

BAB I

SEMIKONDUKTOR DAYA

KOMPETENSI DASAR

Setelah mengikuti materi ini diharapkan mahasiswa memiliki kompetensi:

- Menguasai karakteristik semikonduktor daya yang dioperasikan sebagai pensakelaran, pengubah, dan pengatur.
- Menguasai dasar prinsip kerja rangkaian elektronika daya, antara lain: penyearah, konverter, AC regulator, chopper, dan inverter.

STANDAR KOMPETENSI

Mampu menerapkan prinsip dasar pensakelar elektronis dari komponen semikonduktor daya dalam rangkaian elektronika daya.

A. Pendahuluan

Rangkaian elektronika daya merupakan suatu rangkaian listrik yang dapat mengubah sumber daya listrik dari bentuk gelombang tertentu (seperti bentuk gelombang sinusoida) menjadi sumber daya listrik dengan bentuk gelombang lain (seperti gelombang nonsinusoida) dengan menggunakan piranti semikonduktor daya. Semikonduktor daya memiliki peran penting dalam rangkaian elektronika daya. Semikonduktor daya dalam rangkaian elektronika daya umumnya dioperasikan sebagai pensakelar (*switching*), pengubah (*converting*), dan pengatur (*controlling*) sesuai dengan unjuk kerja rangkaian elektronika daya yang diinginkan.

Penggunaan semikonduktor yang dioperasikan sebagai sakelar dalam suatu rangkaian elektronika memiliki keuntungan dapat

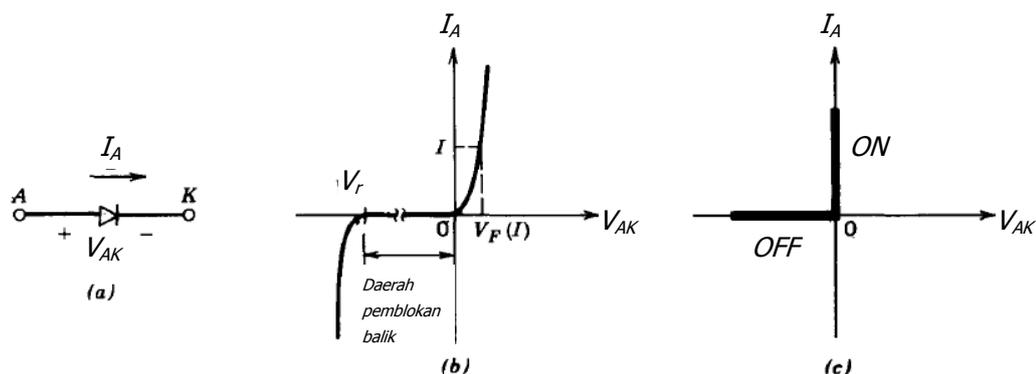
menaikkan efisiensi dan performansi rangkaian karena rugi daya yang terjadi relatif kecil. Seperti karakteristik sakelar pada umumnya, karakteristik semikonduktor daya yang dioperasikan sebagai sakelar memiliki dua keadaan, yaitu: kondisi 'ON' dan kondisi 'OFF'. Hal ini berarti, rangkaian dalam keadaan 'tertutup' atau 'terbuka'. Dalam kondisi ideal, semikonduktor daya yang dioperasikan sebagai sakelar hanya menyerap daya yang relatif kecil baik saat kondisi 'ON' maupun 'OFF' atau bahkan dalam kondisi tertentu daya yang diserap dapat diabaikan (nol). Keuntungan lain dari proses pensakelaran ini dapat dilakukan sekaligus proses pengubahan atau proses pengaturan. Karena keistimewaan inilah semikonduktor daya banyak digunakan dalam pengaturan daya listrik.

Aplikasi rangkaian elektronika biasanya digunakan pada peralatan konversi daya listrik yang besar; seperti : transmisi daya listrik, pengaturan motor listrik secara elektronis di industri; hingga peralatan listrik keperluan sehari-hari dengan daya yang rendah. Pengaturan lampu (*dimmer*) dan *Uninterruptable Power Supply* (UPS) merupakan contoh aplikasi rangkaian elektronika daya yang sering dijumpai dalam pemakaian sehari-hari. Di samping itu, rangkaian elektronika daya dapat mengubah beberapa bentuk rangkaian listrik pengubah, antara lain: rangkaian listrik yang mengubah sumber listrik arus bolak-balik (*alternating current – AC*) menjadi sumber listrik arus searah (*direct current – DC*), mengubah sumber listrik arus searah (*direct current – DC*) menjadi sumber listrik arus bolak-balik (*alternating current – AC*), mengubah tegangan DC tetap menjadi tegangan DC yang dapat diatur, dan mengubah sumber AC dengan frekuensi tertentu menjadi sumber AC dengan frekuensi baru. Uraian tentang rangkaian listrik pengubah ini akan dijelaskan secara lengkap dalam bab selanjutnya.

B. KARAKTERISTIK SEMIKONDUKTOR DAYA

1. Dioda

Dioda merupakan semikonduktor (komponen) elektronika daya yang memiliki dua terminal, yaitu: anoda dan katoda. Dalam rangkaian elektronika daya, dioda difungsikan sebagai sakelar. Gambar 1.1 (a), (b), dan (c) masing-masing ditunjukkan simbol dioda, karakteristik diode, karakteristik ideal dioda jika dioperasikan sebagai sakelar. Sebagai sakelar, sebagaimana Gambar 1 (c), dioda akan konduksi (*ON*) jika potensial pada anode lebih positif daripada potensial pada katoda, dan dioda akan memblok (*OFF*) jika potensial pada anoda lebih negatif daripada potensial pada katoda.



Gambar 1.1 Diode: (a) simbol diode, (b) karakteristik diode, (c) karakteristik ideal diode sebagai sakelar

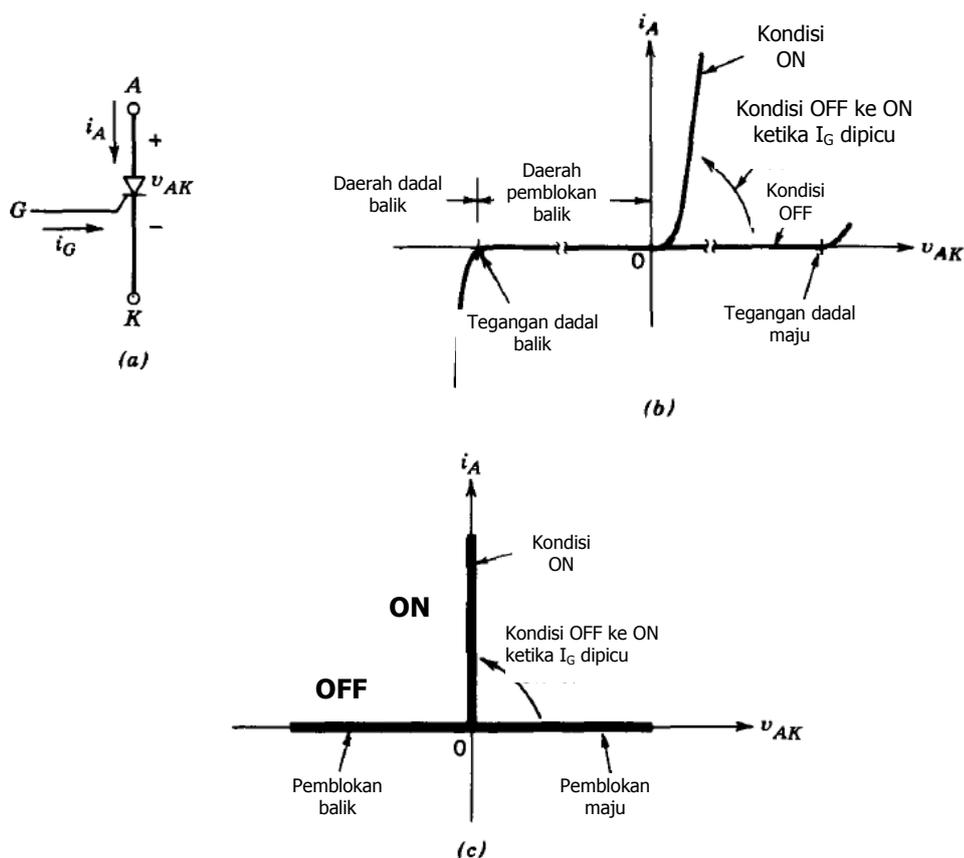
Jika diode dalam kondisi ideal, ketika dioda dalam kondisi ON memiliki karakteristik tegangan pada dioda sama dengan nol dan arus yang mengalir pada diode sama dengan arus bebannya. Sebaliknya, dioda dalam kondisi OFF memiliki karakteristik tegangan pada dioda sama dengan tegangan sumbernya dan arus yang mengalir sama dengan nol. Dalam kondisi dioda ON dan OFF ini dapat dinyatakan tidak terjadi kerugian daya pada dioda.

2. Thyristor

Semikonduktor daya yang termasuk dalam keluarga thyristor ini, antara lain : SCR (*silicon-controlled rectifier*), GTO (*gate turn-off thyristor*), dan TRIAC. SCR banyak digunakan dalam rangkaian elektronika daya. SCR memiliki tiga terminal, yaitu anoda, katoda, dan *gate*. SCR dapat digunakan dengan sumber masukan dalam bentuk tegangan bolak-balik (AC) maupun tegangan searah (DC). SCR dalam rangkaian elektronika daya dioperasikan sebagai sakelar. Gambar 1.2 (a), (b), dan (c) masing-masing ditunjukkan simbol SCR, karakteristik SCR, karakteristik ideal SCR jika dioperasikan sebagai sakelar.

Jika sumber tegangan masukan yang digunakan tegangan searah, SCR akan konduksi (ON) jika potensial pada anoda lebih positif daripada potensial pada katoda dan pada terminal *gate* dialirkan arus pulsa positif. Kondisi ON SCR ini ditentukan oleh besar arus pulsa positif pada *gate*. Tetapi, SCR akan terus ON meskipun arus pulsa pada *gate* diputus. SCR akan putus (OFF) dengan cara membuat potensial pada anoda sama dengan katoda. Proses pengaliran arus listrik pada terminal *gate* ini disebut penyulutan/ pemicu (*triggering*), sedangkan proses pemutusan (OFF) dari kondisi ON ini disebut komutasi (*commutation*).

Selanjutnya, jika sumber tegangan masukan yang digunakan tegangan bolak-balik, SCR akan ON ketika tegangan bolak-balik pada polaritas positif dan akan OFF pada polaritas negatif, tetapi pada terminal *gate* harus selalu dialirkan arus pulsa positif. Berbeda dengan karakteristik sebelumnya, SCR akan OFF ketika arus pulsa pada *gate* diputus. Hal ini berarti, arus pulsa pada *gate* harus selalu dihubungkan dengan terminal *gate* agar rangkaian dapat bekerja sebagaimana yang diharapkan.



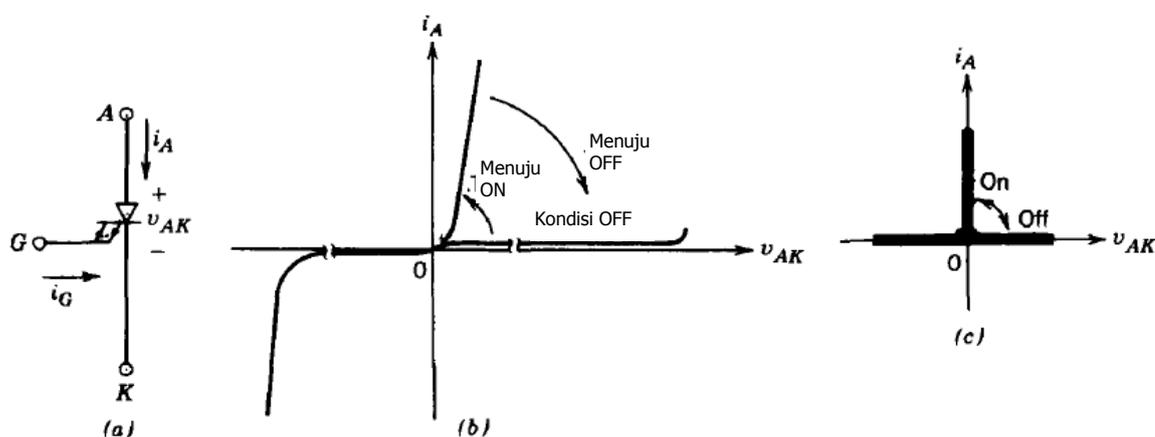
Gambar 1.2 SCR: (a) simbol SCR, (b) karakteristik SCR, (c) karakteristik ideal SCR sebagai sakelar

Jika SCR dalam kondisi ideal, ketika SCR dalam kondisi ON memiliki karakteristik tegangan pada SCR sama dengan nol dan arus yang mengalir sama dengan arus bebannya. Sebaliknya, SCR dalam kondisi OFF memiliki karakteristik tegangan pada SCR sama dengan tegangan sumbernya dan arus yang mengalir sama dengan nol. Dalam kondisi SCR ON dan OFF ini dapat dinyatakan tidak terjadi kerugian daya pada SCR.

3. Gate Turn-off (GTO) Thyristor

GTO merupakan komponen elektronika daya yang memiliki tiga terminal, yaitu: anoda, katoda, dan gerbang (*gate*). Semikonduktor daya ini termasuk dalam keluarga thyristor. Dalam rangkaian

elektronika daya, GTO dioperasikan sebagai sakelar. Gambar 1.3 (a), (b), dan (c) masing-masing ditunjukkan simbol GTO, karakteristik GTO, karakteristik ideal GTO jika dioperasikan sebagai sakelar. Seperti SCR, GTO akan konduksi (ON) jika potensial pada anoda lebih positif daripada potensial pada katoda dan pada terminal gerbang dialirkan pulsa arus positif dan akan terus ON. GTO akan OFF jika terminal gerbang dan katoda diberi tegangan yang lebih negatif atau dialiri pulsa arus negatif.

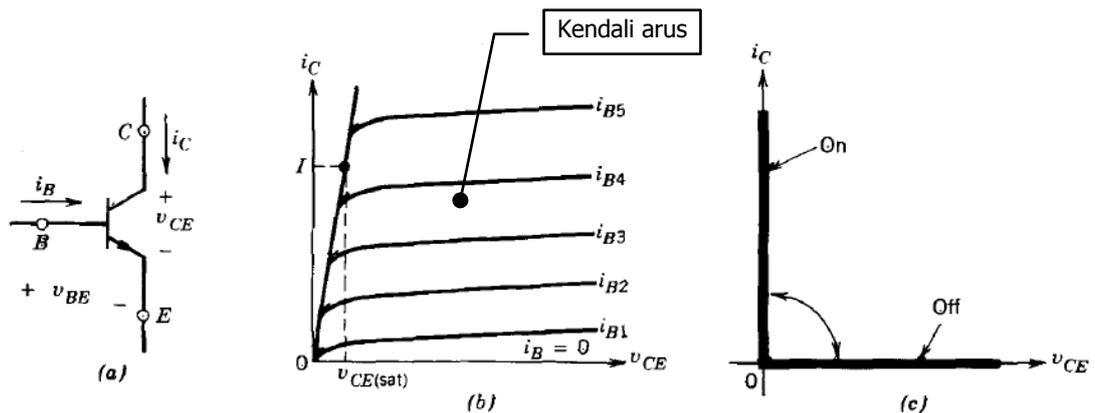


Gambar 1.3 GTO: (a) simbol GTO, (b) karakteristik GTO, (c) karakteristik ideal SCR sebagai sakelar

4. Transistor

Transistor merupakan komponen elektronika daya yang memiliki tiga terminal, yaitu: basis, emitor, dan kolektor. Dalam rangkaian elektronika daya, transistor umumnya dioperasikan sebagai sakelar dengan konfigurasi emitor-bersama. Transistor bekerja atas dasar prinsip kendali-arus (*current driven*). Gambar 1.4 (a), (b), dan (c) masing-masing ditunjukkan simbol transistor, karakteristik transistor, dan karakteristik ideal transistor sebagai sakelar. Transistor dengan jenis NPN akan ON jika pada terminal kolektor-emitor diberi panjar

(bias) dan pada basis memiliki potensial lebih positif daripada emitor dan memiliki arus basis yang mampu mengendalikan transistor pada daerah jenuh. Sebaliknya, transistor akan OFF jika arus basis dikurangi hingga pada kolektor tidak dapat mengalirkan arus listrik.



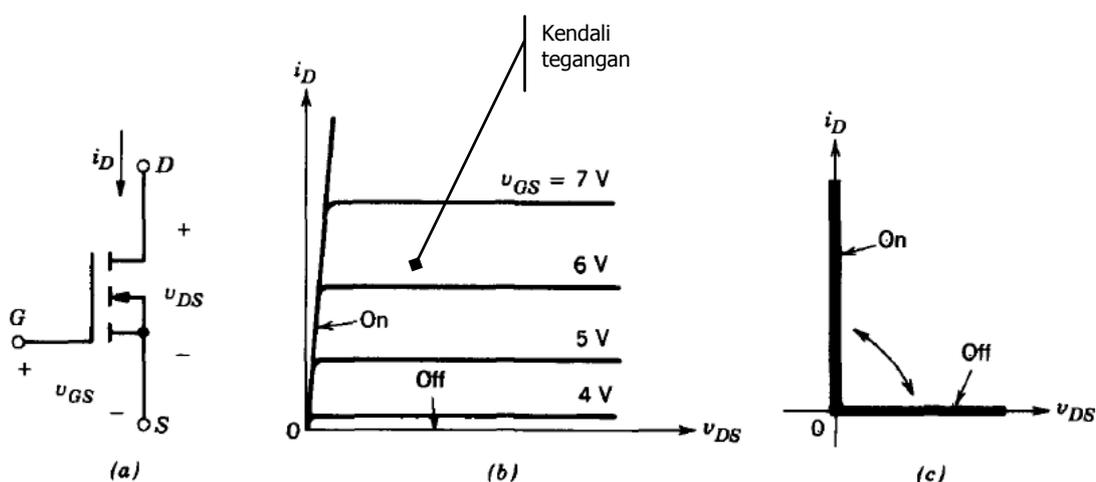
Gambar 1.4 Transistor: (a) simbol transistor, (b) karakteristik transistor, (c) karakteristik ideal transistor sebagai sakelar

Jika transistor dalam kondisi ideal, ketika transistor dalam kondisi ON memiliki karakteristik tegangan pada terminal emitor dan kolektor (V_{CE}) sama dengan nol dan arus yang mengalir sama dengan arus bebannya. Sebaliknya, ketika transistor dalam kondisi OFF memiliki karakteristik tegangan pada transistor sama dengan tegangan sumbernya (V_{CC}) dan arus yang mengalir sama dengan nol. Dalam kondisi transistor ON dan OFF ini dapat dinyatakan tidak terjadi kerugian daya pada transistor sebagai sakelar.

5. MOSFET

MOSFET merupakan komponen semikonduktor daya yang memiliki tiga terminal, yaitu: gerbang, sumber (*source*), dan pengalir (*drain*). MOSFET bekerja atas dasar prinsip kendali-tegangan (*voltage-driven*). Gambar 1.5 (a), (b), dan (c) masing-masing ditunjukkan simbol

MOSFET, karakteristik MOSFET, dan karakteristik ideal MOSFET sebagai sakelar. Rangkaian pengaturan ON dan OFF dengan piranti MOSFET lebih mudah dibandingkan piranti transistor. Jika pada terminal gerbang-sumber dicatu tegangan yang cukup besar maka piranti akan ON, sehingga menghasilkan tegangan yang kecil antara terminal pengalir-sumber. Dalam kondisi ON, perubahan tegangan pada terminal pengalir-sumber berbanding lurus dengan arus pada terminal pengalirnya. Jadi, terminal pengalir-sumber memiliki resistansi sangat kecil pada saat kondisi ON.

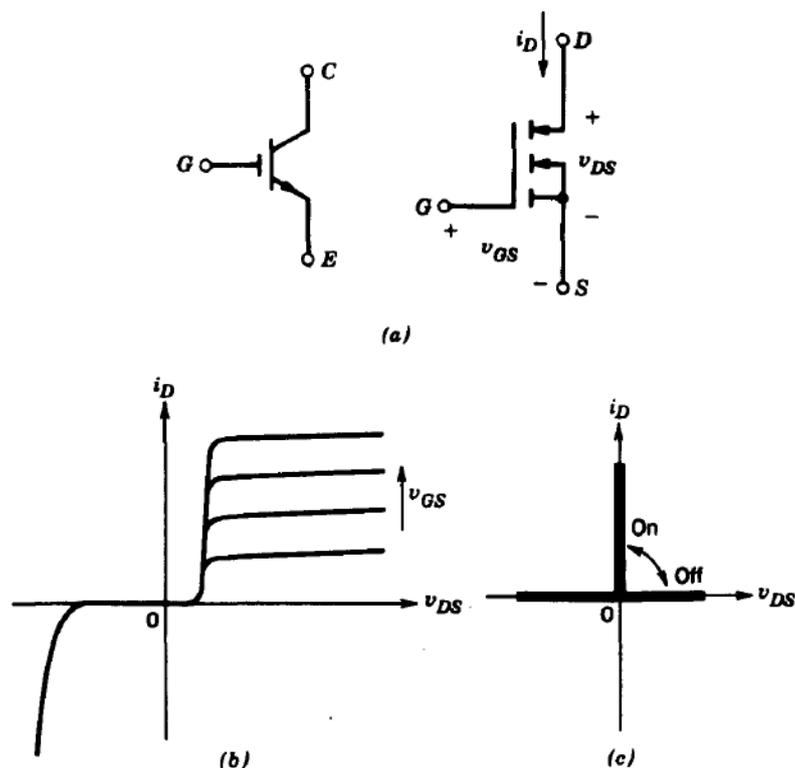


Gambar 1.5 MOSFET: (a) simbol MOSFET, (b) karakteristik MOSFET, (c) karakteristik ideal MOSFET sebagai sakelar

Jika MOSFET dalam kondisi ideal, ketika MOSFET dalam kondisi ON memiliki karakteristik tegangan pada terminal pengalir dan sumber (V_{DS}) sama dengan nol dan arus yang mengalir sama dengan arus bebannya. Sebaliknya, ketika MOSFET dalam kondisi OFF memiliki karakteristik tegangan pada MOSFET sama dengan tegangan sumbernya (V_{DD}) dan arus yang mengalir sama dengan nol. Dalam kondisi MOSFET ON dan OFF ini dapat dinyatakan tidak terjadi kerugian daya pada MOSFET sebagai sakelar.

6. Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)

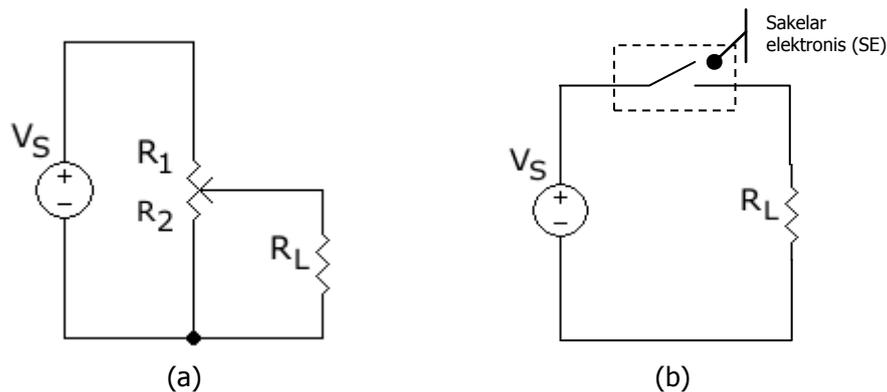
IGBT merupakan komponen elektronika daya yang memiliki karakteristik gabungan antara MOSFET, transistor, dan GTO. Seperti MOSFET, IGBT memiliki impedansi gerbang yang tinggi sehingga hanya memerlukan arus yang kecil untuk mengaktifkannya. Serupa dengan transistor, IGBT memiliki tegangan kondisi-ON yang kecil meskipun komponen ini mempunyai rating tegangan yang besar dan mampu memblokir tegangan negatif seperti halnya GTO. Gambar 1.6 (a), (b), dan (c) masing-masing ditunjukkan simbol IGBT, karakteristik IGBT, dan karakteristik ideal IGBT sebagai sakelar. Seperti halnya semikonduktor daya di muka, IGBT dalam kondisi ON dan OFF tidak terjadi kerugian daya pada IGBT sebagai sakelar.



Gambar 1.6 IGBT: (a) simbol IGBT, (b) karakteristik IGBT, (c) karakteristik ideal IGBT sebagai sakelar

C. PRINSIP DASAR RANGKAIAN ELEKTRONIKA DAYA

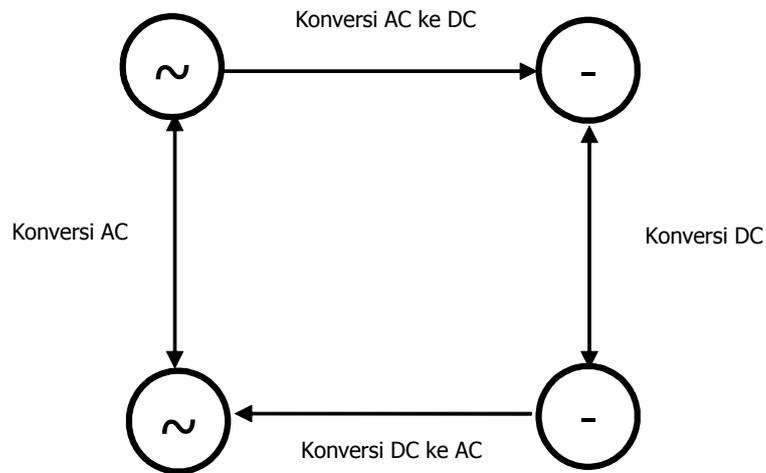
Pengaturan daya listrik dapat dilakukan dengan cara melakukan konversi bentuk gelombang besaran tertentu menjadi bentuk lain dengan menggunakan suatu rangkaian elektronika dengan prinsip kerja yang memanfaatkan karakteristik pensakelaran dari piranti semikonduktor daya sebagai diuraikan di muka. Esensi dasar rangkaian elektronika daya dapat dijelaskan melalui Gambar 1.7 (a) dan (b). Gambar 1.7 (a) merupakan pengaturan sumber tegangan V_S menjadi sumber tegangan luaran (V_{RL}) pada beban R_L yang nilainya ditentukan oleh pengaturan potensiometer, dimana nilai tegangan V_{RL} akan selalu lebih kecil atau maksimum sama dengan tegangan V_S . Pengaturan tegangan dengan menggunakan potensiometer ini, terdapat rugi daya pada potensiometer sebesar $I^2 (R_1 + R_2)$. Dalam konsep rangkaian elektronika daya, rugi daya tersebut harus ditiadakan atau dirancang tidak ada rugi daya dalam rangkaian. Untuk keperluan tersebut, potensiometer diganti dengan prinsip pensakelaran elektronis (*electronic switching*). Prinsip pensakelaran elektronis merupakan dasar dari operasi suatu rangkaian elektronika daya seperti ditunjukkan pada Gambar 1.7 (b). Komponen semikonduktor daya sebagaimana dijelaskan di muka umumnya digunakan sebagai sakelar elektronis ini. Dari Gambar 1.7 (b) dapat dijelaskan bahwa saat sakelar elektronis (SE) kondisi ON dan OFF tidak terjadi rugi daya pada SE, karena saat ON tegangan pada SE sama dengan nol dan arus yang mengalir pada SE sama dengan arus pada beban R_L . Sebaliknya, saat OFF tegangan pada SE sama dengan sumber V_S tetapi arus yang mengalir pada SE sama dengan nol sehingga rugi daya sama dengan nol.



Gambar 1.7 Prinsip Dasar Rangkaian Elektronika Daya

Berbagai konversi daya dapat dilakukan dengan rangkaian elektronika daya. Fungsi dasar dari konversi daya listrik dengan piranti semikonduktor daya dapat ditunjukkan dengan Gambar 1.8. Dengan acuan konversi daya tersebut, rangkaian elektronika daya dapat diklasifikasikan dalam lima jenis, yaitu :

1. Penyearah tak-terkendali, yakni suatu rangkaian yang mengubah tegangan arus bolak-balik (AC) menjadi tegangan arus searah (DC) tetap/ diatur.
2. Penyearah terkendali (konverter AC-DC), yakni suatu rangkaian yang mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC yang dapat dikendalikan/ diatur.
3. Pengatur tegangan arus bolak-balik (konverter AC-AC), yakni suatu rangkaian yang dapat mengubah tegangan AC tetap menjadi tegangan AC yang dapat dikendalikan/ diatur.
4. Pemangkas arus searah (chopper DC), yakni suatu rangkaian yang digunakan untuk mengubah sumber tegangan DC tetap menjadi sumber tegangan DC yang dapat dikendalikan/diatur.
5. Inverter (konverter DC-AC), yakni suatu rangkaian yang digunakan untuk mengubah sumber tegangan DC tetap menjadi sumber tegangan AC yang dapat dikendalikan/diatur.



Gambar 1.8 Bentuk Konversi Daya Listrik dengan Piranti Semikonduktor Daya

D. PERTANYAAN

1. Apakah elektronika daya itu ?
2. Jelaskan prinsip kerja dioda, SCR, transistor, MOSFET sebagai sakelar !
3. Jelaskan perbedaan karakteristik penyulutan pada SCR dan transistor !
4. Jelaskan perbedaan karakteristik penyulutan pada transistor dan MOSFET !
5. Jelaskan prinsip kerja rangkaian pemangkas arus searah !