

# Elektronika

## Teori dan Penerapan

Herman Dwi Surjono, Ph.D.

# **Elektronika :**

## **Teori dan Penerapan**

**Herman Dwi Surjono, Ph.D.**

# Elektronika : Teori dan Penerapan

Disusun Oleh: **Herman Dwi Surjono, Ph.D.**

© 2007 All Rights Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang

Penyunting : **Tim Cerdas Ulet Kreatif**

Perancang Sampul : **Dhega Febiharsa**

Tata Letak : **Dhega Febiharsa**

**Diterbitkan Oleh:**

**Penerbit Cerdas Ulet Kreatif**

Jl. Manggis 72 RT 03 RW 04 Jember Lor – Patrang

Jember - Jawa Timur 68118

Telp. 0331-422327 Faks. 0331422327

## Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Herman Dwi Surjono, **Elektronika : Teori dan Penerapan** /Herman Dwi Surjono, Penyunting: Tim Cerdas Ulet Kreatif, 2007, 168 hlm; 14,8 x 21 cm.

**ISBN 978-602-98174-7-8**

1. Hukum Administrasi	I. Judul
II. Tim Cerdas Ulet Kreatif	168

Distributor:

**Penerbit CERDAS ULET KREATIF**

Website : [www.cerdas.co.id](http://www.cerdas.co.id) - email : [buku@cerdas.co.id](mailto:buku@cerdas.co.id)

Cetakan Kedua, 2011

## Undang-Undang RI Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

### Ketentuan Pidana

#### Pasal 72 (ayat 2)

1. Barang Siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau hak terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

# Kata Pengantar

Buku ini diperuntukkan bagi siapa saja yang ingin mengetahui elektronika baik secara teori, konsep dan penerapannya. Pembahasan dilakukan secara komprehensif dan mendalam mulai dari pemahaman konsep dasar hingga ke taraf kemampuan untuk menganalisis dan mendesain rangkaian elektronika. Penggunaan matematika tingkat tinggi diusahakan seminimal mungkin, sehingga buku ini bias digunakan oleh berbagai kalangan. Pembaca dapat beraktivitas dengan mudah karena didukung banyak contoh soal dalam hamper setiap pokok bahasan serta latihan soal pada setiap akhir bab. Beberapa rangkaian penguat sedapat mungkin diambilkan dari pengalaman praktikum.

Sebagai pengetahuan awal, pemakai buku ini harus memahami teori dasar rangkaian DC dan matematika dasar. Teori Thevenin, Norton, dan Superposisi juga digunakan dalam beberapa pokok bahasan. Di samping itu penguasaan penerapan hukum Ohm dan Kirchhoff merupakan syarat mutlak terutama pada bagian analisis dan perancangan.

Bab 1 membahas teori semikonduktor yang merupakan dasar dari pembahasan berbagai topic berikutnya, bahan tipe P dan N, karakteristik diode semikonduktor dan model dioda.

Bab 2 membahas beberapa penerapan diode semikonduktor dalam rangkaian elektronika diantaranya yang paling penting adalah rangkaian penyearah.

Bab 3 membahas transistor bipolar. Prinsip kerja dan karakteristik input dan output transistor, tiga macam konfigurasi transistor serta pengaruhnya terhadap temperatur.

Bab 4 membahas berbagai metode pemberian bias, garis beban AC dan DC, analisis serta perencanaan titik kerja. Selanjutnya pada bab 5 membahas analisis serta perancangan penguat transistor.

Semoga buku ini bermanfaat bagi siapa saja. Saran-saran dari pembaca sangat diharapkan.

Yogyakarta, Desember 2007

Penulis,

**Herman Dwi Surjono, Ph.D.**

Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika, FT- UNY

# Daftar Isi

<b>KATA PENGANTAR</b>	iii
<b>DAFTAR ISI</b>	v
<b>1. DIODA SEMIKONDUKTOR</b>	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Teori Semikonduktor	1
1.3. Semikonduktor Type N	7
1.4. Semikonduktor Type P	9
1.5. Dioda Semikonduktor	12
1.6. Bias Mundur ( <i>Reverse Bias</i> )	13
1.7. Bias Maju ( <i>Forward Bias</i> )	14
1.8. Kurva Karakteristik Dioda	15
1.9. Resistansi Dioda	19
1.10. Rangkaian Ekuivalen Dioda	22
1.11. Ringkasan	24
1.12. Soal Latihan	25
<b>2. RANGKAIAN DIODA</b>	27
2.1. Pendahuluan	27
2.2. Penyearah Setengah Gelombang	27
2.3. Penyearah Gelombang Penuh	32
2.4. Penyearah Gelombang Penuh Sistem Jembatan	34
2.5. Rangkaian <i>Clipper</i> (Pemotong)	36
2.6. Rangkaian <i>Clamper</i> (Penggeser)	39
2.7. Dioda Zener	41
2.8. Perencanaan Penyetabil Tegangan	46
2.9. Rangkaian Pelipat Tegangan	48
2.10. Ringkasan	51
2.11. Soal Latihan	52
<b>3. TRANSISTOR BIPOLAR</b>	55
3.1. Pendahuluan	55
3.2. Konstruksi Transistor Bipolar	55
3.3. Kerja Transistor	56
3.4. Konfigurasi Transistor	60
3.5. Kurva Karakteristik Transistor	64
3.6. Pengaruh Temperatur	69
3.7. Ringkasan	72
3.8. Soal Latihan	73
<b>4. BIAS DC TRANSISTOR BIPOLAR</b>	75
4.1. Pendahuluan	75
4.2. Pengertian Titik Kerja	75
4.3. Rangkaian Bias Tetap	77

4.4. Bias Umpan Balik Tegangan	86
4.5. Bias Pembagi Tegangan	89
4.6. Garis Beban DC dan AC	96
4.7. Analisa dan Desain	101
4.8. Ringkasan	109
4.9. Soal Latihan	110
<b>5. PENGUAT TRANSISTOR BIPOLAR</b>	<b>115</b>
5.1. Pendahuluan	115
5.2. Parameter Penguat	115
5.3. Model Hibrid	117
5.4. Parameter H	122
5.5. Analisa Penguat CE	128
5.6. Penguat CE dengan Resistor RE	134
5.7. Rangkaian Pengikut Emitor	140
5.8. Penguat Basis Bersama (CB)	146
5.9. Perencanaan Penguat Transistor	149
5.10. Ringkasan	153
5.11. Soal Latihan	154
<b>LAMPIRAN A</b>	<b>159</b>
<b>LAMPIRAN B</b>	<b>160</b>
<b>INDEKS</b>	<b>161</b>

# Bab 2

## Rangkaian Dioda

### 2.1 Pendahuluan

Penerapan dioda semikonduktor dalam bidang elektronika sangatlah luas. Hal ini karena sifat dioda yang sangat mendasar yaitu hanya dapat melewatkan arus dalam satu arah saja. Rangkaian penyearah merupakan penerapan dioda yang sangat penting untuk dibahas lebih dahulu. Sesuai dengan bentuk gelombang outputnya, maka penyearah terdapat dua macam yaitu setengah gelombang dan gelombang penuh.

Rangkaian pemotong dan penggeser merupakan penerapan lain yang juga banyak digunakan dalam teknik pulsa. Jenis dioda semikonduktor yang khusus dioperasikan pada bias mundur yang pada titik *break-down*-nya sering disebut dengan dioda Zener. Zener ini merupakan inti dari rangkaian penyetabil tegangan. Disamping itu juga dibahas beberapa macam rangkaian pelipat tegangan.

### 2.2 Penyearah setengah gelombang

Penerapan dioda yang paling banyak dijumpai adalah sebagai penyearah. Penyearah berarti mengubah arus bolak-balik (ac) menjadi arus searah (dc). Sebagian besar peralatan elektronik membutuhkan sumber daya yang berupa arus searah. Untuk kebutuhan daya dan tegangan yang kecil biasanya cukup digunakan baterai atau accu, namun untuk lebih dari itu diperlukan power supply yang berupa penyearah.

Penyearah yang paling sederhana adalah penyearah setengah gelombang, yaitu yang terdiri dari sebuah dioda. Melihat dari namanya, maka hanya setengah gelombang saja yang akan disearahkan. Gambar 2.1 menunjukkan rangkaian penyearah setengah gelombang.

Rangkaian penyearah setengah gelombang mendapat masukan dari skunder trafo yang berupa sinyal ac berbentuk sinus,  $v_i = V_m \sin \omega t$  (gambar 2.1 (b)). Dari persamaan tersebut,  $V_m$  merupakan tegangan puncak atau tegangan maksimum. Harga  $V_m$  ini hanya bisa diukur dengan CRO yakni dengan melihat langsung pada gelombangnya. Sedangkan pada umumnya



harga yang tercantum pada skunder trafo adalah tegangan efektif. Hubungan antara tegangan puncak  $V_m$  dengan tegangan efektif ( $V_{eff}$ ) atau tegangan rms ( $V_{rms}$ ) adalah:

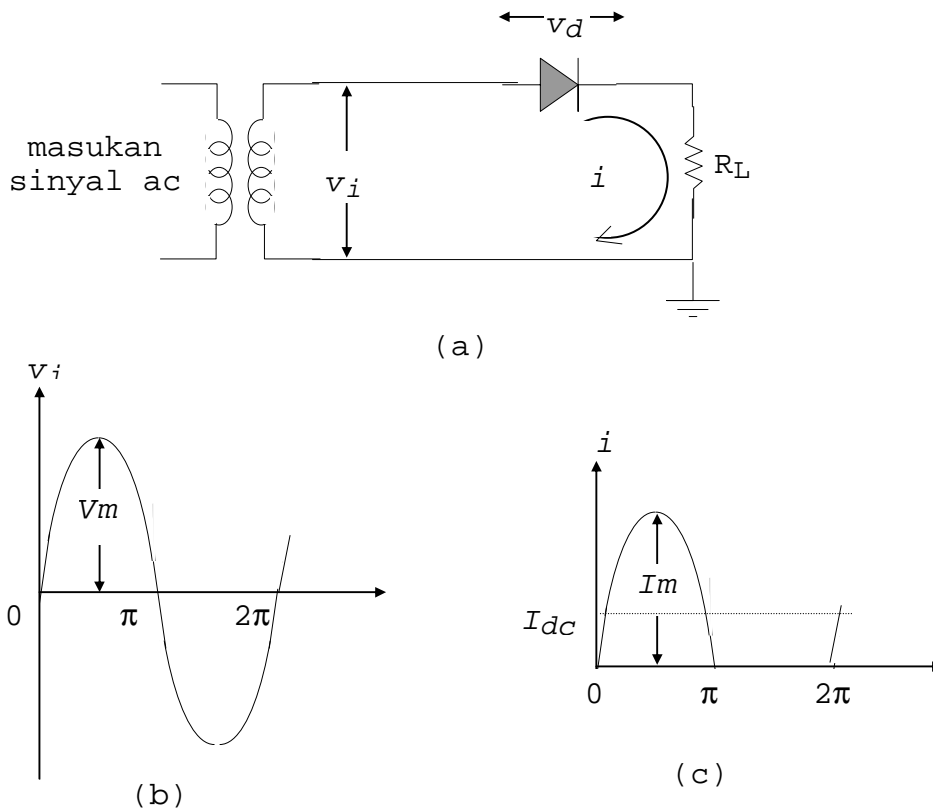
$$V_{eff} = V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 V_m \quad \dots \quad (2.1)$$

Tegangan (arus) efektif atau rms (*root-mean-square*) adalah tegangan (arus) yang terukur oleh voltmeter (amper-meter). Karena harga  $V_m$  pada umumnya jauh lebih besar dari pada  $V_\gamma$  (tegangan cut-in dioda), maka pada pembahasan penyearah ini  $V_\gamma$  diabaikan.

Prinsip kerja penyearah setengah gelombang adalah bahwa pada saat sinyal input berupa siklus positif maka dioda mendapat bias maju sehingga arus ( $i$ ) mengalir ke beban ( $R_L$ ), dan sebaliknya bila sinyal input berupa siklus negatif maka dioda mendapat bias mundur sehingga tidak mengalir arus. Bentuk gelombang tegangan input ( $v_i$ ) ditunjukkan pada (b) dan arus beban ( $i$ ) pada (c) dari gambar 2.1.

Resistansi dioda pada saat ON (mendapat bias maju) adalah  $R_f$ , yang umumnya nilainya lebih kecil dari  $R_L$ . Pada saat dioda OFF (mendapat bias mundur) resistansinya besar sekali atau dalam pembahasan ini dianggap tidak terhingga, sehingga arus dioda tidak mengalir atau  $i = 0$ .

Arus yang mengalir ke beban ( $i$ ) terlihat pada gambar (c) bentuknya sudah searah (satu arah) yaitu positif semua. Apabila arah dioda dibalik, maka arus yang mengalir adalah negatif. Frekuensi sinyal keluaran dari penyearah setengah gelombang ini adalah sama dengan frekuensi input (dari jala-jala listrik) yaitu 50 Hz. Karena jarak dari puncak satu ke puncak berikutnya adalah sama.



Gambar 2.1 Penyearah setengah gelombang (a) rangkaian; (b) tegangan sekunder trafo; (c) arus beban

Arus dioda yang mengalir melalui beban  $R_L$  ( $i$ ) dinyatakan dengan:

$$i = I_m \sin \omega t \quad , \text{jika } 0 \leq \omega t \leq \pi \quad (\text{siklus positif})$$

$$i = 0 \quad , \text{jika } \pi \leq \omega t \leq 2\pi \quad (\text{siklus negatif})$$

dimana .

$I_m = \frac{V_m}{R_f + R_L} \dots\dots\dots (2.2)$
---

Bila diperhatikan meskipun sinyal keluaran masih berbentuk gelombang, namun arah gelombangnya adalah sama, yaitu positif (gambar c). Berarti harga rata-ratanya tidak lagi nol seperti halnya arus bolak-balik, namun ada suatu harga tertentu. Arus rata-rata ini ( $I_{dc}$ ) secara matematis bisa dinyatakan:

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i \, d\omega t \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk penyearah setengah gelombang diperoleh:

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t \, dt$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} \cong 0.318 I_m \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Tegangan keluaran dc yang berupa turun tegangan dc pada beban adalah:

$$V_{dc} = I_{dc} \cdot R_L$$

$$V_{dc} = \frac{I_m \cdot R_L}{\pi} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Apabila harga  $R_f$  jauh lebih kecil dari  $R_L$ , yang berarti  $R_f$  bisa diabaikan, maka:

$$V_m = I_m \cdot R_L$$

Sehingga:

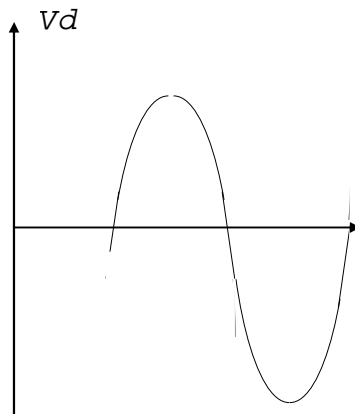
$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} \cong 0.318 V_m \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Apabila penyearah bekerja pada tegangan  $V_m$  yang kecil, untuk memperoleh hasil yang lebih teliti, maka tegangan cut-in dioda ( $V_\gamma$ ) perlu dipertimbangkan, yaitu:

$$V_{dc} = 0.318 (V_m - V_\gamma) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dalam perencanaan rangkaian penyearah yang juga penting untuk diketahui adalah berapa tegangan maksimum yang boleh diberikan pada dioda. Tegangan maksimum yang harus ditahan oleh dioda ini sering disebut dengan istilah PIV (*peak-inverse voltage*) atau tegangan puncak balik. Hal ini karena pada saat dioda mendapat bias mundur (balik) maka tidak arus yang mengalir dan semua tegangan dari skunder trafo berada pada dioda. Bentuk gelombang dari sinyal pada dioda dapat dilihat pada gambar 2.2. PIV untuk penyearah setengah gelombang ini adalah:

$$PIV = V_m \dots\dots\dots (2.8)$$

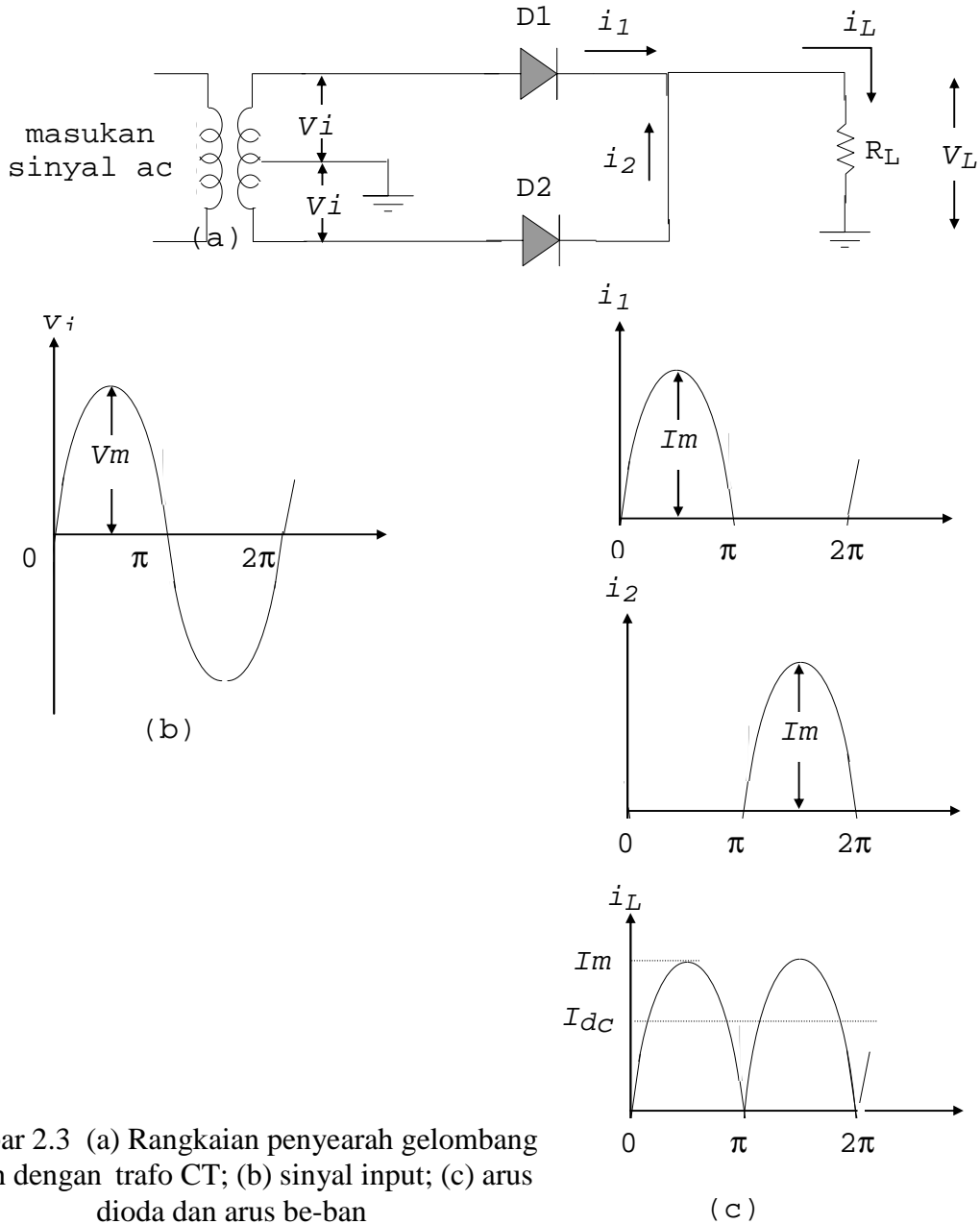


Gambar 2.2 Bentuk gelombang sinyal pada dioda

Bentuk gelombang sinyal pada dioda seperti gambar 2.2 dengan anggapan bahwa  $R_f$  dioda diabaikan, karena nilainya kecil sekali dibanding  $R_L$ . Sehingga pada saat siklus positif dimana dioda sedang ON (mendapat bias maju), terlihat turun tegangannya adalah nol. Sedangkan saat siklus negatif, dioda sedang OFF (mendapat bias mundur) sehingga tegangan puncak dari skunder trafo ( $V_m$ ) semuanya berada pada dioda.

### 2.3 Penyearah gelombang penuh

Rangkaian penyearah gelombang penuh ada dua macam, yaitu dengan menggunakan trafo CT (*center-tap* = tap tengah) dan dengan sistem jembatan. Gambar 2.3 menunjukkan rangkaian penyearah gelombang penuh dengan menggunakan trafo CT.



Gambar 2.3 (a) Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan trafo CT; (b) sinyal input; (c) arus dioda dan arus be-ban

Terminal sekunder dari Trafo CT mengeluarkan dua buah tegangan keluaran yang sama tetapi fasanya berlawanan dengan titik CT sebagai titik tengahnya. Kedua keluaran ini masing-masing dihubungkan ke D1 dan D2, sehingga saat D1 mendapat sinyal siklus positif maka D1 mendapat sinyal siklus negatif, dan sebaliknya. Dengan demikian D1 dan D2 hidup-

nya bergantian. Namun karena arus  $i_1$  dan  $i_2$  melewati tahanan beban (RL) dengan arah yang sama, maka  $i_L$  menjadi satu arah (gambar 2.3 c).

Terlihat dengan jelas bahwa rangkaian penyearah gelombang penuh ini merupakan gabungan dua buah penyearah setengah gelombang yang hidupnya bergantian setiap setengah siklus. Sehingga arus maupun tegangan rata-ratanya adalah dua kali dari penyearah setengah gelombang. Dengan cara penurunan yang sama, maka diperoleh:

$$I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi} \cong 0.636 I_m \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

dan

$$V_{dc} = I_{dc} \cdot R_L = \frac{2I_m \cdot R_L}{\pi} \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

Apabila harga  $R_f$  jauh lebih kecil dari  $R_L$ , maka  $R_f$  bisa diabaikan, sehingga:

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} \cong 0.636 V_m \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

Apabila penyearah bekerja pada tegangan  $V_m$  yang kecil, untuk memperoleh hasil yang lebih teliti, maka tegangan cut-in dioda ( $V_\gamma$ ) perlu dipertimbangkan, yaitu:

$$V_{dc} = 0.636 (V_m - V_\gamma) \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

Tegangan puncak inverse yang dirasakan oleh dioda adalah sebesar  $2V_m$ . Misalnya pada saat siklus positif, dimana  $D_1$  sedang hidup (ON) dan  $D_2$  sedang mati (OFF), maka jumlah tegangan yang berada pada dioda  $D_2$  yang sedang OFF tersebut adalah dua kali dari tegangan sekunder trafo. Sehingga PIV untuk masing-masing dioda dalam rangkaian penyearah dengan trafo CT adalah:

$$\boxed{PIV = 2V_m} \dots\dots\dots (2.13)$$

**2.4 Penyearah gelombang penuh sistem jembatan**

Penyearah gelombang penuh dengan sistem jembatan ini bisa menggunakan sembarang trafo baik yang CT maupun yang biasa, atau bahkan bisa juga tanpa menggunakan trafo. rangkaian dasarnya adalah seperti pada gambar 2.4.

Prinsip kerja rangkaian penyearah gelombang penuh sistem jembatan dapat dijelaskan melalui gambar 2.4. Pada saat rangkaian jembatan mendapatkan bagian positif dari siklus sinyal ac, maka (gambar 2.4 b):

- D1 dan D3 hidup (ON), karena mendapat bias maju
- D2 dan D4 mati (OFF), karena mendapat bias mundur

Sehingga arus  $i_1$  mengalir melalui D1, RL, dan D3.

Sedangkan apabila jembatan memperoleh bagian siklus negatif, maka (gambar 2.4 c):

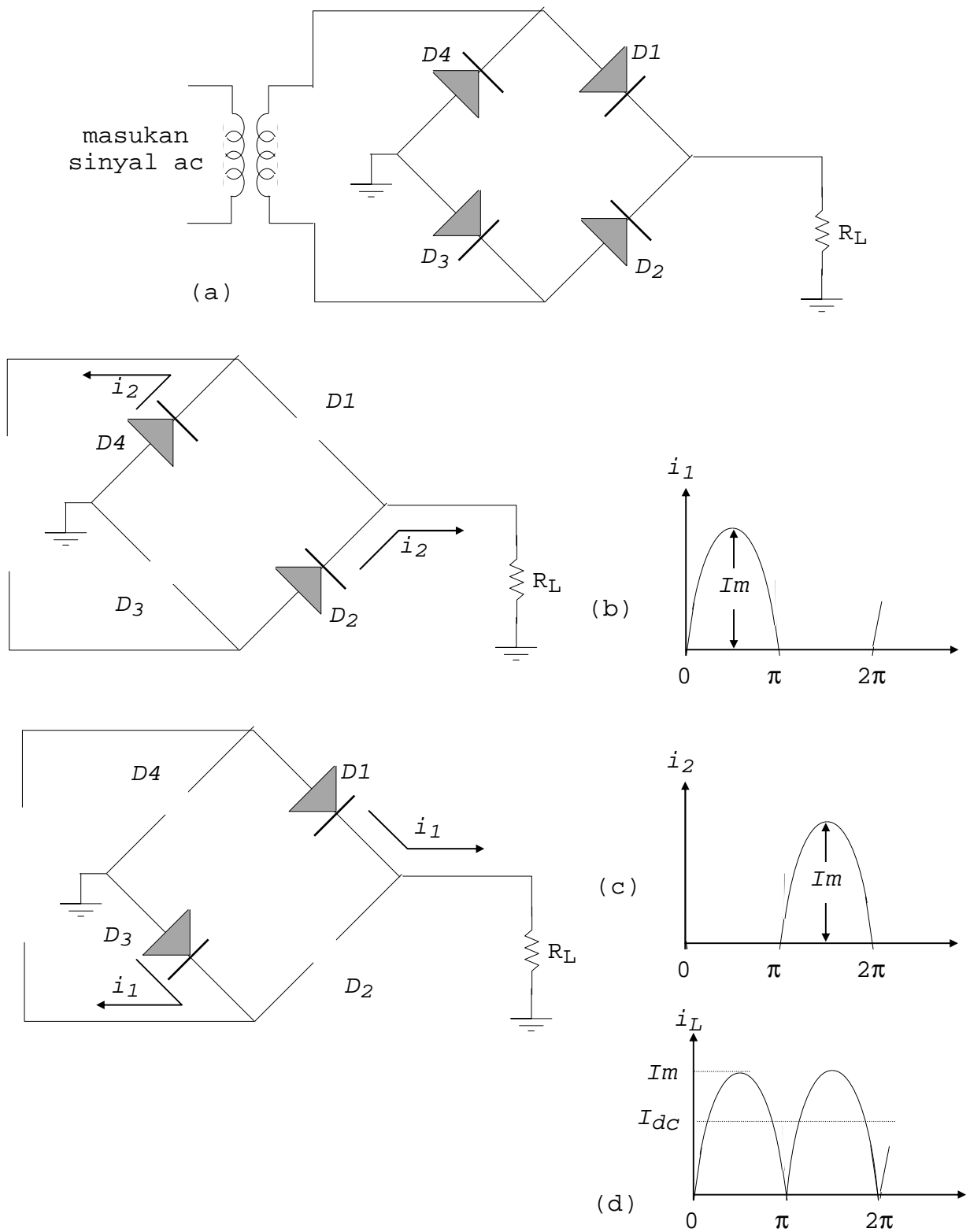
- D2 dan D4 hidup (ON), karena mendapat bias maju
- D1 dan D3 mati (OFF), karena mendapat bias mundur

Sehingga arus  $i_2$  mengalir melalui D2, RL, dan D4.

Arah arus  $i_1$  dan  $i_2$  yang melewati RL sebagaimana terlihat pada gambar 2.4 b dan c adalah sama, yaitu dari ujung atas RL menuju *ground*. Dengan demikian arus yang mengalir ke beban ( $i_L$ ) merupakan penjumlahan dari dua arus  $i_1$  dan  $i_2$ , dengan menempati paruh waktu masing-masing (gambar 2.4 d).

Besarnya arus rata-rata pada beban adalah sama seperti penyearah gelombang penuh dengan trafo CT, yaitu:  $I_{dc} = 2I_m/\pi = 0.636 I_m$  (persamaan 2.8). Untuk harga  $V_{dc}$  dengan memperhitungkan harga  $V_\gamma$  adalah:

$$\boxed{V_{dc} = 0.636 (V_m - 2V_\gamma)} \dots\dots\dots (2.14)$$



Gambar 2.4 Penyearah gelombang penuh dengan jembatan (a) rangkaian dasar; (b) saat siklus positif; (c) saat siklus negatif; (d) arus beban



Harga  $2V\gamma$  ini diperoleh karena pada setiap siklus terdapat dua buah dioda yang berhubungan secara seri.

Disamping harga  $2V\gamma$  ini, perbedaan lainnya dibanding dengan trafo CT adalah harga PIV. Pada penyearah gelombang penuh dengan sistem jembatan ini PIV masing-masing dioda adalah:

$$\boxed{PIV = V_m} \dots\dots\dots (2.15)$$

### 2.5 Rangkaian Clipper (pemotong)

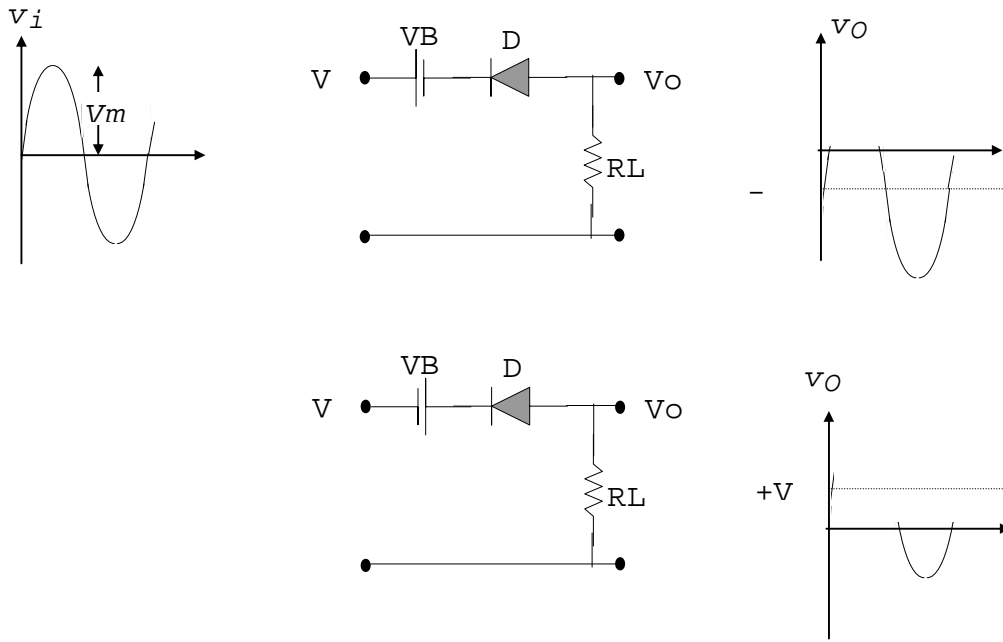
Rangkaian clipper (pemotong) digunakan untuk memotong atau menghilangkan sebagian sinyal masukan yang berada di bawah atau di atas level tertentu. Contoh sederhana dari rangkaian clipper adalah penyearah setengah gelombang. Rangkaian ini memotong atau menghilangkan sebagian sinyal masukan di atas atau di bawah level nol.

Secara umum rangkaian clipper dapat digolongkan menjadi dua, yaitu: seri dan paralel. Rangkaian clipper seri berarti diodanya berhubungan secara seri dengan beban, sedangkan clipper paralel berarti diodanya dipasang paralel dengan beban. Sedangkan untuk masing-masing jenis tersebut dibagi menjadi clipper negatif (pemotong bagian negatif) dan clipper positif (pemotong bagian positif). Dalam analisa ini diodanya dianggap ideal.

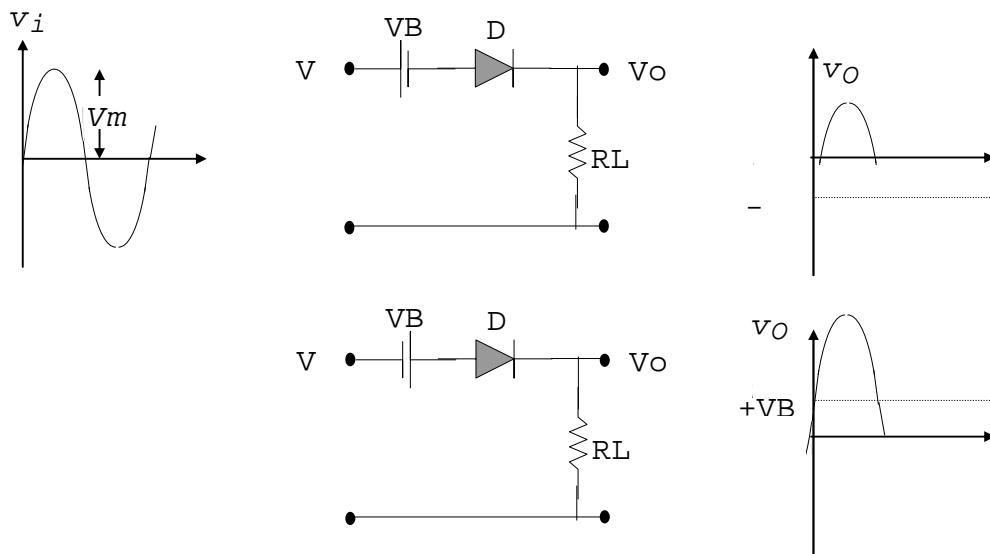
Petunjuk untuk menganalisa rangkaian clipper seri adalah sebagai berikut:

1. Perhatikan arah dioda
  - bila arah dioda ke kanan, maka bagian positif dari sinyal input akan dilewatkan, dan bagian negatif akan dipotong (berarti clipper negatif)
  - bila arah dioda ke kiri, maka bagian negatif dari sinyal input akan dilewatkan, dan bagian positif akan dipotong (berarti clipper positif)
2. Perhatikan polaritas baterai (bila ada)
3. Gambarlah sinyal output dengan sumbu nol pada **level baterai** (yang sudah ditentukan pada langkah 2 di atas)
4. Batas pemotongan sinyal adalah pada **sumbu nol semula** (sesuai dengan sinyal input)

Rangkaian clipper seri positif adalah seperti gambar 2.5. dan rangkaian clipper seri negatif adalah gambar 2.6.



Gambar 2.5 Rangkaian clipper seri positif

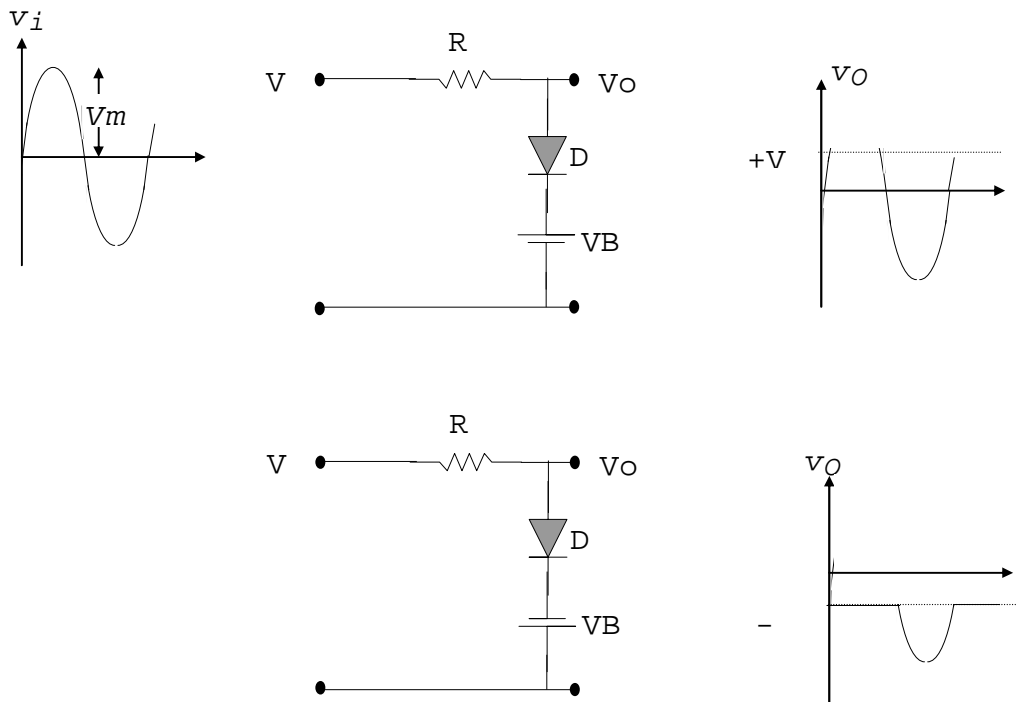


Gambar 2.6 Rangkaian clipper seri negatif

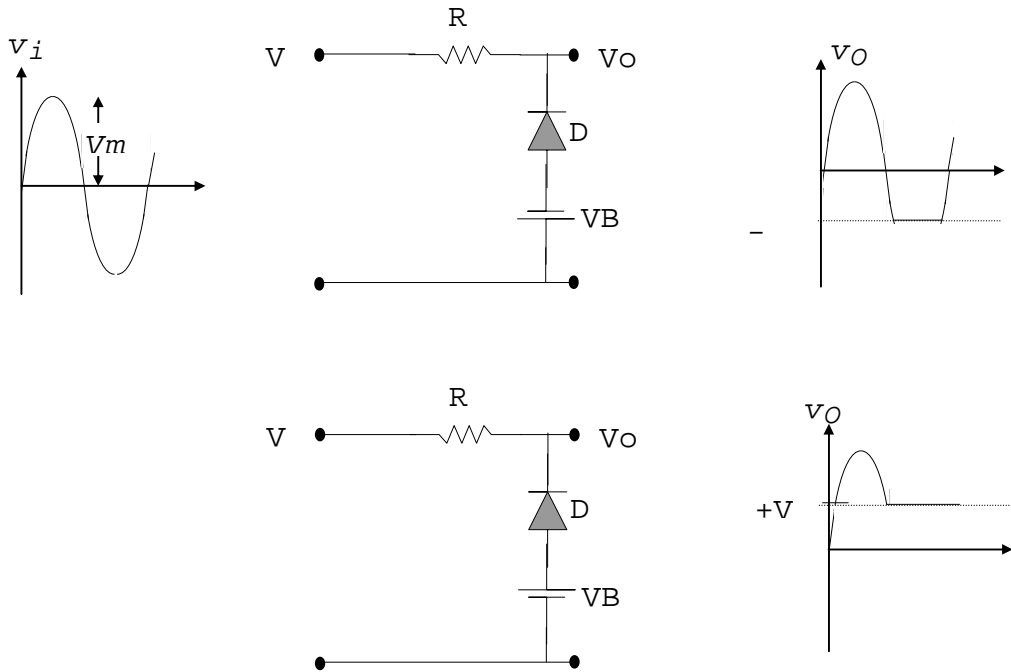
Petunjuk untuk menganalisa rangkaian clipper paralel adalah sebagai berikut:

1. Perhatikan arah dioda.
  - bila arah dioda ke bawah, maka bagian positif dari sinyal input akan dipotong (berarti clipper positif)
  - bila arah dioda ke atas, maka bagian negatif dari sinyal input akan dipotong (berarti clipper negatif)
2. Perhatikan polaritas baterai (bila ada).
3. Gambarlah sinyal output dengan sumbu nol sesuai dengan input.
4. Batas pemotongan sinyal adalah **pada level baterai**.

Rangkaian clipper paralel positif adalah seperti gambar 2.7 dan rangkaian clipper paralel negatif adalah gambar 2.8.



Gambar 2.7 Rangkaian clipper paralel positif

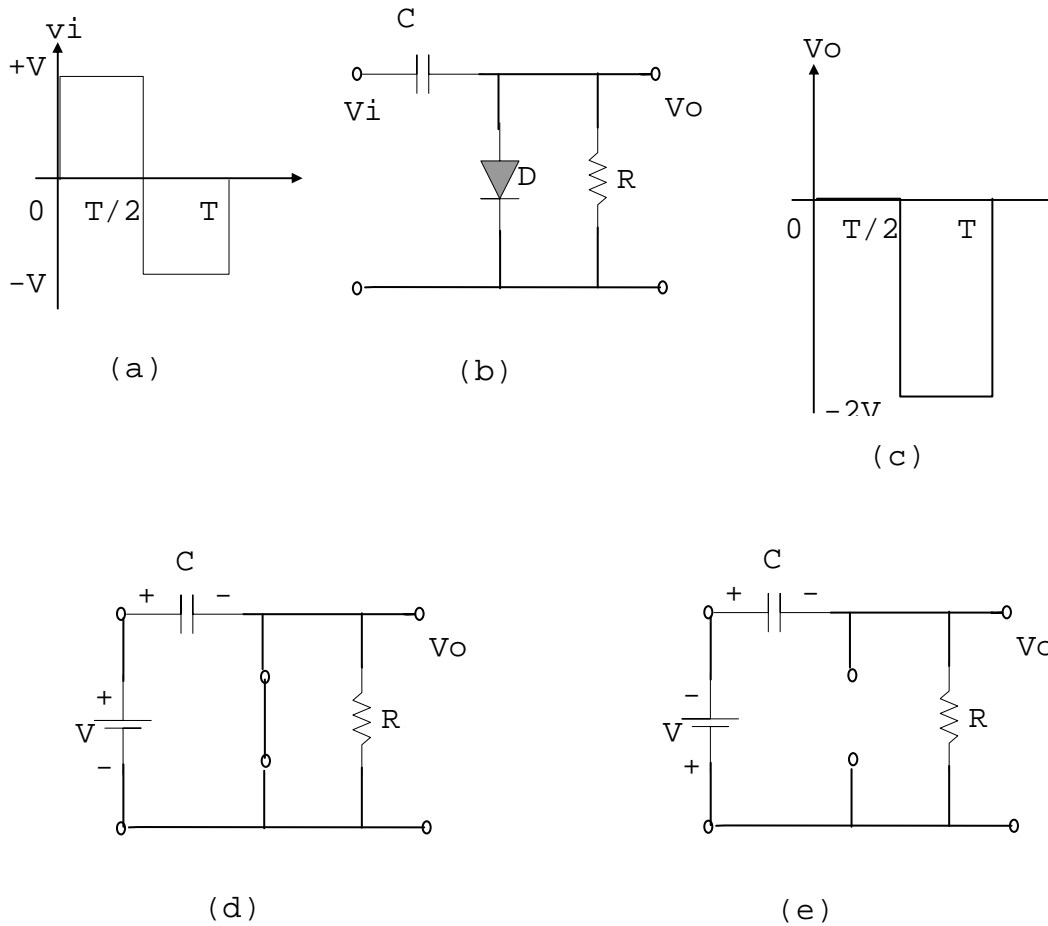


Gambar 2.8 Rangkaian clipper paralel negatif

### 2.6 Rangkaian Clamper (Penggeser)

Rangkaian Clamper (penggeser) digunakan untuk menggeser suatu sinyal ke level dc yang lain. Rangkaian Clamper paling tidak harus mempunyai sebuah kapasitor, dioda, dan resistor, disamping itu bisa pula ditambahkan sebuah baterai. Harga R dan C harus dipilih sedemikian rupa sehingga konstanta waktu RC cukup besar agar tidak terjadi pengosongan muatan yang cukup berarti saat dioda tidak menghantar. Dalam analisa ini dianggap didodanya adalah ideal.

Sebuah rangkaian clamper sederhana (tanpa baterai) terdiri atas sebuah R, D, dan C terlihat pada gambar 2.9.



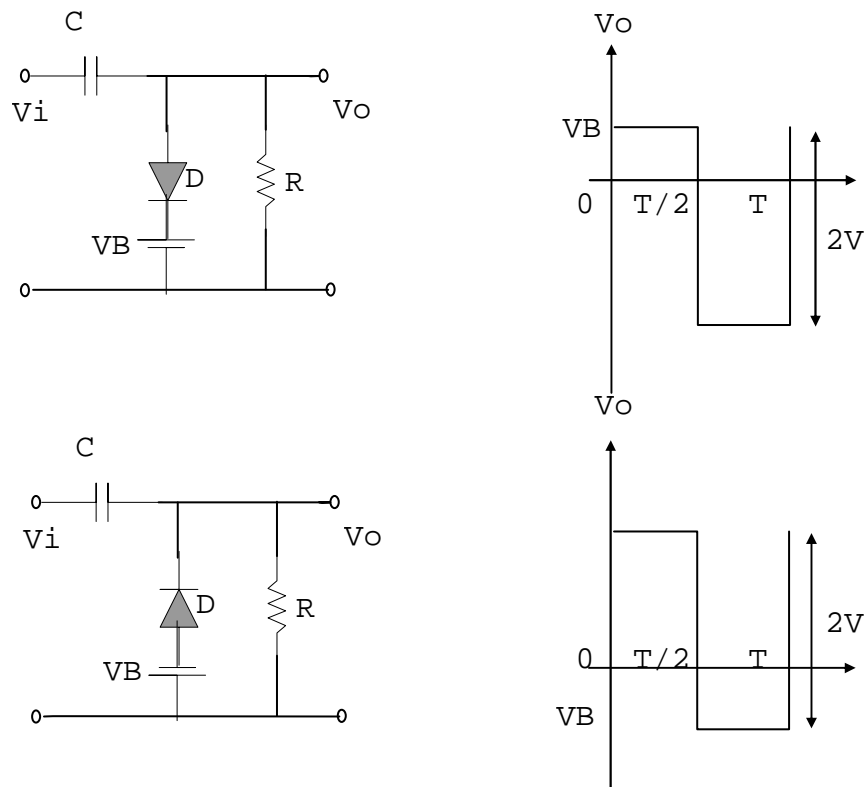
Gambar 2.9 Rangkaian Clamper sederhana

Gambar 2.9 (a) adalah gelombang kotak yang menjadi sinyal input rangkaian clamper (b). Pada saat  $0 - T/2$  sinyal input adalah positif sebesar  $+V$ , sehingga Dioda menghantar (ON). Kapasitor mengisi muatan dengan cepat melalui tahanan dioda yang rendah (seperti hubung singkat, karena dioda ideal). Pada saat ini sinyal output pada R adalah nol (gambar d).

Kemudian saat  $T/2 - T$  sinyal input berubah ke negatif, sehingga dioda tidak menghantar (OFF) (gambar e). Kapasitor membuang muatan sangat lambat, karena RC dibuat cukup lama. Sehingga pengosongan tegangan ini tidak berarti dibanding dengan sinyal output. Sinyal output merupakan penjumlahan tegangan input  $-V$  dan tegangan pada kapasitor  $-V$ , yaitu sebesar  $-2V$  (gambar c).

Terlihat pada gambar 2.9 c bahwa sinyal output merupakan bentuk gelombang kotak (seperti gelombang input) yang level dc nya sudah bergeser kearah negatif sebesar  $-V$ . Besarnya penggeseran ini bisa divariasikan dengan menambahkan sebuah baterai secara seri dengan dioda. Disamping itu arah penggeseran juga bisa dinuat kearah positif dengan cara

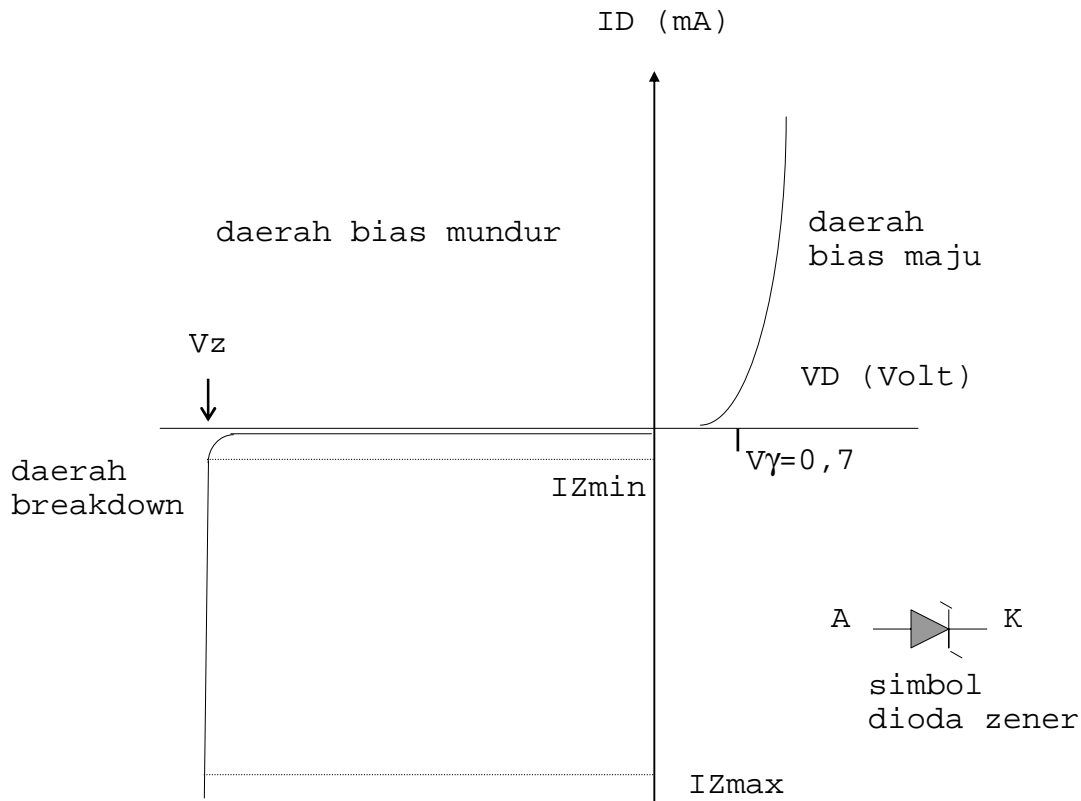
membalik arah dioda. Beberapa rangkaian clamper negatif dan positif dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Rangkaian Clamper negatif dan positif

### 2.7 Dioda Zener

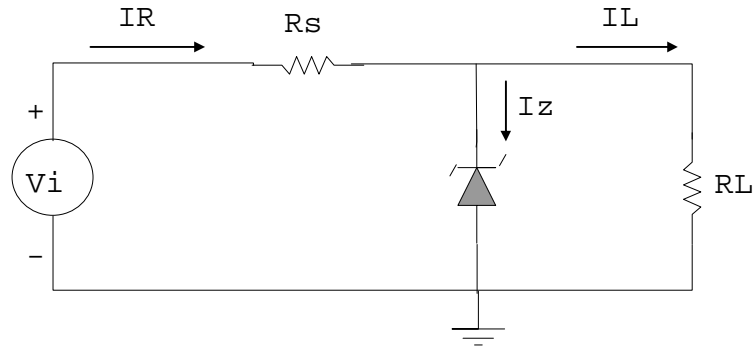
Struktur Dioda zener tidaklah jauh berbeda dengan dioda biasa, hanya tingkat dopingnya saja yang sangat berbeda. Kurva karakteristik dioda zener juga sama seperti dioda biasa, namun perlu dipertegas adanya daerah breakdown dimana pada saat bias mundur mencapai tegangan breakdown maka arus dioda naik dengan cepat (gambar 2.11). Daerah breakdown inilah titik fokus penerapan dari dioda zener. Sedangkan pada dioda biasa tidak diperbolehkan pemberian tegangan mundur sampai pada daerah breakdown, karena bisa merusak dioda.



Gambar 2.11 Kurva karakteristik dioda Zener

Titik breakdown dari suatu dioda zener dapat dikontrol dengan memvariasi tingkat dopingnya. Tingkat doping yang tinggi, akan meningkatkan jumlah pengotoran sehingga tegangan zenernya ( $V_z$ ) akan kecil. Demikian juga sebaliknya, dengan tingkat doping yang rendah diperoleh  $V_z$  yang tinggi. Pada umumnya dioda zener dipasaran tersedia mulai dari  $V_z$  1,8 V sampai 200 V, dengan kemampuan daya dari  $\frac{1}{4}$  hingga 50 W. Karena temperatur dan kemampuan arusnya yang tinggi, maka jenis silikon sering dipakai pada dioda zener.

Penerapan dioda zener yang paling penting adalah sebagai penyetabil tegangan (voltage regulator). Rangkaian dasar penyetabil tegangan adalah pada gambar 2.12. Agar rangkaian ini dapat berfungsi sebagai penyetabil tegangan, maka dioda zener harus bekerja pada daerah breakdown. Dengan kata lain, apabila dilihat pada gambar 2.11, maka tegangan sumber ( $V_i$ ) yang diberikan pada rangkaian harus lebih besar dari  $V_z$  atau arus pada dioda zener harus lebih besar dari  $I_z$  minimum.



Gambar 2.12 Rangkaian dasar penyetabil tegangan

Oleh karena itu persyaratan yang harus dipenuhi agar rangkaian berfungsi sebagai penyetabil tegangan adalah berkenaan dengan nilai RL dan Vi. Pertama, RL harus lebih besar dari RL minimum. RL ini berhubungan dengan Iz, karena bila RL minimum, maka IL menjadi maksimum, sehingga Iz menjadi minimum. Kedua, Vi harus lebih besar dari Vi minimum. Vi minimum ini akan menjamin bahwa dioda mendapatkan tegangan *breakdown*.

Kasus pertama: Resistansi beban RL harus lebih besar dari RL minimum. Apabila RL kecil sekali sehingga kurang dari RLmin, maka turun tegangan pada RL (juga pada zener) akan kecil sehingga kurang dari Vz. Oleh karena itu zener tidak berfungsi, karena tidak bekerja pada daerah *breakdown*. Untuk menghitung harga RLmin dari gambar 2.10 adalah menghitung harga RL saat diperoleh VL = Vz, yaitu:

$$V_L = V_Z = \frac{R_L \cdot V_i}{R_L + R_s}$$

sehingga diperoleh:

$R_{Lmin} = \frac{R_s \cdot V_z}{V_i - V_z}$	..... (2.16)
--	--------------

Harga RLmin ini akan menjamin bahwa dioda zener bekerja. Dengan RLmin maka diperoleh ILmax, yaitu:



$$I_{Lmax} = \frac{V_L}{R_L} = \frac{V_z}{R_{Lmin}} \dots\dots\dots (2.17)$$

Bila zener sudah bekerja, berarti  $V_L = V_z = \text{konstan}$ , dan dengan menganggap  $V_i$  tetap maka turun tegangan pada  $R_S$  ( $V_R$ ) juga tetap, yaitu:

$$V_R = V_i - V_z \dots\dots\dots (2.18)$$

dan arus yang mengalir pada  $R_s$  juga tetap, yaitu sebesar ( $I_R$ ):

$$I_R = \frac{V_R}{R_s} \dots\dots\dots (2.19)$$

Arus zener dapat dihitung dengan,

$$I_z = I_R - I_L \dots\dots\dots (2.20)$$

Karena  $I_R$  tetap, maka  $I_z$  akan maksimum bila  $I_L$  minimum dan sebaliknya. Agar  $I_z$  tidak melebihi harga  $I_{zm}$  yang sudah ditentukan oleh pabrik, maka  $I_L$  harus tidak boleh kurang dari  $I_L$  minimum. Jika  $I_{zm}$  terlampaui, zener akan panas dan bisa rusak.  $I_{Lmin}$  ini adalah:

$$I_{Lmin} = I_R - I_{zm} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan diperoleh  $I_L$  minimum, maka  $R_L$  akan maksimum, yaitu:

$$R_{Lmax} = \frac{V_z}{I_{Lmin}} \dots\dots\dots (2.22)$$

**Contoh 2.1:**

Rangkaian penyetabil tegangan seperti gambar 2.10 mempunyai data sbb:  $V_i = 50$  Volt,  $R_s = 1\text{ K}\Omega$ ,  $V_z = 10$  Volt, dan  $I_{zm} = 32$  mA. Tentukan variasi harga  $R_L$  (min dan max) agar tegangan output masih stabil 10 Volt. Dan hitung daya pada zener maksimum.

Penyelesaian:

$$R_{Lmin} = \frac{R_s \cdot V_z}{V_i - V_z} = \frac{(1K) \cdot (10)}{50 - 10} = \frac{10K}{40} = 250 \Omega$$

$$V_R = V_i - V_z = 50 - 10 = 40 \text{ Volt}$$

$$I_R = V_R / R_s = 40 / 1K = 40 \text{ mA}$$

$$I_{Lmin} = I_R - I_{zm} = 40\text{mA} - 32\text{mA} = 8 \text{ mA}$$

$$R_{Lmax} = V_z / I_{Lmin} = 10 / 8\text{mA} = 1,25 \text{ K}\Omega$$

Daya maksimum pada dioda zener:

$$P_{zmax} = V_z \cdot I_{zm} = 10 \cdot 32\text{mA} = 320\text{mW}$$

Kasus kedua: Agar dioda zener dapat berfungsi sebagai penyetabil tegangan, maka turun tegangan pada  $R_L$  harus lebih besar dari  $V_z$ . Dengan kata lain  $V_i$  harus lebih besar dari  $V_{imin}$ . Namun bila  $V_i$  terlalu besar sehingga arus pada zener melebihi  $I_{zm}$ , maka zener bisa rusak. Oleh karena itu  $V_i$  harus lebih kecil dari  $V_{imax}$ .

Dengan menganggap harga  $R_L$  tetap, maka tegangan sumber minimum ( $V_{imin}$ ) adalah:

$$V_{imin} = \frac{(R_L + R_s) \cdot V_z}{R_L} \dots\dots\dots (2.23)$$

Sedangkan harga maksimum tegangan sumber ( $V_{imax}$ ) adalah:

$$V_{imax} = I_{Rmax} \cdot R_s + V_z \dots\dots\dots (2.24)$$

dimana harga  $I_{Rmax}$  adalah arus maksimum yang mengalir melalui  $R_s$ , yaitu  $I_{Rmax} = I_{zm} + I_L$ .

**Contoh 2.2:**

Rangkaian penyetabil tegangan seperti gambar 2.12 mempunyai data sbb:  $R_L = 1,2\text{ K}\Omega$ ,  $R_s = 220\ \Omega$ ,  $V_z = 20\text{ Volt}$ , dan  $I_{zm} = 60\text{ mA}$ . Tentukan variasi harga  $V_i$  (min dan max) agar tegangan output masih stabil sebesar 20 Volt. Dan hitung daya pada zener maksimum.

Penyelesaian:

$$V_{imin} = \frac{(R_L + R_s) \cdot V_z}{R_L} = \frac{(1200 + 220) \cdot (20)}{1200} = \mathbf{23,67\ Volt}$$

$$I_L = V_L / R_L = 20V / 1,2K\Omega = 16,67\text{ mA}$$

$$I_{Rmax} = I_{zm} + I_L = 60\text{mA} + 16,67\text{mA} = 76,67\text{ mA}$$

$$V_{imax} = I_{Rmax} \cdot R_s + V_z$$

$$= (76,67\text{mA})(0,22K\Omega) + 20V = \mathbf{36,87\ Volt}$$

**2.8 Perencanaan Penyetabil Tegangan**

Perencanaan suatu rangkaian penyetabil tegangan dimulai dari spesifikasi yang diharapkan dari rangkaian terbut, kemudian dihitung harga-harga komponen yang diperlukan. Dalam praktek spesifikasi yang diinginkan adalah arus beban ( $I_L$ ) dan tegangan sumber ( $V_i$ ) serta tegangan keluaran ( $V_z$ ). Sedangkan komponen yang harus direncanakan adalah  $R_s$  dan Dioda zener.

Dari persamaan 2.3; 2.4 dan 2.5 diperoleh harga  $R_s$ :

$R_s = \frac{V_i - V_z}{I_z + I_L} \dots\dots\dots (2.25)$
--

Karena dalam perencanaan harga  $I_L$ ,  $V_i$  dan  $V_z$  sudah diketahui (sesuai dengan permintaan perencanaan), agar rangkaian bisa berfungsi dengan benar, maka pada dua kondisi ekstrem dapat diperoleh  $R_s$ :

$$R_s = \frac{V_{imin} - V_z}{I_{zmin} + I_{Lmax}} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$R_s = \frac{V_{imax} - V_z}{I_{zmax} + I_{Lmin}} \dots\dots\dots(2.27)$$

Dari dua persamaan tersebut yang belum diketahui adalah harga Izmin dan Izmax (dan tentu saja Rs). Dalam praktek berlaku Izmin = 0,1 Izmax. Sehingga dengan menggabungkan persamaan 2.26 dan 2.27, diperoleh:

$I_{zmax} = \frac{I_{Lmin}(V_z - V_{imin}) + I_{Lmax}(V_{imax} - V_z)}{V_{imin} - 0,9V_z - 0,1V_{imax}} \dots\dots(2.28)$
---

**Contoh 2.3:**

Rencanakan suatu rangkaian penyetabil tegangan sebesar 10 Volt apabila arus beban bervariasi dari 100mA hingga 200mA dan tegangan sumber bervariasi dari 14 Volt sampai 20 Volt.

Penyelesaian:

Arus pada dioda zener maksimum adalah:

$$\begin{aligned}
 I_{zmax} &= \frac{I_{Lmin}(V_z - V_{imin}) + I_{Lmax}(V_{imax} - V_z)}{V_{imin} - 0,9V_z - 0,1V_{imax}} \\
 &= \frac{0,1(10 - 14) + 0,2(20 - 10)}{14 - 0,9(10) - 0,1(20)} \\
 &= \frac{1,6}{3} = \mathbf{0,533 \text{ A}}
 \end{aligned}$$

Disipasi daya maksimum pada dioda zener adalah:

$$P_z = V_z \cdot I_{zmax} = (10) \cdot (0.533) = \mathbf{5,3 \text{ Watt}}$$

Rs dihitung dengan persamaan 2.12 (atau 2.11 dengan hasil yang sama):

$$R_s = \frac{V_{imax} - V_z}{I_{zmax} + I_{Lmin}}$$

$$= \frac{20 - 10}{0,533 + 0,1} = \mathbf{15,8 \Omega}$$

Disipasi daya maksimum pada resistor ini adalah:

$$\begin{aligned} PR &= IR_{\max}(V_{\max} - V_z) \\ &= (I_{z\max} + I_{L\min})(V_{\max} - V_z) \\ &= (0,633 \text{ A})(10 \text{ V}) = \mathbf{6,33 \text{ Watt}} \end{aligned}$$

---

---

### Contoh 2.4:

Rencanakan suatu rangkaian penyetabil tegangan sebesar 10 Volt apabila arus beban bervariasi dari 20mA hingga 200mA dan tegangan sumber bervariasi dari 10,2 Volt sampai 14 Volt.

Penyelesaian:

Arus pada dioda zener maksimum adalah:

$$\begin{aligned} I_{z\max} &= \frac{I_{L\min}(V_z - V_{\min}) + I_{L\max}(V_{\max} - V_z)}{V_{\min} - 0,9V_z - 0,1V_{\max}} \\ &= \frac{0,02(10 - 10,2) + 0,2(14 - 10)}{10,2 - 0,9(10) - 0,1(14)} = \mathbf{- 4 \text{ A}} \end{aligned}$$

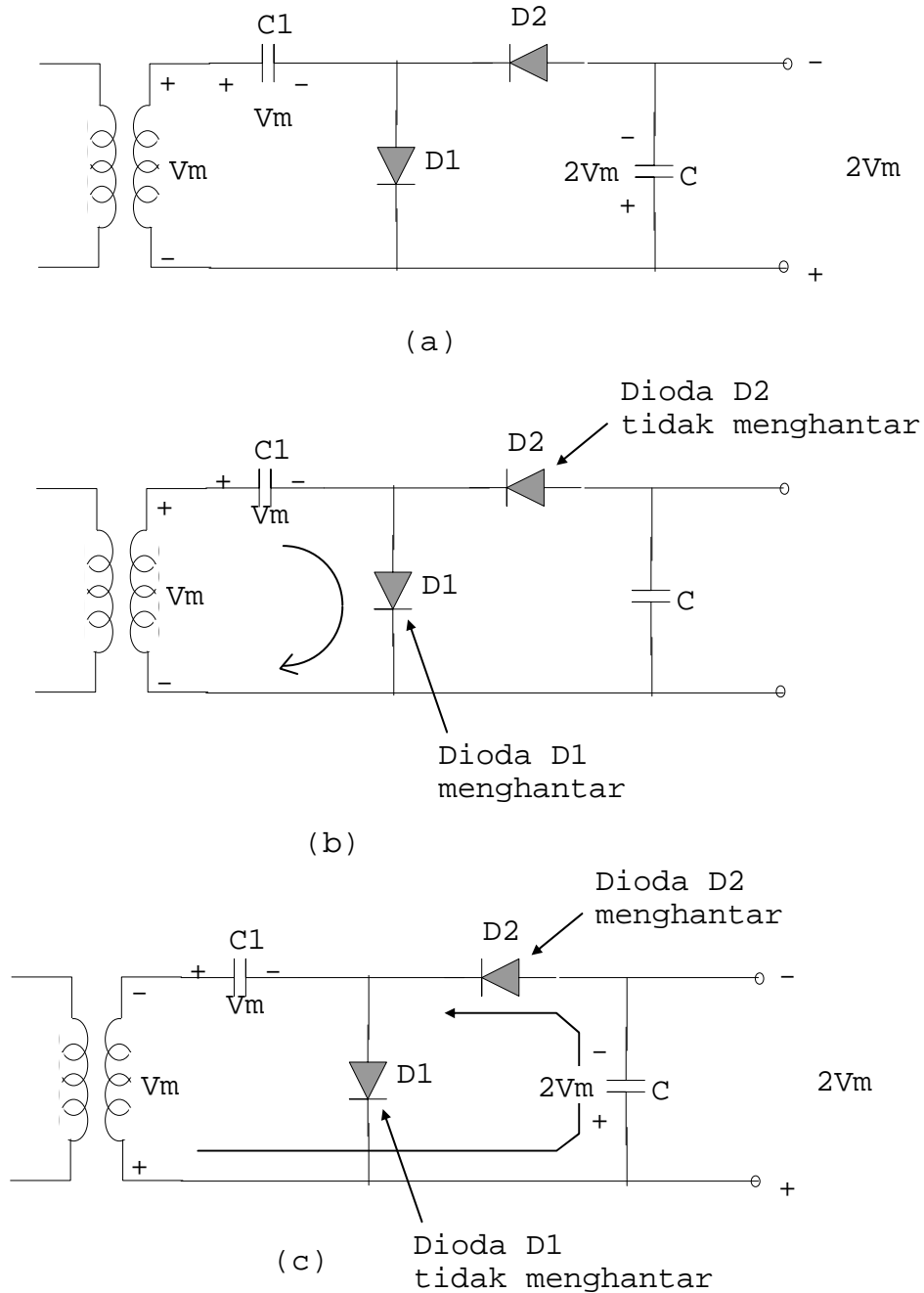
$I_{z\max}$  bernilai negatif berarti jarak antara  $V_{\min}$  dengan  $V_z$  kurang (tidak cukup) besar untuk mengatasi variasi arus beban. Pada kondisi terjelek, yakni  $V_i = 10,2 \text{ V}$  dan  $I_L = 200\text{mA}$ , tegangan output tidak bisa konstan 10 V. Oleh karena itu rangkaian penyetabil tidak berfungsi dengan baik untuk semua kemungkinan harga Rs.

---

---

### 2.9 Rangkaian Pelipat Tegangan

Dengan menggunakan rangkaian pelipat tegangan (voltage multiplier) pada skunder trafo yang relatif kecil dapat diperoleh tegangan searah keluaran sebesar dua, tiga, empat atau lebih kali lipat tegangan input. Rangkaian ini banyak digunakan pada pembangkit tegangan tinggi namun dengan arus yang kecil seperti pada catu daya tabung gambar.



Gambar 2.13 (a) Rangkaian pelipat tegangan dua kali setengah gelombang; (b) kondisi pada saat siklus positif; (c) kondisi pada saat siklus negatif

Gambar 2.13 merupakan rangkaian pelipat tegangan dua kali setengah gelombang. Pada saat tegangan sekunder trafo berpolaritas positif (setengah siklus positif), maka dioda D1 menghantar dan dioda D2 tidak menghantar. Secara ideal dioda yang sedang menghantar dianggap hubung singkat. Oleh karena itu C1 diisi tegangan melalui D1 hingga mencapai  $V_m$  dengan polaritas seperti ditunjukkan pada gambar 2.13 b.

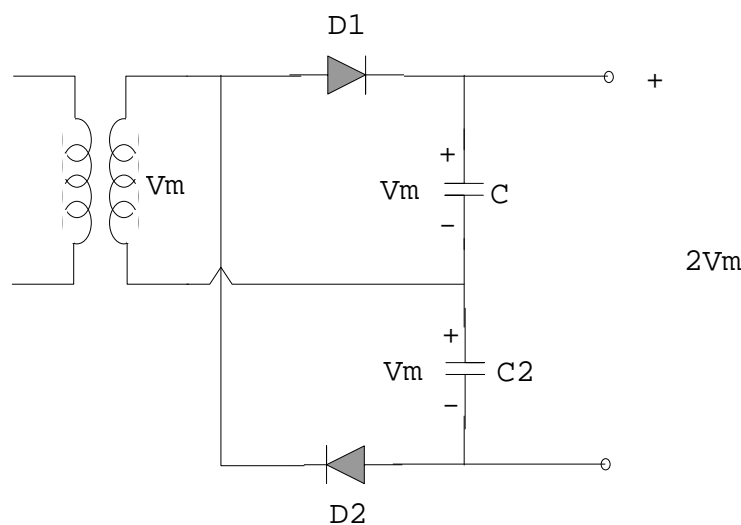
Pada saat setengah siklus berikutnya yaitu siklus negatif, maka dioda D1 tidak menghantar dan dioda D2 menghantar. Oleh karena itu kapasitor C2 diisi tegangan dari skunder trafo sebesar  $V_m$  dan dari C1 sebesar  $V_m$ , sehingga total sebesar  $2 V_m$ .

Apabila pada output diberi resistor beban ( $R_L$ ), maka tegangan pada ujung C2 turun selama siklus positif dan diisi kembali hingga  $2 V_m$  selama siklus negatif. Bentuk gelombang output pada ujung C2 adalah seperti bentuk output penyearah setengah gelombang dengan filter C. Tegangan puncak inverse (PIV) untuk setiap dioda adalah  $2 V_m$ .

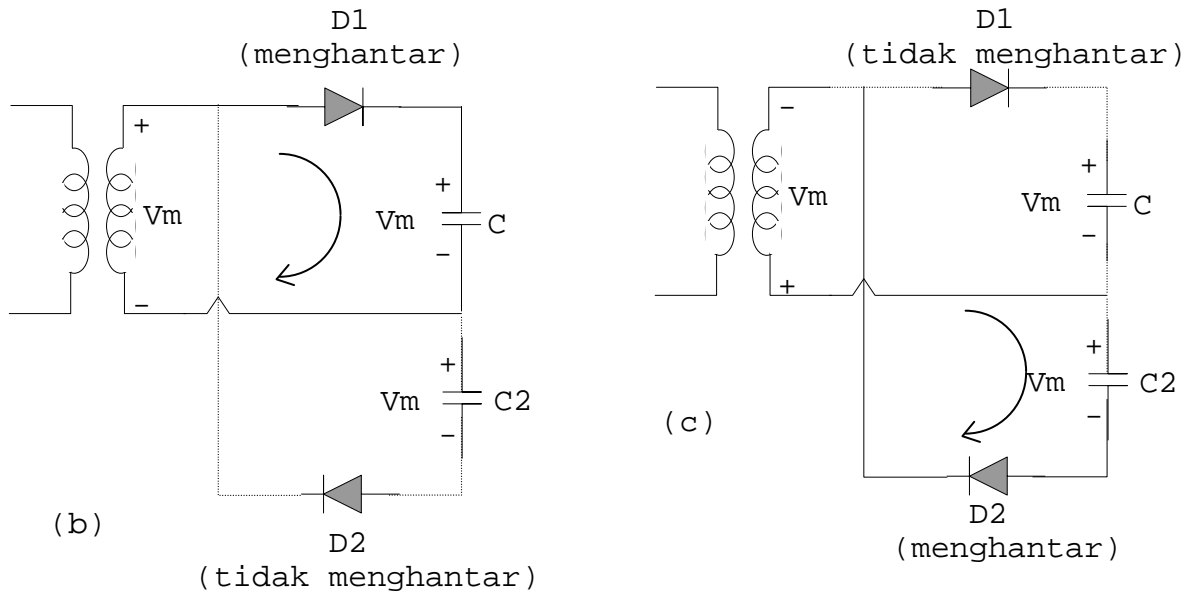
Rangkaian yang ditunjukkan pada gambar 2.14 adalah pelipat tegangan dua kali gelombang penuh. Selama siklus positif dari skunder trafo dioda D1 menghantar dan C1 mengisi tegangan hingga  $V_m$ , sedangkan dioda D2 tidak menghantar (gambar 2.14 b). Selama siklus negatif dioda D2 menghantar dan C2 mengisi tegangan hingga  $V_m$ , sedangkan dioda D1 tidak menghantar (gambar 2.14 c). Tegangan puncak inverse (PIV) untuk setiap dioda adalah  $2 V_m$ .

Jika tidak ada beban, maka tegangan pada ujung C1 dan C2 adalah  $2 V_m$ . Jika beban dipasang pada output, maka bentuk gelombang pada ujung C1 dan C2 adalah seperti halnya pada kapasitor yang diumpankan dari penyearah gelombang penuh. Perbedaannya adalah bahwa pada rangkaian pelipat tegangan ini C1 dan C2 berhubungan secara seri, sehingga nilainya lebih kecil dari masing-masing C.

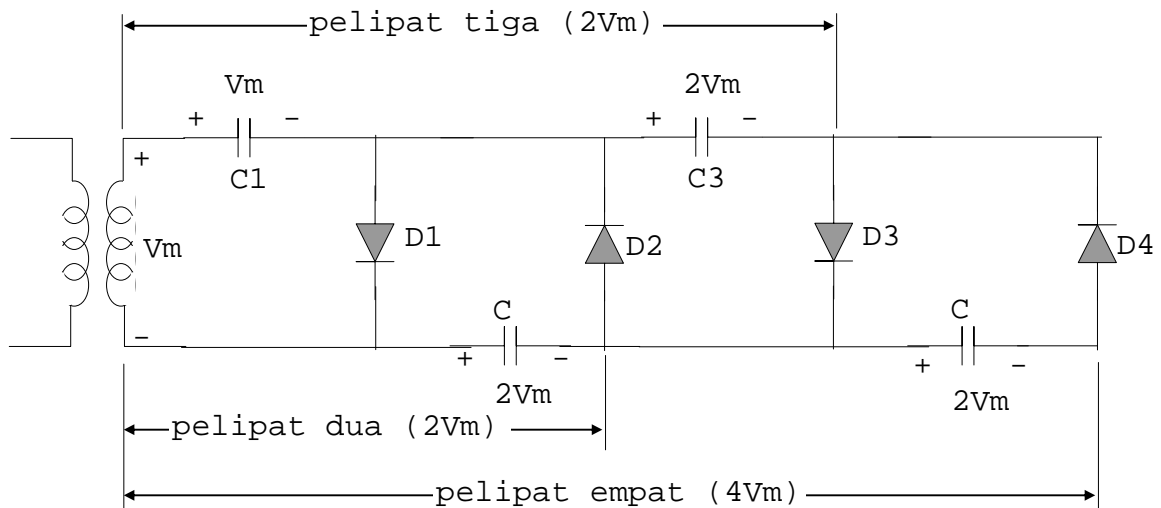
Dari rangkaian pelipat tegangan dua kali seperti yang sudah dijelaskan di depan kemudian dapat dikembangkan rangkaian pelipat tiga, empat kali tegangan input. Gambar 2.15 merupakan rangkaian pelipat tegangan tersebut. Dari penjelasan di depan kiranya sudah cukup jelas bagaimana prinsip kerja rangkaian ini.



(a)



Gambar 2.14 (a) Rangkaian pelipat tegangan dua kali gelombang penuh; (b) kondisi saat siklus positif; (c) kondisi saat siklus negatif



Gambar 1.15 Rangkaian pelipat tegangan dua, tiga, dan empat kali

### 2.10 Ringkasan

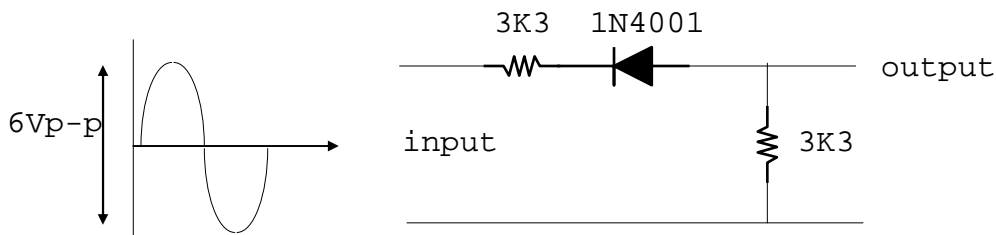
Penerapan Dioda semikonduktor yang sangat penting adalah sebagai penyearah, yaitu suatu rangkaian yang dapat mengubah sinyal bolak balik menjadi arus searah. Hal ini karena karakteristik dioda yang hanya dapat melewatkan arus pada satu arah saja. Rangkaian penyearah yang sederhana adalah penyearah setengah gelombang. Namun untuk mendapatkan hasil penyearahan yang baik diperlukan rangkaian penyearah gelombang penuh.



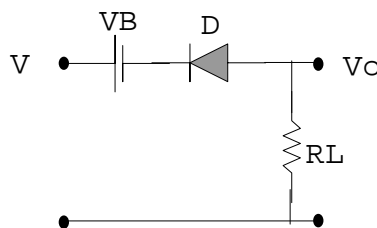
Untuk mendapatkan stabilisasi hasil penyearahan diperlukan rangkaian regulator tegangan. Komponen dasar untuk stabilisasi tegangan adalah dioda Zener. Rangkaian stabilisasi tegangan diharapkan mampu mengatasi variasi sinyal input dan variasi beban.

### 2.11 Soal Latihan

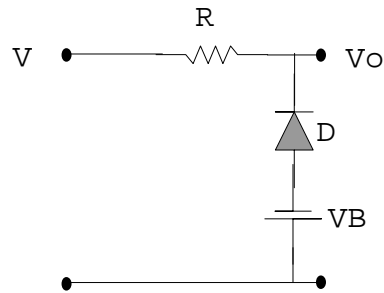
1. Bila sinyal sinus sebesar  $6\text{ V}_{p-p}$  dimasukkan ke input rangkaian di bawah, tentukan sinyal outputnya!



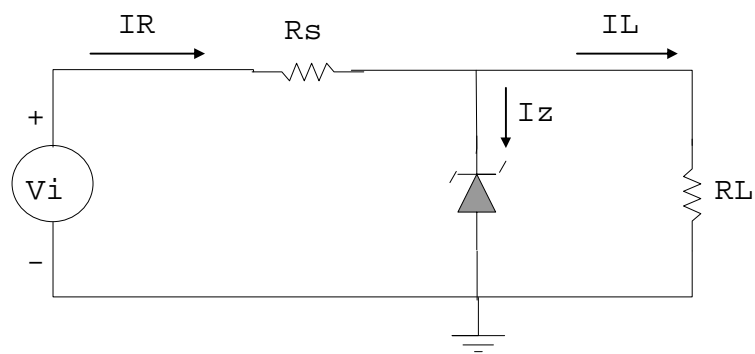
2. Ulangi soal no.1 dengan mengubah arah dioda pada rangkain tersebut!
3. Jelaskan prinsip kerja penyearah gelombang penuh dengan sistem jembatan dan tunjukkan pula proses pembentukan sinyal outputnya.
4. Apabila sinyal ac sebesar  $12\text{ V}_{eff}$  dimasukkan ke penyearah setengah gelombang tentukan  $V_{dc}$  outputnya!
5. Apabila sinyal ac sebesar  $9\text{ V}_{eff}$  dimasukkan ke penyearah gelombang penuh tentukan  $V_{dc}$  outputnya!
6. Jelaskan apa yang dimaksud dengan istilah PIV (peak-inverse voltage) pada dioda!
7. Apabila sinyal input sinus sebesar  $10\text{ V}_{p-p}$  dimasukkan ke input rangkaian pemotong (clipper) di bawah, dengan  $V_B = 4\text{ Volt}$ , gambarkan bentuk sinyal outputnya!



8. Apabila sinyal input sinus sebesar  $10\text{ V}_{p-p}$  dimasukkan ke input rangkaian pemotong (clipper) di bawah, dengan  $V_B = 4\text{ Volt}$ , gambarkan bentuk sinyal outputnya!



9. Rangkaian penyetabil tegangan di bawah diharapkan menghasilkan tegangan output 6 Volt. Apabila tegangan input bervariasi dari 10 hingga 15 Volt dan arus beban bervariasi dari 100 hingga 500 mA, tentukan komponen-komponen yang diperlukan ( $R_s$  dan Zener)!



10. Rangkaian penyetabil tegangan seperti gambar di atas (soal no.9) mempunyai data sbb:  $R_L = 1\text{ K}\Omega$ ,  $R_s = 220\ \Omega$ ,  $V_Z = 12\text{ Volt}$ , dan  $I_{zm} = 40\text{ mA}$ . Tentukan variasi harga  $V_i$  (min dan max) agar tegangan output masih stabil sebesar 12 Volt. Dan hitung daya pada zener maksimum!

***Sumber Pustaka***

Boylestad and Nashelsky. (1992). *Electronic Devices and Circuit Theory*, 5th ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.

Floyd, T. (1991). *Electric Circuits Fundamentals*. New York: Merrill Publishing Co.

Malvino, A.P. (1993). *Electronic Principles 5th Edition*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.

Milman & Halkias. (1972). *Integrated Electronics: Analog and Digital Circuits and Systems*. Tokyo: McGraw-Hill, Inc.

Savant, Roden, and Carpenter. (1987). *Electronic Circuit Design: An Engineering Approach*. Menlo Park, CA: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.

Stephen, F. (1990). *Integrated devices: discrete and integrated*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.