaian sekuensial untuk pembalikan arah putar dan pengereman pada motor induksi satu fasa jenis motor kapasitor adalah seperti terlihat pada gambar 3.1.

Pada rangkaian pembalik arah putar titik A dan B jika diberi sumber terbalik maka arah putaran motor juga akan terbalik.

Prinsip kerja ini bisa diaplikasikan pada sistem pensaklaran baik dengan metoda sekuensial maupun dengan metode digital.

Pada gambar 3.1 prinsip kerja dari rangkaian tersebut adalah sebagai berikut.



Gambar 3.1 Rangkaian sekuensial pembalik arah putar motor induksi satu fasa

Jika PB On Forward ditekan maka akan mengaktifkan kumparan relay MC1. Bersamaan dengan hal ini, kumparan relay MC1 juga mengaktifkan kontak-kontaknya, yang semula dalam keadaan normal kontak terbuka (NO1) menjadi tertutup (NC1).

Begitupula yang terjadi pada kontak-kontak relay yang dalam keadaan normal tertutup, begitu kumparan relay bekerja akan terbuka.

Karena motor terhubung sefasa terhadap tegangan sumber yang dilewatkan kontak relay 1, maka motor tersebut akan berputar searah jarum jam atau forward.

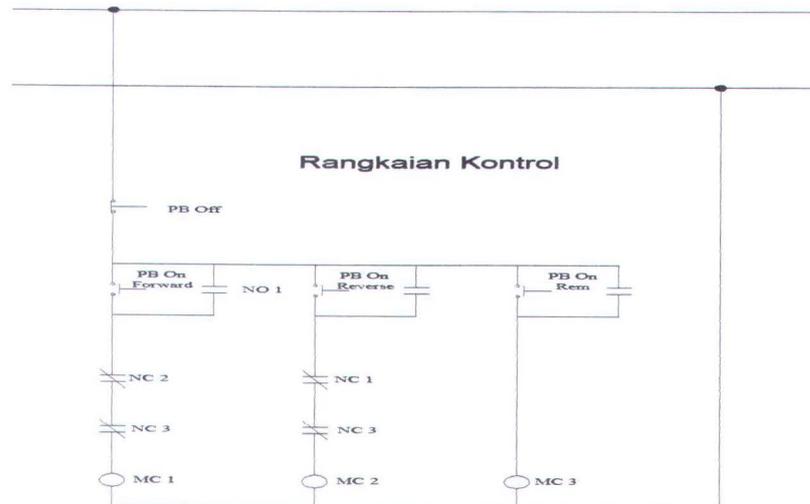
Pada kumparan relay MC2, tidak akan dapat dikerjakan karena aliran arus pada kumparan relay MC2 terputus saat MC1 bekerja. Hal ini karena rangkaian interlock pada kedua kumparan relay tersebut. Hal yang sama juga akan terjadi saat kumparan relay MC2 bekerja.

Kumparan relay MC1 atau MC2 menjadi tidak aktif jika PB Off ditekan, atau jika PB On Rem ditekan, hal ini dengan kata lain mengaktifkan kumparan relay MC3, untuk memberikan tegangan dan arus searah pada kumparan stator motor dengan maksud melakukan pengereman pada motor.

Rangkaian sekuensial pada gambar 3.1 terbagi atas dua bagian. Pada bagian pertama disebut bagian rangkaian kontrol yang terdiri dari komponen-komponen yang berfungsi untuk mengaktifkan kumparan relay. Dan bagian kedua yaitu bagian rangkaian tenaga, yang berfungsi untuk menghubungkan motor dengan sumber tegangan.

Pada perencanaan rangkaian pembalik putaran ini rangkaian kontrol pada gambar 3.1 akan dirubah dalam bentuk digital.

Sehingga rangkaian pada gambar 3.1 dapat disederhanakan menjadi seperti rangkaian pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Rangkaian kontrol.

Perencanaan rangkaian kontrol menjadi rangkaian digital adalah dengan menentukan parameter-parameter masukan (input) dan keluaran (output).

Sesuai dengan aljabar boolean maka diperoleh parameter-parameter sebagai berikut:

Input

Output

$$PB\ Off \cdot (NO1 + PBO\ n\ Forward) \cdot \overline{NC2} \cdot \overline{NC3} = MC1$$

$$PB\ Off \cdot (NO2 + PBO\ n\ Reverse) \cdot \overline{NC1} \cdot \overline{NC3} = MC2$$

$$PB\ Off \cdot (NO3 + PBO\ n\ 3) = MC3$$

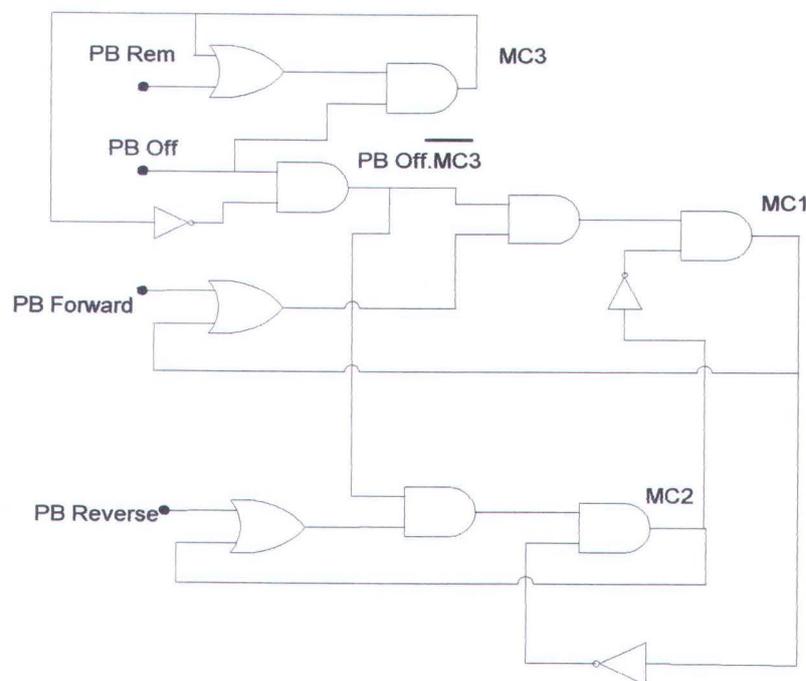
Dari parameter-parameter diatas sebelah kiri tanda sama dengan adalah parameter masukan, sedangkan parameter sebelah kanan adalah parameter keluaran.

Dengan menganalogikan bahwa hubungan seri dua atau lebih suatu saklar listrik dapat dinyatakan dengan gerbang logika AND. Untuk hubungan paralel suatu saklar listrik dapat dinyatakan dengan gerbang logika OR, sedangkan untuk jalinan penyangkal dapat dianalogikan dengan gerbang NOT.

Maka dari parameter-parameter tersebut dapat disusun rangkaian digitalnya seperti pada gambar 3.3.

Prinsip kerja rangkaian digital ini adalah sama dengan prinsip kerja pada rangkaian sekuensial.

Untuk perencanaan ini IC gerbang logika yang digunakan adalah IC jenis TTL, gerbang AND pada IC tipe 74LS08, gerbang OR pada IC tipe 74LS32, dan gerbang NOT pada IC tipe 74LS04.



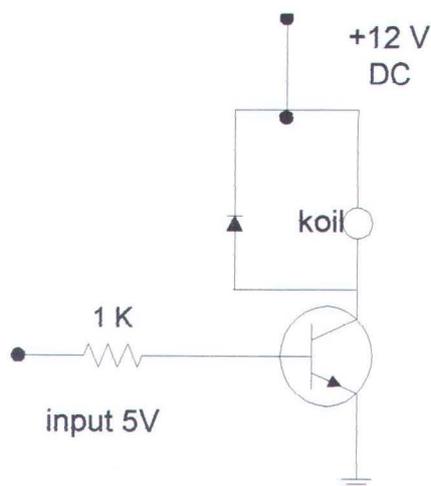
Gambar 3.3 Rangkaian kontrol digital.

Selain rangkaian digital diperlukan suatu relay untuk menghubungkan rangkaian kontrol dengan rangkaian digital. Rangkaian relay arus searah yang terdapat dipasaran adalah relay dengan tegangan kumparan 12-24 Volt DC.

Sinyal keluaran dari rangkaian kontrol digital ini berupa tegangan DC sebesar 5 Volt. Supaya tegangan dari sinyal keluaran dapat digunakan untuk mengendalikan relay sebagai rangkaian tenaga, maka pada keluaran daripada rangkaian digital harus diberi rangkaian penyangga.

Sebuah transistor, sebuah dioda, dan sebuah tahanan adalah semua yang diperlukan dalam sebuah rangkaian penyangga.

Gambar rangkaian seperti terlihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rangkaian penyangga tegangan keluaran digital

Sedangkan untuk pengereman rem listrik dilakukan dengan cara memasukkan tegangan searah pada kumparan stator adalah dengan maksud menghilangkan medan putar yang menyebabkan suatu daya dorong pada kumparan rotor.

3.1.2 Rangkaian pengatur frekuensi

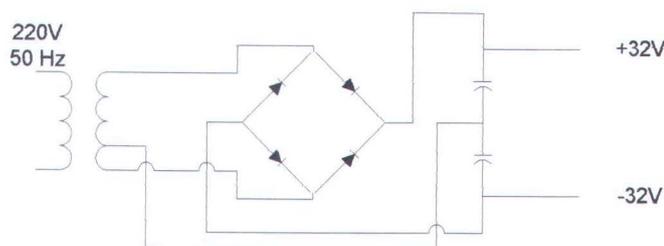
Seperti yang terlihat pada rangkaian diagram pengatur frekuensi gambar 2.29. Pengaturan frekuensi dengan cara tidak langsung ini dilakukan dengan menyearahkan terlebih dahulu tegangan bolak-balik dari jala-jala melalui suatu rangkaian penyearah dioda gelombang penuh. Tegangan searah yang dihasilkan masuk rangkaian inverter dc ke ac yang terdiri dari rangkaian-rangkaian transistor yang fungsi pensaklarannya dapat diatur melalui sinyal tegangan dari suatu pembangkit gelombang sinus.

Dengan mengatur frekuensi pensaklaran dari rangkaian transistor inverter dc ke ac, berarti juga mengatur frekuensi pembangkit gelombang sinus.

3.1.2.1 Penyearah gelombang penuh.

Dalam perencanaan ini rangkaian penyearah yang di gunakan adalah penggabungan dari rangkaian penyearah gelombang penuh jembatan dengan trafo tap-tengah.

Adapun rangkaiannya adalah seperti gambar 3.5



Gambar 3.5 Rangkaian penyearah gelombang penuh jembatan dengan trafo tap tengah

Transformator yang digunakan adalah transformator jenis tap-tengah yang mampu dilalui arus sekitar 5 Ampere. Begitupula untuk dioda penyearah dipilih dioda dengan kemampuan menahan arus sebesar 5 Ampere.

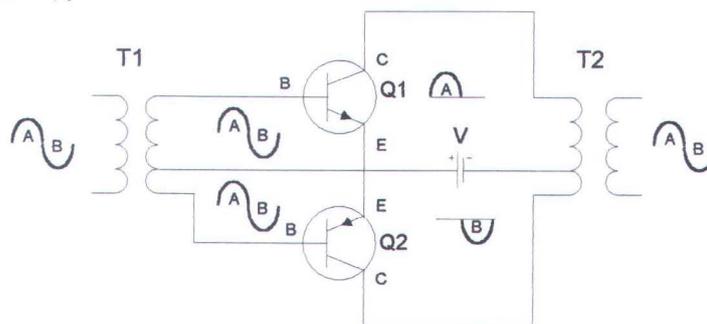
Dipasangnyanya dua kapasitor shunt adalah dengan maksud menghilangkan/memperkecil faktor ripple pada tegangan keluaran rangkaian penyearah ini. Nilai kedua kapasitor tersebut masing-masing adalah 6800 $\mu\text{F}/50$ Volt.

3.1.2.2 Inverter DC-AC

Rangkaian dasar dari inverter dc-ac dengan power transistor tampak seperti pada gambar 3.6

Prinsip kerja dari pada rangkaian adalah :

Bila input sinyal diberikan pada transformator T_1 , maka pada kumparan sekundernya akan dihasilkan dua buah gelombang sinyal yang sama. Pada saat transistor Q_1 mendapat sinyal positif maka transistor akan konduksi, dan arus akan mengalir dengan urutan $+V$ – Terminal Emiter Q_1 – Terminal Kolektor Q_1 – Transformator - $-V$.



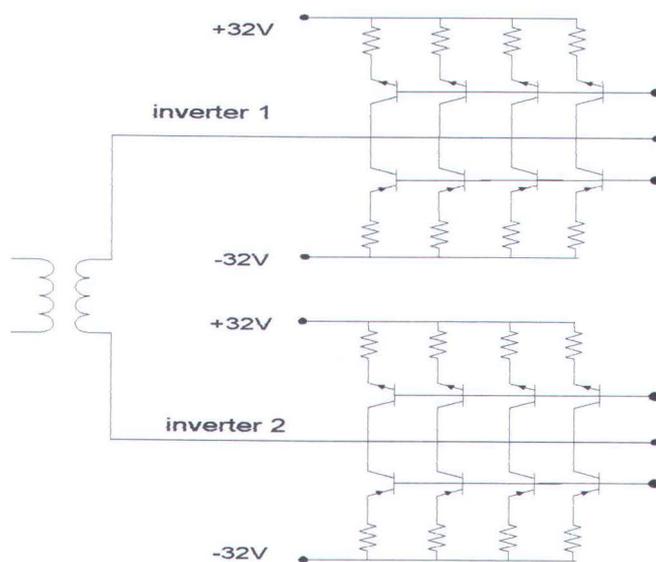
Gambar 3.6 Rangkaian dasar inverter dengan power transistor

Perubahan arus pada sisi primer T_2 mengakibatkan tegangan induksi pada outputnya. Untuk $\frac{1}{2}$ perioda negatif berikutnya, transistor Q_1 off sedangkan transistor Q_2 konduksi, dan arus akan mengalir dalam urutan $+V$ – Terminal Emiter Q_2 – Terminal Kolektor Q_2 – Transformator - -V.

Perubahan arus pada sisi primer trafo T_2 mengakibatkan timbul tegangan induksi outputnya. Bentuk sinyal gelombang tegangan yang dihasilkan oleh transformator T_2 akibat bekerjanya Q_1 dan Q_2 , bila dijumlahkan akan menghasilkan bentuk gelombang yang sama dan berbeda fasa 180° .

Dengan memberikan sinyal input berupa gelombang sinusoidal maka pada output transformator T_2 akan dihasilkan bentuk tegangan sinusoidal.

Pada perencanaan rangkaian pengubah frekuensi ini direncanakan dengan menggunakan dua buah inverter, dengan maksud untuk menaikkan tegangan keluaran yaitu mendekati tegangan catu.



Gambar 3.7 Rangkaian inverter

Rangkaian kedua inverter adalah identik. Masing-masing inverter diharap mampu memberikan tegangan keluaran sebesar 30 Volt pada tegangan catu 32Volt. Rangkaian inverter nampak seperti pada gambar 3.7.

Masing-masing inverter tersusun dengan power transistor yang dirangkai secara push-pull. Kedua inverter disusun sedemikian rupa sehinggalah apabila pada inverter 1 yang bekerja transistor *pnp*, maka sebaliknya pada inverter 2 yang bekerja adalah transistor *nnp*, demikian pula sebaliknya.

Dengan menganggap keluaran power transistor sama dengan satu dan efisiensi transformator sama dengan 80% maka:

$$P(\text{out}) = 500\text{VA} = 500 \text{ watt}$$

$$P(\text{in}) = \frac{P(\text{out})}{\text{Efisiensi}} = \frac{500}{80\%} = 625 \text{ watt}$$

Karena ada dua buah inverter, maka masing-masing inverter harus memikul beban sebesar: $P(\text{inverter 1}) = P(\text{inverter 2})$

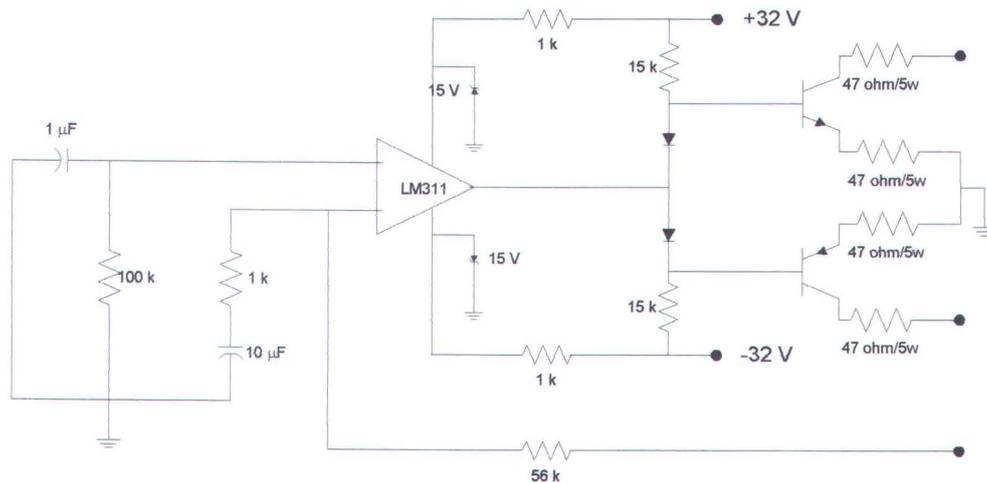
$$= \frac{625}{2} = 312,5 \text{ watt}$$

daya power transistor yang tersedia dipasaran terbatas hingga dibawah 100 watt, sehingga perlu dipararel beberapa power transistor untuk mendapatkan daya yang dibutuhkan tersebut.

3.1.2.3 Driver

Bagian ini disusun dengan menggunakan penguat op-amp pada penguat akhir dengan memakai power transistor. Hal ini disebabkan bagian driver akan berhubungan langsung dengan bagian inverter, sehingga dibutuhkan arus keluaran yang cukup besar dan hal ini dapat diperoleh dengan menggunakan transistor.

Pada bagian penguat akhir transistor disusun secara push-pull, rangkaian driver dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Rangkaian driver

Penguatan arus untuk power transistor berkisar antara 20 – 70. Dalam perencanaan ini dipilih penguatan sebesar 20 ($\beta=20$), maka $I_c = \beta \cdot I_b = 20 I_b$. Masing-masing inverter harus mencatu sebesar 320watt pada tegangan keluaran 30Volt, jadi arus keluarannya adalah:

$$I_{out} = \frac{320 \text{ watt}}{30 \text{ volt}} = 10,66 \text{ Ampere}$$

Karena masing-masing inverter terdiri dari empat pasang transistor, maka masing-masing pasang transistor harus mampu menahan arus sebesar

$$I_c = \frac{10,66 \text{ Amp}}{4} = 2,66 \text{ Ampere}$$

Sehingga arus basis untuk $\beta=20$

$$I_b = \frac{2,66 \text{ Amp}}{20} = 0,133 \text{ Ampere}$$

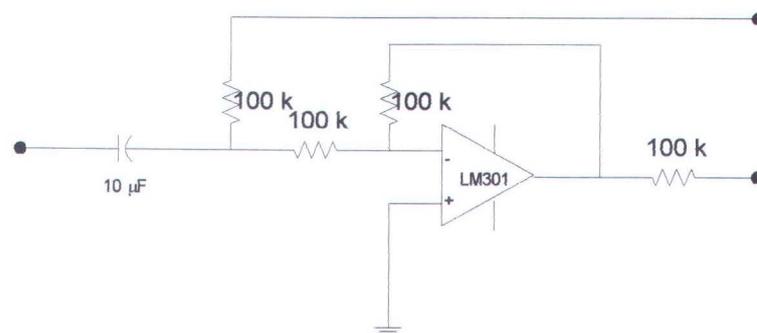
Jadi total arus untuk keempat transistor:

$$I_{b,total} = 4 \times 0,133 = 0,532 \text{ Ampere}$$

Sehingga transistor pada rangkaian driver harus mampu menyediakan arus keluaran sebesar 0,532 Amp.

3.1.2.4 Penggeser Fasa

Power transistor *pnp* pada inverter 1 dan *npn* pada inverter 2 harus bekerja bersamaan. Sehingga dibutuhkan suatu sinyal triger satu sama lain berbeda fasa 180° . Untuk mendapatkan kedua sinyal tersebut dibutuhkan suatu rangkaian penggeser fasa 180° seperti nampak pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Rangkaian penggeser fasa

Prinsip kerja.

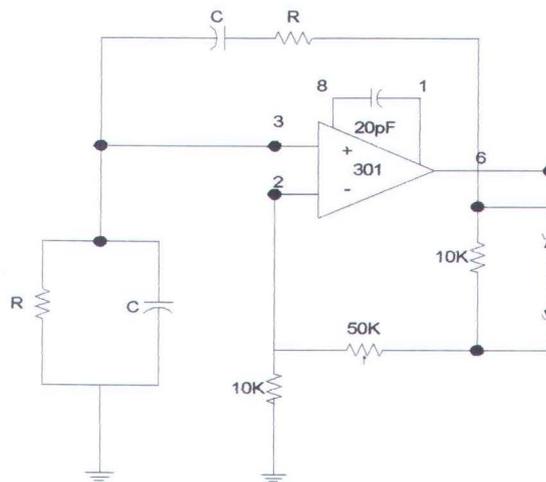
Sinyal input setelah melalui kapasitor dipecah menjadi dua, sinyal pertama lewat tahanan 100k langsung menuju output 1, sehingga sinyal output 1 sefasa dengan sinyal input. Sinyal kedua harus melalui op-amp sedemikian hingga output 2 berbeda fasa 180° . penguatan op-amp diatur sama dengan satu. Dengan cara ini diciptakan dua gelombang sinusoid yang berbeda 180° .

3.1.2.5 Pembangkit gelombang sinus.

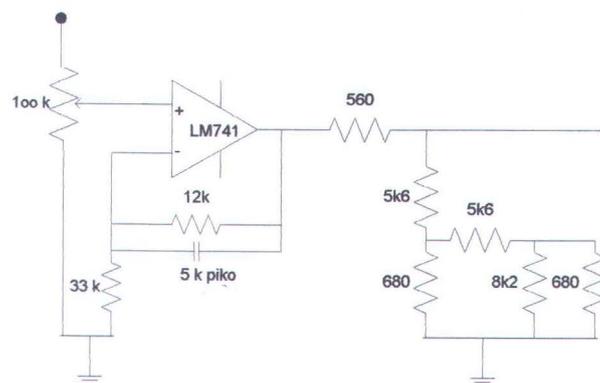
Pembangkit sinyal sinusoidal ini diset sedemikian untuk frekuensi kerja antara 20 sampai 50 hertz.

Pengaturan frekuensi kerja ini tergantung nilai hambatan R dan kapasitansi C yang dipakai pada rangkaian osilator jembatan wein seperti yang nampak pada gambar 3.10. Pemilihan nilai R dan C sesuai dengan persamaan 2.23

$$(f_0 = \frac{1}{2\pi RC}).$$



Gambar 3.10 Oscilator gelombang sinus



Gambar 3.11 Rangkaian pengikut tegangan.

Keluaran sinyal tegangan gelombang sinus yang dihasilkan dari oscilator ini terlalu kecil, sehingga diperlukan suatu rangkaian pengikut tegangan (gambar 3.11) untuk menghindari perubahan sinyal akibat pembebanan dari rangkaian berikutnya.

3.2 TAHAP PENGUJIAN ALAT

Pengujian alat dalam tugas akhir ini dilakukan secara bertahap. Tahap pertama yaitu dengan menguji rangkaian digital pengontrol arah putar motor sehingga diperoleh suatu diagram waktu dari pada rangkaian ini.

Tahap kedua yaitu pengujian sistem pengereman arus searah terhadap motor, sehingga diperoleh data tentang pengaruh besarnya tegangan searah terhadap waktu yang dibutuhkan motor untuk berhenti.

Tahap ketiga adalah pengujian rangkaian pengubah frekuensi yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor.

3.2.1 Pengujian Rangkaian Kontrol Digital Pembalik Arah Putar Motor.

Dengan menggabungkan rangkaian kontrol dengan rangkaian tenaga berupa relay 12Volt dc beserta rangkaian penguat arusnya, maka motor akan beroperasi dengan putaran searah jarum jam jika PB On Forward ditekan. Selama relay untuk motor berputar dengan operasi searah jarum jam, relay untuk arah putaran motor yang berlawanan arah jarum jam tidak dapat dikerjakan, hal ini disebabkan rangkaian interlock untuk MC Reverse juga bekerja.

Penekanan PB Off akan me-reset seluruh aliran listrik pada rangkaian atau pada saat MC Forward maupun MC Reverse bekerja PB On Rem ditekan, hal ini akan berakibat motor mengalami pengereman listrik dengan sistem tegangan

searah, karena kumparan stator terputus dengan sumber tegangan bolak balik dan terhubung dengan sumber tegangan searah.

Uraian kejadian ini tampak seperti pada lampiran 1 gambar diagram waktu hasil pengujian rangkaian pembalik arah putar.

Pada diagram waktu motor, nampak ada dua blok yang berlawanan, blok pertama berada diatas garis diagram, sedangkan blok kedua berada dibawah garis diagram. Hal ini melambangkan bahwa motor berputar pada arah putar yang berlawanan.

Pada saat PB On Forward ditekan motor beroperasi dengan arah putar searah jarum jam. Untuk menjalankan motor dengan arah putar kekiri, operator tidak bisa langsung menekan PB On Reverse karena rangkaian interlock aktif nampak pada diagram waktu MC Reverse tidak aktif, maka PB Rem yang akan mematikan aliran arus pada relay forward sekaligus mengalirkan sumber tegangan searah dengan maksud melakukan pengereman listrik pada motor. Tenggang waktu yang dibutuhkan motor untuk berhenti tergantung pada besar tegangan searah yang dialirkan akan dibahas lebih lanjut pada pengujian sistem pengereman.

Saat motor sudah berhenti MC3 masih tetap aktif sampai PB Off ditekan dan sistem kembali pada keadaan semula.

3.2.2 Pengujian Sistem Pengereman Motor Dengan Arus Searah.

Pengujian sistem pengereman dilakukan dengan cara memberi tegangan searah pada kumparan stator. Pada saat sumber tegangan bolak-balik, yang menghasilkan medan yang memiliki daya dorong sehingga dapat menggerakkan rotor, diputus. Pada waktu yang sama kumparan stator diberi tegangan searah,

sehingga daya yang dapat menggerakkan rotor hilang, karena arus searah yang diberikan menghasilkan suatu medan statis.

Saat rotor berputar dalam medan statis, dalam rotor akan diinduksikan suatu gaya gerak listrik E , yang menyebabkan mengalirnya arus induksi I . Baik E maupun I berbanding lurus dengan putaran n . Kopel yang dihasilkan sebanding dengan arus I dan fluk Φ , mesin bekerja sebagai generator.

Lebih besar fluk Φ , atau lebih besar tegangan searah yang dipakai, lebih kuat kopel rem yang diperoleh, dan lebih cepat motor akan berhenti.⁽³⁾

Tegangan arus searah yang akan diberikan dalam perencanaan ini adalah:

$$\pm 5 - \pm 15 \text{ Volt}$$

Tabel data hasil percobaan nampak pada gambar 2 pada lampiran.

3.2.3 Pengujian Kecepatan Motor Dengan Perubahan Frekuensi.

Pengubahan frekuensi dibatasi antara 20 – 50 Hertz dengan tegangan 220 volt yang dihasilkan dari rangkaian pengatur frekuensi.

Dengan mengatur sedemikian rupa hingga dicapai frekuensi yang diinginkan untuk pengujian motor. Data yang didapat adalah data tentang perubahan kecepatan motor yang berbanding lurus dengan penambahan atau pengurangan frekuensi sumber tegangan, tabel data terlihat pada gambar 3 pada lampiran.

Untuk nilai torsi pada motor diperoleh dengan persamaan:

$$T = \frac{P_{out}}{2\pi n}$$

⁽³⁾ Prof. Ir. Abdul Kadir, Mesin Tak Serempak, Penerbit Djambatan, P. 122

Dengan merubah nilai frekuensi diperoleh data seperti dalam tabel 3.1, tampak bahwa dengan perubahan nilai dari frekuensi input akan diikuti dengan perubahan putaran pada motor.

Frekuensi (Hertz)	Putaran (Rpm)
50	1400
40	1200
30	900
20	500

Tabel 3.1

Data percobaan pengaturan kecepatan motor

BAB IV

PENUTUP

4.1 Kesimpulan.

Seperti yang telah direncanakan semula, dengan menggunakan alat ini diharapkan dapat melakukan tiga macam pengaturan (kecepatan, arah putar, dan pengereman).

Setelah melakukan berbagai percobaan dalam pembuatan tugas akhir ini, maka dapat diketahui hasil kerja dari alat ini dalam mengoperasikan suatu motor listrik satu phasa, jenis motor kapasitor, $P = 0,5 \text{ Hp}$ $\text{RPM} = 1425 \text{ Hz} = 50$.

Dan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Motor dapat berputar dengan arah yang berlawanan karena dengan rangkaian ini memungkinkan motor untuk dioperasikan dengan arah fluks yang berbeda pada kumparan bantu. Dengan demikian arah dari kopel bantu yang dikenakan pada motor menentukan arah putar dari motor tersebut.
2. Kecepatan motor pada percobaan ini diatur dengan merubah frekuensi masukan (jala-jala) pada motor, hal ini dilakukan dengan tujuan untuk memperkecil nilai rugi-rugi motor. Dengan adanya perubahan pada frekuensi jala-jala yang dikenakan pada motor, diharap terjadi juga perubahan pada putaran motor secara halus.
3. Pengoperasian dengan pengaturan kecepatan motor dengan waktu yang cukup lama dapat mengakibatkan panas yang berlebihan pada power

inverter karena daya motor cukup besar jika disbanding dengan kapasitas daya kemampuan power transistor, sehingga diperlukan perhitungan daya output dua kali lipat dari perencanaan.

4. Sistem pengereman pada percobaan ini dilakukan dengan mengenakan sumber tegangan searah pada kumparan medan stator, sehingga menghasilkan suatu medan statis.

5. Pengaturan motor dengan metoda ini dapat diaplikasikan dalam berbagai macam kebutuhan, baik kebutuhan industri maupun rumah tangga, seperti contoh: motor penggerak pintu gerbang otomatis, motor penggerak exhaust fan, motor pada mesin cuci, dan lain sebagainya.

4.2 Saran

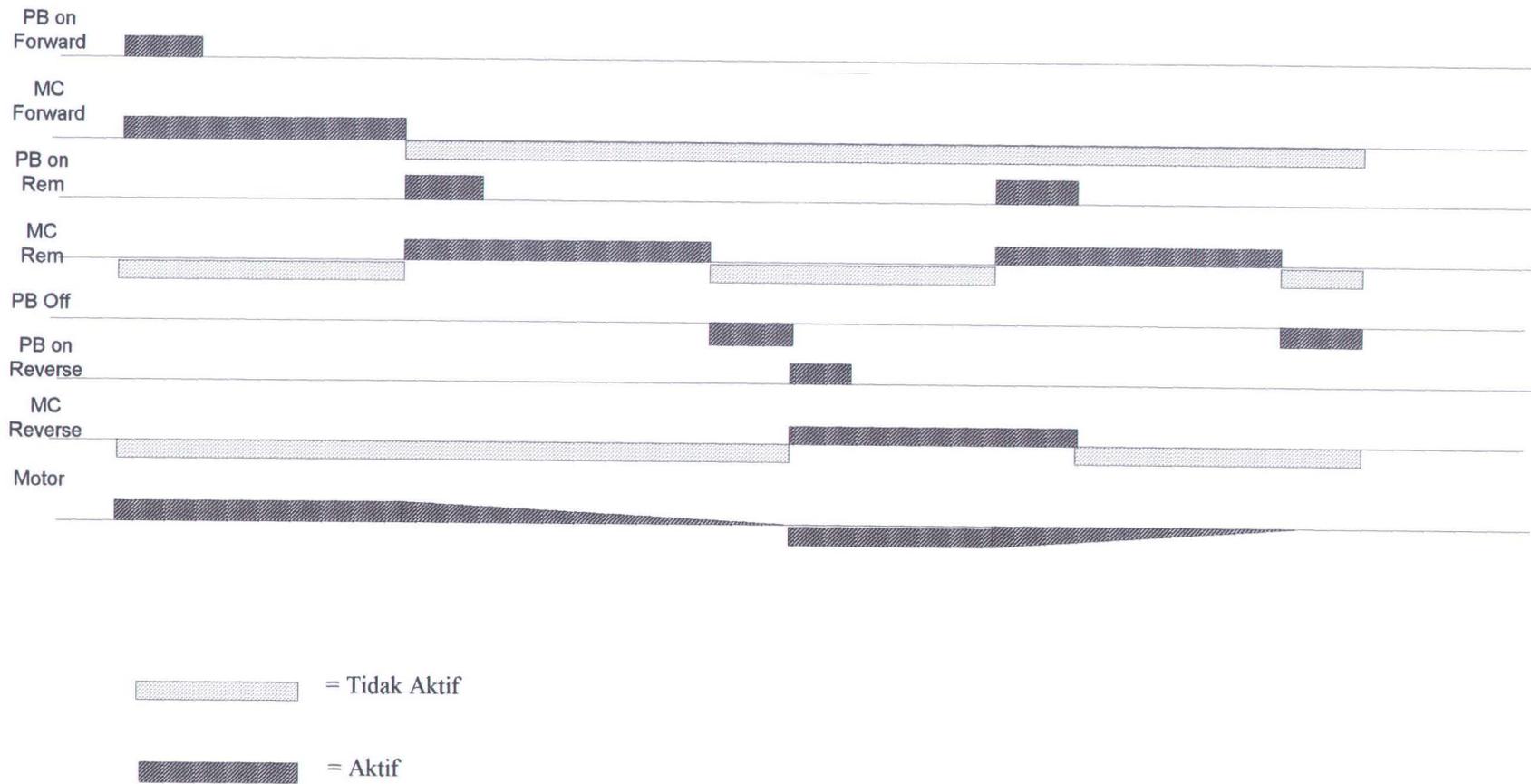
Setelah melakukan berbagai percobaan dalam pembuatan tugas akhir ini, maka dapat diketahui bentuk jadi dari alat pengatur kecepatan, arah putar, dan pengereman motor induksi satu fasa ini. Dengan membandingkan perencanaan diatas kertas dan proses perakitan, maka dapat diketahui terjadinya penyimpangan-penyimpangan yang tidak sesuai dengan yang diinginkan dari konsep perancangan. Penyimpangan-penyimpangan ini dapat terjadi karena ketidak sesuaian antara rangkaian-rangkaian dan persamaan-persamaan dalam teori dengan prakteknya. Sehingga dibutuhkan adanya modifikasi rangkaian bahkan penggunaan komponen. Dan hal ini mengakibatkan penyimpangan dari rancangan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Albert Paul Malvino, Ph.D., Hanapi Gunawan, Prinsip-Prinsip Elektronika, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1995.
2. Dedy Rusmadi, Digital dan Rangkaian, Seri Elektronika, CV. Pionir Jaya, Bandung, 1996.
3. Herman Widodo, Robert F. Caughlin, Frederick F. Driscoll, Penguat Operational dan Rangkaian Terpadu Linier, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994.
4. Muhammad H. Rashid, Elektronika Daya, Edisi Bahasa Indonesia, PT. Prenhallindo, Jakarta, 1999.
5. P. S. Bimbhra, Generalised Theory of Electrical Machines, Khanna Publishers, Nai Sarak, India, 1980.
6. Zuhail, Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1993.
7. _____, National Operational Amplifier Data Book, National Semikonduktor, 1995.

LAMPIRAN 1

Diagram Waktu (time chart) Hasil Pengujian Rangkaian Pembalik Arah Putar



1. Diagram waktu hasil pengujian rangkaian pembalik arah putar