

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Inverter

*Power Inverter* atau biasanya disebut dengan Inverter adalah suatu rangkaian atau perangkat elektronika yang dapat mengubah arus listrik searah (DC) ke arus listrik bolak-balik (AC) pada tegangan dan frekuensi yang dibutuhkan sesuai dengan perancangan rangkaiannya. Sumber-sumber arus listrik searah atau arus DC yang merupakan Input dari *Power Inverter* tersebut dapat berupa Baterai, Aki maupun Sel Surya (*Solar Cell*). Inverter ini akan sangat bermanfaat apabila digunakan di daerah-daerah yang memiliki keterbatasan pasokan arus listrik AC. Karena dengan adanya Power Inverter, kita dapat menggunakan Aki ataupun Sel Surya untuk menggerakkan peralatan-peralatan rumah tangga seperti Televisi, Kipas Angin, Komputer atau bahkan Kulkas dan Mesin Cuci yang pada umumnya memerlukan sumber listrik AC yang bertegangan 220V ataupun 110V. Bentuk-bentuk Gelombang yang dapat dihasilkan oleh Power Inverter diantaranya adalah gelombang persegi (*square wave*), gelombang sinus (*sine wave*), gelombang sinus yang dimodifikasi (*modified sine wave*) dan gelombang modulasi pulsa lebar (*pulse width modulated wave*) tergantung pada desain rangkaian inverter yang bersangkutan. Namun pada saat ini, bentuk-bentuk gelombang yang paling banyak digunakan adalah bentuk gelombang sinus (*sine wave*) dan gelombang sinus yang dimodifikasi (*modified sine wave*). Sedangkan Frekuensi arus listrik yang dihasilkan pada umumnya adalah sekitar 50Hz atau 60Hz dengan Tegangan Output sekitar 120V atau 240V.

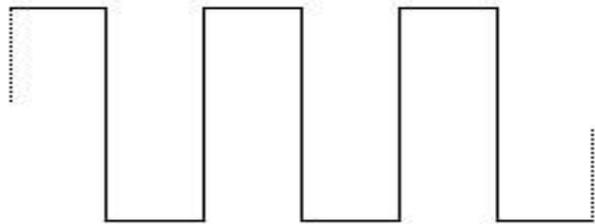
##### 2.1.1 Jenis-jenis Inverter

- Solar Inverter. Umumnya solar inverter digunakan untuk mengubah tegangan DC dari solar panel maupun aki menjadi arus listrik AC. Saat ini, Solar inverter dilengkapi dengan *battery charger* yang bisa digunakan untuk menambah daya baterai.
- UPS (Interruptible Power Supply). UPS merupakan gabungan dari inverter dan rectifier. Seperti yang kita ketahui bahwa inverter berfungsi merubah arus DC menjadi AC, sedangkan rectifier sebaliknya. Rectifier berarti berguna untuk mengisi tegangan listrik ke baterai sedangkan inverter mengembalikannya ke arus PLN. Sedangkan stabilizer berguna untuk menstabilkan tegangan pada reftifier yang membuat baterai dapat terisi di tegangan yang optimal.

- Variable Speed Drive. VSD (Variable Speed Drive) merupakan gabungan dari inverter dan rectifier juga. Namun, pada VSD tidak dilengkapi baterai seperti UPS. Tujuan menkonversi tegangan listriknya ialah untuk melakukan digitizing. Nantinya tegangan DC dapat disesuaikan frekuensinya lalu akan dikonversikan kembali menjadi tegangan AC. Biasanya fungsi ini digunakan pada perangkat listrik yang memiliki jenis induksi seperti motor listrik dll.
- Portable / Car Inverter. Umumnya pada car inverter ini memiliki daya yang kecil dan tidak lebih dari 200W. Karena sumber dayanya diambil dari aki mobil, mengingat aki tersebut juga digunakan untuk mengoperasikan kendaraan tersebut. Tentunya arus listrik yang dihasilkan akan terbagi-bagi.

### 2.1.2 Jenis-jenis Inverter Berdasarkan Bentuk Gelombang.

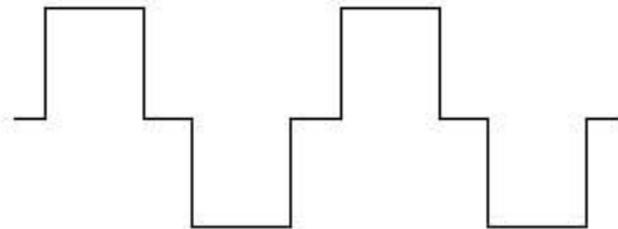
- Square Sine Wave Inverter. Jenis sinyal yang berbentuk kotak, sesuai dengan namanya. Sinyal ini tidak cocok dengan beban *coil*, seperti kulkas, atau trafo jenis tertentu, karena justru dapat merusak peralatannya. Inverter ini sering disebut sebagai *push-pull inverter*. Pada jenis ini sinyal yang dihasilkan inverter memiliki bentuk output sinyal kotak sesuai namanya dan sangat tidak cocok digunakan untuk beban dengan coil misalnya kulkas, atau trafo tertentu karena bisa merusak peralatan tersebut. Inverter jenis ini sering juga disebut *push-pull inverter*



**SQUARE WAVE**

**Gambar 2.1** Gelombang Square Wave

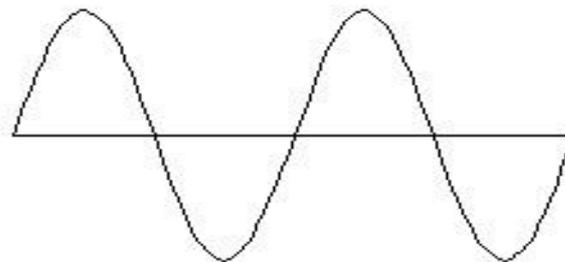
- Modified Sine Wave Inverter. Inverter ini merupakan hasil modifikasi dari square sine wave inverter. Inverter ini dapat dipakai pada beban kumparan, namun hasil yang didapat akan menjadi tidak optimal, dan pemborosan daya juga menjadi lebih tinggi. Inverter ini tidak disarankan untuk jenis-jenis peralatan yang sensitif. Misalnya pada home theater atau jenis-jenis peralatan audio.



**MODIFIED SINE WAVE**

**Gambar 2.2** Gelombang Modified Sine Wave Inverter

- Pure Sine Wave Inverter . Tipe inverter dengan *output* yang dapat dikatakan berbentuk paling baik. Dikarenakan inverter ini dapat optimal untuk dipakai di semua peralatan. Dengan catatan, harga inverter ini lumayan mahal.



**SINE WAVE**

**Gambar 2.3** Gelombang Sine Wave

## 2.2 Transformator

Sebuah **trafo** adalah perangkat listrik pasif yang mentransfer energi listrik dari satu rangkaian listrik ke yang lain, atau beberapa rangkaian. Arus yang bervariasi dalam setiap kumparan transformator menghasilkan fluks magnet yang bervariasi dalam inti transformator, yang menginduksi gaya gerak listrik yang bervariasi pada kumparan lain yang melilit pada inti yang sama. Energi listrik dapat ditransfer antara kumparan yang terpisah tanpa koneksi logam (konduktif) antara kedua sirkuit. Hukum induksi Faraday, ditemukan pada tahun 1831,

menjelaskan efek tegangan yang diinduksi dalam setiap kumparan karena perubahan fluks magnet yang dikelilingi oleh kumparan.

Transformer paling umum digunakan untuk meningkatkan tegangan AC rendah pada arus tinggi (transformator step-up) atau mengurangi voltase AC tinggi pada arus rendah (transformator step-down) dalam aplikasi tenaga listrik, dan untuk menyambungkan tahapan sirkuit pemrosesan sinyal. Transformer juga dapat digunakan untuk isolasi, di mana tegangan sama dengan tegangan keluar, dengan kumparan terpisah tidak terikat secara elektrik satu sama lain.

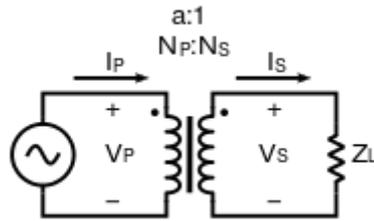
Sejak penemuan transformator potensial konstan pertama pada tahun 1885, transformer telah menjadi penting untuk transmisi, distribusi, dan pemanfaatan dari alternatif tenaga arus listrik.<sup>[2]</sup> Berbagai macam desain transformator ditemukan dalam aplikasi daya elektronik dan listrik. Ukuran transformator berkisar dari transformator RF dengan volume kurang dari satu sentimeter kubik, hingga unit dengan berat ratusan ton yang digunakan untuk menghubungkan jaringan listrik.

### 2.2.1 Prinsip Kerja

- Trafo ideal. Trafo yang ideal adalah trafo linier teoritis yang lossless dan digabungkan dengan sempurna. Kopling sempurna menyiratkan permeabilitas magnetik inti tak terhingga tinggi dan induktansi belitan dan gaya magnetomotive nol bersih (i.e.  $i_p n_p - i_s n_s = 0$ ). Arus yang bervariasi dalam belitan primer transformator berupaya membuat fluks magnet yang bervariasi dalam inti transformator, yang juga dikelilingi oleh belitan sekunder. Fluks yang bervariasi ini pada belitan sekunder menginduksi gaya gerak listrik yang bervariasi (EMF, tegangan) pada belitan sekunder karena induksi elektromagnetik dan arus sekunder yang dihasilkan menghasilkan fluks yang sama dan berlawanan dengan yang dihasilkan oleh belitan primer, sesuai dengan hukum Lenz. Gulungan dililit di sekitar inti permeabilitas magnetik yang sangat tinggi sehingga semua fluks magnet melewati baik gulungan primer dan sekunder. Dengan sumber tegangan yang terhubung ke belitan primer dan beban yang terhubung ke belitan sekunder, arus transformator mengalir ke arah yang ditunjukkan dan gaya magnetomotive inti dibatalkan ke nol.

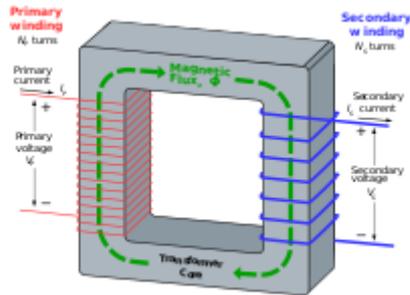
Menurut hukum Faraday, karena fluks magnet yang sama melewati belitan primer dan sekunder pada transformator ideal, tegangan diinduksi pada setiap belitan sebanding dengan jumlah belitannya. Rasio tegangan belitan transformator berbanding lurus dengan rasio belitan belitan. Identitas transformator ideal ditunjukkan dalam persamaan. Gambar 5 adalah perkiraan yang masuk akal untuk transformator komersial tipikal, dengan rasio tegangan dan rasio belitan berliku keduanya berbanding terbalik

dengan rasio arus yang sesuai. Impedansi beban yang *dirujuk* ke sirkuit primer sama dengan rasio belokan yang dikuadratkan dengan impedansi beban sirkuit sekunder.



**Gambar 2.4** Gambar Simbol Transformator

Trafo ideal terhubung dengan sumber  $V_P$  pada impedansi primer dan beban  $Z_L$  di sekunder, di mana  $0 < Z_L < \infty$ .



**Gambar 2.5** Gambar Simbol Transformator

Transformator ideal dan hukum induksi

- Persamaan EMF transformator. Jika fluks pada inti murni sinusoidal, hubungan keduanya berlaku di antara tegangan rms-nya  $E_{rms}$  dari belitan, dan frekuensi suplai  $f$ , jumlah belokan  $N$ , luas penampang inti  $a$  dalam  $m^2$  dan puncak kepadatan fluks magnetik  $B_{peak}$  dalam  $Wb/m^2$  atau T (tesla) diberikan oleh persamaan EMF universal.
- Polaritas. Suatu konvensi titik sering digunakan dalam diagram sirkuit transformator, nameplates atau marka terminal untuk menentukan polaritas relatif dari belitan transformator. Arus sesaat yang meningkat secara positif memasuki ujung ‘titik belitan primer menginduksi tegangan polaritas positif yang keluar dari ujung‘ titik inding belitan sekunder. Transformator tiga fase yang digunakan dalam sistem tenaga listrik akan memiliki papan nama yang menunjukkan hubungan fase antara terminal mereka. Ini mungkin dalam bentuk diagram fasor, atau menggunakan kode alfanumerik untuk menunjukkan jenis koneksi internal (weye atau delta) untuk setiap belitan.

### 2.3 Pengertian PWM (Pulse Width Modulation atau Modulasi Lebar Pulsa).

PWM adalah kepanjangan dari *Pulse Width Modulation* atau dalam bahasa Indonesia dapat diterjemahkan menjadi Modulasi Lebar Pulsa. Jadi pada dasarnya, PWM adalah suatu teknik modulasi yang mengubah lebar pulsa (pulse width) dengan nilai frekuensi dan amplitudo yang tetap. PWM dapat dianggap sebagai kebalikan dari ADC (Analog to Digital Converter) yang mengkonversi sinyal Analog ke Digital, PWM atau Pulse Width Modulation ini digunakan menghasilkan sinyal analog dari perangkat Digital (contohnya dari Mikrokontroler).

Untuk lebih memahami apa yang dimaksud dengan PWM atau Pulse Width Modulation ini. Kita coba melihat contoh dari sinyal yang dihasilkan oleh Mikrokontroler atau IC 555. Sinyal yang dihasilkan oleh Mikrokontroler atau IC555 ini adalah sinyal pulsa yang umumnya berbentuk gelombang segiempat. Gelombang yang dihasilkan ini akan tinggi atau rendah pada waktu tertentu. Misalnya gelombang tinggi di 5V dan paling rendah di 0V. Durasi atau lamanya waktu dimana sinyal tetap berada di posisi tinggi disebut dengan “ON Time” atau “Waktu ON” sedangkan sinyal tetap berada di posisi rendah atau 0V disebut dengan “OFF Time” atau “Waktu OFF”. Untuk sinyal PWM, kita perlu melihat dua parameter penting yang terkait dengannya yaitu Siklus Kerja PWM (PWM Duty Cycle) dan Frekuensi PWM (PWM Frequency).

#### 2.3.1 Siklus Kerja PWM (PWM Duty Cycle)

Seperti yang disebutkan diatas, Sinyal PWM akan tetap ON untuk waktu tertentu dan kemudian terhenti atau OFF selama sisa periodenya. Yang membuat PWM ini istimewa dan lebih bermanfaat adalah kita dapat menetapkan berapa lama kondisi ON harus bertahan dengan cara mengendalikan siklus kerja atau Duty Cycle PWM.

Persentase waktu di mana sinyal PWM tetap pada kondisi TINGGI (ON Time) disebut dengan “siklus kerja” atau “Duty Cycle”. Kondisi yang sinyalnya selalu dalam kondisi ON disebut sebagai 100% Duty Cycle (Siklus Kerja 100%), sedangkan kondisi yang sinyalnya selalu dalam kondisi OFF (mati) disebut dengan 0% Duty Cycle (Siklus Kerja 0%).

Rumus untuk menghitung siklus kerja atau duty cycle dapat ditunjukkan seperti persamaan di bawah ini.

$$\text{Duty Cycle} = t_{\text{ON}} / (t_{\text{ON}} + t_{\text{OFF}})$$

Atau

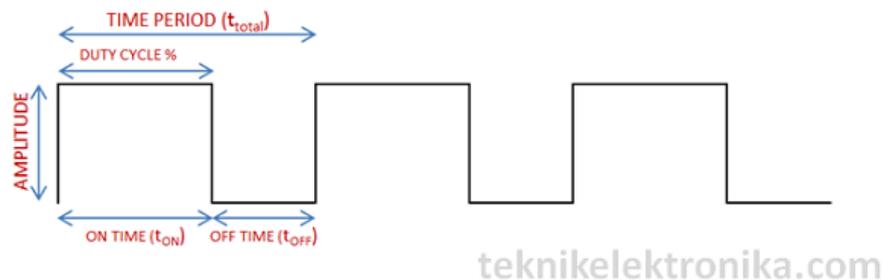
$$\text{Duty Cycle} = t_{\text{ON}} / t_{\text{total}}$$

Dimana :

- $t_{\text{ON}}$  = Waktu ON atau Waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi tinggi (high atau 1)
- $t_{\text{OFF}}$  = Waktu OFF atau Waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi rendah (low atau 0)
- $t_{\text{total}}$  = Waktu satu siklus atau penjumlahan antara  $t_{\text{ON}}$  dengan  $t_{\text{OFF}}$  atau disebut juga dengan “periode satu gelombang”

$$\text{Siklus Kerja} = \text{Waktu ON} / (\text{Waktu ON} + \text{Waktu OFF})$$

Gambar berikut ini mewakili sinyal PWM dengan siklus kerja 60%. Seperti yang kita lihat, dengan mempertimbangkan seluruh periode waktu (ON time + OFF time), sinyal PWM hanya ON untuk 60% dari suatu periode waktu.



**Gambar 2.6** Sinyal PWM

### 2.3.2 Frekuensi PWM (PWM Frequency)

Frekuensi sinyal PWM menentukan seberapa cepat PWM menyelesaikan satu periode. Satu Periode adalah waktu ON dan OFF penuh dari sinyal PWM seperti yang ditunjukkan pada gambar di atas.

Berikut ini adalah Rumus untuk menghitung Frekuensi :

$$\text{Frequency} = 1 / \text{Time Period}$$

Keterangan : *Time Periode atau Periode Waktu = Waktu ON + Waktu OFF*

Biasanya sinyal PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler akan sekitar 500 Hz, frekuensi tinggi tersebut akan digunakan dalam perangkat switching yang berkecepatan tinggi seperti inverter atau konverter. Namun tidak semua aplikasi membutuhkan frekuensi tinggi. Sebagai contoh, untuk mengendalikan motor servo kita hanya perlu menghasilkan sinyal PWM dengan frekuensi 50Hz, frekuensi sinyal PWM ini juga dapat dikendalikan oleh program untuk semua mikrokontroler.

### **2.3.3 Perbedaan antara Siklus Kerja (Duty Cycle) dengan Frekuensi sinyal PWM**

Siklus kerja dan frekuensi sinyal PWM sering membingungkan. Seperti yang kita ketahui bahwa sinyal PWM adalah gelombang persegi dengan waktu ON dan waktu OFF. Jumlah dari Waktu ON (ON-Time) dan Waktu OFF (OFF-Time) ini disebut sebagai satu periode waktu. Kebalikan dari satu periode waktu disebut frekuensi. Sementara jumlah waktu sinyal PWM harus tetap dalam satu periode waktu ditentukan oleh siklus kerja PWM.

Sederhananya, seberapa cepat sinyal PWM harus dihidupkan (ON) dan dimatikan (OFF) ditentukan oleh frekuensi sinyal PWM dan kecepatan berapa lama sinyal PWM harus tetap ON (hidup) ditentukan oleh siklus kerja sinyal PWM

### **2.3.4 Menghitung Tegangan Output Sinyal PWM**

Tegangan output sinyal PWM yang telah diubah menjadi analog akan menjadi persentase dari siklus kerja (Duty Cycle). Misalnya jika tegangan operasi 5V maka sinyal PWM juga akan memiliki 5V ketika tinggi. Apabila Duty Cycle atau siklus kerja adalah 100%, maka tegangan output akan menjadi 5V. Sedangkan untuk siklus kerja 50% akan menjadi 2.5V. Demikian juga apabila siklus kerja 60% maka Tegangan Output analognya akan menjadi 3V.

Rumus perhitungan tegangan output sinyal PWM ini dapat dilihat seperti persamaan dibawah ini :

$$V_{out} = \text{Duty Cycle} \times V_{in}$$

## **2.4 Mikrokontroler ATmega 328P**

ATmega328P adalah mikrokontroler keluaran dari atmel yang mempunyai arsitektur RISC (Reduce Instruction Set Computer) yang dimana setiap proses eksekusi data lebih cepat dari pada arsitektur CISC (Completed Instruction Set Computer). ATmega328 memiliki beberapa fitur antara lain :

1. 130 macam instruksi yang hampir semuanya dieksekusi dalam satu siklus clock.
2. 32 x 8-bit register serba guna.
3. Kecepatan mencapai 16 MIPS dengan clock 16 MHz.
4. 32KB Flash memory dan pada arduino memiliki bootloader yang menggunakan 2 KB dari flash memori sebagai bootloader.

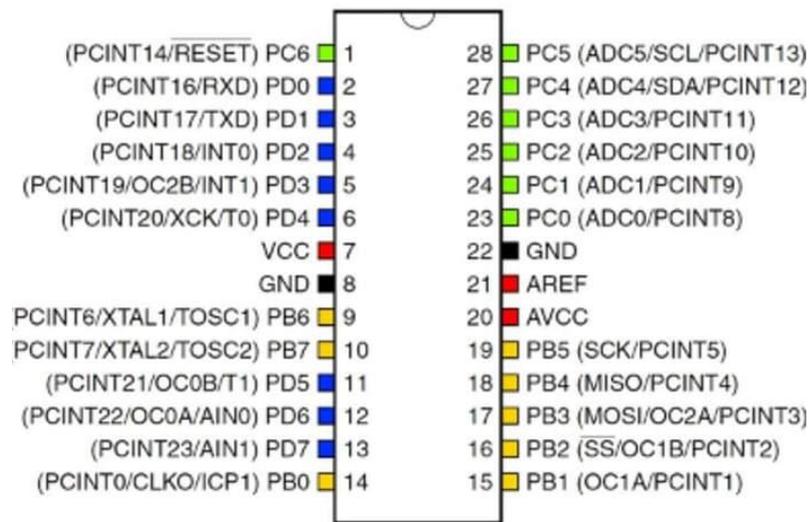
5. Memiliki EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) sebesar 1KB sebagai tempat penyimpanan data semi permanent karena EEPROM tetap dapat menyimpan data meskipun catu daya dimatikan.

6. Memiliki SRAM (Static Random Access Memory) sebesar 2KB.

7. Memiliki pin I/O digital sebanyak 14 pin 6 diantaranya PWM (Pulse Width Modulation) output.

8. Master / Slave SPI Serial interface. Mikrokontroler ATmega 328 memiliki arsitektur Harvard, yaitu memisahkan memori untuk kode program dan memori untuk data sehingga dapat memaksimalkan terjadinya parallelisme. Instruksi – instruksi dalam memori program dieksekusi dalam satu alur tunggal, dimana pada saat satu instruksi dikerjakan instruksi berikutnya sudah diambil dari memori program. Konsep inilah yang memungkinkan instruksi – instruksi dapat dieksekusi dalam setiap satu siklus clock. 32 x 8-bit register serba guna digunakan untuk mendukung operasi pada ALU (Arithmetic Logic unit) yang dapat dilakukan dalam satu siklus. 6 dari register serbaguna ini dapat digunakan sebagai 3 buah register pointer 16-bit pada mode pengalamatan tidak langsung untuk mengambil data pada ruang memori UNIVERSITAS SUMATERA UTARA 16 data Ketiga register pointer 16-bit ini disebut dengan register X (gabungan R26 dan R27), register Y (gabungan R28 dan R29), dan register Z (gabungan R30 dan R31). Hampir semua instruksi AVR memiliki format 16-bit. Setiap alamat memori program terdiri dari instruksi 16-bit atau 32-bit. Selain register serba guna di atas, terdapat register lain yang terpetakan dengan teknik memory mapped I/O selebar 64 byte. Beberapa register ini digunakan untuk fungsi khusus antara lain sebagai register control Timer/ Counter, Interupsi, ADC, USART, SPI, EEPROM, dan fungsi I/O lainnya. Register – register ini menempati memori pada alamat 0x20h – 0x5Fh. Pin Map ATmega328.

### 2.4.1 Konfigurasi Pin ATmega328P



Gambar 2.7 ATmega 328P

ATmega328 memiliki 3 buah PORT utama yaitu PORTB, PORTC, dan PORTD dengan total pin input/output sebanyak 23 pin. PORT tersebut dapat difungsikan sebagai input/output digital atau difungsikan sebagai peripheral lainnya.

- Port B Port B merupakan jalur data 8 bit yang dapat difungsikan sebagai input/output. Selain itu PORTB juga dapat memiliki fungsi alternatif seperti di bawah ini.
  - a. ICP1 (PB0), berfungsi sebagai Timer Counter 1 input capture pin.
  - b. OC1A (PB1), OC1B (PB2) dan OC2 (PB3) dapat difungsikan sebagai keluaran PWM (Pulse Width Modulation).
  - c. MOSI (PB3), MISO (PB4), SCK (PB5), SS (PB2) merupakan jalur komunikasi SPI.
  - d. Selain itu pin ini juga berfungsi sebagai jalur pemrograman serial (ISP).
  - e. TOSC1 (PB6) dan TOSC2 (PB7) dapat difungsikan sebagai sumber clock external untuk timer.
  - f. XTAL1 (PB6) dan XTAL2 (PB7) merupakan sumber clock utama mikrokontroler.
- Port C Port C merupakan jalur data 7 bit yang dapat difungsikan sebagai input/output digital. Fungsi alternatif PORTC antara lain sebagai berikut.
  - a. ADC6 channel (PC0,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5) dengan resolusi sebesar 10 bit. ADC dapat kita gunakan untuk mengubah input yang berupa tegangan analog menjadi data digital

- b. I2C (SDA dan SDL) merupakan salah satu fitur yang terdapat pada PORTC. I2C digunakan untuk komunikasi dengan sensor atau device lain yang memiliki komunikasi data tipe I2C seperti sensor kompas, accelerometer nunchuck.
3. Port D Port D merupakan jalur data 8 bit yang masing-masing pin-nya juga dapat difungsikan sebagai input/output. Sama seperti Port B dan Port C, Port D juga memiliki fungsi alternatif dibawah ini.
- a. USART (TXD dan RXD) merupakan jalur data komunikasi serial dengan level sinyal TTL. Pin TXD berfungsi untuk mengirimkan data serial, sedangkan RXD kebalikannya yaitu sebagai pin yang berfungsi untuk menerima data serial.
  - b. Interrupt (INT0 dan INT1) merupakan pin dengan fungsi khusus sebagai interupsi hardware. Interupsi biasanya digunakan sebagai selaan dari UNIVERSITAS SUMATERA UTARA 18 program, misalkan pada saat program berjalan kemudian terjadi interupsi hardware/software maka program utama akan berhenti dan akan menjalankan program interupsi.
  - c. XCK dapat difungsikan sebagai sumber clock external untuk USART, namun kita juga dapat memanfaatkan clock dari CPU, sehingga tidak perlu membutuhkan external clock.
  - d. T0 dan T1 berfungsi sebagai masukan counter external untuk timer 1 dan timer 0. e. AIN0 dan AIN1 keduanya merupakan masukan input untuk analog comparator.

## 2.5 Transistor

Transistor adalah alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, sebagai sirkuit pemutus dan penyambung (switching), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau sebagai fungsi lainnya. Transistor dapat berfungsi semacam kran listrik, dimana berdasarkan arus inputnya (BJT) atau tegangan inputnya (FET), memungkinkan pengaliran listrik yang sangat akurat dari sirkuit sumber listriknya (Anonim1 , 2011). Pada umumnya, transistor memiliki 3 terminal, yaitu Basis (B), Emitor (E) dan Kolektor (C). Tegangan yang di satu terminalnya misalnya Emitor dapat dipakai untuk mengatur arus dan tegangan yang lebih besar daripada arus input Basis, yaitu pada keluaran tegangan dan arus output Kolektor Transistor merupakan komponen yang sangat penting dalam dunia elektronik modern. Dalam rangkaian analog, transistor digunakan dalam amplifier (penguat). Rangkaian analog melingkupi pengeras suara, sumber listrik stabil (stabilisator) dan penguat sinyal radio. Dalam rangkaian-rangkaian digital, transistor digunakan sebagai saklar berkecepatan tinggi. Beberapa transistor juga dapat dirangkai sedemikian rupa sehingga berfungsi sebagai logic gate, memori dan fungsi rangkaian-rangkaian lainnya. Dalam elektronik, resistansi komponen sering bervariasi, tergantung pada kondisi-kondisi yang dioperasikan. Suatu transistor, misalnya, mungkin

memiliki ketahanan yang sangat tinggi beberapa waktu, dan resistensi yang sangat rendah pada waktu lain. Ini fluktuasi tinggi / rendah dapat dibuat untuk mengambil tempat ribuan, jutaan atau milyaran kali setiap detik. Dengan cara ini, osilator, dan digital amplifier fungsi perangkat elektronik pada receiver radio dan pemancar, jaringan telepon, komputer digital dan link satelit (untuk nama hanya beberapa aplikasi) (Gibilisco, 2002). Dari banyak tipe-tipe transistor modern, pada awalnya ada dua tipe dasar transistor, bipolar junction transistor (BJT atau transistor bipolar) dan field-effect transistor (FET), yang masing-masing bekerja secara berbeda. Transistor bipolar dinamakan demikian karena kanal konduksi utamanya menggunakan dua polaritas pembawa muatan: elektron dan lubang, untuk membawa arus listrik. Dalam BJT, arus listrik utama harus melewati satu daerah / lapisan pembatas depletion zone, dan ketebalan lapisan ini dapat diatur dengan kecepatan tinggi dengan tujuan untuk mengatur aliran arus utama tersebut (Anonim1 , 2011). FET (juga dinamakan transistor unipolar) hanya menggunakan satu jenis pembawa muatan (elektron atau hole, tergantung dari tipe FET). Dalam FET, arus listrik utama mengalir dalam satu kanal konduksi sempit dengan depletion zone di kedua sisinya (dibandingkan dengan transistor bipolar dimana daerah Basis memotong arah arus listrik utama). Dan ketebalan dari daerah perbatasan ini dapat diubah dengan perubahan tegangan yang diberikan, untuk mengubah ketebalan kanal konduksi tersebut (Anonim1 , 2011). Secara umum, transistor dapat dibeda-bedakan berdasarkan banyak kategori:

- Materi semikonduktor: Germanium, Silikon, Gallium Arsenide
- Kemasan fisik: Through Hole Metal, Through Hole Plastic, Surface Mount, IC, dan lain-lain
- Tipe: UJT, BJT, JFET, IGFET (MOSFET), IGBT, HBT, MISFET, VMOSFET, MESFET, HEMT, SCR serta pengembangan dari transistor yaitu IC (Integrated Circuit) dan lain-lain.
  - Polaritas: NPN atau N-channel, PNP atau P-channel
  - Maximum kapasitas daya: Low Power, Medium Power, High Power
  - Maximum frekwensi kerja: Low, Medium, atau High Frequency, RF transistor, Microwave, dan lain-lain
  - Aplikasi: Amplifier, Saklar, General Purpose, Audio, Tegangan Tinggi, dan lain-lain.

BJT (Bipolar Junction Transistor) adalah salah satu dari dua jenis transistor. Cara kerja BJT dapat dibayangkan sebagai dua dioda yang terminal positif atau negatifnya berdempet, sehingga ada tiga terminal. Ketiga terminal tersebut adalah emiter (E), kolektor (C), dan basis (B) (Anonim1 , 2011). Perubahan arus listrik dalam jumlah kecil pada terminal basis dapat menghasilkan perubahan arus listrik dalam jumlah besar pada terminal kolektor. Prinsip inilah yang mendasari penggunaan transistor sebagai penguat elektronik. Rasio antara arus pada kolektor dengan arus pada basis

biasanya dilambangkan dengan  $\beta$  atau hFE.  $\beta$  biasanya berkisar sekitar 100 untuk transistor-transistor BJT (Anonim1 , 2011).

FET dibagi menjadi dua keluarga: Junction FET (JFET) dan Insulated Gate FET (IGFET) atau juga dikenal sebagai Metal Oxide Silicon (atau Semiconductor) FET (MOSFET). Berbeda dengan IGFET, terminal gate dalam JFET membentuk sebuah dioda dengan kanal (materi semikonduktor antara Source dan Drain). Secara fungsinya, ini membuat N-channel JFET menjadi sebuah versi solid-state dari tabung vakum, yang juga membentuk sebuah dioda antara grid dan katode. Dan juga, keduanya (JFET dan tabung vakum) bekerja di "depletion mode", keduanya memiliki impedansi input tinggi, dan keduanya menghantarkan arus listrik dibawah kontrol tegangan input (Anonim1 , 2011). FET lebih jauh lagi dibagi menjadi tipe enhancement mode dan depletion mode. Mode menandakan polaritas dari tegangan gate dibandingkan dengan source saat FET menghantarkan listrik. Jika kita ambil N-channel FET sebagai contoh: dalam depletion mode, gate adalah negatif dibandingkan dengan source, sedangkan dalam enhancement mode, gate adalah positif. Untuk kedua mode, jika tegangan gate dibuat lebih positif, aliran arus di antara source dan drain akan meningkat. Untuk P- channel FET, polaritas-polaritas semua dibalik. Sebagian besar IGFET adalah tipe enhancement mode, dan hampir semua JFET adalah tipe depletion mode (Anonim1 , 2011). Transistor dapat difungsikan "sebagai saklar" dengan mengatur arus basis  $I_B$  sehingga transistor dalam keadaan jenuh (saturasi) atau daerah mati (cut-off). Dengan mengatur  $I_B > I_C/\beta$  kondisi transistor akan menjadi jenuh seakan kolektor dan emitor short circuit. Arus mengalir dari kolektor ke emitor tanpa hambatan dari  $V_{CE} \approx 0$ . Besar arus yang mengalir dari kolektor ke emitor sama dengan  $V_{CC}/R_C$ . Keadaan seperti ini akan menyerupai saklar dalam kondisi tertutup (on). Dengan mengatur  $I_B = 0$  atau tidak memberi tegangan pada bias basis atau basis diberi tegangan mundur terhadap emitor maka transistor akan dalam kondisi mati (cut-off), sehingga tak ada arus mengalir dari kolektor ke emitor ( $I_C \approx 0$ ) dan  $V_{CE} \approx V_{CC}$ . Keadaan ini menyerupai saklar pada kondisi terbuka.

## **2.6. MOSFET**

MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) adalah suatu transistor dari bahan semikonduktor (silikon) dengan tingkat konsentrasi ketidakmurnian tertentu. Tingkat dari ketidakmurnian ini akan menentukan jenis transistor tersebut, yaitu transistor MOSFET tipe-N (NMOS) dan transistor MOSFET tipe-P (PMOS). Bahan silicon digunakan sebagai landasan (substrat) dari penguras (drain), sumber (source), dan gerbang (gate). Selanjutnya transistor dibuat sedemikian rupa agar antara substrat dan gerbangnya dibatasi oleh oksida silikon yang sangat tipis. Oksida ini diendapkan di atas sisi kiri dari kanal, sehingga transistor MOSFET akan mempunyai

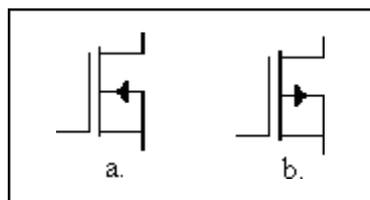
kelebihan dibanding dengan transistor BJT (Bipolar Junction Transistor), yaitu menghasilkan disipasi daya yang rendah.

### 2.6.1 Jenis-Jenis Mosfet

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) adalah suatu transistor dari bahan semikonduktor (silikon) dengan tingkat konsentrasi ketidakmurnian tertentu. Tingkat dari ketidakmurnian ini akan menentukan jenis transistor tersebut, yaitu transistor MOSFET tipe-N (NMOS) dan transistor MOSFET tipe-P (PMOS). Bahan silicon ini yang akan digunakan sebagai landasan (*substrat*) penguras (*drain*), sumber (*source*), dan gerbang (*gate*). Selanjutnya transistor ini dibuat sedemikian rupa agar antara substrat dan gerbangnya dibatasi oleh oksida silicon yang sangat tipis. Oksida ini diendapkan di atas sisi kiri kanal, sehingga transistor MOSFET akan mempunyai kelebihan dibanding dengan transistor BJT (*Bipolar Junction Transistor*), yaitu menghasilkan disipasi daya yang rendah. Bila dilihat dari cara kerjanya, transistor MOS dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

#### 1) Transistor Mode Pengosongan (*Transistor Mode Depletion*)

Pada transistor mode depletion, antara drain dan source terdapat saluran yang menghubungkan dua terminal tersebut, dimana saluran tersebut mempunyai fungsi sebagai saluran tempat mengalirnya elektron bebas. Lebar dari saluran itu sendiri dapat dikendalikan oleh tegangan gerbang. Transistor MOSFET mode pengosongan terdiri dari tipe-N dan tipe-P, simbol transistor ditunjukkan dalam Gambar 2.8.

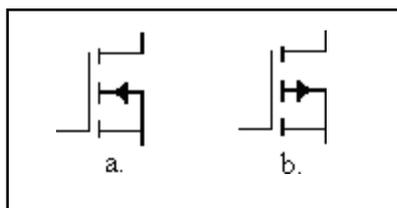


**Gambar 2.8** Simbol Transistor MOSFET Mode *Depletion*

(a). *N-Channel Depletion* (b). *P-Channel Depletion*

#### 2) Transistor Mode peningkatan (*Transistor Mode Enhancement*)

Transistor mode enhancement ini pada fisiknya tidak memiliki saluran antara drain dan sourcenya karena lapisan bulk meluas dengan lapisan SiO<sub>2</sub> pada terminal gate. Transistor MOSFET mode peningkatan terdiri dari tipe-N dan tipe-P, simbol transistor ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Simbol Transistor MOSFET Mode *Enhancement*

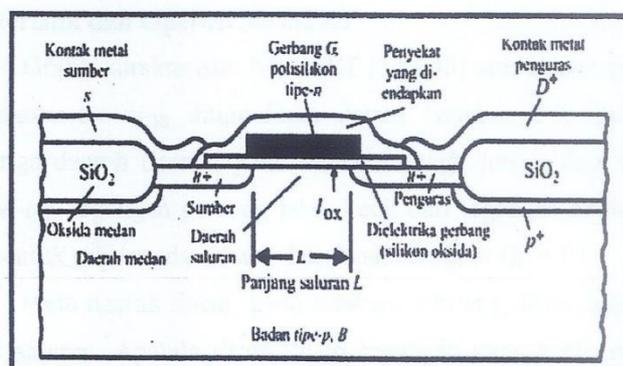
(a). *N-Channel Enhancement* (b). *P-Channel Enhancement*

Dilihat dari jenis saluran yang digunakan, transistor MOSFET dapat dikelompokkan menjadi tiga, antara lain:

- NMOS

Transistor NMOS terbuat dari substrat dasar tipe p dengan daerah source dan drain didifusikan tipe  $n^+$  dan daerah kanal permukaan tipe n. NMOS yang umumnya banyak digunakan adalah NMOS jenis enhancement, dimana pada jenis ini source NMOS sebagian besar akan dihubungkan dengan  $-V_{ss}$  mengingat struktur dari MOS itu sendiri hampir tidak memungkinkan untuk dihubungkan dengan  $+V_{dd}$ . Dalam aplikasi gerbang NMOS dapat dikombinasikan dengan resistor, PMOS, atau dengan NMOS lainnya sesuai dengan karakteristik gerbang yang akan dibuat. Sebagai contoh sebuah NMOS dan resistor digabungkan menjadi sebuah gerbang NOT.

*Negatif* MOS adalah MOSFET yang mengalirkan arus penguras sumber menggunakan saluran dari bahan electron, sehingga arus yang mengalir jika tegangan gerbang lebih positif dari substrat dan nilai mutlaknya lebih besar dari  $V_T$  (*Voltage Treshold*). Skematik MOSFET tipe-n ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Skematik MOSFET tipe-n

Sumber: Hodges-Jackson 1987: 3

- PMOS

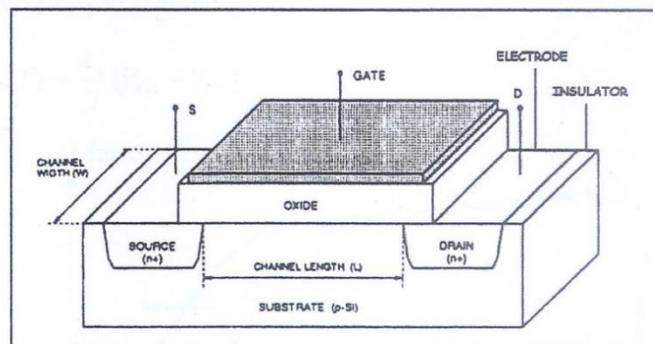
Transistor PMOS terbuat dari substrat dasar tipe-n dengan daerah source dan drain didifusikan tipe p+ dan daerah kanal terbentuk pada permukaan tipe p. Positif MOS adalah MOSFET yang mengalirkan arus penguras sumber melalui saluran positif berupa hole, dimana arus akan mengalir jika tegangan gerbang lebih negative terhadap substrat dan nilai mutlaknya lebih besar dari  $V_T$ . PMOS yang umumnya banyak digunakan adalah PMOS jenis enhancement, dimana pada jenis ini source PMOS sebagian besar akan 4 dihubungkan dengan +Vdd mengingat struktur dari MOS itu sendiri hampir tidak memungkinkan untuk dihubungkan dengan -Vss. Dalam aplikasi gerbang PMOS dapat dikombinasikan dengan resistor, NMOS, atau dengan PMOS lainnya sesuai dengan karakteristik gerbang yang akan dibuat. Sebagai contoh sebuah PMOS dan resistor digabungkan menjadi sebuah gerbang NOT.

- CMOS

CMOS (Complementary MOS) MOSFET tipe complementary ini mengalirkan arus penguras sumber melalui saluran tipe-n dan tipe-p secara bergantian sesuai dengan tegangan yang dimasukkan pada gerbangnya (gate).

### 1.6.2 Bentuk Dasar Mosfet

- *NMOS tipe Enhancement*



**Gambar 2.11** Struktur NMOS

Struktur transistor NMOS terdiri atas substrat tipe-p dengan daerah *source* dan *drain* diberi difusi  $n^+$ . Diantara daerah source dan drain terdapat suatu daerah sempit dari substrat p yang disebut *channel* yang ditutupi oleh lapisan

tang penghantar (isolator) yang terbuat dari  $\text{SiO}_2$ . Panjang *channel* disebut *Length* (L) dan lebarnya disebut *Width* (W). Gerbang (*gate*) terbuat dari polisilikon dan ditutup oleh penyekat yang diendapkan.

Struktur transistor NMOS terdiri atas substrat tipe-p dan tipe-n. kedua parameter ini sangat penting untuk mengontrol MOSFET. Parameter yang tidak kalah penting adalah ketebalan lapisan oksida yang menutupi daerah *channel* (*tox*). Di atas lapisan *insulating* tersebut didepositkan *polycrystalline silicon* (*polysilicone*) *electrode*, yang disebut dengan gerbang (*gate*). struktur fisik NMOSFET tipe *enhancement* ditunjukkan dalam Gambar 2.11.

- *PMOS tipe Enhancement*

Struktur transistor PMOS terdiri atas substrat tipe-n dengan daerah *source* dan *drain* diberi difusi  $\text{p}^+$ , dan untuk kondisi yang lain adalah sama dengan NMOS.