



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Semikonduktor

Semikonduktor adalah bahan dengan konduktivitas listrik yang berada di antara insulator dan konduktor. Semikonduktor disebut juga sebagai bahan setengah penghantar listrik. Suatu semikonduktor bersifat sebagai insulator jika tidak diberi arus listrik dengan cara dan besaran arus tertentu, namun pada temperatur, arus tertentu, tatacara tertentu dan persyaratan kerja semikonduktor berfungsi sebagai konduktor, misal sebagai penguat arus, penguat tegangan dan penguat daya. Untuk menggunakan suatu semikonduktor supaya bisa berfungsi harus tahu spesifikasi dan karakter semikonduktor itu, jika tidak memenuhi syarat operasinya maka akan tidak berfungsi dan rusak. Bahan semikonduktor yang sering digunakan adalah silikon, germanium, dan gallium arsenide. Konduktivitas semikonduktor berkisar antara  $10^3$  sampai  $10^{-8}$  siemens per sentimeter dan memiliki celah energinya lebih kecil dari 6 eV .

Bahan semikonduktor adalah bahan yang bersifat setengah konduktor karena celah energi yang dibentuk oleh struktur bahan ini lebih kecil dari celah energi bahan isolator tetapi lebih besar dari celah energi bahan konduktor, sehingga memungkinkan elektron berpindah dari satu atom penyusun ke atom penyusun lain dengan perlakuan tertentu terhadap bahan tersebut (pemberian tegangan, perubahan suhu dan sebagainya). Oleh karena itu semikonduktor bisa bersifat setengah menghantar.

Bahan semikonduktor dapat berubah sifat kelistrikannya apabila temperaturnya berubah. Dalam keadaan murninya mempunyai sifat sebagai penyekat ;sedangkan pada temperatur kamar (  $27^{\circ}C$  ) dapat berubah sifatnya menjadi bahan penghantar. Sifat-sifat kelistrikan konduktor maupun isolator tidak mudah berubah oleh pengaruh temperatur, cahaya atau medan magnet, tetapi pada semikonduktor sifat-sifat tersebut sangat sensitif.



## POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

---

Berdasarkan tingkat kemurnian atom penyusunnya, terdapat dua kelompok semikonduktor yaitu intrinsik dan ekstrinsik. Semikonduktor intrinsik merupakan semikonduktor murni tanpa adanya bahan pengotor. Sedangkan, semikonduktor ekstrinsik adalah semikonduktor yang prosesnya melalui proses pendopongan atau pengotoran bahan atom tertentu pada bahan semikonduktor untuk menaikkan daya hantar semikonduktor. Untuk kelompok ekstrinsik terdapat dua jenis / tipe semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p dan semikonduktor tipe-n. Bahan semikonduktor yang banyak dipakai adalah bahan silikon (Si).

Semikonduktor tipe-n dibuat dari bahan silikon murni dengan menambahkan sedikit pengotor berupa unsur valensi lima. Empat elektron terluar dari "donor" ini berikatan kovalen dan menyisakan satu elektron lainnya yang dapat meninggalkan atom induknya sebagai elektron bebas. Dengan demikian pembawa muatan mayoritas pada bahan ini adalah elektron.

Hal yang sama, semikonduktor tipe-p dibuat dengan mengotori silikon murni dengan atom valensi tiga, sehingga meninggalkan kemungkinan untuk menarik elektron. Pengotor sebagai "aseptor" menghasilkan proses konduksi dengan lubang (*hole*) sebagai pembawa muatan mayoritas.

Bila sebuah semikonduktor murni dan tidak ter"eksitasi" oleh sebuah input seperti medan listrik dia mengijinkan hanya jumlah sangat kecil arus listrik untuk berada dalam dirinya, dan ia merupakan sebuah insulator. Alasan utama mengapa semikonduktor begitu berguna adalah konduktivitas semikonduktor yang dapat dimanipulasi dengan menambahkan ketidakmurnian (doping, dengan pemberian sebuah medan listrik, dikenai cahaya, atau dengan cara lain. CCD, sebagai contoh, unit utama dalam kamera digital, bergantung pada kenyataan bahwa konduktivitas semikonduktor meningkat dengan terkenanya sinar. Operasi transistor tergantung konduktivitas semikonduktor yang dapat ditingkatkan dengan hadirnya sebuah medan listrik.

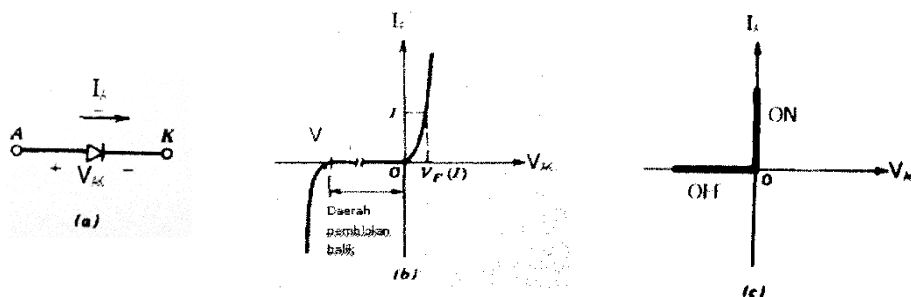
Konduksi arus dalam sebuah semikonduktor terjadi melalui elektron yang dapat bergerak atau bebas dan lubang. Lubang bukan partikel asli; dalam keadaan yang membutuhkan pengetahuan fisika semikonduktor untuk dapat mengerti: sebuah lubang adalah ketiadaan sebuah elektron. Ketiadaan ini, atau lubang ini,

dapat diperlakukan sebagai muatan-positif yang merupakan lawan dari elektron yang bermuatan-negatif. Untuk mudahnya penjelasan "elektron bebas" disebut "elektron", tetapi harus dimengerti bahwa mayoritas elektron dalam benda padat, tidak bebas, tidak menyumbang kepada konduktivitas.

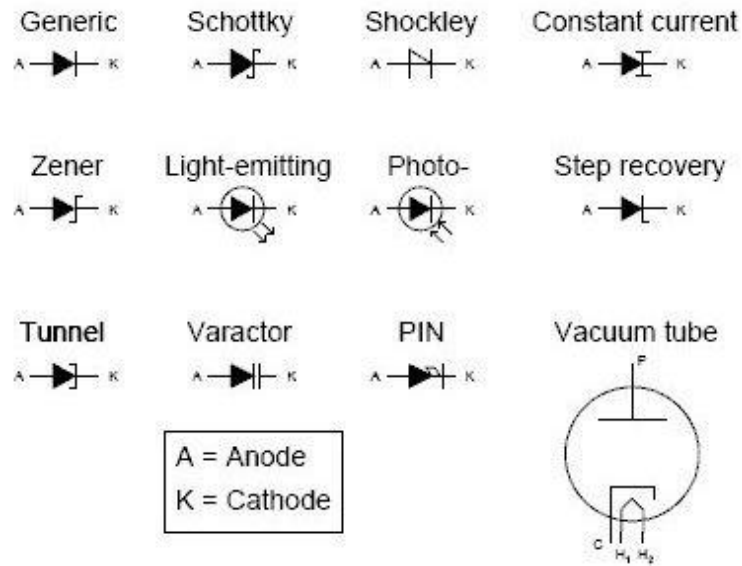
Bila sebuah kristal semikonduktor murni sempurna, tanpa ketidakmurnian, dan ditaruh di suhu yang mendekati nol mutlak dengan tanpa "eksitasi" (yaitu, medan listrik atau cahaya), dia tidak akan berisi elektron bebas dan tidak ada lubang, dan oleh karena itu akan menjadi sebuah insulator sempurna. Pada suhu ruangan, eksitasi panas memproduksi beberapa elektron bebas dan lubang dalam pasangan-pasangan, tetapi kebanyakan semikonduktor pada suhu ruangan adalah insulator untuk kegunaan praktikal.

## 2.2 Diode

Diode merupakan semikonduktor yang merupakan komponen elektronika daya yang memiliki dua terminal, yaitu : anoda dan katoda. Dalam rangkaian elektronika daya, diode difungsikan sebagai sakelar. Gambar 2.1 (a), (b), dan (c) masing-masing ditunjukkan simbol diode, karakteristik diode, karakteristik ideal diode jika dioperasikan sebagai sakelar. Sebagai sakelar, sebagaimana gambar 2.1 (c), diode akan konduksi (ON) jika potensial pada anoda lebih positif dari pada potensial pada katoda, dan diode akan memblok (OFF) jika potensial pada anoda lebih negatif daripada potensial pada katoda.

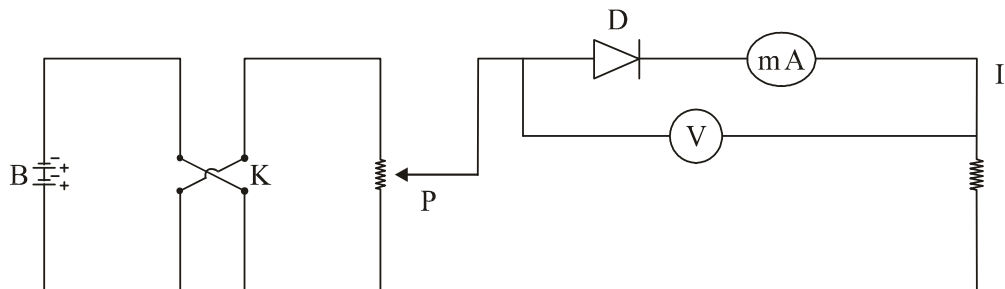


**Gambar 2.1 Diode: (a) Simbol Diode, (b) Karakteristik Diode, (c) Karakteristik Ideal Diode Sebagai Sakelar.**

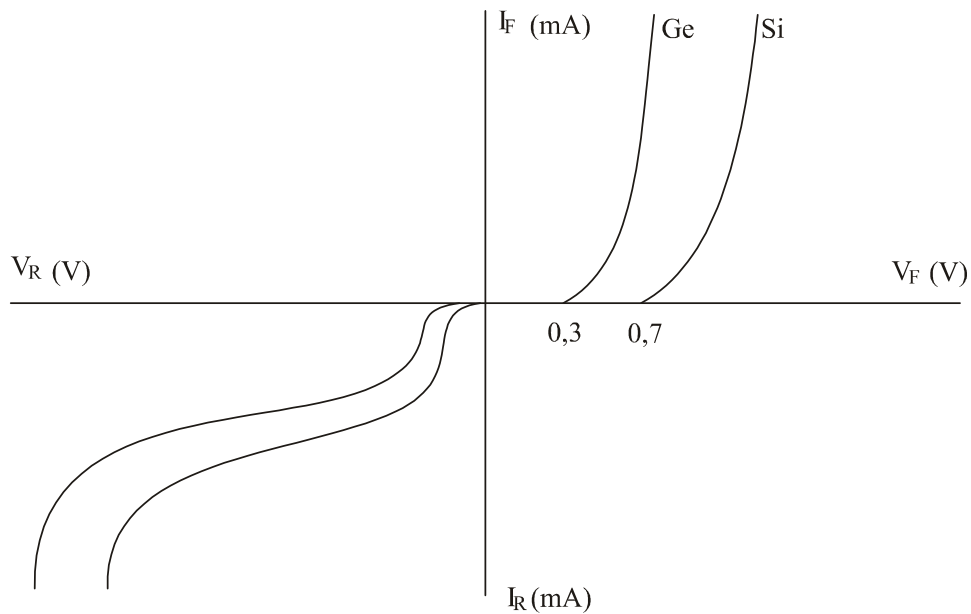
**Gambar 2.2 Simbol Dioda**

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

Karakteristik dioda dapat ditunjukkan oleh hubungan antara arus yang lewat dengan beda potensial ujung-ujungnya. Karakteristik dioda pada umumnya diberikan oleh pabrik, tetapi dapat juga diselidiki sendiri dengan rangkaian seperti gambar 2.3.

**Gambar 2.3 Rangkaian Untuk Menyelidiki Karakteristik Dioda**

Dengan memvariasi potensio P dan mencatat V dan I kemudian menggambarkan dalam grafik, maka diperoleh kurve karakteristik dioda (karakteristik statis). Pada umumnya hasilnya adalah seperti pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4 Karakteristik Dioda**

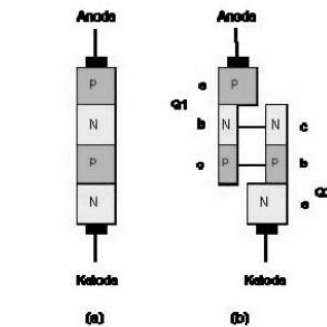
Tampak untuk dioda Ge, arus baru mulai ada pada tegangan 0,3 V sedang untuk dioda Si pada 0,7 V. Tegangan ini sesuai dengan tegangan penghalang pada sambungan P-N, dan disebut tegangan patah atau tegangan lutut (cut in voltage atau knee voltage).

Tampak pula bahwa arus  $I_R = I_o$  dalam orde  $\mu A$ , sedang arus maju  $I_F$  dalam orde mA. Dari lengkungan kurve yang tidak linier, maka tentu saja tahanan dioda tidak tetap, baik tahanan maju maupun tahanan baliknya.

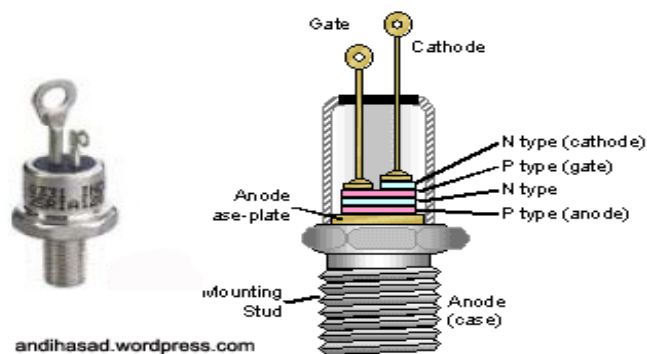
Jika tegangan balik diperbesar maka akan mencapai keadaan arus meningkat secara tajam, yang hanya dapat dibatasi oleh tahanan luar. Tegangan kritis ini disebut tegangan dadal (break down voltage = peak inverse voltage).

### 2.3 Thyristor

Thyristor berakar kata dari bahasa Yunani yang berarti ‘pintu’. Dinamakan demikian barangkali karena sifat dari komponen ini yang mirip dengan pintu yang dapat dibuka dan ditutup untuk melewatkan arus listrik.



Gambar 2.5 Struktur Thyristor 1



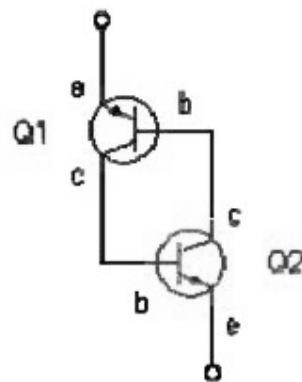
Gambar 2.6 Struktur Thyristor 2

Ada beberapa komponen yang termasuk thyristor antara lain PUT (*programmable uni-junction transistor*), UJT (*uni-junction transistor*), GTO (*gate turn off switch*), photo SCR dan sebagainya. Namun pada kesempatan ini, yang akan dikemukakan adalah komponen-komponen thyristor yang dikenal dengan sebutan SCR (*silicon controlled rectifier*), TRIAC dan DIAC. Ciri utama dari sebuah thyristor adalah komponen yang terbuat dari bahan semikonduktor silikon. Walaupun bahannya sama, tetapi struktur P-N junction yang dimilikinya lebih kompleks dibanding transistor bipolar. Komponen thyristor lebih digunakan sebagai sakelar (*switch*) dari pada sebagai penguat arus atau tegangan seperti halnya transistor.

## POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

Struktur dasar thyristor adalah struktur 4 *layer* PNPN seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5. Ini tidak lain adalah dua buah transistor PNP dan NPN yang tersambung pada masing-masing kolektor dan base. Jika divisualisasikan sebagai transistor Q1 dan Q2, maka struktur thyristor ini dapat diperlihatkan seperti pada gambar 2.7.

Terlihat disini kolektor transistor Q1 tersambung pada base transistor Q2 dan sebaliknya kolektor transistor Q2 tersambung pada base transistor Q1. Rangkaian transistor yang demikian menunjukkan adanya loop penguatan arus dibagian tengah. Dimana diketahui bahwa  $I_c = \beta I_b$ , yaitu arus kolektor adalah penguatan dari arus base.

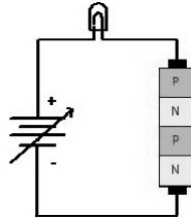


**Gambar 2.7 Visualisasi Dengan Transistor**

Jika misalnya ada arus sebesar  $I_b$  yang mengalir pada base transistor Q2, maka akan ada arus  $I_c$  yang mengalir pada kolektor Q2. Arus kolektor ini merupakan arus base  $I_b$  pada transistor Q1, sehingga akan muncul penguatan pada arus kolektor transistor Q1. Arus kolektor transistor Q1 tidak lain adalah arus base bagi transistor Q2. Demikian seterusnya sehingga makin lama sambungan PN dari thyristor ini dibagian tengah akan mengecil dan hilang. Tertinggal hanyalah lapisan P dan N dibagian luar.

Jika keadaan ini tercapai, maka struktur yang demikian tidak lain adalah struktur dioda PN (anoda-katoda) yang sudah dikenal. Pada saat yang demikian,

disebut bahwa thyristor dalam keadaan ON dan dapat mengalirkan arus dari anoda menuju katoda seperti layaknya sebuah dioda.

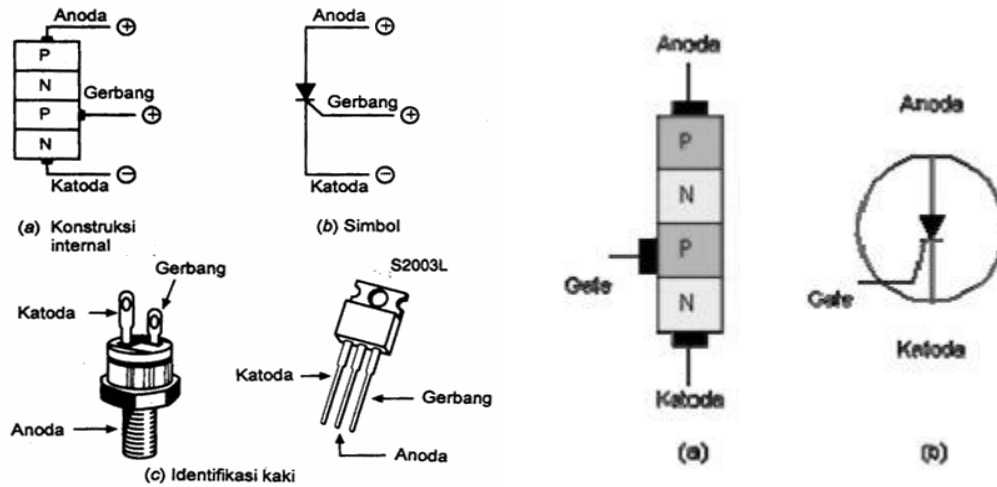


**Gambar 2.8 Thyristor Diberi Tegangan**

Bagaimana kalau pada thyristor ini diberi beban lampu dc dan diberi suplai tegangan dari nol sampai tegangan 15 volt seperti pada gambar 2.8. Apa yang terjadi pada lampu ketika tegangan dinaikkan dari nol. Lampu akan tetap padam karena lapisan N-P yang ada ditengah akan mendapatkan *reverse-bias*. Pada saat ini disebut thyristor dalam keadaan OFF karena tidak ada arus yang bisa mengalir atau sangat kecil sekali. Arus tidak dapat mengalir sampai pada suatu *reverse-bias* tertentu yang menyebabkan sambungan NP ini jenuh dan hilang. Tegangan ini disebut tegangan *breakdown* dan pada saat itu arus mulai dapat mengalir melewati thyristor sebagaimana dioda umumnya. Pada thyristor tegangan ini disebut tegangan breakover  $V_{bo}$ .

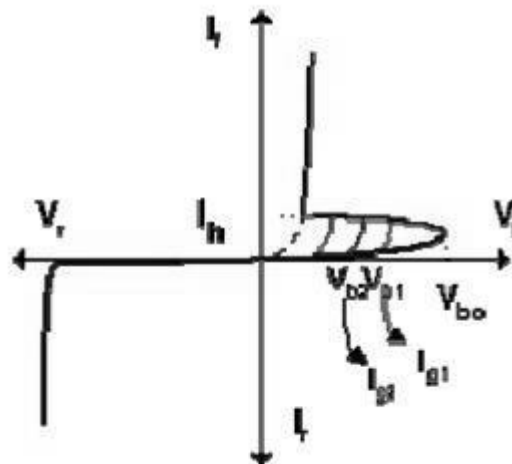
Untuk membuat thyristor menjadi ON adalah dengan memberi arus trigger lapisan P yang dekat dengan katoda. Yaitu dengan membuat kaki gate pada thyristor PNP. Karena letaknya yang dekat dengan katoda, bisa juga pin gate ini disebut pin gate katoda (*cathode gate*). Simbol SCR digambarkan seperti gambar 2.9. SCR dalam banyak literatur disebut Thyristor.





Gambar 2.9 Struktur SCR

Melalui kaki (pin) gate tersebut memungkinkan komponen ini ditrigger menjadi ON, yaitu dengan memberi arus gate. Ternyata dengan memberi arus gate  $I_g$  yang semakin besar dapat menurunkan tegangan breakover ( $V_{bo}$ ) sebuah SCR. Dimana tegangan ini adalah tegangan minimum yang diperlukan SCR untuk menjadi ON. Sampai pada suatu besar arus gate tertentu, ternyata akan sangat mudah membuat SCR menjadi ON. Bahkan dengan tegangan *forward* yang kecil sekalipun. Kurva tegangan dan arus dari sebuah SCR adalah seperti yang ada pada gambar 2.10 yang berikut ini.



Gambar 2.10 Karakteristik Kurva I-V SCR



Pada gambar tertera tegangan *breakover*  $V_{bo}$ , yang jika tegangan *forward* SCR mencapai titik ini, maka SCR akan ON. Lebih penting lagi adalah arus  $I_g$  yang dapat menyebabkan tegangan  $V_{bo}$  turun menjadi lebih kecil. Pada gambar ditunjukkan beberapa arus  $I_g$  dan korelasinya terhadap tegangan *breakover*. Pada datasheet SCR, arus trigger gate ini sering ditulis dengan notasi  $I_{GT}$  (*gate trigger current*). Pada gambar ditunjukkan juga arus  $I_h$  yaitu arus *holding* yang mempertahankan SCR tetap ON. Jadi agar SCR tetap ON maka arus *forward* dari anoda menuju katoda harus berada diatas parameter ini.

Sejauh ini dikemukakan adalah bagaimana membuat SCR menjadi ON. Pada kenyataannya, sekali SCR mencapai keadaan ON maka selamanya akan ON, walaupun tegangan gate dilepas atau *dishort* ke katoda. Satu-satunya cara untuk membuat SCR menjadi OFF adalah dengan membuat arus anoda-katoda turun dibawah arus  $I_h$  (*holding current*). Pada gambar 2.6 kurva I-V SCR, jika arus *forward* berada dibawah titik  $I_h$ , maka SCR kembali pada keadaan OFF.

Cara membuat SCR menjadi OFF tersebut adalah sama saja dengan menurunkan tegangan anoda-katoda ke titik nol. Karena inilah SCR atau thyristor pada umumnya tidak cocok digunakan untuk aplikasi DC. Komponen ini lebih banyak digunakan untuk aplikasi-aplikasi tegangan AC, dimana SCR bisa OFF pada saat gelombang tegangan AC berada dititik nol.

#### **2.4 Rangkaian Penyulut Thyristor**

Untuk menyulut thyristor secara benar dalam periode waktu yang singkat, diperlukan suatu arus gate yang berbentuk pulsa dengan waktu naik untuk mencapai maksimum yang diizinkan yang sangat cepat. Untuk itu diperlukan rangkaian penyulut yang dapat membangkitkan pulsa dengan waktu naik yang cepat dan mempunyai periode yang cukup untuk memberi kesempatan pada arus anoda untuk mencapai arus maksimum. Keuntungan dengan menggunakan pulsa adalah disipasi pada gatenya relative kecil bila dibandingkan dengan menggunakan arus penyulutan yang continue (bukan pulsa). Selain itu pemakaian pulsa akan memberikan akurasi waktu penyulutan yang lebih baik.

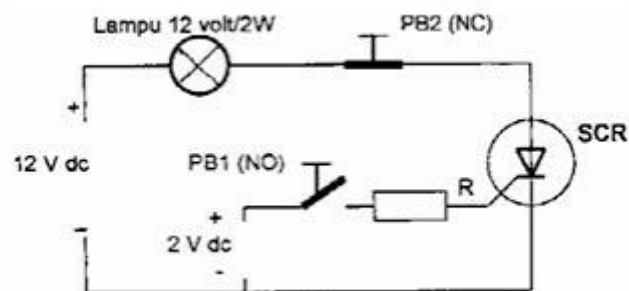
## POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

Pada rangkaian pengaturan kecepatan putar motor arus searah dengan pengaturan tegangan jangkar, sumber dc variable didapat dari penyearah satu fasa sistem jembatan gelombang penuh terkendali. Untuk menyulut thyristor digunakan penyulutan dengan menggunakan IC TCA 785. Dimana penyulutan ini akan diperoleh keuntungan dimana pengaturan penyulutan  $0^\circ$  sampai dengan  $180^\circ$ , tegangan kerja 15 volt dan penetapan titik nol lebih pasti.

SCR dapat dihidupkan dengan arus penyulut singkat melalui terminal Gate, dimana arus gate ini akan mengalir melalui junction antara gate dan kathoda dan keluar dari kathodanya. Arus gate ini harus positif besarnya sekitar 0,1 sampai 35 mA sedangkan tegangan antara gate dan kathodanya biasanya 0,7 volt.

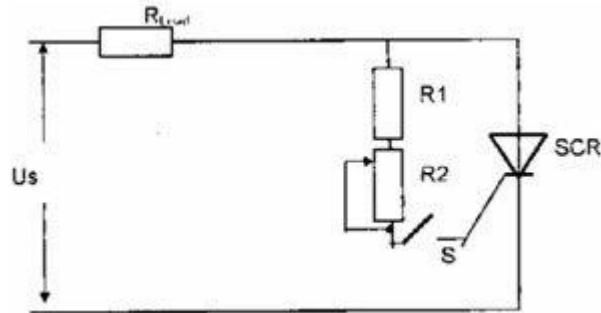
Jika arus anoda ke kathoda turun dibawah nilai minimum (Holding Current = IHO), maka SCR akan segera mati (Off). Untuk SCR yang berkemampuan daya sedang, besar IHO sekitar 10 mA. Tegangan maksimum arah maju (UBRF) akan terjadi jika gate dalam keadaan terbuka atau IGO = 0. Jika arus gate diperbesar dari IGO, misal IG1, maka tegangan majunya akan lebih rendah lagi.

Gambar 2.11 memperlihatkan salah satu cara penyulutan SCR dengan sumber searah (dc), dimana SCR akan bekerja dengan indikasi menyalnya lampu dengan syarat saklar PB1 dan PB2 di ON kan terlebih dahulu.



**Gambar 2.11 Cara Penyulutan SCR dengan Sumber DC**

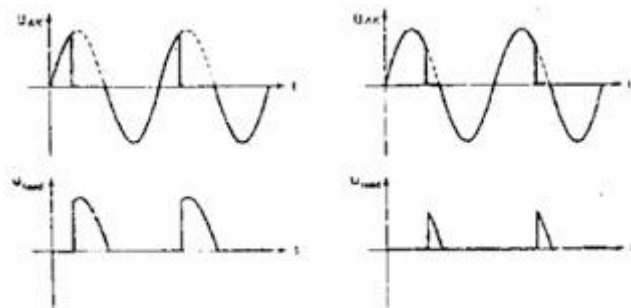
Triggering untuk penyulutan SCR dengan sumber dc ini tidak perlu dilakukan secara terus menerus, jika saklar PB1 dibuka, maka lampu akan tetap menyala atau dengan perkataan lain SCR tetap bekerja. Dibawah ini Memperlihatkan cara penyulutan SCR dengan sumber bolak-balik (ac).



**Gambar 2.12 Cara Penyulutan SCR dengan Sumber AC**

Dengan mengatur nilai  $R_2$  (potensiometer), maka kita seolah mengatur sudut penyalan (firing delay) SCR. Untuk penyulutan SCR dengan sumber arus bolak-balik, harus dilakukan secara terus menerus, jadi saklar  $S$  jika dilepas, maka SCR akan kembali tidak bekerja.

Gambar 2.13 memperlihatkan bentuk tegangan pada terminal SCR dan beban. Pengendalian sumber daya dengan SCR terbatas hanya dari  $0^\circ$  sampai  $90^\circ$ .



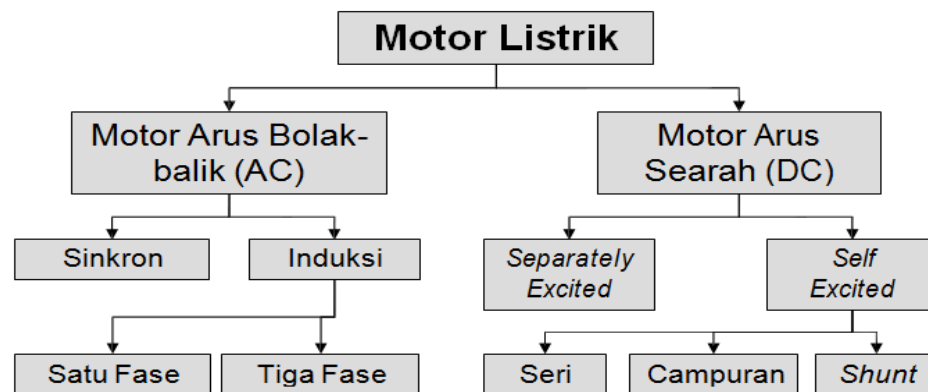
**Gambar 2.13 Bentuk Tegangan pada Terminal SCR dan Beban**

## 2.5 Pengujian SCR

Kondisi SCR dapat diuji dengan menggunakan sebuah ohmmeter seperti layaknya dioda, namun dikarenakan konstruksinya pengujian SCR ini harus dibantu dengan penyulutan kaki gate dengan pulsa positif. Jadi dengan menghubungkan singkat kaki anoda dengan gate, kemudian diberikan sumber positif dari meter secara bersama dan katoda diberi sumber negatifnya, maka akan tampak gerakan jarum ohmmeter yang menuju nilai rendah penunjukkan ohm dan

kondisi ini menyatakan SCR masih layak digunakan. Sedangkan jika penunjukkan jarum menunjuk pada nilai resistansi yang tinggi, maka dikatakan kondisi SCR menyumbat atau rusak.

## 2.6 Motor Arus Searah



**Gambar 2.14** Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik

Seperti diketahui bahwa motor-motor DC mempunyai karakteristik yang berubah-ubah, sehingga dalam penerapannya memungkinkan untuk digunakan sebagai penggerak dengan kecepatan yang dapat diubah – ubah. Dalam prakteknya, penggerak DC ini menggunakan sumber DC yang diperoleh dari penyearah terkendali dari DC chopper. Dimana penyearah tersebut akan menyediakan tegangan keluaran DC yang variabel dari tegangan masukan AC yang tetap, sedangkan DC chopper akan menyediakan tegangan keluaran DC yang variabel dari tegangan masukan DC yang variabel secara kontinu, penyearah terkendali dan DC chopper mampu membuat satu revolusi industri modern di dalam peralatan kendali dan penggerak-penggerak dengan kecepatan yang variabel. Dimana motor penguat terpisah dikuatkan dengan arus medan  $i_f$  dan arus jangkar  $i_a$  yang melewati rangkai, motor menimbulkan emf balik dan torsi. Arus medan  $i_f$  dari motor penguat terpisah tergantung pada arus  $i_a$ , dan perubahan pada arus jangkar  $i_a$  tidak mempunyai efek pada arus medan.



## POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

Keuntungan utama motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan, yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Motor ini dapat dikendalikan dengan mengatur:

- Tegangan dinamo : meningkatkan tegangan dinamo akan meningkatkan kecepatan
- Arus medan : menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

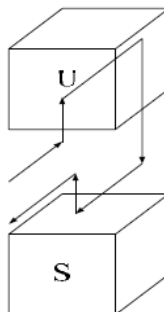
Beberapa kerugian penggunaan motor DC:

- Perawatan intensif karena brush atau sikat pada motor DC akan aus.
- Konversi arus AC menjadi arus DC menggunakan konverter memerlukan biaya yang mahal.

### 2.6.1 Mekanisme Kerja Motor DC

Daerah kumparan medan yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu.

Konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya berlangsung melalui medan magnet, dengan demikian medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan energi, sekaligus berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses perubahan energi dan daerah tersebut dapat dilihat pada Gambar dibawah ini :



**Gambar 2.15 Prinsip Kerja Motor DC**



Dengan mengacu pada hukum kekekalan energi :

Proses energi listrik = energi mekanik + energi panas + energi  
didalam medan magnet

Maka dalam medan magnet akan dihasilkan kumparan medan dengan kerapatan fluks sebesar B dengan arus adalah I serta panjang konduktor sama dengan L maka diperoleh gaya sebesar F, dengan persamaan sebagai berikut :

$$F = B I L \dots\dots\dots(\text{pers 2.1})$$

Arah dari gaya ini ditentukan oleh aturan kaidah tangan kiri, adapun kaidah tangan kiri tersebut adalah sebagai berikut :

Ibu jari sebagai arah gaya ( F ), telunjuk jari sebagai fluks ( B ), dan jari tengah sebagai arus ( I ). Bila motor dc mempunyai jari-jari dengan panjang sebesar ( r ), maka hubungan persamaan dapat diperoleh :

$$Tr = Fr = B I L r \dots\dots\dots(\text{pers 2.2})$$

Saat gaya ( F ) tersebut dibandingkan, konduktor akan bergerak didalam kumparan medan magnet dan menimbulkan gaya gerak listrik yang merupakan reaksi lawan terhadap tegangan sumber.

Agar proses perubahan energi mekanik tersebut dapat berlangsung secara sempurna, maka tegangan sumber harus lebih besar dari pada tegangan gerak yang disebabkan reaksi lawan.

Dengan memberi arus pada kumparan jangkar yang dilindungi oleh medan maka menimbulkan perputaran pada motor.

Persamaan yang menggambarkan motor arus searah penguat terpisah dapat dilihat pada persamaan 2.1 Arus medan,  $i_f$  ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$V_f = R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt} \dots\dots\dots(2.3)$$

Tegangan jangkar  $V_a$  dapat dihitung dengan :



**POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA**

$$V_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_g \dots \dots \dots (2.4)$$

Emf motor balik juga dikenal sebagai tegangan kecepatan, yaitu :

$$T_d = K_t i_a \dots \dots \dots (2.5)$$

Putaran yang dihasilkan sama dengan muatan putaran :

$$Td = j \frac{dw}{dt} + Bw + TL \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

- $\omega$  = Kecepatan motor (Rad/sel)
- B = Konstanta viscous friction, N.m/rad/sel
- $K_v$ = Konstanta tegangan, V/A-rad/sel
- $K_t = K_v$  = Konstanta putaran
- $L_a$ = Induktansi rangkaian dynamo, H
- $L_f$ = Induktansi rangkaian medan, H
- $R_a$ = Tahanan rangkaian dynamo,  $\Omega$
- $R_f$ = Tahanan rangkaian medan,  $\Omega$

Dalam kondisi (steady-state), tegangan rata-ratanya adalah :

$$V_f = R_f \cdot I_f \dots \dots \dots (2.7)$$

$$E_g = K_v \cdot \omega I_f \dots \dots \dots (2.8)$$

$$V_a = R_a \cdot I_a + E_g$$

$$V_a = R_a \cdot I_a + K_v \omega I_f \dots \dots \dots (2.9)$$

$$T_d = K_t i_a \dots \dots \dots (2.10)$$

$$T_d = B\omega + T_L \dots \dots \dots (2.11)$$



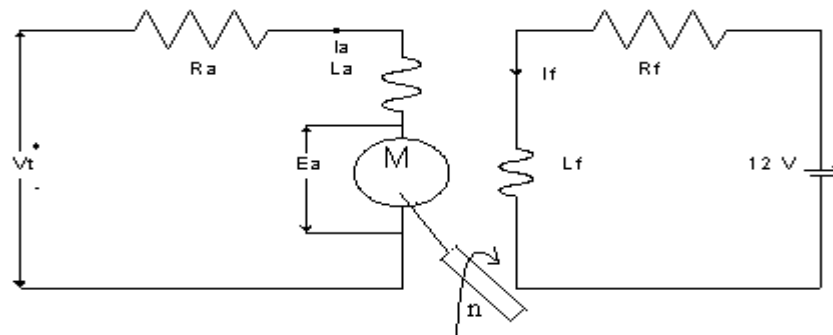


Menghasilkan daya sebagai berikut:

$$P_d = T_d \omega \dots\dots\dots(2.12)$$

Hubungan antara arus medan,  $I_f$  dengan emf balik,  $E_g$  adalah tidak linear dengan kejenuhan magnetik. Dari persamaan (2.10), kecepatan putaran dari motor arus searah adalah :

$$\omega = \frac{V_a - R_a \cdot I_a}{K_v \cdot I_f} = \frac{V_a - R_a \cdot I_a}{K_v \cdot V_f \cdot I \cdot R_f} \dots\dots\dots(2.13)$$



**Gambar 2.16 Rangkaian Dasar Motor DC Penguat Terpisah**

Rangkaian dasar dari motor arus searah penguat terpisah dapat dilihat pada gambar 2.7. Kecepatan putar motor arus searah akan berubah dengan perubahan tegangan  $V_a$ . Pengaturan tegangan ini adalah untuk mengatur perubahan putaran pada motor arus searah. Pentingnya pengaturan putaran pada motor arus searah adalah untuk mengerjakan pekerjaan tertentu sesuai dengan tujuan penggunaan motor arus searah tersebut yang memerlukan putaran yang tepat.

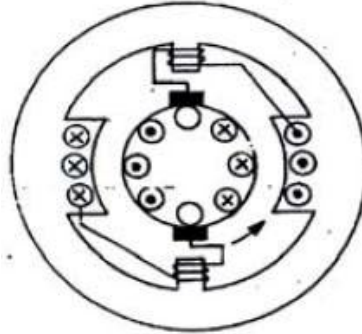
**2.6.2 Konstruksi Motor DC**

Bagian-bagian yang penting dari motor dc dapat ditunjukkan pada Gambar 3. Dimana stator mempunyai kutub yang menonjol dan ditelar oleh kumparan medan. Pembagian dari fluks yang terdapat pada daerah celah udara yang dihasilkan oleh lilitan medan secara simetris yang berada disekitar daerah tengah kutub kumparan medan.



## POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

Kumparan penguat dihubungkan secara seri, letak kumparan jangkar berada pada slot besi yang berada disebelah luar permukaan jangkar. Pada jangkar terdapat komutator yang berbentuk silinder dan isolasi sisi kumparan yang dihubungkan dengan komutator pada beberapa bagian yang berbeda sesuai dengan jenis belitan.

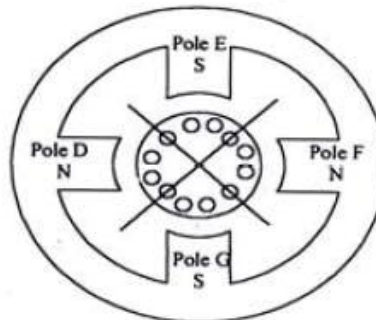


**Gambar 2.17 Konstruksi Motor DC**

### 2.6.3 Torsi Motor DC

Torsi motor didefinisikan sebagai aksi dari suatu gaya pada motor yang dapat mempengaruhi beban untuk ikut bergerak. Ketika sumber tegangan dihubungkan pada brush (sikat) motor, maka arus yang mengalir masuk ke kutub positif brush, melalui komutator dan kumparan armatur, serta keluar melalui daerah kutub negatif dari brush.

Pada saat yang bersamaan, arus juga mengalir melalui kumparan medan magnet. Penerapan kaidah tangan kanan pada konduktor armatur yang berada dibawah kutub utara (D) memperlihatkan kumparan medan magnet yang memperkuat gaya keatas agar dapat mendorong konduktor.



**Gambar 2.18 Arah Arus Armatur Untuk Putaran Searah Jarum Jam**



## POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

---

Ketika kumparan medan magnet berada dibawah posisi kutub selatan E, gaya akan memotong kearah kanan, kemudian menekan kebawah, sedangkan kutub utara F dan selanjutnya akan bergerak mendorong kearah kiri dibawah kutub selatan G, sehingga terbentuk suatu arah gaya yang dapat mengakibatkan konduktor armatur yang bergerak searah dengan arah jarum jam seperti pada Gambar 4.

Dalam kondisi armatur yang berputar, dimana konduktor bergerak dibawah kutub menuju ke kondisi neutralplane, kondisi arus menjadi reverse karena komutator.

Dari proses tersebut diperoleh suatu kenyataan yang sama, bila arus yang mengalir melalui kumparan armatur dalam kondisi reverse dengan proses membalik posisi armatur.

Namun arahnya akan meninggalkan polaritas medan yang bersangkutan, maka torsi yang dibangkitkan akan bergerak kearah yang berlawanan dengan arah jarum jarum jam.

Sedangkan torsi yang dibangkitkan pada motor dc merupakan gabungan aksi dari fluks medan ( $\Phi$ ), arus armatur ( $I_a$ ) yang menghasilkan medan magnet didaerah sekitar konduktor. Oleh karena itu diperoleh persamaan torsi ( $T$ ) sebagai berikut :

$$T = k \Phi I_a \dots\dots\dots(\text{pers 2.14})$$

### 2.6.4 Motor DC Penguat Terpisah

Motor dc penguat terpisah adalah merupakan salah satu dari jenis motor dc yang dapat menambah kemampuan daya dan kecepatan karena memiliki fluks medan ( $\Phi$ ) yang dihasilkan oleh kumparan medan, yang terletak secara terpisah dan mempunyai sumber pembangkit tersendiri berupa tegangan dc.

Sehingga dengan demikian, jenis motor dc penguat terpisah ini sangat memungkinkan untuk dapat membangkitkan fluks medan ( $\Phi$ ) bila dibandingkan dengan menggunakan motor dc magnet permanen. Karena motor dc penguat terpisah mempunyai fleksibilitas dalam pengontrolan, seperti yang terdapat pada Gambar 5.



## POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

Pada kenyataannya terdapat dua hal yang dapat mempengaruhi nilai torsi dan kecepatan dari motor dc jenis penguat terpisah, yaitu tegangan dan fluks medan. Hal ini dapat kita amati dari persamaan dasar motor dc, sebagai berikut :

$$V = E_a + I_a R_a \dots\dots\dots(\text{pers 2.15})$$

$$\text{Jika } E = c n \Phi$$

$$\text{Maka } V_t = c n \Phi + I_a R_a$$

$$n = \frac{V_t - I_a R_a}{c \phi}$$

Keterangan :

c = Konstanta

R<sub>a</sub> = Tahanan Jangkar

V<sub>t</sub> = Tegangan jepit motor

I<sub>a</sub> = Arus jangkar

Φ = Fluks magnet

Aplikasi secara umum, fluks medan diusahakan tetap dalam kondisi yang konstan, sedangkan untuk tegangan suplai motor dc ditambah secara linear, hingga diperoleh kecepatan nominal dari motor.

Ketika kecepatan yang diinginkan tersebut telah diperoleh, langkah kedua adalah menjaga agar kondisi tersebut tetap stabil tidak melebihi kecepatan nominal, maka tegangan suplai dibiarkan dalam kondisi konstan dan fluks pada kumparan medan diperkecil dengan mengurangi arus medan (I<sub>f</sub>) yang diberikan.

Pada keadaan ini terjadi pelemahan kerja pada sisi kumparan

medan ( field Weaking ) dan kecepatan motor dc tersebut dapat mencapai

50% s/d 100% dari kecepatan nominal motor.