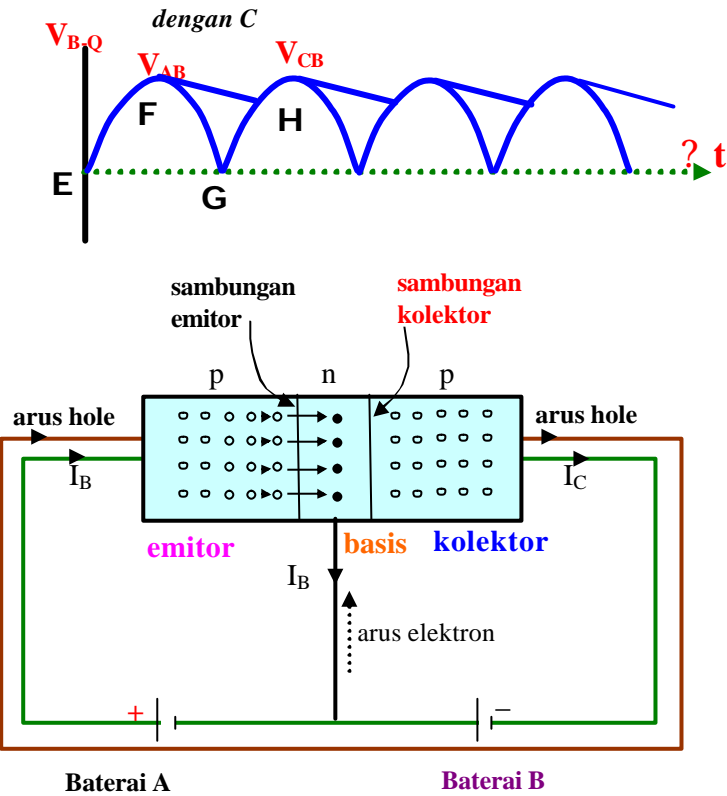


Piranti Semikonduktor



BAGIAN PROYEK PENGEMBANGAN KURIKULUM
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

2004

Kode FIS.26

Piranti Semikonduktor

Penyusun

Drs. Hainur Rasjid Achmadi, MS.

Editor:

Dr. Budi Jatmiko, M.Pd.

Drs. Munasir, M.Si.

**BAGIAN PROYEK PENGEMBANGAN KURIKULUM
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

2004

Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas karunia dan hidayah-Nya, kami dapat menyusun bahan ajar modul manual untuk SMK Bidang Adaptif, yakni mata-pelajaran Fisika, Kimia dan Matematika. Modul yang disusun ini menggunakan pendekatan pembelajaran berdasarkan kompetensi, sebagai konsekuensi logis dari Kurikulum SMK Edisi 2004 yang menggunakan pendekatan kompetensi (*CBT: Competency Based Training*).

Sumber dan bahan ajar pokok Kurikulum SMK Edisi 2004 adalah modul, baik modul manual maupun interaktif dengan mengacu pada Standar Kompetensi Nasional (SKN) atau standarisasi pada dunia kerja dan industri. Dengan modul ini, diharapkan digunakan sebagai sumber belajar pokok oleh peserta diklat untuk mencapai kompetensi kerja standar yang diharapkan dunia kerja dan industri.

Modul ini disusun melalui beberapa tahapan proses, yakni mulai dari penyiapan materi modul, penyusunan naskah secara tertulis, kemudian disetting dengan bantuan alat-alat komputer, serta divalidasi dan diujicobakan empirik secara terbatas. Validasi dilakukan dengan teknik telaah ahli (*expert-judgment*), sementara ujicoba empirik dilakukan pada beberapa peserta diklat SMK. Harapannya, modul yang telah disusun ini merupakan bahan dan sumber belajar yang berbobot untuk membekali peserta diklat kompetensi kerja yang diharapkan. Namun demikian, karena dinamika perubahan sains dan teknologi di industri begitu cepat terjadi, maka modul ini masih akan selalu dimintakan masukan untuk bahan perbaikan atau direvisi agar supaya selalu relevan dengan kondisi lapangan.

Pekerjaan berat ini dapat terselesaikan, tentu dengan banyaknya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak yang perlu diberikan penghargaan

dan ucapan terima kasih. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini tidak berlebihan bilamana disampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak, terutama tim penyusun modul (penulis, editor, tenaga komputerisasi modul, tenaga ahli desain grafis) atas dedikasi, pengorbanan waktu, tenaga, dan pikiran untuk menyelesaikan penyusunan modul ini.

Kami mengharapkan saran dan kritik dari para pakar di bidang psikologi, praktisi dunia usaha dan industri, dan pakar akademik sebagai bahan untuk melakukan peningkatan kualitas modul. Diharapkan para pemakai berpegang pada azas keterlaksanaan, kesesuaian dan fleksibilitas, dengan mengacu pada perkembangan IPTEK pada dunia usaha dan industri dan potensi SMK dan dukungan dunia usaha industri dalam rangka membekali kompetensi yang terstandar pada peserta diklat.

Demikian, semoga modul ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya peserta diklat SMK Bidang Adaptif untuk mata-pelajaran Matematika, Fisika, Kimia, atau praktisi yang sedang mengembangkan modul pembelajaran untuk SMK.

Jakarta, Desember 2004
a.n. Direktur Jenderal Pendidikan
Dasar dan Menengah
Direktur Pendidikan Menengah Kejuruan,



Dr. Ir. Gatot Hari Priowirjanto, M.Sc.
NIP 130 675 814

Daftar Isi

✍	Halaman Sampul	i
✍	Halaman Francis	ii
✍	Kata Pengantar	iii
✍	Daftar Isi	v
✍	Peta Kedudukan Modul	vi
✍	Daftar Judul Modul	vii
✍	Glosary	viii

I. PENDAHULUAN

a.	Deskripsi	1
b.	Prasarat	1
c.	Petunjuk Penggunaan Modul	1
d.	Tujuan Akhir	2
e.	Kompetensi	3
f.	Cek Kemampuan	4

II. PEMELAJARAN

A.	Rencana Belajar Peserta Diklat	5
-----------	---	----------

B. Kegiatan Belajar

1.	<i>Kegiatan Belajar</i>	6
a.	Tujuan Kegiatan Pemelajaran	6
b.	Uraian Materi	6
c.	Rangkuman	21
d.	Tugas	23
e.	Tes Formatif	23
f.	Kunci Jawaban	24
g.	Lembar Kerja	26
2	<i>Kegiatan Belajar</i>	27
a.	Tujuan Kegiatan Pemelajaran	27
b.	Uraian Materi	27
c.	Rangkuman	39
d.	Tugas	41
e.	Tes Formatif	42
f.	Kunci Jawaban	43
g.	Lembar Kerja	45

III. EVALUASI

A. Tes Tertulis	46
B. Tes Praktik.....	48

KUNCI JAWABAN

A. Tes Tertulis	49
B. Lembar Penilaian Tes Praktik.....	53

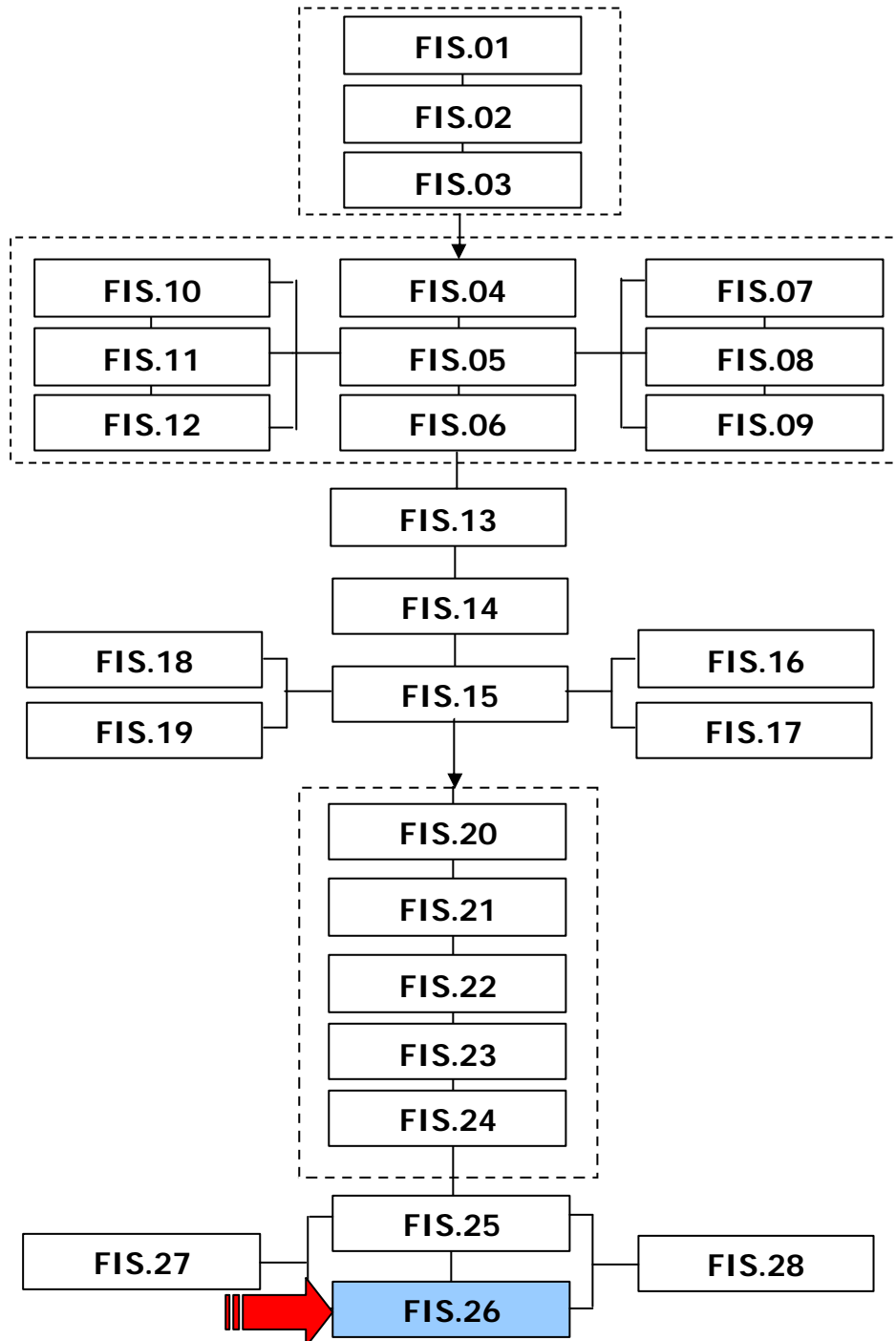
IV. PENUTUP

56

DAFTAR PUSTAKA

57

Peta Kedudukan Modul



DAFTAR JUDUL MODUL

No.	Kode Modul	Judul Modul
1	FIS.01	Sistem Satuan dan Pengukuran
2	FIS.02	Pembacaan Masalah Mekanik
3	FIS.03	Pembacaan Besaran Listrik
4	FIS.04	Pengukuran Gaya dan Tekanan
5	FIS.05	Gerak Lurus
6	FIS.06	Gerak Melingkar
7	FIS.07	Hukum Newton
8	FIS.08	Momentum dan Tumbukan
9	FIS.09	Usaha, Energi, dan Daya
10	FIS.10	Energi Kinetik dan Energi Potensial
11	FIS.11	Sifat Mekanik Zat
12	FIS.12	Rotasi dan Kesetimbangan Benda Tegar
13	FIS.13	Fluida Statis
14	FIS.14	Fluida Dinamis
15	FIS.15	Getaran dan Gelombang
16	FIS.16	Suhu dan Kalor
17	FIS.17	Termodinamika
18	FIS.18	Lensa dan Cermin
19	FIS.19	Optik dan Aplikasinya
20	FIS.20	Listrik Statis
21	FIS.21	Listrik Dinamis
22	FIS.22	Arus Bolak-Balik
23	FIS.23	Transformator
24	FIS.24	Kemagnetan dan Induksi Elektromagnetik
25	FIS.25	Semikonduktor
26	FIS.26	Piranti semikonduktor (Dioda dan Transistor)
27	FIS.27	Radioaktif dan Sinar Katoda
28	FIS.28	Pengertian dan Cara Kerja Bahan

Glossary

ISTILAH	KETERANGAN
Semikonduktor Intrinsik	Semikonduktor murni (Germanium dan Silikon) yang belum dikotori (didoping) oleh atom lain (Arsen, Boron, Antinum)
Semikonduktor Ekstrinsik	Semikonduktor murni (Germanium dan Silikon) yang telah dikotori (didoping) oleh atom lain (Arsen, Boron, Antinum)
Depleksi	Daerah pengosongan adalah daerah yang tidak terdapat muatan listrik
Polaritas	Pengkutuban
Elektron	Muatan listrik negatif $1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb
Hole (hole)	Tempat yang tidak ada elektron dan dianggap sebagai muatan positif
Barrier	Pembawa
Prategangan Balik	Tegangan mundur
Difusi	Penyebaran muatan
Tegangan Dadal	Tegangan yang menyebabkan dadal (bocor)
Tegangan Forward	Tegangan maju
Tegangan Reverse	Tegangan mundur

BAB I. PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Dalam modul ini anda akan mempelajari konsep dasar piranti semikonduktor yang meliputi: dioda dan karakteristiknya, transistor dan karakteristiknya, serta beberapa penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

B. Prasyarat

Sebagai prasyarat atau bekal dasar agar bisa mempelajari modul ini dengan baik, maka anda diharapkan sudah mempelajari: semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik (tipe p dan tipe n).

C. Petunjuk Penggunaan Modul

- a). Pelajari daftar isi serta skema kedudukan modul dengan cermat dan teliti karena dalam skema anda dapat melihat posisi modul yang akan anda pelajari terhadap modul-modul yang lain. Anda juga akan tahu keterkaitan dan kesinambungan antara modul yang satu dengan modul yang lain.
- b). Perhatikan langkah-langkah dalam melakukan pekerjaan dengan benar untuk mempermudah dalam memahami suatu proses pekerjaan, agar diperoleh hasil yang maksimum.
- c). Pahami setiap konsep yang disajikan pada uraian materi yang disajikan pada tiap kegiatan belajar dengan baik, dan ikuti contoh-contoh soal dengan cermat.
- d). Jawablah pertanyaan yang disediakan pada setiap kegiatan belajar dengan baik dan benar.
- e). Jawablah dengan benar soal tes formatif yang disediakan pada tiap kegiatan belajar.

- f). Jika terdapat tugas untuk melakukan kegiatan praktek, maka lakukanlah dengan membaca petunjuk terlebih dahulu, dan bila terdapat kesulitan tanyakan pada instruktur/guru.
- g). Catatlah semua kesulitan yang anda alami dalam mempelajari modul ini, dan tanyakan kepada instruktur/guru pada saat kegiatan tatap muka. Bila perlu bacalah referensi lain yang dapat membantu anda dalam penguasaan materi yang disajikan dalam modul ini.

D. Tujuan Akhir

Setelah mempelajari modul ini diharapkan anda dapat :

- ? Memahami Semikonduktor tipe p dan tipe n.
- ? Memahami Sambungan tipe p dan tipe n (dioda).
- ? Memahami Karakteristik Dioda.
- ? Memahami Penerapan Dioda dalam kehidupan.
- ? Memahami Konsep Transistor.
- ? Memahami Karakteristik Transistor.
- ? Memahami Penerapan Transistor.
- ? Memahami Transistor FET.
- ? Memahami Karakteristik Transistor FET.
- ? Memahami Penggunaan Transistor FET.

E. Kompetensi

Kompetensi : PIRANTI SEMI KONDUKTOR
 Program Keahlian : Program Adaptif
 Mata Diklat-Kode : FISIKA-FIS.07
 Durasi Pembelajaran: 18 jam @ 45 menit

SUB KOMPETENSI	KRITERIA UNJUK KINERJA	LINGKUP BELAJAR	MATERI POKOK PEMBELAJARAN		
			SIKAP	PENGETAHUAN	KETERAMPILAN
1. Menggunakan dioda	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Sesuai konduktor P dan semikonduktor disambung dengan cara melebur dan penumbuhan kristal. ☞ Dioda diidentifikasi dalam rangkaian penyearah setengah gelombang (half wave ractifier) dan penyearah setengah gelombang penuh (full-wave rectifier) 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Materi kompetensi ini membahas tentang: <ul style="list-style-type: none"> - Penyambungan semi konduktor p dan semi konduktor n - Dioda dalam rangkaian penyearah - Jenis dioda 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Teliti ☞ Cermat 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Cara penyambungan semikonduktor p dan semi konduktor n ☞ Penerapan dioda dalam rangkaian penyearah ☞ Dioda zener, dioda foto dan dioda pemancar 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Menerapkan prinsip-prinsip kelistrikan pada pengapian otomotif
2. Menggunakan transistor	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Bipolar dan FET diidentifikasi berdasarkan cara kerjanya ☞ Transistor digunakan sebagai penguat tenaga 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Konstruksi transistor dan cara kerjanya ☞ Transistor penguat tenaga ☞ Digunakan pada pekerjaan sistem kelistrikan otomotif 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Teliti ☞ Cermat 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Transistor bipolar (dua kutub) ☞ Transistor efek medan (Field Effect Transistor disingkat FET) ☞ Transistor sebagai penguat tenaga 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Menerapkan komponen elektronik pada sistem penerangan

F. Cek Kemampuan

Kerjakanlah soal-soal berikut ini, jika anda dapat mengerjakan sebagian atau semua soal berikut ini, maka anda dapat meminta langsung kepada instruktur atau guru untuk mengerjakan soal-soal evaluasi untuk materi yang telah anda kuasai pada BAB III.

1. Jelaskan terjadinya daerah pengosongan (deplesi) pada daerah sambungan p dan n!
2. Jelaskan prinsip kerja dioda apabila diberi tegangan maju dan mundur!
3. Bagaimana karakteristik dioda? Jelaskan secara singkat dan grafik karakteristiknya.
4. Dalam orde berapakah arus reserve (arus mundur) dalam sebuah dioda?
5. Sebutkan manfaat dioda dalam kehidupan sehari-hari!
6. Mengapa rangkaian penyearah yang menggunakan 2 dioda dan 4 dioda (sistem jembatan) disebut penyearah gelombang penuh?
7. Bagaimana bentuk perancangan transistor dari semikonduktor ekstrinsik tipe p dan tipe n?
8. Jelaskan pemberian tegangan pada kaki-kaki transistor disertai gambar!
9. Sebutkan penggunaan transistor dalam kehidupan sehari-hari!
10. Jelaskan pemberian tegangan pada FET dan sebutkan penggunaan FET?

B. Kegiatan Belajar

1. Kegiatan Belajar 1

a. Tujuan kegiatan pembelajaran

- ? Memahami konsep sambungan tipe-n dan tipe-p.
- ? Memahami konsep dioda.
- ? Memahami karakteristik dioda.
- ? Memahami penerapan dioda dalam kehidupan sehari-hari.

b. Uraian Materi

a) Persambungan p - n Sebagai Penyearah

Ciri pokok dari sambungan p - n adalah bahwa persambungan ini merupakan penyearah, yang dengan mudah mengalirkan arus dalam satu arah, akan tetapi menahan aliran dalam arah yang berlawanan. Sekarang kita tinjau secara kualitatif terjadinya kerja penyearah dioda tersebut.

b) Prategangan Balik

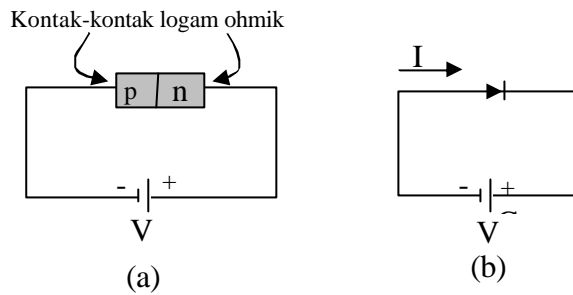
Dalam gambar (1), sebuah baterai dihubungkan melewati persambungan p - n . Kutub negatif baterai dihubungkan dengan sisi p dari persambungan dan kutub positif dengan sisi n . Polaritas hubungan ini adalah demikian sehingga hole dalam tipe- p dan elektron dalam tipe- n bergerak menjauhi persambungan. Oleh karenanya daerah bermuatan negatif menyebar ke sebelah kiri persambungan (gambar 1a) dan rapat muatan positif menyebar ke sebelah kanannya. Akan tetapi, proses ini tak dapat berlangsung terus menerus oleh karena untuk memperoleh arus stasioner ke kiri hole ini harus ditambahkan silikon tipe- n melewati persambungan. Di sebelah tipe- n terdapat hole yang banyaknya terbatas. Oleh karena itu menghasilkan arus

sama dengan nol. Sebenarnya memang ada arus kecil oleh karena sedikit pasangan elektron-hole dibentuk diseluruh kristal sebagai akibat energi termal. Hole yang terbentuk ini dalam silikon tipe- n akan mengembara melewati persambungan. Catatan yang serupa berlaku untuk elektron-elektron yang dibentuk termal dalam silikon tipe- p . Arus yang kecil ini adalah arus balik jenuh dari dioda dan besarnya dinyatakan dengan I_0 . Arus balik ini akan naik dengan naiknya temperatur dan karena tahanan balik dari dioda akan turun dengan naiknya temperatur. Dari penalaran yang disampaikan di sini, I_0 harus tak tergantung dari prategangan balik atau mundur.

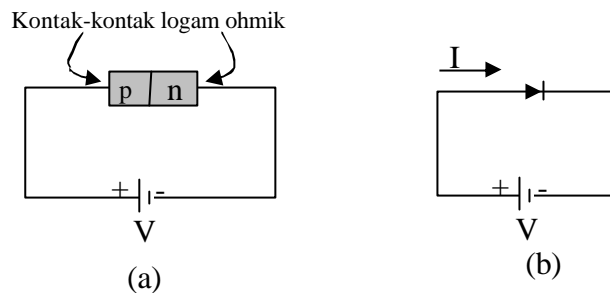
Mekanisme penghantaran dalam arah balik dapat digambarkan sebagai berikut. Apabila tak ada tegangan dipasang pada dioda p - n , barier potensial melewati persambungan. Apabila tegangan V diterapkan pada dioda, tinggi barier potensial akan dinaikkan sebesar qV . Kenaikan barier ini digunakan untuk mengurangi aliran pembawa mayoritas (yaitu hole dalam tipe- p dan elektron dalam tipe- n). Akan tetapi pembawa minoritas (yaitu elektron dalam tipe- p dan hole dalam tipe- n), tak terpengaruh oleh ketinggian barier, oleh karena mereka menuruni bukit energi potensial. Tegangan yang diterapkan dalam arah yang diperlihatkan dalam gambar 1 disebut *prategangan balik* atau *prategangan penghalang*.

c) **Prategangan Maju**

Suatu tegangan luar dengan polaritas seperti dalam gambar 8 berlawanan dengan yang diperlihatkan dalam gambar 1, disebut *prategangan maju*.



Gambar 1. (a) Suatu persambungan p - n dengan prategangan arah balik.
(b) Simbol penyearah yang digunakan dalam dioda p - n .



Gambar 2. (a) Suatu persambungan p - n diberi prategangan maju.
(b) Simbul penyearah yang digunakan dalam dioda p - n .

Suatu dioda p - n mempunyai penurunan tegangan ohmik sama dengan nol melintasi kristal. Untuk dioda serupa ini tinggi barier potensial pada persambungan akan diturunkan oleh tegangan maju V yang diterapkan. Keseimbangan antara gaya-gaya yang menghasilkan difusi pembawa mayoritas dan penahan yang dipengaruhi oleh barier potensial, yang mula-mula akan terganggu. Oleh karena itu dengan prategangan maju, hole dari tipe- p melewati persambungan ke tipe- n , dimana hole tersebut membentuk arus minoritas terinjeksikan. Dengan jalan yang sama elektron melintasi persambungan menjadi arus minoritas yang diinjeksikan ke dalam sisi p . Hole bergerak dari kanan ke kiri. Oleh karena itu arus yang dihasilkan melewati persambungan adalah jumlah dari minoritas hole dan elektron.

d) Kontak Ohmik

Dalam gambar 1 dan 2 diperlihatkan prategangan luar mundur (maju) diterapkan pada dioda p - n . Kita telah menganggap, bahwa prategangan luar

langsung muncul melintasi persambungan dan mempunyai pengaruh menaikkan (menurunkan) potensial elektrostatik lintas persambungan. Untuk membenarkan anggapan ini kita harus menentukan bagaimana kontak listrik dari rangkaian prategangan luar ke semikonduktor dibuat. Dalam gambar 1 dan 2 ditunjukkan logam kontak yang digunakan untuk bahan tipe- p dan tipe- n . Kita telah melihat bahwa kita telah mempergunakan dua persambungan logam semikonduktor untuk kedua ujung dari dioda. Kita mengharapkan suatu potensial kontak akan timbul lintas persambungan-persambungan tambahan ini. Akan tetapi kita akan menganggap bahwa kontak-kontak logam semikonduktor yang diperlihatkan dalam gambar 1 dan 2 telah dibuat sedemikian rupa sehingga melakukan penyearahan. Dengan perkataan lain, potensial kontak lintas persambungan-persambungan ini adalah tetap tidak tergantung pada arah dan besar arus. Kontak seperti ini disebut *kontak ohmik*.

Sekarang kita dapat membenarkan anggapan bahwa seluruh tegangan yang nampak sebagai *perubahan* dalam ketinggian dari barrier potensial. Oleh karena penurunan potensial lintas logam-semikonduktor, kontak ohmik, tetap besarnya, sedangkan penurunan potensial sepanjang masing-masing tubuh kristal dapat diabaikan, maka secara keseluruhan potensial yang diterapkan akan diamati sebagai perubahan dalam ketinggian barrier potensial pada persambungan $p-n$.

e) **Persambungan p-n Terangkai Terbuka dan Terangkai Pendek**

Apabila tegangan V dalam gambar 1 dan 2 disamakan nol, maka sambungan $p-n$ akan terangkai pendek. Dalam keadaan ini, sebagaimana akan diperlihatkan di bawah, tak ada arus yang dapat mengalir ($I = 0$) dan potensial elektrostatik V_0 tetap tak berubah dan sama dengan nilai dalam keadaan terangkai terbuka. Apabila ada arus ($I \neq 0$) logamnya akan dipanasi. Oleh karena tidak terdapat sumber energi dari luar, energi yang dibutuhkan

untuk memanasi kawat logam harus disediakan oleh persambungan $p-n$. Karenanya batang semikonduktor akan mendingin. Jelaslah bahwa dalam keadaan seimbang termal, pemanasan dan pendinginan bersamaan tak mungkin terjadi dan kita menarik kesimpulan bahwa $I = 0$. Oleh karena dalam keadaan terangkai pendek, jumlah tegangan dalam suatu simpal tertutup harus sama dengan nol, potensial persambungan V_0 harus secara tetap diimbangi oleh potensial kontak logam ke semikonduktor pada kontak ohmik. Oleh karena arus sama dengan nol, kawatnya dapat dipotong tanpa merubah keadaan dan penurunan tegangan sepanjang pemotongan harus tetap nol. Apabila kita mencoba mengukur V_0 kita hubungkan dengan voltmeter melintasi pemotongan, voltmeter akan menunjukkan tegangan nol. Dengan perkataan lain, tidak mungkin untuk mengukur beda potensial kontak langsung dengan voltmeter.

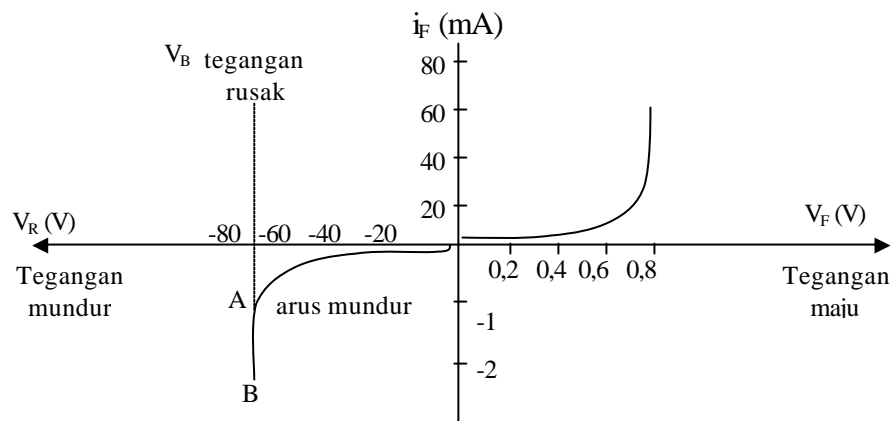
f) Tegangan Maju yang Besar

Tegangan maju V dalam gambar 1 dinaikkan dari V mendekati V_0 . Seandainya V sama dengan V_0 , barier akan hilang dan arus menjadi besar sekali, melebihi nilai kemampuan (rating) dari dioda. Dalam prakteknya kita tak pernah dapat mengecilkan barier sampai nol, karena apabila arus naik tanpa batas, tahanan tubuh kristal dan tahanan kontak-kontak ohmik akan membatasi arus tersebut. Oleh karena itu tak mungkin menganggap semua tegangan V akan muncul sebagai perubahan lintas persambungan $p-n$. Kita menarik kesimpulan apabila tegangan maju V mendekati V_0 , arus yang melalui dioda $p-n$ yang sebenarnya akan ditentukan oleh tahanan kontak-ohmik dan tahanan tubuh kristal. Karena itu karakteristik volt-ampere hampir menjadi sebuah garis lurus.

g) Karakteristik dioda semikonduktor

Karakteristik sebuah dioda adalah hubungan antara tegangan yang diberikan pada ujung-ujung terminal dioda dan arus listrik yang mengalir

melaluinya. Karakteristik sebuah dioda silikon tertentu ditunjukkan pada gambar 1. Dalam gambar ini tiap-tiap skala untuk tegangan maju V_F adalah 0,1 V; untuk tegangan mundur V_R adalah -10 V; untuk arus maju i_F adalah 10 mA; dan untuk arus mundur i_R adalah 1 μ A.



Gambar 3. Karakteristik I – V sebuah dioda silikon

Untuk $V_F = 0$ sampai dengan 0,6 V pertambahan kuat arus maju i_F sangat kecil. Dapat dikatakan bahwa dalam tegangan maju ini dioda belum menghantarkan arus listrik. Jika V_F sedikit melebihi 0,6 V maka i_F meningkat sangat tajam. Dalam tegangan ini dikatakan bahwa dioda telah mengalirkan arus listrik dan tegangan 0,6 V dinamai *tegangan nyala* (turn-on-voltage). (Ingat tegangan 0,6 V untuk dioda silikon sebelumnya kita namai tegangan perintang. Juga perhatikan gambar 3 bahwa nilai arus mundur, i_R , adalah sangat kecil jika dibandingkan dengan arus maju. Sebelum dioda menghantarkan arus dalam arah reverse, arus bocor reverse karena pembawa muatan minoritas berkisar dalam picoampere ($1 \text{ pA} = 10^{-12} \text{ A}$). Baru setelah tegangan 80 V ini dapat menyebabkan kerusakan pada sambungan pn sehingga dinamai tegangan rusak atau tegangan tembus (breakdown voltage). Kebanyakan dioda tidak didesain untuk beroperasi dalam daerah reverse.

h) Penyearah

Penyearah (rectifier) adalah alat yang melewatkan arus hanya ke satu arah saja. Alat ini umumnya digunakan untuk mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah. Arus bolak-balik (ac = alternating current) adalah arus yang mengalir dalam dua arah (nilainya bisa positif atau negatif), sedang arus searah (dc = direct current) adalah arus yang mengalir dalam satu arah (nilainya positif saja atau negatif saja). Untuk pemakaian-pemakaian pada tegangan rendah, sebagian besar penyearah menggunakan dioda. Ada dua jenis penyearah: penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh.

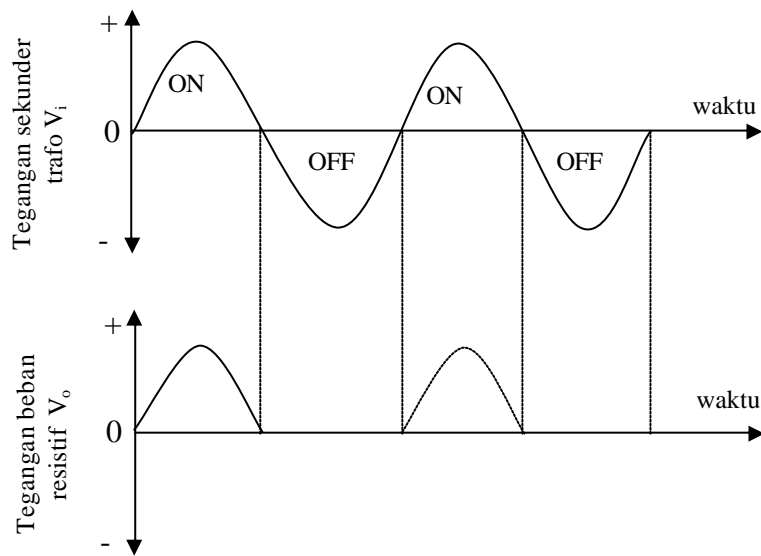
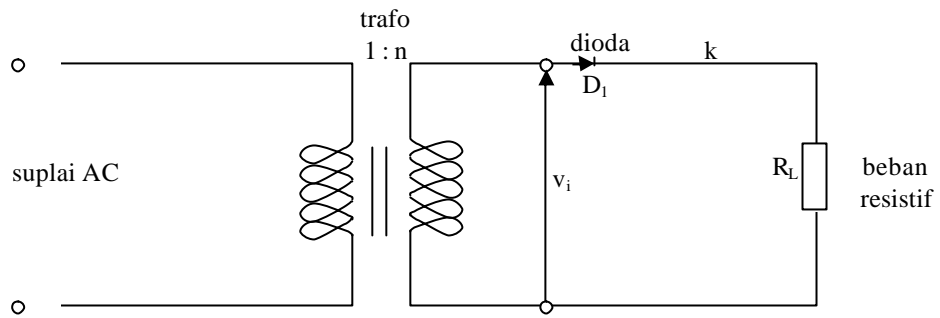
i) Penyearah setengah gelombang

Rangkaian penyearah setengah gelombang (half wave rectifier) yang sederhana terdiri dari sebuah trafo dan sebuah dioda, seperti pada gambar 4. Trafo (transformator) digunakan untuk menurunkan tegangan bolak-balik suplai AC (misal 220 V) menjadi tegangan bolak-balik yang sesuai (misal 12 V) untuk disearahkan.

Dioda D_1 berfungsi seperti saklar, yaitu memiliki dua keadaan: ON atau OFF. Ketika tegangan masukan V_i ada dalam siklus positif, sisi anoda A berpolaritas (+) dan sisi katoda K berpolaritas (-), yang berarti dioda dipanjar maju, maka D_1 melewatkan arus (ON). Untuk beban diandaikan sebagai beban resistif maka dalam siklus V_i positif ini, tegangan beban, V_o , sama dengan V_i .

Ketika tegangan masukan V_i ada dalam siklus negatif, sisi anoda A berpolaritas (-) dan sisi katoda K berpolaritas (+). Ini berarti dioda D_1 dipanjar mundur dan D_1 tidak melewatkan arus (off). Dalam siklus V_i negatif ini, tegangan beban V_o sama dengan nol.

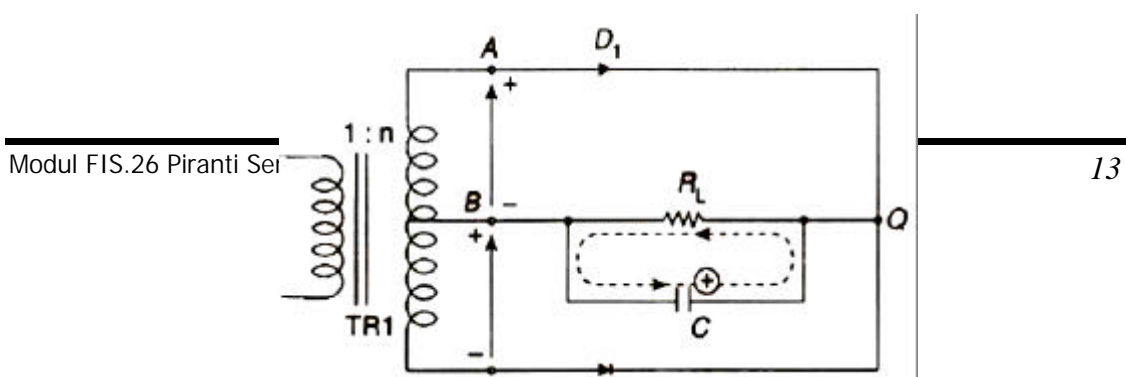
Karena tegangan keluaran penyearah V_o hanya ada dalam setengah siklus positif dari satu siklus tegangan masukan V_i maka penyearah ini disebut *penyearah setengah gelombang*.

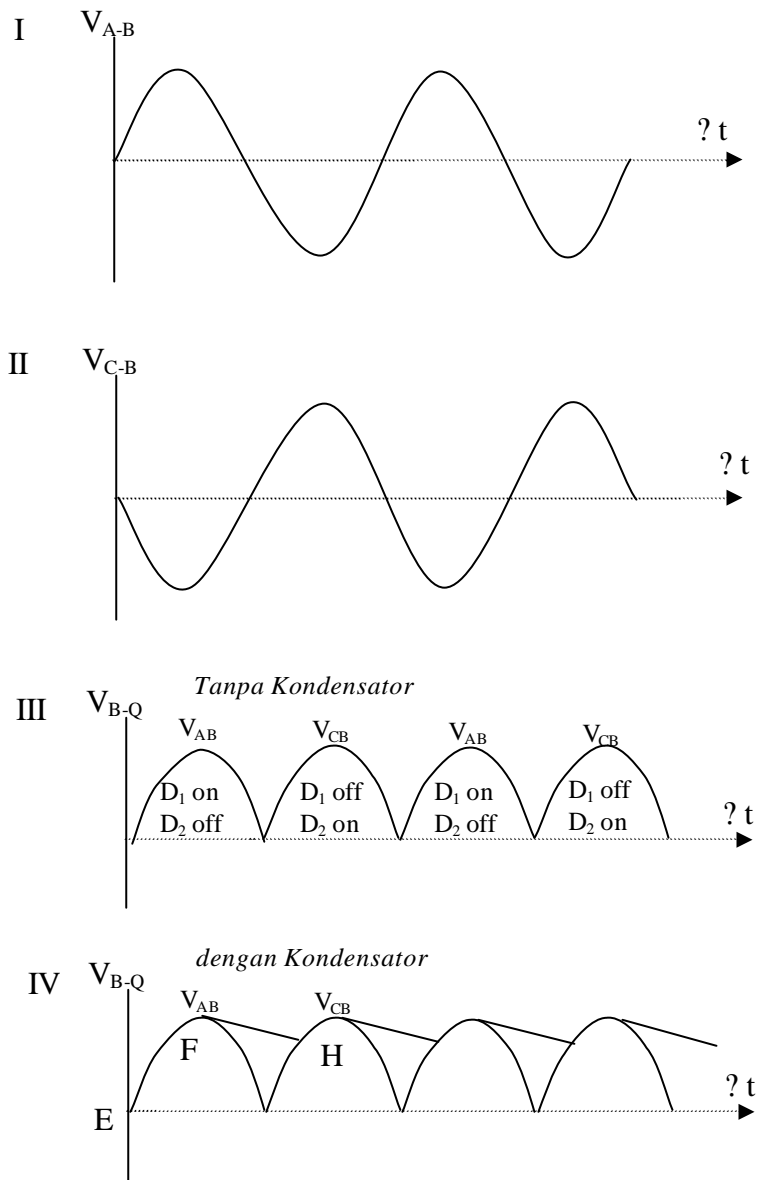


Gambar 4.: Penyearah Setengah Gelombang dengan beban resistif.

j) Penyearah gelombang penuh

Pada penyearah gelombang penuh, tegangan keluaran penyearah V_o , ada dalam satu siklus tegangan masukan, V_i , baik untuk setengah siklus positif maupun untuk setengah siklus negatif. Ada dua macam penyearah gelombang penuh: (1) penyearah dengan dua dioda dan trafo tap tengah dan (2) penyearah jembatan dengan empat buah dioda dan trafo biasa.



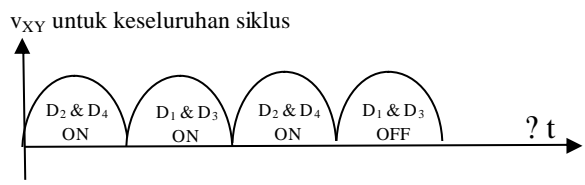
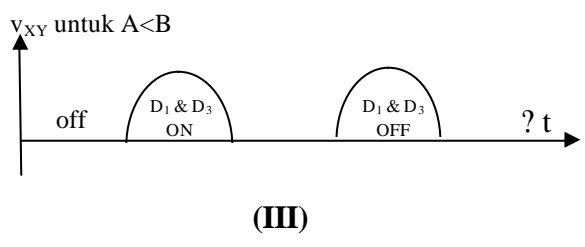
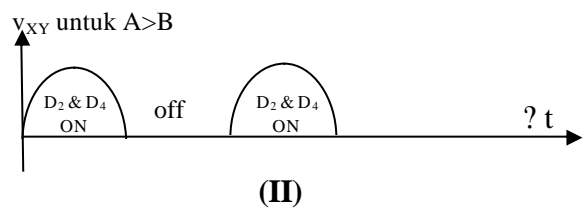
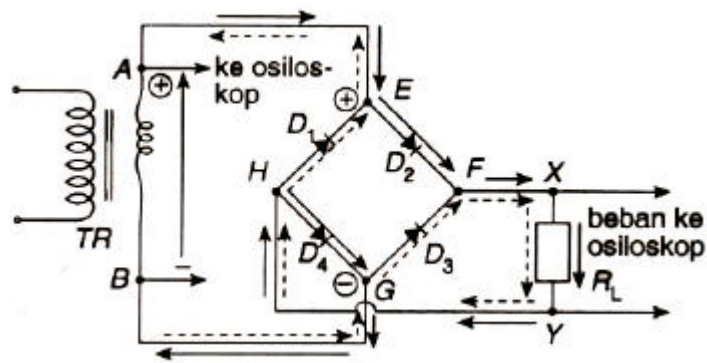


Gambar 5 : Penyearah Gelombang Penuh dengan 2 dioda

Agar arus lebih rata biasanya digunakan kapasitor yang disebut kondensator elektrolit (elco) seperti yang terlihat pada gambar 5 bagian IV di

atas. Hal ini disebabkan karena pada saat tegangan turun, kondensator mengeluarkan muatannya dan pada saat tegangan mulai naik sampai mencapai maksimum, kondensator menyimpan muatan.

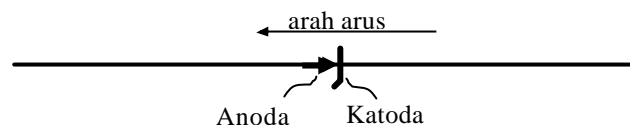
k) Gelombang Penuh dengan 4 dioda



Gambar 6 : Penyearah Gelombang Penuh dengan 4 dioda

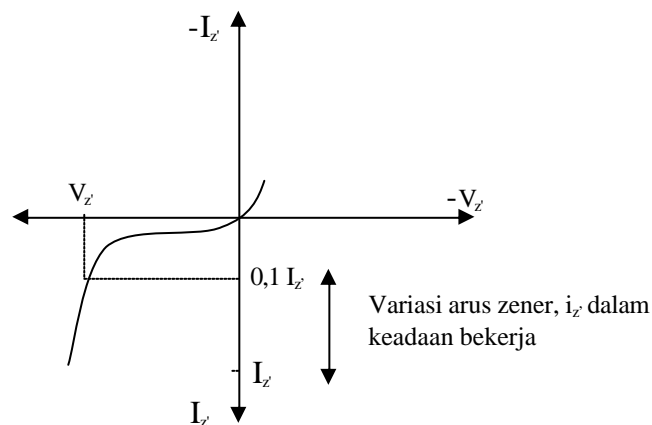
l) Dioda Zener

Dioda zener adalah suatu jenis dioda yang digunakan untuk menjaga agar tegangan dc pada ujung-ujung beban tetap berada dalam kisaran yang telah ditentukan. Dengan kata lain, zener digunakan sebagai pemantap tegangan. Symbol sebuah dioda zener ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Perhatikan bahwa zener bekerja dalam daerah reverse, sehingga arah aliran arus adalah dari katoda ke anoda (berlawanan arah dengan arus dalam dioda biasa).



Gambar 7 :. Simbol sebuah dioda zener.

Karakteristik arus-tegangan zener ditunjukkan pada gambar 8. Perhatikan bahwa zener hanya bekerja dalam daerah reverse di mana tegangan yang diberikan harus lebih besar daripada tegangan rusak atau tegangan zener (diberi symbol V_z). Jika I_z adalah kuat arus maksimum (atau batas kuat arus) yang diperbolehkan melalui zener maka dalam keadaan zener bekerja (melewatkan arus), kuat arus yang melalui zener mulai dari $0,1 I_z$ sampai dengan I_z .



Gambar 8 : Karakteristik i-V dioda zener.

Jika $i_z < 0,1 I_z$, zener tidak bekerja karena tegangan mundur yang diberikan pada zener lebih kecil daripada tegangan rusak. Jika $i_z > I_z$ maka zener akan rusak karena pemanasan lebih yang melampaui daya disipasi maksimum zener yang diperbolehkan, yaitu $V_z I_z$.

Untuk menjamin zener bekerja dalam daerah tegangan rusak dan sekaligus membatasi agar arus zener tidak melebihi arus maksimum I_z maka dalam rangkaian pemantap tegangan selalu dipasang resistor seri R_s .

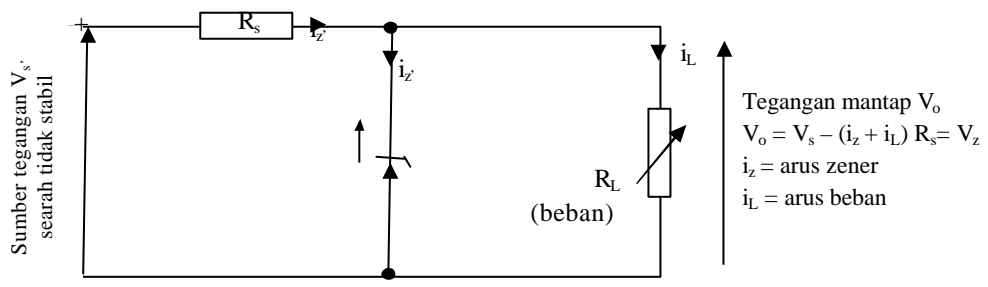
Nilai hambatan R_s dihitung dengan persamaan

$$R_s \geq \frac{V_s - V_z}{I_z - I_L} \dots\dots\dots(1)$$

Misalkan tegangan sumber searah V_s dapat bervariasi antara $(V_s)_{\min}$ sampai dengan $(V_s)_{\max}$ sampai dengan $(I_z)_{\max}$, maka zener dapat bekerja memantapkan tegangan (tegangan beban $V_L = V_z$) jika nilai hambatan R_s memenuhi persamaan.

$$R_s \geq \frac{(V_s)_{\max} - V_z}{(I_z)_{\max} - I_L} \dots\dots\dots(2)$$

dengan $(V_s)_{\max}$ adalah tegangan maksimum dari sumber searah yang bervariasi dan $(I_z)_{\max}$ arus maksimum yang diperbolehkan melalui zener.



Gambar 9 : Rangkaian pemantap tegangan yang menggunakan dioda zener.

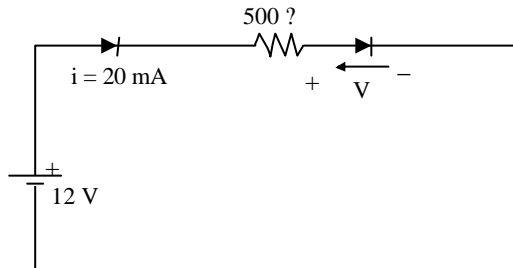
Contoh Soal 1

Sebuah sambungan pn dihubungkan ke suplai dc 12 V melalui suatu resistor seri 500 Ω . Arus yang mengalir adalah 20 mA. (a) Berapakah beda potensial sambungan dan daya disipasi dalam sambungan? (b) Jika polaritas baterai dibalik menyebabkan arus turun menjadi 100 μ A, berapakah beda potensial sambungan sekarang?

Penyelesaian

a. Sambungan pn dipanjar maju

$$\text{Kuat arus } i = 20 \times 10^{-3} \text{ A}$$



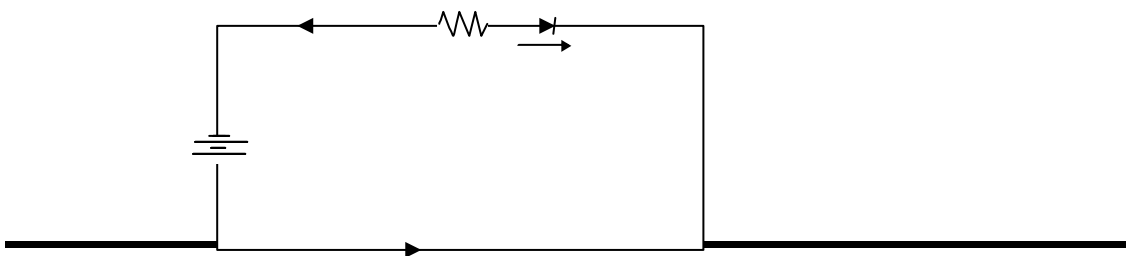
Beda potensial ujung-ujung resistor = $iR = 20 \times 10^{-3} (500) = 10 \text{ V}$. Oleh karena itu beda potensial sambungan V adalah

$$V = 12 - 10 = 2 \text{ volt}$$

Daya disipasi dalam sambungan, P ,

$$\begin{aligned} P &= V \cdot i = 2 (20 \times 10^{-3}) \\ &= 40 \times 10^{-3} \text{ W} \\ &\text{atau } 40 \text{ mW} \end{aligned}$$

b. Sambungan pn dipanjar mundur



$$i = 100 \times 10^{-6} \quad A = 10^{-4}$$

Beda potensial ujung-ujung resistor $-10^{-4} (500) = 5 \times 10^{-2} \text{ V} = 0,05 \text{ V}$.

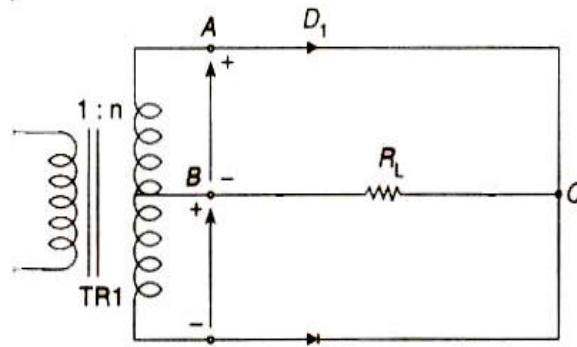
Oleh karena itu beda potensial sambungan (tegangan perintang) adalah:

$$V = 12 - 0,05 = 11,95 \text{ volt}$$

Jika tegangan perintang dari (b) dan (a) kita bandingkan maka tampak jelas bahwa tegangan perintang pada kondisi panjar mundur jauh lebih besar daripada kondisi panjar maju.

Contoh Soal 2

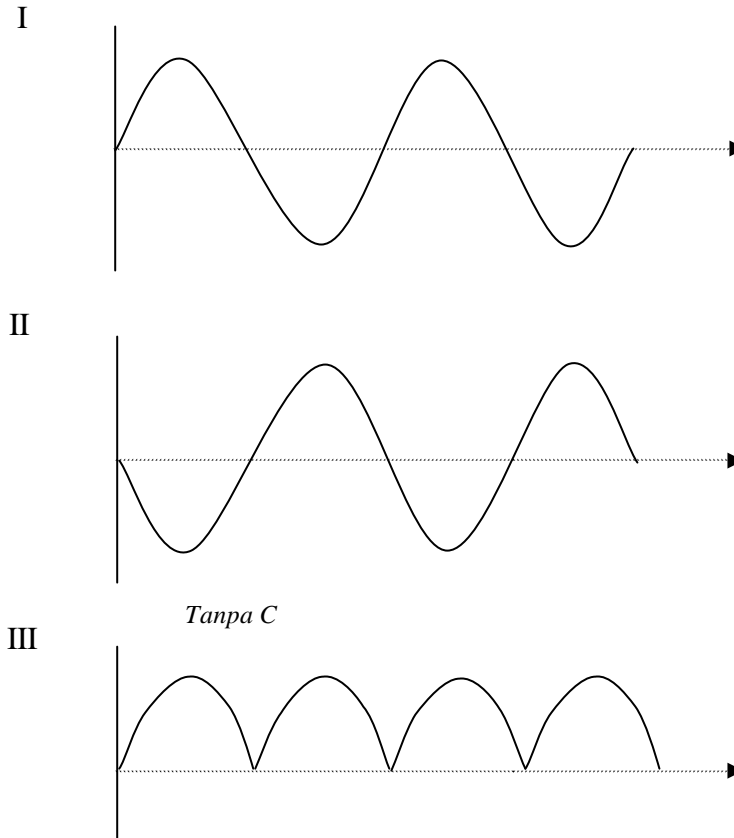
Gambar di samping adalah rangkaian penyearah dengan dua dioda dan sebuah *trafo centre tapped* (trafo tap tengah), yang memberikan tegangan yang tepat sama pada dioda D_1 dan D_2 .



- Gambarlah sketsa tegangan sinusoidal pada masukan A-B dan C-B.
- Gambarlah sketsa tegangan keluaran B-Q yang menunjukkan tegangan antar ujung beban R_L ketika:
 - A lebih positif dari B
 - A lebih negatif dari B
- Mengapa rangkaian penyearah ini disebut rangkaian penyearah gelombang penuh?

Penyelesaian

Sketsa-sketsa tegangan ditunjukkan pada grafik berikut ini



- Karena sisi sekunder trafo T_{R1} adalah centre tap, maka gelombang tegangan masukan AB selalu berlawanan fase dengan tegangan masukan CB. Ketika V_{AB} berada dalam siklus positif maka V_{CB} berada dalam siklus negatif. Ini ditunjukkan pada grafik (I) dan grafik (II).
- Ketika A lebih positif dari B (ditulis $A > B$) maka C lebih negatif dari B ($C < B$). Dioda D_1 dipanjar maju sehingga D_1 on dan D_2 dipanjar mundur sehingga D_2 off. Lintasan tertutup yang ditempuh arus listrik yang melalui beban R_L adalah loop $A \rightarrow D_1 \rightarrow P \rightarrow Q \rightarrow R_L \rightarrow B \rightarrow A$. Dengan demikian tegangan keluaran B-Q adalah sama dengan V_{AB} .

Ketika A lebih negatif dari B ($A < B$) maka C lebih positif dari B ($C > B$). Dioda D_1 dipanjar mundur sehingga D_1 off dan D_2 dipanjar maju sehingga D_2 on. Lintasan tertutup yang ditempuh arus listrik adalah melalui dioda D_2 terus ke beban yaitu loop C \rightarrow D_2 \rightarrow S \rightarrow Q \rightarrow R_L \rightarrow B \rightarrow C. Dengan demikian tegangan keluaran B-Q adalah sama dengan V_{CB} .

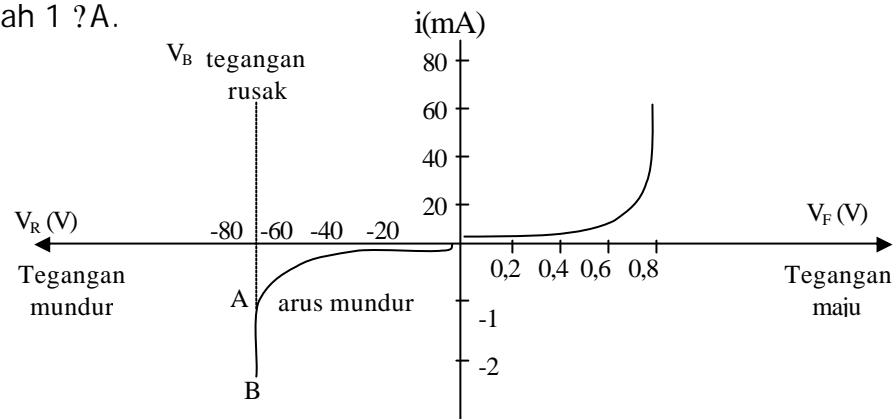
Grafik lengkap bentuk tegangan keluaran V_{BQ} untuk D_1 on, D_2 off dan D_1 off, D_2 on ditunjukkan pada grafik (III).

- c. Rangkaian disebut penyearah gelombang penuh karena tegangan keluaran penyearah, yaitu V_{BQ} , ada dalam satu siklus tegangan masukan, baik untuk setengah siklus positif maupun setengah siklus negatif, seperti ditunjukkan pada grafik (III).

c. Rangkuman

- a) *Semikonduktor ekstrinsik* adalah semikonduktor yang telah mengalami pengotoran atau penyisipan oleh atom akseptor atau atom donor. Pengotoran pada umumnya dilakukan dalam rangka untuk meningkatkan konduktivitas listriknya.
- b) Jika semikonduktor tipe-p dan tipe-n disambungkan, maka elektron akan berdifusi *menuju* daerah tipe-p, dan sebaliknya hole akan berdifusi menuju daerah tipe-n, sehingga terbentuk daerah persambungan. Pada daerah persambungan ini terbebas dari muatan mayoritas (*disebut daerah pengosongan*), tetapi terjadi dipole muatan sehingga timbul medan listrik dan terjadi potensial halang (=beda potensial antara daerah p dan n = built-in potential).
- c) Persambungan p-n sebagai penyearah :Ciri pokok dari sambungan p-n adalah bahwa persambungan ini merupakan penyearah, yang dengan mudah mengalirkan arus dalam satu arah, akan tetapi menahan aliran dalam arah yang berlawanan. Sekarang kita tinjau secara kualitatif terjadinya kerja penyearah dioda tersebut.

- d) Karakteristik sebuah dioda adalah hubungan antara tegangan yang diberikan pada ujung-ujung terminal dioda dan arus listrik yang mengalir melaluinya. Karakteristik sebuah dioda silikon tertentu ditunjukkan pada gambar10. Dalam gambar ini tiap-tiap skala untuk tegangan maju V_F adalah 0,1 V; untuk teganganmundur V_R adalah -10 V; untuk arus maju i_F adalah 10 mA; dan untuk arus mundur i_R adalah 1 mA.



Gambar Karakteristik $I - V$ sebuah dioda silikon

Untuk $V_F = 0$ sampai dengan 0,6 V pertambahan kuat arus maju i_F sangat kecil. Dapat dikatakan bahwa dalam teganganmaju ini dioda belum menghantarkan arus listrik. Jika V_F sedikit melebihi 0,6 V maka i_F meningkat sangat tajam. Dalam tegangan ini dikatakan bahwa dioda telah mengalirkan arus listrik dan tegangan 0,6 V dinamai *tegangan nyala* (turn-on-voltage). (Ingat tegangan 0,6 V untuk dioda silikon sebelumnya kita namai tegangan perintang. Juga perhatikan gambar 10 bahwa nilai arus mundur, i_R , adalah sangat kecil jika dibandingkan dengan arus maju. Sebelum dioda menghantarkan arus dalam arah reverse, arus bocor reverse karena pembawa muatan minoritas berkisar dalam picoampere ($1 \text{ pA} - 10^{-12} \text{ A}$). Baru setelah tegangan 80 V ini dapat menyebabkan kerusakan pada sambungan pn sehingga dinamai tegangan rusak atau tegangan tembus (breakdown voltage).

Kebanyakan dioda tidak didesain untuk beroperasi dalam daerah reverse.

- e) Dioda banyak digunakan penyearah, yaitu mengubah arus bolak balik menjadi arus searah baik dengan sistem 1 dioda yang menghasilkan setengah gelombang, 2 dioda dan 4 dioda (sistem jembatan) menghasilkan satu gelombang penuh.

d. Tugas

1. Jelaskan prinsip kerja dioda berdasarkan arus hole dan arus elektron apabila diberi tegangan maju dan mundur!
2. Bagaimana karakteristik dioda? Jelaskan secara singkat dan grafik karakteristiknya.
3. Sebutkan manfaat dioda dalam kehidupan sehari-hari!
4. Mengapa rangkaian penyearah yang menggunakan 2 dioda dan 4 dioda (sistem jembatan) disebut penyearah gelombang penuh?

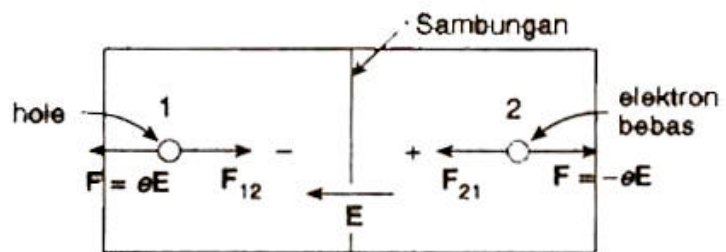
e. Tes Formatif

1. Ketika material jenis-p dan jenis-n disambungkan maka di sekitar persambungan sejumlah elektron bebas terdifusi dari sisi-n ke sisi-p, demikian juga sejumlah hole berdifusi dari sisi-p ke sisi-n. Kapankah difusi elektron bebas dan hole ini berhenti?
2. Apakah keuntungan menggunakan silikon dibandingkan germanium?
3. a) Jelaskan mengapa, ketika dioda sambungan pn dihubungkan dalam suatu rangkaian dan dipanjar mundur, ada suatu arus bocor sangat kecil melintasi sambungan. Bagaimana ukuran (besar) arus ini bergantung pada suhu dioda?
b) Mengapa dengan menaikkan tegangan mundur asal tidak melampau tegangan tembus, arus bocor ini hampir meningkat?
c) Apa yang menyebabkan kenaikan arus bocor ini (disebut arus mundur) sangat tajam setelah tegangan tembus?

4. Gambar arus listrik searah setengah gelombang dan gelombang penuh!

f. Kunci Jawaban

1. (Jawaban : Telah kita ketahui difusi elektron bebas dan hole di sekitar persambungan menyebabkan sisi-n bermuatan (+) dan sisi-p bermuatan (-). Perbedaan jenis muatan ini menyebabkan terbentuknya medan listrik internal E , disekitar persambungan. Arah E adalah arah ke kiri yaitu dari muatan (+) ke muatan (-), seperti ditunjukkan pdada gambar berikut ini.



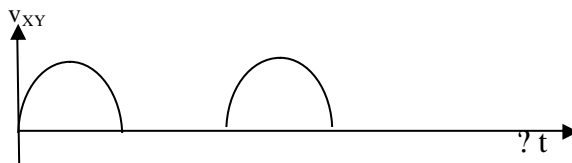
Medan listrik internal E memberikan gaya elektrostatis $F = eE$ pada hole 1 juga bekerja daya tarik elektron bebas 2 yang muatannya berbeda, yaitu F_{12} . Gaya-gaya F_{12} dan F pada nilai ini juga difusi elektron bebas akan berhenti. Ketika difusi hole dan elektron bebas berhenti terbentuklah lapisan pengosongan di sekitar persambungan pn.

2. Seperti telah dijelaskan bahwa, hole-hole dan elektron-elektron bebas akan bertambah dalam material semikonduktor karena efek kalor (panas), kalor memberi energi yang cukup kepada beberapa elektron untuk memutuskan ikatan kovalennya menjadi elektron bebas. Hasil hole-hole dan elektron-elektron bebas meningkatkan arus-arus yang tidak diinginkan, yang mengganggu aliran arus yang diinginkan dalam material semikonduktor. Karena celah energi dalam pita terlarang yaitu energi yang diperlukan oleh sebuah elektron untuk bebas dari atom induknya adalah lebih besar untuk silikon daripada untuk

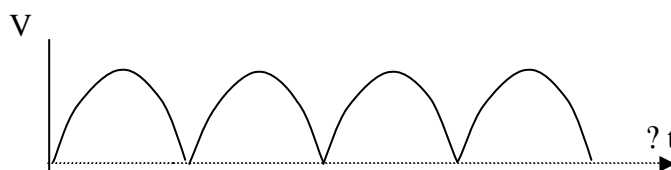
germanium, maka operasi peralatan yang menggunakan semikonduktor silikon lebih sedikit dipengaruhi oleh panas daripada peralatan yang menggunakan semikonduktor germanium.

3. a) Arus bocor ini disebabkan oleh sedikit pasangan elektron-hole yang diciptakan dalam lapisan pengosongan karena agitasi termal. Karena pasangan elektron-hole disebabkan oleh agitasi termal, maka banyaknya pasangan elektron-hole yang tercipta dalam lapisan pengosongan bergantung pada suhu dioda. makin tinggi suhu dioda makin banyak pasangan elektron-hole yang tercipta dalam lapisan pengosongan, dan itu berarti makin besar arus bocor yang melintasi sambungan pn.
- b) Untuk tegangan mundur lebih kecil daripada tegangan tembus dapat kita katakan hampir tidak bergantung pada tegangan mundur yang diberikan bahkan jika seluruh pasangan elektron-hole yang tersedia dalam lapisan pengosongan telah digunakan sebagai pembawa muatan (minoritas), menaikkan tegangan mundur tidak menaikkan arus.
- c) Kenaikan sangat tajam dalam arus bocor (arus mundur) setelah melebihi tegangan tembus adalah disebabkan oleh produksi pembawa-pembawa muatan sebagai tambahan terhadap pasangan elektron-hole yang diciptakan oleh agitasi termal.

4. Arus listrik searah setengah gelombang



Arus listrik searah gelombang penuh.



g. Lembar Kerja

Memahami Cara kerja penyearah 4 dioda.

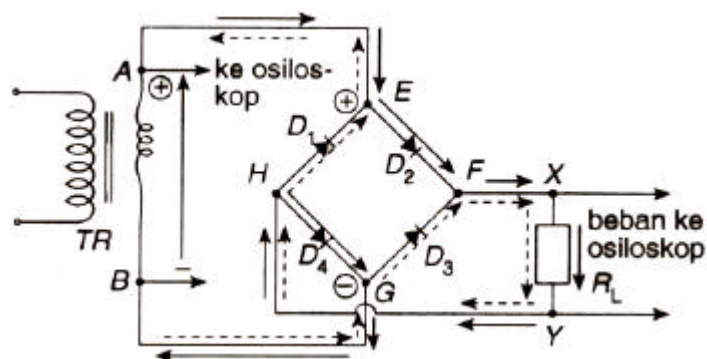
Pembuktian bahwa bentuk gelombang dari tegangan pada penyearah 4 dioda berbentuk gelombang penuh.

1. Alat

- o 1 buah osiloskop.
- o 1 buah Transformator dengan keluaran 12 Volt.
- o 4 buah dioda.
- o Papan rangkaian.
- o Kabel penghubung.

2. Langkah kerja

1. Rangkaikan alat dan komponen seperti gambar dibawah ini :



2. Hubungkan titik A dan B ke colok osiloskop!
3. Amati dan gambarkan bentuk gelombangnya!
4. Selanjutnya hubungkan titik F dan H ke osiloskop!
5. Amati dan gambarkan bentuk gelombangnya!
6. Pasang kondensator elektrolit (elco) kaki positif dihubungkan dengan titik x dan negatif dengan y.
7. Amati dan gambarkan bentuk gelombangnya!
8. Tuliskan kesimpulan dari kegiatan ini!

2. Kegiatan Belajar 2

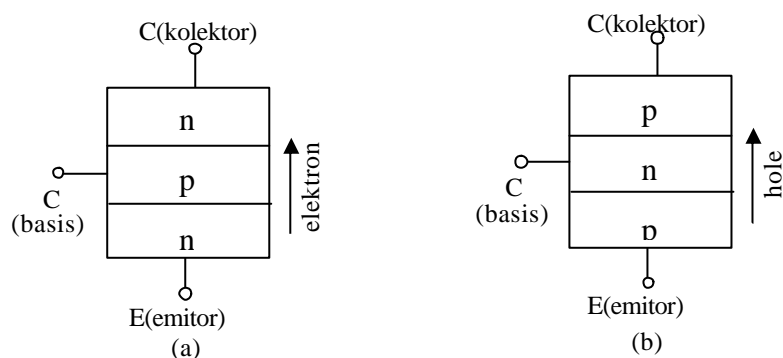
a. Tujuan Kegiatan Pembelajaran

- ? Memahami konsep sambungan n-p-n dan p-n-p.
- ? Memahami konsep transistor.
- ? Memahami karakteristik transistor.
- ? Memahami penerapan transistor dalam kehidupan sehari-hari.
- ? Memahami FET.
- ? Memahami karakteristik FET.
- ? Memahami penggunaan FET dalam kehidupan sehari-hari.

b. Uraian Materi

a) Transistor

Transistor ditemukan pada tahun 1948 oleh tiga fisikawan Amerika: William Shockley, John Bardeen, dan Walter Brattain. Ada dua macam transistor: transistor bipolar dan transistor efek medan. Kita hanya membahas tentang transistor bipolar yang selanjutnya cukup disebut sebagai transistor.



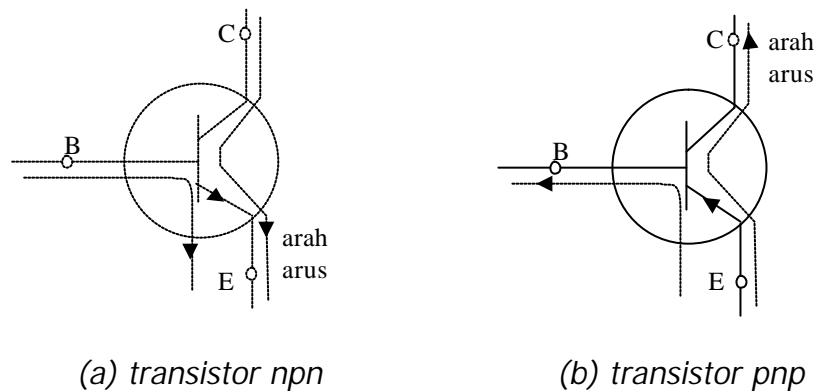
Gambar 10. (a) Transistor npn, (b) Transistor pnp.

Transistor bipolar disusun atas tiga buah semikonduktor ekstrinsik yang disusun berselang-seling. Semikonduktor yang ditengah disebut *basis* dan didesain *lebih tipis* (mengandung pembawa muatan yang lebih sedikit)

dibandingkan dengan kedua semikonduktor yang mengapitnya. Jika semikonduktor yang di tengah adalah jenis-p maka disebut transistor npn dan jika jenis-n maka disebut transistor pnp. Ketiga kutub semikonduktor diberi nama kolektor (pengumpul), basis (landasan), dan emitor (pemancar atau penyebar).

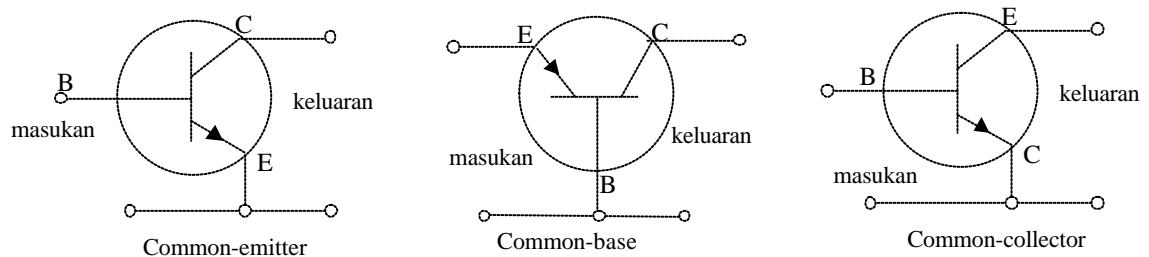
b) Simbol transistor

Gambar 11 menunjukkan simbol transistor npn dan pnp. Anak panah selalu ditempatkan pada emitor dan arah anak panah menunjukkan arah arus konvensional (arah muatan listrik positif), yang berlawanan dengan arah arus elektron. Dalam transistor npn arah anak panah adalah menuju ke emitor sedang dalam transistor pnp arah anak panah adalah menjauhi emitor.



Gambar 11. Simbol transistor; B= basis, C= kolektor, dan E= emitor

Pada transistor npn, arus mengalir dari B ke E dan dari C ke E. Ini berarti $V_B > V_E$ dan $V_C > V_E$. Sebaliknya, pada transistor pnp, arus mengalir dari E ke B dan dari E ke C. Ini berarti $V_E > V_B$ dan $V_E > V_C$.



Gambar12 : Tiga cara menghubungkan transistor dalam rangkaian.

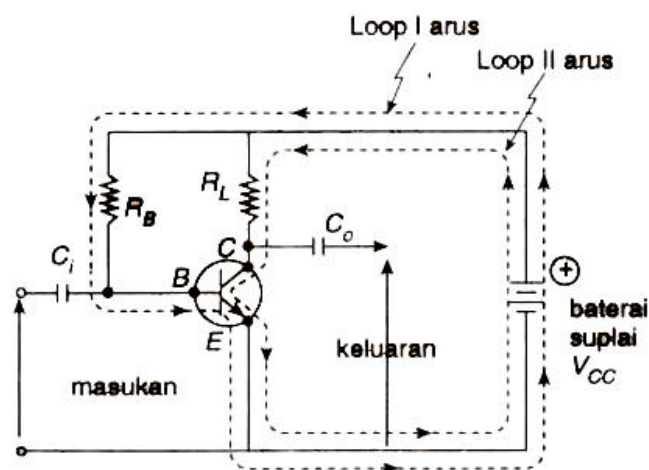
c) Hubungan transistor dalam rangkaian

Karena transistor adalah komponen listrik dengan tiga buah elektroda maka transistor dapat dihubungkan dengan tiga cara ke dalam suatu rangkaian, disebut Common-base (basis bersama), Common-emitter (emitor bersama) dan Common-colector (kolektor bersama), lihat gambar 12.

Hubungan yang paling sering digunakan dalam penguatan adalah common-emitter. Oleh karena itu kita hanya membahas tentang hubungan common-emitter.

d) Memberikan panjar (bias) pada transistor

Penggunaan sebuah baterai untuk memberikan tegangan panjar pada rangkaian transistor npn common-emitter. Loop I arus menunjukkan bahwa arus mengalir dari basis B ke emitor E, yang berarti bahwa sambungan emitor (sisi-n) basis (sisi-p) dipanjar maju. Loop II arus menunjukkan bahwa arus mengalir dari kolektor C ke emitor E melalui basis B, yang berarti bahwa sambungan basis (sisi-p)-kolektor (sisi-n) dipanjar mundur, lihat gambar 13.



Gambar13 : Metode memberikan panjar pada sebuah transistor npn common-emitter dengan sebuah baterai suplai V_{CC}

e) Transistor sebagai penguat arus

Jika kuat arus masuk I_B dan kuat arus keluaran I_C maka diperoleh hasil bahwa I_C jauh lebih besar daripada I_B (diukur oleh amperemeter A_1) dan kuat arus keluaran I_C (diukur oleh amperemeter A_2), seperti ditunjukkan pada gambar 14 Penguatan arus searah (diberi lambang h_{FE}) didefinisikan sebagai nilai perbandingan antara kuat arus kolektor I_C sebagai keluaran dan kuat arus basis I_B sebagai masukan.

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} \dots\dots\dots(3)$$

Nilai khas h_{FE} berkisar antara 20-200.

Dengan menggunakan hukum I Kirchoff pada titik cabang B diperoleh

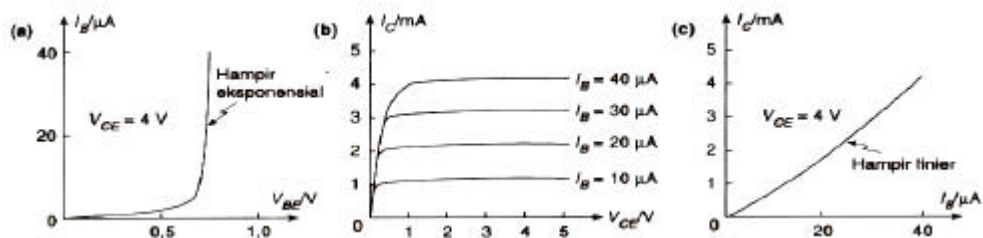
$$I_E = I_B + I_C \dots\dots\dots(4)$$

Misalkan $I_B = 0,05 \text{ mA}$ dan $h_{FE} = 100$ maka

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow I_C = h_{FE} \cdot I_B = 100 (0,05 \text{ mA}) \dots\dots\dots(5)$$

$$= 5 \text{ mA}$$

$$I_E = (0,05 + 5) \text{ mA} = 5,05 \text{ mA}.$$



Gambar 14. Karakteristik transistor npn common-emitter : (a) karakteristik masukan ; (b) karakteristik keluaran; (c) karakteristik transfer

Tampak bahwa kuat arus melalui emitor hampir mendekati kuat arus melalui kolektor. Oleh karena itu sering dalam memecahkan permasalahan diambil pendekatan:

$$I_E = I_C \dots \dots \dots (6)$$

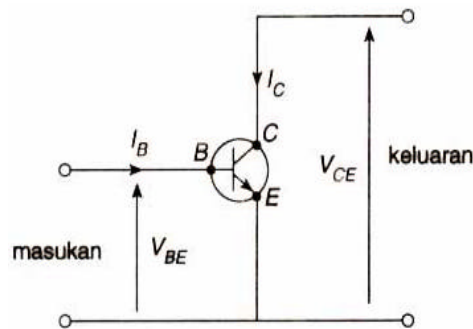
f) Karakteristik transistor

Karakteristik transistor adalah sekumpulan grafik yang menyatakan hubungan antara kuat arus yang melalui ketiga kutub transistor dan tegangan- tegangan panjangnya.

? **Karakteristik masukan ($I_B - V_{BE}$)**

Perhatikan rangkaian common-emitter pada gambar 15, sebagai masukan adalah terminal BE. Oleh karena itu karakteristik masukan adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara arus basis I_B dengan tegangan antara basis-emitor V_{BE} untuk nilai tegangan antara kolektor-emitor V_{CE} dijaga tetap. *Hambatan masukan* transistor R_i didefinisikan sebagai

$$R_i = \frac{V_{BE}}{I_B} \dots \dots \dots (7)$$



Gambar15 : Transistor common-emitter, BE = masukan, dan CE = keluaran

? **Karakteristik keluaran ($I_C - V_{CE}$)**

Perhatikan gambar 16 sebagai keluaran adalah terminal CE sehingga karakteristik keluaran adalah terminal CE sehingga karakteristik keluaran adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara arus kolektor I_C dengan tegangan antara kolektor-emitor V_{CE} untuk nilai arus basis I_B dijaga tetap.

Perhatikan, transistor yang difungsikan sebagai penguat harus dioperasikan pada nilai V_{CE} di sebelah kanan tekukan ($V_{CE} > 0,5$). Ini karena dalam daerah ini, grafik adalah linier (garis lurus) sehingga penguat akan menghasilkan keluaran yang tidak mengalami distorsi (cacat bentuk).

Hambatan keluaran transistor R_o didefinisikan sebagai

$$R_o \approx \frac{V_{CE}}{I_C} \dots \dots \dots (8)$$

? Karakteristik transfer ($I_C - I_B$)

Karakteristik transfer adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara arus keluaran I_C dengan arus masukan I_B untuk nilai tegangan V_{CE} dijaga tetap. Penguatan arus bolak-balik h_{fe} didefinisikan sebagai

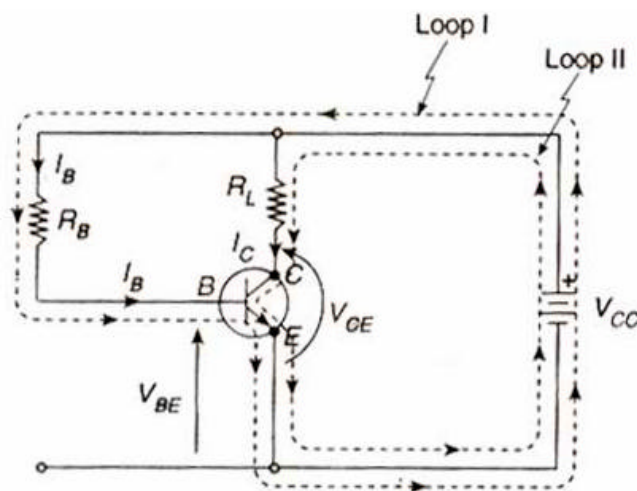
$$h_{fe} \approx \frac{I_C}{I_B} \dots \dots \dots (9)$$

Karena karakteristik transfer mendekati garis lurus yang melalui titik asal (0,0) maka penguatan arus bolak-balik hampir sama dengan penguatan arus searah.

$$\frac{I_C}{I_B} \approx \frac{I_C}{I_B} \approx h_{fe} \approx h_{FE} \dots \dots \dots (10)$$

Dalam soal dapat saja kita ambil pendekatan bahwa

$$h_{fe} \approx h_{FE} \approx \frac{I_C}{I_B} \dots \dots \dots (11)$$



Gambar 16 : Rangkaian transistor common-emitter dalam keadaan diam

g) Transistor sebagai penguat tegangan

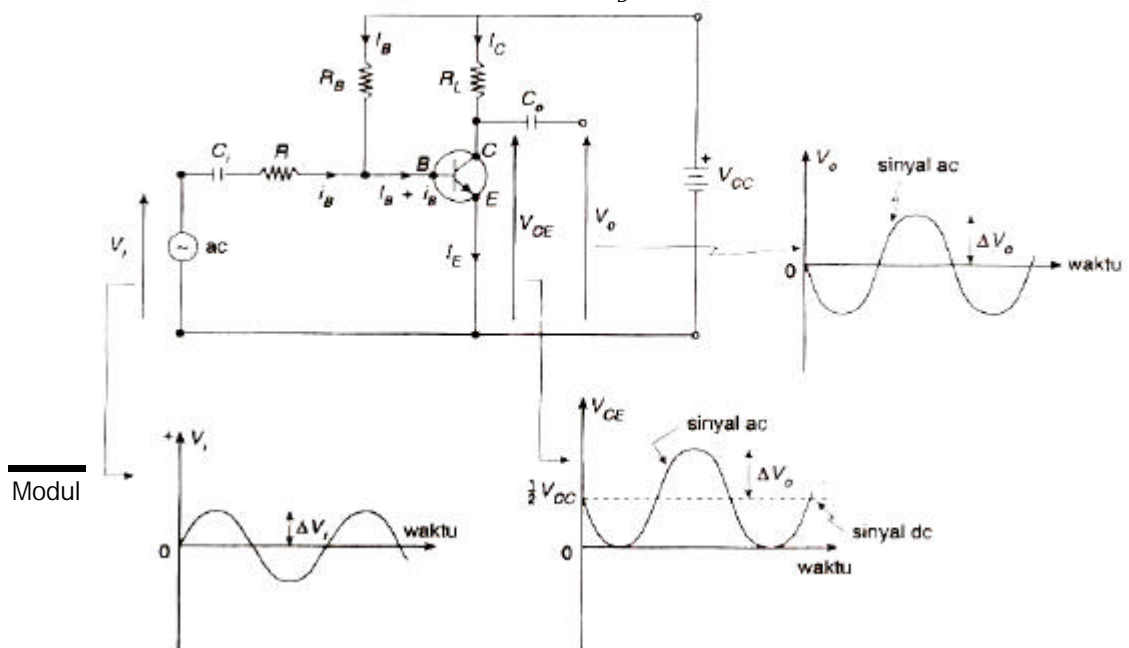
Pada gambar 17 ditunjukkan rangkaian transistor npn common-emitter yang berfungsi sebagai penguat tegangan ac (bolak-balik), yaitu memperkuat sinyal tegangan ac kecil pada terminal masukan menjadi sinyal tegangan ac lebih besar pada terminal keluaran.

h) Penguat dalam keadaan diam

Ketika kepada rangkaian penguat belum diberi sinyal masukan ac maka rangkaian penguat disebut berada dalam keadaan diam. Supaya transistor bekerja maka transistor harus dipanjar dengan tegangan dc (searah). Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa kita dapat memberi panjar maju pada sambungan emitor-basis dan panjar mundur pada sambungan kolektor-basis dengan hanya menggunakan satu sumber tegangan dc, yaitu V_{CC} .

Resistor panjar basis R_B memberikan tegangan panjar yang diperlukan oleh sambungan basis-emitter, yaitu kira-kira 1,0 V. R_B dapat dihitung dari

loop I arus, $V_{CC} = I_B \cdot R_B + V_{BE}$ $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$ (12)



Gambar 17 : Rangkaian lengkap penguat tegangan common-emitter ($I_B =$ arus searah melalui basis, $i_B =$ arus bolak-balik basis).

Resistor dapat beban, R_L , dihubungkan seri dengan kolektor R_L dapat dihitung dari loop II arus,

$$V_{CC} = I_C R_L + V_{CE}$$

$$R_L = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} \dots\dots\dots(13)$$

Dari persamaan (13) kita dapat mendesain nilai R_L agar dalam keadaan diam, rangkaian memberikan penguatan tegangan yang baik. biasanya R_L dipilih sedemikian sehingga tegangan antara kolektor-emitor adalah setengah dari tegangan sumber V_{CC} .

$$V_{CE} = \frac{1}{2} V_{CC} \dots\dots\dots(14)$$

Misalkan $V_{CC} = 10$ V maka $V_{CE} = \frac{1}{2} \times 10 = 5,0$ V.

Catatan: Anggapan $V_{CE} = \frac{1}{2} V_{CC}$ kita ambil jika dalam perhitungan nilai V_{CE} diperlukan tetapi tidak diketahui.

i) Penguat tegangan dengan sinyal masukan ac

Rangkaian penguat tegangan common-emitter lengkap dengan sinyal masukan dan sinyal keluaran lengkap dengan sinyal masukan dan sinyal keluaran ditunjukkan pada gambar (17). Sinyal masukan ac dipasang di antara basis dan emitor melalui sebuah kapasitor masukan C_i dan hambatan rangkaian masukan R. Kapasitor C_i akan memperbolehkan arus AC dari sinyal masukan melaluinya tetapi kapasitor C_i akan memblok arus searah sehingga tidak akan mengganggu rangkaian panjar.

Jika keluaran langsung diambil pada terminal C-E, yaitu V_{CE} , maka bentuk sinyal masih mengandung sinyal dc. Agar hanya diperoleh sinyal ac pada keluaran maka dipasang kapasitor keluaran C_o yang akan meneruskan

sinyal ac dan memblok sinyal dc sebagai akibatnya sinyal keluaran V_o hanyalah sinyal ac.

Penguatan tegangan (diberi lambang A) didefinisikan sebagai hasil bagi antara perubahan tegangan keluaran ΔV_o dengan perubahan tegangan masukan ΔV_i dan dinyatakan oleh

$$A = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} = h_{fe} \frac{R_L}{R_i + R} \dots \dots \dots (15)$$

dengan R_L = hambatan resistor beban, R_i = hambatan masukan transistor (nilai khas 1 k Ω) dan R = hambatan rangkaian masukan.

j) Garis beban dan titik kerja

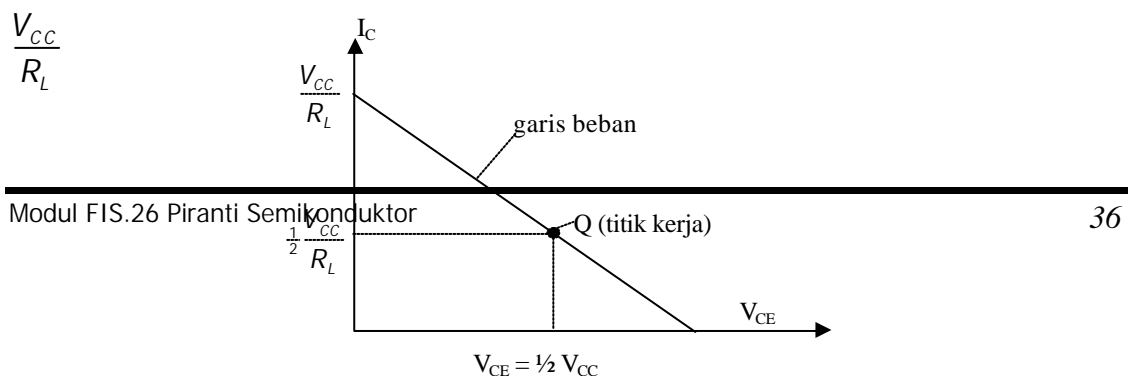
Sewaktu menurunkan persamaan (25) telah kita peroleh persamaan

$$V_{CC} = I_C R_L + V_{CE} = I_C R_L + V_{CE} \dots \dots \dots (16)$$

$$I_C = \frac{1}{R_L} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_L} \dots \dots \dots (17)$$

Persamaan (17) mirip dengan persamaan garis lurus $y = mx + n$, dengan $y = I_C$, $x = V_{CE}$, $m = \frac{1}{R_L}$ dan $n = \frac{V_{CC}}{R_L}$. Oleh karena itu grafik kuat arus keluaran I_C terhadap tegangan keluaran dc V_{CE} akan berbentuk garis lurus dengan kemiringan $m = \frac{1}{R_L}$ dan memotong sumbu vertikal I_C pada nilai $I_C = \frac{V_{CC}}{R_L}$.

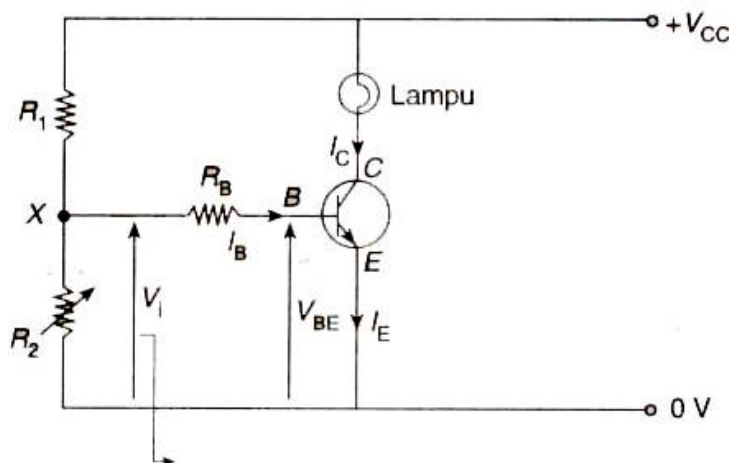
Garis lurus yang menyatakan hubungan antara I_C dan V_{CE} inilah yang disebut sebagai garis beban, karena garis ini menyatakan semua titik kerja yang mungkin. Titik kerja pada keadaan diam dipilih ditengah-tengah garis beban (titik Q), lihat gambar 18. Jika titik kerja pada keadaan diam tidak di tengah-tengah garis beban (titik Q), maka akan terjadi cacat bentuk (distorsi). Oleh karena itu titik kerja Q memiliki absis $(V_{CE})_Q = \frac{1}{2} V_{CC}$ dan ordinat $(I_C)_Q = \frac{1}{2} \frac{V_{CC}}{R_L}$.



Gambar 18 : Garis beban dan titik kerja

k) Transistor sebagai saklar

Prinsip utama rangkaian transistor sebagai saklar adalah mengatur tegangan masukan dc V_i yang akan memberikan tegangan panjar V_{BE} pada transistor, seperti ditunjukkan pada gambar 19.



Gambar19 : Prinsip transistor sebagai saklar: R_2 besar transistor terhubung, R_2 kecil transistor terputus.

Berdasarkan prinsip membagi tegangan pada resistor tetap R_1 dan resistor variabel R_2 maka tegangan masukan dc V_i , dinyatakan oleh

$$V_i = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \dots\dots\dots (18)$$

Supaya transistor terhubung, untuk transistor silikon V_{BE} sekitar 0,6 v. Karena adanya jatuh tegangan $I_B R_B$ maka tegangan masukan dc V_i harus lebih besar daripada 0,6 V ($V_i > 0,6$).

Sekarang perhatikan persamaan (18), Jika harga R_2 besar maka V_i hampir mendekati V_{CC} dan transistor terhubung (on). Jika harga R_2 kecil maka V_i hampir mendekati nol dan transistor terputus (off). Keadaan R_2 besar

disebut 'basis tinggi' dan transistor on, sedang keadaan R_2 kecil disebut 'basis rendah' dan transistor off.

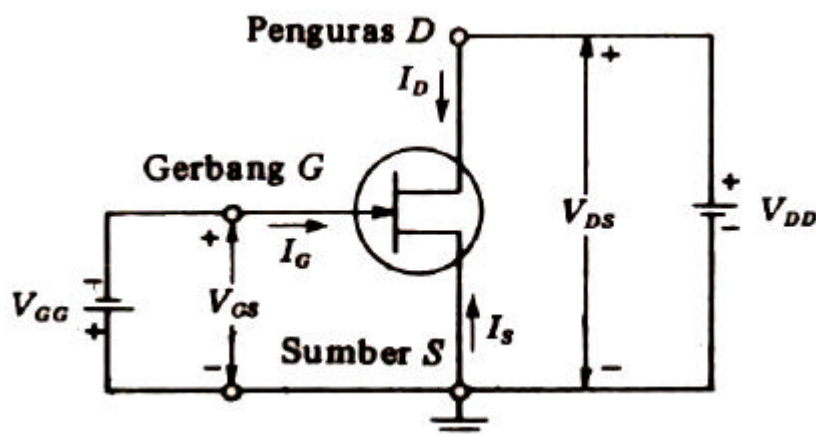
I) Integrated Circuit

Integrated circuit (disingkat IC) atau rangkaian terpadu ditemukan oleh Jack Kilby pada akhir 1958 dan Robert Noyce pada awal 1959. Integrated circuit adalah sekumpulan antarkoneksi antara transistor-transistor, dioda-dioda, resistor-resistor dan kapasitor-kapasitor yang ditempatkan pada sekeping silikon. Penemuan IC dianggap sebagai teknologi sangat hebat karena ratusan ribu komputer dapat ditempatkan pada daerah seluas 1 cm^2 .

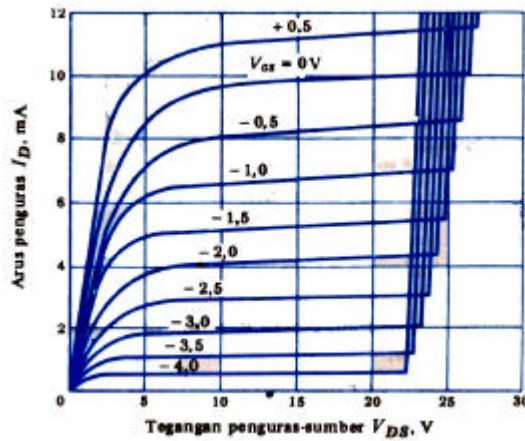
Dibandingkan dengan rangkaian biasa, IC memiliki tiga keunggulan yaitu: keandalan tinggi, kecepatan proses tinggi dan harga murah. Oleh karena itu IC hampir digunakan dalam setiap peralatan elektronik seperti: kalkulator, jam, radio, TV, komputer, dan sebagainya.

m) Transistor Efek Medan (FET)

Transistor efek medan adalah alat semikonduktor yang operasinya bergantung pada pengendalian arus oleh medan listrik. Kita mengenal dua tipe transistor efek-medan, transistor efek-medan penyambungan (junction field-effect transistor, disingkat JFET atau cukup FET saja) dan transistor efek-medan gerbang-terisolasi (insulated-gate field-effect transistor, disingkat IGFET), yang lebih lazim disebut transistor semikonduktor-oksida logam [metal-oxide-semikonduktor transistor (MOST, atau MOSFET)].



Gambar20 : Simbol rangkaian untuk FET saluran-n



Gambar 21 : Karakteristik sumber-sekutu dari suatu transistor efek-medan saluran-n

Karakteristik Statik dari FET. Dalam gambar 20 telah ditunjukkan rangkaian, simbol-simbol serta konvensi polaritas dari suatu FET. Arah dari anak panah pada gerbang dari FET persambungan dalam gambar 20 menunjukkan arah aliran arus gerbang jika persambungan gerbang diberi prategangan-maju. Karakteristik penguras sumber sekutu untuk FET saluran-n yang khas diperlihatkan dalam gambar 21 dalam bentuk kurva-kurva I_D terhadap V_{DS} dengan V_{GS} sebagai parameter. Untuk melihat secara kualitatif mengapa karakteristik tersebut mempunyai bentuk seperti yang ditunjukkan, kita tinjau misalnya kasus dengan $V_{GS} = 0$. Untuk $I_D = 0$, saluran antaran persambungan gerbang terbuka seluruhnya. Menanggapi tegangan terpasang V_{DS} yang kecil, kepingan tipe-n akan bekerja sebagai suatu penghambat semikonduktor sederhana dan arus I_D bertambah dengan V_{DS} secara linier. Dengan arus yang membesar, penurunan tegangan ohmik antara sumber dan daerah saluran akan membalik prategangan pada persambungan, dan bagian yang menghantar dari saluran mulai menyempit. Karena penurunan tegangan

ohmik terjadi sepanjang saluran itu sendiri, penyempitannya tidak merata, tetapi lebih besar pada jarak yang lebih besar pula dari sumber seperti ditunjukkan saluran tersebut “putus terjepit” atau terhimpit (pinched off). Ini adalah tegangan tidak terdefinisi secara tajam dalam gambar 21, namun tampak harga V_{DS} dimana I_D mulai mendatar arahnya dan mendekati suatu harga tetap. Tentu saja pada prinsip saluran itu tidak mungkin tertutup sepenuhnya dan dengan demikian mengurangi arus I_D menjadi nol. Sebab jika hal ini terjadi, maka penurunan ohmik yang diperlukan untuk memberi prategangan balik itu sendiri tidak akan terjadi. Perhatikan bahwa masing-masing kurva karakteristik mempunyai daerah ohmik untuk harga V_{DS} yang kecil, dalam daerah itu I_D berbanding lurus dengan V_{DS} . Setiap kurva tersebut juga memiliki daerah arus-tetap untuk harga V_{DS} yang besar, dalam daerah ini I_D menunjukkan sangat kecil terhadap V_{DS} .

c. Rangkuman

1. Transistor bipolar disusun atas tiga buah semikonduktor ekstrinsik yang disusun berselang-seling. Semikonduktor yang ditengah disebut *basis* dan didesain *lebih tipis* (mengandung pembawa muatan yang lebih sedikit) dibandingkan dengan kedua semikonduktor yang mengapitnya. Jika semikonduktor yang di tengah adalah jenis-p maka disebut transistor npn dan jika jenis-n maka disebut transistor pnp. Ketiga kutub semikonduktor diberi nama kolektor (pengumpul), basis (landasan), dan emitor (pemancar atau penyebar).
2. Transistor sebagai penguat arus.
Penguatan arus searah (diberi lambang h_{FE}) didefinisikan sebagai nilai perbandingan antara kuat arus kolektor I_C sebagai keluaran dan kuat arus basis I_B sebagai masukan.

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

Nilai khas h_{FE} berkisar antara 20-200.

3. Transistor sebagai saklar : Berdasarkan prinsip membagi tegangan pada resistor tetap R_1 dan resistor variabel R_2 maka tegangan masukan dc, V_i , dinyatakan oleh

$$V_i = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

Supaya transistor terhubung, untuk transistor silikon V_{BE} sekitar 0,6 v. Karena adanya jatuh tegangan $I_B R_B$ maka tegangan masukan dc V_i harus lebih besar daripada 0,6 V ($V_i > 0,6$). Sekarang perhatikan persamaan di atas. Jika harga R_2 besar maka V_i hampir mendekati V_{CC} dan transistor terhubung (on). Jika harga R_2 kecil maka V_i hampir mendekati nol dan transistor terputus (off). Keadaan R_2 besar disebut 'basis tinggi' dan transistor on, sedang keadaan R_2 kecil disebut 'basis rendah' dan transistor off.

3. Integrated circuit adalah sekumpulan antarkoneksi antara transistor-transistor, dioda-dioda, resistor-resistor dan kapasitor-kapasitor yang ditempatkan pada sekeping silikon. Penemuan IC dianggap sebagai teknologi sangat hebat karena ratusan ribu komputer dapat ditempatkan pada daerah seluas 1 cm².

4. Transistor sebagai penguat tegangan :Penguatan tegangan (diberi lambang A) didefinisikan sebagai hasil bagi antara perubahan tegangan keluaran ΔV_o dengan perubahan tegangan masukan ΔV_i dan dinyatakan oleh

$$A = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} = h_{fe} \frac{R_L}{R_i + R}$$

dengan R_L = hambatan resistor beban, R_i = hambatan masukan transistor (nilai khas 1 k Ω) dan R = hambatan rangkaian masukan.

5. Transistor efek medan adalah alat semikonduktor yang operasinya bergantung pada pengendalian arus oleh medan listrik. Kita mengenal dua tipe transistor efek-medan, transistor efek-medan penyambungan (junction field-effect transistor, disingkat JFET atau cukup FET saja) dan transistor efek-medan gerbang-terisolasi (insulated-gate field-effect transistor, disingkat IGFET), yang lebih lazim disebut transistor semikonduktor-oksida logam [metal-oxide-semikonduktor transistor (MOST, atau MOSFET)].

d. Tugas

1. Diketahui rangkaian common emitter dengan menggunakan transistor tipe n-p-n, dengan:

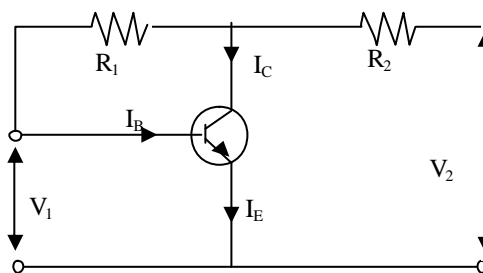
V_B = potensial listrik pada bagian basis

V_E = potensial listrik pada bagian emitor

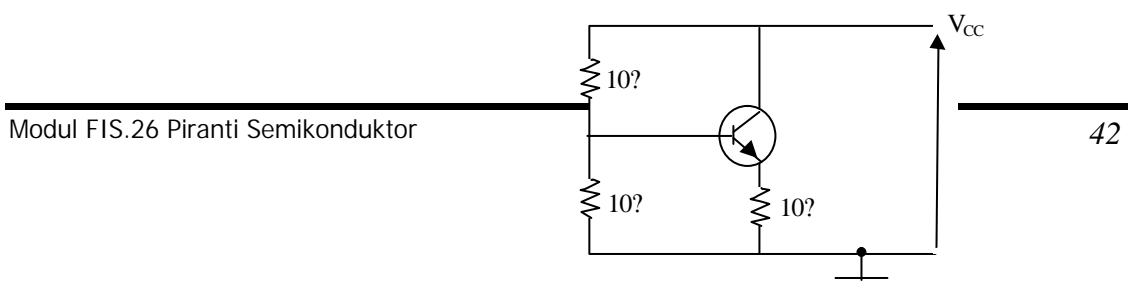
V_C = potensial listrik pada bagian kolektor

Pada saat transistor dalam keadaan siap kerja, di antara hubungan potensial di bawah ini yang benar adalah...

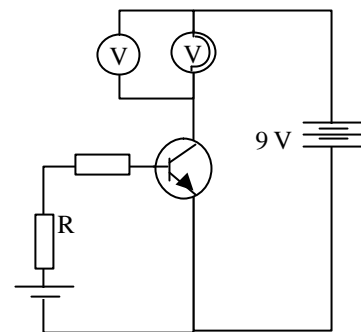
Supaya transistor seperti gambar di samping dapat berfungsi, harus mempunyai ketentuan.....



2. Jika suplai tegangan V_{CC} yang dihubungkan ke rangkaian ini ditingkatkan dari 10 volt menjadi 20 volt maka arus kolektor transistor silikon akan.....



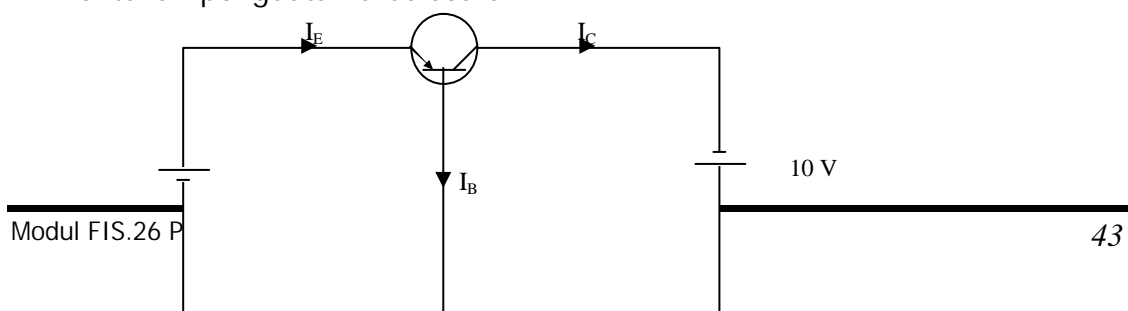
3. Pada rangkaian di bawah ini voltmeter V dihubungkan ke ujung lampu L. Jika R dikurangi nilainya, maka perubahan-perubahan apa yang dapat terjadi pada lampu L dan voltmeter V.



4. Perhatikan rangkaian transistor p-n-p pada gambar di bawah ini. Bila kuat arus emitor 2 mA dan kuat arus basis 0,02 mA, maka tentukan faktor penguatan transistor tersebut.
5. Sebuah transistor emitor bersama (common emitter) penguat tegangan memiliki resistor beban kolektor 2,2 k Ω dan bekerja dari suatu rel suplai tegangan 10 V. Berapa arus kolektor yang sesuai?
6. Jelaskan dan sertai grafik tentang karakteristik FET!
7. Sebutkan kegunaan FET dalam dunia elektronika!

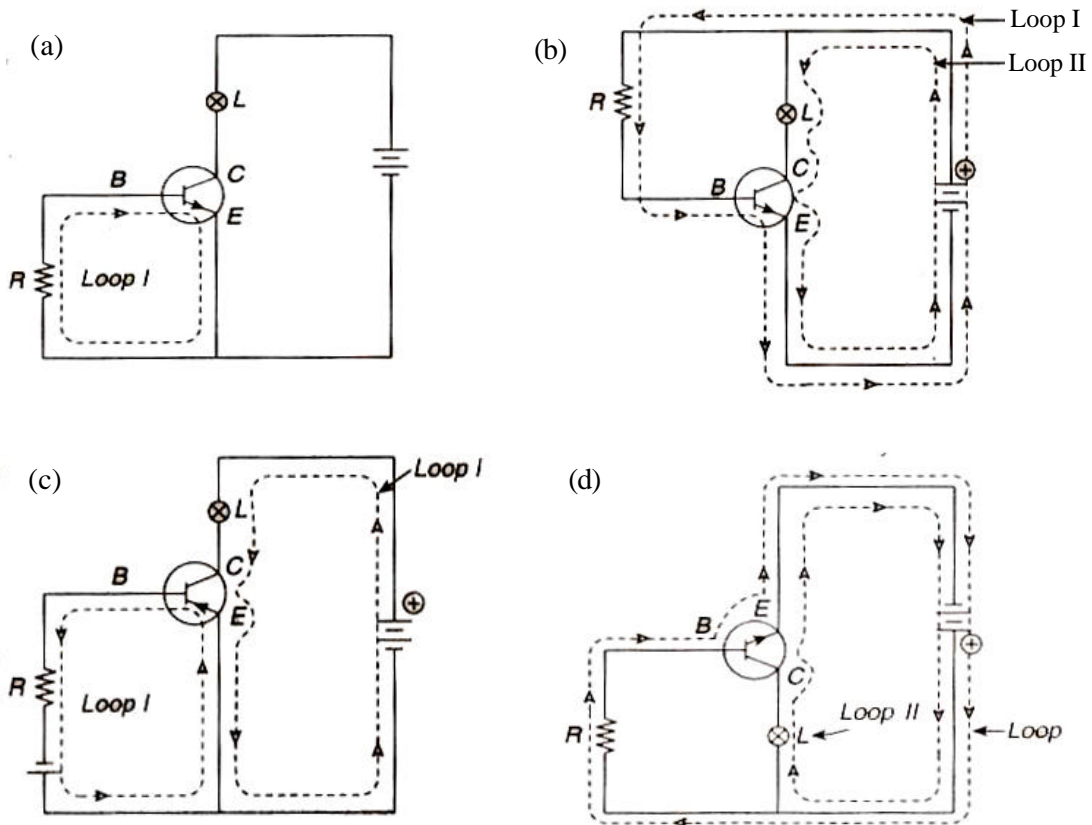
e. Tes Formatif

1. Mengapa transistor yang paling banyak digunakan adalah transistor silikon jenis npn.?
2. Pada rangkaian transistor di bawah ini, $I_B = 50 \mu\text{A}$ dan $I_E = 1 \text{ mA}$. Tentukan penguatan arus searah.



10 V

3. Dalam rangkaian-rangkaian di bawah ini, jika R tidak terlalu besar, apakah lampu L menyala atau tidak?



f. Kunci Jawaban

1. Jawab : Ada dua alasan:

- Pembawa muatan mayoritas pada jenis npn, yaitu elektron-elektron bebas, adalah lebih lincah daripada hole-hole yang

merupakan pembawa muatan mayoritas pada jenis pnp. Oleh karena itu transistor npn dapat digunakan pada frekuensi tinggi.

- b. Celah energi dalam pita terlarang silikon lebih lebar daripada germanium, sehingga karakteristik kerja transistor silikon hanya sedikit dipengaruhi oleh suhu.

2. Jawaban : Penguatan arus searah dihitung dengan persamaan:

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{950 \text{ mA}}{50 \text{ mA}} = 19$$

3. Jawaban :

- a. Dalam loop I yang melalui basis B dan emitor E tidak terdapat suplai tegangan dc. Ini berarti bahwa sambungan emitor-basis tidak diberi tegangan panjar. Sebagai akibatnya walaupun terminal CE telah diberi tegangan suplai yang tepat, arus kolektor tidak mengalir, dan lampu L tidak menyala.
- b. Antara basis B dan emitor E telah diberi tegangan panjar oleh baterai dengan polaritas yang tepat, sehingga arus mengalir sesuai dengan arah tanda panah pada simbol transistor, yaitu B ke E. Polaritas tegangan pada terminal CE juga sudah tepat sesuai dengan arah arus mengalir (ditunjukkan oleh simbol arah anak panah pada emitor), yaitu dari C ke E, sebagai hasilnya lampu L menyala.
- c. Polaritas tegangan pada terminal BE sudah tepat agar arus mengalir searah dengan simbol anak panah pada emitor (lihat loop I). Tetapi polaritas tegangan pada terminal CE tidaklah tepat sesuai dengan simbol anak panah (lihat loop II dan arah anak panah pada emitor). sebagai akibatnya arus tidak mengalir melalui kolektor dan lampu L tidak menyala.
- d. Terminal BE diberi tegangan panjar dengan polaritas yang tepat sehingga arus mengalir sesuai dengan simbol transistor pada

emitor, yaitu dari B ke E (lihat loop 1). Terminal CE juga diberi tegangan panjar dengan polaritas yang tepat sehingga arus mengalir sesuai dengan simbol transistor pada emitor, yaitu dari C dan E (lihat loop II). Sebagai hasilnya lampu L menyala.)

g. Lembar Kerja

Memahami transistor sebagai saklar.

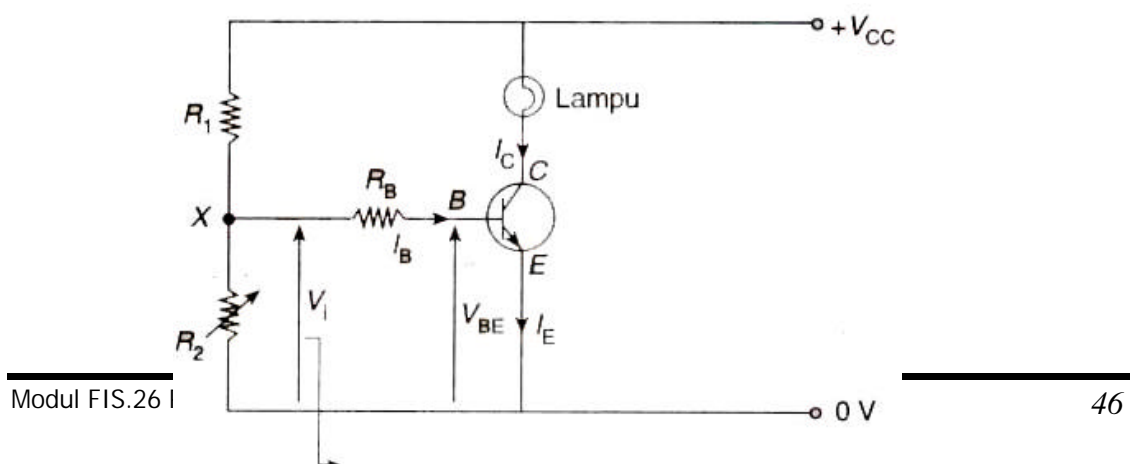
Pembuktian bahwa transistor dapat berfungsi sebagai saklar elektronik,

1. Alat

- ? 1 buah transistor
- ? 1 buah lampu senter 6 Volt
- ? 2 buah hambatan : $R_1 = 100 \text{ ohm}$ dan $R_2 = 200 \text{ ohm}$.
- ? Sumber tegangan 0-12 Volt
- ? Trimpot 100 K
- ? Kabel penghubung.
- ? Papan rangkaian.

2. Langkah kerja

1. Rangkaikan komponen-komponen pada papan rangkaian seperti pada gambar di bawah ini:



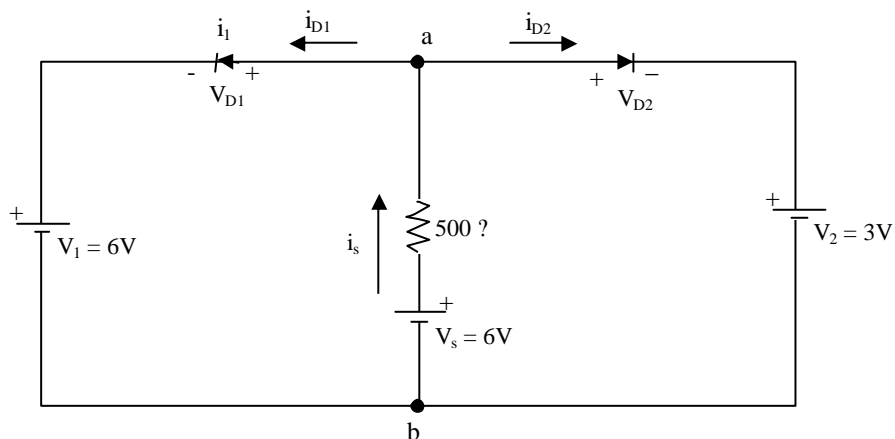
2. Atur harga R_2 mulai harga kecil sampai besar dan sebaliknya!
3. Amati nyala lampu, pada harga R_2 berapakah lampu mati dan hidup?
4. Tuliskan kesimpulannya!

BAB III. EVALUASI

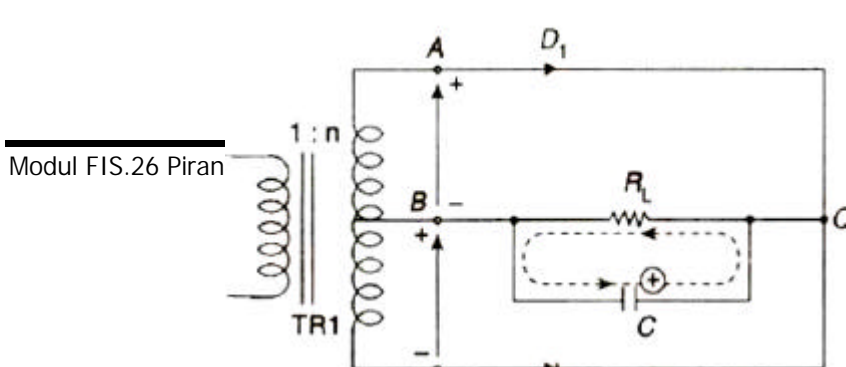
A. Tes Tertulis

Jawablah pertanyaan berikut ini dengan singkat dan jelas!

1. Untuk rangkaian di bawah ini, tentukan i_{D2} . Jika D_1 dan D_2 dianggap dioda ideal (tegangan nyala = 0).



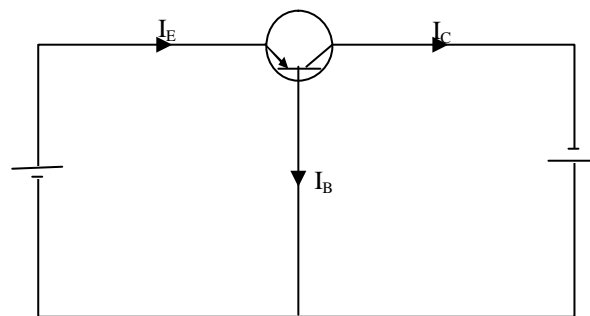
2. Kapasitor elektrolit C sebagai kapasitor perata dipasang paralel dengan beban, seperti ditunjukkan pada rangkaian berikut ini.



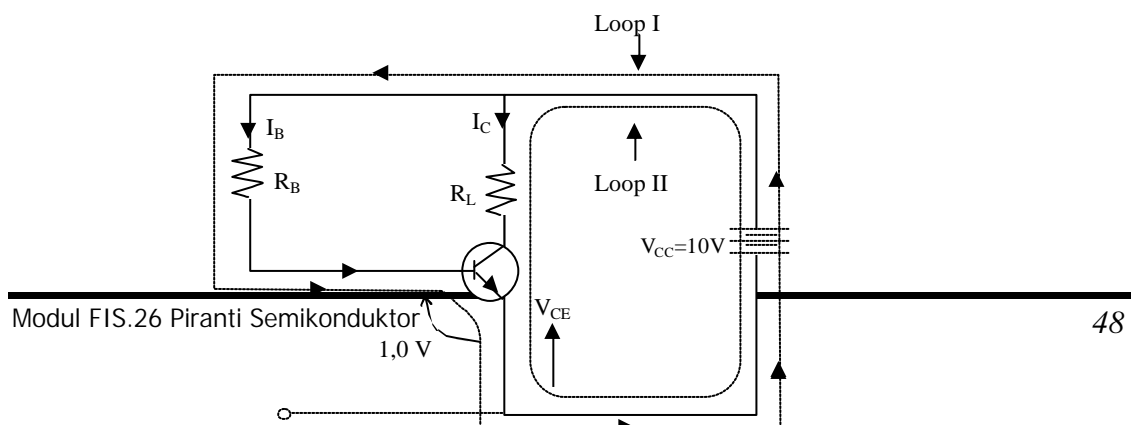
Bagaimana fungsi kapasitor dan gambarkan grafik tegangan keluarannya?

3. Bagaimanakah prinsip kerja sebuah transistor?
4. Sebuah transistor npn common-emitter yang digunakan sebagai penguat tegangan memiliki resistor beban yang dipasang seri pada kolektor $R_L = 2,0 \text{ k}\Omega$, dan bekerja pada suatu rel suplai tegangan $9,0 \text{ V}$.
 - a. Gambarlah rangkaian penguat tegangan yang dimaksud.
 - b. Tentukan arus yang melalui kolektor.
5. Pada rangkaian transistor di bawah ini, $I_B = 50 \mu\text{A}$ dan $I_E = 1 \text{ mA}$.

Tentukan : I_C



6. Perhatikan rangkaian di samping. Pada terminal masukan diberi sinyal input ac melalui kapasitor C_i seri dengan hambatan $R = 10 \Omega$, dan tegangan keluaran diambil melalui kapasitor C_o .



- a) Tentukan faktor penguatan tegangan
- b) Tentukan harga puncak ke puncak tegangan keluaran jika harga puncak ke puncak tegangan masukan adalah 11 mV.

B. Tes Praktik

Tujuan

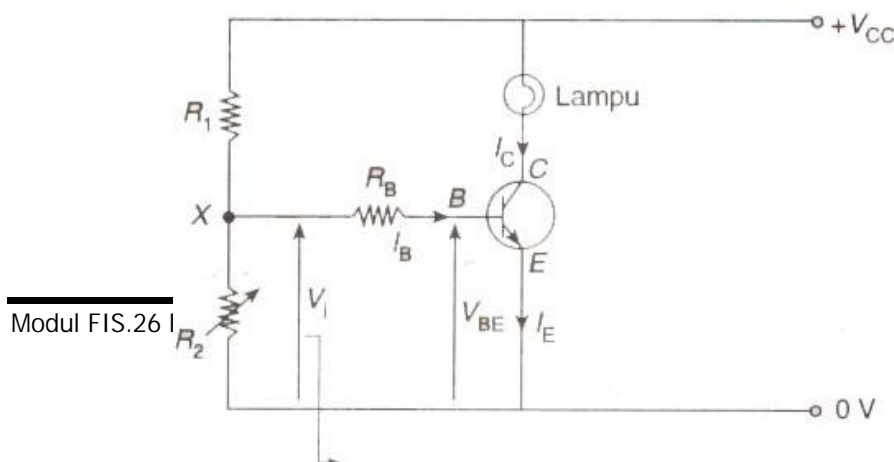
Pembuktian bahwa transistor dapat berfungsi sebagai saklar elektronik

Alat

- o 1 buah transistor
- o 1 buah lampu senter 1,5 Volt
- o 2 buah hambatan : $R_1 = 100 \text{ ohm}$ dan $R_B = 200 \text{ ohm}$.
- o Sumber tegangan 0-12 Volt
- o Trimpot 100 K
- o Kabel penghubung.
- o Papan rangkaian.

Langkah kerja

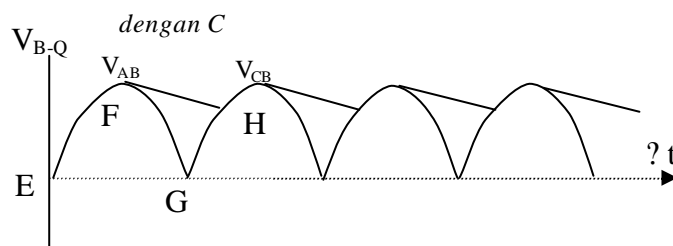
1. Rangkaian komponen-komponen pada papan rangkaian seperti pada gambar di bawah ini:



2. Atur harga R_2 mulai harga kecil sampai besar dan sebaliknya!
3. Amati nyala lampu, pada harga R_2 berapakah lampu mati dan hidup?
4. Tuliskan laporan dan kesimpulannya !

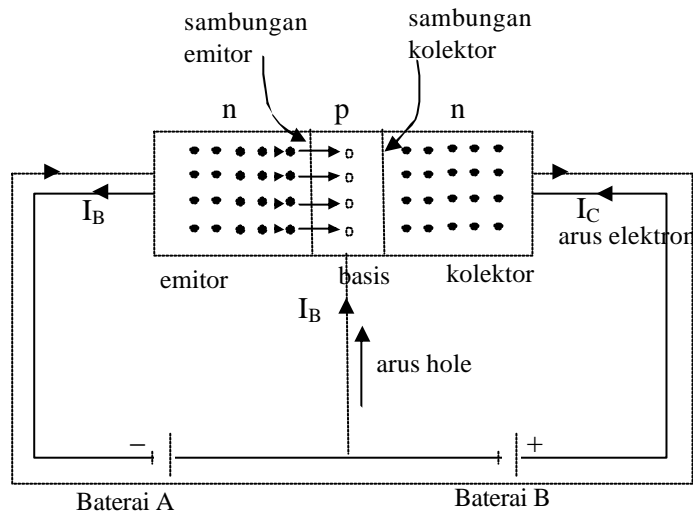
A. KUNCI JAWABAN

1. (jawaban : $I_{D2} = 6 \text{ mA.}$)
2. (jawaban : Sewaktu tegangan pada beban naik terhadap waktu dari E ke F, kapasitor elektrolit C dimuati dengan polaritas (+) pada pelat kanan. Sesaat setelah tegangan keluaran berkurang dari F ke G, kapasitor C membuang muatan listriknya melalui beban R_L . Dengan demikian tegangan antar ujung beban R_L tidak pernah mencapai nol tetapi mengikuti lintasan garis tebal FH).



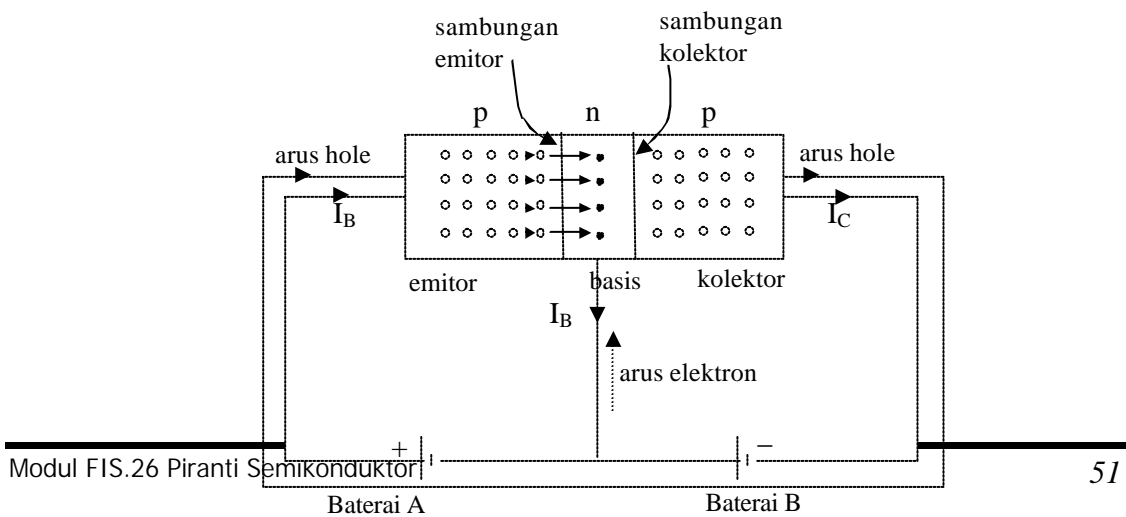
3. (Jawaban: Transistor terdiri dari tiga semikonduktor ekstrinsik: emitor, basis dan kolektor. Lapisan basis (jenis p dalam transistor npn) adalah sangat tipis dan hanya dikotori sedikit untuk memberikan sedikit pembawa muatan positif 'hole'. Kedua lapisan yang mengapitnya memiliki tingkat

pengotoran lebih besar untuk memberikan banyak pembawa muatan negatif 'elektron bebas'. Susunan npn ditunjukkan pada gambar berikut.



- = hole
- = elektron
- = arus elektron

Gambar prinsip kerja transistor npn



Dengan mengambil daerah basis sebagai acuan, sambungan np dapat disebut sebagai 'sambungan emitor' dan sambungan pn sebagai 'sambungan kolektor'. Pada gambar tampak bahwa sambungan emitor dipanjar maju oleh baterai A (basis positif terhadap emitor) dan sambungan kolektor dipanjar mundur oleh baterai B (basis negatif terhadap kolektor). Elektron-elektron bebas dalam emitor ditolak oleh polaritas (-) dari baterai A (ingat muatan sejenis adalah tolak menolak), sehingga banyak elektron bebas dari daerah emitor (tipe n) menyeberangi sambungan emitor memasuki daerah basis (tipe p). Dalam daerah basis hanya tersedia sedikit elektron bebas (kira-kira 1 persen) yang bergabung (rekombinasi) dengan hole, menghasilkan arus basis I_B (arus hole). Sisa elektron bebas (99%) yang berada dalam daerah basis akan menyeberangi sambungan kolektor karena ditarik oleh polaritas (+) baterai B yang diberikan pada ujung kolektor (ingat muatan tidak sejenis tarik-menarik), menghasilkan arus kolektor I_C (arus elektron). Jelas bahwa arus basis kecil I_B menghasilkan arus keluaran I_C yang jauh lebih besar. Jadi transistor berfungsi sebagai penguat arus.

Prinsip kerja transistor pnp mirip seperti npn, hanya jika pembawa muatan mayoritas pada npn adalah elektron-elektron bebas maka pada pnp adalah hole-hole. Polaritas baterai A dan B pun harus dibalik sehingga sambungan emitor tetap diberi panjar maju dan sambungan kolektor tetap diberi panjar mundur, seperti ditunjukkan pada gambar.

4. jawaban :

- a. Gambar rangkaian penguat tegangan adalah sebagai di atas.
- b. Arus melalui kolektor, I_C pada keadaan diam (sinyal masukan ac belum diberikan) dapat dihitung dengan mengikuti lintasan arus (lihat gambar di atas).

$$V_{CC} = I_C \cdot R_L + V_{CE}$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_L}$$

Karena tegangan antara kolektor-emitor, V_{CE} , tidak diketahui maka kita ambil pendekatan agar rangkaian memberikan penguatan tegangan yang baik, yaitu:

$$V_{CE} = \frac{1}{2} V_{CC}$$

Masukkan ke dalam persamaan diperoleh

$$I_C = \frac{V_{CC} - (\frac{1}{2} V_{CC})}{R_L} = \frac{V_{CC}}{2R_L}$$

$$I_C = \frac{9,0V}{2(2,0k\Omega)} = 2,25 \text{ mA}$$

5. (Jawaban : 950 A.)
6. (Jawaban : Rangkaian penguat tegangan lengkap dengan terminal masukan ac dan keluaran ac adalah seperti di bawah ini.
- a. Faktor penguatan tegangan, A dihitung dengan persamaan

$$A = \frac{V_o}{V_i} = h_{fe} \frac{R_L}{R_i + R}$$

Penggunaan arus h_{fe} , dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} h_{fe} = h_{FE} &= \frac{I_C}{I_B} \\ &= \frac{2 \text{ mA}}{100 \mu\text{A}} = \frac{2000 \mu\text{A}}{100 \mu\text{A}} \\ &= 20 \end{aligned}$$

Dengan demikian faktor penguatan tegangan A adalah

$$A = 20 \frac{2,5 \text{ k}\Omega}{(1 + 10) \text{ k}\Omega} = \frac{50}{11}$$

b. Harga puncak ke puncak tegangan keluaran V_o dihitung dari definisi A, yaitu

Karena nilai puncak ke puncak tegangan masukan,

$$V_o = \frac{50}{11} (11 \text{ mV}) = 50 \text{ mV}$$

LEMBAR PENILAIAN SISWA

Nama Peserta :
 No. Induk :
 Program Keahlian :
 Nama Jenis kegiatan :

PEDOMAN PENILAIAN

No.	Aspek Penilaian	Skor Maks	Skor Perolehan	Keterangan
1	2	3	4	5
I	Persiapan 1.1. Membaca Modul 1.2. Persiapan Alat dan Bahan			
	Sub total	5		
II	Pelaksanaan Pembelajaran 2.1. Cek Kemampuan Siswa 2.2. Melaksanakan Kegiatan 1 dan 2			
	Sub total	20		
III	Kinerja Siswa 3.1. Cara merangkai alat 3.2. Membaca alat ukur listrik 3.3. Menulis satuan pengukuran 3.4. Banyak bertanya 3.5. Cara menyampaikan pendapat.			
	Sub total	25		
IV	Produk Kerja 4.1. Penyelesaian Tugas 4.2. Penyelesaian Kegiatan Lab. 4.3. Penyelesaian Tes Formatif 4.4. Penyelesaian Evaluasi			
	Sub total	35		
V	Sikap / Etos Kerja 5.1. Tanggung Jawab 5.2. Ketelitian 5.3. Inisiatif 5.4. Kemandirian			
	Sub total	10		
VI	Laporan 6.1. Sistematika Peyusunan Laporan 6.2. Penyajian Pustaka 6.3. Penyajian Data 6.4. Analisis Data 6.5. Penarikan Simpulan			
	Sub total	10		

	Total	100		
--	--------------	-----	--	--

KRITERIA PENILAIAN

No	Aspek Penilaian	Kriterian penilaian	Skor
1	2	3	4
I	Persiapan 1.1. Membaca Modul	? Membaca modul	2
		? Tidak membaca modul	1
	1.2. Persiapan Alat dan Bahan	? Alat dan bahan sesuai dengan kebutuhan	3
		? Alat dan bahan disiapkan tidak sesuai kebutuhan	1
II	Pelaksanaan Proses Pembelajaran 2.1. Cek Kemampuan Siswa	? Siswa yang mempunyai kemampuan baik	10
		? Siswa tidak bisa menyelesaikan	1
	2.2. Melaksanakan Kegiatan 1 dan 2	? Melaksanakan kegiatan dengan baik	10
		? Melaksanakan tidak sesuai ketentuan	1
III	Kinerja Siswa 3.1. Cara merangkai alat	? Merangkai alat dengan benar	5
		? Merangkai alat kurang benar	1
	3.2. Membaca alat ukur listrik	? Cara membaca skala alat ukur benar	5
		? Cara membaca tidak benar	1
	3.3. Menulis satuan pengukuran	? Menulis satuan dengan benar	5
		? Tidak benar menulis satuan	1
	3.4. Banyak bertanya	? Banyak bertanya	5
		? Tidak bertanya	1
	3.5. Cara menyampaikan pendapat	? Cara menyampaikan pendapatnya baik	5
		? Kurang baik dalam menyampaikan pendapatnya	1
IV	Kualitas Produk Kerja 4.1. Penyelesaian Tugas	? Kualitas tugasnya baik	7
		? Kualitasnya rendah	1
	4.2. Penyelesaian Kegiatan Lab.	? Kualitas kegiatan lab.nya baik	5
		? Kualitas rendah	1

	4.3. Penyelesaian Tes Formatif	? Skor Tes Formatifnya baik ? Skor Tes Formatif Rendah	8 1
	4.4. Penyelesaian Evaluasi	? Memahami konsep dengan baik ? Kurang memahami konsep	10 5
V	Sikap / Etos Kerja		
	5.1. Tanggung Jawab	? Membereskan kembali alat dan bahan yang telah dipergunakan ? Tidak memberes-kan alat dan bahan	2 1
	5.2. Ketelitian	? Tidak melakukan kesalahan kerja ? Banyak melakukan kesalahan kerja	3 1
	5.3. Inisiatif	? Memiliki inisiatif kerja ? Kurang memiliki inisiatif	3 1
	5.4. Kemandirian	? Bekerja tanpa banyak perintah ? Bekerja dengan banyak perintah	2 1
VI	Laporan		
	6.1. Sistematika Peyusunan Laporan	? Laporan sesuai dengan sistematika yang telah ditentukan ? Laporan tidak sesuai sistematika	2 1
	6.2. Penyajian Pustaka	? Terdapat penyajian pustaka ? Tidak terdapat penyajian pustaka	2 1
	6.3. Penyajian Data	? Data disajikan dengan rapi ? Data tidak disajikan	2 1
	6.4. Analisis Data	? Analisisnya benar ? Analisisnya salah	2 1
	6.5. Penarikan Simpulan	? Tepat dan benar ? Simpulan kurang tepat	2 1

BAB IV. PENUTUP

Setelah menyelesaikan modul ini, anda berhak untuk mengikuti tes praktik untuk menguji kompetensi yang telah anda pelajari. Apabila Anda dinyatakan memenuhi syarat kelulusan dari hasil evaluasi dalam modul ini, maka anda berhak untuk melanjutkan ke topik/modul berikutnya.

Mintalah pada guru/instruktur untuk melakukan uji kompetensi dengan sistem penilaian yang dilakukan secara langsung oleh asosiasi profesi yang berkompeten apabila anda telah menyelesaikan suatu kompetensi tertentu. Atau apabila anda telah menyelesaikan seluruh evaluasi dari setiap modul, maka hasil yang berupa nilai dari guru/instruktur atau berupa portofolio dapat dijadikan sebagai bahan verifikasi oleh asosiasi profesi. kemudian selanjutnya hasil tersebut dapat dijadikan sebagai penentu standar pemenuhan kompetensi tertentu dan bila memenuhi syarat anda berhak mendapatkan sertifikat kompetensi yang dikeluarkan oleh asosiasi profesi.

DAFTAR PUSTAKA

- Halliday dan Resnick, 1991. ***Fisika jilid 2 (Terjemahan)***. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Millman dan Halkias, 1986. **Elektronika Terpadu**. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Nyoman Suwitra, 1999. **Pengantar Fisika Zat Padat**. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta, Indonesia.
- Singh, Jasprit, 1995. ***Semiconductor Optoelectronic physics and Technology***. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Sze, S.M, 1985. ***Semiconductor Devices, Physics and Technology***. Singapore: John Willey & Sons.