

ELEKTRONIKA DASAR



Penulis :

- Rocky Alfanz
- Andi Rosman N
- Eka Sriwahyuni
- Nita Nurdiana
- Zainal Abidin
- Unan Yusmaniar Oktiawati
- Perawati
- Dwi Sasmita Aji Pambudi
- S Nurmuslimah

ELEKTRONIKA DASAR 1

**Rocky Alfanz
Andi Rosman N
Eka Sriwahyuni
Nita Nurdiana
Zainal Abidin
Unan Yusmaniar Oktiawati
Perawati
Dwi Sasmita Aji Pambudi
S Nurmuslimah**



GET PRESS INDONESIA

ELEKTRONIKA DASAR 1

Penulis :

Rocky Alfanz
Andi Rosman N
Eka Sriwahyuni
Nita Nurdiana
Zainal Abidin
Unan Yusmaniar Oktiawati
Perawati
Dwi Sasmita Aji Pambudi
S Nurmuslimah

ISBN : 978-623-198-700-6

Editor : Diana Purnama Sari,. S.E M.E

Penyunting : Tri Putri Wahyuni,S.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tengah Kota Padang Sumatera Barat
Website : www.getpress.co.id
Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, September 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Elektronika Dasar 1 ini.

Buku ini membahas Arus Searah, Dasar-Dasar Elektronika: Arus Bolak-Balik, Analisis Thevenin & Northon, Prinsip Kerja Semikonduktor, Aplikasi Semikonduktor, Dioda, Komponen Aktif : Karakteristik Dioda, Komponen Aktif : Dioda Sebagai Pengolah Sinyal, Transistor Bipolar (BJT).

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, September 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 ARUS SEARAH	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Arus Listrik Mengalir.....	4
1.2.1 Resistansi membawa arus.....	6
1.2.2 Penyearahan dan fluktuasi arus searah.....	7
1.3 Rangkaian DC dasar	10
1.3.1 Diagram Pengkabelan	14
DAFTAR PUSTAKA	16
BAB 2 DASAR-DASAR ELEKTRONIKA: ARUS BOLAK BALIK	17
2.1 Pengenalan Arus Bolak Balik	17
2.2 Prinsip Dasar Arus Bolak Balik.....	19
2.2.1 Definisi gelombang arus bolak-balik, periode, frekuensi, amplitudo, dan fase.....	19
2.2.2 Representasi matematis arus bolak-balik menggunakan persamaan sinusoidal	20
2.3 Impedansi, Tegangan, dan Arus Bolak Balik	24
2.3.1 Impedansi.....	24
2.3.2 Tegangan dan arus bolak balik pada rangkain RLC.....	25
2.4 Contoh Soal.....	26
DAFTAR PUSTAKA	29
BAB 3 ANALISIS THEVENIN & NORTHON	31
3.1 Pendahuluan.....	31
3.2 Analisis Thevenin.....	32
3.2.1 Teorema Thevenin	32
3.2.2 Langkah-Langkah Teorema Thevenin.....	35

3.3 Analisis Northon.....	40
3.3.1 Teorema Northon	40
3.3.2 Langkah-Langkah Teorema Northon.....	41
DAFTAR PUSTAKA.....	47
BAB 4 KOMPONEN AKTIF ; SEMIKONDUKTOR	49
4.1 Pengantar	49
4.1.1 Definisi Komponen Pasif dan Aktif.....	49
4.1.2 Pengertian Semikonduktor	53
4.2 Prinsip Dasar Semikonduktor.....	54
4.2.1 Struktur Kristal Semikonduktor	54
4.2.2 Teori Pita Energi dan Konduktivitas Semikonduktor.....	55
4.2.3 Bandgap dan Pembawa Muatan	57
4.2.4 Pembawa Muatan Mayoritas dan Minoritas.....	58
4.3 Proses Dopan dalam Semikonduktor	59
4.3.1 Pengertian Dopan	59
4.3.2 Tipe Dopan (Tipe P dan Tipe N).....	60
4.3.3 Pembentukan P-N Junction	60
4.4 Jenis-jenis Semikonduktor.....	62
4.4.1 Semikonduktor Intrinsik.....	62
4.4.2 Semikonduktor Ekstrinsik	63
4.5 Prinsip Kerja Semikonduktor	64
4.6 Peran Penting Semikonduktor dalam Elektronika.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	67
BAB 5 SEMIKONDUKTOR DAN APLIKASINYA	69
5.1 Pendahuluan	69
5.2 Material Semikonduktor	70
5.3 Prinsip Semikonduktor	72
5.3.1 Ikatan dalam Semikonduktor	72
5.3.2 Model Ikatan atom pada bahan Semikonduktor	74
5.4 Jenis-Jenis Semikonduktor	76
5.6 Jenis dan Aplikasi Semikonduktor	83
5.6.1 Semikonduktor tipe P	84

5.6.2 Semikonduktor tipe N	85
5.7 Komponen Elektronika Semikonduktor	86
5.8 Kelebihan Semikonduktor	89
5.9 Kekurangan Semikonduktor	89
5.10 Kegunaan praktis Semikonduktor	89
DAFTAR PUSTAKA	93
BAB 6 DIODA.....	95
6.1 Pendahuluan.....	95
6.2 Struktur dasar Dioda.....	96
6.2.1 Bahan semikonduktor pembentuk dioda	96
6.2.2 Karakteristik Dioda	98
6.3 Polaritas Dioda.....	100
6.4 Jenis Dioda.....	101
6.5 Aplikasi Dioda.....	102
6.6 Soal Latihan.....	103
DAFTAR PUSTAKA	105
BAB 7 KARAKTERISTIK DIODA.....	107
7.1 Pengertian Dioda.....	107
7.2 Karakteristik Dioda	108
7.3 Jenis-Jenis Dioda	109
7.3.1 Dioda Biasa.....	109
7.3.2 Dioda Bridge.....	112
7.3.3 Dioda Zener.....	113
7.3.4 Light Emitting Diode (LED).....	114
7.3.5 Photo Diode (PD).....	115
7.3.6 Dioda Varactor.....	115
7.3.7 Dioda Tunnel.....	116
7.4 Cara Kerja Dioda	117
DAFTAR PUSTAKA	120
BAB 8 KOMPONEN AKTIF : DIODA SEBAGAI PENGOLAH SINYAL	121
8.1 Pendahuluan.....	121
8.2 Aplikasi Dioda dalam Penyearahan Sinyal.....	122

8.2.1 Penyearah Setengah Gelombang (<i>Half-wave Rectifier</i>).....	122
8.2.2 Penyearah Gelombang Penuh (<i>Full-wave Rectifier</i>)	124
8.3 Aplikasi Dioda sebagai Clipper	127
8.3.1 Prinsip Kerja Pemotongan Sinyal dengan Dioda.....	128
8.3.2 Konfigurasi Rangkaian Clipper	129
8.4 Aplikasi Dioda sebagai Clamper	138
8.4.1 Prinsip Kerja Penggeseran Sinyal dengan Dioda.....	139
DAFTAR PUSTAKA.....	143
BAB 9 TRANSISTOR BIPOLAR (BJT).....	145
9.1 Pendahuluan	145
9.2 Karakteristik Dalam Semikonduktor	147
9.3 Digital to Analog Converter (DAC)	151
9.4 Prinsip Kerja Bipolar Junction Transistor	153
9.5 Konfigurasi Bipolar Junction Transistor	156
9.5.1 Konfigurasi Common Base	158
9.5.2 Konfigurasi Common Emitter	159
9.5.3 Konfigurasi Common Collector	160
9.6 Analysis BJT AC	161
9.6.1 BJT Transistor Modelling	162
9.6.2 Model Transistor CE (<i>Common Emitter</i>).....	164
9.6.3 Konfigurasi Fixed Bias Common Emitter	166
9.6.4 Konfigurasi Voltage Divider Bias Common Emitter	169
DAFTAR PUSTAKA.....	172
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Van de Graaff generator untuk menciptakan muatan statis	3
Gambar 1.2. Relatif arus versus tegangan untuk tahanan berbeda	6
Gambar 1.3. Satu siklus utilitas arus bolak-balik. Tegangan puncak sekitar 165 V.....	8
Gambar 1.4. Sebuah representasi dari dc murni	8
Gambar 1.5. Pada gambar A , penyearah setengah gelombang ac. Pada gambar B , penyearah gelombang penuh. Nilai efektif ditunjukkan oleh garis putus-putus.....	10
Gambar 1.6. Pada gambar A, sebuah resistor tetap. Pada gambar B, resistor variabel dua terminal. Pada gambar C, sebuah potensiometer tiga terminal.....	11
Gambar 1.7. Pada gambar A, sel tunggal. Pada gambar B, sebuah baterai.	12
Gambar 1.8. Simbol meteran. Pada gambar A, penanda di luar; di gambar B, penanda di dalam.....	12
Gambar 1.9. Sembilan simbol skema umum. A: Lampu pijar. B: Kapasitor. C: Koil inti udara. D: Kumparan inti besi. E: Tanah sasis. F: Tanah bumi. G: Sumber arus bolak-balik (ac). H: Sepasang terminal. I: Komponen atau perangkat khusus.....	14
Gambar 1.10. Rangkaian dc sederhana. Tegangannya E, arusnya I, dan hambatannya R.....	15
Gambar 2.1. Grafik arus bolak balik	17
Gambar 2.2. Tampilan arus bolak balik pada osiloskop.....	20
Gambar 2.3. Arus bolak balik fungsi sinusoidal.....	21
Gambar 2.4. Tegangan efektif atau tegangan rms	22

Gambar 2.5. Rangkaian RLC seri	25
Gambar 2.6. Diagram phasor	26
Gambar 3.1. Rangkaian ekivalen Thevenin	33
Gambar 3.2. Tahanan Thevenin, mengganti sumber tegangan dengan sebuah penghantar untuk menghubungkan singkat sumber tegangan	33
Gambar 3.3. Tegangan Thevenin dengan melepas beban dan mengukur tegangan pada terminal beban.	34
Gambar 3.5. Rangkaian kompleks dengan beban R_L	36
Gambar 3.6. Rangkaian kompleks setelah resistor beban di eliminasi	37
Gambar 3.7. Sumber tegangan pada rangkaian di hubung singkatkan	38
Gambar 3.8. Rangkaian Ekivalen Thevenin	39
Gambar 3.9. Rangkaian Ekivalen <i>Northon</i>	40
Gambar 3.10. Rangkaian kompleks dengan beban R_L	42
Gambar 3.11. Rangkaian di hubung singkatkan	42
Gambar 3.12. Short pada tegangan sumber	44
Gambar 3.13. Rangkaian Ekivalen <i>Northon</i>	44
Gambar 4.1. Komponen Pasif	50
Gambar 4.2. Komponen Aktif	53
Gambar 4.3. Struktur dua dimensi kristal	55
Gambar 4.4. Struktur atom a. Silikon b. Germanium	55
Gambar 4.5. Pita Energi Semikonduktor	56
Gambar 4.6. P-N Junction	61
Gambar 5.1. Material Bahan Semikonduktor	72
Gambar 5.2. Elektron pada atom Germanium	73
Gambar 5.3. Ikatan kovalen atom silikon pada kondisi (a) temperatur nol Kelvin, (b) pada temperatur di atas nol Kelvin	75
Gambar 5.4. Pita Energi pada Semikonduktor	77

Gambar 5.5. Model Pita energi bahan Semikonduktor	79
Gambar 5.6. (a) Kristal silikon yang telah diberi pengotor Fosfor, (b) Kristal Silikon yang diberi pengotor Boron.....	81
Gambar 5.7. Semikonduktor Tipe P	84
Gambar 5.8. Semikonduktor Jenis N	85
Gambar 5.9. Aneka Macam Jenis Diode	86
Gambar 5.10. Aneka jenis Transistor	87
Gambar 5.11. Aneka jenis Integrated Circuit (IC)	88
Gambar 5.12. Aneka Jenis Prosesor	88
Gambar 7.1. Simbol Dioda	107
Gambar 7.2. Kurva arus Tekanan diode penyearah.....	109
Gambar 7.3. Dioda Biasa	110
Gambar 7.4. Dioda Sebagai Saklar.....	111
Gambar 7.5. Dioda Sebagai Rectifier (Penyearah).....	111
Gambar 7.6. Dioda Sebagai Rectifier (Penyearah)	112
Gambar 7.7. Dioda Sebagai Rectifier (Penyearah)	113
Gambar 7.8. Dioda Sebagai LED	114
Gambar 7.9. Dioda Sebagai PD	115
Gambar 7.10. Dioda Sebagai Varactor	115
Gambar 7.11. Dioda Sebagai Tunnel.....	116
Gambar 7.12. Daerah Resistansi Negatif	117
Gambar 7.13. Kondisi Dioda Tanpa Tekanan	118
Gambar 7.14. Kondisi Dioda Bias Maju.....	118
Gambar 7.15. Kondisi Dioda Bias Mundur	120
Gambar 8.1. Rangkaian <i>Half-wave Rectifier</i>	123
Gambar 8.2. Sinyal <i>Input</i> dan <i>Output</i> pada <i>Half-wave Rectifier</i>	124
Gambar 8.3. Rangkaian <i>Full-wave Rectifier</i> dengan Dioda <i>Bridge</i>	125
Gambar 8.4. Rangkaian <i>Full-wave Rectifier</i> dengan Transformator <i>Center-Tapped (CT)</i>	125

Gambar 8.5. Sinyal <i>Input</i> dan <i>Output</i> dari <i>Full-wave Rectifier</i>	126
Gambar 8.6. Sinyal <i>Input</i> Sinusoidal pada Rangkaian <i>Clipper</i> Seri	129
Gambar 8.7. Konduksi pada Dioda saat <i>on</i> dan <i>off</i>	130
Gambar 8.8. Berbagai Bentuk Sinyal pada <i>Clipper</i> Seri	130
Gambar 8.9. <i>Clipper</i> Seri dengan Penambahan Sumber DC	131
Gambar 8.10. Penentuan Batas Level Transisi Tegangan1	132
Gambar 8.11. Hasil Sinyal <i>Output</i> di Atas dan di Bawah Level	132
Gambar 8.12. Rangkaian <i>Clipper</i> Paralel	133
Gambar 8.13. Berbagai Bentuk Sinyal pada <i>Clipper</i> Paralel	134
Gambar 8.14. <i>Clipper</i> Seri (a) Positif (b) Negatif	135
Gambar 8.15. <i>Clipper</i> Seri Terbias (<i>Biased Series Clipper</i>) (a) Positif (b) Negatif	136
Gambar 8.16. <i>Clipper</i> Paralel (a) Positif (b) Negatif	137
Gambar 8.17. <i>Clipper</i> Paralel Terbias (<i>Biased Paralel Clipper</i>) (a) Positif (b) Negatif	137
Gambar 8.18. Rangkaian <i>Clamper</i>	139
Gambar 8.19. Dioda <i>Clamper</i> saat kondisi (a) " <i>on</i> " dan (b) " <i>off</i> "	139
Gambar 8.20. Sinyal <i>Input</i> dan <i>Output</i> Rangkaian <i>Clamper</i>	140
Gambar 8.21. Pergeseran Positif & Negatif Sinyal Keluaran	141
Gambar 8.22. Berbagai Macam Rangkaian <i>Clamper</i> Terbias (<i>Biased Clamper</i>)	141
Gambar 8.23. Rangkaian <i>Clamper</i> dengan Sinyal <i>Input</i> Sinusoidal	142
Gambar 9.1. Ikatan atom tembaga	149

Gambar 9.2. Kurva Karakteristik.....	150
Gambar 9.3. Karakteristik <i>Input</i> dan <i>Output</i> dari Transistor <i>bipolar</i>	152
Gambar 9.4. Keadaan Setelah Kontak (PN <i>Junction Diode</i>)	154
Gambar 9.5. Aliran <i>majority</i> dan <i>minority carrier</i> pada transistor pnp	155
Gambar 9.6. <i>Band</i> Diagram transistor pnp	156
Gambar 9.7. Jenis dan Simbol dari Transistor <i>Bipolar</i>	156
Gambar 9.8. Konfigurasi pada Transistor <i>Bipolar</i>	158
Gambar 9.9. Konfigurasi <i>Common Base</i> (PNP)	159
Gambar 9.10. Konfigurasi <i>Common Emitter</i> (PNP).....	160
Gambar 9.11. Konfigurasi <i>Common Collector</i> (PNP)	161
Gambar 9.12. BJT <i>Transistor Modelling</i> (a) Rangkaian Pembagi Tegangan (b) Rangkaian <i>Ekivalen</i>	162
Gambar 9.13. Parameter rangkaian <i>ac ekivalen</i> (a) Rangkaian sumber <i>dc</i> (b) Rangkaian <i>Short Circuits</i>	163
Gambar 9.14. Rangkaian <i>ekivalen ac</i>	163
Gambar 9.15. Rangkaian <i>Ekivalen</i> BJT	164
Gambar 9.16. Rangkaian <i>Impedansi Zi</i>	164
Gambar 9.17. Rangkaian <i>Impedansi Output</i>	165
Gambar 9.18. Rangkaian <i>ekivalen</i> terakhir.....	166
Gambar 9.19. Rangkaian <i>Fixed Bias</i>	166
Gambar 9.20. Rangkaian <i>Parameter Fixed Bias CE</i>	167
Gambar 9.21. Rangkaian Pembagi Tegangan	168
Gambar 9.22. Rangkaian <i>Ekivalen Bias Common Emitter</i>	170

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Peran Semikonduktor Dalam Elektronika.....	65
Tabel 5.1. Contoh Klasifikasi Bahan	70

BAB 1

ARUS SEARAH

Oleh Rocky Alfanz

1.1 Pendahuluan

Arus listrik adalah setiap kali ada pergerakan pembawa muatan dalam suatu zat, ada arus listrik. Arus listrik diukur berdasarkan jumlah elektron atau lubang (Hole) yang melewati satu titik dalam satu detik.

Pada umumnya, banyak sekali pembawa muatan melewati titik tertentu dalam satu detik, meskipun arusnya kecil. Dalam sirkuit listrik rumah tangga, bola lampu 100 watt menarik arus listrik sekitar enam triliun (6 diikuti oleh 18 nol) pembawa muatan per detik. Bahkan bohlam mini terkecil membawa kuadriliun (angka diikuti oleh 15 nol) pembawa muatan setiap detik. Konyol untuk berbicara tentang arus dalam hal pembawa muatan per detik, jadi biasanya diukur dalam coulomb per detik. Coulomb sama dengan kira-kira 6.240.000.000.000.000 elektron atau lubang. Arus satu coulomb per detik disebut ampere, dan ini adalah satuan standar arus listrik. Bohlam 100 watt di lampu meja Anda menarik arus sekitar satu ampere. Ketika arus mengalir melalui resistansi — dan ini selalu terjadi karena bahkan konduktor terbaik pun memiliki resistansi — panas dihasilkan. Terkadang cahaya dan bentuk energi lainnya juga dipancarkan. Sedangkan bola lampu sengaja dirancang sedemikian rupa sehingga resistansi menyebabkan cahaya tampak dihasilkan. Bahkan lampu pijar terbaik pun tidak efisien, menghasilkan lebih banyak panas dari pada energi cahaya.

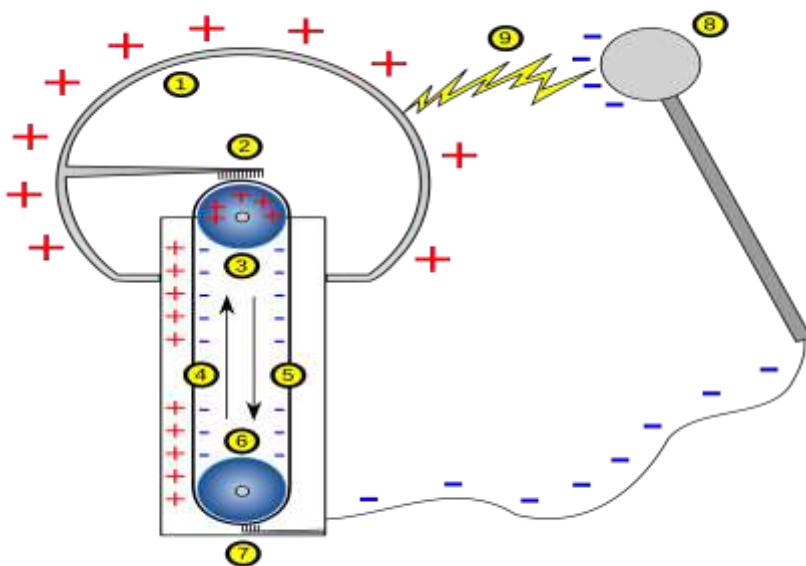
Lampu neon akan lebih baik dan menghasilkan lebih banyak cahaya untuk jumlah arus tertentu. Dengan kata lain,

pencahayaannya lampu neon membutuhkan kurang saat ini untuk mengeluarkan sejumlah cahaya.

Dalam hal ini arus listrik mengalir sangat cepat melalui konduktor, resistor, atau semikonduktor apa pun. kenyataannya, untuk sebagian besar tujuan praktis, dapat menganggap kecepatan arus sama dengan kecepatan cahaya: 186,000 mil per detik. Sebenarnya itu nilai lebih kurangnya.

Pada arus serah ada yang namanya listrik statis yakni pembawa muatan, khususnya elektron, dapat menumpuk, atau menjadi kekurangan, pada benda-benda tanpa mengalir ke mana pun. Pada dasarnya mungkin pernah mengalami ini saat berjalan di lantai berkarpet selama musim dingin, atau di tempat yang kelembapannya sangat rendah. Kelebihan atau kekurangan elektron dibuat di dalam tubuh manusia. Maka akan memperoleh muatan statis listrik. Kejadian ini disebut "statis" karena tidak kemana-mana. Hal tersebut tidak merasakan ini sampai tubuh menyentuh beberapa benda logam yang terhubung ke tanah atau ke beberapa perlengkapan besar; akan tetapi kemudian ada pelepasan, disertai percikan api yang mungkin mengejutkan objek yang terlihat. Arus listrik statis, selama pelepasan ini, yang menyebabkan sensasi yang mungkin membuat muatan listrik melompat. Jika objek tubuh menjadi lebih terisi, rambut akan berdiri tegak, karena setiap rambut akan saling tolak. Muatan sejenis disebabkan oleh kelebihan atau kekurangan elektron; saling menolak. Percikan mungkin melonjak satu inci, dua inci, atau bahkan enam inci. Maka itu akan lebih dari mengejutkan sesama objek rambut tersebut; objek tubuh juga bisa terluka. Ini tidak terjadi pada karpet dan sepatu biasa. Pada alat yang disebut generator Van de Graaff, yang ditemukan di beberapa percobaan laboratorium fisika SMA, dapat menyebabkan percikan sebesar ini (Gambar. 1.1). Saat menggunakan perangkat ini untuk eksperimen fisika.

1. Pengisian muatan positif
2. Katrol (Pulley) Atas
3. Colomb
4. Belt kearah atas
5. Belt kearah bawah
6. Katrol (Pulley) Bawah
7. Motor
8. Pengisian muatan negatif



Gambar 1.1. Van de Graaff generator untuk menciptakan muatan statis

Pada generator ini secara ekstrim, akan ada petir terjadi di antara awan, dan antara awan dan tanah di atmosfer bumi. Percikan ini hanyalah versi yang diperbesar dari percikan kecil yang terdapat setelah ada gaya gesek di atas karpet. Sampai percikan terjadi, ada muatan statis di awan, di antara awan atau

bagian awan yang berbeda, dan yang terjadi dipentananan. Pada Gambar 1.1, penumpukan statis awan-ke-awan (A) dan awan-ke-tanah (B) diperlihatkan. Dalam kasus di B, muatan positif di bumi mengikuti di bawah awan badai seperti bayangan saat badai dihembuskan oleh angin yang bertiup kencang.

Arus dalam sambaran petir biasanya beberapa puluh ribu, atau ratusan ribu ampere. Tapi itu terjadi hanya sepersekian detik. Namun, banyak coulomb muatan dipindahkan dalam satu sambaran petir.

1.2 Arus Listrik Mengalir

Jika jalur penghantar atau semikonduktor disediakan di antara dua kutub yang memiliki perbedaan potensial, pembawa muatan akan mengalir dalam upaya menyamakan muatan di antara kutub. Aliran arus listrik ini akan terus berlangsung selama disediakan jalur, dan selama ada perbedaan muatan antar kutub.

Terkadang perbedaan muatan disamakan setelah beberapa saat. Inilah yang terjadi, misalnya, ketika menyentuh radiator setelah berjalan-jalan di atas karpet dengan sepatu bersol keras. Itu juga berlaku dalam sambaran petir. Dalam hal ini, muatan disamakan dalam sepersekian detik.

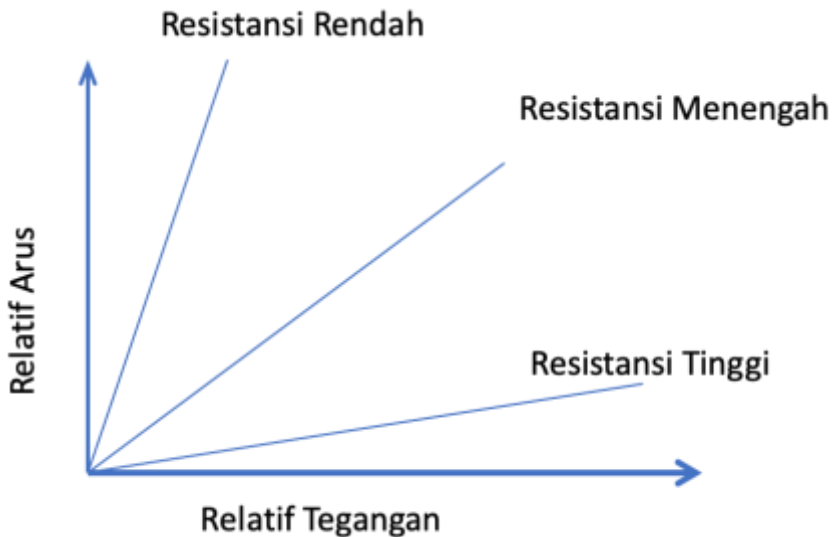
Pengisian daya mungkin membutuhkan waktu lebih lama untuk digunakan. Ini akan terjadi jika Anda melakukan hubungan arus pendek pada sel kering. Dalam beberapa menit, atau mungkin hingga satu jam, sel akan "kehabisan jus" jika memasang kabel di antara terminal positif dan negatif. Jika meletakkan bola lampu di sel, katakanlah dengan senter, dibutuhkan satu atau dua jam agar perbedaan muatan turun menjadi nol.(GetX Press, 2020).

Perumpamaan di sirkuit listrik rumah tangga, perbedaan muatan listrik pada dasarnya tidak akan pernah sama, kecuali ada tidak tercapainya daya listrik tertentu. Tentu saja, jika membuat hubungan arus pendek pada stopkontak (jangan!), sekring atau pemutus akan putus, dan perbedaan muatan akan segera turun

menjadi nol. Tetapi jika meletakkan bola lampu 100 watt di stopkontak, perbedaan muatan akan dipertahankan saat arus mengalir. Pembangkit listrik dapat menyimpan perbedaan potensial di banyak bola lampu tanpa batas.

Kemungkinan pernah mendengar bahwa "Arusnya, bukan tegangannya, yang mematikan," tentang bahaya di sirkuit listrik. Ini adalah kebenaran literal, tetapi memainkan semantik. Ini seperti mengatakan "Panasnya, bukan apinya, yang membakarmu." Tentu saja! Tetapi hanya ada arus yang mematikan jika ada tegangan yang cukup untuk menggerakkannya melalui tubuh makhluk hidup. Maka tidak perlu khawatir saat menangani sel senter, tetapi sebaiknya harus sangat berhati-hati di sekitar sirkuit utilitas rumah tangga. Tegangan 1,2 hingga 1,7 V biasanya tidak dapat memompa arus berbahaya melalui Anda, tetapi tegangan 117 V hampir selalu bisa.

Melalui rangkaian listrik dengan konduktivitas konstan, arus berbanding lurus dengan tegangan yang diberikan. Artinya, jika menggandakan tegangan, menggandakan arus; jika tegangan dipotong setengah, arus juga dipotong setengah. Gambar 1.2 menunjukkan hubungan ini sebagai grafik secara umum. Tetapi masih bisa diasumsikan bahwa catu daya dapat menyediakan jumlah pembawa muatan yang diperlukan. Aturan ini hanya berlaku dalam batas yang wajar.



Gambar 1.2. Relatif arus versus tegangan untuk tahanan berbeda

1.2.1 Resistansi membawa arus

Saat diisi dengan listrik statis, tidak banyak pembawa muatan. Sel kering kehabisan energi setelah beberapa saat, dan tidak dapat lagi mengalirkan arus sebanyak itu. Semua catu daya memiliki keterbatasan dalam hal arus yang dapat ditampilkan. Pembangkit listrik, atau catu daya yang bekerja dari sumber listrik, atau baterai elektrokimia yang kapasistas sangat besar, memiliki jumlah energi yang besar pula. Kemudian dapat mengatakan bahwa jika mengurangi resistansi dengan faktor 100, maka akan mendapatkan arus 100 kali lebih banyak. Atau bahkan mungkin 1000 atau 10.000 kali arus, jika resistansi dipotong menjadi 0,001 atau 0,0001 dari nilai sebelumnya.

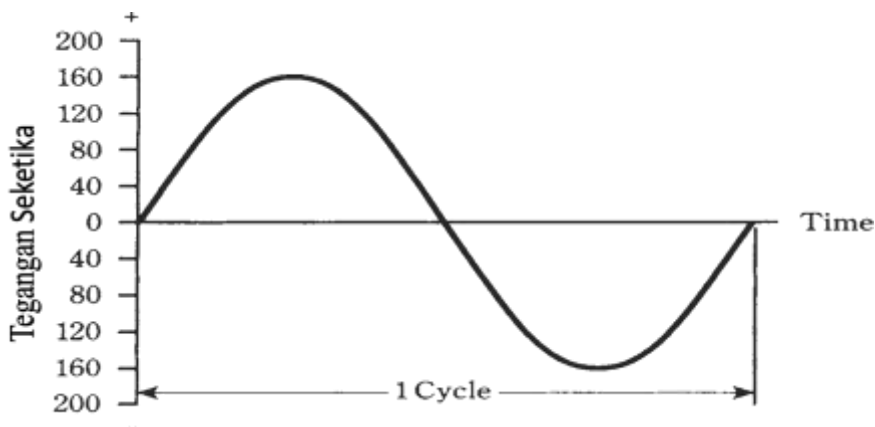
Sirkuit listrik selalu memiliki hambatan. Tidak ada yang namanya konduktor yang sempurna. Ketika beberapa logam didinginkan pada suhu yang sangat rendah, mereka kehilangan hampir semua resistansinya, tetapi mereka tidak pernah menjadi

konduktor yang benar-benar sempurna dan bebas resistansi. Fenomena ini, yang mungkin pernah Anda dengar, disebut superkonduktivitas. Dalam beberapa tahun terakhir, logam khusus telah ditemukan yang berperilaku seperti ini bahkan pada suhu yang cukup moderat. Para peneliti sedang mencoba membuat zat yang akan menjadi superkonduktor bahkan pada suhu kamar. Superkonduktivitas adalah bidang aktif dalam fisika saat ini.

Sama seperti tidak ada zat yang benar-benar bebas resistensi, juga tidak ada resistensi yang benar-benar tak terbatas. Bahkan udara menghantarkan sampai batas tertentu, meskipun efeknya biasanya sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Dalam beberapa aplikasi elektronik, bahan dipilih berdasarkan seberapa hampir tak terbatas hambatannya. Bahan-bahan ini membuat isolator listrik yang baik, dan dielektrik yang baik untuk kapasitor, perangkat yang menyimpan muatan listrik. Dalam elektronika, resistansi suatu komponen seringkali bervariasi, tergantung pada kondisi pengoperasiannya. Transistor, misalnya, mungkin memiliki resistansi yang sangat tinggi di beberapa waktu, dan resistansi yang sangat rendah di lain waktu. Fluktuasi tinggi/rendah ini dapat terjadi ribuan, jutaan, atau milyaran kali setiap detiknya. Dengan cara ini bisa diaplikasikan keosilator, amplifier, dan perangkat elektronik digital berfungsi dalam penerima dan pemancar radio, jaringan telepon, komputer digital, dan tautan satelit (untuk sebutkan beberapa aplikasi saja).

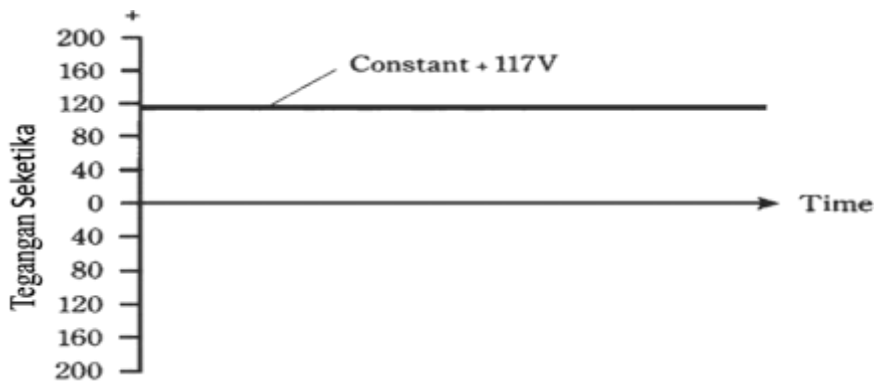
1.2.2 Penyearahan dan fluktuasi arus searah

Baterai dan sumber arus searah (dc) lainnya menghasilkan tegangan konstan. Hal ini dapat diwakili oleh garis horizontal lurus pada grafik tegangan versus waktu (Gambar. 1.3).



Gambar 1.3. Satu siklus utilitas arus bolak-balik. Tegangan puncak sekitar 165 V.

Nilai puncak dan efektifnya sama untuk dc murni. Namun terkadang nilai tegangan dc berfluktuasi dengan cepat terhadap waktu, dengan cara yang mirip dengan perubahan gelombang ac. Hal ini mungkin terjadi jika bentuk gelombang pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4. Sebuah representasi dari dc murni.

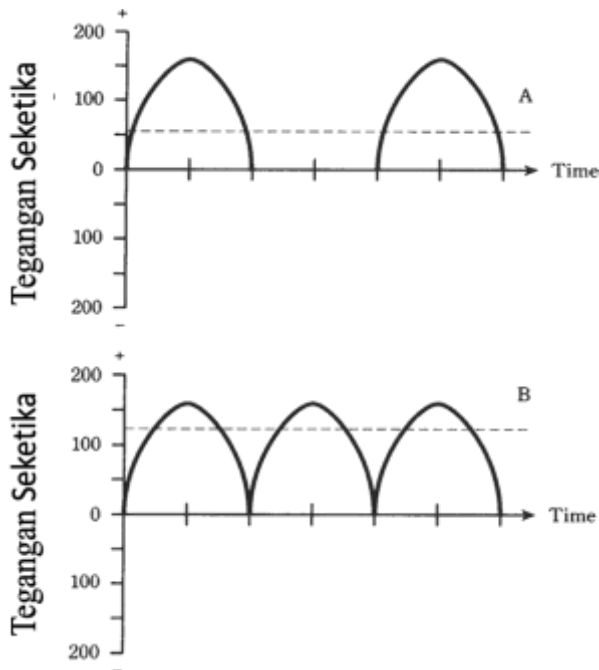
Penyearahan adalah proses di mana ac diubah menjadi dc. Metode paling umum untuk melakukan ini menggunakan

perangkat yang disebut dioda. Saat ini, Anda tidak perlu khawatir dengan bagaimana rangkaian penyearah disatukan. Intinya adalah bagian dari gelombang ac terputus, atau diputar terbalik, sehingga polaritasnya selalu sama, baik positif maupun negatif.

Gambar 1.5A&B mengilustrasikan dua bentuk gelombang yang berfluktuasi, atau berdenyut, dc. Dalam bentuk gelombang di A, bagian negatif (bawah) dipotong begitu saja. Di gambar 1.5B, bagian negatif dari gelombang telah dibalik dan dijadikan positif, sebuah bayangan cermin dari dirinya yang dulu. Situasi di gambar 1.5A dikenal sebagai penyearah setengah gelombang, karena hanya menggunakan setengah gelombang. Di gambar 1.5B, gelombang mengalami penyearah gelombang penuh, karena semua arus asli masih mengalir, meskipun sifat bolak-balik telah diubah sehingga arus tidak pernah berbalik arah.

Nilai efektif, dibandingkan dengan nilai puncak, untuk dc berdenyut bergantung pada apakah penyearah setengah gelombang atau gelombang penuh telah digunakan. Pada gambar, tegangan efektif ditunjukkan sebagai garis putus-putus, dan tegangan sesaat ditampilkan sebagai garis utuh. Perhatikan bahwa tegangan sesaat berubah setiap saat, dari sesaat ke sesaat. Beginilah cara mendapatkan nama ini! Tegangan puncak adalah tegangan sesaat maksimum. Tegangan sesaat tidak pernah lebih besar dari puncaknya.

Pada Gambar 1.5B, nilai efektif adalah 0,707 kali nilai puncak, seperti halnya dengan ac biasa. Arah aliran arus, untuk banyak jenis perangkat, tidak ada bedanya. Namun pada gambar 1.5A, separuh gelombang telah hilang. Ini memotong setengah nilai efektif, sehingga hanya 0,354 kali nilai puncak.



Gambar 1.5. Pada gambar **A**, penyearah setengah gelombang ac.
 Pada gambar **B**, penyearah gelombang penuh. Nilai efektif
 ditunjukkan oleh garis putus-putus.

Menggunakan ac rumah tangga sebagai contoh, nilai puncak umumnya sekitar 165 V; nilai efektifnya adalah 117 V. Jika rektifikasi gelombang penuh digunakan (Gbr.5B), nilai efektifnya tetap 117 V. Jika rektifikasi setengah gelombang digunakan, seperti pada gambar 5A, nilai efektif nilai adalah tentang 58,5 V.

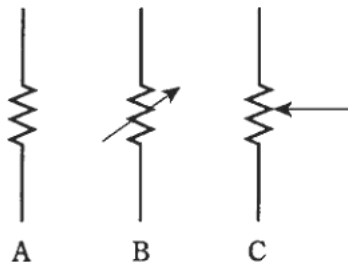
1.3 Rangkaian DC dasar

Simbol skematik yang paling sederhana adalah yang mewakili kabel atau konduktor listrik: garis lurus dan padat. Kadang-kadang garis putus-putus digunakan untuk mewakili konduktor, tetapi biasanya, garis putus-putus ditarik ke diagram

partisi menjadi sirkuit konstituen, atau untuk menunjukkan bahwa komponen tertentu berinteraksi satu sama lain atau beroperasi secara bertahap satu sama lain. Garis konduktor hampir selalu ditarik baik secara horizontal, atau vertikal ke atas dan ke bawah halaman, sehingga pembawa muatan imajiner dipaksa untuk berbaris dalam formasi seperti tentara. Ini membuat diagram tetap rapi dan mudah dibaca.

Ketika dua garis konduktor berpotongan, mereka tidak terhubung pada titik persimpangan kecuali titik hitam yang berat ditempatkan di tempat kedua garis bertemu. Titik harus selalu terlihat jelas di mana pun konduktor akan dihubungkan, tidak peduli berapa banyak konduktor yang bertemu di persimpangan.

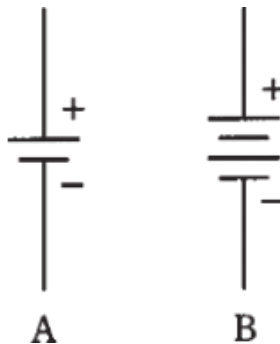
Sebuah resistor ditunjukkan dengan garis zig-zaggy. Resistor variabel, atau potensiometer, ditandai dengan garis zig-zag dengan panah melewatinya, atau dengan garis zig-zag dengan panah menunjuk padanya. Simbol-simbol ini ditunjukkan pada gambar 1.6.



Gambar 1.6. Pada gambar A, sebuah resistor tetap. Pada gambar B, resistor variabel dua terminal. Pada gambar C, sebuah potensiometer tiga terminal.

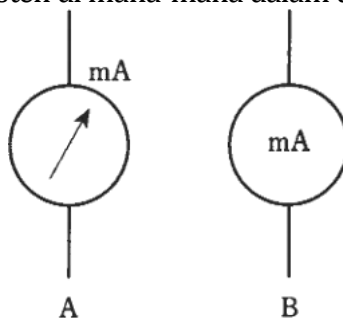
Sebuah sel ditunjukkan oleh dua garis sejajar, yang satu lebih panjang dari yang lain. Garis yang lebih panjang mewakili terminal plus. Sebuah baterai, atau kombinasi sel secara seri, ditunjukkan oleh empat garis sejajar, panjang-pendek-panjang-pendek. Tidak perlu menggunakan lebih dari empat baris untuk

baterai apa pun, meskipun terkadang Anda akan melihat enam atau delapan baris. Simbol untuk sel dan baterai ditunjukkan pada gambar 1.7.



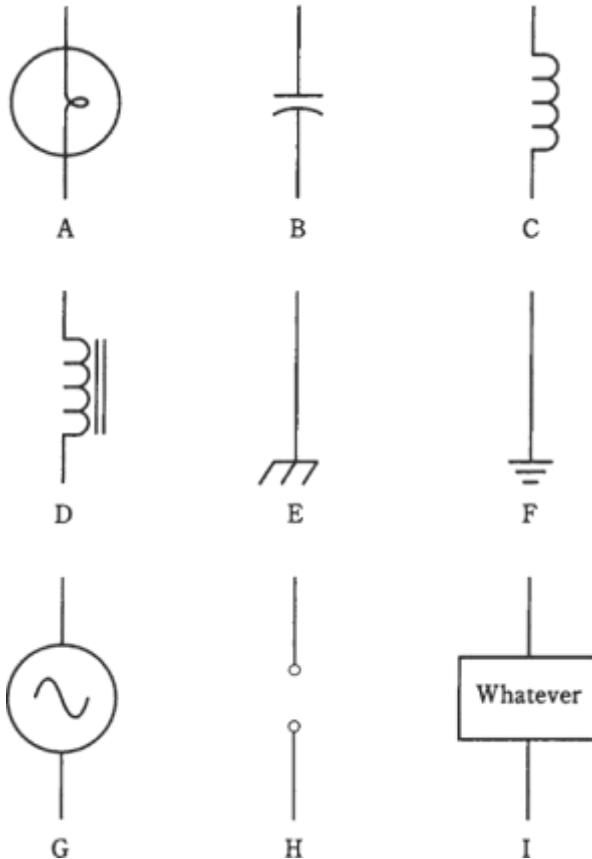
Gambar 1.7. Pada gambar A, sel tunggal. Pada gambar B, sebuah baterai.

Meter ditunjukkan sebagai lingkaran. Kadang-kadang lingkaran memiliki tanda panah di dalamnya, dan jenis meteran, seperti mA (miliammeter) atau V (voltmeter) ditulis di samping lingkaran, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.8A. Kadang-kadang tipe meter ditunjukkan di dalam lingkaran, dan tidak ada tanda panah (Gbr. 1.8B). Tidak peduli dengan cara apa itu dilakukan, selama Anda konsisten di mana-mana dalam diagram skematik.



Gambar 1.8. Simbol meteran. Pada gambar A, penanda di luar; di gambar B, penanda di dalam.

Beberapa simbol umum lainnya termasuk lampu, kapasitor, kumparan inti udara, kumparan inti besi, arde sasis, arde bumi, sumber arus bolak-balik, set terminal, dan "kotak hitam", sebuah persegi panjang dengan penanda tertulis di dalamnya. Ini ditunjukkan pada gambar 1.9.



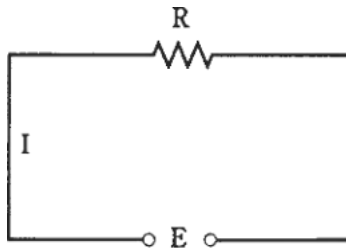
Gambar 1.9. Sembilan simbol skema umum. A: Lampu pijar. B: Kapasitor. C: Koil inti udara. D: Kumparan inti besi. E: Tanah sasis. F: Tanah bumi. G: Sumber arus bolak-balik (ac). H: Sepasang terminal. I: Komponen atau perangkat khusus.

1.3.1 Diagram Pengkabelan

Perbedaan antara diagram skematik dan diagram pengkabelan adalah jumlah detail yang disertakan. Dalam diagram skematik, interkoneksi komponen ditampilkan, tetapi nilai sebenarnya dari komponen tidak selalu ditunjukkan.

Ada beberapa kemungkinan terlihat diagram penguat audio dua-transistor, misalnya, dengan resistor dan kapasitor dan koil dan transistor, tetapi tanpa data mengenai nilai atau peringkat komponen. Ini adalah diagram skematik, tetapi bukan diagram pengkabelan yang sebenarnya. Ini memberikan skema untuk sirkuit, tetapi seperti tidak dapat menyambungkan sirkuit dan membuatnya berfungsi, karena tidak ada informasi yang cukup.

Misalkan mendesain dan membangun sirkuit diagram. Maka menggunakan software (perangkat lunak) elektronik untuk mendapatkan suku cadang komponen. Sehingga untuk mendapatkan komponen tersebut harus ke toko elektronika komponen penyedia dengan menanyakan, Berapa ukuran resistor yang harus Anda beli? Bagaimana dengan kapasitor? Jenis transistor apa yang akan bekerja paling baik? Apabila perlu melilitkan gulungannya sendiri, atau bisakah Anda menyiapkannya? Apakah ada titik uji atau terminal khusus lainnya yang harus dipasang untuk kepentingan teknisi yang mungkin harus memperbaiki amplifier? Berapa watt yang harus dapat ditangani oleh potensiometer? Semua hal ini ditunjukkan dalam diagram pengkabelan, skematis yang dibuat-buat. Dan kemungkinan pernah melihat diagram semacam ini di bagian belakang instruksi manual untuk amplifier hi-fi atau tuner stereo FM atau perangkat televisi. Diagram pengkabelan sangat berguna dan diperlukan saat misal harus menyervis atau memperbaiki perangkat elektronik.



Gambar 1.10. Rangkaian dc sederhana. Tegangannya E , arusnya I , dan hambatannya R .

Sebagian besar rangkaian dc pada akhirnya dapat diringkaskan menjadi tiga komponen utama: sumber tegangan, satu set konduktor, dan resistansi. Hal ini ditunjukkan dalam diagram skematik Gambar 10. Tegangan atau sumber elektromagnetik field (EMF) disebut E ; arus dalam konduktor disebut I ; hambatannya disebut R . Satuan standar untuk komponen ini adalah volt, ampere, dan ohm.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin Zainal. 2012. *Evaluasi Pembelajaran*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Islam Kementrian Agama RI.
- Arikunto Suharsimi. 2001. *Dasar-Dasar Evaluasi Pendidikan*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Asrul, dkk. 2014. *Evaluasi Pembelajaran*. Medan: Cipta pustaka Media.
- Danial, D., Nurjannah, N., & Mirna, M. 2019. *Evaluation of The Learning. Program of Mathematics Study Program at Islamic Institute Of Muhammadiyah Sinjai. Matematika Dan Pembelajaran*, 7(1), 65. <https://doi.org/10.33477/mp.v7i1.1046>.
- Fitriani. 2019. Kemampuan Pemecahan Masalah Siswa SMP. *JTMT: Journal Tadris Matematika*, 01(01), 25–30. <http://journal.iaimsinjai.ac.id/index.php/Jtm/article/view/393>.
- Hamalik, Oemar. 2010. *Manajemen Pengembangan Kurikulum*. Bandung : PT Remaja Rosdakarya.
- Elis Ratnawulan. 2014. *Evaluasi Pembelajaran*. Bandung: Penerbit pustaka.
- Ida Farida. 2017. *Evaluasi Pembelajaran*. Bandung:PT Remaja Rosdakarya.
- Muhammad Afandi.2013. *Evaluasi Pembelajaran Sekolah Dasar*. Semarang:UNISSULA Press
- Sukardi. 2009. *Evaluasi Pendidikan*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Tim Pengembangan MKDP Kurikulum dan Pembelajaran. 2011. *Kurikulum dan Pembelajaran*. Jakarta Utara: PT Raja Grafindo Persada.

BAB 2

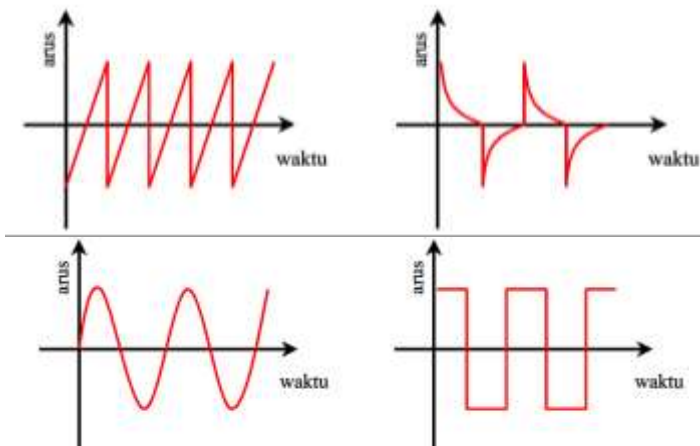
DASAR-DASAR ELEKTRONIKA: ARUS BOLAK BALIK

Oleh Andi Rosman N

2.1 Pengenalan Arus Bolak Balik

Konsep dasar arus bolak-balik (AC)

Arus bolak-balik (*Alternating Current* atau AC) adalah jenis arus listrik di mana arah aliran muatan listrik berubah secara berkala antara positif dan negatif dalam siklus waktu tertentu. Konsep dasar arus bolak-balik melibatkan perubahan polaritas muatan listrik pada interval tertentu, menghasilkan gelombang sinusoidal yang bergantian antara fase positif dan fase negatif. Hal ini terjadi secara kontinu dan teratur pada frekuensi tertentu, diukur dalam hertz (Hz).



Gambar 2.1. Grafik arus bolak balik

Arus bolak-balik adalah arus yang tandanya bergantian positif dan negative atau arahnya selalu bergantian. Sumber utama arus bolak-balik adalah generator AC, yang menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Ketika penghantar di dalam medan magnet bergerak atau mengalami perubahan medan magnet, muatan listrik akan diinduksi untuk bergerak, menghasilkan arus bolak-balik. Proses ini menghasilkan tegangan yang bergantian antara positif dan negatif, menciptakan gelombang sinusoidal yang merupakan bentuk umum dari arus bolak-balik.

Konsep polaritas yang berubah-ubah dalam arus bolak-balik memainkan peran penting dalam distribusi listrik jarak jauh. Transformator digunakan untuk mengubah tegangan arus bolak-balik sesuai dengan kebutuhan. Tegangan ini kemudian diubah kembali ke level yang lebih rendah melalui transformator lain sebelum disalurkan ke rumah-rumah dan industri. Proses ini memungkinkan untuk pengiriman daya listrik dalam jumlah besar dan efisien melalui jaringan listrik.

Salah satu karakteristik kunci dari arus bolak-balik adalah frekuensi, yang menunjukkan berapa kali perubahan polaritas terjadi dalam satu detik. Frekuensi umum untuk sistem AC di banyak negara adalah 50 atau 60 Hz. Semakin tinggi frekuensi, semakin cepat perubahan polaritas terjadi.

Penting untuk memahami arus bolak-balik dalam konteks sirkuit kompleks yang melibatkan komponen seperti resistor, induktor, dan kapasitor. Sifat gelombang sinusoidal arus bolak-balik memiliki dampak signifikan pada respons komponen tersebut terhadap tegangan dan arus. Misalnya, kapasitor mampu menyimpan dan melepaskan muatan secara bergantian, sedangkan induktor memungkinkan untuk menghasilkan medan magnet yang berubah seiring dengan perubahan arus bolak-balik.

Konsep dasar arus bolak-balik sangat penting dalam dunia kelistrikan, baik dalam produksi, distribusi, dan penggunaan energi

listrik. Kemampuan untuk mengubah tegangan dengan mudah dan efisien serta kemampuan untuk mengalirkan daya dalam jumlah besar melalui jaringan listrik membuat arus bolak-balik menjadi tulang punggung sistem kelistrikan modern.

2.2 Prinsip Dasar Arus Bolak Balik

2.2.1 Definisi gelombang arus bolak-balik, periode, frekuensi, amplitudo, dan fase

Gelombang arus bolak-balik (AC) adalah pola perubahan berkala dari arus listrik yang berubah arah secara teratur antara nilai positif dan negatif. Gelombang AC umumnya berbentuk sinusoidal, yang artinya arusnya naik dan turun dengan pola yang mengikuti kurva sinus. Konsep ini merupakan dasar dari arus bolak-balik yang diterapkan dalam sistem kelistrikan dan banyak aplikasi teknologi.

Periode: Periode dalam gelombang arus bolak-balik merujuk pada waktu yang diperlukan untuk satu siklus penuh dari perubahan arah aliran arus. Dalam gelombang sinusoidal, periode diukur dari titik puncak satu gelombang hingga titik puncak gelombang berikutnya. Satuan periode adalah detik atau satuan waktu lainnya.

Frekuensi: Frekuensi adalah jumlah siklus yang terjadi dalam satu detik waktu. Frekuensi diukur dalam hertz (Hz) dan merupakan kebalikan dari periode. Dalam gelombang arus bolak-balik, semakin tinggi frekuensi, semakin cepat perubahan arah aliran arus terjadi. Frekuensi yang umum digunakan dalam sistem AC adalah 50 atau 60 Hz.

Amplitudo: Amplitudo dalam gelombang arus bolak-balik mengacu pada nilai maksimum arus atau tegangan dalam satu siklus. Ini adalah jarak vertikal antara titik puncak gelombang dan garis pusatnya. Amplitudo menunjukkan seberapa besar variasi arus atau tegangan dari nilai pusatnya.

Fase: Fase mengacu pada posisi relatif antara dua gelombang arus bolak-balik atau sinyal sinusoidal. Dalam gelombang AC, fase mengukur bagaimana gelombang arus bolak-balik tertentu berhubungan dengan gelombang lainnya dalam hal waktu. Fase diukur dalam derajat atau radian. Fase nol berarti dua gelombang berada dalam fase dan mencapai nilai puncaknya secara bersamaan. Fase 180 derajat (atau π radian) menunjukkan bahwa gelombang satu mencapai nilai puncak saat gelombang lainnya berada pada nilai minimum.

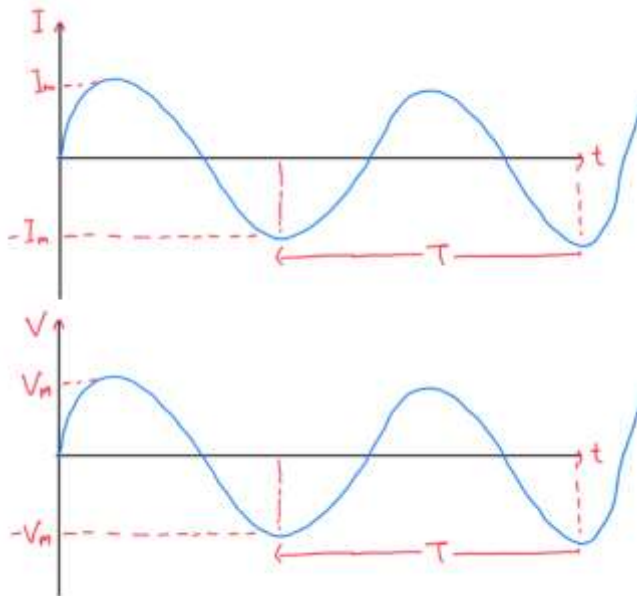
Untuk melihat osilasi arus bolak-balik kita dapat menggunakan osiloskop. Berikut beberapa tampilan arus bolak-balik dari osiloskop.



Gambar 2.2. Tampilan arus bolak balik pada osiloskop

2.2.2 Representasi matematis arus bolak-balik menggunakan persamaan sinusoidal

Untuk menggambarkan fenomena dari arus bolak-balik dapat didekati dengan mudah menggunakan persamaan sinusoidal. Sebuah arus bolak-balik bergerak dari kiri ke kanan berbentuk pola sinusoidal seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.3. Arus bolak balik fungsi sinusoidal

Kebergantungan arus dan tegangan terhadap waktu dapat dinyatakan oleh fungsi sinus berikut ini:

$$i_{(t)} = I_{max} \sin(\omega t + \vartheta_0) \dots \dots \dots (1)$$

Dalam persamaan tersebut:

$i_{(t)}$ adalah arus pada waktu t (Ampere)

I_{max} adalah arus maksimum (Ampere)

ω adalah kecepatan sudut arus bolak balik (rad/sekon)

t adalah waktu dalam satuan (detik)

ϑ_0 adalah fase awal saat $t = 0$ dalam radian

Hubungan antara dua ujung hambatan yang dilewatkan arus padanya memenuhi hukum Ohm:

$$V = IR \dots \dots \dots (2)$$

Dengan memasukkan arus pada persamaan (1) ke persamaan (2) akan diperoleh:

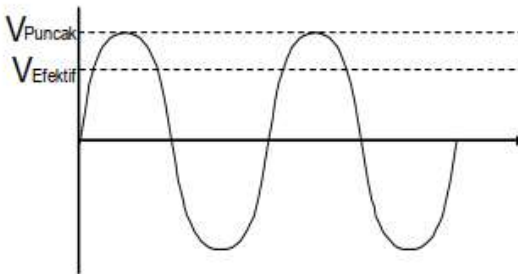
$$V_{(t)} = \{[I_{max} \sin(\omega t + \vartheta_0)]R\} \dots \dots \dots (3)$$

$$V_{(t)} = V_{max} \sin(\omega t + \vartheta_0) \dots \dots \dots (4)$$

Dimana $V_{max} = I_{max}R$ yang merupakan amplitudo tegangan.

Jaringan PLN mengirimkan tegangan bolak-balik sinusoidal. Ini adalah jenis tegangan yang paling mudah dibuat. Tegangan sinusoidal dihasilkan ketika lilitan diputar dalam medan magnet dengan kecepatan sudut konstan. Sebagian besar pembangkit listrik PLN dibuat dengan memutar kumparan dalam medan magnet atau dengan magnet di dalam kumparan sehingga dihasilkan tegangan sinusoidal.

Selain arus dan tegangan maksimum, besaran lainnya pada arus bolak balik adalah besaran *root mean square* (rms). Besaran ini juga biasa disebut dengan besaran tegangan dan arus efektif. Hal ini dikarenakan besaran rms akan memberikan informasi yang lebih tentang arus bolak balik dibandingkan jika hanya menggunakan data rata-rata tegangan dan arus bolak balik.



Gambar 2.4. Tegangan efektif atau tegangan rms

Tegangan dan arus rms didefinisikan sebagai:

$$V_{rms} = \sqrt{\langle V^2 \rangle} \dots \dots \dots (5)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\langle I^2 \rangle} \dots \dots \dots (6)$$

dengan $\langle V \rangle$ dan $\langle I \rangle$ masing adalah tegangan rata-rata dan arus rata-rata.

Semua bagian yang dirata-ratakan bernilai positif, apapun bentuk arusnya, karena kuadrat dilakukan sebelum perhitungan rata-rata, sehingga nilai negatif dipositifkan dahulu. Tegangan rms hanya positif jika ada arus. Jika tegangan atau arus selalu positif atau negative, atau jika keduanya berputar positif dan negative, maka tegangan rms selalu positif.

Dalam contoh berikut, kita menghitung nilai rms dari tegangan bolak-balik sinusoidal. Pertama, persamaan tegangan sebagai fungsi waktu pada persamaan 4 dikuadratkan sehingga menjadi:

$$V_{(t)}^2 = V_{max}^2 \sin^2(\omega t + \vartheta_0) \dots \dots \dots (7)$$

Kemudian untuk tegangan rata-rata diperoleh:

$$\langle V \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T V dt \dots \dots \dots (8)$$

Persamaan (7) disubstitusi ke persamaan(8) sehingga

$$\langle V^2 \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T V_{max}^2 \sin^2(\omega t + \vartheta_0) dt \dots \dots \dots (9)$$

dengan menggunakan sifat $\sin^2 \alpha = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\alpha$ kemudian dimasukkan ke persamaan (9)

$$\begin{aligned} \langle V^2 \rangle &= \frac{1}{T} \int_0^T V_{max}^2 \left\{ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\alpha \right\} dt \\ \langle V^2 \rangle &= \frac{V_{max}^2}{T} \left\{ \frac{t}{2} - \frac{T}{8\pi} \sin\left(\frac{4\pi}{T} t + 2\vartheta_0\right) \Big|_0^T \right\} \\ \langle V^2 \rangle &= \frac{V_{max}^2}{2} \dots \dots \dots (10) \end{aligned}$$

Dengan memasukkan persamaan (10) ke persamaan (5) maka akan diperoleh:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{V_{max}^2}{2}}$$

$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \dots \dots \dots (11)$$

Dengan cara yang sama kita akan memperoleh arus rms seagai berikut:

$$I_{rms} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \dots \dots \dots (12)$$

2.3 Impedansi, Tegangan, dan Arus Bolak Balik

2.3.1 Impedansi

Untuk menganalisis arus bolak balik umumnya digunakan 3 komponen elektronika yang pasti sudah familiar. Ketiga komponen yang dimaksud yaitu Resistor, Kapasitor, dan Induktor.

Saat menganalisis rangkaian arus bolak balik ketiga komponen tersebut akan memunculkan istilah impedansi (Z). Besaran impedansi merupakan reaktansi atau hambatan pada arus bolak balik. Untuk hambatan pada resistor disebut dengan reaktansi resistatif (X_R), pada induktor disebut dengan reaktansi induktif (X_L), dan hambatan pada kapasitor disebut dengan reaktansi kapasitif (X_C). Ketiga besaran tersebut dapat dituliskan:

$$X_R = R \dots \dots \dots (13)$$

$$X_L = \omega L \dots \dots \dots (14)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \dots \dots \dots (15)$$

dengan:

X_R = reaktansi resistatif (Ohm)

R = Resistor (Ohm)

X_L = reaktansi induktif (Ohm)

L = Induktor (Henry)

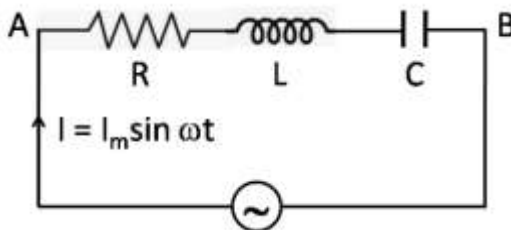
X_C = reaktansi kapasitif (Ohm)

C = kapasitor (Farad)

$\omega = \text{kecepatan sudut (rad/s)}$

Jika ketiga komponen tersebut disusun secara seri maka akan menghasilkan besar impedansi:

$$Z = \sqrt{X_R^2 + (X_L - X_C)^2} \dots \dots \dots (16)$$



Gambar 2.5. Rangkaian RLC seri

2.3.2 Tegangan dan arus bolak balik pada rangkaian RLC

Untuk menentukan besar tegangan dan arus bolak balik pada rangkaian seri RLC dapat ditentukan dengan cara:

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} \dots \dots \dots (17)$$

$$I = I_R = I_L = I_C \dots \dots \dots (18)$$

Hubungan antara tegangan, arus dan impedansi dapat dirumuskan:

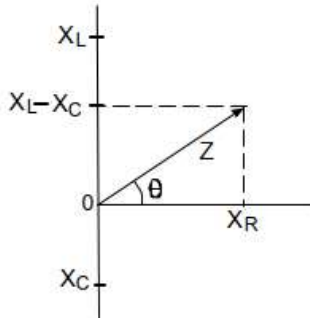
$$V = I \cdot Z \dots \dots \dots (19)$$

$$V_C = I \cdot X_C \dots \dots \dots (20)$$

$$V_L = I \cdot X_L \dots \dots \dots (21)$$

$$V_R = I \cdot X_R \dots \dots \dots (22)$$

Selain hubungan diatas, pendekatan lain yang dapat dilakukan dalam menganalisis rangkaian RLC pada arus bolak balik dapat menggunakan diagram fasor. Hubungan antara ketiga reaktansi dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.6. Diagram fasor

Berdasarkan diagram fasor diatas kita dapat memperoleh hubungan sebagai berikut:

$$\tan \theta = \frac{X_L - X_C}{X_R} \dots \dots \dots (23)$$

dimana θ adalah beda fase antara tegangan dan arus bolak balik.

Dalam rangkaian RLC pada arus bolak balik dikenal juga istilah resonansi. Peristiwa resonansi adalah keadaan dimana reaktansi kapasitif sama dengan reaktansi induktif. Keadaan ini dapat terjadi pada frekuensi tertentu dan disebut juga dengan frekuensi resonansi yang besarnya adalah:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}} \dots \dots \dots (24)$$

dimana f_r adalah frekuensi resonansi (Hz).

2.4 Contoh Soal

1. Diketahui tegangan listrik PLN di suatu negara memiliki frekuensi 60 Hz. Tegangan yang didistribusikan keluar sebesar 240 V. Nyatakan tegangan tersebut sebagai fungsi waktu!

Jawab:

Untuk menjawab soal ini, pertama-tama ungkapkan tegangan yang didistribusikan sebesar 240 V bermakna tegangan tersebut adalah tegangan rms sehingga $V_{rms} = 240 \text{ Volt}$. Kedua, menghitung amplitudo tegangan dengan persamaan:

$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$V_{max} = V_{rms}\sqrt{2}$$

$$V_{max} = 240\sqrt{2}$$

Selanjutnya menentukan tegangan sebagai fungsi waktu sebagai berikut:

$$V_{(t)} = V_{max} \sin(\omega t + \vartheta_0)$$

$$V_{(t)} = 240\sqrt{2} \sin(\omega t + \vartheta_0)$$

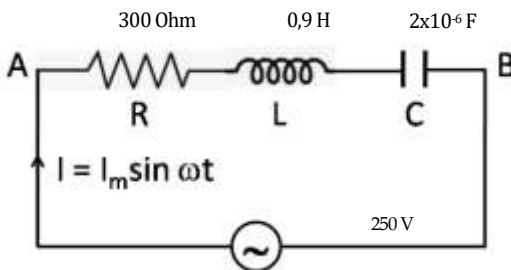
Karena $\omega = 2\pi f$ atau $\frac{2\pi}{T}$ maka

$$V_{(t)} = 240\sqrt{2} \sin(2\pi f t + \vartheta_0)$$

$$V_{(t)} = 240\sqrt{2} \sin(2\pi 60 t + \vartheta_0)$$

$$V_{(t)} = 240\sqrt{2} \sin(120\pi t + \vartheta_0) \text{ volt}$$

2. Perhatikan gambar berikut:



Tentukan kuat arus efektif yang mengalir pada rangkaian jika kecepatan sudutnya 1000 rad/s!

Jawab:

Untuk menjawab soal ini kita tentukan terlebih dahulu reaktansi dari ketiga komponen yang digunakan, sehingga

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$X_C = \frac{1}{1000 \times 2 \times 10^{-6}} = 500 \, \Omega$$

$$X_R = R = 300 \, \Omega$$

$$X_L = \omega L = 1000 \times 0,9 = 900 \, \Omega$$

Impedansi (Z)

$$Z = \sqrt{X_R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{300^2 + (900 - 500)^2} = 500 \, \Omega$$

Maka kuat arus efektifnya adalah

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{Z} = \frac{250}{500} = 0,5 \, A$$

DAFTAR PUSTAKA

Balik, A. B. 2018. Bab 7 arus bolak balik. 480–544.

Djarmiko, R. 2012. Bab 5 Arus Bolak Balik.
<https://sumberbelajar.seamolec.org/Media/Dokumen/5a583883865eacc372523abb/2a9dccf0d9eb1bc6abf86236ae808d47.pdf>

BAB 3

ANALISIS THEVENIN & NORTON

Oleh Eka Sriwahyuni

3.1 Pendahuluan

Elektronika dasar adalah cabang ilmu yang mempelajari perilaku dan penggunaan komponen elektronik dalam pembuatan rangkaian listrik. Ini menjadi dasar bagi sebagian besar teknologi modern, dari perangkat mobile hingga sistem kendali industri. Tanpa rangkaian yang lengkap, kita tidak bisa memanfaatkan manfaat listrik (Roziana, 2017). Dalam dunia rangkaian listrik, kompleksitas seringkali menjadi tantangan besar dalam pemahaman, analisis, dan desain. Di tengah kompleksitas ini muncul dua konsep yang telah membantu mengatasi hambatan ini dan menghasilkan pemahaman yang lebih dalam dalam analisis Thevenin dan Northon.

Analisis Thevenin dan Northon adalah dua konsep penting dalam analisis rangkaian listrik. Konsep ini memungkinkan kita untuk menyederhanakan rangkaian yang kompleks menjadi bentuk yang lebih mudah dipahami dan dianalisis, yang dapat sangat berguna dalam perancangan dan pemecahan masalah rangkaian listrik.

Analisis Thevenin adalah salah satu metode penting dalam analisis rangkaian listrik yang memungkinkan insinyur dan ahli listrik untuk menyederhanakan rangkaian yang kompleks menjadi bentuk yang lebih mudah dipahami. Metode ini dinamai setelah ilmuwan Prancis, Leon Charles Thevenin, yang pertama kali mengembangkan konsep ini pada abad ke-19. Analisis Thevenin sangat berguna dalam pemahaman, perancangan, dan pemecahan masalah rangkaian listrik. Analisis Northon adalah salah satu

metode penting dalam analisis rangkaian listrik yang memungkinkan insinyur dan ahli listrik untuk menyederhanakan dan menganalisis rangkaian dengan menggantikan bagian tertentu dengan sumber arus Northon yang setara.

3.2 Analisis Thevenin

3.2.1 Teorema Thevenin

Teorema Thevenin adalah teori elektronik atau alat analisis yang menyederhanakan rangkaian listrik kompleks menjadi sederhana dengan membuat rangkaian alternatif sebagai sumber tegangan yang dihubungkan seri dengan resistansi setara. Analisis Thevenin adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengganti bagian-bagian suatu rangkaian listrik dengan sumber tegangan dan hambatan yang setara dalam suatu rangkaian ekivalen (Hs and Siagian, 2021).

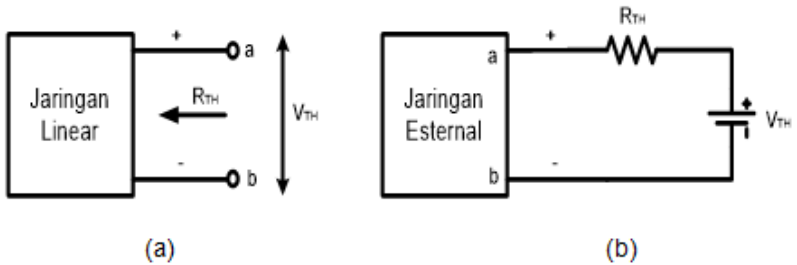
Tujuan utama analisis Thevenin adalah untuk menyederhanakan rangkaian tanpa kehilangan informasi penting tentang perilaku rangkaian pada beban yang berbeda.

Teorema Thevenin sangat berguna jika diterapkan pada analisis rangkaian yang melibatkan sistem tenaga atau baterai dan saling menghubungkan rangkaian yang dapat mempengaruhi rangkaian yang satu dengan rangkaian yang lain. Teorema Thevenin ditemukan oleh seorang insinyur dari Perancis bernama M.L. Thevenin (djukarna, 2014).

Pada rangkaian listrik, terdapat suatu dalil yang terkenal, yaitu dalil Thevenin. Ada pun bunyinya adalah suatu rangkaian dengan suatu keluaran dapat digantikan dengan suatu rangkaian yang terdiri dari suatu sumber tegangan dan suatu hambatan yang dipasang seri dengan sumber tegangan tersebut. Terdapat 2 bentuk dasar rangkaian setara, yakni rangkaian setara Thevenin dan rangkaian setara Northon.

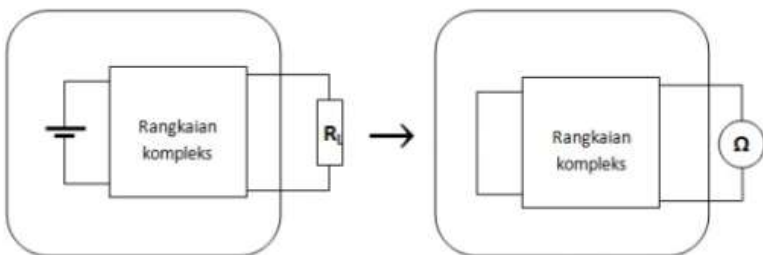
Teorema Thevenin menyatakan setiap rangkaian liner yang terdiri dari banyak tegangan dan resistor bisa digantikan oleh satu

tegangan tunggal dan sebuah resistor yang terhubung dalam bentuk seri. Gambar berikut menunjukkan bagaimana teori Thevenin menyederhanakan rangkaian kompleks menjadi sederhana.

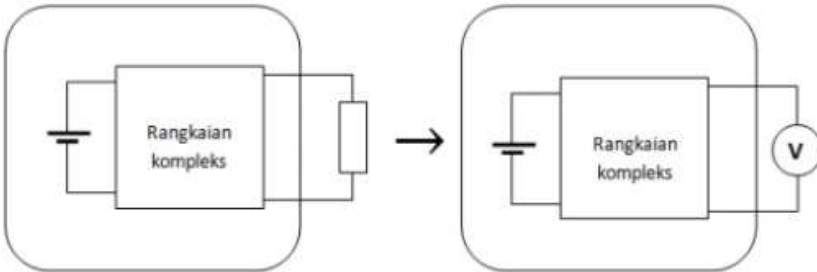


Gambar 3.1. Rangkaian ekivalen Thevenin
(Sumber: djukarna, 2014)

Tegangan Thevenin (V_{TH}) adalah tegangan yang akan muncul di simpul a dan b jika tidak ada beban yang dihubungkan padanya; R_{TH} adalah resistensi yang muncul di simpul a dan b ketika semua sumber tegangan internal digantikan oleh hubung singkat. R_{TH} disebut hambatan Thevenin. Gambar berikut menunjukkan cara mengukur dan menghitung tegangan dan hambatan Thevenin.



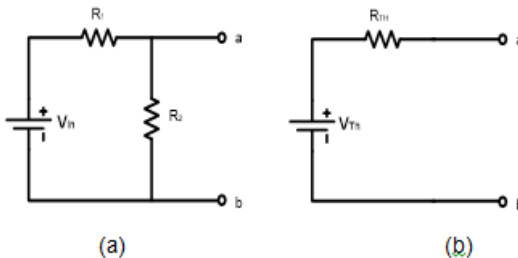
Gambar 3.2. Tahanan Thevenin, mengganti sumber tegangan dengan sebuah penghantar untuk menghubungkan singkat sumber tegangan. (Sumber: djukarna, 2014)



Gambar 3.3. Tegangan Thevenin dengan melepas beban dan mengukur tegangan pada terminal beban. (Sumber: djukarna, 2014)

Pada gambar 3.3 terdapat kotak hitam yang terdiri dari sumber tegangan DC dan rangkaian resistif linier yang bentuk rangkaiannya tidak dapat ditentukan. Rangkaian resistor linier adalah rangkaian yang resistansinya tidak berubah seiring dengan naik atau turunnya tegangan(djukarna, 2014).

Perhitungan dalam banyak situasi di mana jaringannya terhubung ke jaringan eksternal yang terus berubah sangat sulit untuk dilakukan dengan teorema thevenin ini. Rangkaian berikut menunjukkan analisis rangkaian dasar Thevenin:



Gambar 3.4. Rangkaian Ekivalen Thevenin
(Sumber: Abdurrahman, 2017)

Dari rangkaian pada gambar 3.4 di atas, maka dapat ditentukan resistansi Thevenin (R_{TH}) sebesar,

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad 3.1$$

$$V_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in} \quad 3.2$$

Transfer daya maksimum dari rangkaian Thevenin berdasarkan persamaan (3.1) dan (3.2) diperoleh sebesar:

$$P = \left| \frac{V_{Th}}{R_{Th} + R_L} \right|^2 \times R_L \quad 3.3$$

Thevenin mampu menunjukkan bahwa apapun geometri rangkaian linier, semua rangkaian resistif linier akan menghasilkan arus beban yang sama sesuai dengan persamaan:

$$I_L = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_L} \quad 3.4$$

Dimana :

I_L = arus beban,

V_{Th} = tegangan Thevenin,

R_{Th} = hambatan Thevenin dan

R_L = hambatan beban.

3.2.2 Langkah-Langkah Teorema Thevenin

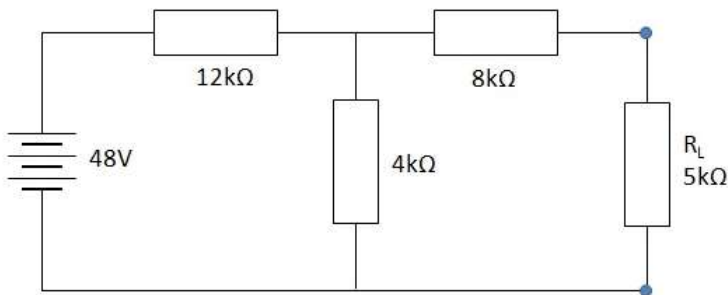
Metode yang digunakan untuk menganalisis dan menghitung suatu rangkaian linear menggunakan teorema Thevenin (Dickson Kho, 2017) yaitu:

1. Eliminasi Resistor Beban
2. Hitung tegangan rangkaian terbuka. Tegangan Thevenin (V_{TH}) adalah istilah untuk tegangan ini.
3. Melepaskan arus listrik dari sumbernya dan hubung singkatkan sumber tegangannya.

4. Hitung tegangan resistensi rangkaian terbuka. Resistansi Thevenin, juga dikenal sebagai Thevenin Resistance (R_{TH})
5. Berdasarkan hasil pengukuran pada langkah b, tunjukkan rangkaian baru. Tegangan rangkaian terbuka (V_{TH}) digambarkan sebagai tegangan sumber, dan Resistansi Thevenin (R_{TH}), yang diukur pada langkah d sebagai Resistor yang dihubungkan secara seri. Hubungkan kembali resistor beban yang dilepaskan pada langkah a. Rangkaian ini dikenal sebagai rangkaian ekivalen Thevanin, atau rangkaian kompleks yang disederhanakan menggunakan teorema Thevenin.
6. Langkah terakhir adalah mengetahui arus listrik yang melalui Resistor Beban. Ini dapat di hitung menggunakan Hukum Ohm atau rumus yang ada diatas.

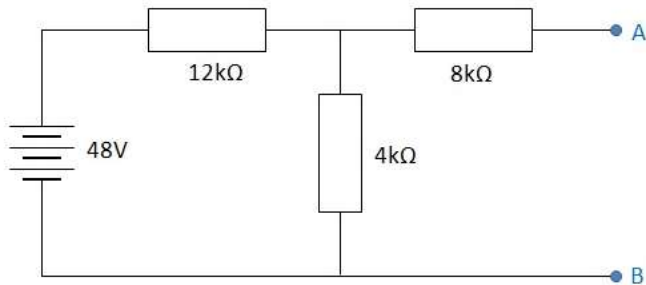
Contoh Perhitungan Teorema Thevenin;

Dengan menggunakan Teorema Thevenin, tentukan V_{TH} , R_{TH} , arus beban, dan tegangan pada resistor beban pada gambar berikut (Dickson Kho, 2017).



Gambar 3.5. Rangkaian kompleks dengan beban R_L
(Sumber: Dickson Kho, 2017)

Langkah a. mengeliminasi resistor beban yaitu 5 k Ω , sehingga menghasilkan gambar seperti berikut:



Gambar 3.6. Rangkaian kompleks setelah resistor beban di eliminasi. (Sumber: Dickson Kho, 2017)

Langkah b. menghitung tegangan rangkaian terbuka atau tegangan Thevenin (V_{TH}). Setelah membuka resistor beban (langkah a), rangkaianannya akan berbentuk seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.6. Resistor menerima arus listrik 12 k Ω dan 4 k Ω . Dengan arus listrik yang mengalir yaitu:

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

$$I = \frac{48}{12 + 4}$$

$$I = \frac{48}{16}$$

$$I = 0,003 \text{ A atau } 3 \text{ mA}$$

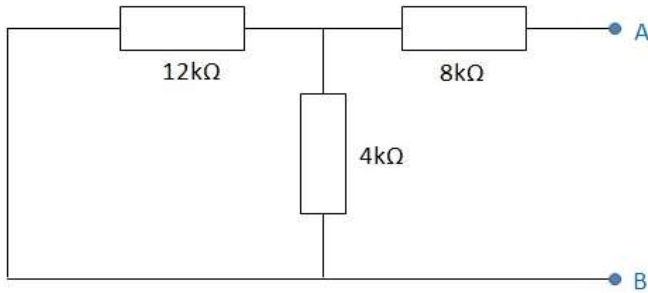
Karena resistor 8 k Ω adalah rangkaian terbuka, resistor tersebut tidak dapat dihitung. Tegangan pada Resistor 4 k Ω adalah 12 V yaitu dengan perhitungan

$$V = I \cdot R$$

$$V = 3 \text{ mA} \cdot 4 \text{ k}\Omega$$

$$V = 12 \text{ V}$$

Langkah c. melepaskan sumber arus listriknya yang ada pada rangkaian dan hubung singkatkan sumber tegangannya, seperti gambar berikut:



Gambar 3.7. Sumber tegangan pada rangkaian di hubung singkatkan. (Sumber: Dickson Kho, 2017)

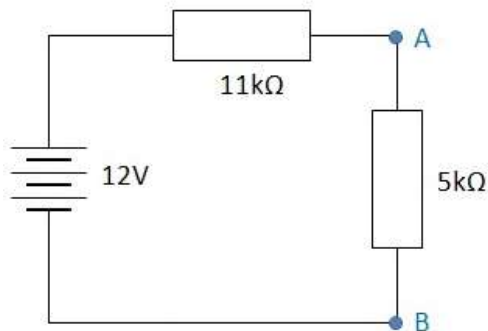
Langkah d. menghitung tegangan resistensi rangkaian terbuka, atau Thevenin Resistance (R_{TH}). Seperti yang dilakukan pada langkah ke-c, kita telah melepaskan sumber arus listrik 48 V dan kemudian meningkatkan sumber tegangan, sehingga sumber tegangan adalah ekivalen dengan 0 ($V=0$). Dengan demikian, resistor 8 k Ω berhubungan dengan resistor paralel 4 k Ω dan 12 k Ω . Oleh karena itu, perhitungan yang digunakan untuk menemukan R_{TH} adalah sebagai berikut:

$$R_{TH} = 8 \text{ k}\Omega + ((4 \text{ k}\Omega \times 12 \text{ k}\Omega)/(4 \text{ k}\Omega + 12 \text{ k}\Omega))$$

$$R_{TH} = 8 \text{ k}\Omega + 3 \text{ k}\Omega$$

$$R_{TH} = 11 \text{ k}\Omega$$

Langkah e. hubungkan seri resistor R_{TH} dengan sumber tegangan V_{TH} dan kemudian hubungkan kembali resistor beban 5 k Ω . Inilah hasil dari teorema Thevenin, juga dikenal sebagai rangkaian ekivalen Thevenin.



Gambar 3.8. Rangkaian Ekivalen Thevenin
(Sumber: Dickson Kho, 2017)

Langkah f. terakhir adalah mengetahui arus listrik dan tegangan beban yang melalui Resistor Beban.

Menghitung arus beban (I_L):

$$I_L = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_L}$$

$$I_L = \frac{12\text{ V}}{11\text{ k}\Omega + 5\text{ k}\Omega}$$

$$I_L = \frac{12\text{ V}}{16\text{ k}\Omega}$$

$$I_L = \frac{12\text{ V}}{16\text{ k}\Omega}$$

$$I_L = 0,75\text{ Ma}$$

Menghitung tegangan beban (V_L):

$$V_L = I_L \times R_L$$

$$V_L = 0,75\text{ Ma} \times 5\text{ k}\Omega$$

$$V_L = 3,75\text{ Volt}$$

Di antara rangkaian Ekivalen Thevenin dan yang pertama, ada perbedaan yang signifikan. Rangkaian Ekivalen Thevenin lebih sederhana dan lebih mudah digunakan. Analisis Thevenin sering digunakan dalam perancangan dan pemecahan masalah rangkaian

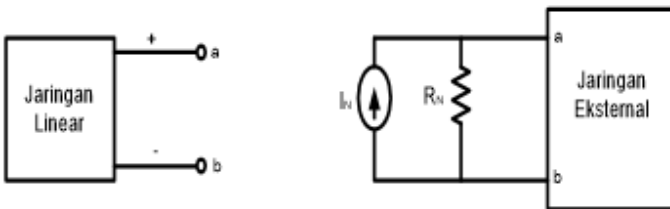
listrik. Ini dapat digunakan untuk menghitung daya yang diserap oleh beban, memprediksi respons rangkaian terhadap perubahan beban, dan merancang sistem yang efisien (Blocher, 2004). Ini juga digunakan dalam bidang elektronika, sistem tenaga, dan komunikasi.

3.3 Analisis Northon

3.3.1 Teorema Northon

Analisis Northon berhubungan dengan menggantikan bagian dari rangkaian dengan sumber arus yang setara (Kurriawan, 2018). Prinsip dasar di balik analisis ini adalah memahami bahwa bagian dari rangkaian dapat digantikan dengan sumber arus Northon, yang kemudian dapat mempermudah analisis sirkuit dan perhitungan kinerja rangkaian. Teorema Northon dapat digunakan untuk menyederhanakan rangkaian linear yang rumit menjadi rangkaian yang lebih sederhana. Teorema Northon menyederhanakannya dengan menggunakan sumber arus (*Current Source*) ekuivalen dan perangkaian resistor secara paralel (djukarna, 2014).

Teorema Northon menyatakan bahwa rangkaian sederhana yang hanya terdiri dari arus sumber (I_N) dan resistor yang diparalelkan (R_N) dapat digunakan untuk menggantikan setiap jaringan listrik linear atau rangkaian kompleks tertentu. Rangkaian pengganti tersebut dinamakan juga dengan Rangkaian Ekuivalen Northon.



Gambar 3.9. Rangkaian Ekuivalen Northon
(Sumber: djukarna, 2014)

Teorema Northon menyatakan bahwa sumber arus tunggal I_N yang paralel dengan resistansi tunggal R_N dapat menggantikan jaringan apa pun yang dihubungkan ke terminal a dan b, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.9. Nilai R_N dapat ditentukan berdasarkan gambar diatas yaitu;

$$R_N = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad 3.5$$

Arus Northon dapat ditentukan sebesar,

$$I_N = \frac{V}{R_N} \quad 3.6$$

Nilai daya yang diserap oleh beban dapat dihitung dari keseluruhan rangkaian dengan teorema thevenin & Northon yang dibahas di atas,

$$P_L = \frac{V^2}{R} = I_N^2 R \quad 3.7$$

3.3.2 Langkah-Langkah Teorema Northon

Metode yang digunakan untuk menganalisis dan menghitung suatu rangkaian linear menggunakan teorema Northon (Dickson Kho, 2017) berikut ini ;

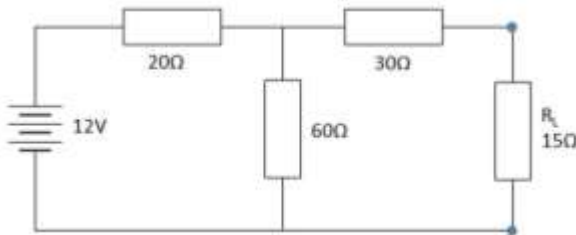
1. Menghubung singkatkan resistor beban,
2. Menghitung atau mengukur arus yang mengalir melalui rangkaian hubung singkat. Arus Northon dituliskan I_N ,
3. Lepaskan resistor beban setelah membuka arus dan tegangan sumber,
4. Menghitung atau ukur resistansi rangkaian terbuka. Resistansi Northon (R_N),
5. Mengambarkan kembali rangkaian dengan memasukkan nilai arus pada rangkaian yang dihubungsingkat pada langkah b. Pada langkah e, rangkaikan arus sumber dan resistensi secara paralel pada rangkaian terbuka. Hubungkan kembali resistor beban yang dilepaskan

pada langkah 3. Ini adalah rangkaian ekivalen Northon, yang merupakan rangkaian yang telah disederhanakan berdasarkan teorema Northon, dan

- Gunakan aturan pembagi arus listrik saat ini untuk menentukan arus beban yang mengalir dan tegangan beban pada resistor beban.

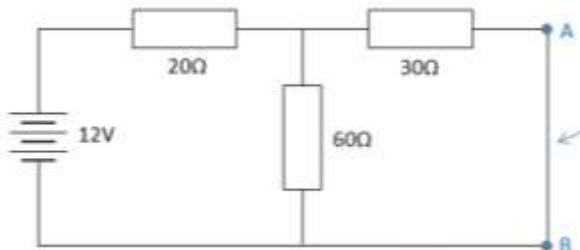
Contoh Perhitungan Teorema Northon ;

Dengan menggunakan Teorema Northon, cari nilai resistansi Northon (R_N), arus Northon (I_N), dan tegangan beban (V_L) pada resistor beban (R_L) (Dickson Kho, 2017) perhatikan gambar 3.10.



Gambar 3.10. Rangkaian kompleks dengan beban R_L
(Sumber: Dickson Kho, 2017)

Langkah a. menghubungkan singkatan resistor beban, hubungkan resistor beban 15 Ω dengan cara yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3.11. Rangkaian di hubung singkatan
(Sumber: Dickson Kho, 2017)

Langkah b. Menghitung atau mengukur arus yang mengalir melalui rangkaian hubung singkat. Untuk mendapatkan Arus Northon (I_N), kami menghubungkan terminal AB secara singkat, sehingga resistor $60\ \Omega$ dan $30\ \Omega$ terhubung secara paralel. Kemudian, kedua resistor ini terhubung secara seri terhadap resistor $20\ \Omega$. Dengan demikian, total resistansi (R_t) yang akan dihubungkan ke sumber adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R_t &= 20\ \Omega + (60\ \Omega // 30\ \Omega) \\ R_t &= 20\ \Omega + ((30\ \Omega \times 60\ \Omega) / (30\ \Omega + 60\ \Omega)) \\ R_t &= \frac{20 \times 20}{20} + \frac{20 \times 20}{20} \\ R_t &= 40\ \Omega \end{aligned}$$

Setelah memperoleh nilai total resistor (R_t), hukum Ohm digunakan untuk menghitung arus listrik yang mengalir:

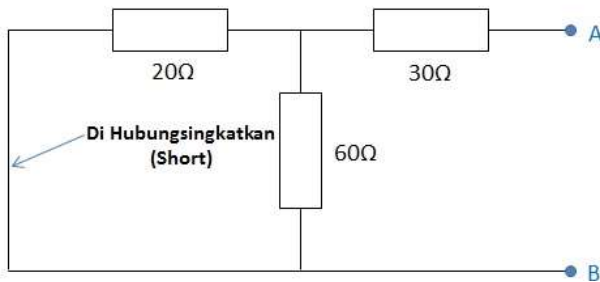
$$\begin{aligned} I_t &= \frac{V}{R_t} \\ I_t &= \frac{12\ V}{40\ \Omega} \\ I_t &= 0,3\ A \end{aligned}$$

Nilai arus sumber (I_{Sc}) kemudian harus sama dengan nilai arus Northon (I_N) dengan menggunakan prinsip pembagi arus saat ini.

$$\begin{aligned} I_{Sc} &= I_N = 0,3\ A \quad ((60\ \Omega / (30\ \Omega + 60\ \Omega)) \\ I_{Sc} &= I_N = 0,2\ A \end{aligned}$$

Oleh karena itu nilai arus Northon adalah $0,2\ A$.

Langkah c. melepaskan resistor beban setelah membuka arus dan tegangan sumber seperti pada gambar 3.12.



Gambar 3.12. Short pada tegangan sumber
(Sumber: Dickson Kho, 2017)

Langkah d. menghitung atau ukur resistansi rangkaian terbuka. Resistansi Northon (R_N), tegangan sumber sama dengan 0 karena tegangan sumber dihubungsingkatkan pada langkah c. Gambar 3.12 menunjukkan bahwa resistor 30 Ω terhubung seri dengan resistor 60 Ω dan 20 Ω . Dengan resistor Northon (R_N) yaitu:

$$R_N = 30 \Omega + (60 \Omega // 20 \Omega)$$

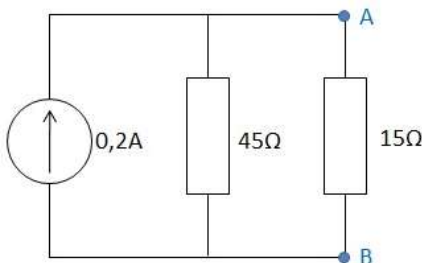
$$R_N = 30 \Omega + ((60 \Omega \times 20 \Omega) / (60 \Omega + 20 \Omega))$$

$$R_N = 30 \Omega + 15 \Omega$$

$$R_N = 45 \Omega$$

Oleh karna itu nilai resistor Northon (R_N) adalah 45 Ω .

Langkah e. resistor northon (R_N) harus dihubungkan secara paralel dengan sumber arus (I_N), dan kemudian pasang kembali resistor beban seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3.13. Rangkaian Ekvaleen Northon
(Sumber: Dickson Kho, 2017)

Langkah f. menggunakan aturan pembagi arus listrik saat ini untuk menentukan arus beban yang mengalir dan tegangan beban pada resistor beban

Menghitung arus beban (I_L) yang mengalir melalui Resistor beban (R_L):

$$I_L = I_N \frac{R_N}{R_N + R_L}$$
$$I_L = 0,2 \text{ A} \left(\frac{45 \Omega}{45 \Omega + 15 \Omega} \right)$$
$$I_L = 0,2 \text{ A} \left(\frac{45 \Omega}{60 \text{ k}\Omega} \right)$$
$$I_L = 0,15 \text{ A}$$

Menghitung tegangan beban (V_L) pada Resistor Beban (R_L):

$$V_L = I_L \times R_L$$
$$V_L = 0,15 \text{ A} \times 15 \Omega$$
$$V_L = 2,24 \text{ Volt}$$

Oleh karena itu, arus beban yang mengalir melalui resistor beban adalah 0,15 A, dan tegangan beban yang dia miliki adalah 2,25 V.

Kelebihan Analisis Northon termasuk kemampuan untuk menyederhanakan rangkaian yang kompleks dan memahami aliran arus (Ghozanfar and Ramdan, 2022). Namun, metode ini mungkin kurang cocok untuk analisis beban yang memiliki komponen hambatan yang sangat rendah. Analisis Northon memiliki berbagai penerapan dalam dunia nyata, termasuk:

1. Rangkaian Daya: dalam analisis sistem tenaga, Analisis Northon dapat digunakan untuk memahami aliran arus dan distribusi daya.

2. Rangkaian Elektronik: dalam analisis rangkaian elektronik kompleks, Analisis Northon dapat membantu dalam merancang sirkuit yang efisien.
3. Kendali Industri: dalam sistem kendali otomatis, Analisis Northon dapat digunakan untuk memahami respons sistem terhadap perubahan beban.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, Syaifi. 2017. *Modul Elektronika Dasar*. 1st edn. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Blocher, Richard. 2004. *Dasar Elektronika*. 1st edn. Yogyakarta: Andi Offset.
- Dickson Kho. 2017. *Teknik Elektronika*. Available at: <https://teknikelektronika.com/> (Accessed: 27 August 2023).
- Djukarna. 2014. *Teori Rangkaian Thevenin & Norton*. Available at: <https://djukarna.wordpress.com/2014/09/12/teori-rangkaian-theveninnorton/#:~:text=Tegangan%20Thevenin%20adalah%20tegangan%20yang,RTh%20disebut%20hambatan%20Thevenin.> (Accessed: 27 August 2023).
- Ghozanfar, A. and Ramdan, S.D. 2022. Analisis Teorema Thevenin Norton (Sumber Tegangan DC), *Repoteknologi*, 2(3), pp. 1–10.
- Hs, S.C. and Siagian, S.M. 2021. Penerapan Metode Analisis Thevenin dan Norton pada Aplikasi NI Multisim', *Applied Business and Engineering Conference*, pp. 1282–1289.
- Kurriawan, P.S., Chandra. 2018. *Elektronika Dasar 1*. 1st edn. Malan: Universitas Kanjuruhan.
- Roziana, I.J.S. 2017. Analisis Kemampuan Mahasiswa Menyederhanakan Rangkaian Menggunakan Teorema Thevenin', *Orbita, Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 3(2), pp. 53–57.

BAB 4

KOMPONEN AKTIF ; SEMIKONDUKTOR

Oleh Nita Nurdiana

4.1 Pengantar

Komponen dalam elektronika merujuk pada berbagai bagian atau elemen yang digunakan dalam merancang dan membangun rangkaian elektronik. Setiap komponen memiliki fungsi dan karakteristik khusus yang memungkinkannya berperan dalam mengendalikan aliran arus listrik atau sinyal elektronik. Komponen-komponen ini dapat dibedakan menjadi dua kategori utama: komponen aktif dan komponen pasif.

4.1.1 Definisi Komponen Pasif dan Aktif

1. Komponen Pasif

Komponen pasif adalah jenis komponen yang tidak memiliki kemampuan untuk mengendalikan aliran arus atau mengubah sinyal listrik. Komponen pasif tidak membutuhkan sumber daya eksternal dan hanya berfungsi sesuai dengan karakteristik materi atau nilai komponennya. Komponen pasif digunakan untuk mengatur, menyimpan, atau memodifikasi sinyal dalam rangkaian elektronik. (Naim, 2022)

Resistor		
LDR		
Thermistor		
Capacitor		
Inductor		
Switch		
Variable Resistor		
Transformer		

Gambar 4.1. Komponen Pasif (Indonesia, no date)

Beberapa komponen pasif yang digunakan dalam bidang elektronika adalah :

- Resistor:** Resistor adalah komponen pasif yang memiliki nilai hambatan tertentu terhadap arus listrik. Resistor berfungsi untuk membatasi atau mengurangi aliran arus dalam rangkaian elektronik. Resistor dapat digunakan untuk mengatur intensitas arus, tegangan, atau daya dalam rangkaian. Jenis-jenis resistor meliputi resistor tetap (fixed resistor) dan resistor variabel (variable resistor atau potensiometer).
- Kapasitor:** Kapasitor adalah komponen pasif yang terdiri dari dua pelat logam yang dipisahkan oleh bahan dielektrik. Kapasitor memiliki kemampuan

untuk menyimpan muatan listrik. Kapasitor digunakan untuk menyimpan energi dalam bentuk medan listrik dan membebaskan energi tersebut saat dibutuhkan. Kapasitor juga digunakan untuk menyaring atau menahan perubahan tegangan atau sinyal dalam rangkaian.

- c. **Induktor** : Induktor adalah komponen pasif yang terdiri dari kawat berlilit-lilit. Ketika arus mengalir melalui induktor, ia menciptakan medan magnetik. Induktor berfungsi untuk menyimpan energi dalam bentuk medan magnetik dan menghambat perubahan arus dalam rangkaian. Induktor sering digunakan dalam sirkuit daya dan rangkaian resonansi.
- d. **Transformator**: Transformator adalah jenis induktor khusus yang terdiri dari dua atau lebih gulungan kawat yang saling terkait magnetik. Transformator digunakan untuk mengubah tegangan dan arus listrik dari satu tingkat ke tingkat lainnya dalam rangkaian.
- e. **Kumparan**: Kumparan adalah komponen pasif yang mirip dengan induktor, terdiri dari kawat berlilit-lilit. Kumparan digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam pembuatan sirkuit elektronik, peralatan elektronik, dan induksi nirkabel.
- f. **Resonator**: Resonator adalah komponen pasif yang digunakan dalam rangkaian resonansi. Resonator berfungsi untuk memperkuat atau memfilter sinyal dalam suatu frekuensi tertentu.

2. Komponen Aktif

Komponen aktif dalam elektronika adalah jenis komponen yang dapat mengendalikan arus listrik atau mengubah sinyal listrik menjadi bentuk energi lain. Komponen aktif membutuhkan sumber daya eksternal (seperti tegangan

atau arus) untuk berfungsi dan memiliki kemampuan untuk memperkuat, mengubah, atau mengontrol sinyal listrik yang melewatinya. Komponen aktif beroperasi berdasarkan prinsip-prinsip semikonduktor dan memanfaatkan karakteristik materi semikonduktor, seperti dioda, transistor, dan perangkat lainnya. (Naim, 2022)

Beberapa contoh komponen aktif yang umum digunakan dalam elektronika adalah sebagai berikut:

- a. **Dioda:** Dioda adalah komponen aktif yang terdiri dari semikonduktor tipe p dan tipe n yang disatukan membentuk P-N junction. Dioda memiliki dua terminal dan dapat berfungsi sebagai penyearah (*rectifier*), yaitu mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah, atau dapat digunakan sebagai komponen perlindungan dan deteksi sinyal.
- b. **Transistor:** Transistor adalah komponen aktif yang terdiri dari tiga lapisan semikonduktor, yaitu emitor, basis, dan kolektor. Transistor berfungsi sebagai penguat sinyal atau saklar elektronik. Ada dua jenis transistor yang umum digunakan, yaitu *Bipolar Junction Transistor (BJT)* dan *Field-Effect Transistor (FET)*.
- c. **Photodioda:** Photodioda adalah dioda khusus yang dirancang untuk mendeteksi cahaya. Ketika cahaya jatuh pada photodioda, terjadi peningkatan arus listrik sesuai dengan intensitas cahaya yang diterima. Photodioda digunakan sebagai sensor cahaya dalam berbagai aplikasi, seperti dalam sistem pemindai barcode, pengukuran intensitas cahaya, dan komunikasi optik.
- d. **Light Emitting Diode (LED):** LED adalah dioda yang dapat mengeluarkan cahaya ketika arus mengalir melaluinya. Cahaya yang dihasilkan oleh LED dapat

berbagai macam warna, seperti merah, hijau, biru, dan lainnya. LED digunakan sebagai sumber cahaya dalam lampu penerangan, layar LED, perangkat elektronik, dan indikator status pada perangkat elektronik.

- e. **Optokopler:** Optokopler adalah perangkat yang menggabungkan LED dan fotodioda dalam satu paket. Sinyal listrik dari satu sisi optokopler akan diubah menjadi cahaya oleh LED, dan cahaya tersebut akan dideteksi oleh fotodioda di sisi lainnya. Optokopler digunakan untuk mengisolasi dan menghubungkan dua sirkuit listrik terpisah tanpa adanya kontak fisik, sehingga mengurangi gangguan dan risiko korsleting.

Transistor			Integrated Circuit		-
Diode			Operational Amplifier		
LED			Seven Segment Display		
Photodiode			Battery		

Gambar 4.2. Komponen Aktif (Indonesia, no date)

4.1.2 Pengertian Semikonduktor

Semikonduktor adalah jenis material yang memiliki sifat konduktivitas listrik yang berada di antara konduktor (material yang mudah mengalirkan listrik) dan isolator (material yang sulit mengalirkan listrik) (Setiyo, Burhanudin and Prasetyo, 2017). Sifat semikonduktor ini disebabkan oleh struktur kristalnya yang memiliki celah energi yang sempit antara pita valensi dan pita konduksi.

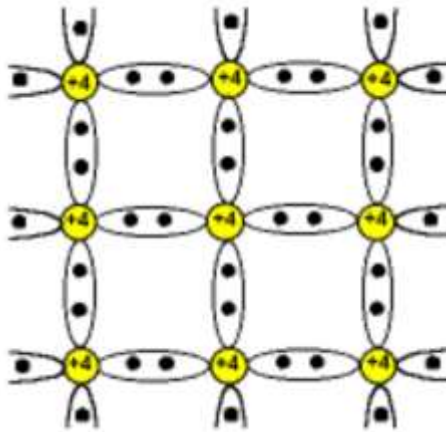
Semikonduktor memiliki peran penting dalam teknologi modern, khususnya dalam industri elektronika dan komputer. Dioda, transistor, dan berbagai komponen semikonduktor lainnya menjadi dasar dari berbagai perangkat elektronik, termasuk komputer, telepon seluler, lampu LED, dan berbagai sistem kontrol otomatis.

Contoh material semikonduktor yang umum digunakan adalah silikon (Si) dan germanium (Ge). Selain itu, terdapat juga material semikonduktor lain seperti gallium arsenide (GaAs) dan indium arsenide (InAs) yang memiliki karakteristik dan aplikasi khusus.(Setiyo, 2017)

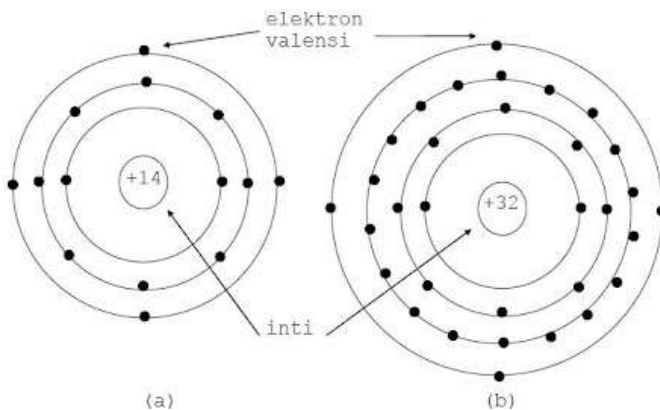
4.2 Prinsip Dasar Semikonduktor

4.2.1 Struktur Kristal Semikonduktor

Struktur atom dalam semikonduktor adalah serupa dengan struktur atom dalam bahan lainnya. Struktur atom semikonduktor menentukan sifat-sifat khas bahan semikonduktor. Setiap atom semikonduktor terdiri dari inti atom yang mengandung proton dan neutron, serta elektron yang berputar mengelilingi inti dalam lapisan elektronik atau orbital. Pada kulit terluar atom semikonduktor terdapat empat elektron valensi, yang memungkinkan mereka untuk membentuk kristal dengan susunan atom yang teratur dan berulang dalam pola tiga dimensi. Kristal silikon, bahan semikonduktor murni, adalah contohnya. Dengan energi yang cukup, elektron dalam semikonduktor dapat berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Hal ini terjadi ketika semikonduktor terbakar atau ketika suhu tinggi. (Rizalul Fiqry, Ariswan, 2017) Struktur atom silikon divisualisasikan seperti pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.3. Struktur dua dimensi kristal



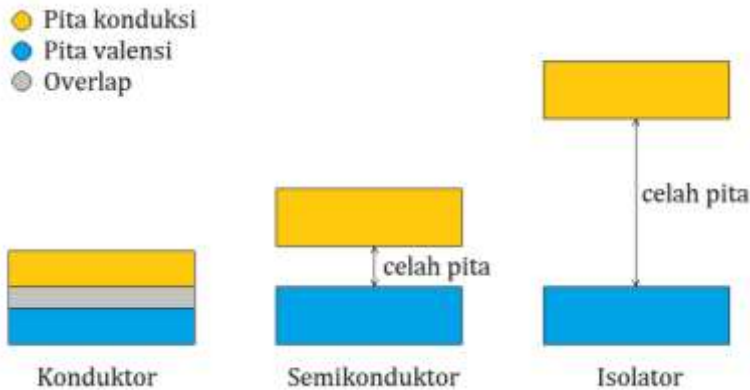
Gambar 4.4. Struktur atom a. Silikon b. Germanium
Sumber : (KEJURUAN, 2003)

4.2.2 Teori Pita Energi dan Konduktivitas Semikonduktor

Struktur pita energi dalam semikonduktor adalah salah satu faktor penting yang menentukan sifat listrik dari semikonduktor. Struktur pita energi menggambarkan tingkat energi elektron dalam suatu bahan (Setiyo et al., 2017). Struktur

pita energi pada semikonduktor terdiri dari tiga pita energi, yaitu pita valensi, pita konduksi, dan pita terlarang atau gap (Ali, 2018).

1. Pita valensi adalah kumpulan tingkat energi yang diisi penuh oleh elektron-elektron valensi, yaitu elektron-elektron terikat yang terlibat dalam ikatan kimia antara atom-atom semikonduktor.
2. Pita konduksi adalah kumpulan tingkat energi yang dapat diisi oleh elektron-elektron yang memiliki energi lebih tinggi, sehingga dapat bergerak bebas dan menjadi pembawa muatan yang berkontribusi pada konduktivitas semikonduktor.
3. Pita konduksi biasanya terletak di atas pita valensi, dan selisih energi antara kedua pita ini adalah bandgap. Bandgap ini memisahkan elektron-elektron yang terikat pada pita valensi dari elektron-elektron yang bebas pada pita konduksi. (Antarissubhi, 2023)



Gambar 4.5. Pita Energi Semikonduktor

4.2.3 Bandgap dan Pembawa Muatan

Bandgap dan pembawa muatan merupakan dua konsep penting dalam semikonduktor yang mempengaruhi perilaku elektrik dan sifat konduktivitasnya.

Dalam struktur energi semikonduktor, bandgap adalah perbedaan energi antara pita valensi (valence band) dan pita konduksi (conduction band). Jika bandgapnya besar, hanya sedikit elektron yang memiliki energi cukup untuk bergerak dari pita valensi ke pita konduksi. (Antarissubhi, 2023). Semikonduktor tipe energi tinggi, juga dikenal sebagai semikonduktor dengan bandgap besar, memiliki kecenderungan untuk menjadi isolator karena memiliki sedikit pembawa muatan yang dapat bergerak. Silikon karbida (SiC) dan Gallium Nitrida (GaN) adalah contoh bahan yang banyak digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan daya tinggi dan dalam elektronika daya. (Ramadhan, 2022)

Sebaliknya, banyak elektron dapat dengan mudah berpindah dari pita valensi ke pita konduksi jika ada bandgap kecil. Semikonduktor tipe energi rendah adalah semikonduktor dengan bandgap kecil. Mereka lebih mudah mengalirkan listrik karena memiliki lebih banyak pembawa muatan yang dapat bergerak. Silikon (Si) dan germanium (Ge), yang sering digunakan dalam teknologi mikroelektronika, adalah contohnya. (Zikri, N., Indri, 2021)

Pembawa muatan, partikel bermuatan listrik, menghantarkan arus listrik melalui semikonduktor. Dua jenis pembawa muatan mayoritas adalah hole (muatan positif) dan elektron (muatan negatif) dalam semikonduktor. Elektron yang ada pada pita konduksi dan memiliki energi cukup untuk bergerak bebas dalam semikonduktor dikenal sebagai pembawa muatan elektron. Pada semikonduktor tipe n, yang didop dengan dopan tipe n, elektron adalah pembawa muatan mayoritas. Pada semikonduktor tipe p, yang didop dengan dopan tipe p, kurangnya elektron adalah pembawa muatan hole (Thahir, 2010).

Konduktivitas semikonduktor ditingkatkan oleh pergerakan pembawa muatan ini. Konduktivitas semikonduktor dengan banyak pembawa muatan yang dapat bergerak lebih tinggi daripada semikonduktor dengan sedikit pembawa muatan yang dapat bergerak. Sifat elektrik semikonduktor, seperti konduktivitas, resistivitas, dan karakteristik penguatan, dipengaruhi oleh bandgap dan pembawa muatan. Untuk desain dan pengembangan perangkat elektronika yang menggunakan semikonduktor sebagai bahan dasar, sangat penting untuk mengetahui tentang bandgap dan pembawa muatan.

4.2.4 Pembawa Muatan Mayoritas dan Minoritas

Dalam semikonduktor, terdapat dua jenis pembawa muatan, yaitu pembawa muatan mayoritas dan minoritas. Kedua jenis pembawa muatan ini memiliki peran yang berbeda dalam mempengaruhi konduktivitas dan sifat elektrik semikonduktor. (Agus Setiawan; Dodi Rusdiana, Ida Hamidah; Ida kaniawati and Suhendi, 2007)

Pembawa Muatan Mayoritas: Dalam semikonduktor, pembawa muatan mayoritas memiliki konsentrasi lebih tinggi daripada pembawa muatan minoritas. Pada semikonduktor tipe n, pembawa muatan mayoritas adalah elektron. Pada semikonduktor tipe p, pembawa muatan mayoritas adalah hole. Ketika semikonduktor tipe p didoping dengan atom pengotor tipe p (seperti boron atau indium), atom pengotor ini menyediakan elektron tambahan, yang menjadi pembawa muatan mayoritas dalam semikonduktor tipe p. Pada semikonduktor tipe n, pembawa muatan mayoritas adalah elektron. Ketika semikonduktor tipe n didoping dengan atom pengotor tipe Dalam semikonduktor tipe p, lubang-lubang ini berfungsi sebagai pembawa muatan mayoritas. (Antarissubhi, 2023)

Pembawa Muatan Minoritas; Jenis pembawa muatan minoritas adalah jenis pembawa muatan yang memiliki

konsentrasi lebih rendah daripada pembawa muatan mayoritas dalam semikonduktor. Hole adalah pembawa muatan minoritas dalam semikonduktor tipe n, meskipun semikonduktor tipe n memiliki elektron sebagai pembawa muatan mayoritas, hole kosong terbentuk di pita valensi. (Yelfianhar, no date) Proses dopan dan suhu memengaruhi konsentrasi pembawa muatan mayoritas dan minoritas dalam semikonduktor. Pergerakan dan interaksi pembawa muatan mayoritas dan minoritas memengaruhi konduktivitas dan sifat elektrik semikonduktor. Ketika semikonduktor berada dalam kesetimbangan termal, konsentrasi pembawa muatan mayoritas dan minoritas mencapai titik tertentu. Nilai-nilai ini bervariasi tergantung pada tipe semikonduktor dan suhu. Analisis dan desain perangkat elektronika berbasis semikonduktor seperti dioda, transistor, dan IC membutuhkan pemahaman tentang pembawa muatan mayoritas dan minoritas.(Antarissubhi, 2023)

4.3 Proses Dopan dalam Semikonduktor

4.3.1 Pengertian Dopan

Proses dopan adalah penambahan atom atau molekul ke dalam bahan semikonduktor untuk mengubah sifat listrik dan konduktivitasnya. Tujuan dari proses dopan adalah untuk membuat pembawa muatan (elektron atau hole) yang dapat meningkatkan konduktivitas atau mengubah tipe semikonduktor dari tipe p ke tipe n, atau sebaliknya. Semikonduktor murni atau intrinsik memiliki konduktivitas yang lebih rendah karena hanya ada sedikit pembawa muatan yang dapat bergerak. Atom-atom semikonduktor memiliki struktur kristal yang tetap, dan elektron-elektron dalam pita valensi diikat dengan kuat oleh ikatan kimia. Namun, melalui proses dopan, atom pengotor, atau dopan, ditambahkan ke dalam bahan semikonduktor untuk mengganggu keseimbangan elektron dalam kristal.

4.3.2 Tipe Dopan (Tipe P dan Tipe N)

Dua jenis dopan digunakan dan menghasilkan dua jenis semikonduktor. Dopan tipe N, seperti fosforus, arsenik, atau antimon, ditambahkan ke semikonduktor tipe p, menghasilkan semikonduktor tipe N. Atom pengotor tipe N memiliki lebih banyak elektron daripada atom semikonduktor tipe p, jadi ketika dopan tipe N dicampur dengan semikonduktor tipe p, atom pengotor melepaskan elektron ke pita konduksi, yang menghasilkan Oleh karena itu, semikonduktor ini memiliki konduktivitas yang lebih tinggi dan biasanya digunakan sebagai konduktor searah, atau penguat arus, dalam rangkaian.

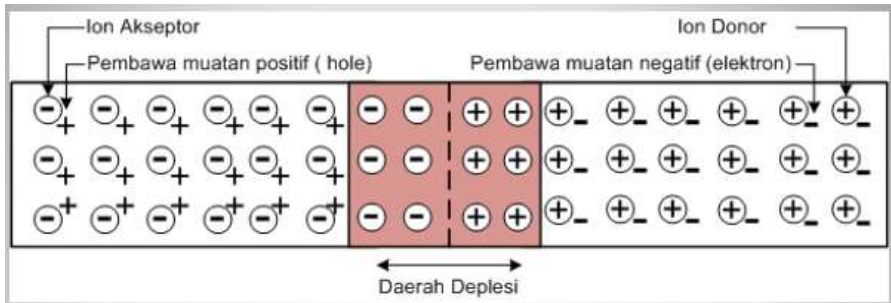
Ketika dopan tipe P (seperti boron, indium, atau galium) ditambahkan ke dalam semikonduktor tipe n, semikonduktor tipe P terbentuk. Atom pengotor tipe P memiliki lebih sedikit elektron daripada atom-atom semikonduktor tipe n, sehingga menciptakan lubang kosong, atau hole, dalam pita valensi, yang berfungsi sebagai pembawa muatan sebagian besar. Semikonduktor tipe P memiliki konduktivitas yang lebih tinggi dan biasanya berfungsi sebagai konduktor arah yang berlawanan, atau penguat tegangan, dalam rangkaian.(Rizalul Fiqry, Ariswan, 2017)

Proses dopan sangat penting untuk membuat perangkat semikonduktor seperti dioda, transistor, dan sirkuit terpadu. Sifat-sifat listrik semikonduktor dapat disesuaikan untuk memenuhi berbagai aplikasi elektronika dengan mengubah tipe dopan dan konsentrasi yang digunakan.

4.3.3 Pembentukan P-N Junction

P-N junction adalah perbatasan antara dua bagian semikonduktor yang memiliki tipe dopan yang berbeda, yaitu tipe P (positif) dan tipe N (negatif). Karakteristik utama P-N junction adalah bahwa wilayah tipe P dan N memiliki perbedaan konsentrasi muatan. Di wilayah tipe P, muatan terkonsentrasi lebih tinggi daripada di wilayah tipe N, yang merupakan dasar dari

banyak perangkat elektronika, seperti fotodioda, transistor, dan dioda. Muatan-muatan ini saling berinteraksi di sekitar perbatasan saat dua wilayah semikonduktor ini digabungkan, membentuk zona netral yang disebut lapisan penurunan.(SEDHA, 2022)



Gambar 4.6. P-N Junction

Salah satu karakteristik junction P-N adalah terbentuknya lapisan penurunan, yang merupakan area netral di sekitar perbatasan antara area tipe P dan tipe N. Lapisan ini tidak memiliki pembawa muatan bebas, sehingga berfungsi sebagai isolator atau penghalang arus listrik. Untuk mencapai keseimbangan dinamis, hole dan elektron saling berdifusi dari wilayah muatan mayoritas ke wilayah muatan minoritas. Ini menghasilkan lapisan pengurangan.

Junction P-N menciptakan potensi kontak di daerah lapisan penurunan. Medan listrik internal diciptakan oleh koneksi ini, yang menghentikan aliran elektron dan pembukaan antara dua area. Arus listrik dapat dengan mudah melalui junction P-N jika junction berada dalam kondisi bias maju atau bias maju. Ini karena tegangan pada junction mengurangi ketebalan lapisan pengurangan, memungkinkan arus melalui dengan sedikit hambatan.

Terbentuknya lapisan hambatan pengurangan di bias mundur adalah karakteristik junction P-N. Dalam kondisi bias mundur, atau bias balik, junction P-N menciptakan zona

pengurangan lapisan yang lebih lebar karena tegangan pada junction P-N meningkatkan zona pengurangan lapisan, sehingga hambatan meningkat dan aliran arus menjadi sangat kecil.

Fotodioda dan transistor juga menggunakan P-N junction, yang sangat penting untuk perangkat elektronik modern. Dioda, salah satu bagian elektronika yang paling umum, menggunakan karakteristik ini untuk mengubah arus listrik menjadi arus searah atau menghambat arus searah.

4.4 Jenis-jenis Semikonduktor

4.4.1 Semikonduktor Intrinsik

Sebuah semikonduktor intrinsik hanya terdiri dari atom-atom semikonduktor asli tanpa atom tambahan yang dimaksudkan untuk mengubah sifat listriknya. Ini disebut semikonduktor murni karena tidak mengandung dopan atau atom pengotor tipe P atau N. Karakteristik materi semikonduktor intrinsik menentukan sifat listriknya. Dalam kondisi mereka, konsentrasi pembawa muatan mayoritas, yaitu hole dan elektron, sangat rendah. Dalam semikonduktor, atom-atom memiliki struktur kristal yang unik, dan pita valensi memiliki ikatan kimia yang kuat yang mengikat elektron-elektronnya. Hal ini menyebabkan konduktivitas semikonduktor intrinsik rendah karena hanya sedikit elektron yang memiliki energi yang cukup tinggi untuk berpindah ke pita konduksi. (Agus Setiawan; Dodi Rusdiana, Ida Hamidah; Ida kaniawati and Suhendi, 2007)

Dalam semikonduktor intrinsik, konduktivitas meningkat dengan meningkatnya suhu. Hal ini karena kenaikan suhu menyediakan energi tambahan untuk beberapa elektron dalam pita valensi, yang membuat mereka dapat berpindah ke pita konduksi dan berperan sebagai pembawa muatan mayoritas. Jumlah pembawa muatan mayoritas yang terbentuk semakin banyak seiring dengan meningkatnya suhu, sehingga konduktivitas semikonduktor juga meningkat. (Shavira, Wahyu and Fathima,

2016)

Karena kenaikan suhu memberikan energi tambahan kepada beberapa elektron dalam pita valensi, yang memungkinkan mereka berpindah ke pita konduksi dan berfungsi sebagai pembawa muatan mayoritas, konduktivitas semikonduktor instrinsik meningkat seiring dengan kenaikan suhu.

Silikon (Si) dan germanium (Ge) adalah semikonduktor instrinsik karena memiliki struktur kristal yang sama. Selain itu, ketika mereka murni (tanpa dopan), mereka memiliki konsentrasi hole dan elektron yang sangat rendah. Namun, ketika atom pengotor jenis P atau N didop, sifat listrik dan konduktivitasnya dapat diubah sesuai dengan aplikasi elektronika yang berbeda.(Aulina, Darminto and Dian, no date)

4.4.2 Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor yang telah mengalami proses dopan, yaitu penambahan atom pengotor tipe P atau N ke dalam bahan semikonduktor murni disebut semikonduktor ekstrinsik. Dopan ini ditambahkan dengan sengaja untuk mengubah sifat listrik dan konduktivitas semikonduktor serta untuk membuat pembawa muatan mayoritas yang lebih banyak. Semikonduktor ekstrinsik memiliki konsentrasi pembawa muatan mayoritas yang jauh lebih tinggi daripada semikonduktor instrinsik, yang berarti bahwa semikonduktor ekstrinsik memiliki konduktivitas yang lebih tinggi daripada semikonduktor instrinsik. (Fiqry, R., Ariswan, A., & Kuswanto, 2017)

Semikonduktor ekstrinsik sangat penting untuk pembuatan berbagai bagian dan perangkat elektronika. Misalnya, junction P-N, yang merupakan struktur utama dari dioda dan transistor, hanya dapat dibuat dengan menggabungkan wilayah semikonduktor tipe P dan tipe N yang telah didop. Dengan menggunakan proses dopan yang terkontrol, kita dapat membuat berbagai perangkat elektronika yang berfungsi sesuai dengan kebutuhan aplikasi

dengan mengubah tipe dan konsentrasi dopan dalam semikonduktor.

4.5 Prinsip Kerja Semikonduktor

Prinsip kerja semikonduktor tipe P dan tipe N berbeda. Karakteristik dopan yang ditambahkan ke dalam bahan semikonduktor menentukan prinsip kerja masing-masing.

Semikonduktor tipe N memiliki konsentrasi pembawa muatan yang sangat tinggi. Ketika semikonduktor tipe N diberi tegangan pada kondisi bias maju (forward bias) dalam rangkaian junction P-N, di mana terminal positif diletakkan pada tipe P dan terminal negatif diletakkan pada tipe N, maka terjadi dua hal: a. Elektron-elektron dari wilayah tipe N bergerak menuju zona netral (depletion I) dan bergerak ke arah lain. Arus elektron dibentuk di sepanjang junction P-N sebagai hasil dari proses ini. Dalam kondisi bias mundur, atau bias balik, di mana terminal positif terletak pada tipe N dan terminal negatif terletak pada tipe P, medan listrik internal memperluas zona netral. Ini mencegah elektron dari wilayah tipe N dan lubang dari wilayah tipe P untuk bergerak, yang menghambat aliran arus. (Zikri, N., Indri, 2021)

Dalam rangkaian junction P-N, semikonduktor tipe P diberi tegangan pada kondisi bias maju (forward bias), dengan terminal positif pada tipe N dan terminal negatif pada tipe P, maka hal berikut terjadi: Karena medan listrik internal, lubang di wilayah tipe P bergerak ke zona netral, atau lapisan penurunan, di sekitar persimpangan P-N. Zona netral adalah area bebas pembawa muatan bebas. Beberapa lubang dari wilayah tipe P dapat bergerak ke wilayah tipe N, berinteraksi dengan elektron-elektron yang ada di sana. Ini menghasilkan arus hole di sepanjang junction P-N. (Aulina, Darminto and Dian, no date)

Dalam kondisi bias mundur, atau bias balik, di mana terminal positif terletak pada tipe P dan terminal negatif terletak pada tipe N, medan listrik internal memperluas zona

netral. Ini mencegah lubang di wilayah tipe P dan elektron di wilayah tipe N bergerak, yang menghambat aliran arus.

4.6 Peran Penting Semikonduktor dalam Elektronika

Beberapa peran penting semikonduktor dalam elektronika adalah sebagai berikut: Semikonduktor memiliki sifat yang memungkinkan mereka berfungsi sebagai kontroler aliran listrik.

Tabel 4.1. Peran Semikonduktor Dalam Elektronika

Fungsi	Keterangan
Penguat Sinyal	Dalam banyak aplikasi elektronik, semikonduktor seperti transistor digunakan sebagai penguat sinyal. Mereka memiliki kemampuan untuk menguatkan sinyal listrik, yang memungkinkan mereka untuk mengontrol arus yang lebih besar.
Penyearah dan Pengalih Arah	Dioda, sejenis semikonduktor, dapat berfungsi sebagai penyearah dengan mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah. Selain itu, dioda juga dapat berfungsi sebagai pengalih arah, yang berarti arus dapat mengalir hanya dalam satu arah tertentu.
Pengendali Logika	Sirkuit logika dan perangkat digital berasal dari transistor dan gerbang logika semikonduktor lainnya. Dalam perangkat seperti komputer dan mikrokontroler, mereka memungkinkan operasi biner (0 dan 1).
Deteksi Sinyal	Dioda lainnya mendeteksi sinyal frekuensi radio atau gelombang mikro, sedangkan photodiode mendeteksi cahaya.
Sumber Cahaya	Light Emitting Diodes (LED) adalah semikonduktor yang menghasilkan cahaya

Fungsi	Keterangan
	sebagai hasil dari energi listrik. LED digunakan dalam layar, penerangan, dan indikator pada perangkat elektronik.
Sensor	Semikonduktor seperti thermistor, LDR (Resistor Bergantung Cahaya), dan sensor suhu lainnya mendeteksi perubahan suhu dan cahaya. Ini sangat penting untuk banyak aplikasi pengendalian dan otomatisasi.
Komponen Optoelektronik	Berbagai komponen optoelektronik seperti fotodioda, fototransistor, dan optokopler berasal dari semikonduktor. Komponen-komponen ini memberikan kemampuan untuk isolasi galvanis dan deteksi cahaya pada perangkat elektronik.
Sirkuit Terpadu	Semikondukt or memungkinkan pembuatan sirkuit terpadu (IC) yang menggabungkan ribuan atau jutaan transistor, dioda, dan komponen lainnya dalam satu chip kecil. Ini memungkinkan pembuatan perangkat yang lebih kecil, lebih efisien, dan lebih canggih

Sumber: (Ali, 2018)

Penggunaan semikonduktor dalam berbagai perangkat elektronik telah membawa revolusi digital, komputasi, perangkat mobile, dan teknologi modern lainnya, serta kemajuan besar dalam teknologi dan komunikasi. Selain itu, penggunaan semikonduktor dalam berbagai perangkat elektronik telah mendorong inovasi yang berkelanjutan dalam kehidupan sehari-hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Setiawan; Dodi Rusdiana, Ida Hamidah; Ida kaniawati, S.U. and Suhendi, S.F.E. 2007. *SEMIKONDUKTOR*.
- Ali, M. 2018. 'Aplikasi Elektronika Daya pada Sistem Tenaga Listrik', *UNY Pers*, pp. 248–253.
- Antarissubhi, Y.S. 2023. *Pengantar Teknik Elektro*.
- Aulina, F.E., Darminto, S. and Dian, M.S. (no date) 'Karakterisasi Sifat Elektronik dan Optik Pada Lapisan Tipis Tipe Intrinsik (tipe-I) Berbasis Silikon karbida Amord Terhidrogenerasi (a-SiC:H) dengan metode plasma enchaneced chemical vapor Deposition'.
- Fiqry, R., Ariswan, A., & Kuswanto, H. 2017. 'Struktur Kristal Dan Komposisi Kimia Semikonduktor Cd (Se0, 6Te0, 4) Hasil Preparasi Dengan Metode Bridgman. Spektra', *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 2(1), pp. 75–82.
- Indonesia, B. (no date) *Perbedaan Komponen Aktif dan Komponen Pasif Elektronika*. Available at: <https://www.builder.id/komponen-aktif-dan-komponen-pasif-elektronika/>.
- KEJURUAN, D.P.M. 2003. *Pemeliharaan Rangkaian Elektronik*.
- Naim, M. 2022. *Buku Ajar Teori Dasar Listrik dan Elektronika*. Penerbit NEM.
- Ramadhan, F. 2022. *Semikonduktor: Pengertian, Sifat, Kegunaan hingga Kelebihannya*. Available at: <https://www.ulvac.co.id/semikonduktor-pengertian-sifat-kegunaan-hingga-kelebihannya/>.
- Rizalul Fiqry, Ariswan, H.K. 2017. 'Struktur Kristal Dan Komposisi Kimia Semikonduktor Cd(Se0,6Te0,4) Hasil Preparasi Dengan Metode Bridgman', *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 2(1), pp. 75–82. Available at: <https://doi.org/10.21009/spektra.021.11>.
- SEDHA, R.S. 2022. *A Textbook of Applied Electronics (LPSPE)*. India: S CHAND & Company Limited.

- Setiyo. 2017. *Semikonduktor*. Available at: <https://id.wikipedia.org/wiki/Semikonduktor>.
- Setiyo, M., Burhanudin, A. and Prasetyo, A.A. 2017. *Listrik & Elektronika Dasar Otomotif: Basic Automotive Electricity & Electronics*. Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1141025>.
- Shavira, R.A., Wahyu, E. and Fathima, L. 2016. 'Karakteristik Dioda (E9)', *Jurnal Elektronika Dasar II*, pp. 1–5.
- Thahir, S. 2010. 'Penentuan Kuantitas Pembawa Muatan Bahan Semikonduktor dengan Metode Efek Hall', *Skripsi* [Preprint].
- Yelfianhar, I. (no date) 'SEMIKONDUKTOR'.
- Zikri, N., Indri, D. 2021. *Buku Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. GUEPEDIA.

BAB 5

SEMIKONDUKTOR DAN APLIKASINYA

Oleh Zainal Abidin

5.1 Pendahuluan

Dalam membicarakan hal teknologi saat ini, baik teknologi elektronika, kontrol, sistem tenaga listrik, teknologi energi terbarukan, teknologi telekomunikasi dan lain sebagainya, tidak terlepas dari material-material elektronika berbahan semikonduktor. Perkembangan semikonduktor mengalami kemajuan yang sangat pesat seiring dengan teknologi elektronika. Semikonduktor merupakan material zat padat yang memiliki nilai resistivitas antara 10^{-2} – $10^9 \Omega\text{cm}$. Terdapat dua jenis tipe semikonduktor yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik.

Semikonduktor intrinsik merupakan semikonduktor murni tanpa atom pengotor, sedangkan semikonduktor ekstrinsik merupakan semikonduktor yang telah diberi atom pengotor. Pemberian atom pengotor pada semikonduktor dapat menyebabkan munculnya dominasi muatan pembawa. Bila konsentrasi elektron lebih banyak dari konsentrasi hole maka akan terbentuk semikonduktor tipe-n demikian pula sebaliknya bila hole lebih banyak dari elektron maka akan terbentuk semikonduktor tipe-p.

5.2 Material Semikonduktor

Tidak mudah dalam mendefinisikan semikonduktor yang mencakup semua sifat fisis yang dimilikinya. Tetapi pada umumnya, semikonduktor didefinisikan berdasarkan konduktivitas listriknya, yakni semikonduktor merupakan bahan yang mempunyai resistivitas (10^{-4} hingga $0,5 \Omega\text{m}$) antara konduktor dan isolator, contohnya germanium, silikon, karbon, selenium, dan sebagainya. Perhatikan tabel 5.1 berikut :

Tabel 5.1. Contoh Klasifikasi Bahan

No	Bahan	Klasifikasi	Resistivitas
1	Tembaga	Konduktor yang baik	$1,7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$
2	Germanium	Semikonduktor	$0,6 \Omega\text{m}$
3	Kaca	Isolator	$9 \times 10^{11} \Omega\text{m}$
4	Nichrome	Bahan resistan	$10^{-4} \Omega\text{m}$

Membandingkan resistivitas bahan-bahan di atas nampak bahwa resistivitas germanium (semikonduktor) cukup tinggi dibandingkan tembaga (konduktor) tetapi cukup rendah dibandingkan kaca (isolator). Ini menunjukkan bahwa resistivitas semikonduktor terletak antara konduktor dan isolator. Tetapi akan salah bila dikatakan bahwa semikonduktor sebagai bahan resistan. Sebagai contoh nichrome yang merupakan satu bahan resistan tertinggi, memiliki resistivitas yang jauh lebih rendah dari pada germanium. Hal ini menunjukkan bahwa secara elektrik germanium tidak dapat dianggap sebagai konduktor atau isolator atau sebuah bahan resistan. Sangat mungkin untuk membuat campuran logam (alloy) yang resistivitasnya terletak dalam kisaran semikonduktor tetapi campuran tersebut tidak dapat dianggap sebagai semikonduktor. Pada prakteknya, semikonduktor memiliki sejumlah sifat khusus yang membedakannya dari konduktor, isolator dan bahan resistan.

Ditinjau dari sifat kelistrikannya, bahan padat dapat dikategorikan menjadi 3 bagian :

1. Bahan isolator yang memiliki harga resistivitas antara $10^{14} - 10^{22} \Omega \cdot \text{cm}$
2. Bahan semikonduktor yang memiliki harga resistivitas antara $10^{-2} - 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$
3. Bahan konduktor yang memiliki harga resistivitas $10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$

Ketiga jenis bahan tersebut banyak dimanfaatkan untuk bahan baku pembuatan komponen-komponen elektronik, misalnya bahan isolator banyak digunakan sebagai lapisan dielektrik pada kapasitor metal-oksid-semikonduktor, bahan semikonduktor digunakan sebagai lapisan aktif pada komponen-komponen elektronik maupun komponen optoelektronik sedangkan konduktor sering digunakan untuk pembuatan kontak pada komponen elektronik.

Fokus pembahasan kita pada modul ini adalah tentang bahan semikonduktor. Setiap bahan semikonduktor memiliki karakteristik fisis tertentu sehingga dalam aplikasinya harus merujuk pada karakteristik fisisnya tersebut sebagai contoh untuk aplikasi sensor sinar ultraviolet yang tingkat sensitifitasnya tinggi tentu kita harus memilih bahan yang memiliki energi gap yang cukup lebar seperti semikonduktor galium nitrida dengan energi gap sekitar 3,4 eV. Kita bisa juga menggunakan bahan silikon untuk aplikasi sensor ultraviolet namun material ini kurang sensitif dibandingkan bahan galium nitrida.

Pada awal perkembangannya bahan semikonduktor yang pertama kali dieksplorasi adalah Germanium, namun sampai saat ini bahan semikonduktor yang banyak diteliti untuk bahan baku pembuatan divais elektronik maupun optoelektronik adalah Silikon dengan pertimbangan bahan silikon cukup melimpah di alam ini dan harganya relatif murah. Selain silikon material lain

yang banyak dipelajari dan diteliti adalah material paduan dari golongan II-VI atau III-V dalam tabel periodik (gambar 2) baik *binary* (paduan 2 unsur) maupun *ternary* (paduan 3 unsur) seperti ZnO, GaN, AlN, InN, GaAs, GaSb, AlGaN, AlGaSb, GaNAs dan sebagainya dimana material-material paduan tersebut masing-masing memiliki ciri khas dan keunikan tersendiri baik dari sifat listrik maupun sifat optiknya yang aplikasinya dapat disesuaikan dengan karakteristik fisiknya masing-masing.

	IIIA	IVA	VA	VIA
	5 10.811 B Boron	6 12.01115 C Carbon	7 14.0067 N Nitrogen	8 15.9994 O Oxygen
	13 26.9815 Al Aluminum	14 28.086 Si Silicon	15 30.9738 P Phosphorus	16 32.064 S Sulfur
IIIB	30 65.37 Zn Zinc	31 69.72 Ga Gallium	32 72.59 Ge Germanium	33 74.922 As Arsenic
	48 112.40 Cd Cadmium	49 114.82 In Indium	50 118.69 Sn Tin	51 121.75 Sb Antimony
	80 200.59 Hg Mercury	81 204.37 Tl Thallium	82 207.19 Pb Lead	83 208.980 Bi Bismuth
				84 (210) Po Polonium

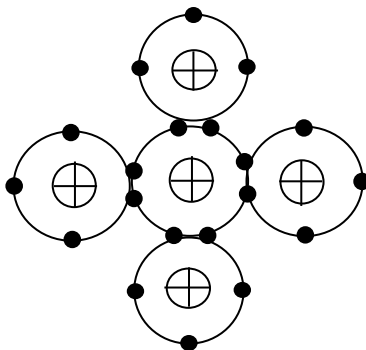
Gambar 5.1. Material Bahan Semikonduktor

5.3 Prinsip Semikonduktor

5.3.1 Ikatan dalam Semikonduktor

Atom-atom setiap unsur terikat bersama oleh aksi pengikatan dari elektron-elektron valensi. Ikatan tersebut terkait dengan kenyataan bahwa adanya kecenderungan setiap atom untuk melengkapi orbit terakhirnya dengan memerlukan 8

elektron. Tetapi banyak bahan yang orbit terakhirnya tidak lengkap yakni bahwa orbit terakhirnya tidak memiliki 8 elektron. Hal ini membuat atom-atom aktif masuk ke dalam persetujuan dengan atom lain untuk mencukupi 8 elektron dalam orbit terakhirnya. Untuk itu, atomatom dapat kehilangan, ketambahan, atau menggunakan bersama elektron valensinya dengan atom lain. Dalam semikonduktor, ikatan terbentuk dengan penggunaan bersama elektron-elektron valensi. Ikatan itu disebut sebagai ikatan kovalen. Dalam formasi ikatan kovalen, setiap atom menyumbangkan jumlah yang sama elektron valensi dan sumbuangan elektron itu digunakan bersama oleh atom-atom yang mengajak formasi itu dalam ikatan kovalen. Gambar berikut menunjukkan ikatan kovalen antar atom-atom germanium. Sebuah atom germanium mempunyai 4 elektron valensi. Hal ini cenderung setiap atom germanium memiliki 8 elektron pada orbit terakhirnya.



Gambar 5.2. Elektron pada atom Germanium

Posisi setiap atom germanium sendiri terletak antara empat atom germanium yang lain. Setiap atom tetangga menggunakan bersama satu elektron valensi terhadap atom pusatnya. Dalam urusan kerja sama ini, atom pusat melengkapi orbit terakhirnya

dengan 8 elektron mengitari intinya. Dalam cara demikian, atom pusat membangun ikatan kovalen.

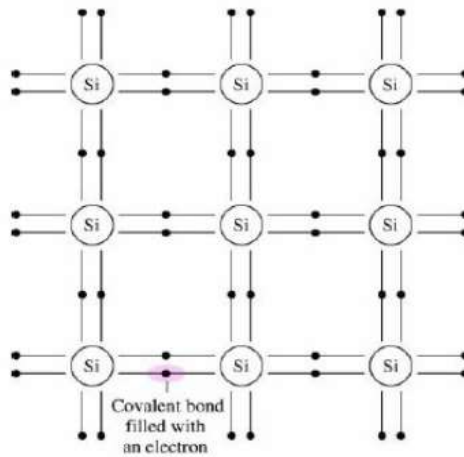
Hal-hal pokok berikut berkaitan dengan ikatan kovalen :

1. Ikatan kovalen dibangun dengan penggunaan bersama dari elektron-elektron valensi.
2. Dalam formasi ikatan kovalen, setiap elektron valensi dari suatu atom membentuk ikatan langsung dengan elektron valensi atom terdekat. Dengan kata lain, elektron valensi terkait dengan atom-atom tertentu. Untuk alasan ini, elektron-elektron valensi dalam semikonduktor tidak bebas.

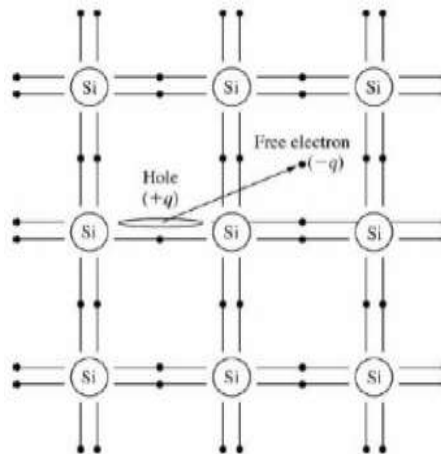
Suatu bahan di mana atom-atom atau molekul-molekulnya tersusun dalam pola secara teratur dikenal sebagai kristal. Semua semikonduktor mempunyai struktur sebagai kristal. Oleh karenanya sepotong germanium pada umumnya disebut kristal germanium.

5.3.2 Model Ikatan atom pada bahan Semikonduktor

Kristal semikonduktor tersusun dari komponen atom yang berdekatan dan saling terikat satu dengan yang lain membentuk ikatan kristal yang disebut kovalen. Ilustrasi model terbentuknya ikatan kristal pada bahan Silikon dapat dilihat pada gambar 3a. Silikon pada kondisi temperatur 0 Kelvin , untuk kasus ini setiap atom Silikon menyumbangkan satu elektron untuk tiap pasangan ikatan kovalen. Apabila kristal semikonduktor tersebut diberi energi termal dengan kata lain temperaturnya dinaikan, maka penambahan energi termal tersebut dapat menyebabkan putusnya ikatan kovalen, hal ini dapat membangkitkan pasangan elektron-hole dimana elektron tersebut dapat bebas dari keadaan valensi ke keadaan konduksi sedangkan kekosongan yang ditinggalkan elektron akan menjadi hole seperti nampak pada gambar 3b.



(a)



(b)

Gambar 5.3. Ikatan kovalen atom silikon pada kondisi (a) temperatur nol Kelvin, (b) pada temperatur di atas nol Kelvin

5.4 Jenis-Jenis Semikonduktor

Tersedia banyak semikonduktor, tetapi sangat sedikit yang digunakan dalam aplikasi praktis pada elektronika. Ada dua bahan yang paling sering digunakan yaitu germanium (*Ge*) dan silikon (*Si*). Sebab energi yang digunakan untuk mematahkan ikatan kovalennya (energi yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari pita valensinya) sangat kecil, yaitu $0,7\text{ eV}$ untuk germanium dan $1,1\text{ eV}$ untuk silikon. Karena itu hanya dua jenis semikonduktor tadi yang banyak dibahas secara mendalam.

1. Germanium.

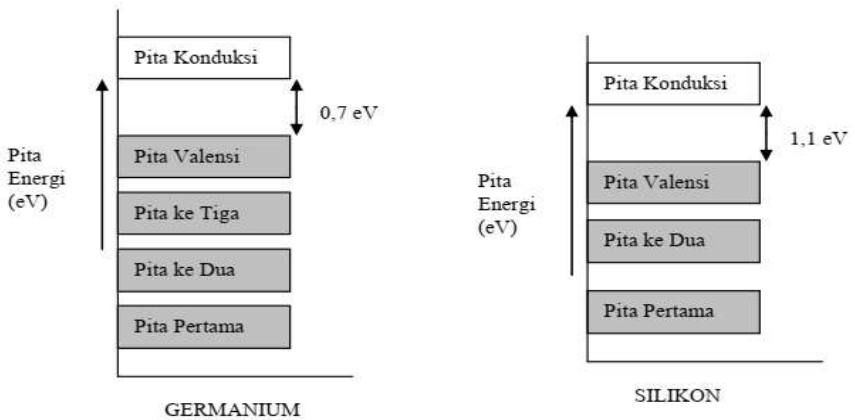
Germanium menjadi model bahan di antara banyak semikonduktor. Alasan utamanya adalah dapat dimurnikan dengan relatif baik dan mudah dikristalkan. Germanium merupakan unsur tanah yang ditemukan pada tahun 1886. Germanium diperoleh dari abu batu bara khusus atau dari pipa asap debu peleburan seng (*zinc*).

Pada umumnya perolehan germanium dalam bentuk serbuk germanium dioksida yang kemudian dibuat germanium murni. Nomor atom germanium adalah 32, karenanya ia memiliki 32 proton dan 32 elektron. Dua elektron pada orbit pertama, 8 elektron pada orbit ke dua, 16 elektron pada orbit ke tiga, dan 4 elektron pada orbit valensi atau terluar. Jelas bahwa atom germanium memiliki 4 elektron valensi, atau dikenal pula sebagai unsur tetravalen. Ketika atom-atom germanium tersusun dalam pola teratur dan berulang, maka germanium berstruktur sebagai kristal.

b. Silikon

Silikon merupakan unsur utama dalam batuan pada umumnya. Sebenarnya, pasir merupakan silikon dioksida. Bahan campuran silikon (*silicon compound*) secara kimia direduksi menjadi silikon yang 100% murni untuk digunakan sebagai bahan semikonduktor. Nomor atom silikon adalah 14,

karenannya ia memiliki 14 proton dan 14 elektron. Dua elektron pada orbit pertama, 8 elektron pada orbit ke dua, dan 4 elektron pada orbit ketiga yakni yang terluar. Jelas bahwa atom silikon memiliki 4 elektron valensi, dan karenanya silikon termasuk unsur *tetravalen*. Atom-atom silikon juga tersusun dalam pola yang teratur sehingga silikon memiliki struktur kristal.



Gambar 5.4. Pita Energi pada Semikonduktor

Seperti telah dijelaskan bahwa semikonduktor merupakan bahan yang memiliki resistivitas terletak antara konduktor dan isolator. Resistivitasnya pada orde 10^{-4} hingga $0,5 \Omega\text{meter}$. Tetapi semikonduktor dapat didefinisikan lebih komprehensif berdasarkan konsep pita energi bahwa semikonduktor merupakan bahan yang pita valensinya hampir penuh dan pita konduksinya hampir kosong dengan celah energi sangat kecil (sekitar 1 eV) memisahkan keduanya. Deskripsi pita energi sangat membantu dalam memahami aliran arus yang melalui semikonduktor. Gambar berikut menunjukkan diagram pita energi dari silikon dan germanium. Tampak bahwa celah energi terlarangnya sangat kecil,

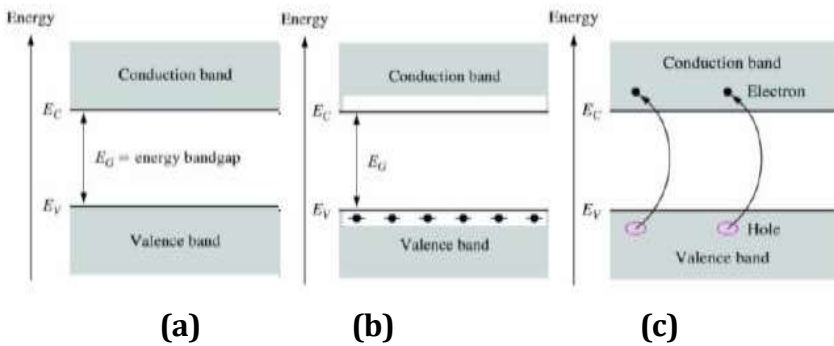
yakni 1,1 eV untuk silikon dan 0,7 eV untuk germanium. Karena itu secara relatif diperlukan energi kecil oleh elektron valensi untuk menyeberang ke pita konduksi.

Kejadian pada suhu kamar, beberapa elektron valensi dapat memperoleh energi yang cukup untuk memasuki pita konduksi dan kemudian menjadi elektron bebas. Tetapi pada suhu tersebut jumlah elektron bebas yang tersedia sangat sedikit (dalam 10^{10} atom semikonduktor hanya satu atom yang menyediakan elektron bebas). Oleh karena itu, pada suhu kamar, sepotong germanium atau silikon bukan sebagai konduktor yang baik atau bukan pula sebagai isolator. Untuk alasan ini, bahan yang demikian disebut sebagai semikonduktor.

Model Pita Energi Semikonduktor

Pada tiap atom penyusun kristal semikonduktor memiliki sejumlah elektron valensi pada kulit terluarnya yang menempati keadaan valensi (gambar 4b), keadaan elektron valensi ini memiliki tingkat energi yang besarnya EV. Elektron valensi ini berkontribusi pada pembentukan ikatan kovalen antara atom-atom penyusun kristal semikonduktor. Sedangkan keadaan dimana elektron sudah terbebas dari ikatan kovalen disebut keadaan konduksi dengan tingkat Energi EC (gambar 5a). Apabila kristal semikonduktor tersebut temperaturnya dinaikan maka akan ada penambahan energi termal yang menyebabkan terputusnya ikatan kovalen yang terbentuk. Pemutusan ikatan kovalen ini akan menghasilkan elektron bebas yang sudah dalam keadaan konduksi dengan tingkat energi EC. Pada gambar 5c diilustrasikan keadaan elektron konduksi dimana setelah terjadinya pemutusan ikatan kovalen, elektron valensi pada tingkat energi EV akan berpindah ke keadaan konduksi dengan tingkat Energi EC. Selisih antara tingkat energi konduksi dengan tingkat energi valensi ini dinamakan energi celah pita (*energy gap*) dimana energi gap tersebut merupakan energi

minimal yang dibutuhkan untuk memutuskan ikatan kovalen pada kristal semikonduktor.



Gambar 5.5. Model Pita energi bahan Semikonduktor

Besaran energi gap dari beberapa bahan semikonduktor dapat dilihat pada tabel 5.2 berikut:

Tabel 5.2. Energi Gap Bahan Semikonduktor

Bahan Semikonduktor	Energy Gap (eV)	Bahan Semikonduktor	Energy Gap (eV)
Carbon (diamond)	5,47	Gallium Nitride	3,49
Silicon	1,12	Indium phosphide	1,35
Germanium	0,66	Boron Nitride	7,50
Tin	0.082	Silicon carbide	3.26
Gallium Arsenide	1.42	Cadmium selenide	1,70

Tipe Semikonduktor

Bahan semikonduktor dapat dibedakan dari jenis muatan pembawanya, yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik. Semikonduktor intrinsik merupakan semikonduktor murni yang belum diberikan atom pengotor (impuritas). Apabila semikonduktor intrinsik ini dipanaskan maka akan terbentuk pasangan elektron-hole dimana elektron bermuatan negative dan

hole dapat dianggap sebagai muatan positif. Konsentrasi elektron pada semikonduktor intrinsik sama dengan konsentrasi hole-nya yang dirumuskan :

$$n_i^2 = B \cdot T^3 \exp\left(-\frac{EG}{kT}\right)$$

Dimana :

EG = Energi celah pita

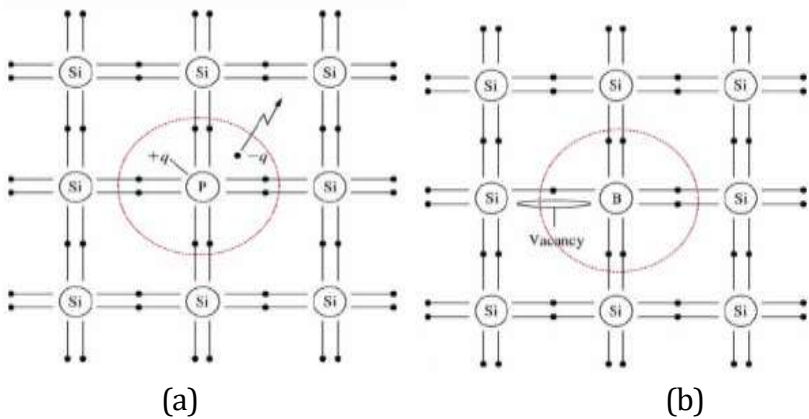
B = Konstanta Bahan (untuk Si B=1,08x 10³¹ K⁻³ cm⁻⁶)

T = Temperatur (K)

K= konstanta Boltzmann 8,62 x 10⁻⁵ eV/K

n_i ~ 10¹⁰ cm⁻³ untuk silikon pada temperatur kamar

Sedangkan pada semikonduktor ekstrinsik konsentrasi elektron dan konsentrasi hole-nya tidak sama hal ini disebabkan oleh adanya penambahan muatan pembawa akibat adanya atom pengotor. Sebagai contoh pemberian atom pengotor fosfor yang memiliki elektron valensi 5 pada semikonduktor silikon yang bervalensi 4 akan menyebabkan adanya satu elektron yang tidak terpasangkan untuk membentuk ikatan kovalen akibatnya elektron ekstra ini dapat menyumbangkan pada konsentrasi elektron keseluruhan. Semikonduktor jenis ini dinamakan semikonduktor tipe-n (negatif) karena didominasi oleh muatan pembawa elektron (gambar 5.6a)



Gambar 5.6. (a) Kristal silikon yang telah diberi pengotor Fosfor, (b) Kristal Silikon yang diberi pengotor Boron

Apabila kristal Silikon diberi atom pengotor Boron yang memiliki elektron valensi 3 maka akan terbentuk ikatan kovalen yang tidak sempurna karena terdapat satu kekosongan (hole) yang tidak terisi elektron. Sehingga dengan demikian muatan pembawa pada kristal silikon yang telah diberi pengotor Boron akan didominasi oleh muatan positif (hole) sehingga kristal silikon akan bertipe-p (positif) (gambar 5.6b).

Tipe arus listrik pada Semikonduktor

Keberadaan elektron dan hole pada semikonduktor akan mempengaruhi karakteristik listrik pada bahan tersebut. Ada dua jenis arus listrik yang terjadi pada semikonduktor yaitu arus hanyut (*drift*) dan arus difusi.

1. Arus hanyut (Drift)

Ketika semikonduktor diberi medan listrik E , maka partikel-partikel bermuatan dalam semikonduktor tersebut akan bergerak (hanyut) dengan laju yang berbanding lurus dengan medan listriknya.

$$V_n = -\mu_n \cdot E$$

$$V_p = \mu_p \cdot E$$

Dimana :

V_n dan V_p adalah laju dari elektron dan hole (cm/s)

μ_n dan μ_p adalah mobilitas dari elektron dan hole (cm²/Vs).

Rapat arus drift untuk elektron adalah :

$$J_n = qn \cdot \mu_n \cdot E \text{ (A/cm}^2\text{)}$$

Rapat arus drift untuk hole adalah :

$$J_p = qp \cdot \mu_p \cdot E \text{ (A/cm}^2\text{)}$$

Sehingga rapat arus total drift pada semikonduktor adalah penjumlahan dari rapat arus drift elektron dengan rapat arus drift hole :

$$J_T = J_n + J_p = q(n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p) E = \sigma E$$

$$\sigma = q(n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p) \text{ (1/}\Omega\cdot\text{cm)}$$

Konduktivitas muatan pembawa pada semikonduktor:

Dan resistivitasnya $\rho = 1/\sigma \text{ } (\Omega\cdot\text{cm})$

2. Arus Difusi

Arus difusi terjadi akibat adanya perbedaan konsentrasi muatan pembawa. Arus difusi akan mengalir dari daerah yang berkonsentrasi tinggi ke daerah yang memiliki konsentrasi rendah. Arus difusi akan sebanding dengan gradien konsentrasi yang dirumuskan : Arus Difusi Arus difusi terjadi akibat adanya perbedaan konsentrasi muatan pembawa. Arus difusi akan mengalir dari daerah yang berkonsentrasi tinggi ke daerah yang memiliki konsentrasi rendah. Arus difusi akan sebanding dengan gradien konsentrasi yang dirumuskan :

Arus difusi untuk hole :

$$J_p^{diff} = (+q)D_p \left[-\frac{dp}{dx} \right] = -qD_p \frac{dp}{dx} \left(\frac{A}{cm^2} \right)$$

Arus difusi untuk elektron :

$$J_n^{diff} = (+q)D_n \left[-\frac{dn}{dx} \right] = +qD_n \frac{dn}{dx} \text{ (A/cm}^2\text{)}$$

Rapat arus total dalam semikonduktor adalah penjumlahan dari arus drift dengan arusdifusi yang dirumuskan :

Rapat arus total untuk elektron :

$$j_n^T = q\mu_n nE + qD_n \cdot \frac{dn}{dx}$$

Rapat arus total untuk hole :

$$j_p^T = q\mu_p pE - qD_p \cdot \frac{dp}{dx}$$

Konstanta D_p dan D_n adalah konstanta difusivitas dari hole dan elektron.

5.6 Jenis dan Aplikasi Semikonduktor

Semikonduktor intrinsik yang telah terdoping disebut semikonduktor ekstrinsik. Semikonduktor ekstrinsik dapat dibedakan berdasarkan golongan atom doping.

Semikonduktor merupakan bahan yang memiliki konduktivitas atau penghantaran listrik diantara isolator (menghambat listrik) dan konduktor(mengalirkan listrik). Semikonduktor digunakan dalam peralatan elektronik. Seperti digunakan pada dioda, microchips ataupun IC(Integrated Circuit) yang bahan penyusun semikonduktor dapat diperoleh dari atom dengan Elektron Valensi bernilai 4 seperti Silikon (Si), Karbon(Ca) dan Germanium (Ge).

Yang kemudian Semikonduktor terbagi menjadi dua jenis yaitu Semikonduktor Intrinsik dan Semikonduktor Ekstrinsik yang kemudian pada Semikonduktor Ekstrinsik terbagi lagi menjadi Semikonduktor Tipe P dan Semikonduktor Tipe N.

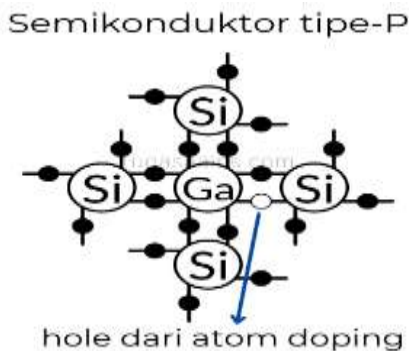
Semikonduktor Ekstrinsik merupakan semikonduktor yang telah di beri bahan pengotor atau doping sehingga terbentuk sifat Semikonduktor Tipe P dan Semikonduktor Tipe N.

5.6.1 Semikonduktor tipe P

Semikonduktor tipe P merupakan semikonduktor dengan jumlah elektron yang sangat sedikit. Bahan pembuatan semikonduktor tipe P adalah campuran atom germanium dan atom indium atau atom-atom lain yang memiliki 3 elektron valensi, seperti boron, aluminium, galium. Semikonduktor tipe P bermuatan positif karena indium memiliki lebih sedikit elektron dibandingkan dengan germanium.

Semikonduktor Tipe P adalah semikonduktor ekstrinsik dengan sifat positif karena semikonduktor tipe terdapat hole/lubang yang lebih banyak dibandingkan dengan jumlah elektron pada semikonduktor.

Bagaimana Semikonduktor Tipe P terbentuk? Semikonduktor tipe p terbentuk dari semikonduktor ekstrinsik yang telah di beri bahan pengotor atau doping atom yang berasal dari golongan 3 seperti Boron(B), Galium (Ga) dan Aluminium(Al).



Gambar 5.7. Semikonduktor Tipe P

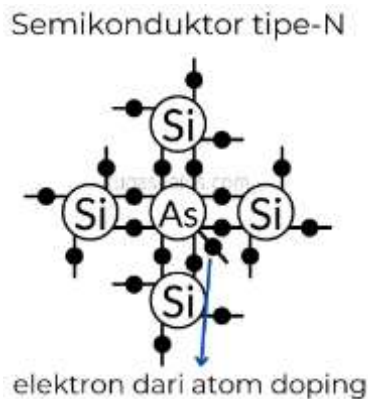
Atom yang mengotori semikonduktor atau doping pada semikonduktor tipe p disebut dengan *atom akseptor*. Dimana dari

atom pengotor yang berasal dari golongan 3 terdapat hole yang dibawa oleh doping atau pengotor tersebut.

5.6.2 Semikonduktor tipe N

Semikonduktor tipe N merupakan semikonduktor dengan jumlah elektron yang sangat banyak. Bahan pembuatan semikonduktor tipe N adalah campuran atom germanium dan atom arsen atau atom-atom lain yang memiliki 5 elektron valensi, contohnya : fosfor, arsen, antimoni. Semikonduktor tipe N bermuatan negatif karena arsenikum memiliki lebih banyak elektron dibandingkan dengan germanium.

Pada Semikonduktor Tipe N adalah semikonduktor ekstrinsik dengan sifat negatif karena pada semikonduktor terdapat jumlah elektron yang lebih banyak dibandingkan dengan jumlah hole yang terdapat pada semikonduktor. Untuk dapat membentuk Semikonduktor Tipe N diperoleh dari semikonduktor ekstrinsik yang telah diberi pengotor atau doping yang berasal dari atom yang berasal dari golongan 5 seperti Fosfor(P), Arsen(As) dan Antimon(Sb).



Gambar 5.8. Semikonduktor Jenis N

Dari atom golongan 5 yang mengotori semikonduktor menyebabkan jumlah elektron lebih banyak dibandingkan dengan hole pada semikonduktor sehingga semikonduktor dikatakan memiliki sifat negatif. Atom pengotor pada semikonduktor tipe n disebut dengan *atom donor* karena mendonorkan elektron ke semikonduktor.

5.7 Komponen Elektronika Semikonduktor

1. Dioda

Dioda adalah komponen elektronika aktif yang terbuat dari bahan semikonduktor dan mempunyai fungsi untuk menghantarkan arus listrik ke satu arah tetapi menghambat arus listrik dari arah sebaliknya. Jenis dioda antara lain Dioda Rectifier, Dioda zener, Dioda schottky, dan LED (Light emitting diode).



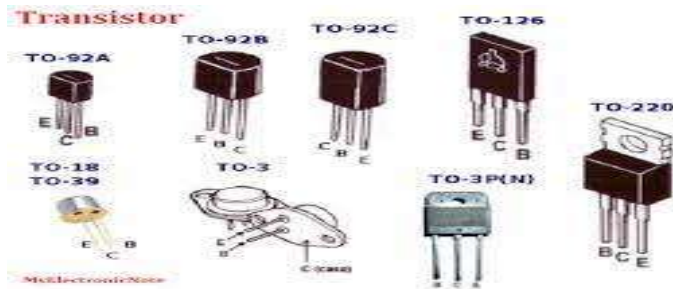
Gambar 5.9. Aneka Macam Jenis Diode

2. Transistor

Komponen ini ditemukan pertama kali tahun 1947 oleh Bell Laboratory. Berterima kasihlah kepada tiga orang ilmuwan hebat yaitu William Shockley, John Bardeen and Walter Brattain. Transistor menggantikan tabung vakum yang

memiliki ukuran besar dan rugi daya yang besar. Sehingga kita bisa memegang smartphone dengan satu tangan saja.

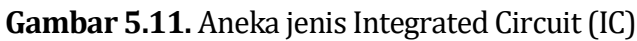
Transistor dapat berfungsi sebagai saklar maupun sebagai penguat. Transistor dikelompokkan menjadi dua yaitu BJT (*Bipolar Junction Transistor*) dan FET (*Field Effect Transistor*). Transistor BJT terdiri dari transistor PNP dan Transistor NPN. Transistor FET terdiri dari UJT, IGBT dan MOSFET.



Gambar 5.10. Aneka jenis Transistor

3. Integrated Circuit (IC)

IC atau sirkuit terpadu adalah komponen yang di dalamnya terdapat komponen dasar yang lebih kecil seperti Transistor dan Dioda. Komponen tersebut saling dirangkai membentuk sebuah sirkuit terpadu lalu dikemas dalam bentuk chip, sehingga kemasannya menjadi lebih kecil. Jenis IC beragam antara lain IC Op - Amp (Operational Amplifier), IC driver, IC logika, IC komparator dan lain-lain.



Processor memiliki skala yang jauh lebih besar. Jika IC biasa hanya terdiri dari puluhan hingga ratusan transistor, maka processor bisa jutaan hingga miliaran transistor di dalamnya. Processor memanfaatkan transistor berukuran nano yang dirangkai menggunakan teknologi tinggi. Sebagai contoh, Processor Intel Core i9 yang memiliki 7 miliar transistor di dalamnya.



5.8 Kelebihan Semikonduktor

1. Karena perangkat semikonduktor tidak memiliki filamen, maka tidak diperlukan daya untuk memanaskannya yang menyebabkan emisi elektron.
2. Transistor tidak memiliki filamen sehingga tidak memerlukan daya untuk menghasilkan emisi elektron.
3. Karena tidak diperlukan pemanasan, perangkat semikonduktor akan segera beroperasi setelah sirkuit dihidupkan.
4. Semikonduktor tidak memiliki komponen mekanis sehingga tidak menghasilkan dengung atau suara saat digunakan.
5. Semikonduktor memiliki tegangan operasional yang rendah dibandingkan tabung vakum.
6. Karena ukurannya yang kecil, rangkaian yang melibatkan perangkat semikonduktor sangat kompak.
7. Perangkat semikonduktor tahan guncangan.
8. Semikonduktor harganya lebih murah
9. Masa pakai bahan semikonduktor hampir tidak terbatas.

5.9 Kekurangan Semikonduktor

1. Perangkat semikonduktor menghasilkan noise gelombang yang lebih tinggi dibandingkan dengan di tabung vakum.
2. Semikonduktor memiliki kemampuan daya yang lebih rendah.
3. Dalam rentang frekuensi tinggi, transistor memiliki respon yang buruk.

5.10 Kegunaan praktis Semikonduktor

1. Detektor kristal

Semikonduktor dalam bentuk kristal digunakan untuk pembuatan detektor kristal. Pembuatan detektor kristal mulai dilakukan sejak awal abad ke-20 Masehi sebagai

penghubung kawat penghantar yang menerima sinyal radio. Bentuk kawat menyerupai kumis. Bahan semikonduktor yang digunakan yaitu kristal germanium. Keberadaan sinyal radio diketahui melalui efek simpang dari kontak antara kristal dan kawat. Penguatan dan pelemahan dari kuat arus listrik dibatasi oleh elemen padat dan senyawa yang telah mengalami rekayasa secara khusus. Arus listrik yang mengalir terbagi menjadi dua jenis, yaitu elektron bermuatan negatif dan elektron yang kekurangan muatan positif. Elektron yang bermuatan negatif disebut sebagai arus muatan sedangkan yang kekurangan muatan positif disebut sebagai arus lubang. Teori fisika kuantum digunakan untuk memahami prinsip arus muatan dan arus lubang ini.

2. Sel surya

Sel surya memanfaatkan semikonduktor yang terdiri dari komponen dioda dengan sambungan P-N. Kegunaan utama dari sel surya adalah menghasilkan efek fotovoltaiik yang mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Sel surya digunakan pada pembangkit listrik tenaga surya dalam skala kecil pada daerah terpencil yang tidak memiliki akses listrik. Selain itu, satelit juga menggunakan sel surya sebagai penghasil energi listrik.

3. Pengukuran intensitas cahaya

Elemen fotolistrik pada bahan semikonduktor digunakan untuk menggantikan peran sel foto. Sel foto digunakan untuk mengukur intensitas cahaya. Peran sel foto yang digantikan oleh semikonduktor ialah ionisasi melalui tumbukan elektron-elektron pada cermin logam.

4. Sensor suhu penjejuk

Sensor suhu pada penjejuk udara umumnya bekerja menggunakan termistor yang memiliki nilai koefisien suhu negatif. Prinsip kerja dari sensor suhu pendingin berbeda

dengan sensor suhu pemanas. Pada sensor suhu penyejuk udara, peningkatan suhu ruangan akan membuat nilai hambatan listrik berkurang.

5. Mesin mobil

Beberapa mesin mobil telah menggunakan prinsip kerja dan bahan semikonduktor untuk melakukan kerja secara mekanika. Pada mobil, bahan semikonduktor dimanfaatkan pada sistem kendali, sistem suspensi, kantung udara, dan rangkaian listrik pengaman. Sistem kerja mobil yang sepenuhnya memanfaatkan bahan konduktor ialah sistem manajemen mesin, sistem rem antiterkunci, sistem transmisi, sistem instrumentasi kelistrikan, modul kendali kelistrikan pada bodi mobil dan kantung udara dengan sistem pengaman tambahan.

6. Elektronika daya

Pada elektronika daya, peralatan semikonduktor utamanya berfungsi sebagai saklar elektronik. Proses pensaklaran menjadi salah satu proses yang utama pada rangkaian elektronika daya. Rangkaian elektronika daya mengadakan pensaklaran dengan kecepatan tinggi. Pengaturan kecepatan didasarkan kepada melalui rangkaian pembangkit pulsa sesuai dengan kebutuhan. ^[13] Pada rangkaian elektronika daya, peralatan semikonduktor juga berfungsi untuk mengubah jenis sumber energi. Jenis pengubahan yang paling umum dilakukan adalah pengubahan bentuk dari gelombang listrik. Tujuan pengubahannya adalah untuk penyesuaian antara kebutuhan sumber energi bagi peralatan listrik dengan sumber listrik yang tersedia. Jenis perubahan ini meliputi perubahan dari arus bolak-balik menjadi arus bolak-balik atau menjadi arus searah, maupun arus searah menjadi arus searah atau menjadi arus bolak-balik. Besaran listrik yang diubah bentuk gelombangnya dapat dipilih antara arus listrik ataupun pada tegangan listrik. Fungsi lain dari peralatan semikonduktor

pada elektronika daya adalah pengendalian terhadap aplikasi elektronika industri sesuai dengan keinginan. Pengaturan dilakukan terhadap besaran listrik seperti arus listrik, tegangan listrik dan daya listrik. Tujuan pengaturan ini ialah memberikan pengaruh terhadap sistem kerja yang ada pada industri. Pemakaian yang umum di industri antara lain untuk pengaturan kecepatan putaran, pengaturan tekanan, pengaturan suhu, dan pengaturan kecepatan gerakan.

Latihan Soal :

1. Apakah yang dimaksud dengan bahan semikonduktor ?
2. Berikan penjelasan tentang perbedaan semikonduktor jenis P dan Jenis N?
3. Jelaskan klasifikasi material bahan padat ditinjau dari sifat kelistrikannya ?
4. Bagaimana prinsip ikatan dalam semikonduktor ?
5. Berikan contoh alat-alat elektronika yang termasuk semikonduktor! Jelaskan !
6. Dalam bidang apa saja aplikasi pemanfaatan semikonduktor ?

DAFTAR PUSTAKA

- D. Agus Setiawan, Dadi Rusdiana, Ida Hamidah, "Semikonduktor," Bandung, 2007.
- Abdullah, Mikrajuddin. 2017. Fisika Dasar II (PDF). Bandung: Institut Teknologi Bandung.*
- Ali, Muhammad. 2018. Aplikasi Elektronika Daya pada Sistem Tenaga Listrik (PDF). Yogyakarta: UNY Press. ISBN 978-602-5566-79-0.*
- Gertshen, C., Kneser, H.O., dan Vogel, H. (1996). Fisika: Listrik Magnet dan Optik (PDF). Jakarta: Pusat Pembinaan dan Pengembangan Bahasa. ISBN 979-459-693-0.*
- Ponto, Hantje (2018). Dasar Teknik Listrik (PDF). Sleman: Deepublish. ISBN 978-623-7022-93-0.*
- Setiyo, Muji. 2017. Listrik & Elektronika Dasar Otomotif (PDF). Magelang: Unimma Press. ISBN 978-602-51079-0-0.*
- <https://www.tugassains.com/2021/09/semikonduktor-tipe-p-dan-tipe-n.html> diakses tanggal 20 Agustus 2023 jam 12.41
- <https://p2k.stekom.ac.id/ensiklopedia/Semikonduktor> diakses pada tanggal 2 Agustus 2023 jam 11.11

BAB 6

DIODA

Oleh Unan Yusmaniar Oktiawati

6.1 Pendahuluan

Dioda adalah salah satu komponen elektronika dasar yang memiliki peran penting dalam berbagai aplikasi. Dioda merupakan suatu perangkat semikonduktor yang terdiri dari dua elektroda atau terminal, yaitu anoda dan katoda. Dalam kondisi normal, dioda hanya memungkinkan aliran arus listrik dalam satu arah tertentu, sedangkan arus pada arah sebaliknya akan dihambat atau tidak diizinkan untuk mengalir.

Dioda p-n adalah jenis dioda paling umum yang terdiri dari dua lapisan semikonduktor yang berbeda, yaitu lapisan tipe p yang memiliki elektron berlebih dan lapisan tipe n yang memiliki lubang elektron (*hole*) berlebih.

Ketika dioda tersebut diberikan tegangan positif pada terminal anoda dan tegangan negatif pada terminal katoda, dioda akan berada dalam keadaan *forward bias*, sehingga arus dapat mengalir melalui dioda. Namun, ketika tegangan diberikan sebaliknya yaitu saat positif pada katoda dan negatif pada anoda, dioda akan berada dalam keadaan *reverse bias* dan arus tidak akan mengalir.

Dioda memiliki beberapa karakteristik penting, seperti tegangan jenuh forward (*forward voltage drop*), arus jenuh forward (*forward current rating*), kebocoran reverse (*reverse leakage current*), dan waktu pemulihan (*recovery time*). Karakteristik-karakteristik ini sangat penting dalam pemilihan dan penggunaan dioda dalam rangkaian elektronika.

Dalam aplikasinya, dioda memiliki banyak kegunaan. Beberapa di antaranya termasuk sebagai penyearah (*rectifier*) untuk mengubah arus listrik AC menjadi DC, detektor sinyal dalam penerima radio, komponen pelindung untuk mencegah arus balik (*reverse current*) atau tegangan berlebihan, stabilisator tegangan, dan banyak lagi. Dioda juga digunakan dalam berbagai rangkaian logika digital dan sirkuit terpadu.

Pemahaman tentang dioda sangat penting dalam studi elektronika dan desain rangkaian. Dengan memahami karakteristik dan fungsi dioda, dioda dapat digunakan dengan benar dan efektif dalam berbagai aplikasi elektronika.

6.2 Struktur dasar Dioda

Dioda adalah sebuah komponen elektronika yang terdiri dari dua elektroda atau terminal yang disebut sebagai anoda dan katoda. Struktur dioda lah yang menjadi penyebab cara kerja dioda sehingga dapat menghantarkan arus listrik hanya pada satu arah tertentu, sedangkan arus pada arah sebaliknya akan dihambat atau tidak diizinkan untuk mengalir.

6.2.1 Bahan semikonduktor pembentuk dioda

Bahan semikonduktor yang umum digunakan dalam pembuatan dioda adalah sebagai berikut:

Silikon (Silicon): Silikon adalah bahan semikonduktor yang paling umum digunakan dalam dioda. Bahan ini memiliki sifat semikonduktor yang baik dan dapat diolah dengan mudah dalam proses manufaktur. Dioda silikon memiliki karakteristik yang stabil dan dapat bekerja pada suhu yang luas.

Germanium: Germanium adalah bahan semikonduktor lain yang digunakan dalam pembuatan dioda. Dioda germanium memiliki tegangan jenuh forward yang lebih rendah daripada dioda silikon. Namun, germanium memiliki suhu kerja yang lebih terbatas dan lebih rentan terhadap perubahan suhu.

Gallium Arsenida (*Gallium Arsenide*): Gallium arsenida adalah bahan semikonduktor yang sering digunakan dalam dioda untuk aplikasi yang memerlukan kinerja tinggi pada frekuensi tinggi, seperti dioda detektor gelombang mikro dan dioda laser.

Selain itu, ada juga bahan semikonduktor lain yang digunakan dalam dioda untuk tujuan khusus, seperti dioda LED (*Light Emitting Diode*) yang menggunakan bahan semikonduktor seperti galium nitrida (*Gallium Nitride*) atau indium gallium nitrida (*Indium Gallium Nitride*) untuk menghasilkan cahaya.

Pemilihan bahan semikonduktor dalam pembuatan dioda didasarkan pada karakteristik yang diinginkan, seperti tegangan jenuh forward, suhu kerja, kehandalan, dan kebutuhan khusus aplikasi. Setiap bahan semikonduktor memiliki karakteristik yang unik dan dapat mempengaruhi kinerja dan aplikasi dari dioda yang dihasilkan.

Struktur dasar dioda p-n (dioda semikonduktor) terdiri dari dua lapisan semikonduktor yang berbeda, yaitu lapisan tipe p dan lapisan tipe n. Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang struktur dasar dioda :

Lapisan p: Lapisan p di dioda terbuat dari bahan semikonduktor yang dicampur dengan atom akseptor atau dopan berjenis p. Dopan p menambahkan kelebihan elektron yang disebut lubang (*holes*) ke dalam struktur semikonduktor. Atom akseptor seperti boron atau galium biasanya digunakan untuk menciptakan lapisan p.

Lapisan n: Lapisan n di dioda terbuat dari bahan semikonduktor yang dicampur dengan atom donor berjenis n. Atom donor seperti fosforus atau arsenik menambahkan elektron ekstra ke dalam struktur semikonduktor, menciptakan kelebihan elektron. Ini menghasilkan lapisan dengan muatan negatif yang disebut lapisan n.

Zona peralihan (*depletion region*): Di antara lapisan p dan lapisan n terdapat zona peralihan, juga dikenal sebagai wilayah

deplesi. Wilayah ini merupakan wilayah yang tidak memiliki pembawa mayoritas yaitu elektron di lapisan n dan lubang di lapisan p. Wilayah deplesi terbentuk karena adanya migrasi elektron dan lubang dari lapisan p ke lapisan n saat dioda dibentuk.

Kontak elektroda: Pada setiap ujung lapisan p dan lapisan n, terdapat kontak elektroda yang biasanya terbuat dari logam. Kontak ini berfungsi sebagai terminal dioda, yaitu anoda sebagai terminal positif yang terhubung dengan lapisan p dan katoda sebagai terminal negatif yang terhubung dengan lapisan n.

Struktur dasar dioda ini menghasilkan fenomena arus searah (DC) ketika dioda diberikan tegangan dalam keadaan forward bias, dan mencegah arus mengalir ketika dioda diberikan tegangan dalam keadaan *reverse bias*. Wilayah deplesi dalam dioda memainkan peran penting dalam mengatur aliran arus dan membentuk karakteristik dioda.

6.2.2 Karakteristik Dioda

Dioda memiliki beberapa karakteristik yang penting dalam penggunaannya dalam rangkaian elektronika. Berikut adalah beberapa karakteristik utama dioda:

Tegangan jenuh forward (*Forward Voltage Drop*): Ketika dioda berada dalam keadaan forward bias, dioda memiliki tegangan jenuh forward (*forward voltage drop*). Tegangan ini adalah tegangan minimum yang diperlukan agar dioda dapat mengalirkan arus dalam arah maju. Tegangan jenuh forward bervariasi tergantung pada jenis dan bahan dioda yang digunakan.

Arus jenuh forward (*Forward Current Rating*): Arus jenuh forward adalah arus maksimum yang dapat dioda alirkan saat berada dalam keadaan forward bias. Melebihi arus ini dapat merusak dioda. Arus jenuh forward ditentukan oleh desain dan ukuran fisik dioda.

Tahanan terbalik (*Reverse Resistance*): Meskipun dioda dirancang untuk mencegah aliran arus dalam keadaan reverse bias,

namun ada sedikit arus yang mengalir dalam kondisi tersebut, yang dikenal sebagai kebocoran reverse (*reverse leakage*). Tahanan terbalik adalah ukuran resistansi terhadap arus kebocoran ini. Semakin tinggi tahanan terbalik, semakin sedikit arus kebocoran yang mengalir melalui dioda.

Tegangan breakdown (*Breakdown Voltage*): Ketika dioda berada dalam keadaan reverse bias dan tegangan reverse meningkat melebihi batas tertentu yang disebut tegangan breakdown, dioda dapat mengalami breakdown. Breakdown dapat terjadi dalam dua bentuk, yaitu breakdown terbalik terkontrol (*reverse breakdown*) dan breakdown terbalik tak terkontrol atau zener breakdown. Tegangan breakdown dapat bervariasi tergantung pada jenis dioda.

Waktu pemulihan (*Recovery Time*): Waktu pemulihan adalah waktu yang diperlukan oleh dioda untuk kembali ke keadaan non-konduktif setelah dioda berada dalam keadaan forward bias dan kemudian tiba-tiba diubah menjadi keadaan reverse bias. Waktu pemulihan bergantung pada karakteristik fisik dioda dan biasanya dinyatakan dalam nanodetik (ns) atau picodetik (ps).

Kapasitansi junction (*Junction Capacitance*): Pada sambungan p-n di dioda, terdapat kapasitansi junction antara lapisan p dan lapisan n. Kapasitansi junction ini merupakan kapasitansi yang harus diperhitungkan dalam rangkaian yang menggunakan dioda pada frekuensi tinggi. Kapasitansi junction dapat mempengaruhi kinerja dioda pada aplikasi dengan frekuensi tinggi.

Pemahaman karakteristik ini penting dalam pemilihan dan penggunaan dioda dalam rangkaian elektronika. Hal ini membantu dalam memastikan bahwa dioda yang dipilih sesuai dengan kebutuhan aplikasi dan dapat beroperasi dengan efisien dan stabil.

6.3 Polaritas Dioda

Dioda memiliki polaritas yang penting dalam penggunaannya dalam rangkaian elektronika. Polaritas mengacu pada arah yang benar untuk menghubungkan terminal anoda dan katoda dioda dalam rangkaian.

Dalam dioda p-n, anoda dihubungkan ke lapisan p dan katoda dihubungkan ke lapisan n. Pola ini penting karena dioda hanya akan menghantarkan arus listrik dengan baik ketika diberikan tegangan dalam arah maju (*forward bias*).

Jadi, untuk menghubungkan dioda dengan polaritas yang benar dalam sebuah rangkaian:

Terminal anoda dioda harus dihubungkan ke sumber tegangan positif atau ke bagian rangkaian yang memiliki tegangan positif.

Terminal katoda dioda harus dihubungkan ke sumber tegangan negatif atau ke bagian rangkaian yang memiliki tegangan negatif.

Dalam keadaan *forward bias*, dioda akan menghantarkan arus dengan baik dari terminal anoda ke terminal katoda. Namun, jika dioda dihubungkan dengan polaritas yang terbalik (*reverse bias*), dioda akan mencegah aliran arus dan bertindak sebagai sirkuit terbuka. Dalam keadaan *reverse bias*, hanya akan ada aliran arus kecil yang disebut kebocoran reverse (*reverse leakage current*) yang terjadi melalui dioda.

Jadi, penting untuk memperhatikan polaritas dioda saat menghubungkannya dalam rangkaian elektronika. Menghubungkan dioda dengan polaritas yang salah dapat menghasilkan kinerja yang tidak diinginkan atau bahkan merusak dioda. Biasanya, dioda memiliki tanda atau penanda pada badan fisiknya untuk menunjukkan terminal anoda dan katoda, seperti garis putus-putus pada badan dioda atau tanda panah yang menunjukkan arah aliran arus.

6.4 Jenis Dioda

Terdapat beberapa jenis dioda yang umum digunakan dalam rangkaian elektronika. Berikut adalah beberapa di antaranya:

Dioda P-N (Semikonduktor): Dioda p-n adalah jenis dioda yang terdiri dari lapisan tipe p (berlebihan elektron) dan lapisan tipe n (berlebihan lubang elektron). Dioda p-n merupakan jenis dioda yang paling umum dan digunakan dalam berbagai aplikasi.

Dioda Zener: Dioda Zener dirancang khusus untuk bekerja dalam kondisi breakdown terbalik terkontrol (*zener breakdown*). Ketika dioda Zener berada dalam keadaan reverse bias dan tegangan melebihi tegangan breakdown-nya, dioda Zener akan mempertahankan tegangan konstan di sekitar nilai tegangan breakdown-nya. Dioda Zener digunakan dalam regulator tegangan, perlindungan dari lonjakan tegangan, dan aplikasi lain yang membutuhkan tegangan referensi yang stabil.

Dioda Schottky: Dioda Schottky terbuat dari pertemuan logam dan semikonduktor, yang menghasilkan tegangan jenuh forward yang rendah dan waktu pemulihan yang cepat. Dioda Schottky sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan switch cepat dan deteksi sinyal tinggi.

Dioda Penyearah (*Rectifier*): Dioda penyearah digunakan untuk mengubah arus listrik AC (arus bolak-balik) menjadi arus listrik DC (arus searah). Terdapat dua jenis dioda penyearah: dioda penyearah setengah gelombang (*half-wave rectifier*) dan dioda penyearah gelombang penuh (*full-wave rectifier*). Dioda penyearah sangat umum digunakan dalam sumber daya listrik dan catu daya.

Dioda Varaktor: Dioda Varaktor (*Variable Capacitance Diode*) memiliki kapasitansi junction yang dapat diubah dengan mengubah tegangan yang diterapkan. Dioda Varaktor digunakan dalam rangkaian osilator, pengatur frekuensi, dan aplikasi yang membutuhkan kapasitansi yang dapat diubah-ubah.

Dioda Fotodioda: Dioda fotodioda digunakan untuk mendeteksi dan mengubah cahaya menjadi sinyal arus. Ketika cahaya jatuh pada fotodioda, arus yang dihasilkan berubah sesuai dengan intensitas cahaya yang diterima. Dioda fotodioda banyak digunakan dalam aplikasi seperti sensor cahaya, detektor inframerah, dan komunikasi optik.

Itulah beberapa jenis dioda yang umum digunakan dalam rangkaian elektronika. Setiap jenis dioda memiliki karakteristik dan aplikasi khusus yang membuatnya cocok untuk penggunaan tertentu. Pemilihan jenis dioda yang tepat tergantung pada kebutuhan dan persyaratan spesifik dari rangkaian yang sedang dirancang atau digunakan.

6.5 Aplikasi Dioda

Dioda memiliki berbagai aplikasi dalam rangkaian elektronika. Berikut adalah beberapa aplikasi umum dioda:

Penyearah (*Rectifier*): Dioda digunakan sebagai penyearah dalam rangkaian untuk mengubah arus listrik AC (arus bolak-balik) menjadi arus listrik DC (arus searah). Dioda penyearah digunakan dalam catu daya dan sumber daya listrik untuk menghasilkan tegangan DC yang stabil.

Detektor Sinyal: Dioda dapat digunakan sebagai detektor sinyal dalam penerima radio dan perangkat komunikasi lainnya. Ketika sinyal AC diterapkan pada dioda, dioda akan mengubah sinyal menjadi bentuk gelombang setengah gelombang yang dapat diolah lebih lanjut oleh komponen elektronika.

Perlindungan Terhadap Arus Balik (*Reverse Current Protection*): Dioda digunakan sebagai perlindungan untuk mencegah arus balik (*reverse current*) pada rangkaian. Ketika dioda dihubungkan dengan polaritas yang benar, dioda memblokir arus balik yang dapat merusak komponen lain dalam rangkaian.

Stabilisasi Tegangan: Dioda Zener digunakan dalam rangkaian untuk memberikan tegangan referensi yang stabil. Dioda

Zener dapat mempertahankan tegangan konstan ketika diberikan tegangan melebihi tegangan breakdown-nya, dan ini digunakan dalam sirkuit regulator tegangan.

Pendeteksi Cahaya: Dioda fotodioda digunakan dalam aplikasi yang melibatkan deteksi cahaya. Ketika cahaya jatuh pada fotodioda, arus yang dihasilkan berubah sesuai dengan intensitas cahaya yang diterima. Dioda fotodioda digunakan dalam sensor cahaya, detektor inframerah, dan komunikasi optik.

Osilator dan Frekuensi: Dioda varaktor (*variable capacitance diode*) digunakan dalam rangkaian osilator dan pengatur frekuensi. Kapasitansi dioda varaktor dapat diubah dengan mengubah tegangan yang diterapkan, sehingga digunakan untuk menghasilkan osilasi atau mengubah frekuensi dalam rangkaian.

Komunikasi Gelombang Mikro dan Mikroelektronika: Dioda digunakan dalam aplikasi gelombang mikro, seperti dalam detektor gelombang mikro dan mixer. Dioda juga digunakan dalam mikroelektronika untuk fungsi seperti pengendalian arus dan pengganda frekuensi.

Ini hanya beberapa contoh aplikasi dioda dalam rangkaian elektronika. Dalam praktiknya, dioda digunakan dalam berbagai aplikasi dan fungsi, baik sebagai komponen utama maupun sebagai bagian dari rangkaian lebih kompleks.

6.6 Soal Latihan

Berikut ini adalah beberapa soal latihan tentang dioda beserta jawabannya.

Apa yang dimaksud dengan tegangan jenuh forward pada dioda?

Tegangan jenuh forward pada dioda adalah tegangan minimum yang diperlukan agar dioda dapat mengalirkan arus dengan baik dalam keadaan forward bias. Tegangan ini bergantung pada jenis dan material dioda yang digunakan.

Jelaskan perbedaan antara dioda penyearah setengah gelombang (*half-wave rectifier*) dan dioda penyearah gelombang penuh (*full-wave rectifier*)!

Dioda penyearah setengah gelombang hanya menggunakan setengah dari gelombang input AC sebagai output DC, sedangkan dioda penyearah gelombang penuh menggunakan seluruh gelombang input AC sebagai output DC. Dengan demikian, dioda penyearah gelombang penuh menghasilkan tegangan DC yang lebih stabil.

Mengapa dioda digunakan dalam rangkaian sebagai perlindungan terhadap arus balik (*reverse current*)?

Dioda digunakan sebagai perlindungan terhadap arus balik karena dioda hanya memungkinkan aliran arus dalam satu arah tertentu. Ketika dioda dihubungkan dengan polaritas yang salah (*reverse bias*), dioda akan menghambat arus balik dan melindungi komponen lain dalam rangkaian dari kerusakan.

Apa fungsi utama dari dioda Zener dalam sebuah rangkaian elektronika?

Fungsi utama dioda Zener dalam rangkaian elektronika adalah memberikan tegangan referensi yang stabil. Dioda Zener dioperasikan dalam breakdown terbalik terkontrol (*zener breakdown*), sehingga dapat mempertahankan tegangan konstan bahkan ketika tegangan input berubah.

Jelaskan cara kerja dioda fotodioda dalam mendeteksi cahaya!

Dioda fotodioda bekerja berdasarkan efek fotolistrik. Ketika cahaya jatuh pada fotodioda, foton energi cahaya mengeksitasi elektron di lapisan n. Elektron ini kemudian bergerak ke lapisan p dan menciptakan arus yang sebanding dengan intensitas cahaya yang diterima.

DAFTAR PUSTAKA

Dioda: Jenis - Rumus dan Contoh Soal - HaloEdukasi.com

BAB 7

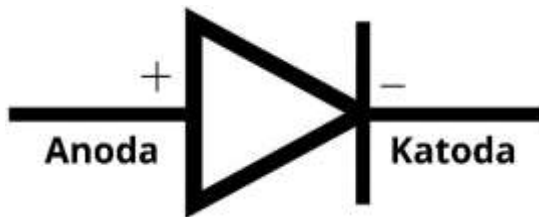
KARAKTERISTIK DIODA

Oleh Perawati

7.1 Pengertian Dioda

Dioda ialah perangkat elektronik semikonduktor yang terdiri dari sambungan tunggal atau Sambungan P-N, dikenal juga sebagai perangkat yang terbentuk dari dua lapisan semikonduktor tipe-P (positif) dan tipe-N (negatif). Fungsi dioda adalah untuk menghasilkan arus saat dipanjar maju dan mengurangi arus saat dipanjar mundur.

Bias maju terbentuk ketika tekanan positif diimplementasikan ke anoda dioda dan tekanan negatif diterapkan ke katoda dioda. Sebaliknya, jika tekanan negatif diberikan pada anoda dan tekanan positif diberikan pada katoda, maka akan terjadi polarisasi yang disebut bias balik.



Gambar 7.1. Simbol Dioda
(Sumber: Samrasyid 2020)

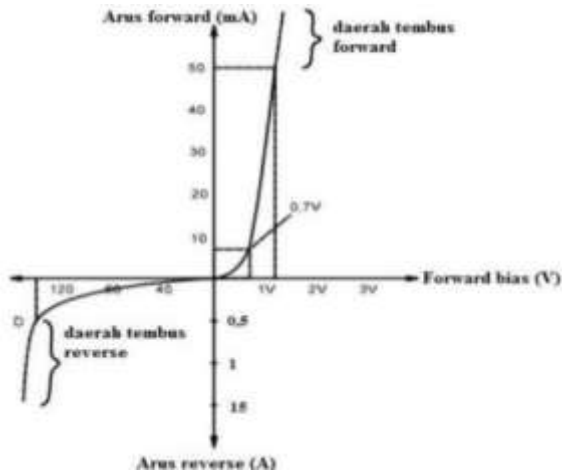
Perangkat ini menggabungkan dua semikonduktor, yang dimana tiap-tiap dengan penyerapan yang berbeda (bahan yang ditambahkan) serta bahan konduktif yang dibubuhkan untuk

menghantarkan listrik. Bentuk dasar dioda ialah 2 kutubelektroda yang berasal dari konduktor, tiap-tiap tersambung ke semikonduktor silikon tipe-P dan silikon tipe-N. Anoda ialah elektroda yang tersambung ke silikon tipe-P yang mengandung lebih minim elektron, dan katoda merupakan elektroda yang tersambung ke silikon tipe-N yang mengandung lebih besar elektron.

Perubahan besar terjadi di industri elektronik ditahun 1940-an dan sekitar waktu inilah komponen transistor baru didapati. Oleh karena itu, permulaan dari kecanggihan sistem elektronik yang kompleks terjadi. Dengan kadar yang lebih kecil, perangkat elektronik saat ini juga lebih kecil. Salah satu perangkat elektronika yang sangat berpengaruh terhadap perubahan tersebut ialah dioda. Perangkat semikonduktor diciptakan melalui pengembangan keterampilan manusia di bidang ilmu material.

7.2 Karakteristik Dioda

Karakteristik dioda adalah rasio tekanan yang ada di ujung kutub dioda dan arus yang mengalir melaluinya. Karakteristik dioda ditunjukkan pada gambar 7.2. Besaran keduanya V_F adalah 10 mA pada tekanan keluaran -10 pada tekanan balik V_R , sedangkan arus maju I_F 10 mA dan arus balik i_R 1 A. Ketika $V_F = 0$ sampai 0,7 V kenaikan arus maju i_F sangat kecil, sehingga dapat dikatakan bahwa dioda masih tidak menghantarkan listrik pada tekanan maju tersebut. Ketika V_F sedikit melebihi 0,7V, i_F meningkat dengan drastis. Katakanlah tekanan ini adalah dioda dengan arus listrik dan tekanan 0,7 V, sehingga disebut tekanan aktivasi (tekanan). Nilai i_R arus balik sangat kecil dibandingkan dengan arus maju.



Gambar 7.2. Kurva arus Tekanan diode penyearah
(Sumber: Samrasyid 2020)

Sebelum dioda mengalirkan arus ke arah yang berlawanan, terjadi arus bocor balik karena jumlah pemicu yang lebih sedikit bervariasi dengan picoampere (1pA - 10-12A). Jika tekanan dioda dinaikkan terus menerus dengan polaritas negatif, maka dapat merusak sambungan pn, oleh karena itu disebut tekanan tembus (*breakdown voltage*).

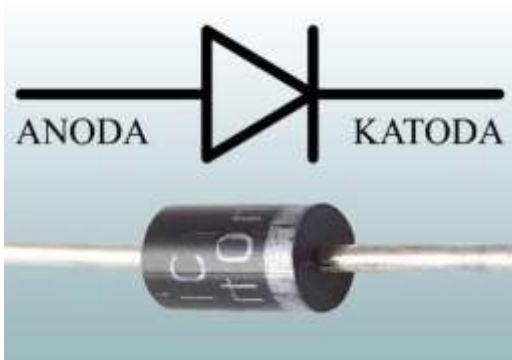
7.3 Jenis-Jenis Dioda

Saat ini perkembangan teknologi memberikan dampak yang cukup signifikan terhadap kemajuan proses pembuatan dioda. Ini dapat dilihat dengan peningkatan dioda dengan berbagai ukuran dan bentuk. Masing-masing dioda ini melakukan fungsi tertentu dalam sistem elektronik.

7.3.1 Dioda Biasa

Dioda biasa termasuk dioda yang paling sering dipakai dalam berbagai perangkat elektronik. Simbol dan bentuk dioda dapat dilihat pada gambar 9.3. Bentuk simbol menyatakan karakteristik dioda itu sendiri. Bentuk segitiga pada simbol

menyatakan arah aliran arus, sedangkan garis lurus memperlihatkan bahwasanya tidak ada arus balik yang dapat mengalir melalui dioda.

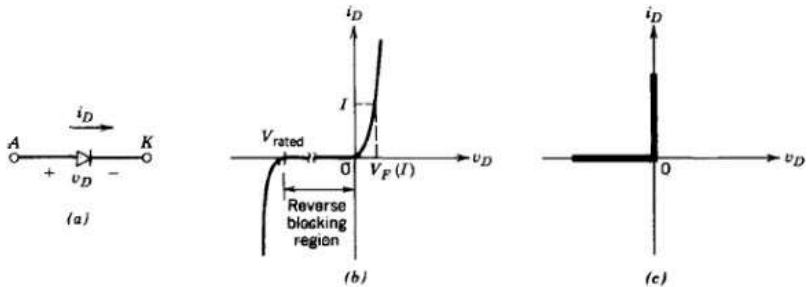


Gambar 7.3. Dioda Biasa
(Sumber: Informazone.com)

Dioda memiliki dua terminal, terminal positif yang disebut anoda dan terminal negatif yang disebut katoda. Komponen dioda ini berjejer seimbang dengan simbol dioda untuk memudahkan melihat letak terminal anoda dan katoda. Karena jika posisi kaki dioda terbalik maka elektronik tidak bisa dihidupkan.

1. Sebagai Saklar

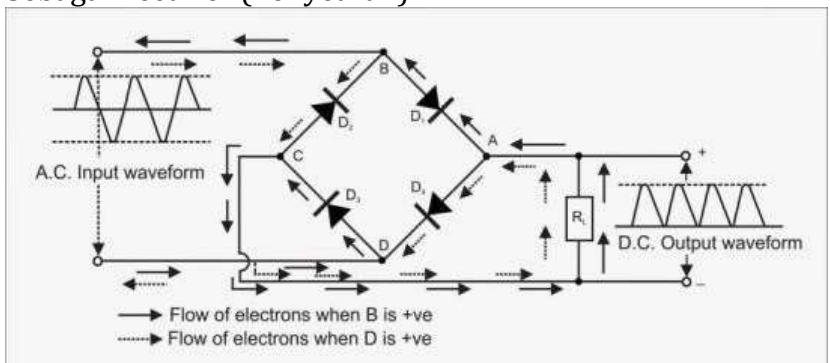
Sebuah dioda bisa dijalankan sebagai saklar dengan menyesuaikan wujud tekanan eksternal yang diterapkan ke dua terminal dioda. Jika dioda dibias maju maka akan menghantarkan listrik, dan bila dibias mundur maka dioda akan mematikan listrik. Dimana Pengoperasian dioda ini umumnya sama dengan pengoperasian sakelar.



Gambar 7.4. Dioda Sebagai Saklar
 (Sumber: Informazone.com)

Dilihat pada gambar 7.4 menunjukkan bahwasanya terdapat urutan (a) lambang dioda, (b) ciri-ciri dioda, (c) karakteristik dioda ideal saat bekerja menjadi saklar. Seperti yang ditunjukkan pada gambar C, nilai i_D (arus dioda) adalah tidak sama dengan nol (hidup) ketika tekanan anoda lebih positif daripada tekanan katoda. Sementara itu i_D bernilai 0 (MATI) bila tekanan katoda lebih negatif dari tekanan katoda.

2. Sebagai Rectifier (Penyearah)



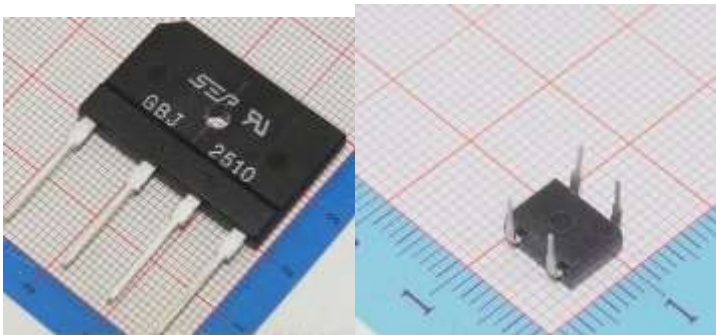
Gambar 7.5. Dioda Sebagai Rectifier (Penyearah)
 (Sumber: Informazone.com)

Selain fungsinya sebagai saklar, juga memiliki fungsi utama penyearah arus. Seperti gambar 7.5, bila arus mengalir melalui kolom dengan arah yang salah, maka akan berhenti dan tidak akan dapat dilalui. Karena fitur unik ini, dioda dapat digunakan untuk mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC).

Untuk mengubah AC ke DC dalam satu gelombang penuh, diperlukan 4 dioda jika digunakan trafo non- CT (*center tapped*). Bentuk rangkaian penyearah gelombang penuh (*full wave rectifier*) dapat dilihat pada gambar di atas.

7.3.2 Dioda Bridge

Dioda bridge hakikatnya tidak terlalu berbeda dengan dioda lainnya. Hanya saja dioda ini memiliki kelebihan dalam kemudahan penggunaan. Bila diinginkan menghasilkan penyearah gelombang penuh, kita membutuhkan 4 dioda, jadi lebih mudah dengan dioda karena hanya diperlukan 1 jembatan dioda.



Gambar 7.6. Dioda Sebagai Rectifier (Penyearah)
(Sumber: Informazone.com)

Hal ini dapat dimungkinkan karena jembatan dioda sudah memiliki empat dioda yang digunakan untuk menukar arus bolak-balik (AC) mewujudkan arus searah (DC). Prinsip operasinya sama

dengan penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda. Namun, penerapannya lebih mudah sebab letaknya yang baik, maka dari itu tidak harus merangkai tataletak dioda satu per satu.

Bentuk dari diode bridge sangat bervariasi mulai dari bulat, tipis seperti sisir hingga persegi seperti table top. Setiap jembatan dioda memiliki 4 pin yaitu 2 input untuk daya AC dan 2 output DC dengan anoda dan katoda. Lihat pada gambar 9.6 untuk informasi lebih lanjut.

7.3.3 Dioda Zener

Dioda zener merupakan jenis dioda yang bisa diproduksi dengan cara khusus akibatnya dapat beroperasi dalam rangkaian terbalik. Karakteristik rangkaian bias mundur berbeda dengan dioda biasa, namun karakteristik dan fungsi dari bias maju sama dengan dioda biasa.



Gambar 7.7. Dioda Sebagai Rectifier (Penyearah)
(Sumber: Informazone.com)

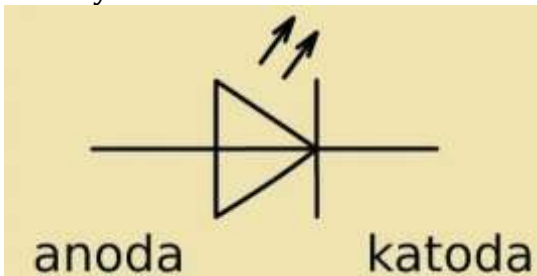
Dioda zener dapat menyalurkan arus listrik ke arah berlawanan, asalkan tekanan yang disampaikan perlu melebihi tekanan tembus dioda. kebanyakan dioda zener dipasang dengan

prinsip reverse biasing pada arah sebaliknya dan bekerja sebagai pengatur tekanan.

Misalnya, jika kita menempatkan dioda zener 2.8V ke dalam ikatan dengan sumber 24V, maka saat melewati dioda zener bias balik, tekanan langsung menurun. Nilai tekanan tetap sama dengan nilai tekanan dioda.

7.3.4 Light Emitting Diode (LED)

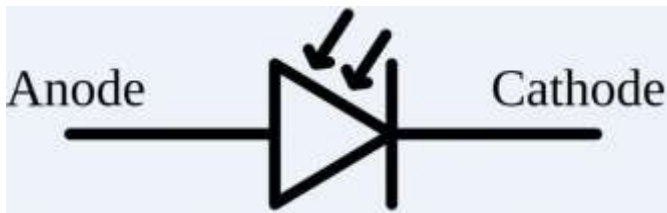
Dioda pemancar cahaya ialah dioda persimpangan semikonduktor P-N bila dikenakan maju bakal memancarkan cahaya. Bentuk simbol LED hampir mirip dengan simbol dioda biasa, hanya saja memiliki dua anak panah menjadi simbol LED memancarkan cahaya.



Gambar 7.8. Dioda Sebagai LED
(Sumber: Clipartbest.com)

Bila LED digunakan dalam bias terbalik, perangkat tidak akan memancarkan cahaya. Menggunakan LED bias terbalik dapat terjadi LED gagal dengan gensit. Ia biasanya dipakai menjadi indikator dalam perangkat elektronik.

7.3.5 Photo Diode (PD)



Gambar 7.9. Dioda Sebagai PD
(Sumber: Wikimedia.org)

Photo Diode (PD) adalah dioda persimpangan PN yang ketika terkena cahaya mengurangi resistansi baliknya sehingga arus listrik dapat mengalir melaluinya. Dalam keadaan tanpa cahaya, nilai resistansi baliknya sangat tinggi sehingga tidak menghantarkan arus.

Bentuk karakter PD mendekati dengan bentuk tanda LED, hanya saja arah panahnya terbalik. Ini memiliki pelepasan sebagian yang dapat menghantarkan listrik saat terkena cahaya. Di sirkuit elektronik, dioda ini harus dipasang terbalik.

7.3.6 Dioda Varactor



Gambar 7.10. Dioda Sebagai Varactor
(Sumber: Aliexpress.com)

Varactor merupakan jenis dioda semikonduktor dengan sambungan PN dibuat spesifik memiliki karakter kapasitif saat digunakan ke rangkaian bias balik. Dioda Varactor juga dikenal dengan kapasitansi variabel atau dioda varicap. Dioda jenis ini biasanya dipakai pada deretan elektronik semacam handphone, radio maupun televisi.

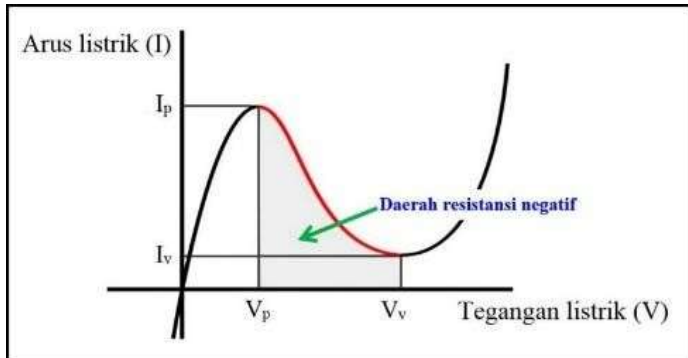
Bentuk dari simbol dioda varactor merupakan gabungan dari simbol dioda dan kapasitor. Ini seimbang dengan fungsi dioda varactor. Saat memilih varicap, beberapa karakteristik harus diperhatikan, yaitu tekanan tembus minimum (V), disipasi daya (mW), nilai kapasitansi dioda (pF) dan arus puncak maksimum (A).

7.3.7 Dioda Tunnel



Gambar 7.11. Dioda Sebagai Tunnel
(Sumber: Hackaday.com)

Dioda tunnel ialah termasuk ragam dari dioda semikonduktor dengan sambungan PN yang dibuat spesifik akibatnya dapat membuat daerah penipisan yang sangat kecil. Hal ini dapat dilakukan karena dioda terowongan mengandung pengotor 1000 kali lebih besar daripada dioda konvensional.



Gambar 7.12. Daerah Resistansi Negatif
(Sumber: Informazone.com)

Terlihat pada gambar 7.12 jenis dioda tipikal, saat tekanan bias maju kecil diterapkan padanya, arus bertambah seiring peningkatan pada jumlah tekanan. Namun, saat terus bertambah sampai menyentuh V_p (tekanan puncak), arus langsung berganti dan menyusut ke titik I_v (arus palung). Bila tekanan dinaikkan lebih lanjut, arus dioda meningkat lagi.

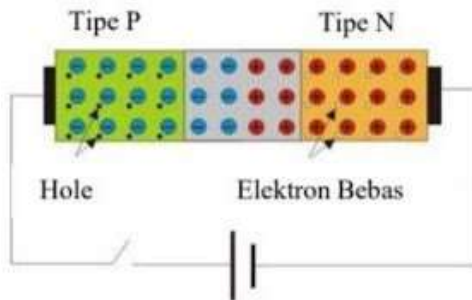
7.4 Cara Kerja Dioda

Dioda beroperasi pada 3 keadaan yaitu keadaan tidak ada tekanan (unbiased), keadaan tekanan positif (forward bias) serta keadaan tekanan negatif (reverse bias).

1. Tidak ada tekanan (unbiased)

Dengan tidak adanya tekanan di persimpangan PN, batas medan listrik dibuat. Ini terbentuk dari difusi, yaitu perpindahan bawaan dari sisi-n ke sisi-p. Elektron ini akan mendiami ruang di sisi-p, yang disebut lubang. Perpindahan elektron ini akan melepaskan ion positif pada sisi-n dan lubang yang diisi elektron bakal menghasilkan ion negatif pada sisi-p. Ion yang tak aktif langsung dalam medan listrik statis mewujudkan perintang pergerakan

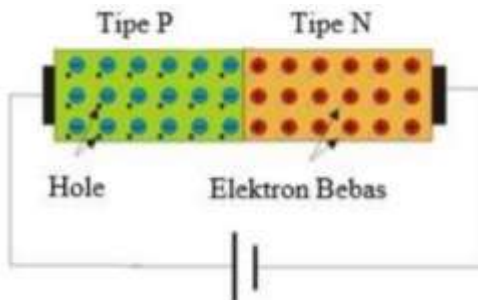
elektron di dioda.



Gambar 7.13. Kondisi Dioda Tanpa Tekanan
(Sumber: Syamsyid 2020)

2. Kondisi Tekanan Positif (Bias Maju)

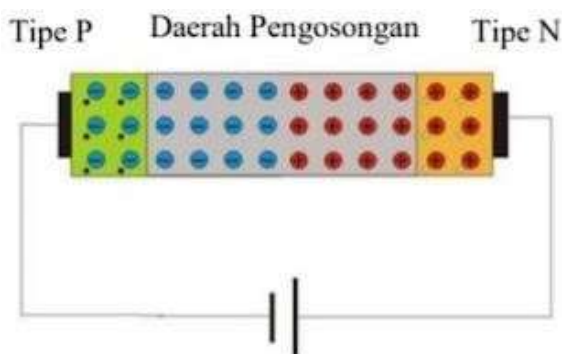
Dalam keadaan ini, anoda dihubungkan ke kutub positif sumber energi dan katoda ke kutub negatif. Terdapat tekanan eksternal menyebabkan ion-ion yang menghambat penyaluran arus terdorong ke tiap-tiap kutub. Ion negatif terdorong ke sisi positif anoda dan ion positif ke sisi negatif katoda. Lenyapnya penghambat memperkenankan elektron bergerak di dalam dioda akibatnya arus listrik bisa menyalurkan seperti dalam rangkaian tertutup.



Gambar 7.14. Kondisi Dioda Bias Maju
(Sumber: Syamsyid 2020)

3. Kondisi Tekanan Negatif (Reverse Bias)

Dalam mode ini, anoda dihubungkan ke kutub negatif catu daya dan katoda dihubungkan ke kutub positif. Ketika tekanan negatif diterapkan, ion negatif terdorong ke bagian katoda (tipe-N) yang disuplai dengan tekanan positif, dan ion positif terdorong ke bagian anoda (tipe-P) yang disuplai dengan tekanan negatif menjadi tekanan. Perpindahan ion-ion ini diarahkan ke medan listrik statis, yang memperlambat perpindahan elektron dan dengan demikian meningkatkan penghalang ion. Akibatnya, tidak ada arus yang dapat mengalir melalui dioda dan rangkaianannya mirip dengan rangkaian terbuka.



Gambar 7.15. Kondisi Dioda Bias Mundur
(Sumber: Syamsyid 2020)

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman Rasyid, S.Pd. 2020. *Pengertian, Karakteristik Dioda*.
<https://www.samrasyid.com/2020/04/pengertian-karakteristik-dan-cara-kerja>
- Informazone. 2013. *Jenis-Jenis Dioda Lengkap Beserta Fungsi Dan Cara Kerjanya*. <https://informazone.com/jenis-jenis-dioda>

BAB 8

KOMPONEN AKTIF : DIODA SEBAGAI PENGOLAH SINYAL

Oleh Dwi Sasmita Aji Pambudi

8.1 Pendahuluan

Pada era inovasi teknologi yang terus berkembang, peran komponen elektronika semakin vital dalam mengolah sinyal dan mengubahnya menjadi informasi yang bermakna. Dalam bidang elektronika, komponen aktif memiliki peran yang sangat signifikan dalam mengolah sinyal listrik untuk berbagai aplikasi. Salah satu komponen aktif yang memiliki peranan penting dalam pengolahan sinyal adalah dioda. Dioda merupakan salah satu jenis komponen semikonduktor yang memiliki kemampuan untuk mengatur aliran arus listrik dalam sebuah rangkaian. Peran dioda sebagai komponen aktif sangatlah beragam dan esensial dalam pengolahan sinyal, mulai dari proses konversi energi listrik menjadi cahaya pada lampu LED, hingga proses pengaturan dan pemrosesan sinyal dalam perangkat elektronik modern.

Dioda memiliki karakteristik unik dalam menghantarkan arus listrik dalam satu arah dan menghalangi aliran arus dalam arah sebaliknya (Plonus, 2020). Hal tersebut memungkinkan dioda digunakan dalam berbagai aplikasi pengolahan sinyal, seperti penyearah, pemotongan sinyal, pengaturan level, stabilisasi tegangan, dan bahkan proses modulasi. Dalam penyearahan, dioda memungkinkan sinyal AC (*Alternating Current*) diubah menjadi sinyal DC (*Direct Current*) dengan menghilangkan setengah gelombang atau mengubah arahnya secara penuh. Konsep tersebut mendasari prinsip kerja pada sebagian besar sistem suplai daya

elektronik. Penggunaan dioda juga mencakup dasar-dasar dari rangkaian pengolah sinyal dalam melakukan pembatasan (*limiting*) atau pergeseran (*shifting*) level seperti pemotong sinyal (*clipper*) dan pemindah sinyal (*clamper*) (Razavi, 2021). Dalam pemotongan sinyal, dioda digunakan untuk membatasi atau memotong bagian tertentu dari sinyal. Dalam pemindahan sinyal, dioda digunakan untuk menggeser sinyal pada level tertentu. Fungsi tersebut sangat penting digunakan dalam banyak aplikasi komunikasi dan pemrosesan sinyal. Selain itu, dioda juga dapat berfungsi sebagai pengatur tegangan yang stabil melalui penggunaan dioda Zener (Maswood, 2011).

Bab ini akan menjelaskan tentang peran dioda sebagai komponen aktif dalam pengolahan sinyal, menguraikan prinsip-prinsip dasarnya, serta menjelaskan bagaimana penggunaan dioda dalam berbagai rangkaian menjadi dasar dari sistem elektronika modern yang mampu menghasilkan, mengubah, dan mentransmisikan sinyal secara efisien dan akurat. Dengan pemahaman yang mendalam tentang peran dioda dalam pengolahan sinyal, para ahli dan praktisi elektronika dapat merancang dan mengimplementasikan rangkaian yang inovatif dan lebih efektif dalam mengolah sinyal menjadi bentuk yang berguna dalam berbagai aplikasi sehari-hari.

8.2 Aplikasi Dioda dalam Penyearahan Sinyal

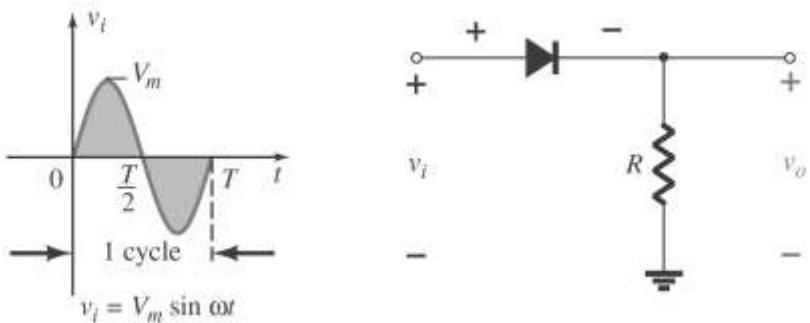
Dioda memiliki aplikasi penting sebagai penyearah dalam rangkaian elektronika. Penyearah (*rectifier*) adalah rangkaian yang digunakan untuk mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Ada dua jenis utama penyearah yang menggunakan dioda, yaitu penyearah setengah gelombang (*half-wave rectifier*) dan penyearah gelombang penuh (*full-wave rectifier*).

8.2.1 Penyearah Setengah Gelombang (Half-wave Rectifier)

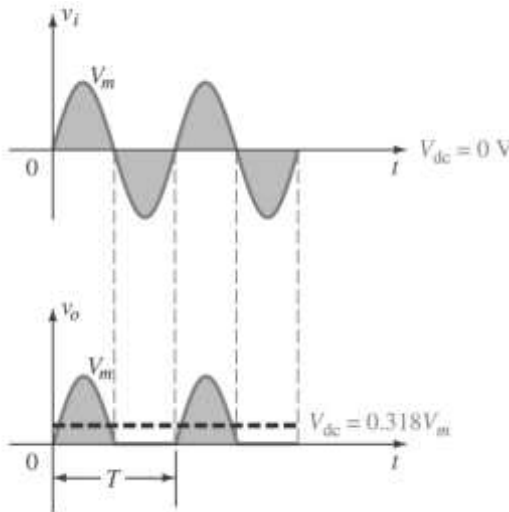
Penyearah setengah gelombang menggunakan satu dioda untuk mengubah setengah gelombang positif dari sinyal AC

menjadi gelombang searah. Bagian negatif dari gelombang diabaikan. Hasilnya adalah gelombang searah yang hanya memiliki setengah periode dari sinyal AC asli. Penyearah setengah gelombang sangat sederhana dan cocok untuk aplikasi di mana efisiensi bukanlah faktor utama (Busarello et al., 2018).

Prinsip kerja penyearah setengah gelombang adalah dengan memanfaatkan satu dioda untuk mengarahkan hanya setengah gelombang positif dari sinyal AC ke beban. Saat gelombang positif masuk, dioda bekerja dan memungkinkan arus mengalir ke beban. Namun, ketika gelombang negatif datang, dioda menjadi tidak bekerja, sehingga arus tidak mengalir ke beban.



Gambar 8.1. Rangkaian *Half-wave Rectifier*
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)



Gambar 8.2. Sinyal *Input* dan *Output* pada *Half-wave Rectifier*
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

Persamaan untuk tegangan rata-rata (V_{dc}) pada penyearah setengah gelombang adalah

$$V_{dc} = 0.318 V_m \quad (8.1)$$

di mana:

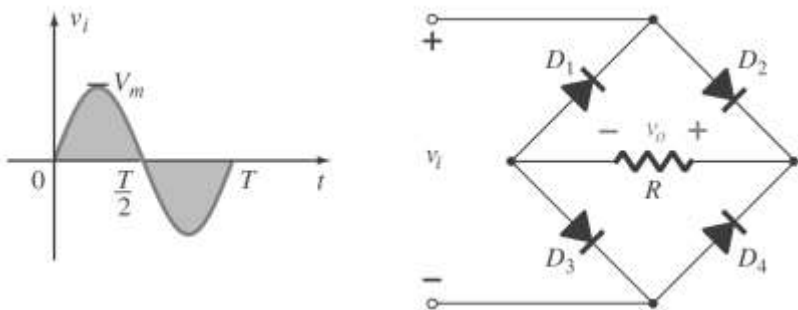
V_{dc} adalah tegangan rata-rata DC pada sinyal *output*

V_m adalah tegangan puncak dari sinyal *input* dan *output*

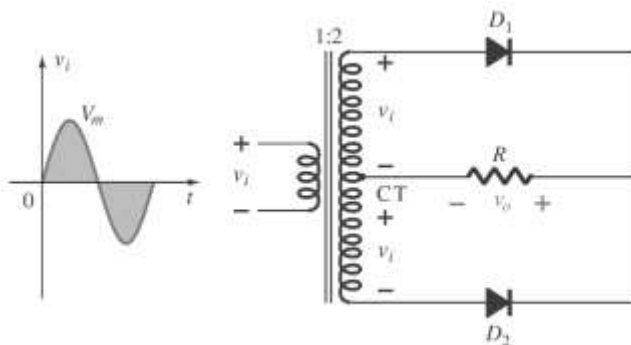
8.2.2 Penyearah Gelombang Penuh (*Full-wave Rectifier*)

Penyearah gelombang penuh menggunakan empat dioda (*bridge diode*) untuk mengubah seluruh gelombang AC menjadi gelombang searah (DC). Ini dilakukan dengan mengaplikasikan kedua bagian sinyal, yaitu setengah gelombang positif dan negatif dari sinyal AC. Sebagai hasilnya, *output* dari penyearah gelombang penuh adalah gelombang searah penuh dengan dua kali frekuensi dari sinyal gelombang AC *input*. Selain menggunakan dioda *bridge*, rangkaian penyearah gelombang penuh juga dapat menggunakan

dua dioda dan satu transformator *Center-Tapped* (CT) (Brindley, 2011).



Gambar 8.3. Rangkaian *Full-wave Rectifier* dengan Dioda Bridge
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)



Gambar 8.4. Rangkaian *Full-wave Rectifier* dengan Transformator
Center-Tapped (CT)
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

Prinsip kerja penyearah gelombang penuh menggunakan empat dioda untuk mengarahkan setiap setengah gelombang (positif dan negatif) dari sinyal AC ke beban. Dioda-dioda ini bekerja bergantian, memungkinkan aliran arus dalam satu arah melalui beban. Perlu diingat bahwa dalam penyearah gelombang penuh, dua pasang dioda selalu berada dalam hubungan seri

dengan penurunan tegangan (*voltage drop*) sebesar 1.4 V, untuk dioda jenis silikon (Plonus, 2020).

Persamaan untuk tegangan rata-rata (V_{dc}) pada penyearah gelombang penuh adalah

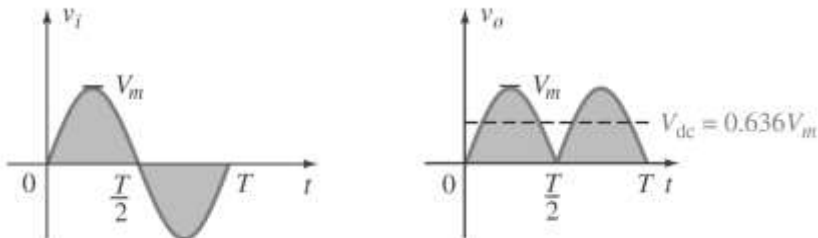
$$\begin{aligned} V_{dc} &= 2(0.318V_m) \\ V_{dc} &= 0.636 V_m \end{aligned} \quad (8.2)$$

di mana:

V_{dc} adalah tegangan rata-rata DC pada sinyal *output*

V_m adalah tegangan puncak dari sinyal *input* dan *output*

Perlu diingat bahwa Persamaan 8.2 menyederhanakan aspek-aspek tertentu dan tidak mempertimbangkan efek non-ideal dioda atau komponen lainnya yang mungkin digunakan dalam rangkaian.



Gambar 8.5. Sinyal *Input* dan *Output* dari *Full-wave Rectifier*
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

Meskipun penyearah setengah gelombang lebih sederhana, penyearah gelombang penuh lebih efisien karena memanfaatkan seluruh siklus dari sinyal AC. Penting untuk diketahui bahwa *output* dari kedua jenis penyearah (*rectifier*) ini umumnya masih memiliki beberapa komponen residu AC yang disebut riak (*ripple*). Untuk mengurangi *ripple* tersebut, komponen tambahan seperti kapasitor sering digunakan sebagai *filter* untuk menghaluskan tegangan *output* (Razavi, 2021). Dengan menggunakan dioda

sebagai penyearah, sinyal AC dapat diubah menjadi arus searah (DC) yang lebih stabil dan bermanfaat dalam berbagai aplikasi elektronika.

8.3 Aplikasi Dioda sebagai *Clipper*

Dioda dapat digunakan sebagai pengubah level sinyal dengan melakukan pemotongan (*clipping*) sinyal. Rangkaian *clipper* merupakan rangkaian yang memanfaatkan dioda dengan kemampuan untuk memotong atau menghilangkan bagian tertentu dari sinyal *input* yang diterapkan tanpa menyebabkan distorsi atau mengganggu bagian sinyal input lainnya yang dilewatkan, sehingga menghasilkan sinyal *output* dengan level yang lebih terbatas (Boylestad & Nashelsky, 2013). Dalam konteks ini, dioda digunakan untuk menghasilkan pemotongan positif atau negatif pada sinyal. Dalam konteks ini, istilah "*clipping*" mengacu pada tindakan penghapusan atau pemotongan sebagian gelombang sinyal, sehingga hanya sinyal yang melewati level tegangan tertentu yang akan diteruskan, sedangkan sinyal di atas atau di bawah level tersebut akan dibuang.

Penyearah setengah gelombang (*half-wave rectifier*) merupakan contoh paling dasar dari bentuk rangkaian *clipper*, dengan hanya menggunakan satu dioda dan satu resistor. Bagian positif atau negatif dari sinyal yang diterapkan akan "dipotong" tergantung pada orientasi dioda. Rangkaian *clipper* dapat dibagi menjadi dua konfigurasi yaitu seri dan paralel. Konfigurasi seri didefinisikan sebagai rangkaian yang di mana dioda berada dalam hubungan seri dengan beban, sementara jenis paralel memiliki dioda dalam hubungan paralel dengan beban (Boylestad & Nashelsky, 2013).

Tujuan utama dari penggunaan rangkaian *clipper* adalah untuk menghasilkan bentuk gelombang yang lebih sesuai dengan kebutuhan atau spesifikasi tertentu, tanpa mengorbankan bagian penting dari sinyal. Misalnya, dalam aplikasi pemrosesan sinyal

atau komunikasi, rangkaian *clipper* dapat digunakan untuk menghilangkan unsur-unsur sinyal yang tidak diinginkan, seperti puncak yang melebihi level tegangan tertentu atau bagian yang lebih rendah dari gelombang sinyal. Rangkaian *clipper* memungkinkan untuk digunakan dalam manipulasi dan pengaturan bentuk sinyal secara selektif, sehingga dapat menghasilkan hasil yang lebih sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu tanpa mengubah substansi informasi yang terkandung dalam sinyal.

8.3.1 Prinsip Kerja Pemotongan Sinyal dengan Dioda

Prinsip kerja dari rangkaian *clipper* adalah dengan menggunakan dioda sebagai komponen kunci. Dioda ini mengizinkan aliran arus dalam satu arah tertentu, yaitu ketika dioda berada dalam keadaan bias maju (*forward bias*), sedangkan arus akan diblokir ketika dioda dalam kondisi bias terbalik (*reverse bias*). Dengan konfigurasi yang tepat, sinyal masukan dapat "dipotong" atau dibatasi pada level tertentu oleh dioda, tanpa mengubah bentuk sinyal pada bagian yang tersisa.

Ketika dioda digunakan sebagai pemotong sinyal positif (+), dioda meneruskan sinyal *input* (menghantarkan arus) ketika tegangan sinyal *input* melewati ambang batas tegangan maju dioda (*forward voltage*). Hal ini memungkinkan bagian positif dari sinyal *input* melewati dioda dan diteruskan pada sinyal *output*, sedangkan bagian negatif dari sinyal *input* akan ditahan (*blocked*) oleh dioda.

Sebaliknya, ketika dioda digunakan sebagai pemotong sinyal negatif (–), dioda menghantarkan arus ketika tegangan input lebih rendah dari ambang batas tegangan maju dioda. Dalam hal ini, bagian negatif dari sinyal *input* melewati dioda dan diteruskan pada sinyal *output*, sedangkan bagian positifnya diblokir oleh dioda (Plonus, 2020).

Persamaan pemotongan sinyal dengan dioda (tidak ideal) untuk pemotongan dengan menghasilkan sinyal positif, persamaan tegangan *output* (V_{out}) dapat dinyatakan sebagai:

$$V_{out} = V_{in} - V_{diode}$$

(10.3)

di mana:

V_{in} adalah tegangan input.

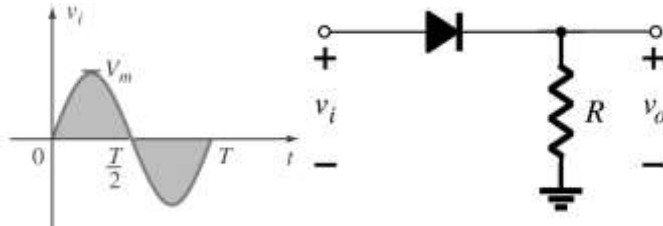
V_{diode} adalah ambang batas tegangan maju (*forward bias*) dioda.

Sementara untuk pemotongan dengan menghasilkan sinyal negatif, persamaannya menjadi:

$$V_{out} = V_{in} + V_{diode} \quad (8.4)$$

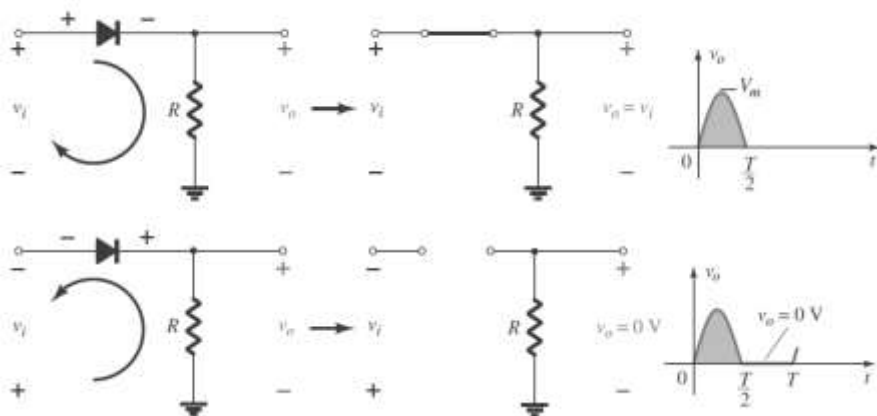
8.3.2 Konfigurasi Rangkaian *Clipper* Seri

Misalkan terdapat sinyal *input* sinusoidal seperti pada Gambar 8.6 berikut ini.

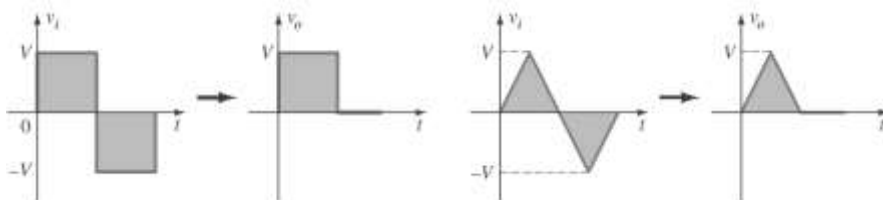


Gambar 8.6. Sinyal *Input* Sinusoidal pada Rangkaian *Clipper* Seri
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

Jika ingin dilakukan pemotongan positif menggunakan dioda, bagian atas sinyal sinusoidal yang melewati ambang batas tegangan maju dioda akan dipotong, dan sinyal *output*-nya akan terpotong seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.7. Dioda hanya menghantarkan arus ketika berada dalam keadaan bias maju, sehingga hanya setengah siklus AC yang melewati dioda. Ini mengakibatkan pemotongan sebagian gelombang AC. Dioda secara efektif memotong tegangan apapun yang tidak menyebabkan dioda dalam kondisi bias maju (*forward bias*), yaitu terjadi pada polaritas bias terbalik (*reverse bias*) dan tegangan di bawah 0,7V pada dioda silikon (Plonus, 2020).



Gambar 8.7. Konduksi pada Dioda saat *on* dan *off*
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

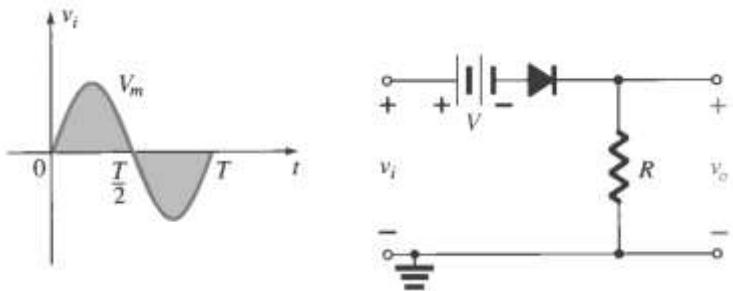


Gambar 8.8. Berbagai Bentuk Sinyal pada *Clipper* Seri
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

Respon dari konfigurasi *clipper* seri terhadap berbagai bentuk gelombang ditunjukkan pada Gambar 10.8. Tidak ada batasan jenis sinyal yang dapat diterapkan pada rangkaian *clipper* tersebut, meskipun pada contoh rangkaian penyearah setengah gelombang (*half-wave rectifier*) menggunakan sinyal gelombang sinusoidal.

Adanya penambahan sumber arus searah (DC) ke dalam rangkaian dapat menambah suplai atau bertentangan dengan tegangan sumber (V_i). Sumber arus searah (DC) dapat ditempatkan di antara suplai *input* (V_i) dan terminal *output* (V_o) atau terhubung

paralel dengan terminal *output*. Setiap tegangan positif dari *input* akan mencoba mengaktifkan dioda dengan mengalirkan arus melalui dioda yang sesuai dengan arah panah pada simbol dioda. Namun, tambahan sumber arus searah (DC) sebesar V volt akan melawan tegangan yang diterapkan dan mencoba menjaga dioda dalam keadaan "off". Sehingga, setiap tegangan *input* yang lebih besar dari V volt akan mengaktifkan dioda dan menyebabkan konduksi melalui beban resistor R (Boylestad & Nashelsky, 2013).

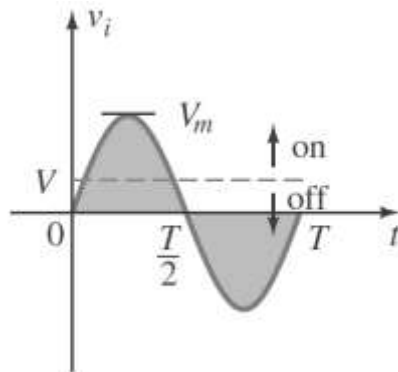


Gambar 8.9. *Clipper Seri dengan Penambahan Sumber DC*
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

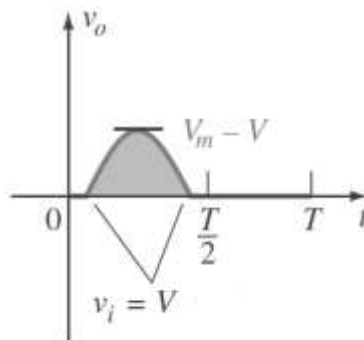
Perlu dicatat bahwa dioda yang digunakan adalah dioda ideal, sehingga tegangan penyalan dioda adalah 0 V. Berdasarkan operasi kerja dioda tersebut, dapat disimpulkan bahwa dioda akan bekerja untuk setiap tegangan V_i yang lebih besar dari V volt dan tidak bekerja untuk setiap tegangan yang lebih rendah. Untuk kondisi "off", tegangan keluaran akan menjadi 0 V karena kurangnya arus, dan untuk kondisi "on", tegangan keluaran akan menjadi $V_o = V_i - V$ sesuai dengan hukum tegangan *Kirchhoff* (*Kirchhoff's Voltage Law*).

Transisi perubahan nilai tegangan berada dalam rentang tegangan yaitu ketika dioda berada dalam kondisi bekerja (*on*) dan rentang tegangan di mana dioda berada dalam kondisi tidak bekerja (*off*). Pada karakteristik dioda ideal, kondisi transisi akan terjadi ketika $V_D = 0$ V dan $I_D = 0$ mA. Dengan pendekatan yang

sama, kondisi tersebut dapat ditentukan dengan mencari tegangan yang diterapkan saat dioda memiliki penurunan tegangan sebesar 0,7 V (untuk dioda silikon) dan $I_D = 0$ mA. Perlu diperhatikan bahwa sesaat setelah terjadi *short-circuit* pada dioda, besarnya tegangan pada resistor adalah 0 V karena arus dioda adalah 0 mA (Boylestad & Nashelsky, 2013).



Gambar 8.10. Penentuan Batas Level Transisi Tegangan
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)



Gambar 8.11. Hasil Sinyal *Output* di Atas dan di Bawah Level
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

Berdasarkan hasil perhitungan $V_i - V = 0$, maka didapatkan kondisi transisi tegangan terjadi ketika besar tegangan *input* adalah

$$V_i = V \quad (8.5)$$

Ketika dioda dalam kondisi bekerja (*on*), dioda dapat digantikan dengan rangkaian ekuivalen *short-circuit*, maka besarnya tegangan *output* adalah:

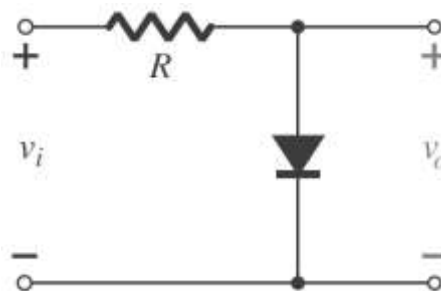
$$V_o = V_i - V \quad (8.6)$$

Sehingga besarnya tegangan *output* (V_o) ketika tegangan *input* (V_i) berada pada nilai puncaknya (V_m), sesuai Gambar 10.11, adalah :

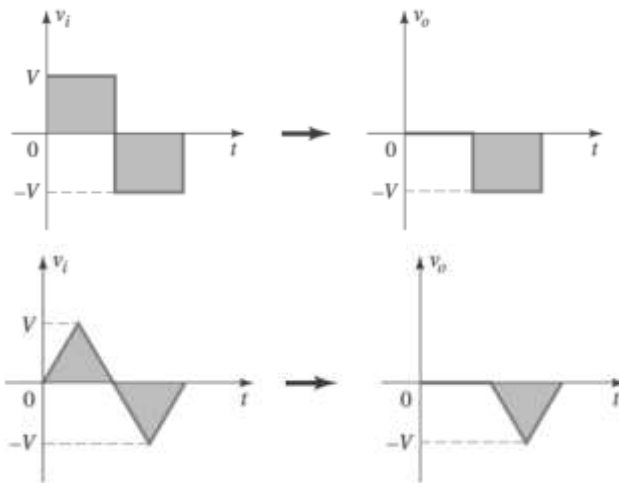
$$V_{o\text{puncak}} = V_m - V$$

Sedangkan ketika dioda tidak bekerja (*off*), maka dioda berada dalam kondisi *open-circuit*, $I_D = 0$ mA. Sehingga, besarnya tegangan *output* adalah

$$V_o = 0 \text{ V}$$



Gambar 8.12. Rangkaian *Clipper* Paralel
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)



Gambar 8.13. Berbagai Bentuk Sinyal pada *Clipper* Paralel
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

Pada rangkaian *clipper* dengan konfigurasi paralel, dioda dihubungkan secara paralel dengan beban, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.12. Tujuannya adalah untuk "memotong" atau mengubah bagian tertentu dari sinyal yang melampaui level tertentu, baik di atas atau di bawahnya, tanpa mempengaruhi bagian lain dari sinyal.

Ada dua jenis *clipper* yang umum digunakan yaitu:

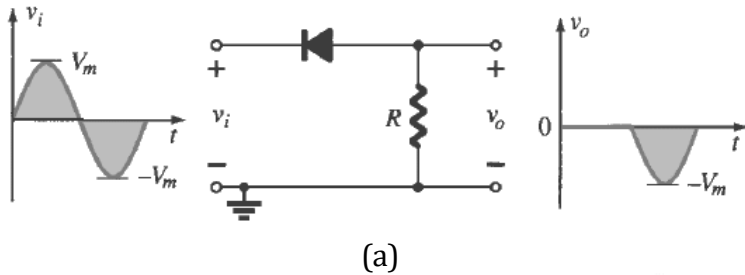
1. *Clipper* Positif

Pada konfigurasi ini, dioda ditempatkan sedemikian rupa sehingga hanya sinyal di atas level tertentu yang melewati dioda dan muncul di beban. Sinyal yang melampaui level akan "dipotong" menjadi level tersebut, menghasilkan sinyal keluaran yang telah dimodifikasi.

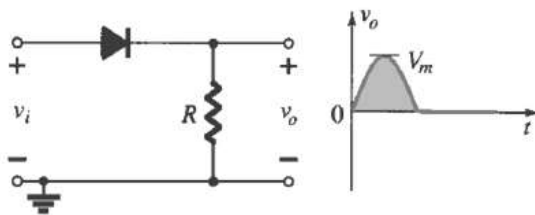
2. *Clipper* Negatif

Dalam konfigurasi ini, dioda ditempatkan untuk memotong bagian bawah dari sinyal yang melewati level tertentu.

Bagian sinyal di bawah level akan dihilangkan, dan sinyal keluaran akan mengalami perubahan.



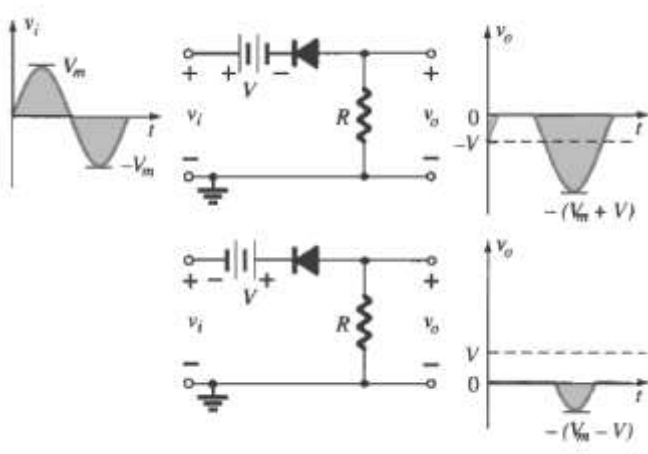
(a)



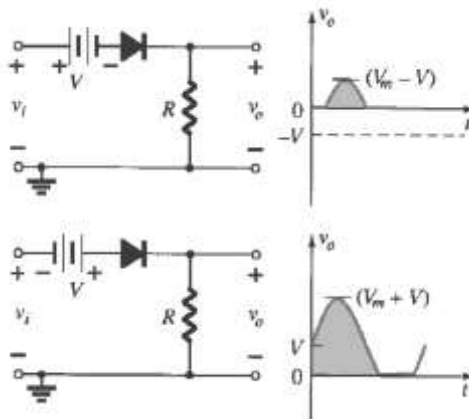
(b)

Gambar 8.14. Clipper Seri (a) Positif (b) Negatif
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

Pada rangkaian *clipper* sederhana, dengan melakukan pengukuran pada sinyal keluaran yang melintasi dioda, sinyal keluaran akan sama dengan tegangan masukan ketika dioda tidak bekerja (*nonconducting*). Sehingga, sumber arus searah (DC) dapat ditambahkan untuk mengubah besar tegangan bias maju (*forward bias*) yang dibutuhkan oleh dioda (Boylestad & Nashelsky, 2013).

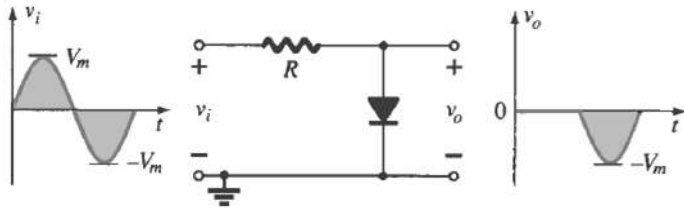


(a)

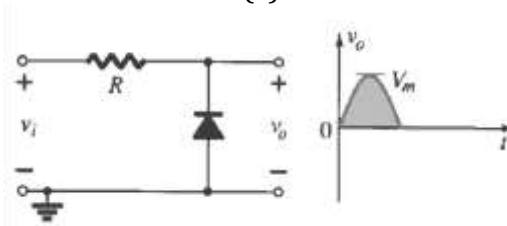


(b)

Gambar 8.15. Clipper Seri Terbias (*Biased Series Clipper*) (a) Positif
(b) Negatif
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

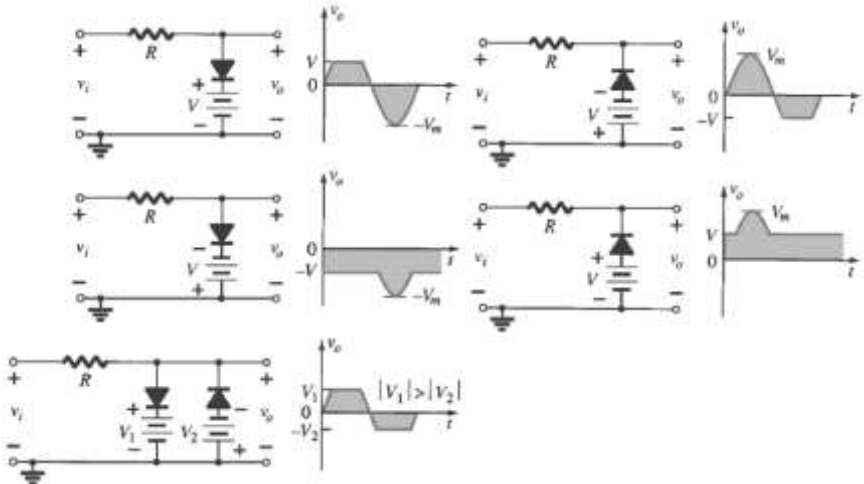


(a)



(b)

Gambar 8.16. *Clipper Paralel* (a) Positif (b) Negatif
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)



(a)

(b)

Gambar 8.17. *Clipper Paralel Terbias (Biased Parallel Clipper)* (a) Positif (b) Negatif. (Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

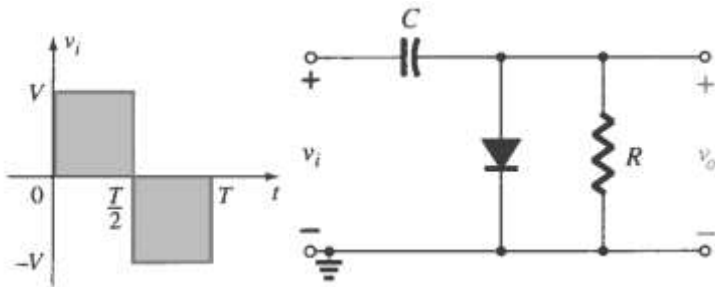
Pemotongan sinyal dengan dioda dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam proses pembentukan (*shaping*) dan pem-filter-an (*filtering*) sinyal. Dioda dalam peran ini digunakan untuk mengubah bentuk sinyal dengan membatasi atau memotong bagian tertentu dari sinyal *input*, sehingga menghasilkan bentuk sinyal *output* yang sesuai dengan kebutuhan. Dioda sebagai pengubah level sinyal dalam pemotongan sinyal berperan penting dalam mencapai hasil yang diinginkan dalam pemrosesan, manipulasi, atau transmisi sinyal.

8.4 Aplikasi Dioda sebagai *Clamper*

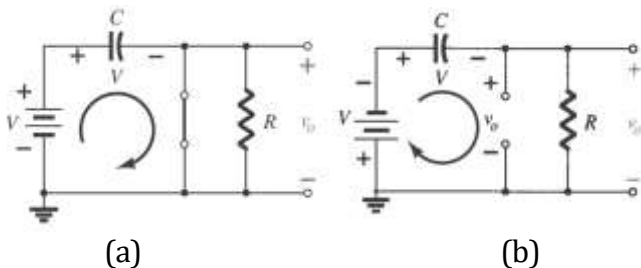
Dioda dapat digunakan sebagai pengubah level sinyal dalam penggeseran (*clamping*) sinyal dalam rangkaian *clamper* atau *DC restorers*. Penggeseran sinyal adalah proses menggeser atau memindahkan level dasar sinyal *input* sehingga level minimumnya sama dengan level referensi yang diinginkan.

Dioda digunakan untuk menggeser level sinyal, sehingga sinyal output tidak pernah turun di bawah level referensi yang ditentukan. Rangkaian *clamper* merupakan rangkaian yang terdiri dari dioda, resistor, dan kapasitor yang menggeser bentuk sinyal gelombang pada level tegangan DC tertentu tanpa mengubah bentuk sinyal masukan yang diberikan (Boylestad & Nashelsky, 2013). Kapasitor dihubungkan langsung antara sinyal masukan dan keluaran, sementara resistor dan dioda dihubungkan secara paralel dengan sinyal keluaran, di mana sumber arus searah (DC) juga dapat dihubungkan secara seri dengan dioda sebagai komponen tambahan. Penambahan sumber DC digunakan untuk memberikan pergeseran tambahan pada sinyal keluaran. Nilai resistor dan kapasitor yang digunakan harus dipilih sedemikian rupa sehingga konstanta waktu (*time constant*) yang ditentukan oleh $\tau = RC$ cukup besar untuk memastikan bahwa tegangan kapasitor tidak mengalami penurunan (*discharge*) yang signifikan selama interval di mana dioda tidak menghantarkan arus (*nonconducting*),

misalkan kapasitor sepenuhnya terisi atau kosong dalam lima konstanta waktu.



Gambar 8.18. Rangkaian *Clamper*
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

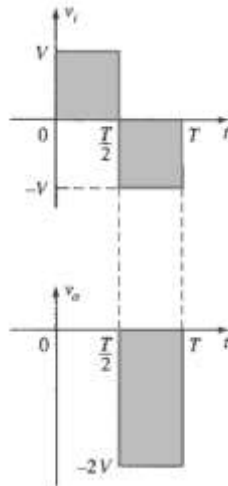


Gambar 8.19. Dioda *Clamper* saat kondisi (a) "on" dan (b) "off"
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

8.4.1 Prinsip Kerja Penggeseran Sinyal dengan Dioda

Respon sinyal masukan yang melewati dioda dapat diamati ketika dioda berada dalam kondisi "on", di mana dapat diasumsikan bahwa kapasitor akan mengisi daya secara cepat hingga level tegangan tertentu yang ditentukan pada rangkaian. Dioda akan mengalami *forward biased* selama siklus positif dari sinyal masukan pada interval 0 hingga $T/2$. Rangkaian ekuivalen *short-circuit* pada dioda akan menghasilkan $V_o = 0$ V selama interval waktu tersebut. Selama interval waktu yang sama tersebut, konstanta waktu dengan $\tau = RC$ akan bernilai sangat kecil karena

resistor R menjadi *short-circuit* disebabkan oleh dioda yang bekerja menghantarkan arus (*conducting*), dan satu-satunya resistansi yang ada adalah resistansi inheren (kontak, kabel) dari rangkaian. Akibatnya, kapasitor akan dengan cepat mengisi daya hingga nilai puncak V volt. Selama periode saat dioda dalam keadaan "*off*", kapasitor akan mempertahankan level tegangan yang ada.



Gambar 8.20. Sinyal *Input* dan *Output* Rangkaian *Clamper*
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

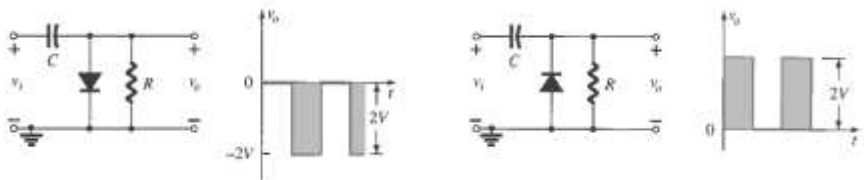
Ketika sinyal masukan beralih ke siklus negatif ($-V$), dioda berada dalam kondisi *open-circuit*. Rangkaian ditentukan oleh sinyal masukan dan tegangan yang tersimpan pada kapasitor dan bersama-sama "mendorong" arus melalui dioda dari katoda ke anoda dan melewati beban R .

Konstanta waktu (τ) yang ditentukan oleh perkalian RC , menjadi cukup besar untuk melakukan *discharge* kapasitor selama periode 5τ (diasumsikan), di mana jauh lebih besar daripada periode $T/2 \rightarrow T$, dan juga dapat diasumsikan bahwa kapasitor mempertahankan semua muatan dan tegangan ($V=Q/C$) selama periode ini.

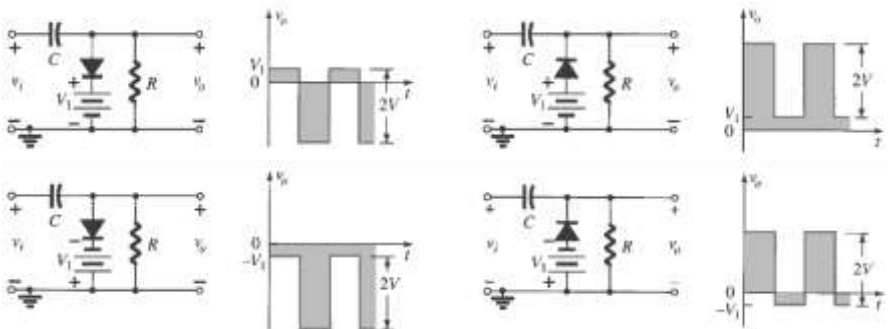
Karena V_o terhubung paralel dengan dioda dan resistor, tegangan V_o juga dapat digambarkan pada kaki terminal dioda. Dengan menerapkan hukum tegangan *Kirchhoff* (*Kirchhoff's Voltage Law*) pada *loop* tertutup, maka besarnya tegangan *output* adalah

$$-V - V - V_o = 0 \rightarrow V_o = -2V$$

Tanda negatif menunjukkan bahwa polaritas $2V$ berlawanan dengan polaritas yang ditentukan untuk V_o . Sinyal keluaran yang dihasilkan tampak pada Gambar 8.20 bersama dengan sinyal masukannya. Sinyal keluaran dipindahkan ke 0 V untuk interval 0 hingga $T/2$, tetapi dengan tetap mempertahankan rentang total tegangan yang sama ($2V$) seperti sinyal masukan.



Gambar 8.21. Pergeseran Positif & Negatif Sinyal Keluaran
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

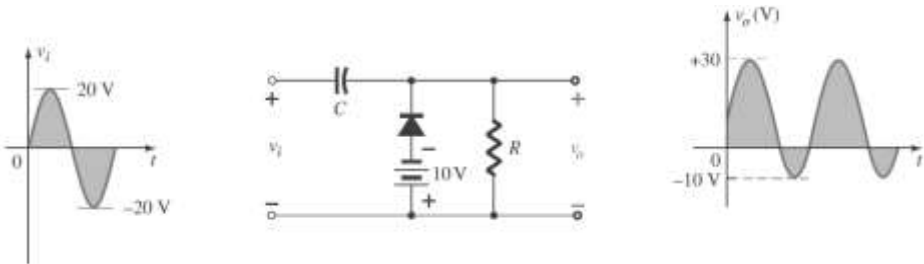


Gambar 8.22. Berbagai Macam Rangkaian *Clamper* Terbias
(*Biased Clamper*)

(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

Berbagai macam konfigurasi rangkaian *Clamper* dan pengaruhnya terhadap sinyal keluaran, dapat ditunjukkan oleh Gambar 8.22, dengan asumsi dioda yang digunakan adalah ideal dan besarnya periode $5\tau = 5RC \gg T/2$.

Selain gelombang persegi, rangkaian *Clamper* juga berfungsi dengan baik untuk sinyal gelombang sinusoidal. Dalam memudahkan pemahaman, sinyal masukan sinusoidal pada rangkaian *Clamper* dapat digantikan dengan gelombang persegi yang memiliki nilai puncak yang sama. Keluaran yang dihasilkan kemudian akan membentuk sebuah *envelope* (gelombang luar / selubung dari sinyal termodulasi) berdasarkan respon sinyal sinusoidal yang dihasilkan (Boylestad & Nashelsky, 2013).



Gambar 8.23. Rangkaian *Clamper* dengan Sinyal *Input* Sinusoidal
(Sumber : Boylestad and Nashelsky, 2013)

DAFTAR PUSTAKA

- Boylestad, R. L. & Nashelsky, L., 2013. *Electronic Devices and Circuit Theory*. Eleventh Edition. New Jersey: Pearson Education.
- Brindley, K., 2011. 'Diodes II (Chapter 7)' in K. Brindley (Ed.), *Starting Electronics*. Fourth Edition. Oxford: Newnes, pp. 111–127. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096992-3.00007-X>
- Busarello, T. D. C., Simões, M. G., & Pomilio, J. A., 2018. 'Semiconductor Diodes and Transistors (Chapter 2)' in M. H. Rashid (Ed.), *Power Electronics Handbook*. Fourth Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, pp. 15–48. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811407-0.00002-7>
- Maswood, A. I., 2011. 'The Power Diode (Chapter 2)' in M. H. Rashid (Ed.), *Power Electronics Handbook*. Third Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, pp. 17–27. Available at <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382036-5.00002-1>
- Plonus, M., 2020. 'Diode Applications (Chapter 3)' in M. Plonus (Ed.), *Electronics and Communications for Scientists and Engineers*. Second Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, pp. 121–139. Availabe at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817008-3.00003-6>
- Razavi, B., 2021. *Fundamentals of Microelectronics*. 3rd Edition. New Jersey: John Wiley & Sons.

BAB 9

TRANSISTOR BIPOLAR (BJT)

Oleh S. Nurmuslimah

9.1 Pendahuluan

Rangkaian elektronika terdiri dari berbagai komponen penyusun yang mempunyai fungsi tersendiri pada rangkaian. Setiap komponen penyusun mempunyai karakteristik dan spesifikasi yang telah disusun sesuai dengan tipenya pada *datasheet*. Transistor merupakan salah satu komponen elektronika yang mempunyai tipe bervariasi dengan karakteristik dan spesifikasi yang berbeda sehingga aplikasinya disesuaikan dengan kebutuhan dalam perancangan. Transistor dibagi menjadi 2 kelas utama yaitu *Bipolar Junction Transistor* (BJT) dan *Field Effect Transistor* (FET). Transistor diklasifikasikan berdasarkan bahan semikonduktor penyusunnya yaitu silikon dan germanium. Berdasarkan aplikasi dari transistor yang dirancang yaitu sebagai penguat, *switching*, *high voltage* atau *small signal* [J Bird,2007].

Pada tahun 1949, Shockley mencoba teori transistor *junction* dan hasil pertamanya dihasilkan dalam tahun 1951. Dampak transistor dalam elektronik sangatlah besar. Di samping dimulainya industri semikonduktor *multi-bilyun* dollar, transistor pun telah membuka jalan pada penemuan-penemuan rangkaian terintegrasi, piranti *opto-elektronik* dan *prosesor-mikro*. [Malvino,1995]

Transistor merupakan divais semikonduktor yang berfungsi sebagai penguat arus, tegangan, dan sinyal. BJT (*Bipolar Junction Transistor*) merupakan jenis transistor yang sering digunakan. Disebut '*Bipolar*' karena pengoperasian

transistor ini melibatkan *hole* dan *elektron* dalam proses kerjanya. Sementara jika hanya melibatkan salah satu *carrier* (*elektron* atau *hole*), maka disebut *unipolar*. Setiap transistor *bipolar* dibedakan dengan kode bilamana kode tersebut telah terlampir pada *datasheet* sesuai dengan jenisnya. Pada transistor *bipolar* juga dikenal adanya faktor beta (β) atau biasanya disebut dengan *current gain* (h_{FE}) yang merupakan perbandingan antara arus *collector* (I_C) dan arus *base* (I_B). Transistor untuk tipe yang sama belum tentu mempunyai harga h_{FE} yang sama [R. Boylestad and L. Nashelsky, 2009].

Pernyataan tersebut menyatakan kalau setiap transistor mempunyai karakteristik masing-masing. Kata karakteristik di sini mendefinisikan daerah kerja dari transistor. Daerah kerja dari transistor tersebut dapat digambarkan dengan kurva yang menggambarkan perbandingan arus dan tegangan yang dideteksi pada transistor. Kurva karakteristik dari transistor dapat ditampilkan dengan menggunakan sebuah alat ukur semikonduktor yaitu *Curve Tracer*. *Curve Tracer* tersedia dari berbagai manufaktur dalam bentuk alat sudah yang terintegrasi dengan *power supply*, *switch*, dan tampilan XY. *Curve tracer* praktis untuk digunakan tetapi harganya mahal. [J. Gaston and P. D. Hiscocks, 2007].

Berdasarkan alasan tersebut, maka dibuat alat ukur yang bersifat *low cost* yang bisa menampilkan karakteristik kurva dari *Bipolar Junction Transistor* (BJT) berbasis *Personal Computer* (PC). Kurva yang bisa ditampilkan ada 3 yaitu kurva $I_C - V_{BE}$, kurva $I_C - V_{CE}$, dan $I_C - h_{FE}$ dalam rentang I_B pada *Personal Computer* (PC). I_B dan I_C adalah arus *base* dan arus *collector* yang masuk pada BJT. V_{BE} adalah tegangan antara *base* dan *emitter*, sedangkan V_{CE} merupakan tegangan antara *collector* dan *emitter*. Pembuatan alat ukur ini dapat digunakan untuk keperluan praktikum di laboratorium sehingga praktikan mengerti dengan karakteristik kurva dari BJT. Transistor yang

diukur adalah *small signal* transistor tipe *bipolar*. *Small signal* transistor adalah transistor yang di-*design* untuk penguatan tegangan kecil.

BJT merupakan transistor 3 *layer* yang terdiri dari 2 *layer* tipe-n dan 1 *layer* tipe-p (disebut transistor npn) atau 2 *layer* tipe-p dan 1 *layer* tipe-n (disebut transistor pnp). *Bipolar Junction transistor* (BJT) terbagi menjadi 2 jenis yaitu transistor *bipolar* jenis NPN dan jenis PNP. BJT terdiri dari 3 terminal yaitu terminal *emitter* (E), *collector* (C), dan *base* (B). *Emitter* merupakan sumber *majority carier* yang diberi *doping* sejumlah $10^{19} / \text{cm}^3$ (*heavily doped*). *Base* di *doping* lebih tipis dan lebih kecil dikarenakan agar tidak terjadi rekombinasi serta memiliki waktu *transien* yang kecil. *Collector* di *doping* lebih kecil tetapi *layer*-nya lebih besar dibandingkan dengan *emitter* dikarenakan untuk mengurangi disipasi.

9.2 Karakteristik Dalam Semikonduktor

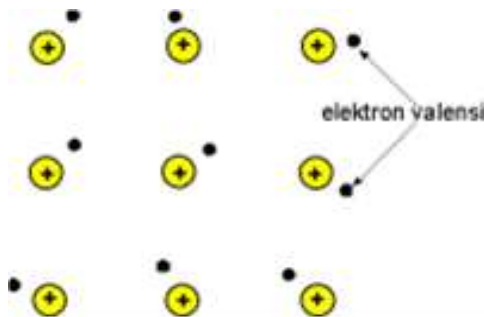
Semikonduktor elementer terdiri atas unsur-unsur pada sistem periodik golongan IVA seperti Silikon (Si), Germanium (Ge) dan Carbon (C). Carbon semikonduktor ditemukan dalam bentuk kristal intan. Semikonduktor intan memiliki konduktivitas panas yang tinggi sehingga dapat digunakan dengan efektif untuk mengurangi efek panas pada pembuatan semikonduktor laser.

Semikonduktor merupakan elemen dasar dari komponen elektronika seperti dioda, transistor dan sebuah IC. Disebut semi atau setengah konduktor, karena bahan ini memang bukan konduktor murni. Bahan-bahan logam seperti tembaga, besi, timah disebut sebagai konduktor yang baik sebab logam memiliki susunan atom yang sedemikian rupa, sehingga elektronnya dapat bergerak bebas. Sebenarnya atom tembaga dengan lambang kimia Cu memiliki inti 29 ion (+) dikelilingi oleh 29 elektron (-). Sebanyak 28 elektron

menempati orbit-orbit bagian dalam membentuk inti yang disebut nukleus. Dibutuhkan energi yang sangat besar untuk dapat melepaskan ikatan elektron-elektron ini. Satu buah elektron yaitu elektron yang ke-29, berada pada orbit paling luar. Orbit terluar ini disebut pita valensi dan elektron yang berada pada pita ini dinamakan elektron valensi. Karena hanya ada satu elektron dan jaraknya 'jauh' dari nukleus, ikatannya tidaklah terlalu kuat. Hanya dengan energi yang sedikit saja elektron terluar ini mudah terlepas dari ikatannya.

Pada suhu kamar, elektron tersebut dapat bebas bergerak atau berpindah-pindah dari satu *nukleus* ke *nukleus* lainnya. Jika diberi tegangan potensial listrik, elektron-elektron tersebut dengan mudah berpindah ke arah potensial yang sama. Fenomena ini yang dinamakan sebagai arus listrik. Isolator adalah atom yang memiliki elektron valensi sebanyak 8 buah, dan dibutuhkan energi yang besar untuk dapat melepaskan elektron-elektron ini. Dapat ditebak, semikonduktor adalah unsur yang susunan atomnya memiliki elektron valensi lebih dari 1 dan kurang dari 8. Di mana "semikonduktor" adalah unsur yang atomnya memiliki 4 elektron valensi.

Semikonduktor *Intrinsik* terbentuk dari semikonduktor murni yang memiliki ikatan kovalen sempurna seperti Si, Ge, C dan sebagainya. Mekanisme terbentuknya semikonduktor *intrinsik* diperlihatkan pada semikonduktor murni seperti Si. Pada kondisi normal atom-atom Si saling berikatan melalui 4 ikatan kovalen (masing-masing memiliki 4 elektron valensi). Ketika suhu dinaikkan maka stimulasi panas akan mengganggu ikatan valensi sehingga salah satu elektron valensi akan berpindah ke pita konduksi. Lokasi yang ditinggalkan oleh elektron valensi akan membentuk *hole*. Pasangan *hole* dan elektron ini menjadi pembawa muatan dalam semikonduktor *intrinsik*. Proses ini diperlihatkan pada gambar berikut:

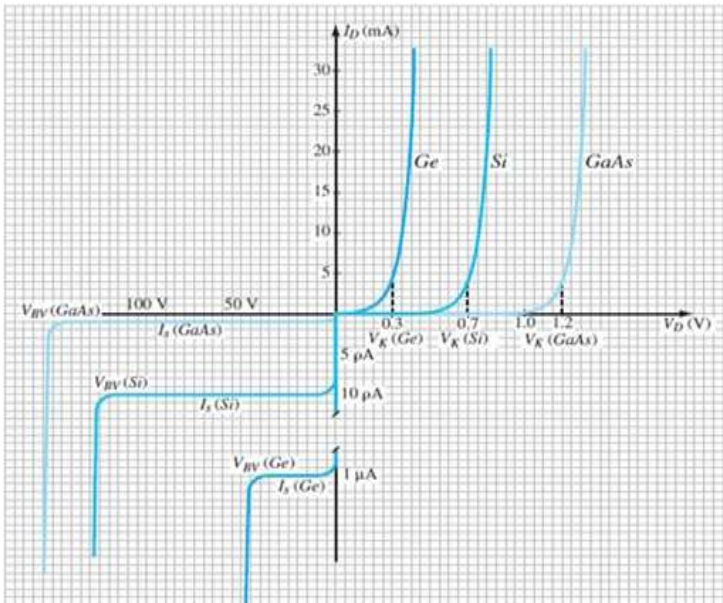


Gambar 9.1. Ikatan atom tembaga

Ketika dioda dicatu pada tegangan tertentu secara *forward biased*, nilai tegangan tersebut memaksa elektron pada tipe-N dan *hole* pada tipe-P berkombinasi dengan ion-ion pada daerah *depleksi*. Akibatnya, daerah *depleksi* mengecil. Muatan yang berasal dari sumber membuat *region* tipe-P semakin positif (semakin banyak *hole*) dan *region* tipe-N semakin negatif (semakin banyak elektron). Seiring dengan peningkatan potensial catu daya, muatan yang berkombinasi. Semakin banyak sehingga muatan mulai mengalir melewati daerah *depleksi* (daerah *depleksi* semakin menyempit). Hal ini menyebabkan *majority carrier* tiap *region* dapat dengan mudah melewati daerah *depleksi*, sehingga terjadi lonjakan arus yang mengalir melalui dioda.

Ketika dioda dicatu pada tegangan tertentu secara *reverse biased*, jumlah ion positif pada daerah *depleksi* akan semakin banyak karena elektron bebas pada *region* tipe-N tertarik mendekati potensial positif dari tegangan catu (atau dapat diasumsikan ketika muatan potensial positif, *hole*, masuk ke *region* tipe-N maka elektron akan mengisi *hole* pada *region* tersebut. Sama seperti *mode no biased*, ketika elektron meninggalkan posisinya, ion positif akan terbentuk). Dengan alasan yang sama berlaku juga untuk *region* tipe-P, sehingga

daerah *depleksi* semakin melebar. Pelebaran daerah *depleksi* menyebabkan *majority carrier* tiap *region* sangat sulit melewatinya, sehingga mereduksi arus mendekati nol.



Gambar 9.2. Kurva Karakteristik

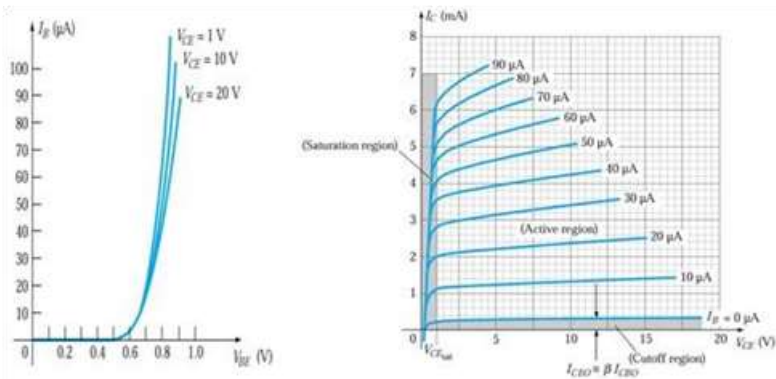
Gambar 9.2 menjelaskan karakteristik yang terbuat dari bahan dasar yang berbeda. Sumbu V positif menjelaskan kondisi pada *mode forward biased* dan sumbu V negatif menjelaskan kondisi pada *mode reverse biased*. Dapat dilihat bahwa ketika diberi potensial positif, arus tidak langsung mengalir pada dioda sampai potensial positif mencapai nilai tertentu. Setelah potensial positif mencapai nilai tertentu barulah dioda dialiri arus, atau disebut *on-state*. Ketika polaritasnya dibalik, arus yang mengalir pada dioda sangat kecil sekali mendekati nol (*off-state*). Namun jika nilai potensialnya terus dinaikkan sampai nilai tertentu (namun sangat besar)

akan terjadi lonjakan arus. Lonjakan arus ini diakibatkan oleh peningkatan kecepatan pergerakan *minority carrier* (pada *reverse biased carrier* yang bergerak adalah *minority carrier*), yang mampu merubah susunan atom stabil sehingga menimbulkan *carrier* tambahan, dan elektron valensi yang mengalami proses ionisasi. *Carrier* tambahan tersebut dapat membantu proses ionisasi tersebut di titik dimana lonjakan arus tersebut terjadi. Area dimana titik lonjakan arus pada *mode reverse biased* terjadi disebut *breakdown region*. Titik *breakdown region* dapat diperkecil dengan meningkatkan atom *dopant* pada kedua *region* dioda. *Breakdown region* yang memiliki titik *breakdown* yang lebih kecil disebut *zener region*.

9.3 Digital to Analog Converter (DAC)

Digital to Analog Converter adalah perangkat untuk mengkonversi sinyal masukan dalam bentuk digital menjadi sinyal keluaran dalam bentuk *analog*. Secara mendasar, pengkonversian digital menjadi analog adalah suatu proses untuk mendapatkan nilai yang direpresentasikan dalam bentuk kode digital (seperti BCD) dan mengkonversi data digital menjadi tegangan atau arus yang sebanding dengan nilai digital tersebut.[R.J ,Tocci, 2010]

Kurva karakteristik *input* dan *output* pada transistor dapat dilihat dengan menggunakan alat ukur bernama *Curve Tracer*. *Curve Tracer* merupakan alat ukur semikonduktor yang menampilkan karakteristik kurva dari semikonduktor yang diuji.[J.Bird, 2007]



Gambar 9.3. Karakteristik *Input* dan *Output* dari Transistor bipolar. (Sumber: R. Boylestad and L. Nashelsky)

Digital To Analog Converter (DAC) biasanya tersedia dalam bentuk *Integrated circuit* (IC). Pemilihan DAC untuk aplikasi yang khusus biasanya berdasarkan spesifikasi yang dimiliki oleh DAC tersebut seperti :

1. **Resolusi**
Resolusi dari DAC ditentukan oleh banyaknya bit. Semakin besar bit dari DAC, maka semakin baik juga resolusi yang dimiliki oleh DAC tersebut.
2. **Akurasi**
Pabrik DAC mempunyai beberapa cara untuk menyatakan akurasi. Akurasi biasanya disebut dengan *full scale error* dan *linearity error* yang dinyatakan dalam persentase (%F.S.). *Full scale error* adalah penyimpangan maksimum dari output DAC dari nilai idealnya sedangkan *Linearity error* adalah penyimpangan maksimum *step size* dari nilai idealnya.
3. **Offset error**
Secara ideal output dari DAC akan bernilai 0 Volt apabila nilai *input* biner bernilai 0. Dalam praktek, bagaimanapun

akan ada *output* tegangan yang sangat kecil pada DAC. Hal ini yang dinamakan *offset error*.

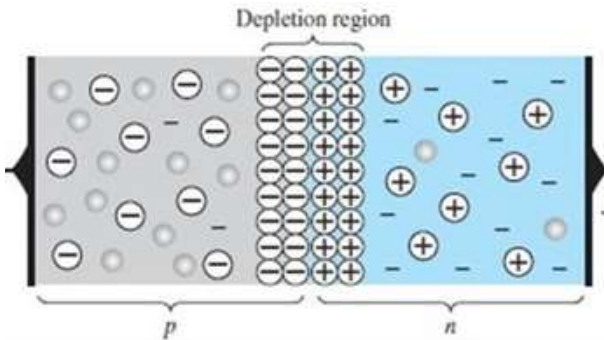
4. *Settling Time*

Kecepatan operasi dari DAC biasanya dinyatakan dengan *settling time* yang merupakan waktu yang dibutuhkan oleh DAC untuk menghasilkan *output*. DAC yang digunakan adalah DAC yang dikemas dalam bentuk *Integrated Circuit* (IC) dengan tipe 0800 dengan resolusi 8.

9.4 Prinsip Kerja Bipolar Junction Transistor

Transistor mempunyai dua *junction*, yang satu adalah antara *emitter* dan *basis*, dan yang lain antara *basis* dan *coilektor*. Karenanya transistor seperti dua dioda yang sebelah kiri sebagai dioda *basis-emitter* atau dioda *emitter* dan dioda sebelah kanan adalah dioda *basis-coilektor* atau dioda *coilektor*. [Malvino, 1995]

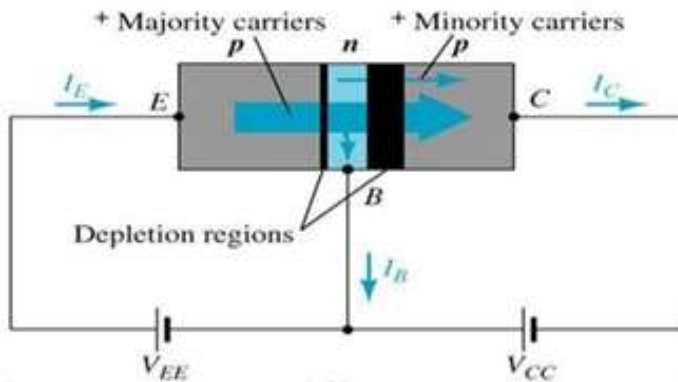
Secara umum, PN junction dioda difabrikasikan dengan kondisi salah satu semikonduktornya diberi *dopant* lebih tinggi dari semikonduktor lainnya, misalnya *dopant* semikonduktor tipe-P lebih tinggi daripada *dopant* semikonduktor tipe-N. Ketika kedua semikonduktor disatukan, muatan dari setiap tipe yang berada di daerah permukaan kontak akan saling berdifusi ke tipe lainnya, *hole* dari tipe-P akan berdifusi ke tipe-N dan sebaliknya. Ketika elektron dari tipe-N berdifusi ke tipe-P, ia meninggalkan ion positif, sedangkan ketika *hole* berdifusi membentuk ion negatif. Hasilnya adalah ion positif terkumpul di permukaan kontak tipe-N dan ion negatif terkumpul di permukaan kontak tipe-P. Daerah yang berisi ion-ion ini disebut daerah deplesi (*depletion region*). Kondisi dioda yang seperti ini terjadi pada *mode no biased*.



Gambar 9.4. Keadaan Setelah Kontak (*PN Junction Diode*)

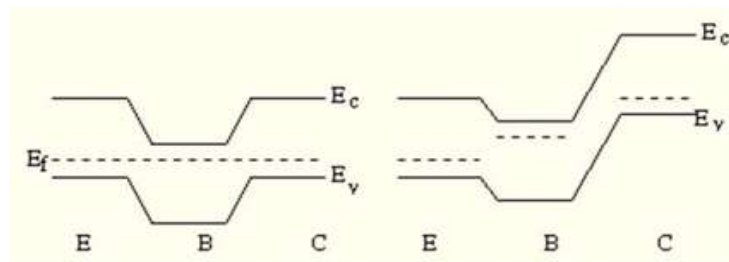
Konsentrasi *hole* dan *elektron* menjadi sangat kecil dibandingkan dengan konsentrasi ketidakmurnian pada daerah deplesi akibat medan *elektrostatik* yang sangat tinggi. Intensitas medan listrik mengarah dari kiri ke kanan (gambar 9.4 kiri) atau kanan ke kiri (gambar 9.4 kanan) karena medan listrik didefinisikan sebagai gaya pada satuan muatan positif. Pada kondisi tersebut, *hole* dan elektron terus saling berdifusi. Jika terus demikian maka yang sebelumnya tipe-P menjadi tipe-N dan sebaliknya merupakan hal yang salah. Medan listrik yang tercipta setelah difusi memaksa *elektron* dan *hole* kembali ke tempat asalnya, sehingga jumlah arus total yang terjadi pada kondisi ini bernilai 0. Kemudian berdifusi lagi dst. Arus yang diakibatkan oleh adanya medan listrik disebut arus *drift*.

Prinsip kerja dari BJT dideskripsikan dengan aliran *minority* dan *majority carrier*, dimana menggunakan BJT tipe pnp. Apabila di perhatikan, terdapat dua p-n *junction* pada BJT yang memiliki daerah *deplesi* yang berbeda.



Gambar 9.5. Aliran *majority* dan *minority carrier* pada transistor pnp

Dalam keadaan *forward active*, salah satu p-n junction pada transistor diberi *forward biased* dan yang lain diberi *reverse biased*. Ketika kedua p-n junction telah diberi tegangan potensial, maka akan terjadi aliran antara *minority* dan *majority carrier*. Ketika p-n junction diberi *forward biased* maka sejumlah *majority carrier* akan berdifusi dari material tipe p ke tipe n dikarenakan daerah *depleksi* yang kecil. *Carriers* yang berdifusi tersebut akan berkontribusi langsung menuju arus *base* I_B atau langsung lewat menuju material tipe p. Dikarenakan pada material tipe-n memiliki ketebalan yang tipis dan konduktifitas yang rendah maka arus yang mengalir menuju terminal *base* akan sangat kecil. *Majority carrier* akan bertindak sebagai *minority carrier* pada saat berada pada material tipe-n. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa telah terjadi *injeksi minority carrier* pada material tipe-n. Oleh karena itu semua *minority carrier* pada daerah *depleksi* (*base-collector*) akan bergerak melewati *reverse-biased junction* dan menuju terminal *kollektor* atau yang dikatakan sebagai arus *drift*.

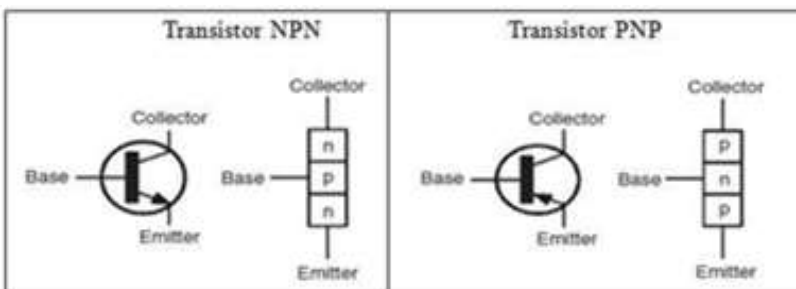


Gambar 9.6. Band Diagram transistor pnp

9.5 Konfigurasi Bipolar Junction Transistor

Bipolar Junction Transistor (BJT) adalah transistor yang memiliki 3 terminal yaitu *emitter*, *base*, dan *collector*. Transistor *bipolar* terdiri dari 2 jenis yaitu NPN dan PNP. Transistor juga diklasifikasikan berdasarkan bahan semikonduktor penyusunnya yaitu silikon atau germanium. Transistor ini disebut *bipolar* karena *holes* dan *electrons* berpartisipasi dalam proses *injeksi* pada material yang mempunyai polaritas yang berbeda [R. Boylestad and L. Nashelsky, 2009].

Jenis-jenis dan simbol dari Transistor *bipolar* dapat dilihat pada Gambar berikut :



Gambar 9.7. Jenis dan Simbol dari Transistor *Bipolar*
(Sumber : J.Bird, 2007)

Transistor *bipolar* akan bekerja atau berada dalam keadaan “on” bila tegangan pada *base emitter* (V_{BE}) sebesar 0.7 Volt.[R. Boylestad and L. Nashelsky, 2009].

Hubungan antara arus *collector*, *base*, dan arus *emitter* pada BJT dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$I_E = I_C + I_B$$

Dimana :

I_E : Arus *emitter* (A)

I_C : Arus *collector* (A)

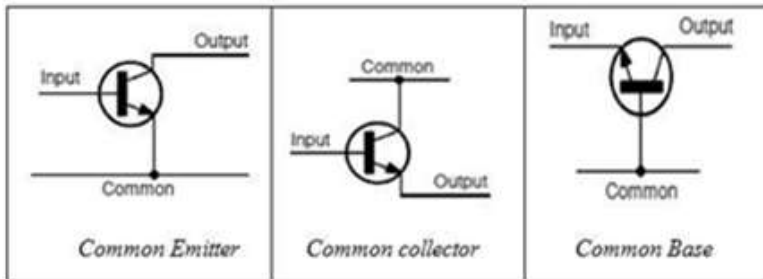
I_B : Arus *base* (A)

Arus *base* pada transistor sangat kecil tetapi sangat penting karena arus *base* yang kecil mengendalikan arus yang lebih besar pada *collector* dan *emitter*. *Current gain* adalah salah satu karakteristik transistor. *Current gain* biasanya disimbolkan dengan β atau h_{FE} yang merupakan hasil pembagian antara arus *collector* (I_C) dengan arus *base* (I_B) transistor. Transistor untuk tipe yang sama belum tentu mempunyai harga β yang sama [R. Boylestad and L. Nashelsky, 2009].

Karakteristik dari BJT biasanya digambarkan dalam bentuk kurva yang menggambarkan hubungan tegangan dan arus yang diberikan pada terminal dari transistor. Karakteristik dari transistor ada 2 yaitu karakteristik *input* dan karakteristik *output*. Pada pembahasan ini dibahas karakteristik transistor dengan menggunakan konfigurasi *common emitter*. Karakteristik *input* pada transistor *bipolar* digambarkan dengan kurva perbandingan $I_B - V_{BE}$ dalam rentang V_{CE} , sedangkan karakteristik *output* transistor digambarkan dengan kurva perbandingan $I_C - V_{CE}$ dalam rentang I_B . Kurva karakteristik *input* dan *output* pada transistor dapat dilihat dengan menggunakan alat ukur bernama *Curve Tracer*. *Curve Tracer* merupakan alat ukur semikonduktor yang menampilkan

karakteristik kurva dari semikonduktor yang diuji.[J.Bird, 2007]

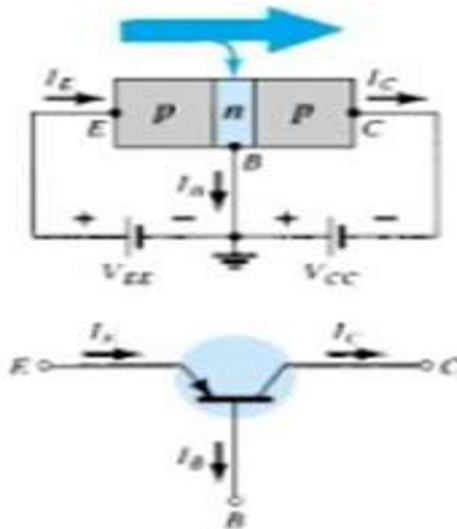
Pada dasarnya transistor bipolar yang digunakan sebagai penguat. Ada 3 konfigurasi yang digunakan untuk mengoperasikan sebuah transistor *bipolar* yaitu konfigurasi *common-base*, *common-collector*, dan *common-emitter* yang ditunjukkan seperti pada Gambar berikut :



Gambar 9.8. Konfigurasi pada Transistor *Bipolar*
(Sumber : J.Bird, 2007)

9.5.1 Konfigurasi *Common Base*

Seperti namanya, yang dimaksud dengan konfigurasi *Common input* maupun *output*. Pada konfigurasi *Common Base*, sinyal *input* dimasukkan ke *Emitter* dan sinyal *output*-nya diambil dari *Collector*, *Input* dan *Output*. Pada konfigurasi *Common Emitter*, sinyal disambungkan terhadap *ground* dan digunakan bersama, sedangkan kaki basisnya di-*ground*-kan. Oleh karena itu, *Common Base* juga sering disebut dengan istilah "*Grounded Base*".

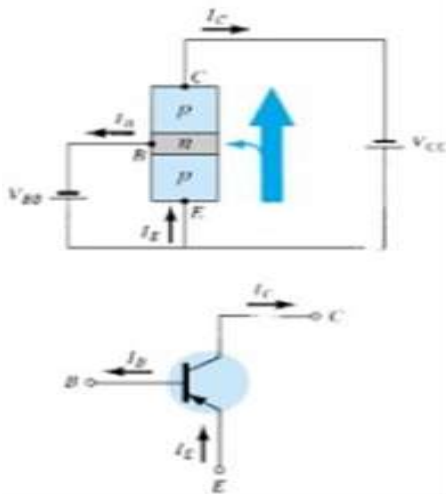


Gambar 9.9. Konfigurasi *Common Base* (PNP)

Konfigurasi *Common Base* menghasilkan penguatan tegangan antara sinyal *input* dan sinyal *output* namun tidak menghasilkan penguatan pada arus.

9.5.2 Konfigurasi *Common Emitter*

Common Emitter adalah konfigurasi transistor dimana kaki *emitter* transistor di-*ground*-kan dan dipergunakan bersama untuk *input* dan *output*. Pada Konfigurasi *Common Emitter*, sinyal *input* dimasukkan ke Basis dan sinyal *output*-nya diperoleh dari kaki *Collector*.

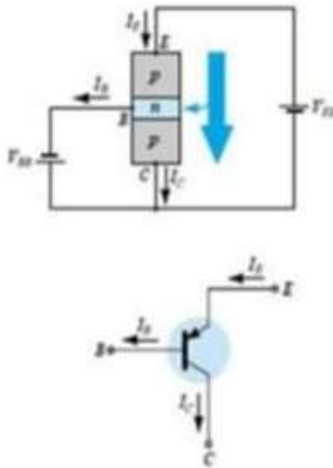


Gambar 9.10. Konfigurasi *Common Emitter* (PNP)

Konfigurasi *common emitter* atau emitor bersama merupakan konfigurasi transistor yang paling sering digunakan, terutama pada penguat yang membutuhkan penguatan tegangan dan arus secara bersamaan. Hal ini dikarenakan konfigurasi transistor dengan *common emitter* menghasilkan penguatan tegangan dan arus antara sinyal *input* dan sinyal *output*.

9.5.3 Konfigurasi *Common Collector*

Pada Konfigurasi *common collector*, *input* disambungkan ke basis transistor sedangkan *output*-nya diperoleh dari *emitter* transistor sedangkan *collector* di-*ground*-kan dan digunakan bersama untuk *input* maupun *output*. Konfigurasi *common collector* atau *collector* bersama memiliki sifat dan fungsi yang berlawanan dengan *common base*.



Gambar 9.11. Konfigurasi *Common Collector* (PNP)

Pada *common base* menghasilkan penguatan tegangan tanpa memperkuat arus, maka *common collector* memiliki fungsi yang dapat menghasilkan penguatan arus namun tidak menghasilkan penguatan tegangan.

9.6 Analysis BJT AC

Dalam sebuah penguat transistor, sumber dc menaikkan arus dan tegangan dc. Sumber ac menimbulkan *fluktuasi* dalam arus dan tegangan transistor. Cara yang paling sederhana untuk menganalisa kerja dari rangkaian transistor adalah membagi analisa menjadi dua bagian yaitu analisa dc dan ac. Dengan perkataan lain, juga dapat menganalisa rangkaian transistor dengan menggunakan teorema superposisi dalam suatu cara yang khusus.

Adapun langkah-langkah dalam menggunakan superposisi pada rangkaian transistor adalah :

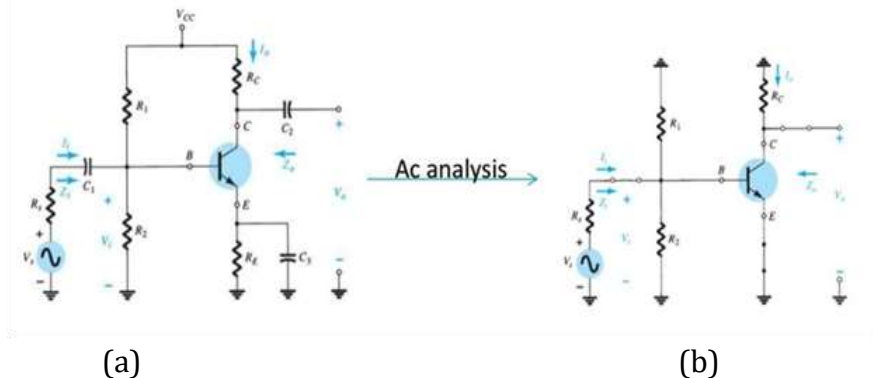
1. Kurangi semua sumber ac menjadi nol, buka semua kapasitor. Rangkaian yang tinggal adalah semua hal yang

menyangkut arus dan tegangan dc, sehingga dinamakan rangkaian *ekivalen dc*. Dengan rangkaian ini dapat menghitung apapun mengenai arus dan tegangan dc yang menarik.

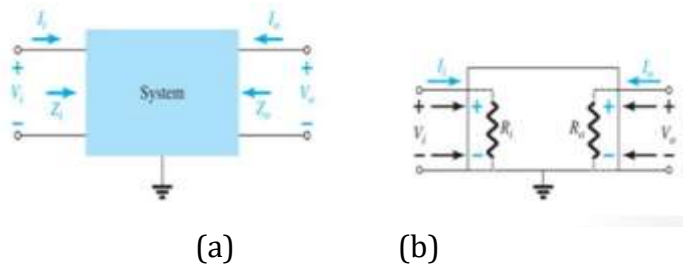
2. Kurangi semua sumber dc menjadi nol, hubung singkat semua kapasitor kopling dan bypass. Rangkaian yang tinggal adalah semua hal yang mengenai arus dan tegangan ac, sehingga dinamakan rangkaian *ekivalen ac*. Dengan rangkaian ini dapat menghitung arus dan tegangan ac.
3. Arus total dalam suatu cabang adalah jumlah dari arus dc dan ac yang melalui cabang tersebut. Dan tegangan total pada suatu cabang adalah jumlah dari tegangan dc dan ac pada cabang tersebut.

9.6.1 BJT Transistor Modelling

Model adalah sebuah pendekatan kombinasi elemen rangkaian elektronika yang dipilih untuk menggambarkan cara kerja sebuah komponen semikonduktor dalam kondisi tertentu. Untuk menentukan parameter dari tiap rangkaian, dapat menggunakan metode kutub empat.



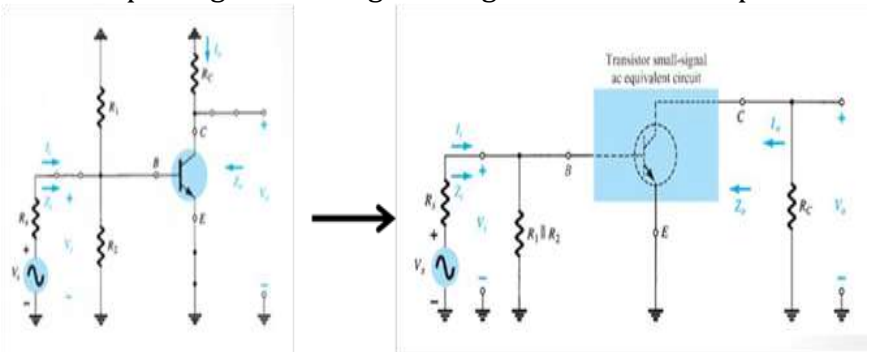
Gambar 9.12. BJT Transistor Modelling (a) Rangkaian Pembagi Tegangan (b) Rangkaian *Ekivalen*



Gambar 9.13. Parameter rangkaian *ac* ekivalen (a) Rangkaian sumber *dc* (b) Rangkaian *Short Circuits*

Rangkaian *ac* ekivalen dari sebuah transistor dapat diperoleh dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengganti semua sumber *dc* menjadi nol (*ground*) dan menggantikannya dengan rangkaian *short-circuit* yang setara.
2. Mengganti semua kapasitor menjadi *short-circuit*.
3. Buang semua elemen yang dilalui oleh komponen yang diubah menjadi *short-circuit* menurut langkah 1 & 2.
4. Merapikan gambar rangkaian agar lebih mudah dipahami.

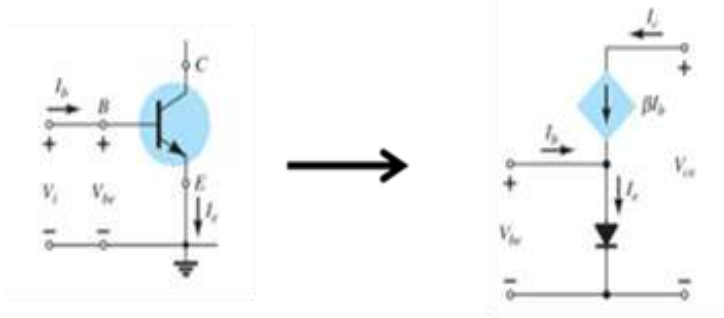


Gambar 9.14. Rangkaian ekivalen *ac*

9.6.2 Model Transistor CE (*Common Emitter*)

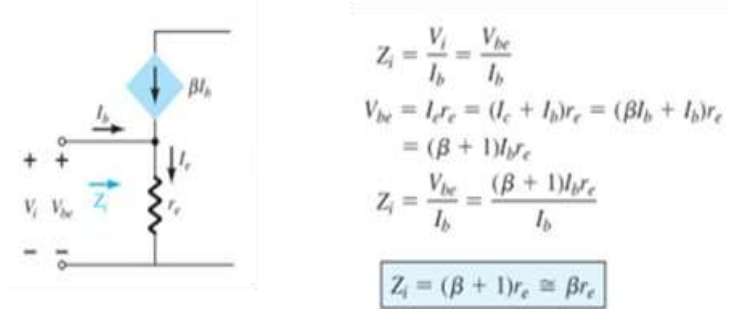
Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut :

1. Menentukan rangkaian *ekivalen* dari BJT

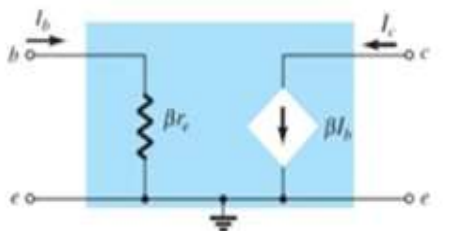


Gambar 9.15. Rangkaian *Ekivalen* BJT

2. Menentukan besar Z_i

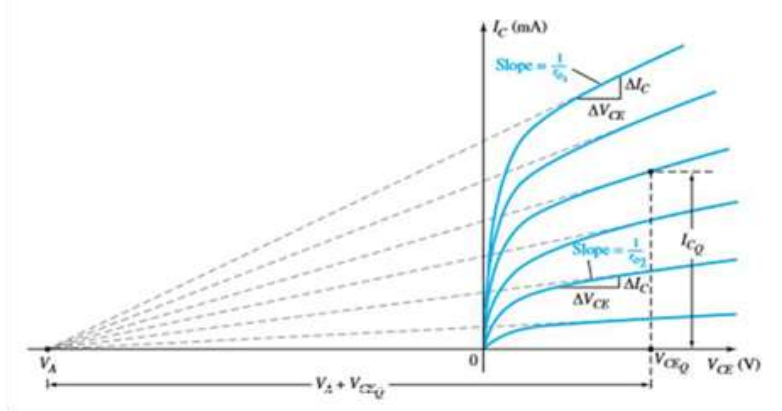


Sehingga rangkaian dapat disederhanakan menjadi :



Gambar 9.16. Rangkaian *Impedansi* Z_i

3. Menentukan besar tegangan awal dan *impedansi output*



$$r_o = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{V_A + V_{CEQ}}{I_{CQ}}$$

Gambar 9.17. Rangkaian *Impedansi Output*

Tanda “Q” menandakan posisi tegangan mulai memiliki kenaikan yang stabil. Namun karena V_A sangat jauh lebih dari V_{CEQ} , maka dapat dituliskan menjadi :

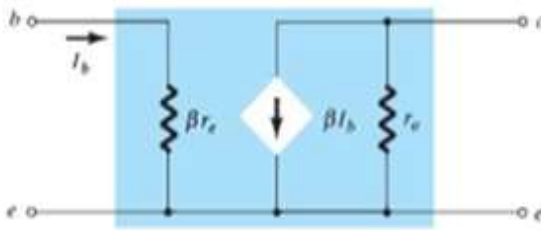
$$r_o \cong \frac{V_A}{I_{CQ}}$$

Atau dapat menggunakan metode *gradien* (kemiringan garis)

$$\text{Slope} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}} = \frac{1}{r_o}$$

$$r_o = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C}$$

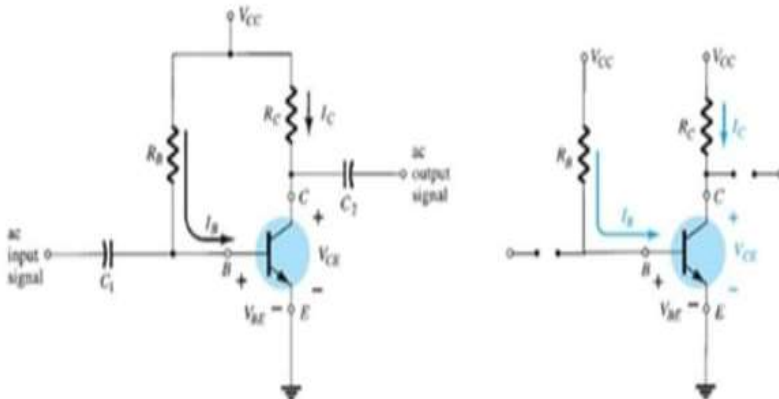
Sehingga rangkaian *ekivalen* terakhir terlihat seperti berikut :



Gambar 9.18. Rangkaian *ekivalen* terakhir

9.6.3 Konfigurasi Fixed Bias Common Emitter

Rangkaian *fixed-bias* pada gambar berikut merupakan konfigurasi transistor *dc bias* yang paling *simple*. Meskipun rangkaiannya menggunakan sebuah transistor npn, semua persamaan dan kalkulasi sama seperti ketika menggunakan sebuah konfigurasi transistor pnp dengan hanya mengubah semua arah arus dan polaritas tegangan.



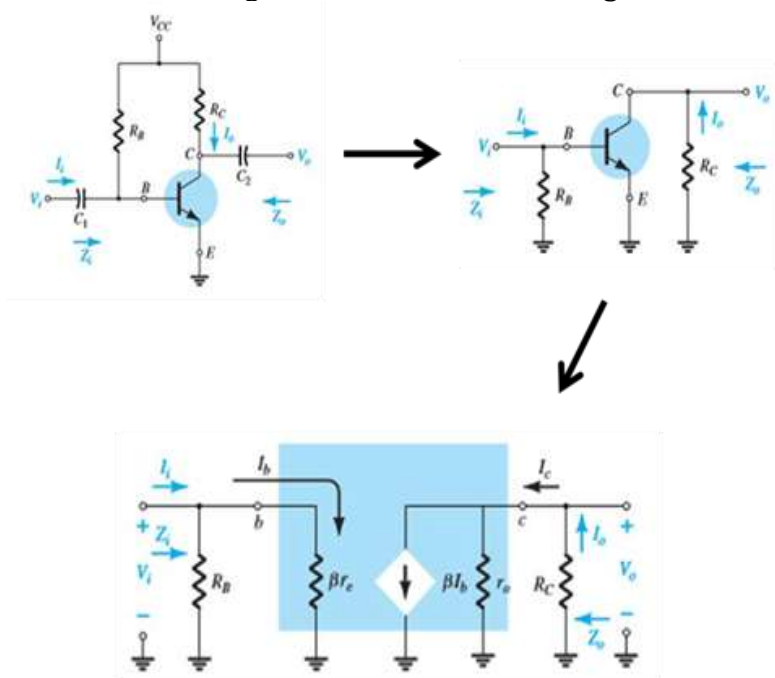
Gambar 9.19. Rangkaian *Fixed Bias*

Semua arah arus pada gambar adalah arah-arahan arus aktual, dan tegangan-tegangannya didefinisikan dengan notasi

standar *double-subscript*. Untuk *analisis dc*, rangkaian dapat diisolasi dari sinyal *ac* dengan menggantikan kapasitor-kapasitor tersebut dengan sebuah rangkaian terbuka setara karena pada dasarnya *reaktansi* dari sebuah kapasitor merupakan sebuah fungsi dari frekuensi yang diaplikasikan untuk *dc*. Selain itu, sumber *dc* V_{CC} dapat dipisahkan menjadi dua sumber seperti pada gambar 12.20 untuk memperbolehkan sebuah pemisahan dari rangkaian *input* dan *output*. Pemisahan tersebut juga dapat mengurangi hubungan antara kedua sumber terhadap arus *base*.

Adapun Langkah-Langkah Perhitungan Parameter pada *Fixed Bias Common Emitter* sebagai berikut :

1. Ubah bentuk rangkaian awal ke bentuk rangkaian *ekivalen*



Gambar 9.20. Rangkaian *Parameter Fixed Bias CE*
 (Sumber: Munir R, 2004)

2. Menentukan *impedansi input* dan *output* (Z_i & Z_o)

$$Z_i = R_B \parallel \beta r_e \quad \text{ohms}$$



$$Z_i \cong \beta r_e \quad R_B \geq 10\beta r_e \quad \text{ohms}$$

$$Z_o = R_C \parallel r_o \quad \text{ohms}$$



$$Z_o \cong R_C \quad r_o \geq 10R_C$$

3. Menentukan *gain tegangan* (A_v)

$$V_o = -\beta I_b (R_C \parallel r_o)$$

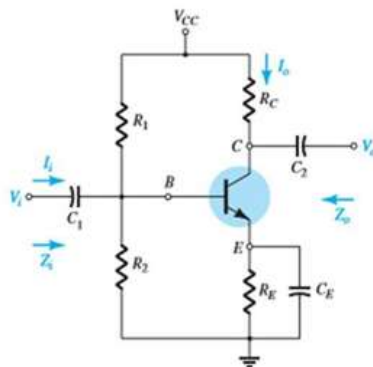
$$I_b = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

$$V_o = -\beta \left(\frac{V_i}{\beta r_e} \right) (R_C \parallel r_o)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{(R_C \parallel r_o)}{r_e}$$

$$A_v = -\frac{R_C}{r_e} \quad r_o \geq 10R_C$$

Tanda *minus* disebabkan oleh *polaritas* I_o terbalik dengan *polaritas* uji.



Gambar 9.21. Rangkaian Pembagi Tegangan

Di dalam praktek, transistor dikenal pula sebagai transistor *bipolar* atau transistor *bi-junction* (BJT). Pada dasarnya transistor adalah komponen elektronik penguat arus. Pada transistor, *gain* atau penguat arus sering disebutkan sebagai *beta* yaitu perbandingan antara arus *collektor (output)* terhadap arus *base (input)* adalah :

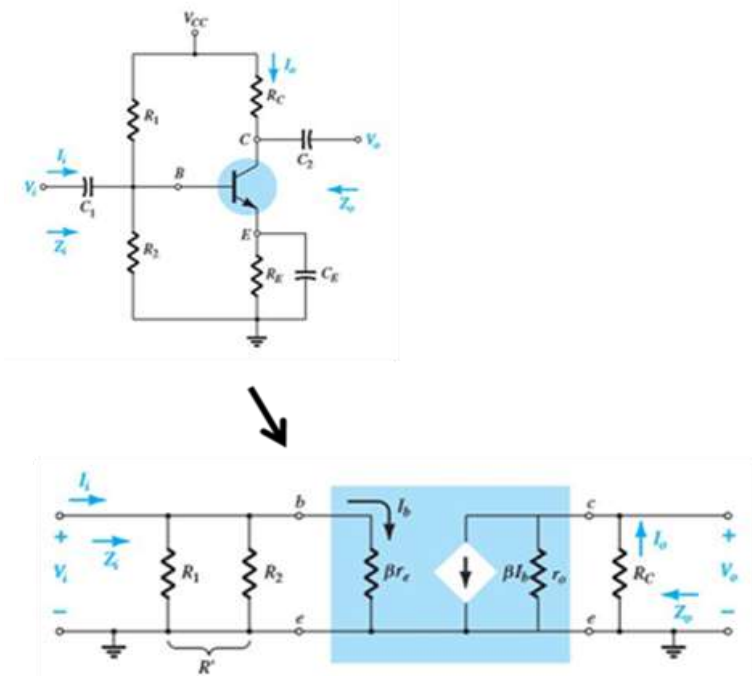
$$\beta = h_{fe} = \frac{I_c}{I_b}$$

9.6.4 Konfigurasi Voltage Divider Bias Common Emitter

Konfigurasi ini menggunakan dua resistor sebagai pembagi beda potensial pada suplay tegangan untuk menyuplai sejumlah tegangan yang diperlukan oleh *base* pada BJT. Konfigurasi ini biasa digunakan sebagai rangkaian penguat. Metode ini sangat mengurangi efek dari perbedaan besar *beta* (β) dengan menahan *bias* pada *base* tegangan yang konstan untuk kestabilan yang baik. Besar tegangan pada *Base* (V_b) ditentukan oleh *voltage divider* yang dibentuk oleh dua *resistor* (R_1 & R_2) dan sumber tegangan V_{cc} .

Langkah-Langkah Penghitungan Parameter pada *Fixed Bias Common Emitter* yaitu :

1. Ubah bentuk rangkaian awal ke bentuk rangkaian ekivalen



Gambar 9.22. Rangkaian Ekivalen Bias Common Emitter

2. Menentukan hambatan *Thevenin* (R_{th}) pada base dari BJT

$$R' = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

3. Menentukan impedansi input dan output (Z_i & Z_o)

$$Z_i = R' \parallel \beta r_e$$

$$Z_o = R_C \parallel r_o$$

4. Menentukan *gain* tegangan (A_v)

$$V_o = -(\beta I_b)(R_C \parallel r_o)$$

$$I_b = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

$$V_o = -\beta \left(\frac{V_i}{\beta r_e} \right) (R_C \parallel r_o)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_C \parallel r_o}{r_e}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, Charles K., Sadiku, Matthew N.O. , "Fundamental of Electric Circuit (Fourth Edition)", 2009 New York : McGraw-Hill.
- A.R.Hambley, "Electronics". 2000. Prentice Hall.
- Boylestad, Robert L., Nashelsky, Louis., "Electronic Devices and Circuit Theory, Eleventh Edition". 2013. United States : Pearson, Prentice Hall.
- BJT Datasheet Catalog – BC107.
- Floyd, "Electronics Fundamentals Circuit, Devices, and Application", 2001. New Jersey:Printice Hall, Inc.
- F.W. Hughes, "Op-Amp". 1990. Elex Media Komputindo.
- Malvino, "Prinsip-prinsip Elektronik", 1996. Erlangga, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- R. J. Tocci, N. S. Widmer, and G. L. Moss, "Digital Systems Principles and Applications, Tenth Edition", Pearson International Edition.
- Theodore F. Bogart,Jr., Jeffrey S. Beasley, dan Guillermo Rico, "Electronic Devices and Circuits", 2004. Pearson Prentice Hall, New Jersey
- Woźnicki. 1996. J. 'Podstawy techniki przetwarzania obrazu', Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Zhou, H., J. Wu, J. Zhang. 2010. Digital Image Processing Part II, Bookboon.com.
- https://id.wikipedia.org/wiki/Transistor_sambungan_dwikutub

BIODATA PENULIS



Dr. Eng Rocky Alfanz, S.T., M.Sc.

Dosen Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Penulis lahir di Jakarta tanggal 28 Maret 1981. Penulis adalah dosen tetap pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Menyelesaikan pendidikan S2 pada Jurusan Teknik elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa dan melanjutkan S3 pada Jurusan Komputer sains dan Elektrikal Engineering di Kumamoto University Japan. Penulis menekuni bidang Menulis dan mengajar pada tahun 2010 di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten – Indonesia.

BIODATA PENULIS



Andi Rosman N, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Pendidikan Fisika
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP)
Universitas Sulawesi Barat

Penulis lahir di Bone tanggal 10 Agustus 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sulawesi Barat. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Makassar pada tahun 2010 dan melanjutkan S2 pada Jurusan Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menekuni bidang Fisika terutama untuk konsentrasi atau bidang minat Fisika Instrumentasi.

BIODATA PENULIS



Eka Sriwahyuni, S.Pd., M.Pd,

Dosen pada Fakultas Tarbiyah Program Studi Tadris IPA IAIN
Parepare

Eka Sriwahyuni, S.Pd., M.Pd, Lahir di Rappang 28 Maret 1994 merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Muzakri dan Hasnah. Penulis mengawali pendidikan di SDN 4 Benteng selesai pada tahun 2006. Kemudian Melanjutkan pendidikan di MTs PPUW yang selesai pada tahun 2009, dan melanjutkan pendidikan di MA PPUW yang selesai pada tahun 2012.

Penulis menyelesaikan pendidikan Program Sarjana (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Alauddin Makassar Tahun 2016, kemudian menyelesaikan Program Megister (S2) Pendidikan Fisika UNM Makassar Tahun 2020. Terhitung tahun 2021 penulis menjadi dosen tetap di Institut Agama Islam Negeri Parepare. Saat ini mengajar pada Fakultas Tarbiyah Program Studi Tadris IPA IAIN Parepare.

BIODATA PENULIS



Zainal Abidin

Dosen Teknik Elektro di Universitas Islam Lamongan

Bertempat tinggal di Lamongan Jawa Timur, aktif dalam kegiatan organisasi kemasyarakatan, aktif dalam kegiatan penelitian dan pengabdian masyarakat. Pendidikan S1 Teknik Elektro Universitas Islam Malang, S2-Teknik Elektro UGM Jogjakarta, dan sedang S3 di Konservasi Energi Teknik Mesin UB Malang, Dosen Teknik Elektro di Universitas Islam Lamongan, TPA bidang MEP di Pemda Kabupaten Lamongan dan juga aktif sebagai Instruktur Ahli K3 Listrik LSP Nusantara Traisser Surabaya.

BIODATA PENULIS

Unan Yusmaniar Oktiawati

Dosen Departemen Teknik Elektro dan Informatika
Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

Penulis lahir dan besar di Jakarta. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta Indonesia dan melanjutkan S2 serta S3 pada *Electrical Engineering Department, Post Graduate Studies*, Universiti Teknologi PETRONAS, Malaysia. Penulis menekuni bidang menulis terutama yang berkaitan dengan elektronika, IoT dan multidisiplin. Jika hendak berdiskusi lebih lanjut, jangan ragu untuk kontak melalui email ke unan_yusmaniar@ugm.ac.id.

BIODATA PENULIS



Perawati ST.MT

Dosen Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas PGRI
Palembang

Penulis lahir di Palembang tanggal 14 Februari 1980. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas PGRI Palembang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada jurusan Teknik Elektro di Universitas Muhammadiyah Palembang dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Elektro di Institut Sains dan Teknologi Nasional Jakarta. Penulis menekuni dalam bidang Teknik Elektro.

BIODATA PENULIS



Dwi Sasmita Aji Pambudi, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS)

Penulis lahir di Lumajang tanggal 21 April 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS). Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Elektro di Universitas Telkom, Bandung pada tahun 2013 dan melanjutkan jenjang S2 pada Jurusan Teknik Elektro, Bidang Keahlian Elektronika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya pada tahun 2018. Penulis mulai menekuni bidang menulis sejak awal menjadi dosen di tahun 2019. Ketertarikan bidang penelitiannya adalah elektronika industri, elektronika kontrol cerdas, elektronika daya, elektronika navigasi, *Internet of Things* (IoT), Energi Baru Terbarukan (EBT), sistem kelistrikan dan elektronika kapal. Dalam mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis berupaya aktif dalam melakukan penelitian, pengabdian masyarakat, dan menulis baik dalam bentuk jurnal nasional maupun internasional. Penulis juga turut berupaya dalam pengembangan kompetensi dan penelitian

dengan menjadi Kepala Laboratorium Elektronika dan Sistem Kontrol, serta pernah menjadi Kepala Laboratorium Mesin Listrik PPNS.

BIODATA PENULIS



S. Nurmuslimah

Dosen Jurusan Teknik Informatika

Penulis lahir di Bima tanggal 01 Juli 1971. Penulis adalah Dosen Tetap Pada Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. Menyelesaikan Pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Elektro dan melanjutkan S2 Pada Jurusan Sistem Jaringan Cerdas Multimedia ITS. Penulis Menekuni Bidang AI dan Jaringan Cerdas Multimedia.