

BAB II

KERANGKA TEORI

2.1 Mikrokontrol PIC16F877A

Mikrokontroler PIC16F877A merupakan salah satu mikrokontroler dari keluarga PICmicro yang populer digunakan sekarang ini. Mulai dari pemula hingga para profesional. Hal tersebut dikarenakan PIC16F877A sangat praktis dan ia menggunakan teknologi FLASH memori sehingga dapat di program-hapus hingga seribu kali. Keunggulan mikrokontroler jenis RISC ini dibanding dengan mikrokontroler 8-bit lain dikelasnya terutama terletak pada kecepatan dan kompresi kodenya. Selain itu, PIC16F877A juga tergolong praktis dan ringkas karena memiliki kemasan 40 pin dengan 33 jalur I/O.

2.1.1 Fitur-Fitur PIC16F877A

Sebenarnya, PIC16F877A bukanlah mikrokontroler yang istimewa dalam keluarga PICmicro. Namun demikian, PIC16F877A cukup mudah dipelajari dan dapat di bilang memiliki kemampuan yang handal sebagai mikrokontroler yang memiliki 40 pin.

Fitur-fitur pada PIC16F877A antara lain:

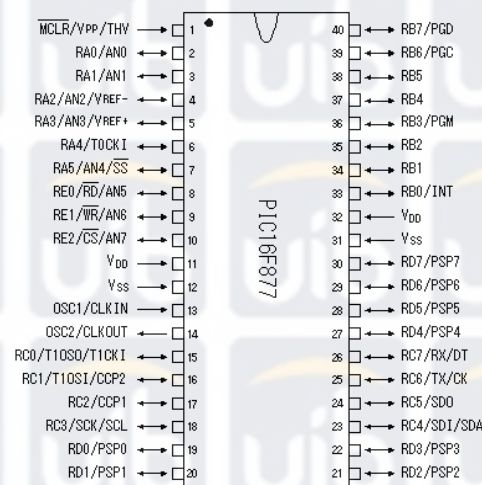
1. Kapasitas memori program 8K x 14 *words* of FLASH Program Memory
2. RAM berukuran 368x8 *byte*
3. Memori data berukuran 256x8 *byte* pada EEPROM
4. Memiliki 33 buah I/O (6 pada Port A, 8 pada Port B, 8 pada Port C, 8 pada Port D, 3 pada Port E)

5. Merupakan mikrokontroler RISC, sehingga hanya memiliki 35 macam instruksi
6. Memiliki timer 8-bit dengan 8-bit periode *register*, *prescaler* and *postscaler*
7. *Watch Dog Timer* (WDT) dengan osilator *internal*
8. Fuse untuk kode pengaman
9. Dapat langsung menghidupkan LED
10. Pemrograman di dalam sistem (ICSP)
11. *Mode Sleep* untuk menghemat daya
12. Tegangan operasional 5 V DC

2.1.2 Deskripsi Pin-Pin

Mikrokontroler PIC16F877A di produksi dalam kemasan 40 pin PDIP (*Plastik Dual In Line*) maupun 40 pin SO (*Small Outline*). Namun yang banyak terdapat dipasaran adalah kemasan PDIP. Pin-pin untuk I/O sebanyak 33 pin, yang terdiri atas 6 pada Port A, 8 pada Port B, 8 pada Port C, 8 pada Port D, 3 pada Port E. Ada pula beberapa Pin pada mikrokontroler yang memiliki fungsi ganda.

Gambar 2.1
Konfigurasi Mikrokontroler PIC16F877A



2.1.3 Organisasi Memori

Memori pada PIC16F877A dapat dipisahkan menjadi dua blok memori, satu untuk memori program dan satu untuk memori data. Memori EEPROM dan *register* GPR didalam RAM merupakan memori data, sedangkan memori FLASH merupakan memori program.

2.1.4 Memori Data

Memori data terbagi di dalam beberapa ruang (semacam halaman/*bank*) yang memuat *register* yang mempunyai fungsi-fungsi umum dan khusus yang tersendiri. Bit RP1 (STATUS<6>) dan RP0 (STATUS<5>) adalah bit yang menunjukkan letak ruang yang dimaksud.

Setiap ruang mempunyai kapasitas di atas 7Fh (128 bytes). Lokasi paling bawah dari setiap ruang ditujukan untuk register yang mempunyai fungsi spesial.

2.1.5 CPU (*Central Processing Unit*) PIC16F877A

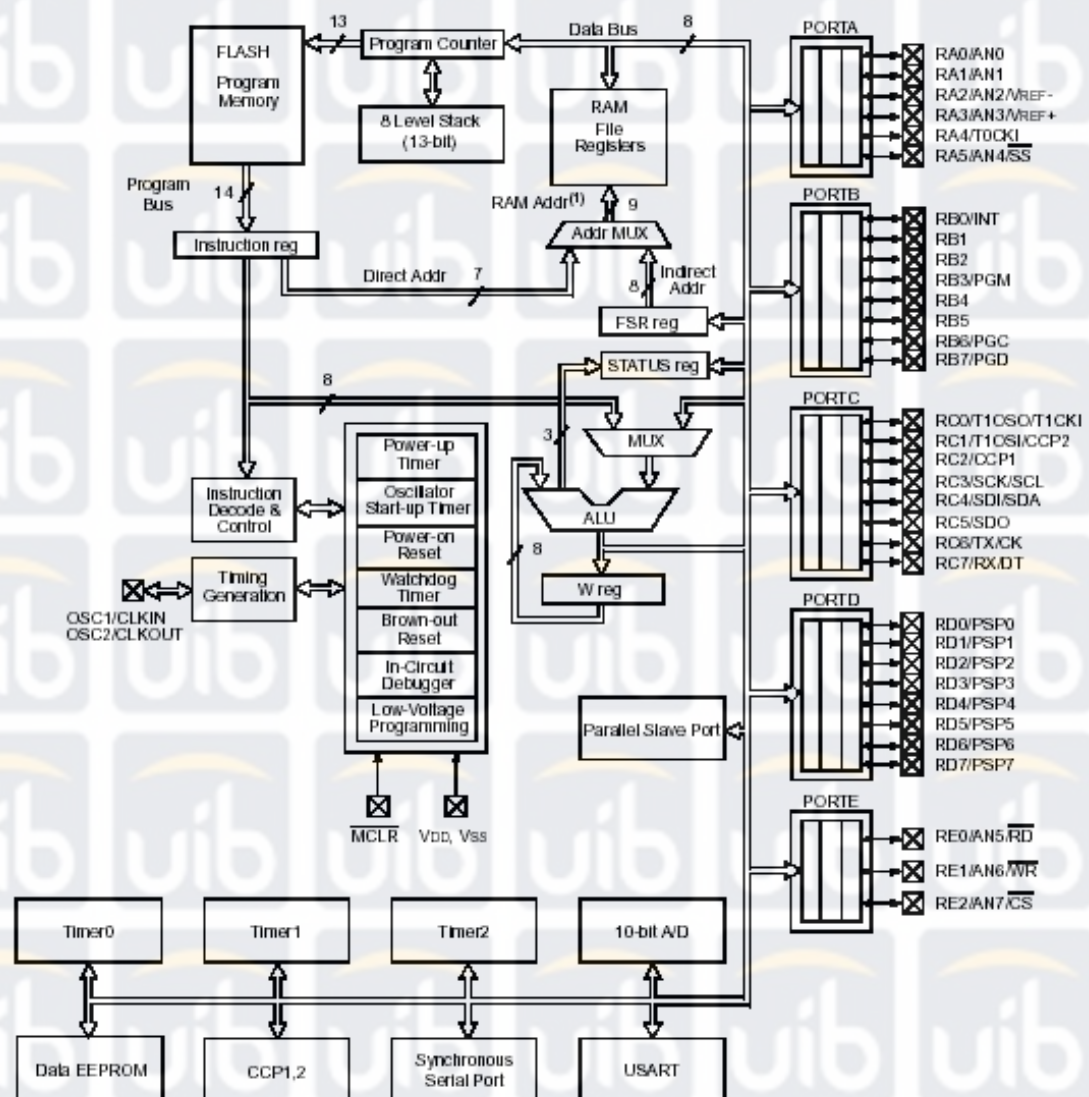
CPU berperan sebagai otak dari mikrokontroler. Bagian ini bertanggung jawab untuk mengambil instruksi, melakukan *decode*, dan mengeksekusi instruksi. CPU terhubung ke semua bagian pada mikrokontroler. Fungsi terpenting dari CPU adalah melakukan *dekode* dan mengeksekusi suatu instruksi.

Instruksi-instruksi dalam bahasa assembly terdiri atas *opcode* dan operan. *Opcode* menyatakan proses yang harus dilakukan mikrokontroler. Sedangkan operan adalah bagian yang dioperasikan pada aritmatika maupun logika. Agar mikrokontroler dapat mengerti perintah *opcode*, maka instruksi harus

diterjemahkan ke dalam urutan biner dengan kode “0” dan “1”. Tugas untuk menterjemahkan instruksi dari bahasa *assembly* ke bahasa mesin (bahasa yang di mengerti oleh mikrokontroler) dilakukan oleh *translator* (*software assembler*).

Berikut gambar Blok Diagram dari PIC16F877A

Gambar 2.2
Blok Diagram PIC16F877A



2.2 Sel Surya/Solar Sel

Sel surya atau solar sel adalah suatu elemen aktif yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Sel surya terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Apabila cahaya jatuh pada permukaan sel surya maka akan timbul perbedaan tegangan. Untuk mendapatkan daya yang lebih besar sel surya dapat dihubung seri atau paralel tergantung sifat penggunaannya.

2.2.1 Cara Kerja Sel Surya

Sel surya yang sering kita lihat adalah sekumpulan modul sel photovoltaic (photo = cahaya, voltaic = listrik) yang disusun sedemikian rupa dan dikemas dalam sebuah frame. Sel photovoltaic ini yang nantinya akan merubah secara langsung energi matahari menjadi listrik.

Gambar 2.2.1

Sel Surya



Sel photovoltaic ini terbuat dari bahan khusus semikonduktor yang sekarang banyak digunakan dan disebut dengan silikon. Ketika cahaya mengenai sel silikon, cahaya tersebut akan diserap oleh sel ini, hal ini berarti bahwa energi cahaya yang diserap telah ditransfer ke bahan semikonduktor yang berupa silikon. Energi yang tersimpan dalam semikonduktor ini akan mengakibatkan elektron

lepas dan mengalir dalam semikonduktor. Semua sel photovoltaic ini juga memiliki medan elektrik yang memaksa elektron yang lepas karena penyerapan cahaya tersebut untuk mengalir dalam suatu arah tertentu. Elektron yang mengalir ini adalah arus listrik, dengan meletakkan terminal kontak pada bagian atas dan bawah dari sel photovoltaic ini akan dapat dilihat dan diukur arus yang mengalir sehingga dapat digunakan untuk menyuplai perangkat eksternal. Hal diatas adalah dasar perubahan energi surya menjadi listrik oleh semikonduktor silikon.

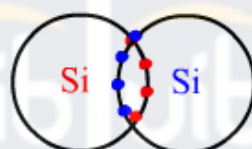
2.2.2 Sel Silikon

Sel silikon mempunyai sifat kimia khusus dalam format kristalnya. Atom silikon mempunyai 14 elektron yang diatur dalam tiga kulit atom yang berbeda.

Dua kulit atom yang pertama terisi elektron penuh dan sisanya pada kulit terluar yang hanya terisi empat elektron. Atom silikon ini akan selalu mencari jalan untuk memenuhi kulit luarnya (ingin memenuhi sampai punya 8 elektron) dengan cara melakukan ikatan dengan atom silikon lain yang kulit luarnya sama mempunyai 4 elektron. Gabungan dari dua atom ini adalah struktur kristal murni yang merupakan dasar pembentuk sel photovoltaic.

Gambar 2.2.2

Gabungan 2 Atom



Silikon murni bersifat sebagai konduktor karena tidak ada satupun elektron yang bergerak bebas, artinya elektron berada pada bahan yang mempunyai sifat

konduktor yang bagus seperti tembaga, atau dengan kata lain elektron terkunci dalam struktur kristal silikon murni. Silikon dalam sel surya sudah dimodifikasi sedemikian rupa sehingga akan bekerja sebagai sel surya. Sel surya ini mempunyai silikon dengan impurity atom lain yang dicampur dengan atom silikon. Dalam hal ini atom silikon tidak akan bekerja tanpa impurity tersebut. Silikon akan dicampur dengan sebuah atom fosfor. Atom fosfor mempunyai 5 elektron di kulit terluarnya.

Ketika energi diberikan ke kristal silikon murni, sebagai contoh misalnya dalam wujud panas, hal ini akan menyebabkan beberapa elektron akan lepas dan meninggalkan atomnya. Setiap elektron akan meninggalkan sebuah hole (lobang) disekitar atom dimana elektron bisa diikat. Elektron ini kemudian lepas secara acak disekitar kisi – kisi dari kristal atom tersebut untuk mencari hole lain yang kosong untuk ditempati. Elektron ini disebut sebagai elektron bebas dan dapat membawa arus listrik.

Silikon tak murnian yang dicampur dengan fosfor ini membutuhkan sedikit energi untuk melepaskan salah satu elektron fosfor yang tidak diikat dalam suatu ikatan dengan atom lain. Sebagai hasil campuran antara silikon dan fosfor ini, banyak elektron yang lepas dan banyak membawa muatan arus listrik apabila dibandingkan dengan silikon murni.

Proses penambahan atom fosfor ini disebut sebagai proses doping. Ketika silikon di doping dengan fosfor maka silikon disebut sebagai atom n-type (n untuk negatif) karena adanya elektron bebas. Silikon n-type yang telah didoping ini mempunyai sifat konduktor yang lebih bagus daripada silikon murni. Pada

bagian lain silikon yang didoping dengan boron yang mempunyai elektron pada kulit terluar 3 elektron maka silikon akan menjadi atom p-type (p untuk positif) yang banyak memiliki hole bebas karena ketiadaan elektron. Sehingga atom p-type ini akan bertugas berkebalikan dari atom n-type.

Ketika diletakkan silikon n-type dengan silikon p-type, maka setiap sel photovoltaic ini memiliki minimal satu medan listrik. Tanpa medan listrik maka sel tidak akan bekerja, dan pada fase ini antara silikon n-type dan silikon p-type sedang melakukan ikatan. Dan kemudian elektron pada silikon n-type akan mencari hole pada silikon p-type untuk ditempati elektron tersebut.

Sebelumnya silikon ini memiliki muatan yang netral. Elektron lebih dari pada fosfor akan diseimbangkan oleh proton. Ketika hole dan elektron digabung jadi satu dalam sambungan antara n-type dan p-type maka kenetralan dari silikon ini akan terganggu. Pada sambungan akan membentuk suatu campuran elektron dan akhirnya keseimbangan tercapai lagi dan akan terbentuk suatu medan elektrik yang memisahkan kedua sisi tersebut.

Medan elektrik ini bekerja seperti dioda, membiarkan (bahkan mendorong) elektron untuk mengalir dari sisi P ke sisi N, dan elektron hanya memiliki satu arah.

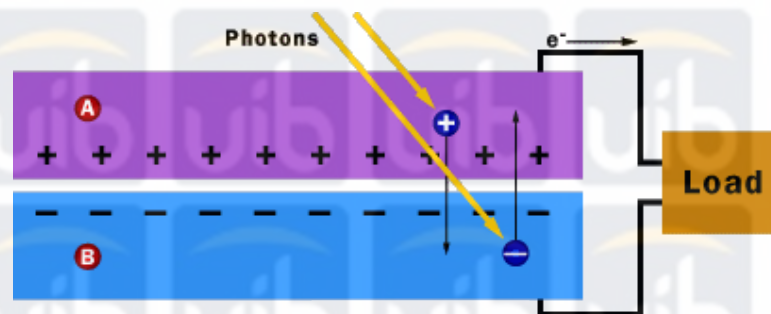
2.2.3 Listrik yang dihasilkan sel photovoltaic

Ketika cahaya dalam hal ini adalah foton (satuan energi dalam cahaya) mengenai sel surya, maka energinya akan membebaskan pasangan elektron dan hole. Setiap foton dengan energi yang cukup secara normal akan membebaskan elektron, dan akan menghasilkan hole bebas juga. Apabila hal ini terjadi cukup

dekat dengan medan listrik atau jika elektron bebas dan hole bebas masih berada pada range pengaruhnya, maka medan listrik ini akan mengirimkan elektron pada sisi N dan hole pada sisi P. Hal ini akan mengakibatkan kenetralan terganggu dan jika disediakan alur arus luar, maka elektron akan mengalir sepanjang alur, kembali ke asalnya yaitu sisi P untuk bersatu dengan hole yang dikirim oleh medan listrik. Elektron yang mengalir ini akan menghasilkan arus sedangkan medan listrik akan menghasilkan tegangan. Dengan kedua unsur arus dan tegangan tersebut, akan didapatkan power.

Gambar 2.2.3

Listrik yang dihasilkan Sel Photovoltaic



2.3 Baterai (Aki/Accu)

Baterai atau sering disebut sel kering, adalah suatu proses kimia listrik, dimana pada saat pengisian/cas/charge energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pengeluaran/discharge energi kimia diubah menjadi energi listrik. Baterai merupakan salah satu komponen pendukung dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau motor, semua memerlukan aki untuk dapat menghidupkan mesin kendaraan (mencatu arus pada dinamo stater kendaraan) atau alat elektronika lainnya seperti pada inverter dan lain-lain. Aki mampu mengubah tenaga kimia

menjadi tenaga listrik. Dikenal dua jenis elemen yang merupakan sumber arus searah (DC) dari proses kimiawi, yaitu elemen primer dan elemen sekunder.

Elemen primer terdiri dari elemen basah dan elemen kering. Reaksi kimia pada elemen primer yang menyebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif (katoda) ke elektroda positif (anoda) tidak dapat dibalik arahnya. Maka jika muatannya habis, maka elemen primer tidak dapat dimuatikembali dan memerlukan penggantian bahan pereaksinya (elemen kering). Sehingga dilihat dari sisi ekonomis elemen primer dapat dikatakan cukup boros. Contoh elemen primer adalah batu baterai (dry cells). Elemen sekunder dalam pemakaiannya harus diberi muatan terlebih dahulu sebelum digunakan, yaitu dengan cara mengalirkan arus listrik (secara umum dikenal dengan istilah ('disetrum')). Akan tetapi, tidak seperti elemen primer, elemen sekunder dapat dimuati kembali berulang kali. Elemen sekunder ini lebih dikenal dengan aki. Dalam sebuah aki berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (bolak-balik) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel yaitu di dalam aki saat dipakai berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (discharging). Sedangkan saat diisi atau dimuati, terjadi proses tenaga listrik menjadi tenaga kimia (charging). Besar ggl yang dihasilkan satu sel aki adalah 2 Volt. Sebuah aki mobil/motor terdiri dari enam buah aki yang disusun secara seri, sehingga ggl totalnya adalah 12 Volt. Accu mencatu arus untuk menyalakan mesin (motor dan mobil dengan menghidupkan dinamo stater) dan komponen listrik lain dalam mobil. Pada saat mobil berjalan aki dimuati (diisi) kembali sebuah dynamo (disebut dinamo jalan) yang dijalankan dari putaran mesin mobil

atau motor. Pada aki kendaraan bermotor arus yang terdapat di dalamnya dinamakan dengan kapasitas aki yang disebut Ampere-Hour/AH (Ampere-jam).

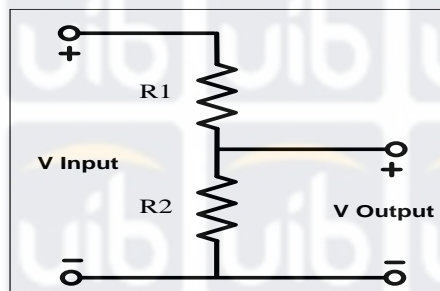
Contohnya untuk aki dengan kapasitas arus 45 AH, maka aki tersebut dapat mencatu arus 45 Ampere selama 1 jam atau 1 Ampere selama 45 jam.

2.4 Rangkaian Pembagi Tegangan (*Voltage Divider*)

Rangkaian pembagi tegangan adalah sangat penting sebagai dasar untuk memahami rangkaian DC atau rangkaian elektronika yang melibatkan berbagai komponen yang lebih rumit.

Gambar 2.4

Rangkaian Pembagi Tegangan



Rangkaian pembagi tegangan digunakan untuk memperoleh tegangan yang diinginkan dari suatu sumber tegangan yang besar. Gambar 2.4 memperlihatkan bentuk sederhana rangkaian pembagi tegangan, yaitu diinginkan untuk mendapatkan tegangan keluaran V_o yang merupakan bagian dari tegangan sumber V_i dengan memasang dua resistor R_1 dan R_2 . Maka tegangan V_o adalah :

$$V_o = V_i \frac{R_2}{(R_1+R_2)}$$

2.5 Relay

Relay merupakan saklar elektromekanik yang bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik pada lilitan. Apabila lilitan dialiri arus listrik akan timbul medan magnet dan menggerakkan logam pada relay yang berfungsi sebagai saklar. Pada relay tunggal, biasanya terdapat lima pin. Dua pin untuk tegangan masukan yang menyuplai lilitan dan tiga pin untuk jalur dikendalikan. Tiga pin pada jalur yang dikendalikan terdiri atas *common* (COM), *normally open* (NO) dan *normally closed* (NC). Pada saat arus mengalir pada lilitan, pin NO akan tersambung ke pin COM, sedangkan pin NC akan terputus dengan pin COM. Sedangkan pada relay yang dual control terdapat tujuh pin. Dua pin sama dengan relay tunggal yaitu untuk tegangan masukan yang menyuplai lilitan dan lima pin jalur dikendalikan. Lima pin pada jalur yang dikendalikan terdiri atas 1 *common* (COM), 2 *normally open* (NO) dan 2 *normally closed* (NC).

Pada saat arus yang mengalir pada lilitan (koil) berhenti mengalir, dalam lilitan tersebut akan tersimpan arus listrik yang kemungkinan dapat mengalir balik ke rangkaian aplikasi. Untuk mencegah agar arus tersebut tidak merusakkan rangkaian yang lain, maka perlu ditambahkan suatu dioda sebagai pengaman.

Aplikasi pokok relay antara lain untuk mengontrol rangkaian beban arus tinggi dengan rangkaian control arus rendah. Hal ini memungkinkan karena arus yang dapat ditangani oleh kontak dapat jauh lebih besar dibandingkan dengan keperluan untuk mengoperasikan kumparan.

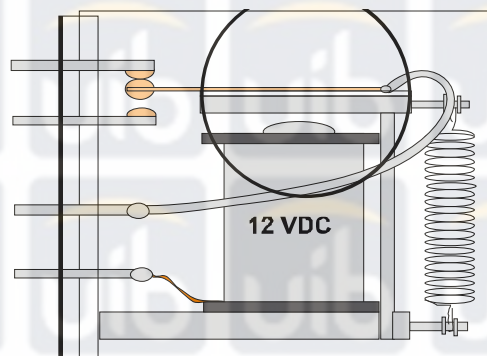
Spesifikasi kontak relay yang paling penting adalah ukuran arus kerja, ini menunjukkan besarnya arus maksimum yang dapat ditangani kontak. Tiga ukuran kerja arus :

1. "in rush" atau kapasitas menghubungkan kontak.
2. Kapasitas mengalirkan terus-menerus.
3. Kapasitas membuka dan memutus.

Kontak juga dirancang untuk kemampuan kerja level maksimum tegangan ac atau dc yang dapat beroperasi. Sebagian besar relay yang digunakan pada rangkaian kontrol mempunyai ukuran kerja kontak 0-15 ampere dengan tegangan maksimum 600 volt. Contoh gambar dari relay elektromekanik dapat ditunjukkan pada Gambar 2.6.

Gambar 2.5

Relay elektromekanik



2.6 Transformator

Transformator adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan). Transformator digunakan baik dalam bidang sistem tenaga maupun elektronika.

Untuk menggunakan dalam sistem tenaga memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis misalnya untuk kebutuhan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik untuk jarak yang jauh. Dalam bidang elektronika transformator digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi antar sumber dan beban, untuk memisahkan rangkaian dengan rangkain yang lain, untuk menghambat arus searah sambil melewatkan arus bolak-balik antara rangkaian atau sebaliknya.

2.6.1 Cara Kerja dan Fungsi Tiap-tiap Bagian

Suatu transformator terdiri atas beberapa bagian yang mempunyai fungsi masing-masing:

1. Bagian utama

- Inti besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh “Eddy Current”.

- Kumparan trafo

Beberapa lilitan kawat berisolasi membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan isolasi padat seperti karton, pertinax dan lain-lain.

Umumnya pada trafo terdapat kumparan primer dan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/arus bolak-balik maka pada kumparan tersebut timbul fluksi yang menginduksikan tegangan, bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaiian beban) maka akan mengalir arus pada kumparan ini. Jadi kumparan sebagai alat transformasi tegangan dan arus.

- Kumparan tertier

Kumparan tertier diperlukan untuk memperoleh tegangan tertier atau untuk kebutuhan lain. Untuk kedua keperluan tersebut, kumparan tertier selalu dihubungkan delta. Kumparan tertier sering dipergunakan juga untuk penyambungan peralatan bantu seperti kondensator synchrone, kapasitor shunt dan reactor shunt, namun demikian tidak semua trafo daya mempunyai kumparan tertier.

- Minyak trafo

Sebagian besar trafo tenaga kumparan-kumparan dan intinya direndam dalam minyak-trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai media pemindah panas (disirkulasi) dan bersifat pula sebagai isolasi (daya tegangan tembus tinggi) sehingga berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi. Untuk itu minyak trafo harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Kekuatan isolasi tinggi
- Penyalur panas yang baik berat jenis yang kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat
- Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik
- Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan
- Tidak merusak bahan isolasi padat
- Sifat kimia yang stabil.

2. Peralatan Bantu

- Pendingin

Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi di dalam trafo, maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut trafo perlu dilengkapi dengan sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar trafo.

Media yang digunakan pada sistem pendingin dapat berupa: Udara/gas, minyak dan air. Pengalirannya (sirkulasi) dapat dengan cara :

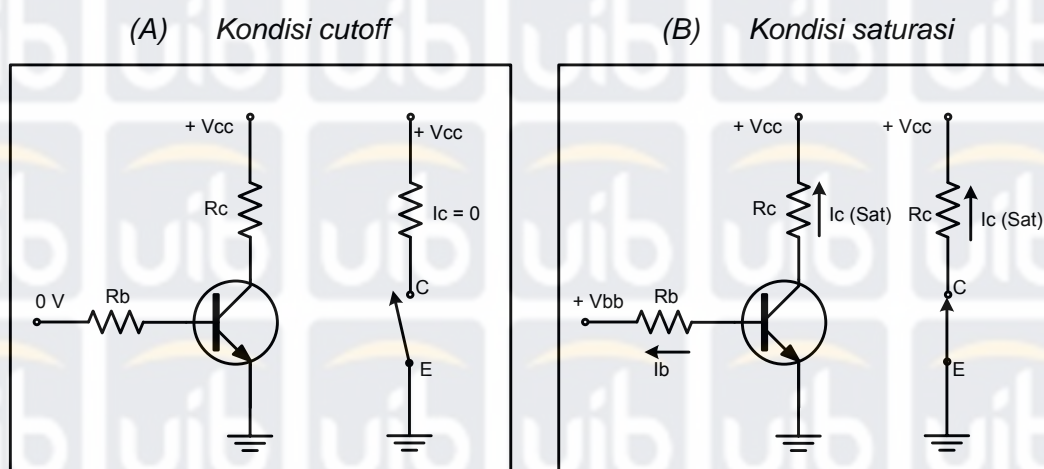
- Alamiah (natural)
- Tekanan/paksaan (forced).

2.7 Transistor Sebagai Saklar (Switch)

Gambar 2.7 mengilustrasikan operasi dasar transistor sebagai *switch*. Pada bagian A, transistor dalam daerah *cutoff* (tersumbat) karena *junction* basis – emiter tidak dibias maju. Pada kondisi ini kolektor dan emiter dalam keadaan terbuka. Ini berarti transistor seperti sebuah *switch* yang terbuka. Pada bagian B, transistor dalam daerah saturasi, karena *junction* basis–emiter dan *junction* basis – kolektor dibias maju. Arus basis yang besar cukup untuk mengakibatkan arus kolektor mencapai nilai saturasi. Pada kondisi ini, antara kolektor dan emiter menjadi terhubung singkat.

Gambar 2.7

Ilustrasi transistor sebagai switch



2.7.1 Kondisi *Cutoff* dan Kondisi Saturasi pada Transistor

1. Kondisi *Cutoff*

Transistor dikatakan dalam keadaan *cutoff* apabila *junction* basis–emiter tidak dibias maju (forward biased) dan transistor kehilangan kerja normalnya. Dalam keadaan ini, arus basis nol dan arus kolektor sangat kecil sehingga dapat diabaikan (hanya ada arus bocoran). Tegangan kolektor–emiter mendekati atau sama dengan V_{CC} .

$$V_{CE(\text{cutoff})} \cong V_{CC}$$

2. Kondisi Saturasi

Ketika *junction* basis–emiter dibias maju dan arus basis cukup untuk menghasilkan arus kolektor yang maksimum, maka ini berarti transistor dalam keadaan saturasi. Dengan mengabaikan $V_{CE(\text{cutoff})}$ yang lebih kecil dari V_{CC} , maka arus kolektor pada keadan saturasi adalah :

$$I_{C(\text{sat})} \cong \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Nilai minimum dari arus basis yang dibutuhkan untuk menghasilkan saturasi adalah:

$$I_{B(\text{min})} = \frac{I_{C(\text{sat})}}{\beta_{DC}}$$

2.8 MOSFET (*Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*)

Dalam JFET, besar keefektifan pada channel dikontrol oleh medan listrik yang diberikan ke channel melalui P-N junction. Bentuk lain dari piranti pengaruh medan dicapai dengan penggunaan bahan elektroda gate yang dipisahkan oleh lapisan oxide dari channel semikonduktor. Pengaturan metal oxide semikonduktor

(MOS) mengijinkan karakteristik channel dikontrol oleh medan listrik dengan memberikan tegangan diantara gate dan body semikonduktor dan pemindahan melalui lapisan oxide. Seperti halnya piranti yang disebut dengan MOSFET. Hal ini penting digaris bawahi dengan kenyataan bahwa IC lebih banyak dibuat dengan piranti MOS dari pada jenis piranti semikonduktor lain.

Teknologi MOS (Metal Oxide Semiconductor) telah memberikan solusi terhadap masalah yang terdapat pada pengembangan untai terpadu (Integrated Circuit). Masalah yang dimaksud adalah disipasi panas yang dengan untai MOS menjadi sangat berkurang. Disamping itu untai MOSFET dapat dibuat lebih kecil dibandingkan dengan untai BJT.

Jika MOSFET dibandingkan dengan JFET, operasi JFET mensyaratkan gate berprasikap balik agar devais dapat bekerja dengan baik. Prasikap balik digunakan untuk melakukan pengecilan (depletion) ukuran kanal. Operasi tipe ini dinamakan **mode deplesi**.

MOSFET adalah devais yang dapat dioperasikan dalam mode peningkatan (enhancement) ukuran kanal. Ini berarti bahwa devais ini tidak dibatasi untuk bekerja dengan gate berprasikap balik.

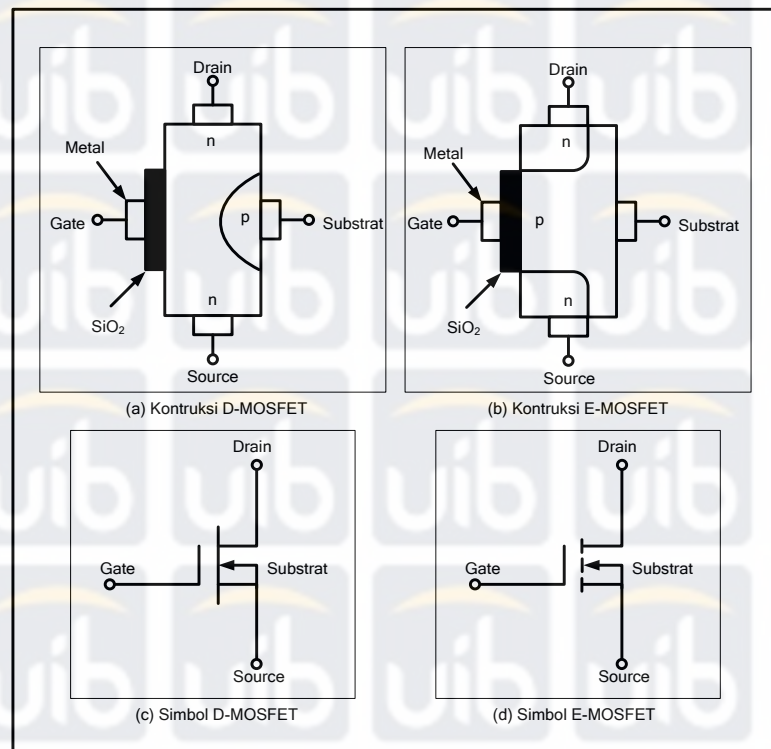
2.8.1 Kontruksi MOSFET

Ada dua tipe MOSFET yaitu **MOSFET tipe deplesi** (D-MOSFET) dan **MOSFET tipe enhancement** (E-MOSFET). D-MOSFET dapat beroperasi pada mode deplesi dan enhancement, sedangkan E_MOSFET hanya pada mode enhancement. Perbedaan kontruksi antara D-MOSFET dan E-MOSFET terlihat pada gambar 2.8.1. Dalam gambar itu D-MOSFET mempunyai kanal fisik antara

terminal source dan drain. Adapun E-MOSFET tidak memiliki kanal, karena kanal terbentuk bergabung pada tegangan gate. Lapisan isolasi antara gate dan bagian lain dari komponen terbuat dari silicon dioxide (SiO_2). Terminal gate terbuat dari konduktor logam.

Fondasi MOSFET disebut **substrat** yang disimbolkan dengan garis pusat yang terhubung secara internal dengan terminal source. Pada gambar terlihat bahwa MOSFET kanal n mempunyai substrat bahan p, sedangkan MOSFET kanal p mempunyai substrat bahan n. Pada symbol MOSFET, panah diletakkan pada substrat. Panah yang menunjuk ke dalam, menyatakan devais kanal n, sedangkan panah yang menunjuk ke luar menyatakan devais kanal p. Substrat tidak harus dihubungkan ke source, tetapi dapat juga dihubungkan ke catu tegangan yang lain.

Gambar 2.8.1
Kontruksi MOSFET

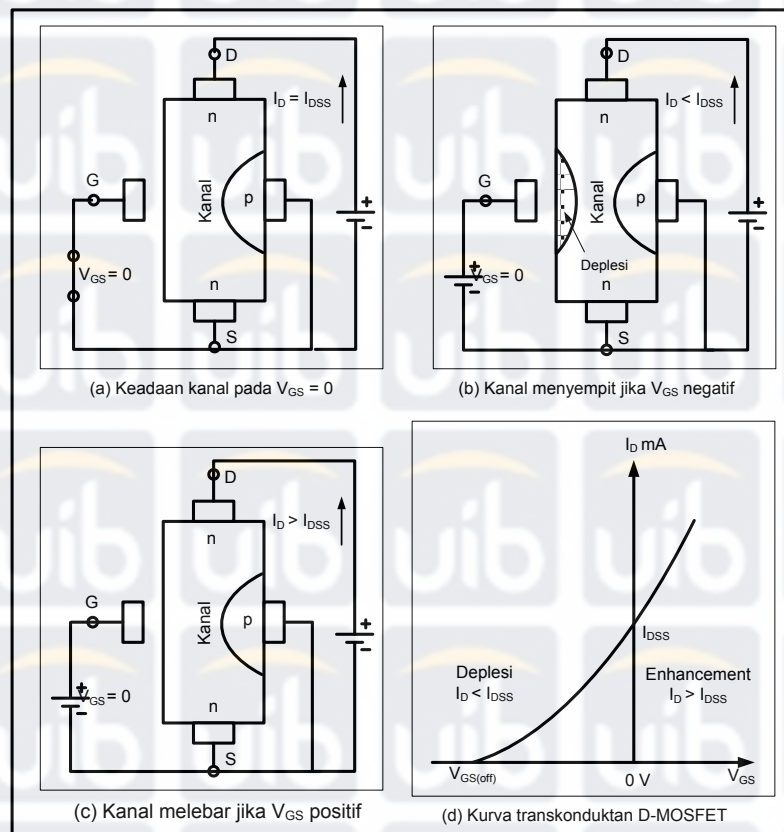


2.8.1.1 D-MOSFET

D-MOSFET dapat bekerja dalam mode deplesi dan mode enhancement. Jika bekerja pada mode deplesi, karakteristik D-MOSFET sama dengan JFET. Gambar 2.8.1.1 menunjukkan operasi D-MOSFET dengan konstruksi D-MOSFET yang disederhanakan.

Gambar 2.8.1.1(a) menunjukkan operasi D-MOSFET, jika $V_{GS} = 0$ V (gate dan source dihubung singkat), maka nilai $I_D = I_{DSS}$. Jika V_{GS} negatif (Gambar 2.8.1.1(b)), maka diinduksikan muatan positif kedalam kanal tipe n melewati SiO_2 dan kapasitor gate. Karena arus yang melewati kanal adalah pembawa mayoritas (elektron untuk bahan tipe n), muatan positif induksi ini akan berekombinasi dengan pembawa mayoritas sehingga pembawa mayoritas berkurang. Hal ini menyebabkan lebar kanal berkurang dan resistansi kanal bertambah. Hal itu memperlihatkan keadaan operasi mode deplesi dari JFET. Daerah deplesi terletak di tepi kanal dekat dengan lapisan isolasi SiO_2 . Karena itu nilai I_D akan lebih kecil dari pada I_{DSS} .

Gambar 2.8.1.1
Operasi D-MOSFET



Jika V_{GS} positif (Gambar 2.8.1.1(c)), maka akan diinduksikan muatan negatif. Karena itu konduktivitas kanal bertambah (resistansi kanal berkurang) dan nilai I_D lebih besar daripada I_{DSS} . Mode operasi ini disebut *mode enhancement* (peningkatan) yang tidak terdapat pada JFET. Jika V_{GS} positif lubang-lubang pada substrat tipe p ditolak. Sementara itu, electron-elektron bidang konduksi sebagai pembawa minoritas di substrat ditarik ke kanal sehingga lebar kanal menjadi besar dan $I_D \gg I_{DSS}$.

Kurva transkonduktansi D-MOSFET tertarik pada Gambar 2.8.1.1(d). Pada gambar ini terlihat jika V_{GS} negatif maka $I_D < I_{DSS}$. Jika $V_{GS} = 0$, maka $I_D = I_{DSS}$

dan jika V_{GS} positif maka $I_D > I_{DSS}$. Persamaan transkonduktans D-MOSFET adalah sama dengan JFET yaitu :

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2$$

Kurva drain suatu MOSFET terlihat pada gambar 2.8.1.2(a). pada kurva tersebut dapat dibuat garis beban dc. Persamaan garis beban untuk untai drain yang terdapat resistans drain R_D adalah :

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$$

Nilai arus drain saturasi (jenuh) yang ideal diperoleh jika $V_{DS} = 0$ yaitu :

$$I_{D(sat)} = \frac{V_{DD}}{R_D}$$

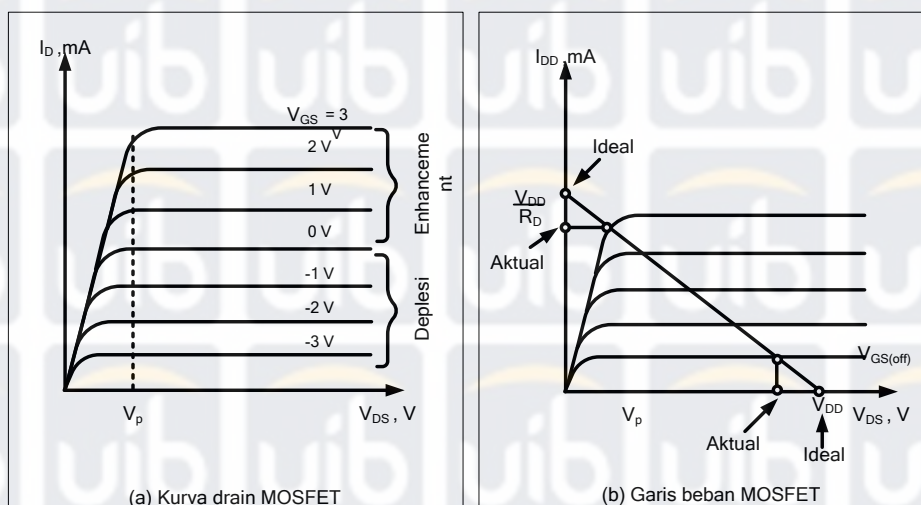
Nilai tegangan drain-source off ideal adalah jika $I_D = 0$ yaitu :

$$V_{DS(off)} = V_{DD}$$

Gambar 2.8.1.2(b) menunjukkan perbedaan antara nilai aktual dan ideal dari

$I_{D(sat)}$ dan $V_{DS(off)}$

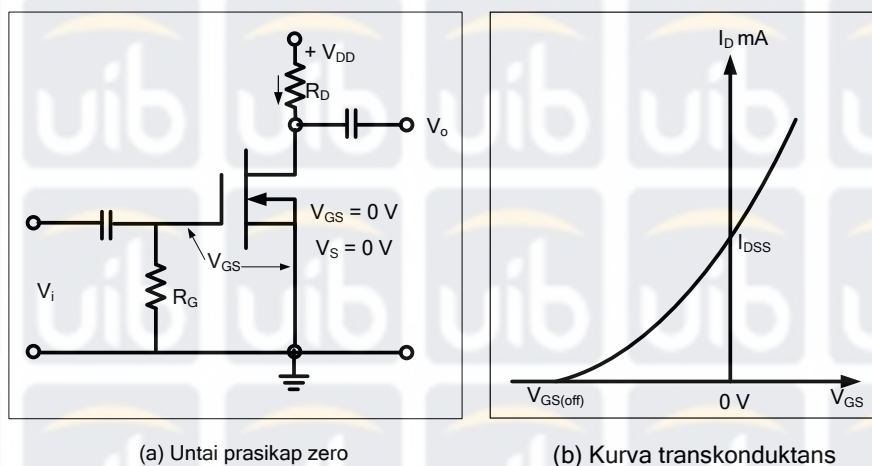
Gambar 2.8.1.2
Transkonduktans D-MOSFET



2.8.1.1.1 Untai Prasikap Untuk D-MOSFET

Untai prasikap untuk D-MOSFET sama seperti JFET yaitu **prasikap gate**, **prasikap diri** dan **prasikap pembagi tegangan**. Karena D-MOSFET tidak memerlukan V_{GS} negatif maka metode umum untuk memberi prasikap D-MOSFET adalah dengan membuat $V_{GS} = 0$. Konfigurasi untai prasikap seperti ini disebut **prasikap zero (nol)** seperti terlihat pada Gambar 2.8.1.1.1.

Gambar 2.8.1.1.1
Konfigurasi untai prasikap D-MOSFET



(a) Untai prasikap zero

(b) Kurva transkonduktans

Nilai R_D dipilih agar $V_{DS} = 0,5 V_{DD}$

$$\text{Maka } R_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{I_{DQ}} = \frac{0,5V_{DS}}{I_{DQ}}$$

Dengan $I_{DQ} = I_{DSS}$

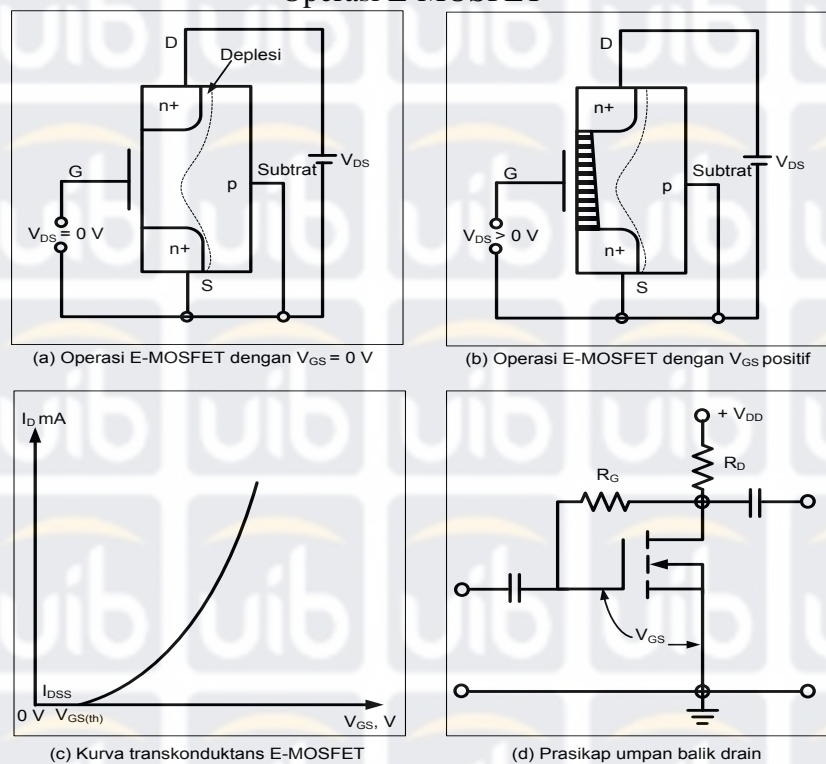
Keuntungan D-MOSFET dibandingkan JFET adalah bahwa D-MOSFET dapat beroperasi pada mode deplesi dan *enhancement*, sedangkan JFET hanya mode deplesi saja. Impedans masukan D-MOSFET lebih tinggi dibandingkan

JFET. Namun kekurangan D-MOSFET adalah lebih peka terhadap suhu dan perlu kecermatan dalam menanganinya.

2.8.1.2 E-MOSFET

E-MOSFET hanya dapat beroperasi dalam mode *enhancement*, maka tegangan gate harus positif terhadap source, seperti terlihat pada Gambar 2.8.1.2.

Gambar 2.8.1.2
Operasi E-MOSFET



Pada saat $V_{GS} = 0$, maka tidak ada kanal yang menghubungkan source dan drain. Ketika V_{GS} positif, maka lubang-lubang bidang valensi pada substrat ditolak. Adapun elektro-elektron pembawa minoritas pada substrat tipe p ditarik kearah gate kanal-n antara source dan drain.

Jika nilai V_{GS} diperbesar maka kanal menjadi lebih sempit dan arus drain berkurang (lihat kurva transkonduktans pada Gambar 2.8.1.2(c)).

Tegangan V_{GS} pada saat E-MOSFET menghantar disebut **tegangan ambang (threshold)** $V_{GS(th)}$. Nilai I_{DSS} untuk E-MOSFET adalah mendekati 0 A. Karena nilai I_{DSS} mendekati nol, maka nilai I_D pada V_{GS} yang ditentukan diberikan oleh formula :

$$I_D = k [V_{GS} - V_{GS(th)}]^2$$

Dengan k : konstanta untuk E-MOSFET.

2.8.1.2.1 Untai Prasikap E-MOSFET

Untuk E-MOSFET kanal n, V_{GS} harus positif. Karena itu digunakan prasikap umpan-balik drain. (Gambar 2.8.1.3(d)).

Karena impedansi gate sangat tinggi, maka tidak ada arus dalam untai gate. Karena itu tidak ada penurunan tegangan pada resistor R_G . Sehingga gate mempunyai potensial yang sama dengan drain.

$$V_{GS} = V_{DS}$$

Nilai V_{DS} dapat diperoleh dari persamaan :

$$V_{DS} = V_{DD} - R_D I_{D(on)}$$

Karena nilai $I_{D(on)}$, V_{DS} dan V_{GS} dapat diperoleh dari karakteristik “ON” dari lembaran spesifikasi (Datasheet), maka nilai R_D dapat dihitung. Nilai R_G biasanya diambil dalam order $M\Omega$.