

# PENGERINGAN IKAN TERI

## DENGAN PANEL SURYA DAN MIKROKONTROLER

Selamat Meliala  
Saifuddin  
Rosdiana



**PENGERINGAN IKAN TERI  
DENGAN PANEL SURYA DAN  
MIKROKONTROLER**



universitas  
**MALIKUSSALEH**

**SELAMAT MELIALA  
SAIFUDDIN  
ROSDIANA**

**PENGERINGAN IKAN TERI  
DENGAN PANEL SURYA DAN  
MIKROKONTROLER**

**UNIMAL PRESS**

Judul: **PENGERINGAN IKAN TERI DENGAN PANEL SURYA DAN MIKROKONTROLER**

x + 142 hal., 15 cm x 23 cm

Cetakan Pertama: Nopember, 2018

Hak Cipta © dilindungi Undang-undang. *All Rights Reserved*

Penulis:

**SELAMAT MELIALA**

**SAIFUDDIN**

**ROSDIANA**

Perancang Sampul: **S M**

Penata Letak: **Eriyanto**

Pracetak dan Produksi: **Unimal Press**

Penerbit:

**UNIMAL PRESS**

Unimal Press

Jl. Sulawesi No.1-2

Kampus Bukit Indah Lhokseumawe 24351

PO.Box. 141. Telp. 0645-41373. Fax. 0645-44450

Laman: [www.unimal.ac.id/unimalpress](http://www.unimal.ac.id/unimalpress).

Email: [unimalpress@gmail.com](mailto:unimalpress@gmail.com)

ISBN 978-602-464-054-5



ISBN: **978-602-464-054-5**

*Dilarang keras memfotocopy atau memperbanyak sebahagian atau seluruh buku ini tanpa seizin tertulis dari Penerbit*

## Kata Pengantar

Puji & syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan buku sebagai bahan ajar dalam penelitian yang berjudul “Pengeringan Ikan Teri Dengan Panel Surya Dan Mikrokontroler”.

Penelitian ini terlaksana dengan adanya dukungan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi melalui Program Penelitian Strategis Nasional Institusi (PSNI) sehingga penulis mampu berkontribusi positif dalam menyelesaikan buku dalam pengembangan bahan ajar dan bahan pratikal dilapangan melalui penelitian di Universitas Malikussaleh.

Atas terlaksananya penyelesaian buku ini, penulis menghaturkan banyak terima kasih kepada segenap pihak yang telah ikut berperan aktif dalam buku ini, antara lain :

1. Bapak Direktur Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Depdiknas Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.
2. Bapak Prof. Dr. Apridar, S.E., M.Si sebagai Rektor Universitas Malikussaleh.
3. Bapak DR. Herman Fithra, ST, MT, sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
4. Bapak Yulius Dharma, S.Ag.,M.Si, sebagai Ketua Lembaga Penelitian dan pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Malikussaleh.
5. Seluruh staf pengajar dan mahasiswa yang telah berkontribusi dalam penelitian.

Buku hasil penelitian ini dapat diunakan sebagai pendukung bahan ajar dan dalam pemaparan buku ini masih jauh dari jauh kesempurnaan. Oleh karena itu, mohon saran yang bersifat konstruktif demi penyempurnaan penulisan ini.

Aceh Utara, 6 Nopember 2018  
Penulis,

**Selamat Meliala, ST., MT**  
NIP. 1972123032002121005

# Daftar Isi

Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vii
Ringkasan .....	x

## BAB I.

<b>PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
--------------------------	----------

## BAB II.

<b>TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Prinsip Kerja Elektron .....	3
2.2 Adanya Sumber Arus .....	4
2.3 Arus Listrik .....	5
2.4 Sumber Tegangan .....	5
2.5 Hukum Ohm .....	6
2.6 Hubungan Seri .....	7
2.7 Hubungan Paralel .....	7
2.8 Hubungan Seri Dan Paralel .....	8
2.9 Hukum Kirchoff .....	8
2.9.1 Hukum Kirchoff Arus ( <i>Kirchoff Current Law</i> ) .....	8
2.9.2 Hukum Kirchoff Tegangan ( <i>Kirchoff Tentang Tegangan</i> ) .....	11
2.10 Ilemen Rangkaian Listrik .....	11
2.10.1 Resistor .....	13
2.10.2 Kapasitor .....	18
2.10.3 Induktor (L) .....	21
2.11 Satuan Metrik Standar Internasional .....	22
2.12 Awalan Satuan Metrik Standar Internasional .....	23
2.13 Hubungan Transformasi Bintang Dan Delta .....	27
2.14 Jenis Bentuk Gelombang AC .....	31
2.14.1 Karakteristik Bentuk Gelombang AC .....	32
2.14.2 Amplitudo bentuk Gelombang AC .....	34
2.15 Nilai rata-rata Bentuk Gelombang AC .....	34
2.16 Nilai RMS dari Bentuk Gelombang AC .....	36
2.17 Faktor Bentuk dan Faktor Puncak .....	37
2.18 Bentuk Gelombang Arus DC ( <i>Direct Current</i> ) .....	37
2.19 Pembagian Tegangan ( <i>Voltage Divider</i> ) .....	39
2.20 Pembagian Arus ( <i>Current Divider</i> ) .....	40
2.21 Metode Analisis Rangkaian Listrik .....	44
2.21.1 Metode Tegangan Simpul ( <i>Node</i> ) .....	44
2.21.2 Metode Arus Matajala ( <i>Mesh</i> ) .....	46
2.21.3 Metode Super Posisi .....	48



2.21.4 Metode <i>Thevenin</i> dan <i>Norton</i> .....	48
2.22 Pengukuran Besaran Listrik dan Tahanan.....	49
2.22.1 Mengukur Kuat Arus.....	50
2.22.2 Mengukur Tegangan.....	50
2.22.3 Mengukur Hambatan.....	51
<b>BAB III.</b>	
<b>MATERIAL LISTRIK</b> .....	54
3.1 Material Konduktor .....	54
3.2 Material Semikonduktor.....	55
3.3 Material Isolator.....	56
3.4 Jenis Aplikasi Bahan Listrik Pada komponen Elektronik .....	57
<b>BAB IV.</b>	
<b>SENSOR LIGHT DEPENDENT RESISTOR</b> .....	59
4.1 Sensor LDR.....	59
4.2 Karakteristik Sensor Cahaya LDR.....	63
<b>BAB V.</b>	
<b>MOTOR LISTRIK</b> .....	65
5.1 Motor Listrik AC.....	65
5.1.1 Motor Listrik AC Sinkrons .....	66
5.1.2 Motor Listrik AC Induksi.....	67
5.2 Motor Listrik DC.....	68
5.2.1 Motor Stepper .....	73
5.2.2 Motor Servo.....	74
<b>BAB VI.</b>	
<b>MICROKONTROLER</b> .....	75
6.1 Apa itu Mikrokontroler .....	75
6.2 Pengertian Mikrokontroler ATmega16 .....	76
6.2.1 Arsitektur Mikrokontroler ATmega16.....	76
6.2.2 Konfigurasi PIN ATmega16 .....	78
6.3 Peta Memori ATmega16.....	79
6.3.1 Memori Program.....	79
6.3.2 Memori Data (SRAM) .....	79
6.3.3 Memori Data EEPROM.....	80
6.4 Analog To Digital Converter.....	81
6.5 Bahasa C.....	84
6.5.1 Kompilasi Program C .....	84
6.5.2 Tipe Data Bahasa C.....	85
6.5.3 Perangkat Lunak Mikrokontroler ATmega16.....	86
6.6 Komunikasi USARTs.....	87

<b>BAB VII.</b>	
<b>SOLAR PANEL</b> .....	95
7.1 Apa itu Solar Panel .....	95
7.2 Semikonduktor dan Sel Surya .....	96
7.3 Proses Konversi Solar Cell .....	96
7.4 Struktur Sel Surya.....	102
7.5 Pengukuran Performansi Sel Surya .....	104
7.6 Efek Resistansi Terhadap Kurva J-V Sel Surya .....	105
7.7 Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi .....	107
7.8 Pengaruh Sudut Datang Terhadap Radiasi yang diterima .....	108
<b>BAB VIII.</b> .....	109
<b>PROSES PERPINDAHAN PANAS</b> .....	109
8.1 Perpindahan Panas (Heat Transfer) .....	109
8.2 Penukar Panas (Heat Exchanger) .....	112
<b>BAB IX.</b>	
<b>LIQUID CRYSTAL DISPLAY</b> .....	113
9.1 Liquid Crystal Display (LCD).....	113
9.2 Karakteristik LCD .....	113
9.3 Konfigurasi LCD (Liquid Crystal Display).....	114
9.4 Cara Kerja LCD .....	115
9.5 Struktur Dasar LCD .....	116
9.6 Aplikasi LCD dengan Mikrokontroler Dengan Simulasi Proteus.....	117
9.7 Listing Program Aplikasi LCD .....	118
<b>BAB X.</b>	
<b>HASIL SIMULASI MPPT</b> .....	125
10.1 Rancang Model MPPT .....	125
10.2 Listing Program Mikrokontroler MPPT.....	128
10.3 Simulasi Alat MPPT .....	133
Daftar Pustaka .....	137
Riwayat Penulis.....	139

## Ringkasan

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk memformulasikan model simulasi dan produk untuk pengeingan ikan teri yang nantinya akan memudahkan nelayan untuk memanfaatkan aplikasi teknologi renewable energi untuk proses pengeringan ikan secara umum. Dan serta pola pengembangan para nelayan ikan dalam konteks pembangunan ekonomi lokal berbasis pengeringan ikan di Aceh. Serta bermanfaat sebagai bahan ajar kepada mahasiswa untuk lebih mengenal aplikasi teknologi Maksimum Power Point Tracking (MPPT) dan Solar Kolektor. Tujuan khusus penelitian ini merupakan tindak lanjut dari hasil tujuan penelitian tahun pertama yaitu mengkaji kendala proses pengeringan secara tradisonal dan peluang pengembangan pengolahan dan pengeringan ikan dengan para nelayan ikan.

Evaluasi kinerja produk pengembangan pengeringan ikan dilakukan secara pengujian alat dilapangan dengan menggunakan ikan teri basah berdasarkan hasil yang didapat dari proses pengeringan ikan teri secara otomatis sudah memenuhi hasil yang diinginkan yaitu kandungan kadar air ikan teri sudah berkurang.

Hasil penelitian tahun pertama memberikan informasi listing program Maksimum Power Point Tracking (MPPT) bahwa model simulasi MPPT sudah bekerja sehingga sudah bisa diaplikasikan dalam membuat alat atau produk pengeringan menggunakan solar kolektor pada tahu kedua. Meskipun produk berupa prototype pengeringan tersebut pada nelayan ikan teri, namun masih dihadapi beberapa kendala dan tantangan dalam pengembangannya sehingga perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk mendapatkan model produk yang layak diterapkan di daerah pesisir Aceh melalui produk pengeringan ikan secara otomatis dengan menggunakan teknologi MPPT.

•

# BAB I.

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan saat ini berdampak pada kebutuhan konsumsi energi listrik yang semakin meningkat. Atas permasalahan itu sangat diperlukan sumber energi alternatif terbarukan untuk memenuhi kebutuhan listrik saat ini yang salah satunya menggunakan energi matahari (*Solar Energy*). *Solar cell* yang berfungsi untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik sangatlah mendesak diterapkan di Indonesia dikarenakan semakin mahalnya energi yang bersumber dari minyak dan gas alam yang tidak dapat diperbaharui sumbernya serta kapasitasnya yang terbatas. Teknologi *solar cell* merupakan sebuah hamparan semikonduktor yang dapat menyerap photon dari sinar matahari dan mengkonversi menjadi listrik. *Solar cell* banyak digunakan untuk berbagai aplikasi salah satunya sebagai alat pengering hasil laut.

Indonesia sebagai negara dengan iklim tropis memiliki sinar matahari cukup melimpah, terletak pada daerah khatulistiwa yang mempunyai iklim tropis dan radiasi surya hampir sepanjang tahun. Pemanfaatan energi sinar matahari dapat digunakan pada alat pengering untuk mengurangi pemakaian energi berbasis fosil yang akan menyebabkan pemanasan global. Pengolahan pasca panen hasil laut mempunyai peranan penting dalam kehidupan masyarakat Indonesia, yang sekaligus juga merupakan sumber pemasukan devisa negara yang cukup besar dari sektor laut. Dengan penerapan sistem energi sinar matahari pada penelitian produk terapan ini, diharapkan akan mempercepat proses pengeringan dan menjaga mutu serta kualitas produk pasca panen hasil laut.

### 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas proses pengolahan ikan laut dalam hal pengeringan ikan teri masih bersifat tradisional atau masih primitif. Oleh karena dengan perkembangan teknologi renewable energi maka penelitian ini berusaha mempercepat proses pengeringan ikan menggunakan cahaya matahari yaitu dengan menggunakan teknologi pengikut jejak cahaya matahari dan penempatan wadah

pengeringan ikan teri soalr kolektor yang sesuai dengan mengikuti pergerakan cahaya matahari. Atas dasar itu maka dirumuskan:

1. Bagaimana memodelkan kolektor surya statik menjadi otomatis mengikuti arah pergerakan matahari dengan maksud mendapatkan optimalisasi daya serap energi matahari dengan menggunakan *solar cell* yang digerakkan dengan motor AC dari perintah mikrokontroler ATmega16/32.
2. Melakukan pengujian pada alat tersebut sebagai hasil rancangan model untuk mengetahui nilai kelayakan efisiensi, efektifitas dan penghematan energi listrik yang bersumber pada energi surya.
3. Menganalisa berapa persentase serapan atau efesiensi dari peranti sel surya yang dikombinasikan dengan kolektor surya.

•

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

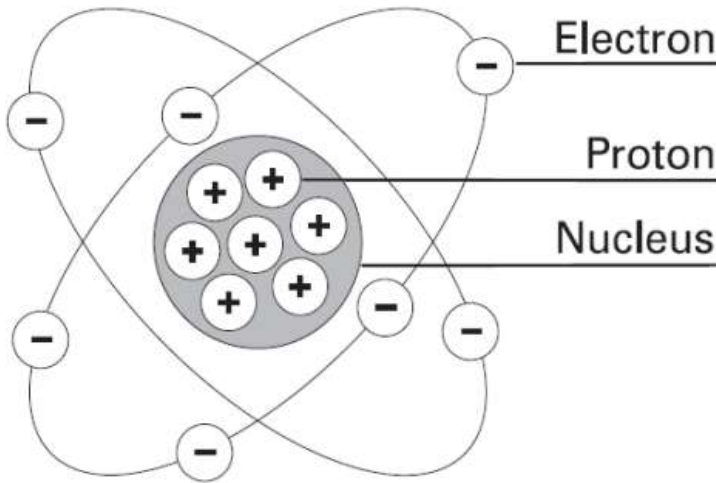
### 2.1 Prinsip Kerja Elektron

Kajian terperinci mengenai struktur atom (yang dibedakan dari molekul) adalah sebagian besar dari kajian domain fisikawan. Sehubungan dengan struktur atom, konsentrasi ahli kimia biasanya terbatas pada perilaku dan sifat dari tiga fundamental partikel atom, yaitu *elektron*, *proton*, dan *neutron*. Dalam model atom yang diperkenalkan oleh Niels Bohr (1885 - 1962), elektron di sekitar nukleus ditempatkan dalam orbit melingkar. Elektron bergerak dalam orbit ini sama seperti planet mengorbit matahari. Dalam merasionalisasi spektrum emisi atom dari atom hidrogen, Bohr berasumsi bahwa energi elektron dalam orbit berbeda dikuantisasi adalah, energi tidak meningkat secara terus menerus karena orbitnya semakin besar, namun sebaliknya memiliki nilai diskrit untuk setiap orbit. Penggunaan mekanika klasik *Bohr* menggambarkan perilaku partikel kecil seperti elektron terbukti tidak memuaskan, terutama karena model ini tidak memperhitungkan prinsip ketidakpastian. Ketika didemonstrasikan bahwa gerakan elektron memiliki sifat gelombang sebagai serta partikel, yang disebut sifat ganda berperilaku elektronik, klasik pendekatan mekanik digantikan oleh teori mekanika kuantum yang lebih baru. Menurut teori mekanika kuantum, perilaku elektron digambarkan dari fungsi gelombang, biasanya dilambangkan dengan huruf Yunani  $\psi$ . Signifikansi fisik  $\psi$  berada dalam kenyataan bahwa kuadratnya dikalikan dengan ukuran elemen volume,  $\psi^2 d\tau$ , memberikan kemungkinan untuk menemukan elektron dalam elemen tertentu dari ruang sekitarnya inti atom. Jadi, model *Bohr* dari suatu atom, yang menempatkan elektron Dalam orbit tetap mengelilingi nukleus (inti), digantikan oleh model mekanika kuantum yang mendefinisikan suatu wilayah di ruang yang mengelilingi nukleus (orbital atom dan bukan sebuah orbit) dimana probabilitas untuk menemukan elektron tinggi. Hal ini, tentu saja, elektron dalam orbital inilah yang biasanya menentukan perilaku kimiawi atom dan sebagainya pengetahuan tentang posisi dan energi elektron sangat penting.

Jika elektron akan berpindah dari satu benda ke benda yang lainnya jika digosokkan atau saling bersentuhan. ketika suatu benda kehilangan beberapa elektronnya, maka benda tersebut dikatakan bermuatan positif. apabila benda tersebut mendapatkan elektron atau jumlah elektronnya bertambah, maka benda tersebut dikatakan bermuatan negatif.

## 2.2 Adanya Sumber Arus

Semua materi atau benda terdiri dari atom-atom kecil yang memiliki muatan, masing-masing atom dari molekul-molekul terdiri dari inti (nucleus) dan elektron-elektron. Atom terdiri dari proton yang bermuatan positif dan neutron yang tidak bermuatan sebagai pusat serta beberapa elektron yang bermuatan negative mengelilinginya pada suatu orbit yang tetap. Jika jumlah proton dan elektron sebanding, maka dapat dikatakan bahwa atom tersebut berada dalam keadaan seimbang/stabil. Apabila atom kehilangan elektron akibat pengaruh dari luar, maka materi menjadi bermuatan positif. Sebaliknya jika mendapat penambahan elektron dari luar, maka materi atau benda itu akan bermuatan negatif Elektron yang mengorbit paling jauh mempunyai daya ikatan paling lemah sehingga terlepas dari orbit dan meninggalkan intinya. Proses tersebut diatas dinamakan dengan emisi. Gambar 2.1 dibawah ini merupakan konfigurasi elektron dalam suatu Atom



**Gambar 2.1 Konfigurasi Elektron**

Pengaruh luar yang mengakibatkan lepasnya elektron dari orbit (emisi) :

- Panas  
Contoh : filamen pada tabung thermoziuil (thermo element).
- Gesekan  
Contoh : gelas digosok dengan kain sutera timbul muatan (listrik) positif.
- Kimia  
Contoh : baterai (accu).
- Cahaya  
Contoh : photocell.
- Magnet  
Contoh : pembangkit (generator) listrik.

### 2.3 Arus Listrik

Benda atau materi bermuatan positif yang kekurangan elektron dan sebaliknya benda bermuatan negative kelebihan elektron. Jika kedua benda tersebut dihubungkan, maka elektron-elektron yang berlebih akan bergerak menuju benda yang kekurangan elektron, sehingga akan terjadi keadaan seimbang. Arus pergerakan elektron tersebut disebut dengan arus listrik.

Muatan listrik bisa mengalir melalui kabel atau penghantar listrik lainnya, arus listrik terjadi karena adanya aliran elektron dimana setiap elektron mempunyai muatan yang besarnya sama. Derajat termuatinya benda tersebut diukur dengan jumlah kelebihan elektron yang ada. Muatan elektron disebut dengan  $Q$  dan satuannya Coulomb, setiap elektron mempunyai muatan Di bawah ini ilustrasi arah arus listrik dan gerakan elektron sebesar  $-1,6 \times 10^{-19} C$ . Arus Listrik ( $I$ ) merupakan ukuran banyaknya elektron (muatan) yang dialirkan per satuan waktu, rumusnya sebagai berikut :

$$i = \frac{dq}{dt} \text{ atau } I = \frac{Q}{t} \dots\dots\dots(2.1)$$

### 2.4 Sumber Tegangan

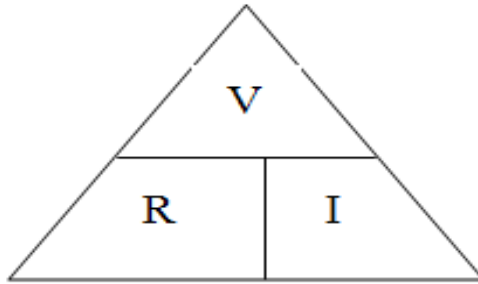
Tegangan listrik adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik, dinyatakan dalam satuan volt. Besaran ini mengukur energi potensial sebuah medan listrik untuk menyebabkan aliran listrik dalam sebuah konduktor listrik. Pada



rangkaian tertutup besarnya arus ( $I$ ) berubah sebanding dengan tegangan ( $V$ ) dan berbanding terbalik dengan tahanan ( $R$ ) atau dinyatakan dengan rumus :

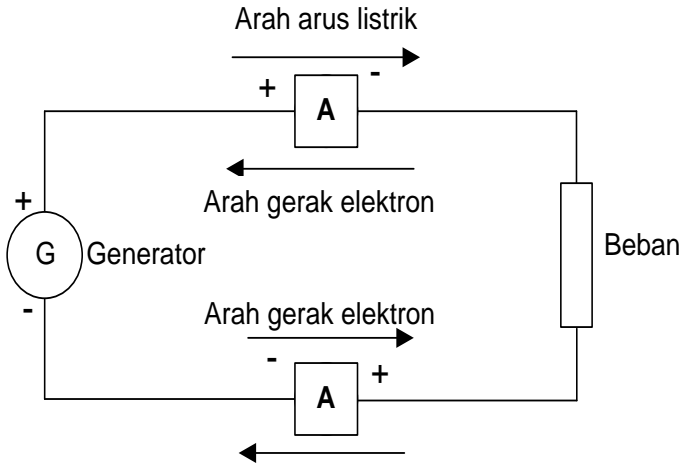
$$V = I \cdot R \dots\dots\dots(2.2)$$

Atau dalam bentuk segitiga adalah sebagai berikut



**Gambar 2.2 Segitiga rumus variabel tagangan, arus dan tahanan**

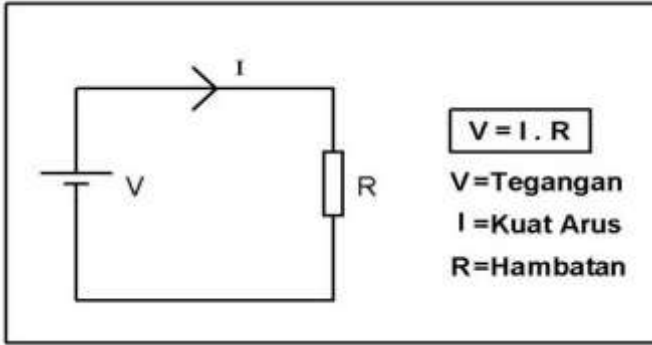
Dibawah ini ilustrasi arah arus listrik dan arah pergerakan elektron dalam suatu rangkaian listrik tertutup



**Gambar 2.3 Arah arus dan arah gerak elektron**

### 2.5 Hukum Ohm

Hukum Ohm adalah suatu pernyataan bahwa besar arus listrik yang mengalir melalui sebuah penghantar selalu berbanding lurus dengan beda potensial yang diterapkan kepadanya adalah tegangan listrik yang terdapat pada kedua ujung penghantar dalam satuan volt.



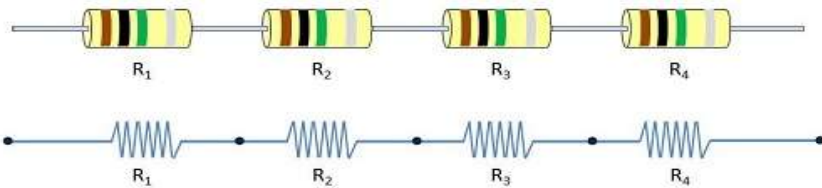
**Gambar 2.4 Rangkaian tertutup kedua ujung Hambatan**

### 2.6 Hubungan Seri

Rangkaian seri resistor adalah sebuah rangkaian yang terdiri dari 2 buah atau lebih resistor yang disusun secara sejajar atau berbentuk seri. Dengan rangkaian seri ini kita bisa mendapatkan nilai resistor pengganti yang kita inginkan.

Rumus dari rangkaian seri resistor adalah :

$$R_{Total} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N \dots\dots\dots(2.3)$$

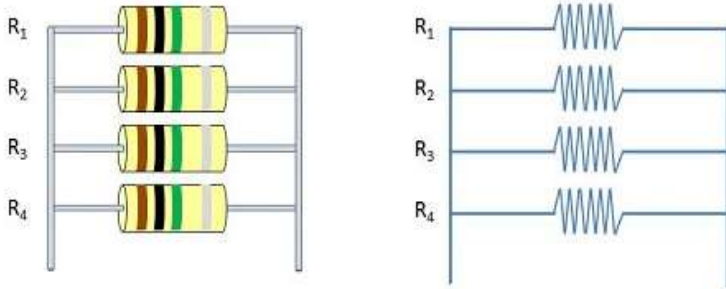


**Gambar 2.5 Rangkaian seri**

### 2.7 Hubungan Paralel

Rangkaian paralel resistor adalah sebuah rangkaian yang terdiri dari 2 buah atau lebih Resistor yang disusun secara berderet atau berbentuk Paralel. Rangkaian paralel juga dapat digunakan untuk mendapatkan nilai hambatan pengganti. Perhitungan rangkaian paralel sedikit lebih rumit dari rangkaian seri.

$$\frac{1}{R_{Paralel}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N} \dots\dots\dots(2.4)$$

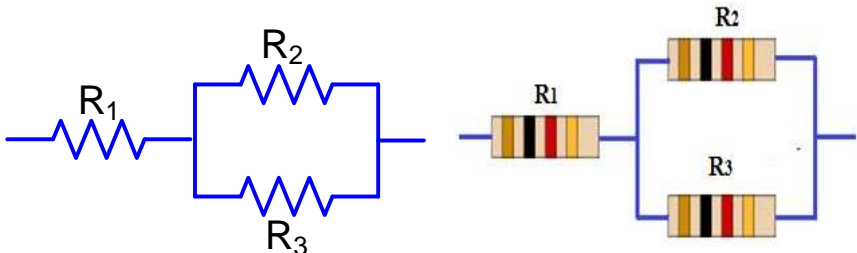


Gambar 2.6 Rangkaian paralel

### 2.8 Hubungan Seri Dan Paralel

Rangkaian seri dan paralel merupakan 2 rangkaian gabungan disebut rangkaian campuran. Secara umum, karakteristik dan hukum yang berlaku pada rangkaian campuran juga mengikuti keduanya. Rangkaian tersebut dapat dirumuskan

$$R_{Total} = R_{seri} + \frac{1}{R_{paralel}} \dots\dots\dots(2.5)$$



Gambar 2.7 Rangkaian seri paralel

### 2.9 Hukum Kirchoff

Hukum kirchoff pada dasarnya dibagi dua yaitu;

1. Hukum Kirchoff tentang Arus
2. Hukum Kirchoff tentang Tegangan

#### 2.9.1 Hukum Kirchoff Arus (*Kirchoff Current Law*)

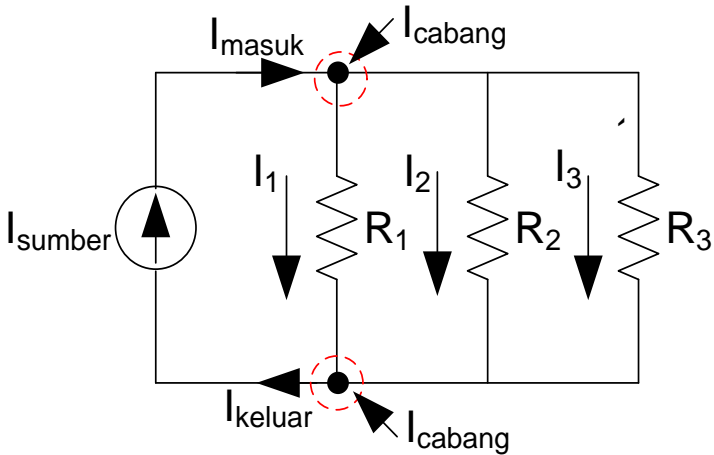
Jumlah arus yang mengalir masuk ke sebuah node (titik percabangan) akan sama dengan jumlah arus yang keluar dari node tersebut

Dalam hukum kirchoff arus tersebut dapat dibentuk persamaan arus dan Gambar 2.8, rangkaian arus masuk dan arus keluar pada titik cabang sebagai berikut:

$$I_{masuk} = I_{keluar} \dots\dots\dots(2.6)$$

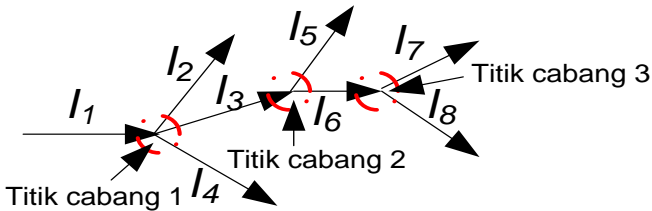
$$I_1 + I_2 + I_3 = I_{masuk}$$

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_{masuk} = 0$$



**Gambar 2.8 Hukum Kirchoff Arus pada Rangkaian**

Atau bisa diumpamakan arah panah arus masuk dan keluar melalui pada tiap - tiap titik cabang sebagai berikut:



**Gambar 2.9 Hukum Kirchoff arah panah Arus**

Gambar 2.9 dapat dibentuk persamaan arus sebagai berikut:

$$I_1 = I_{ek1} + I_{ek2} + I_{ek3}$$

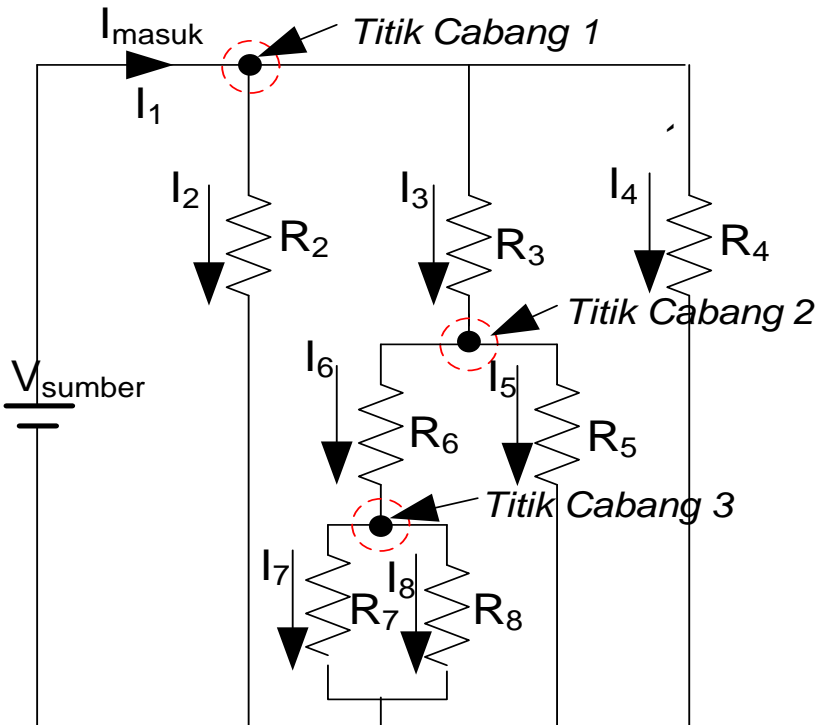
dimana :

$$I_{ek1} = I_2 + I_3 + I_4$$

$$I_{ek2} = I_5 + I_6$$

$$I_{ek3} = I_7 + I_8$$

Dan perlu diketahui  $I_3$  sama dengan  $I_{ek2}$  sedangkan  $I_6$  samadengan  $I_{ek3}$  jadi  $I_{ek2}$  merupakan arus masuk sedangkan  $I_5$  dan  $I_6$  arus keluar melalui titik cabang  $I_{ek2}$ , sedangkan  $I_{ek3}$  merupakan arus masuk ke titik cabang dan dari titik cabang  $I_{ek3}$ , arus keluar  $I_7$  dan  $I_8$  sedang  $I_{ek1}$  merupakan pecahan arus berasal dari  $I_1$ , titik cabang  $I_{ek1}$  mengeluarkan arus  $I_2$ ,  $I_3$  dan  $I_4$ . Dan jumlah keseluruhan arus masuk dan arus keluar samadengan nol yang dinyatakan keadaan seimbang. Untuk gambar rangkaian listrik dapat diilustrasikan seperti Gambar 2.10 berikut:

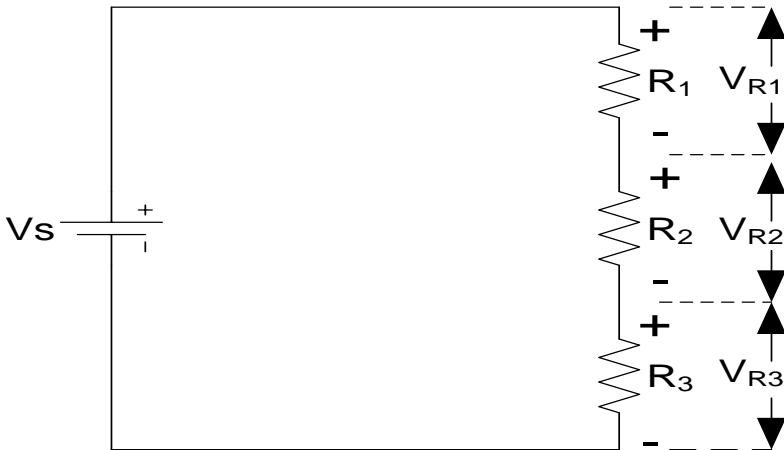


Gambar 2.10 Rangkaian arah panah arus

### 2.9.2 Hukum Kirchoff Tegangan (Kirchoff Tentang Tegangan)

Jumlah tegangan tiap komponen pada sebuah loop tertutup sama dengan nol. Pada Hukum kirchoff tegangan dapat dijabarkan persamaan tegangan pada tiap komponen seperti persamaan sebagai berikut

$$V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} - V_S = 0 \dots\dots\dots(2.8)$$



Gambar 2.11 Hukum Kirchoff Tegangan pada Rangkaian

### 2.10 Elemen Rangkaian Listrik

Elemen rangkaian listrik terdiri dari elemen aktif dan elemen pasif. Elemen aktif adalah elemen yang menghasilkan energi, pada elemen aktif adalah sumber tegangan dan sumber arus. Pada pembahasan selanjutnya kita akan membicarakan semua yang berkaitan dengan elemen atau komponen ideal. Yang dimaksud dengan kondisi ideal disini adalah bahwa sesuatunya berdasarkan dari sifat karakteristik dari elemen atau komponen tersebut dan tidak terpengaruh oleh lingkungan luar. Jadi untuk elemen listrik seperti sumber tegangan, sumber arus, komponen R, L dan C pada pembahasan ini diasumsikan semuanya dalam kondisi ideal.

1. Sumber Tegangan (Voltage Source)  
 Sumber tegangan ideal adalah suatu sumber yang menghasilkan tegangan yang tetap, tidak tergantung pada arus

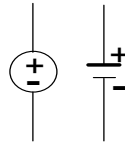
yang mengalir pada sumber tersebut, meskipun tegangan tersebut merupakan fungsi dari  $t$ .

Sifat lain :

Mempunyai nilai resistansi dalam  $R_d = 0$  (sumber tegangan ideal)

- a. Sumber Tegangan Bebas/ *Independent Voltage Source*  
Sumber yang menghasilkan tegangan tetap tetapi mempunyai sifat khusus yaitu harga tegangannya tidak bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya, artinya nilai tersebut berasal dari sumber tegangan dia sendiri.

Simbol :



- b. Sumber Tegangan Tidak Bebas/ *Dependent Voltage Source*  
Mempunyai sifat khusus yaitu harga tegangan bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya.

Simbol :



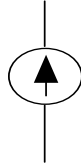
2. Sumber arus ideal adalah sumber yang menghasilkan arus yang tetap, tidak bergantung pada tegangan dari sumber arus tersebut.

Sifat lain :

Mempunyai nilai resistansi dalam  $R_d = \infty$  (sumber arus ideal)

- a. Sumber Arus Bebas/ *Independent Current Source*  
Mempunyai sifat khusus yaitu harga arus tidak bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya.

Simbol :



- b. Sumber Arus Tidak Bebas/ *Dependent Current Source*  
Memiliki sifat khusus yaitu harga arus bergantung pada harga tegangan atau arus lainnya.

Simbol :



### 2.10.1 Resistor

Sering juga disebut dengan tahanan, hambatan, penghantar atau resistansi dimana resistor mempunyai fungsi sebagai penghambat arus, pembagi arus, dan pembagi tegangan.

Nilai resistor tergantung dari hambatan jenis bahan resistor itu sendiri (tergantung dari bahan pembuatnya), panjang dari resistor itu sendiri dan luas penampang dari resistor itu sendiri.

Secara matematis :

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana :

$\rho$  = jenis bahan hambatan ( $\Omega \cdot m$ )

$l$  = panjang dari resistor (m)

$A$  = luas penampang ( $m^2$ )

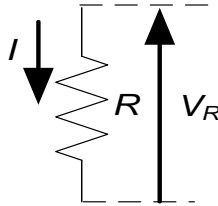
Satuan dari resistor adalah Ohm atau ( $\Omega$ )

Jika suatu resistor dilewati oleh sebuah arus maka pada kedua ujung dari resistor tersebut akan menimbulkan beda potensial atau tegangan. Hukum yang didapat dari percobaan ini adalah Hukum Ohm yang sudah dibahas diatas .



$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dari persamaan 2.10 diatas bisa dimodelkan dalam suatu tahanan resistor seperti berikut dibawah ini.



**Gambar 2.12 Tegangan dan arus yang mengalir pada resistor**

➤ **Kode Warna Resistor dan Cara Menghitung Tahanan**

Kode warna resistor, nilai resistor atau tahanan biasanya bisa di lihat dari kode warna pada resistor tersebut. Warna tersebut biasanya berupa gelang atau pita. Ada resistor yang memiliki 4 pita warna, ada yang 5 pita warna dan ada yang 6 pita warna. Nilai tahanan resistor ini biasanya dengan satuan Ohm. Berdasarkan kemampuan daya nya, resistor memiliki jenis 0,25 watt, 0,5 watt, 1 watt, 2 watt, makin besar nilai watt nya makin besar ukurannya. Warna warna pada resistor sudah menjadi standar internasional, atau sering dengan istilah standart EIA ( Electronic Industries Alliance ). Jadi di Negara mana pun, nilai resistor sama, tidak berbeda. Jika memerlukan nilai resistor 22k, berapakah warnanya? jika resistor 3k3 berapakah warnanya?

Jadi dengan nilai besaran resistor tersebut cara cepat menghitung nilai resistor, dengan menghafal deret table warna dengan cara unik, cara yang mudah menghafalt deretnya warna seperti berikut, h, co, me, o, ku, hi, ru, vi, a, tih.



**Gambar 2.13 Kode 4 warna pada resistor**

➤ **Menghitung Resistor 4 Gelang Warna**

Cara termudah untuk menghitung besaran tahanan resistor sebagai berikut:

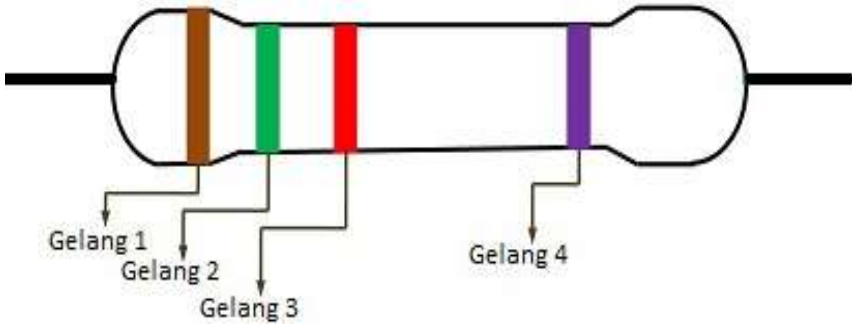
1. Gelang pertama adalah digit pertama dari nilai tahanan
2. Gelang kedua adalah digit kedua, sementara
3. Gelang ketiga adalah perpangkatan sepuluh
4. Gelang keempat adalah nilai toleransi dari tahanan

Contoh berapakah nilai tahanan dari warna berikut

1. Merah, Merah, orange, emas?
2. Coklat, Hitam, Kuning, emas?

**Penyelesaian**

1. Merah = 2, Merah = 2, orange = 3, emas toleransi 5%, jadi nya adalah,  $22 \times 10^3 = 22.000 \text{ ohm} \pm 5\%$  atau bisa disederhanakan menjadi  $22k \pm 5\%$
2. Coklat = 1, Hitam = 0, Kuning = 4, Emas toleransi 5%, jadi nya adalah,  $10 \times 10 \text{ (pangkat)}4 = 100.000 \pm 5\%$  atau bisa di singkat menjadi  $100k \pm 5\%$



**Gambar 2.14 Kode 4 warna gelang resistor**

Untuk memudahkan menghitung nilai besaran tahanan resistor berdasarkan kode gelang warna seperti dalam Tabel 2.1

**Tabel 2.1 Kode Warna Resistor 4 Gelang**

Kode Warna Resistor	Kode Warna	Gelang 1	Gelang 2	Gelang 3	Gelang 4
		0	0	$\times 10^0$	
	Coklat	1	1	$\times 10^1$	
	Merah	2	2	$\times 10^2$	
	Orange	3	3	$\times 10^3$	
	Kuning	4	4	$\times 10^4$	
	Hijau	5	5	$\times 10^5$	
	Biru	6	6	$\times 10^6$	
	Ungu	7	7	$\times 10^7$	
	Abu - abu	8	8	$\times 10^8$	
	Putih	9	9	$\times 10^9$	
	Emas				5%
	Perak				10%
	Tak berwarna				25%
	1k	1	0	$\times 10^2$	

➤ **Menghitung Resistor 5 Gelang Warna**

Untuk menghitung resistor 5 gelang atau pita warna tidak jauh berbeda dengan resistor 4 warna, bedanya hanya bertambah gelang ke 4, kalau di 4 warna hanya ada 22k, 2k2, 47m dan lain lain, untuk 5 gelang warna lebih presisi lagi, contohnya 222k, 472k, dan

lain lain. Untuk lebih jelasnya lihat Tabel 2.2 warna resistor di bawah ini.



**Gambar 2.15 Kode 5 warna gelang resistor**

Untuk memudahkan menghitung nilai besaran tahanan resistor berdasarkan kode gelang warna seperti dalam Tabel 2.2.

**Tabel 2.2 Kode Warna Resistor 5 Gelang**

Kode Warna Resistor	Kode Warna	Gelang 1	Gelang 2	Gelang 3	Gelang 4	Gelang 5
		0	0	0	$\times 10^0$	
	Coklat	1	1	1	$\times 10^1$	1%
	Merah	2	2	2	$\times 10^2$	2%
	Orange	3	3	3	$\times 10^3$	
	Kuning	4	4	4	$\times 10^4$	
	Hijau	5	5	5	$\times 10^5$	0,5%
	Biru	6	6	6	$\times 10^6$	0,25%
	Ungu	7	7	7	$\times 10^7$	0,1%
	Abu - abu	8	8	8	$\times 10^8$	
	Putih	9	9	9	$\times 10^9$	
	Emas					5%
	Perak					10%
	Tak berwarna					
	1k	1	0	0	$\times 10^2$	

➤ **Menghitung Resistor 6 Gelang Warna**

Menghitung resistor sama dengan menghitung nilai tahanan di 5 warna, bedanya hanya pada toleransi suhu pada warna ke 6, untuk lebih jelasnya bisa kita lihat di Tabel 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.16 Kode 6 warna gelang resistor

Tabel 2.3 Kode Warna Resistor 6 Gelang

Kode Warna Resistor	Kode Warna	Gelang 1	Gelang 2	Gelang 3	Gelang 4	Gelang 5	Gelang 6
		0	0	0	$\times 10^0$		
	Coklat	1	1	1	$\times 10^1$	1%	100 ppm
	Merah	2	2	2	$\times 10^2$	2%	50 ppm
	Orange	3	3	3	$\times 10^3$		15 ppm
	Kuning	4	4	4	$\times 10^4$		25 ppm
	Hijau	5	5	5	$\times 10^5$	0,5%	
	Biru	6	6	6	$\times 10^6$	0,25%	
	Ungu	7	7	7	$\times 10^7$	0,1%	
	Abu - abu	8	8	8	$\times 10^8$		
	Putih	9	9	9	$\times 10^9$		
	Emas					5%	
	Perak					10%	
	Tak berwarna						
	1k	1	0	0	$\times 10^2$		

### 2.10.2 Kapasitor

Kapasitor sering juga disebut dengan kondensator atau kapasitansi. Mempunyai fungsi untuk membatasi arus DC yang mengalir pada kapasitor tersebut, dan dapat menyimpan energi dalam bentuk medan listrik.

Nilai suatu kapasitor tergantung dari nilai permitivitas bahan pembuat kapasitor, luas penampang dari kapsitor tersebut dan jarak antara dua keping penyusun dari kapasitor tersebut.

Secara matematis :

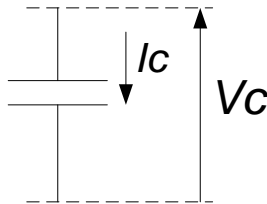
$$C = \varepsilon \frac{A}{d} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

- $\varepsilon$  = Permittivitas bahans
- $A$  = Luas penampang bahan
- $d$  = jarak dua plat (keping)

Satuan dari kapasitor adalah *Farad* atau (F). Jika sebuah kapasitor dilewati oleh sebuah arus maka pada kedua ujung kapasitor tersebut akan muncul beda potensial atau tegangan secara matematis

$$I_C = C \frac{dv_c}{dt} \dots\dots\dots(2.12)$$



**Gambar 2.17** Tegangan dan arus yang mengalir pada kapasitor

Penurunan rumus diatas

$$Q = CV \dots\dots\dots(2.13)$$

$$dQ = Cd_v$$

dimana

$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$idt = dq$$

sehingga

$$i dt = C dv$$

$$i = C \frac{dv_c}{dt}$$

Dari karakteristik  $v = I$  dapat diturunkan sifat penyimpanan energi pada kapasitor.

$$p = \frac{dw}{dt} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$dw = p dt$$

$$\int w . dt = \int p . dt$$

$$w . dt = \int p . dt = \int v . i dt = \int v . C \frac{dv}{dt} dt = \int C . v dv$$

Misalkan pada saat  $t = 0$  maka  $v = 0$

pada saat  $t = t$  maka  $v = V$

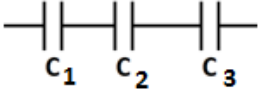
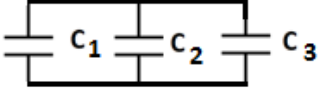
Sehingga :  $w = \int_0^V C v . dv = \int v . i dt = \frac{1}{2} CV^2$  yang merupakan energi

disimpan dalam kapasitor dalam bentuk medan listrik . Seandainya kapasitor dicatu tegangana DC maka arus sama dengan nol. Oleh karena itu kapasitor sebagai rangkaian terbuka/ open circuit untuk tegangan DC.

➤ **Hubungan Rangkaian Kapasitor**

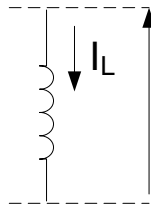
Dua kapasitor atau lebih dapat disusun secara seri maupun paralel dalam satu rangkaian listrik. Rangkaian seri memiliki sifat-sifat yang berbeda dengan rangkaian paralel. Berikut diberikan Tabel 2.4 sifat-sifatnya pada rangkaian seri dan paralel.

**Tabel 2.4 Sifat-sifatnya pada rangkaian seri dan paralel pada kapasitor**

	SUSUNAN RANGKAIAN KAPASITOR	
	Susunan seri	Susunan paralel
		
Muatan listrik [Q]	$Q_s = Q_1 = Q_2 = Q_3$	$Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3$
Beda potensial [V]	$V_s = V_1 + V_2 + V_3$	$V_p = V_1 = V_2 = V_3$
Kapasitansi [C]	$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$	$C_p = C_1 + C_2 + C_3$

### 2.10.3 Induktor (L)

Seringkali disebut sebagai induktansi, lilitan, kumparan atau belitan. Pada induktor mempunyai sifat dapat menyimpan energi dalam medan magnet. Satuannya *Henry* (H).



**Gambar 2.18 Tegangan dan arus yang mengalir pada induktor**

$$\lambda = LI$$

$$L = \frac{\lambda}{I}$$

$$v = \frac{d\lambda}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

Dari karakteristik  $v - i$  dapat diturunkan sifat penyimpanan energi pada induktor



$$p = \frac{dw}{dt}$$

$$dw = p dt$$

$$\int dw = \int p dt$$

$$w = \int p dt = \int v \cdot i dt = \int L \frac{di}{dt} \cdot i dt = \int L \cdot i di$$

Misal pada saat  $t = 0$  maka  $i = 0$

pada saat  $t = t$  maka  $i = 1$

Sehingga ;  $w = \int_0^1 Li \cdot di = \frac{1}{2} LI^2$  merupakan energi disimpan pada

induktor L dalam bentuk medan magnet. Jika induktor dipasang arus konstan atau DC, maka tegangan sama dengan nol. Yang menyebabkan induktor sebagai rangkaian hubung singkat/short circuit.

### 2.11 Satuan Metrik Standar Internasional

Dalam teknologi setiap gejala fisik suatu besaran harus dapat diuraikan secara kuantitatif dengan satuan yang dipandang sama menurut scientist. Dalam konferensi sistem internasional ke 10 tahun 1954 sudah menetapkan sejumlah aturan satuan dasar standar internasional seperti diperlihatkan Tabel 2.5.

**Tabel 2.5 Satuan Dasar Sistem Internasional**

Besaran	Satuan	Lambang
Panjang	meter	m
Massa	kilogram	kg
Waktu	detik	s
Arus Listrik	ampere	A
Suhu	kelvin	K
Kuat Cahaya	kandela	cd
Banyaknya Zat	mole	mol

Sedangkan sistem tambahan internasional seperti diperlihatkan Tabel 2.6

**Tabel 2.6 Satuan Sistem Internasional Tambahan**

Besaran	Satuan	Lambang
<b>Sudut Bidang Datar</b>	<b>radian</b>	<b>rad</b>
<b>Sudut Ruang</b>	<b>steradian</b>	<b>sr</b>

Untuk sistem satuan internasional yang diturunkan khusus seperti diperlihatkan 2.7

**Tabel 2.7 Satuan Internasional yang diturunkan khusus**

Besaran	Satuan	Lambang	Hubungan Asal
Frekwensi	Hertz	Hz	$s^{-1}$
Gaya	Newton	N	$Kg.m.s^{-2}$
Tekanan	Pascal	Pa	$N.m^{-2}$
Tenaga, kerja, Banyaknya panas	Joule	J	N.m
Daya, pancaran fluks	Watt	W	$J.s^{-2}$
Muatan Listrik	Coulomb	C	A.s
Potensial Listrik	Volt	V	$W.A^{-1}$
Kapasitas Listrik	Farad	F	$C.V^{-1}$
Resistansi Listrik	Ohm	$\Omega$	$V.A^{-1}$
Konduktansi Listrik	Siemens	S	$A.V^{-1}$
Fluks Magnet	Weber	Wb	V.s
Kecepatan fluks magnet	Tesla	T	$Wb.m^{-2}$
Induktansi	Henry	H	$Wb.A^{-2}$
Suhu	Derajat celsius	$^{\circ}C$	K
Fluks Cahaya	Lumen	lm	cd.sr
Kuat Penerangan	Fux	lx	$lm.m^{-2}$

**2.12 Awalan Satuan Metrik Standar Internasional**

Awalan Standar Internasional adalah awalan (prefiks) yang dapat diaplikasikan ke satuan Standar Internasional untuk membentuk sebuah satuan yang menandakan kelipatan dari satuan tersebut. Banyak awalan SI sudah ada sebelum sistem SI itu sendiri diperkenalkan pada 1960. Sebagai contoh, awalan kilo yang berarti dikalikan dengan 1.000, maka 1 kilometer berarti 1.000 meter dan 1 kilowatt berarti 1.000 watt. Awalan mili berarti dibagi dengan seribu, maka 1 milimeter berarti  $1/1.000$  meter dan 1 mililiter berarti  $1/1.000$  liter. Dibawah ini Tabel 2.8 untuk awalan standar internasional yang umum digunakan.

**Tabel 2.8 Awalan Standar Internasional**

Awalan		Basis 1000	Basis 10	Desimal	Sebutan		Tahun Adop si
Nama	Symbol				Skala Pendek	Skala Panjang	
yota	Y	1000 <sup>8</sup>	10 <sup>24</sup>	1000000000000000000000000	septiliun	kuadriliun	1991
zeta	Z	1000 <sup>7</sup>	10 <sup>21</sup>	100000000000000000000000	seksiliun	triliar	1991
eksa	E	1000 <sup>6</sup>	10 <sup>18</sup>	10000000000000000000000	kuintiliun	triliun	1975
peta	P	1000 <sup>5</sup>	10 <sup>15</sup>	10000000000000000000000	kuadriliun	bililiar	1975
tera	T	1000 <sup>4</sup>	10 <sup>12</sup>	1000000000000000000000	triliun	bilun	1960
giga	G	1000 <sup>3</sup>	10 <sup>9</sup>	100000000000000000000	bilun	miliar	1960
mega	M	1000 <sup>2</sup>	10 <sup>6</sup>	10000000000000000000	juta		1873
kilo	k	1000 <sup>1</sup>	10 <sup>3</sup>	1000	ribu		1795
hekto	h	1000 <sup>-1</sup>	10 <sup>2</sup>	100	ratus		1795
deka	da	1000 <sup>-2</sup>	10 <sup>1</sup>	10	puluh		1795
mega	M	1000 <sup>2</sup>	10 <sup>6</sup>	1000000	juta		1873
kilo	k	1000 <sup>1</sup>	10 <sup>3</sup>	1000	ribu		1795
hekto	h	1000 <sup>-1</sup>	10 <sup>2</sup>	100	ratus		1795
deka	da	1000 <sup>-2</sup>	10 <sup>1</sup>	10	puluh		1795
		1000 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>	1	satu		-
desi	d	1000 <sup>-1</sup>	10 <sup>-1</sup>	0.1	sepersepuluh		1795
senti	c	1000 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	0.01	seperseratus		1795
mili	m	1000 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	0.001	seperseribu		1795
mikro	μ	1000 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup>	0.000001	sepersjuta		1873
desi	d	1000 <sup>-1</sup>	10 <sup>-1</sup>	0.1	sepersepuluh		1795
senti	c	1000 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	0.01	seperseratus		1795
mili	m	1000 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	0.001	seperseribu		1795
mikro	μ	1000 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup>	0.000001	sepersjuta		1873
nano	n	1000 <sup>-9</sup>	10 <sup>-9</sup>	0.000000001	sepersbilun	sepersemiliar	1960
piko	p	1000 <sup>-12</sup>	10 <sup>-12</sup>	0.000000000001	sepersetriliun	sepersbilun	1960
femto	f	1000 <sup>-15</sup>	10 <sup>-15</sup>	0.000000000000001	seperskuadriliun	sepersbililiar	1964
ato	a	1000 <sup>-18</sup>	10 <sup>-18</sup>	0.000000000000000001	seperskuintiliun	sepersetriliun	1964
zepto	z	1000 <sup>-21</sup>	10 <sup>-21</sup>	0.000000000000000000001	sepersseksiliun	sepersetriliar	1991

Dalam teknologi setiap gejala fisik harus dapat diuraikan secara kuantitatif dengan satuan yang setiap persepsi orang melihat akan melihat sama untuk suatu besaran. Oleh karena itu diperlukan suatu himpunan satuan baku yang seragam dan dapat ditiru di manapun dunia ini. Sistem Awalan satuan yang digunakan merupakan sistem Internasional seperti terlihat pada Tabel 2.8. Untuk mempermudah keliptan besaran satuan pengukuran maupun perhitungan didalam teknik biasanya menggunakan singkatan yang dimulai dari sebutan awalan kelipatan. Untuk awalan satuan standar yang umum digunakan sampai sekarang masih seperti diperlihatkan Tabel 2.9 dibawah ini.

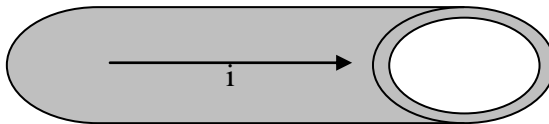
**Tabel 2.9 Awalan Standar Internasional Umum yang digunakan**

Kelipatan	Awalan	Lambang
$10^{18}$	Eksa	E
$10^{18}$	Peta	P
$10^{18}$	Tera	T
$10^{18}$	Giga	G
$10^{15}$	Mega	M
$10^{12}$	Kilo	K
$10^9$	Hekto	h
$10^6$	Deka	da
$10^2$	Desi	d
$10^{-1}$	Senti	c
$10^{-2}$	mili	m
$10^{-6}$	mikro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	piko	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	ato	a

Besaran listrik sebenarnya dapat diungkapkan dalam besaran – besaran dasar saja, massa dan arus serta kedudukannya dalam ruang dan waktu tetapi hal itu akan mengundang kesulitan. Untk mengatasi hal itu akan diperkenalkan sejumlah konsep dari abstrak seperti daya, tenaga, tegangan, resistansi, induktansi dan kapasitansi.

Konsep arus listrik lebih sederhana dibandingkan konsep gaya atau tenaga. Arus listrik didefinsikan sebagai banyaknya muatan yang melewati suatu luas penampang tertentu persatuan waktu

$$i = \frac{dq}{dt} \dots\dots\dots (2.15)$$



**Gambar 2.19 Arah arus dalam suatu penampang kawat**

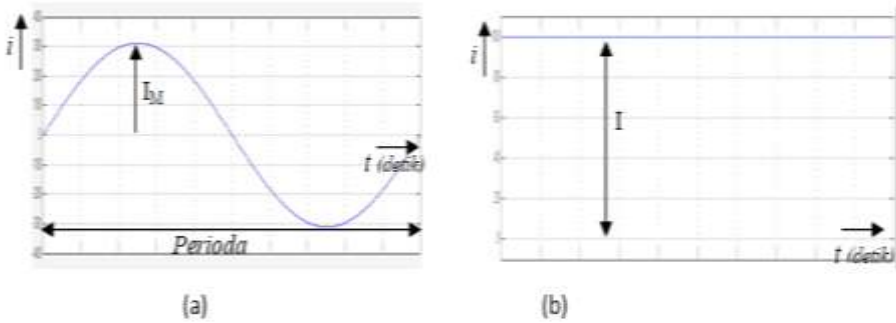
Secara umum, muatan positif maupun negatif dapat melewati luas penampang itu dua arah. Arus adalah kecepatan perubahan aliran muatan positif bersih (netto) yang merupakan besaran skalar.

Perjanjian mengenai arah arus mengikuti keputusan yang diambil oleh Benjamin Franklin pada tahun 1752. Keputusan Franklin itu dibuat sebelum listrik dikenal ada hubungan dengan elektron, sebelum elektron dan sifat muatan listrik diketahui. Sebenarnya elektron yang mengalir dari kutub negatif ke kutub positif, yang berlawanan dari perjanjian yang telah ditetapkan Franklin. Dalam suatu penghantar logam misalnya kawat tembaga, arus sepenuhnya merupakan gerakan elektron bebas dalam kawat itu. Karena elektron bermuatan negatif, muatan itu bergerak pada arah yang berlawanan dengan arah arus yang ditetapkan. Pada Gambar 2.19 arus positif sepanjang kawat penghantar itu adalah ke kanan dan nilai  $i$  positif jika aliran elektron dari kanan ke kiri dan bernilai negatif jika elektron dari kiri ke kanan.

$$i = \frac{dq^+}{dt} + \frac{dq^-}{dt} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dalam hal suatu yang khusus misalnya dalam cairan atau gas, muatan positif dapat bergerak ke kanan dan muatan negatif bergerak ke kiri sehingga pengaruh bersih pada kedua peristiwa itu adalah muatan positif yang bergerak ke kanan. Arus yang mengalir kekanan adalah seperti persamaan 2.16. Dalam larutan elektrolit misalnya semua ion positif bergerak ke kanan dan semua elektron dan ion negatif ke kiri menyebabkan arus mengalir ke kanan. Satuan arus menurut Standar International (SI) adalah ampere yang merupakan satuan dasar, sama dengan coulomb per detik.

Dalam praktikal sehari secara umum kita mengenal dua macam arus listrik, arus bolak balik yang dinamakan arus AC (sinusoidal) dan arus searah dinamakan DC dalam fungsi waktu. Untuk sumber pembangkit AC biasanya kita jumpai pada output generator, PLN. Dan sumber pembangkit DC berasal dari baterai/aki dan panel surya. Dibawah ini merupakan bentuk gelombang AC dan DC.

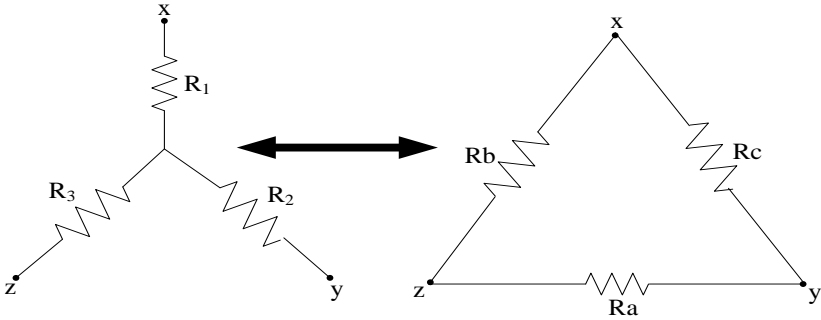


**Gambar 2.20 Bentuk Gelombang (a) AC dan (b) DC**

Seperti halnya dengan muatan listrik, arus listrik juga menghasilkan gaya. Gaya yang dihasilkan oleh arus – arus listrik dikatakan sebagai gaya magnet dan mempunyai sifat yang serupa dengan batang magnet permanen. Jika ada arus listrik yang mengalir maka ada kerja. Elektron mempunyai massa dan harus diberi tenaga agar dapat bergerak. Pada saat arus listrik mengalir dalam suatu penghantar, elektron itu terus menerus mengalami tumbukan dengan molekul logam sehingga keluar dari lintasannya ke arah yang tidak semestinya. Maka diperlukan kerja atau usaha untuk mengalirkan sejumlah arus berupa tenaga yang diberikan agar muatan dapat bergerak dari kedudukannya ke kedudukan yang lain atau dinamakan peristiwa perpindahan elektron.

### 2.13 Hubungan Transformasi Bintang Dan Delta

Beberapa rangkaian tertentu tidak dapat disederhanakan dengan menggunakan kombinasi seri paralel. Konfigurasi untuk menangani rangkaian yang tidak dapat diselesaikan seperti rangkaian tersebut diatas dapat digunakan menggunakan rangkaian bintang dan delta. Transformasi bintang dan delta menggunakan resistor yang dihubungkan dalam Y dapat dirubah bentuk kedalam  $\Delta$  atau sebaliknya. Gambar resistor hubungan rangakaian bintang dan delta seperti Gambar 2.21 dibawah ini:



**Gambar 2.21 Transformasi Bintang Ke Delta atau sebaliknya**

Jika kedua rangkaian Gambar 2.21 setara maka resistansi antara pasangan kutubnya harus sama baik itu hubungan Y ataupun Δ. Tiga persamaan serentak dinyatakan dalam kesetaraan ketiga pasangan resistansi kutub tersebut. Untuk pasangan kutub x dan y, resistansi setara Δ adalah Rc dalam hubungan paralel dengan kombinasi seri Ra dan Rb, dan resistansi setara untuk Y (bintang) pada pasangan kutub tersebut adalah kombinasi seri R1 dan R2. Dapat dirumuskan sebagai berikut: atau nilai

$$R_{xy} = R_1 + R_2 = \frac{R_c (R_a + R_b)}{(R_a + R_b) + R_c} \dots\dots\dots(2.17)$$

Ketiga persamaan tersebut dapat diselesaikan secara simultans untuk nilai resistansi hubungna Δ: Ra, Rb dan Rc atau nilai resistansi hubungan Y: R1, R2 dan R3

$$R_1 = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$R_2 = \frac{R_a R_c}{R_a + R_b + R_c} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$R_3 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c} \dots\dots\dots (2.20)$$

Atau sebaliknya

$$R_a = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$R_b = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2} \dots\dots\dots (2.22)$$

$$R_c = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_3} \dots\dots\dots (2.23)$$

Untuk persamaan diatas dapat dinyatakan dalam kebalikan resistansi atau disebut Konduktansi

$$G_1 = \frac{G_a G_b + G_b G_c + G_c G_a}{G_a} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$G_2 = \frac{G_a G_b + G_b G_c + G_c G_a}{G_b} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$G_3 = \frac{G_a G_b + G_b G_c + G_c G_a}{G_c} \dots\dots\dots (2.26)$$

**Dan**

$$G_a = \frac{G_2 G_3}{G_1 + G_2 + G_3} \dots\dots\dots (2.27)$$

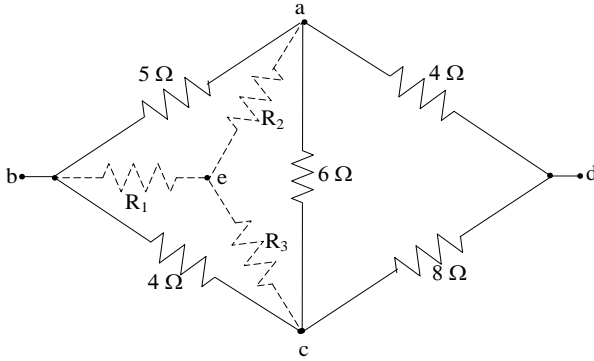
$$G_b = \frac{G_1 G_3}{G_1 + G_2 + G_3} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$G_c = \frac{G_1 G_2}{G_1 + G_2 + G_3} \dots\dots\dots (2.30)$$

Dibawah in Contoh Soal dan Jawaban untuk menyelesaikan Rangkaian resistansi Delta - Bintang sebagai berikut :

Berapa nilai resistansi antara kutub b dan d jika diketahui nilai resistansi seperti Gambar 2.22 dibawah ini

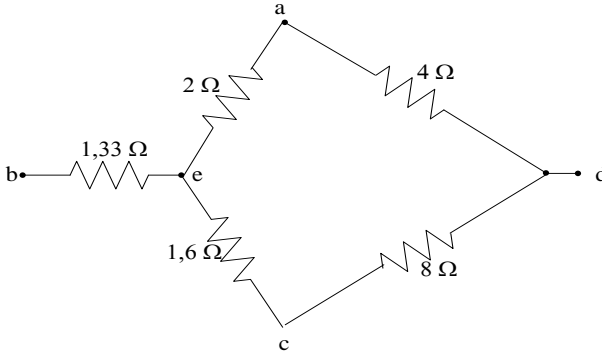




**Gambar 2.22** Gambar  $\Delta$  -  $\Delta$  konversi ke  $\Delta$  - Y

**Jawab**

Selesaikan Gambar 2.22 dengan cara konversi resistansi Delta ke Bintang



**Gambar 2.23** Konversi  $\Delta$  ke Y

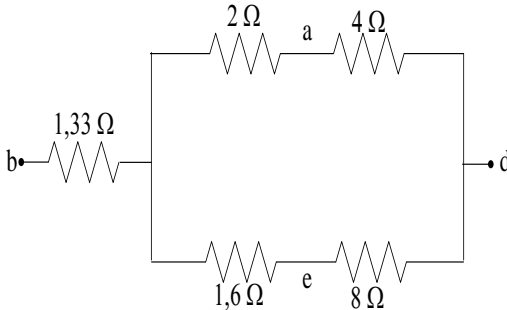
Mencari Konversi Delta ke Bintang sebagai berikut

$$R_1 = \frac{5 \times 4}{6 + 5 + 4_c} = \frac{20}{15} = 1,33\Omega$$

$$R_2 = \frac{6 \times 5}{6 + 5 + 4_c} = \frac{30}{15} = 2\Omega$$

$$R_3 = \frac{6 \times 4}{6 + 5 + 4_c} = \frac{24}{15} = 1,6\Omega$$

Jadi nilai resistansi antara kutub b dan d adalah



**Gambar 2.24 Rangkaian Seri dan Paralel (Kombinasi)**

Jadi nilai resistansi  $R_{bd}$  diselesaikan menggunakan rumus rangkaian campuran sebagai berikut:

$$R_{bd} = 1,33 + \frac{6 \times 9,6}{9,6 + 6} = \frac{57,6}{15,6} = 3,69 \Omega$$

### 2.14 Jenis Bentuk Gelombang AC

Fungsi gelombang bolak-balik atau bentuk gelombang AC di sisi lain didefinisikan sebagai salah satu yang bervariasi baik dalam besaran maupun arahnya dalam waktu kurang lebih satu arah dengan waktu sehingga membentuk gelombang "Bi-directional". Fungsi AC dapat mewakili sumber daya atau sumber sinyal dengan bentuk gelombang AC umumnya mengikuti sinusoid matematis seperti yang didefinisikan oleh persamaan 2.31

$$A(t) = A \sin(2\pi ft) \dots\dots\dots (2.31)$$

Istilah AC atau Alternating Current, umumnya mengacu pada bentuk gelombang yang bervariasi waktu dengan yang paling umum disebut *Sinusoid* atau lebih dikenal sebagai Gelombang Sinusoidal. Gelombang sinus adalah salah satu tipe gelombang AC yang paling penting yang digunakan dalam teknik elektro.

Bentuk yang diperoleh dengan memplotkan nilai ordinat/tengah dari tegangan atau arus terhadap waktu disebut gelombang AC. Bentuk gelombang AC terus-menerus mengubah polaritasnya setiap setengah siklus bergantian antara nilai maksimum positif dan nilai maksimum negatif masing-masing

berkaitan dengan waktu dengan contoh umum sebagai supply voltase utama rumah tangga.

Ini berarti bahwa bentuk *gelombang AC* adalah "sinyal tergantung waktu" dengan tipe sinyal waktu yang paling umum bergantung dari bentuk gelombang Periodik. Bentuk gelombang AC atau periodik adalah hasil yang dihasilkan dari perputaran generator listrik.

Umumnya, bentuk bentuk gelombang periodik dapat dihasilkan dengan menggunakan frekuensi dasar dan melapisikannya dengan sinyal harmonik dari frekuensi dan amplitudo yang berbeda-beda. Tegangan dan arus bolak-balik tidak dapat disimpan dalam baterai atau aki seperti arus searah (DC), itu jauh lebih mudah dan murah untuk menghasilkan jumlah ini dengan menggunakan alternator atau generator bentuk gelombang saat dibutuhkan.

Tipe dan bentuk bentuk gelombang AC bergantung pada generator atau perangkat yang membangkitkannya, namun semua bentuk gelombang AC terdiri dari garis tegangan nol yang membagi bentuk gelombang menjadi dua bagian simetris.

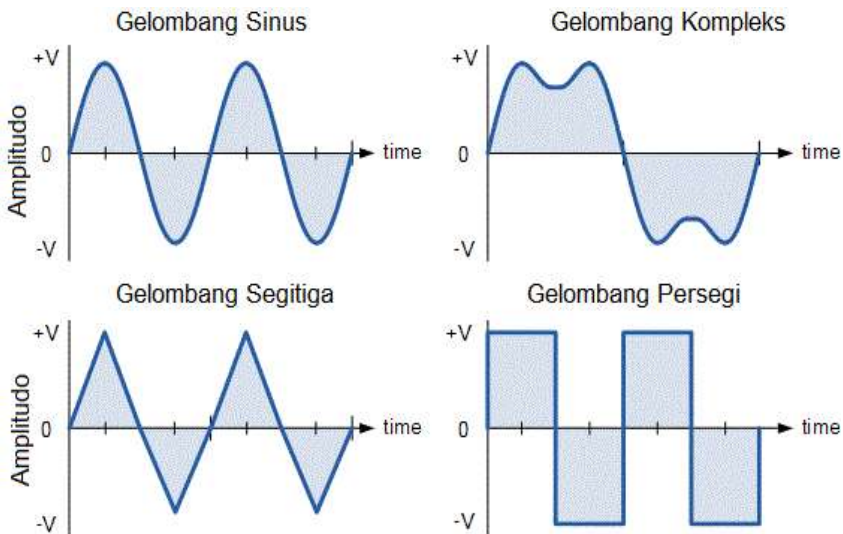
### **2.14.1 Karakteristik Bentuk Gelombang AC**

Karakteristik utama dari bentuk Gelombang AC didefinisikan sebagai:

- **Periode/Waktu, (T)** adalah panjang waktu dalam hitungan detik yang bentuk gelombangnya diperlukan untuk mengulanginya dari awal sampai akhir. Ini juga bisa disebut Waktu berkala dari bentuk gelombang untuk gelombang sinus, atau lebar Pulse untuk gelombang persegi.
- **Frekuensi, (f)** adalah berapa kali bentuk gelombang berulang dalam waktu satu periode kedua. Frekuensi adalah timbal balik dari periode waktu, ( $f = 1/T$ ) dengan satuan frekuensi menjadi *Hertz*, (Hz).
- **Amplitudo (A)** adalah besarnya atau intensitas bentuk gelombang sinyal yang diukur dalam volt atau ampere.

Bentuk gelombang pada dasarnya adalah representasi visual dari variasi tegangan atau arus yang diplotkan ke basis waktu". Umumnya, untuk bentuk gelombang AC, garis dasar horizontal ini mewakili kondisi nol dari tegangan atau arus. Setiap bagian dari bentuk gelombang jenis AC yang berada di atas sumbu nol horizontal

mewakili tegangan atau arus yang mengalir dalam satu arah. Demikian juga, bagian dari bentuk gelombang yang berada di bawah sumbu nol horizontal mewakili tegangan atau arus yang mengalir ke arah yang berlawanan dengan yang pertama. Umumnya untuk sinusoidal bentuk gelombang AC dari bentuk gelombang di atas sumbu nol adalah sama dengan bentuk di bawah ini.. Namun, untuk sebagian besar sinyal non-daya AC termasuk bentuk gelombang audio, hal ini tidak selalu terjadi. Bentuk gelombang sinyal periodik yang paling umum yang digunakan dalam listrik dan teknik elektronik adalah bentuk gelombang sinusoidal. Namun, bentuk gelombang AC bolak-balik mungkin tidak selalu berbentuk halus yang didasarkan pada fungsi trigonometri sinus atau kosinus. Bentuk gelombang AC juga bisa berbentuk gelombang kompleks, gelombang persegi atau gelombang segitiga dan ini ditunjukkan di bawah ini.



**Gambar 2.25 Jenis Bentuk Gelombang Periodik**

Waktu yang dibutuhkan untuk membentuk Gelombang AC untuk melengkapi satu pola penuh dari setengah positifnya ke setengah negatifnya dan kembali ke garis dasar nolnya lagi disebut Siklus dan satu siklus lengkap berisi siklus setengah positif dan setengah siklus negatif. Waktu yang dibutuhkan oleh bentuk gelombang untuk menyelesaikan satu siklus penuh disebut Waktu

Periodik dari bentuk gelombang, dan diberi simbol "T". Jumlah siklus lengkap yang dihasilkan dalam satu detik (siklus/detik) disebut Frekuensi, simbol f dari bentuk gelombang bolak-balik. Frekuensi diukur dalam Hertz, (Hz) dinamai menurut fisikawan Jerman Heinrich Hertz. Kemudian kita dapat melihat bahwa ada hubungan antara siklus (osilasi), waktu dan frekuensi periodik (siklus per detik), jadi jika ada f jumlah siklus dalam satu detik, setiap siklus individu harus mengambil 1/f detik untuk menyelesaikannya.

$$\text{Frekwensi } (f) = \frac{1}{\text{Waktu Periodik}} = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (2.32)$$

atau

$$\text{Waktu Periodik } (T) = \frac{1}{\text{Frekwensi}} = \frac{1}{f} \dots\dots\dots (2.33)$$

### 2.14.2 Amplitudo bentuk Gelombang AC

Serta mengetahui baik waktu periodik atau frekuensi kuantitas bolak-balik, parameter penting lain dari gelombang AC adalah Amplitudo, lebih dikenal sebagai nilai maksimum atau Puncak yang diwakili oleh istilah, *Vmax* untuk tegangan atau *Imax* untuk arus.

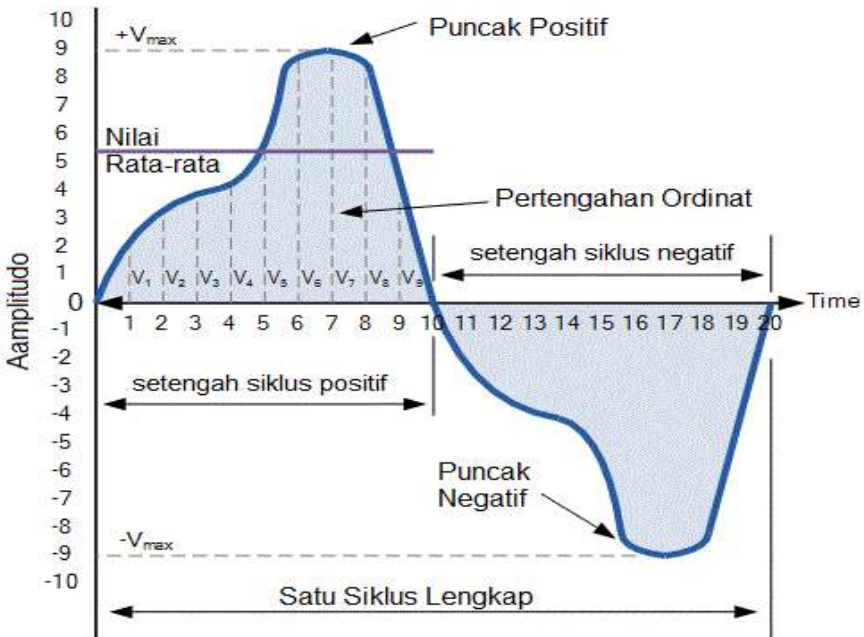
Nilai puncak adalah nilai terbesar dari tegangan atau arus yang dicapai gelombang setiap setengah siklus yang diukur dari garis dasar nol. Tidak seperti tegangan DC atau arus yang memiliki keadaan mantap yang dapat diukur atau dihitung dengan menggunakan Hukum Ohm, kuantitas bergantian terus berubah nilainya dari waktu ke waktu.

Untuk bentuk gelombang sinusoidal murni, nilai puncak ini akan selalu sama untuk kedua siklus setengah ( +Vm = -Vm ) tetapi untuk bentuk gelombang non-sinusoidal atau kompleks, nilai puncak maksimum bisa sangat berbeda untuk setiap siklus setengah. Terkadang, bentuk gelombang bolak-balik diberi puncak-ke-puncak, nilai *Vp-p* dan ini adalah hanya jarak atau jumlah tegangan antara nilai puncak maksimum, + *Vmax* dan nilai puncak minimum, - *Vmax* selama satu siklus lengkap.

### 2.15 Nilai rata-rata Bentuk Gelombang AC

Nilai rata-rata atau rata-rata dari tegangan DC kontinyu akan selalu sama dengan nilai puncak maksimumnya karena tegangan DC

konstan. Nilai rata-rata ini hanya akan berubah jika siklus kerja (*duty cycle*) dari tegangan DC berubah. Dalam gelombang sinus murni jika nilai rata-rata dihitung selama siklus penuh, nilai rata-rata akan sama dengan nol karena bagian positif dan negatif akan saling membatalkan. Jadi nilai rata-rata atau mean dari bentuk gelombang AC dihitung atau diukur lebih dari setengah siklus saja dan ini ditunjukkan di bawah ini.



**Gambar 2.26 Nilai rata-rata Bentuk Gelombang Non sinusoidal**

Untuk mencari nilai rata-rata dari bentuk gelombang yang kita butuhkan untuk menghitung area di bawah bentuk gelombang menggunakan aturan mid-ordinat, aturan trapesium atau aturan Simpson yang umum digunakan dalam matematika. Area perkiraan di bawah bentuk gelombang tidak teratur dapat dengan mudah ditemukan dengan hanya menggunakan aturan mid-ordinat. Garis dasar sumbu nol dibagi menjadi beberapa bagian yang sama dan pada contoh sederhana di atas nilai ini adalah sembilan, ( $V_1$  sampai  $V_9$ ). Semakin banyak garis ordinat yang ditarik semakin akurat akan menjadi rata-rata atau nilai rata-rata akhir. Nilai rata-rata akan menjadi penambahan semua nilai seketika ditambah dan kemudian dibagi dengan jumlah total. Ini diberikan sebagai.

$$V_{rata} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_N}{n} \dots\dots\dots (2.34)$$

Dimana:

n sama dengan jumlah sebenarnya dari mid-ordinat yang digunakan.

Untuk bentuk gelombang sinusoidal murni nilai rata-rata ini akan selalu sama dengan  $0,637 \times V_{max}$  dan hubungan ini juga berlaku untuk nilai rata-rata arus.

### 2.16 Nilai RMS dari Bentuk Gelombang AC

Nilai rata-rata dari bentuk gelombang AC tidak sama nilainya dengan nilai rata-rata gelombang DC. Hal ini karena bentuk gelombang AC terus berubah seiring waktu dan efek pemanasan yang diberikan oleh rumus ( $P = I^2 \times R$ ), juga akan berubah menghasilkan konsumsi daya positif. Nilai rata-rata ekuivalen untuk sistem arus bolak-balik yang memberikan daya yang sama pada beban sebagai rangkaian ekuivalen DC disebut "nilai efektif". Daya ini efektif dalam sistem arus bolak-balik Oleh karena itu sama dengan: ( $I^2 \times R_{rata-rata}$ ). Sebagai daya sebanding dengan arus kuadrat, arus efektif, I akan sama dengan  $\sqrt{I^2}$ (rata-rata). Oleh karena itu, arus efektif dalam sistem AC disebut nilai Root Mean Squared atau R.M,S dan nilai RMS adalah nilai ekuivalen DC yang memberikan daya yang sama pada beban.

Nilai efektif atau RMS dari arus bolak-balik diukur berdasarkan nilai arus searah yang menghasilkan efek pemanasan yang sama pada nilai hambatan yang sama. Nilai RMS untuk bentuk gelombang AC dapat ditemukan dari rumus nilai rata-rata yang dimodifikasi berikut ini

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}{n}} \dots\dots\dots (2.35)$$

dimana:

n sama dengan jumlah mid-ordinat.

Untuk bentuk gelombang sinusoidal murni nilai efektif atau R.M,S ini akan selalu sama dengan  $1/\sqrt{2} \times V_{max}$  yang sama dengan  $0,707 \times V_{max}$  dan hubungan ini berlaku untuk nilai RMS arus. Nilai RMS untuk bentuk gelombang sinusoidal selalu lebih besar dari nilai

rata-rata kecuali untuk bentuk gelombang persegi panjang. Dalam hal ini efek pemanasan tetap konstan sehingga rata-rata dan nilai RMS akan sama. Sebagian besar multimeter, baik digital maupun analog hanya mengukur nilai R.M.S tegangan dan arus dan bukan rata-rata. Oleh karena itu ketika menggunakan multimeter pada sistem arus searah bacaan akan sama dengan  $I = V/R$  dan untuk sistem arus bolak-balik bacaan akan sama dengan  $I_{rms} = V_{rms}/R$  juga, kecuali untuk perhitungan daya rata-rata, saat menghitung tegangan RMS atau puncak, gunakan  $V_{RMS}$  untuk menemukan nilai  $I_{RMS}$ , atau voltase puncak,  $V_p$ . untuk menemukan arus puncak, nilai  $I_p$ . Jangan mencampur dua rata-rata, RMS atau nilai puncak karena sama sekali berbeda dan hasilnya akan salah.

**2.17 Faktor Bentuk dan Faktor Puncak**

Meskipun sedikit digunakan akhir-akhir ini, baik Faktor Bentuk dan Faktor Puncak dapat digunakan untuk memberi informasi tentang bentuk sebenarnya dari bentuk gelombang AC. Faktor bentuk adalah rasio antara nilai rata-rata dan nilai RMS dan diberikan sebagai.

$$\text{Faktor Bentuk} = \frac{\text{Nilai RMS}}{\text{Nilai rata - rata}} = \frac{0,707 \times V \text{ max}}{0,637 \times V \text{ max}} \dots\dots\dots (2.36)$$

Untuk bentuk gelombang sinusoidal murni, Faktor bentuk akan selalu sama dengan 1,11 . Faktor Puncak adalah rasio antara nilai R.M.S dan nilai Puncak dari bentuk gelombang dan diberikan sebagai.

Arus DC adalah arus listrik yang mengalir secara konstan atau tetap, yang setiap terminal memiliki polaritas sama. Arus DC mengalir dari suatu titik yang energi potensialnya tinggi menuju ke titik lain yang energi potensialnya lebih rendah.

$$\text{Faktor Puncak} = \frac{\text{Nilai Puncak}}{\text{Nilai RMS}} = \frac{V_{\text{max}}}{0,707 \times V_{\text{max}}} \dots\dots\dots (2.37)$$

Untuk bentuk gelombang sinusoidal murni, Faktor Puncak akan selalu sama dengan 1,414.

**2.18 Bentuk Gelombang Arus DC (*Direct Current*)**

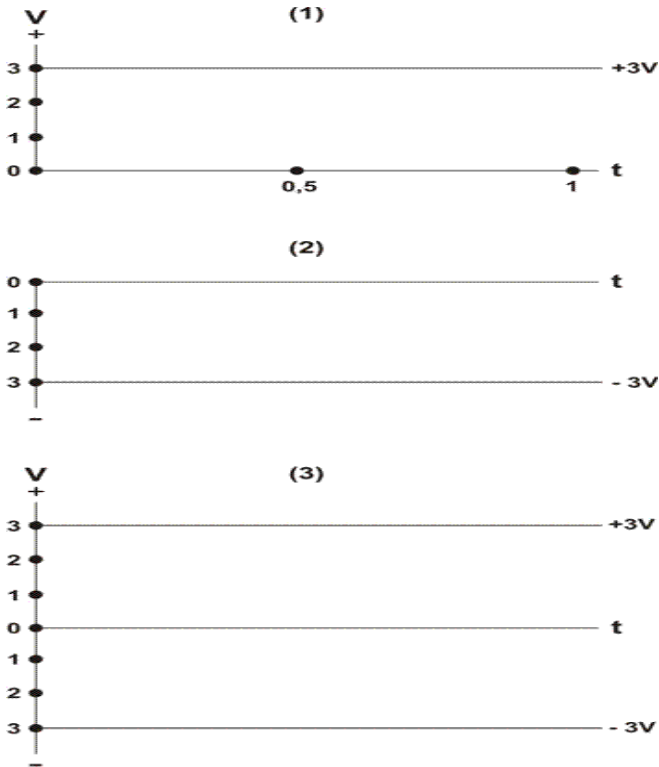
Arus Searah biasanya banyak digunakan pada rangkaian elektronika dengan tegangan rendah. Contoh sumber arus DC adalah Solar Cell (pembangkit listrik tenaga surya), Baterai, akidan sebagainya. Listrik DC adalah listrik yang “original”, artinya listrik



dasar yang dapat dihasilkan dari sumber-sumber susunan material alam.

Muatan-muatan listrik yang terjadi akibat adanya gesekan pada dua jenis material adalah muatan listrik yang berbentuk arus listrik DC. Berkumpulnya muatan listrik yang terjadi di awan hingga mencapai jutaan volt dan kemudian menjadi sambaran petir adalah muatan listrik yang berbentuk arus listrik DC juga, dan setiap baterai yang disusun dari beberapa bahan kimiawi tertentu selalu menghasilkan listrik dalam bentuk arus listrik DC, tidak ada baterai yang menghasilkan tegangan listrik AC secara langsung, begitu pun beberapa jenis hewan yang mampu mengeluarkan tegangan listrik dari tubuhnya, adalah tegangan listrik DC.

Arus DC tidak dikenal istilah frekuensi. Tegangan DC selamanya tetap, jika tegangan itu berpotensi positif maka seterusnya positif dan jika tegangan itu berpotensi negatif maka seterusnya negatif tanpa ada perubahan-perubahan yang bersifat periodik. Gambaran kurvanya adalah lurus sebagaimana digambarkan berikut ini :



Gambar 2.27 Kurva frekuensi pada arus DC

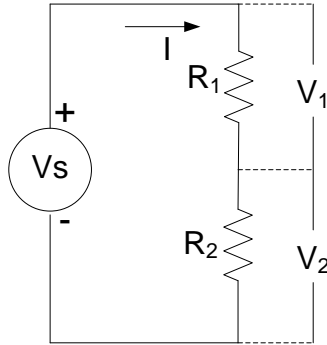
- Pada gambar (1) tampak bahwa tegangan terus menerus sebesar +3V selama waktu t.
- Pada gambar (2) tampak bahwa tegangan terus menerus sebesar -3V selama waktu t.
- Pada gambar (3) terlihat bahwa antara titik +3 V dan titik nol Volt terdapat tegangan DC sebesar 3 V, dan antara titik nol Volt dan titik -3 V terdapat tegangan DC sebesar 3 V juga, maka antara titik +3V dan titik -3 V terdapat tegangan DC sebesar 6 V.

Arus DC dikenal polaritas positif (+) atau negatif (-) yang dalam penerapannya tidak boleh terbalik-balik. DC banyak digunakan untuk sumber tenaga (*power supply*) berdaya kecil, seperti perangkat-perangkat elektronik portabel, *Handphone*, *starter* motor DC pada kendaraan, dan lain-lain. Sangat jarang penggunaan DC untuk kelistrikan rumah tangga karena faktor kesulitan transfer daya yang lebih sulit dibanding sistem AC.

Arus DC adalah sistem tegangan rendah, dan tidak bisa dinaikkan tegangannya secara langsung dengan trafo, sehingga untuk transfer daya yang besar diperlukan kabel-kabel hantaran yang besar pula karena arusnya besar. Walaupun arus DC digunakan untuk kelistrikan rumah tangga, maka arus DC itu merupakan sistem kelistrikan dengan penghasil energi listrik sendiri (dari *solar-cell* atau generator listrik tenaga angin) dan merupakan sistem kelistrikan energi terbatas (Unrenewable Energy).

### **2.19 Pembagian Tegangan (*Voltage Divider*)**

Pembagi tegangan adalah suatu rangkaian sederhana yang mengubah tegangan besar menjadi tegangan yang lebih kecil. Fungsi dari pembagi tegangan ini di rangkaian listrik dan elektronika adalah untuk membagi tegangan input menjadi satu atau beberapa tegangan output yang diperlukan oleh komponen lainnya didalam rangkaian. Hanya dengan menggunakan dua buah resistor atau lebih dan tegangan input. Dengan cara membuat sebuah rangkaian pembagi tegangan yang sederhana seperti pada Gambar 2.28 dibawah ini.



**Gambar 2.28 Pembagi tegangan**

Maka dari rangkaian diatas dapat dibentuk persamaannya untuk tegangan  $V_1$  sebagai berikut:

$$V_1 = R_1 \times I \dots\dots\dots (2.38)$$

Dengan menggunakan hukum Ohm persamaan 2.2 dan persamaan seri 2.3 yang dianggap arus yang mengalir pada resistor seri adalah sama maka persamaan 2.38 menjadi:

$$V_1 = R_1 \times \frac{V_s}{R_1 + R_2}$$

Atau tahanan seri  $R_1 + R_2 + \dots + R_N$  sehingga persamaan dibentuk untuk  $V_1$  dan  $V_2$  sebagai berikut.

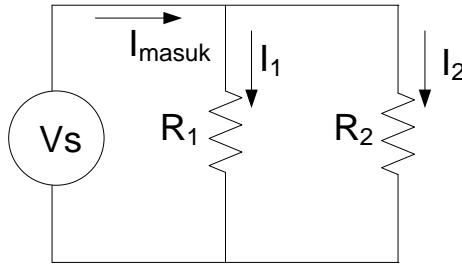
$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + \dots + R_N} \times V_s \dots\dots\dots (2.39)$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + \dots + R_N} \times V_s \dots\dots\dots (2.40)$$

**2.20 Pembagian Arus (Current Divider)**

Pembagi arus adalah suatu rangkaian sederhana yang mengubah arus yang besar menjadi arus yang lebih kecil. Fungsi dari pembagi arus dalam rangkaian listrik dan elektronika adalah untuk membagi atau mendapatkan arus masuk menjadi satu atau beberapa arus keluaran yang diperlukan oleh komponen lainnya dalam suatu rangkaian. Hanya dengan menggunakan dua buah resistor atau lebih

dan arus masuk, dengan cara membuat sebuah rangkaian pembagi arus yang sederhana seperti terlihat pada Gambar 2.29 dibawah ini.



**Gambar 2.29 Pembagi arus**

Rangkaian paralel resistor diatas dapat dibentuk persamaannya untuk mencari arus  $I_1$  sebagai berikut :

$$I_1 = \frac{V_s}{R_1} \dots\dots\dots (2.41)$$

Sehinga dengan menggunakan hukum Ohm persamaan 2.2 dan rangkaian paralel 2 resistor pada persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$I_1 = \frac{1}{R_1} \times (I_{masuk} \times R_T)$$

Karena 2 resistor diparalel  $R_1$  dan  $R_2$  maka arus  $I_1$  dan  $I_2$  sebagai berikut :

$$I_1 = \frac{1}{R_1} \times \left( I_{masuk} \times \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \right)_s$$

$$I_1 = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \times I_{masuk} \dots\dots\dots (2.42)$$

$$I_2 = \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \times I_{masuk} \dots\dots\dots (2.43)$$

Untuk 3 resistor yang diparalel  $R_1$ ,  $R_2$  dan  $R_3$  maka arus  $I_1$ ,  $I_2$  dan  $I_3$  sebagai berikut :

$$I_1 = \frac{1}{R_1} \times \left( \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2} \right) \times I_{masuk}$$

$$I_1 = \left( \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2} \right) \times I_{masuk} \dots\dots\dots (2.44)$$

$$I_2 = \left( \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2} \right) \times I_{masuk} \dots\dots\dots (2.45)$$

$$I_3 = \left( \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2} \right) \times I_{masuk} \dots\dots\dots (2.46)$$

persamaan 2.44 diatas dapat dibentuk dalam besaran konduktansi sebagai berikut :

$$I_1 = \frac{1}{R_1} \times \left( I_{masuk} \times \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \right) \dots\dots\dots (2.47)$$

Dengan menganggap  $1/R = G$  yang disebut konduktansi dengan satuan mho maka

$$I_1 = \left( \frac{G_1}{G_1 + G_2} \right) \times I_{masuk} \dots\dots\dots (2.48)$$

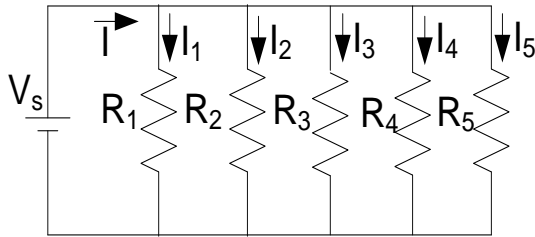
$$I_2 = \left( \frac{G_2}{G_1 + G_2} \right) \times I_{masuk} \dots\dots\dots (2.49)$$

Atau resistansi diserikan sampai  $R_N$  yaitu  $R_1 + R_2 + \dots + R_N$  maka arus  $I_N$  yaitu

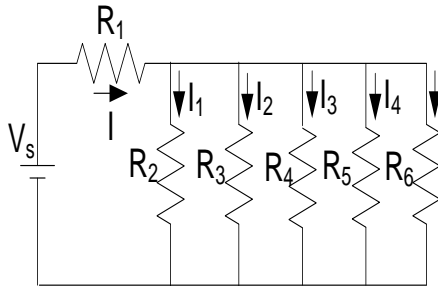
$$I_N = \left( \frac{G_N}{G_1 + G_2 + \dots + G_N} \right) \times I_{masuk} \dots\dots\dots (2.50)$$

**Latihan**

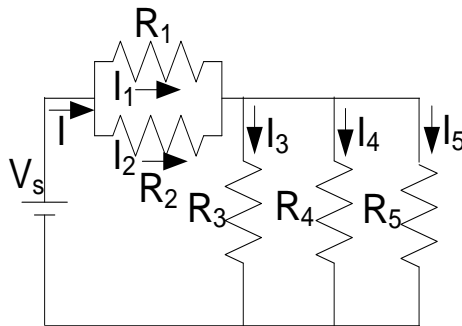
1. Selesaikan arus yang mengalir pada masing - masing elemen resistansi dimana  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 3 \Omega$ ,  $R_3 = 5 \Omega$ ,  $R_4 = 6 \Omega$ ,  $R_5 = 2 \Omega$  dengan tegangan  $V_s = 50 V$  seperti Gambar di bawah ini.



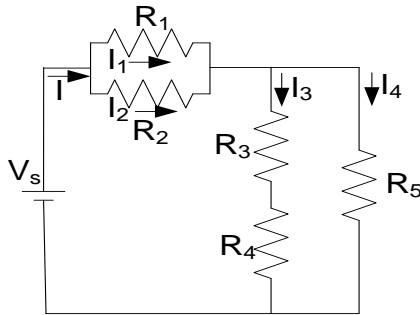
2. Selesaikan arus yang mengalir pada masing - masing elemen resistansi dimana  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 3 \Omega$ ,  $R_3 = 5 \Omega$ ,  $R_4 = 6 \Omega$ ,  $R_5 = 2 \Omega$  dan berapa besaran tegangan  $R_1$  dan  $R_2$  dengan tegangan  $V_s = 50 \text{ V}$  seperti Gambar di bawah ini.



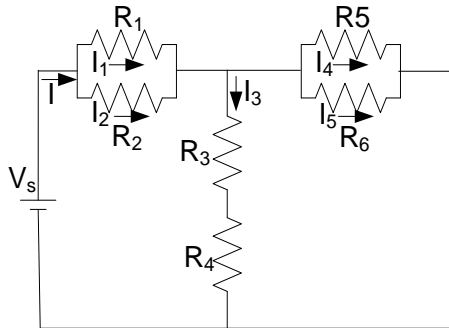
3. Selesaikan arus yang mengalir pada masing - masing elemen resistansi dimana  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 3 \Omega$ ,  $R_3 = 5 \Omega$ ,  $R_4 = 6 \Omega$ ,  $R_5 = 2 \Omega$  dan berapa besaran tegangan  $R_1$  dan  $R_3$  dengan tegangan  $V_s = 50 \text{ V}$  seperti Gambar di bawah ini.



4. Selesaikan arus yang mengalir pada masing - masing elemen resistansi  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  dan  $R_5$  dimana  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 3 \Omega$ ,  $R_3 = 5 \Omega$ ,  $R_4 = 6 \Omega$ ,  $R_5 = 2 \Omega$  dan berapa besaran tegangan  $R_1$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  dan  $R_5$  dengan tegangan  $V_s = 50 \text{ V}$  seperti Gambar di bawah ini.



5. Selesaikan arus yang mengalir pada masing - masing elemen resistansi dimana  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 3 \Omega$ ,  $R_3 = 5 \Omega$ ,  $R_4 = 6 \Omega$ ,  $R_5 = 2 \Omega$ ,  $R_6 = 4 \Omega$  dan berapa besaran tegangan  $R_1$ ,  $R_3$  dan  $R_5$  dengan tegangan  $V_s = 50 \text{ V}$  seperti Gambar di bawah ini.



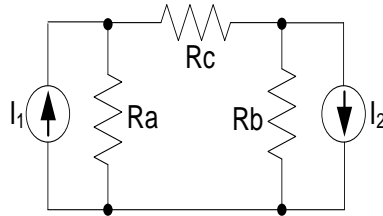
## 2.21 Metode Analisis Rangkaian Listrik

Dalam metode analisis rangkaian listrik adalah mempelajari secara matematika merumuskan dan menyelesaikan rangkaian listrik yang sulit kedalam sistem persamaan. Metode yang umum yang sudah diperkenalkan diatas yaitu hukum kirchoff tegangan dan hukum kirchoff arus, dimana hukum kirchoff tegangan memberikan sistem persamaan dengan arus yang tidak diketahui sedangkan kirchoff arus untuk sistem persamaan tegangan yang tidak diketahui. Metode pertama dikenal metode analisis tegangan simpul (Node) dan metode kedua yaitu metode analisis arus mata jala (Mesh). Dan juga juga dikenal prinsip superposisi dan Thevenin dan Norton.

### 2.21.1 Metode Tegangan Simpul (Node)

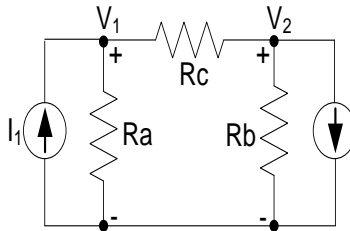
Metode tegangan simpul dalam analisis rangkaian adalah cara dengan persamaan hukum kirchoff tegangan secara implisit pada

gambar rangkaiannya, sehingga hanya persamaan hukum kirchoff arus saja yang diperlukan untuk menyelesaikan tegangan dan yang tidak diketahui. Dengan metode ini dimungkinkan untuk menentukan banyaknya tegangan sekecil mungkin.

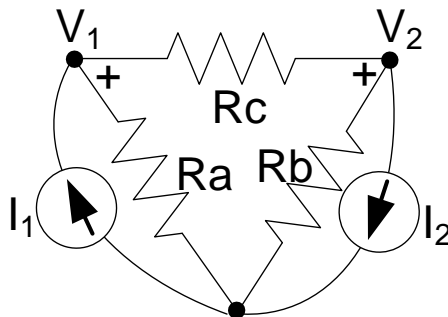


**Gambar 2.30 Rangkaian metode simpul**

Untuk penyelesaian metode analisis simpul rangkaian Gambar 2.30, tentukan tegangan simpulnya menjadi sebagai berikut :



Kemudian rangkaian diatas dibentuk rangkaian segitiga sebagai berikut :



Node referensi

Jika ditinjau pada node 1 maka persamaannya:



$$\frac{V_1}{Ra} + \frac{V_1 - V_2}{Rc} = I_1$$

$$\left( \frac{1}{Ra} + \frac{1}{Rc} \right) V_1 - \frac{1}{Rc} V_2 = I_1 \dots\dots\dots (2.51)$$

Jika ditinjau pada node 2 maka persamaannya:

$$\frac{V_2}{Rb} + \frac{V_2 - V_1}{Rc} = I_2$$

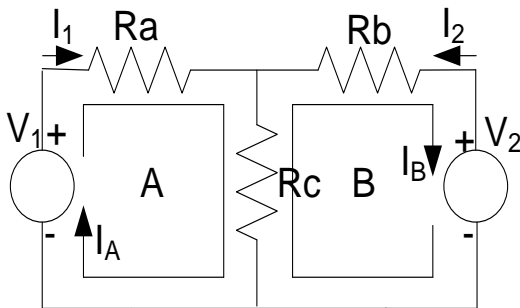
$$-\frac{1}{Rc} V_1 + \left( \frac{1}{Rb} + \frac{1}{Rc} \right) V_2 = I_2 \dots\dots\dots (2.52)$$

Untuk mendapatkan variabel tegangan  $V_1$  dan  $V_2$  dapat digunakan eliminasi dan substitusi ataupun menggunakan aturan Cramer.

**2.21.2 Metode Arus Matajala (Mesh)**

Metode arus mata jala merupakan cara lain untuk menyelesaikan permasalahan rangkaian dengan persamaan hukum arus Kirchoff secara implisit pada rangkaian dan persamaan untuk tegangan dibuat secara eksplisit serta harus diselesaikan untuk arus yang tidak diketahui.

Rangkaian pada Gambar 2.31 merupakan suatu rangkaian memiliki dua matajala yaitu matajala A dan matajala B.



**Gambar 2.31 Rangkaian metode mata jala**

Pada Gambar 2.31 matajala A mengandung  $R_a$ ,  $R_c$  dan  $V_1$ ; matajala B mengandung  $R_b$ ,  $R_c$  dan  $V_2$ . Pada metode arus matajala

yang tidak diketahui diandaikan mengalir dalam setiap matajala pada rangkaian tersebut. Arus matajala dapat merupakan keseluruhan arus yang mengalir dalam suatu unsur atau hanya merupakan sebagian arus yang mengalir dalam suatu unsur. Misalnya dalam rangkaian pada Gambar 2.31 arus  $I_A$  dan  $I_B$  arus mata jala dengan arah arus seperti terlihat pada gambar. Arus unsur dalam  $R_a$  samadengan arus mata jalanya, arus unsur  $R_c$  merupakan gabungan kedua arus matajala dalam rangkaian tersebut; sedangkan arus dalam  $R_b$  berlawanan arahnya dengan arus matajalanya. Ciri lain arus matajala adalah semuanya dipilih searah putaran jarum jam.

Jika persamaan hukum kirchoff tegangan dapat dbentuk persamaan untuk matajala A dan B pada Gambar 2.31 maka persamaannya :

Mata jala A:

$$RaI_A + Rc(I_A - I_B) = V_1 \dots\dots\dots (2.53)$$

Mata jala B:

$$- Rb(I_A - I_B) + RbI_B = -V_2 \dots\dots\dots (2.54)$$

Dengan menyusun kembali persamaan 2.53 dan 2.54 maka didapatkan persamaannya :

$$A : I_A(Ra + Rb) - I_B Rc = V_1 \dots\dots\dots (2.55)$$

$$B : I_A(Ra + Rb) - I_B Rc = V_1 \dots\dots\dots (2.56)$$

Dibawah ini cara membentuk setiap persamaan yang ada di mata jala:

- Sumber yang dinyatakan sebagai kombinasi paralel antara sumber arus sempurna dengan konduktansi simpangnya digantikan dengan kombinasi seri antara sumber tegangan sempurna dengan resistansi.
- Pilih arus mata jala menurut searah putaran jarum. Pemilih arus ini mengakibatkan arus unsur berupa arus mata jala atau selisih aljabar dua arus mata jala.
- Persamaan mata jala (hukum kirchoff tegangan) ditulis secara berturutan untuk mata jala (A, B,...,N). Hasilnya sebgai berikut:

$$A: R_{AA}I_A - R_{AB}I_B - \dots - R_{AN}I_N = V_A$$

$$B: -R_{BA}I_A - R_{BB}I_B - \dots - R_{BN}I_N = V_B$$

$$N: -R_{NA}I_A - R_{NB}I_B - \dots - R_{NN}I_N = V_N$$

$R_{XX}$  = Jumlah semua resistansi yang membentuk matajala X

$R_{XY}$  = Jumlah semua resistansi yang dimiliki bersama oleh matajala X dan matajala Y

$V_X$  = Jumlah semua sumber tegangan naik dalam matajala X pada arah jarum jam.

- Sistem persamaan tersebut kemudian diselesaikan untuk arus matajala yang diinginkan.

Arus lainnya dan tegangan dalam rangkaian itu dapat ditentukan dengan menggunakan hukum kirchoff arus dan hukum ohm.

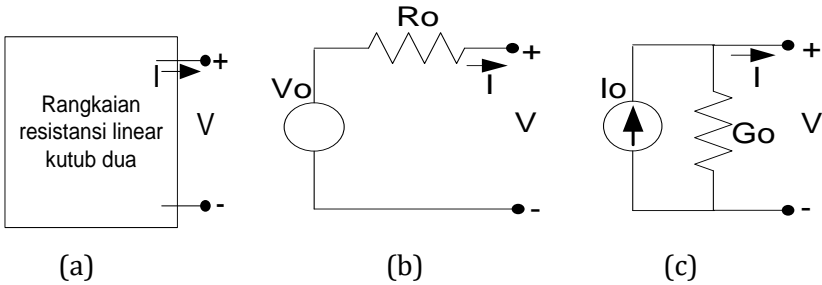
### **2.21.3 Metode Super Posisi**

Dalam rangkaian listrik, tegangan dan arus dalam suatu unsur adalah akibat yang ditimbulkan oleh adanya sumber yang dikenakan pada rangkaian tersebut. Jika suatu rangkaian mempunyai beberapa sumber, maka setiap tegangan dan arus pada unsur – unsurnya dapat dipandang sebagai jumlah beberapa komponen dengan masing – masing komponen merupakan akibat dari sebuah sumber. Jika diterapkan pada suatu rangkaian dengan resistansi konstan menyatakan bahwa arus atau tegangan disetiap cabang rangkaian yang dihasilkan oleh beberapa sumber yang dikenakan secara serentak adalah jumlah aljabar arus atau tegangan yang dihasilkan pada cabang itu oleh masing – masing sumber tersebut tersebut secara sendiri. Metode ini berdasarkan pada kenyataan bahwa arus dalam resistansi berbanding lurus dengan tegangannya. Ataupun dalam suatu jala – jala linear yang mengandung lebih dari pada suatu sumber (arus atau tegangan), tanggapannya dapat diperoleh dengan menjumlahkan semua tanggapan yang diperoleh dari masing – masing sumber itu secara sendiri, dengan semua sumber lainnya di buat samadengan nol (hubung singkat untuk sumber tegangan dan rangkaian terbuka untuk sumber arus).

### **2.21.4 Metode Thevenin dan Norton**

Teorema Thevenin menyatakan setiap rangkaian kutub dua linear yang terdiri dari resistor dan sumber (baik yang bebas maupu

yang tak bebas) sebagai suatu rangkaian setara berupa sebuah sumber tegangan dengan resistor serinya yang disebut rangkaian setara thevenins) seperti diperlihatkan pada Gambar 2.32b. Rangkaian dalam Gambar 2.32a dapat diwakili sebuah sumber arus dengan konduktansi simpang dan ini disebut sebagai rangkaian setara Norton yang diperlihatkan seperti Gambar 2.32c.



**Gambar 2.32 (a) Rangkaian resistansi linear (b) Rangkaian setara thevenin (c) Rangkaian setara Norton**

Karakteristik volt ampere rangkaian – rangkaian pada

$$V = V_O - IR_O \dots\dots\dots (2.57)$$

atau

$$I = I_O - VG_O \dots\dots\dots (2.58)$$

dengan

$$R_O = \frac{1}{G_O} = \frac{V_O}{I_O} \dots\dots\dots (2.59)$$

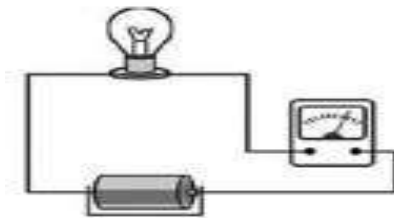
**2.22 Pengukuran Besaran Listrik dan Tahanan**

Pengukuran besaran listrik adalah kegiatan membandingkan suatu besaran yang tidak diketahui nilainya dengan besaran lain yang telah diketahui nilainya. Besaran-besaran listrik yang sering diukur dalam praktikal litrik dan elektronika adalah kuat arus (I), beda potensial atau tegangan (V), dan hambatan ( R). Sumber arus listrik dapat berupa sumber arus searah (Direct Current/DC) seperti baterai dan aki atau sumber arus bolak-balik (Alternating current/AC) seperti sumber listrik dari PLN. Pada prinsipnya

pengukuran besaran listrik antara sumber DC dan AC adalah sama, namun ada perbedaan-perbedaan yang perlu diperhatikan terkait alat yang digunakan dalam pengukuran besaran listrik.

### **2.22.1 Mengukur Kuat Arus**

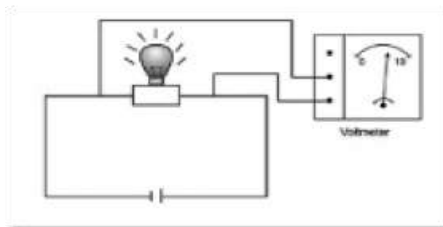
Kuat arus ( $I$ ) adalah banyaknya muatan listrik ( $Q$ ) yang melewati suatu penghantar dalam selang waktu ( $t$ ). Satuan untuk kuat arus listrik adalah Amper atau disingkat A. Kuat arus dapat diukur dengan menggunakan ampere meter yang dipasang secara seri terhadap rangkaian yang hendak diukur kuat arusnya. Berikut adalah gambar pengukuran kuat arus listrik dengan menggunakan amperemeter.



**Gambar 2.33 Pengukuran Besaran Arus**

### **2.22.2 Mengukur Tegangan**

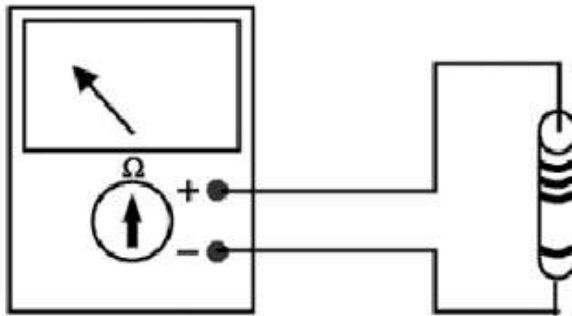
Beda potensial atau tegangan listrik diukur dengan menggunakan voltmeter yang dipasang secara parallel dengan rangkaian yang hendak diukur. Satuan beda potensial adalah volt. Beda potensial antara dua titik dalam rangkaian adalah hasil kali antara kuat arus dengan hambatan.



**Gambar 2.34 Pengukuran Besaran Tegangan**

### 2.22.3 Mengukur Hambatan

Hambatan suatu rangkaian atau komponen dapat diukur dengan menggunakan ohm-meter yang dipasang secara parallel terhadap rangkaian/komponen yang hendak diukur. Pengukuran nilai hambatan juga dapat menentukan apakah suatu komponen masih berfungsi atau sudah rusak. Misalnya apabila sebuah kabel memiliki hambatan yang sangat besar sekali menunjukkan bahwa kabel tersebut sudah rusak.



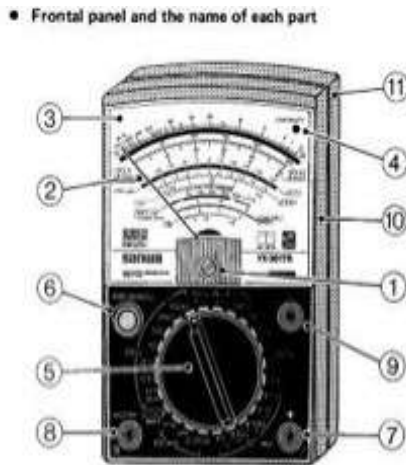
**Gambar 2.35 Pengukuran Besaran Tahanan**

Untuk mengukur kuat arus dan tegangan AC digunakan ampere-meter AC dan Voltmeter AC. Di pasaran tersedia alat yang merangkum ampere-meter, voltmeter dan ohmmeter kedalam satu alat, alat tersebut disebut multimeter atau multi tester.



**Gambar 2.36 Multimeter analog dan multimeter digital**

Untuk memahami bagaimana menggunakan multimeter analog berikut adalah diagram bagian-bagiannya



**Gambar 2.37 Bagian depan multimeter analog**

Dibawah keterangan untuk bagian – bagian multimeter analog

1. Indicator Zero Connector
2. Indicatot Pointer
3. Indicator Scale
4. Continuity Indicating
5. Range Selector Switch knob
6. 0 - ohms adjusting knob/0- centering meter . (NULL meter) adjusting knob)
7. Measuring Terminal +
8. Measurin Terminal – COM
9. Series Terminal Capacitor OUTPUT
10. Panel LED ( CONTINUITY )
11. Rear Case

Untuk mengubah-ubah fungsi multimeter dapat dilakukan dengan memutar selector (no. 6) seperti ditunjukkan gambar di atas. Multimeter dapat dioperasikan sebagai voltmeter apabila selector diarahkan ke jangkauan pengukuran tegangan (volt). Untuk

mengukur kuat arus selector diarahkan ke jangkauan pengukuran kuat arus (ampere) dan untuk mengukur hambatan selector diarahkan ke jangkauan pengukuran hambatan (ohm). Nilai yang diukur ditunjukkan oleh penyimpangan jarum (No 2). Pembacaannya menyesuaikan dengan jangkah pengukuran yang dipilih.

Sebelum menggunakan multimeter harus diperhatikan beberapa hal yaitu :

- Rangkaian tidak tersambung dengan sumber arus sebelum memasang multimeter.
- Ketika menggunakan ohmmeter rangkaian tidak boleh tersambung dengan sumber arus.
- Pastikan tombol switch beralih ke AC ketika mengukur rangkaian dengan sumber AC atau tombol switch beralih ke DC ketika mengukur rangkaian dengan sumber DC.
- Jika sudah selesai menggunakan multimeter pastikan mengalihkan tombol switch ke off atau jika tidak ada tombol off maka alihkan tombol switch ke batas ukur tegangan AC maksimal.
- Selalu mulai dengan batas ukur tertinggi ketika mengukur tegangan atau kuat arus.

•



# **BAB III.**

## **MATERIAL LISTRIK**

Perkembangan teknologi material atau bahan listrik semakin pesat digunakan baik pada industri dan maupun rumah tangga. Semua produk industri apa saja meliputi industri berat, ringan maupu rumah tangga terdapat berbagai bentuk material seperti logam, plastik, kayu dan bahan campuran lainnya (komposit). Material listrik mempunyai sifat mekanis, ketahanan dan kestabilan elektriknya, ketahanan termal serta ketahanan kimia.

➤ **Sifat Mekanis**

Material listrik yang sudah diproduksi mempunyai beberapa sifat yang kuat dan keras secara mekanik dari bahan tersebut dan tidak mengalami perubahan bentuk (deformasi)

➤ **Sifat Ketahanan Elektriknya**

Logam dan bahan semikonduktor dapat menghantarkan muatan listrik apabila ditempatkan dalam medan listrik. Daya hantar tergantung jumlah pembawa elektron  $n$ , besar muatan  $q$  dan mobilitas  $\mu$  dari pembawa muatan.

Pada logam dan semi konduktor elektron merupakan pembawa muatan – muatan. Tahanan jenis ( $\rho$ ) merupakan suatu sifat bahan sehingga tidak tergantung dari bentuknya.

➤ **Sifat Karateristik Termal**

Untuk mengetahui sifat termal dari suatu bahan maka diperlukan temperatur untuk mengatahui level termal dari kondisi yang dialami suatu bahan produk listrik.

Di bawah ada 3 bentuk pengelompokan material listrik yang sering digunakan pada dunia industri maupun peralatan kelistrikan rumah tangga sebagai berikut:

- Material Konduktor
- Material Semi Konduktor
- Material Isolator

### **3.1 Material Konduktor**

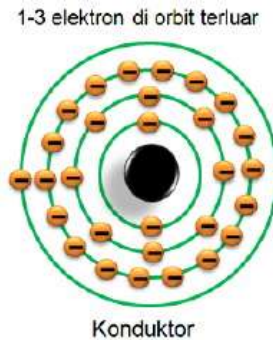
Material konduktor dalam rekayasa elektronik adalah suatu yang dapat menghantarkan arus listrik yang baik. Biasanya material

konduktor adalah bahwa memiliki resistivitas kecil. Secara umum, logam konduktif seperti emas, perak, tembaga, aluminium, seng, besi baris memiliki resistivitas yang lebihkecil. Jadi emas adalah konduktor yang sangat baik, tetapi karena sangat mahal, secara ekonomi tembaga dan aluminium yang paling banyak digunakan.

**Tabel 3.1 Resitivitas Material Konduktor**

Material Konduktor	Resitivitas pada 20°C (Ω.m)
Baja	$13 \times 10^{-8}$
Alumanium	$2,62 \times 10^{-8}$
Besi Tuang	$50 \times 10^{-8}$
Emas	$2,44 \times 10^{-8}$
Konstantan	$44 \times 10^{-8}$
Nikel	$42 \times 10^{-8}$
Nikhrorn	$110 \times 10^{-8}$
Perak	$1,62 \times 10^{-8}$
Tembaga	$1,72 \times 10^{-8}$
Wolfram	$4,90 \times 10^{-8}$

Gambar 3.1 dibawah ini merupakan struktur atom dari bahan konduktor:



**Gambar 3.1 Struktur atom dari suatu material konduktor**

Struktur atom dari suatu material konduktor di atas terlihat satu elektron pada kulit terluar. Dimana elektron sangat mudah berpindah kepada lintasan lainnya jika dipengaruhi gaya atau dipengaruhi dengan medan listrik.

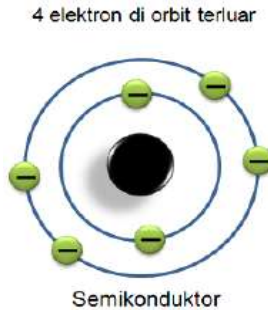
### 3.2 Material Semikonduktor

Semikonduktor adalah bahan yng mempunyai daya hantar lebih kecil dibanding bahan konduktor tetpai lebih besar

dibandingkan bahan isolator . Dalam teknik elektronika banyak dipakai semi konduktor dari bahan germanium (Ge) dan bahan silikon (Si).Pembuatan pabrik bahan germanium dan silikon diberi kotoran dengan campuran alumaniun maka diperoleh bahan semikonduktor type P (bahan yang kekurangan elektron/mempunyai sifat positif) dan jika dikotori dengan fosfor maka diperoleh semikonduktor tipe N (bahan yang kelebihan elektron/mempunyai sifat negatif). Bahan Germanium mempunyai daya hantar yang tinggi sedangkan Silikon lebih tahan panas dibandingkan germanium. Tabel 3.2 meperlihatkan resitivitas bahan semikonduktor.

**Tabel 3.2 Resitivitas Material Semikonduktor**

Material Semikonduktor	Resitivitas pada 20°C ( $\Omega.m$ )
Karbon (Grafit)	$1,5 \times 10^{-1}$
Germanium (murni)	$5 \times 10^{-1}$
Silicon (murni)	$3 \times 10^3$



**Gambar 3.2 Struktur atom dari suatu material semikonduktor**

Struktur atom dari suatu material semikonduktor di atas terlihat empat elektron pada kulit terluar. Dimana lintasan elektron agak stabil sehingga agak susah elektron berpindah kepada lintasan lainnya jadi diperlukan tegangan untuk memicu perpindahan elektron sehingga akan terjadi konduksi.

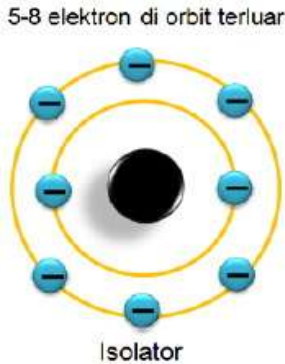
### 3.3 Material Isolator

Isolator adalah bahan yang berfungsi untuk menyekat antara 2 penghantar agar tidak terjadi aliran listrik arus listrik bila kedua penghantar tersebut bertegangan. Jadi kedua penyekat atau isolasi tersebut harus mempunyai tahanan sangat tinggi atau tak terhingga sehingga terjadi tegangan tembus pada penyekat tersebut. Bahan

isolator tersebut berupa kaca, keramik, porselin, karet, plastik, kayu, kuarsa dan lain – lain.

**Tabel 3.3 Resitivitas Material Isolator**

Material Isolator	Resitivitas pada 20°C ( $\Omega.m$ )
Kaca	$10,7 \times 10^{10}$
Kuarsa	$7,5 \times 10^{17}$



**Gambar 3.3 Struktur atom dari suatu material isolator**

Pada Gambar 3.3 struktur atom dari suatu material isolator di atas terlihat delapan elektron pada kulit terluar. Dimana elektron sangat stabil sehingga elektron tidak dapat berpindah kepada lintasan lainnya dan walaupun sudah diberi medan listrik atau tegangan.

### 3.4 Jenis Aplikasi Bahan Listrik Pada komponen Elektronik

Komponen elektronika terbentuk dari beberapa jenis material listrik. Material komponen elektronika bahan konduktor seperti emas dan tembaga terdapat pada pin komponen processor sedangkan untuk material semikonduktor germanium dan silikon terdapat pada komponen eletronik yaitu transistor, dioda, IC, sedangkan material isolator seperti kertas, cairan lilin yaitu pada komponen elektronik terdapat pada laminasi induktor, transformator. Dan campuran karet terdapat pada penyelubung kawat, kaca terdapat pada komponen transistor tabung, dioda tabung dan lampu, Cairan isolasi pada medan dielektrik pada kapasitor elektrolit.

•

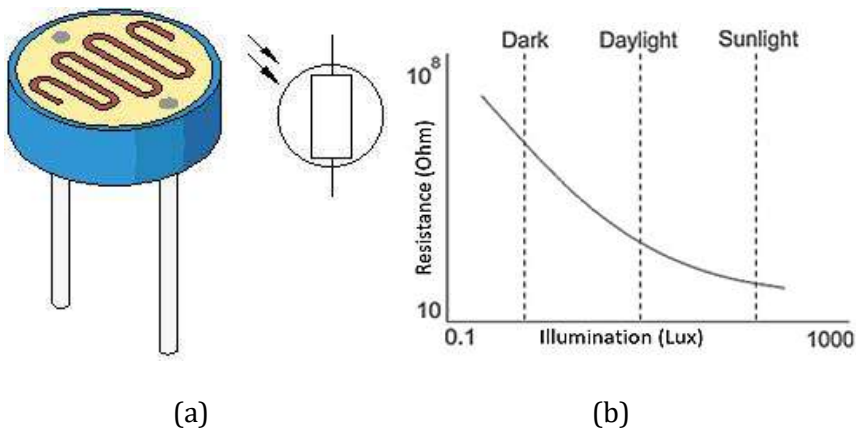
*This page is intentionally left blank*

# BAB IV.

## SENSOR LIGHT DEPENDENT RESISTOR

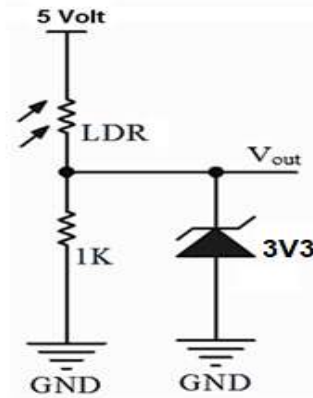
### 4.1 Sensor LDR

Sensor cahaya LDR (Light Dependent Resistor) adalah salah satu jenis resistor yang dapat mengalami perubahan resistansinya apabila mengalami perubahan penerimaan cahaya. Sensor LDR yang terbuat dari bahan elektronik, misalnya cadmium sulfide (CdS) Besarnya nilai hambatan pada Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor) tergantung pada besar kecilnya cahaya yang diterima oleh LDR itu sendiri. LDR sering disebut dengan alat atau sensor yang berupa resistor yang peka terhadap cahaya. Biasanya LDR terbuat dari cadmium sulfida yaitu merupakan bahan semikonduktor yang resistansinya berubah-ubah menurut banyaknya cahaya (sinar) yang mengenainya. Resistansi LDR pada tempat yang gelap biasanya mencapai sekitar  $10\text{ M}\Omega$ , dan ditempat terang LDR mempunyai resistansi yang turun menjadi sekitar  $150\ \Omega$ . Seperti halnya resistor konvensional, pemasangan LDR dalam suatu rangkaian sama persis seperti pemasangan resistor biasa. Simbol LDR dapat dilihat seperti pada Gambar 4.1 berikut.



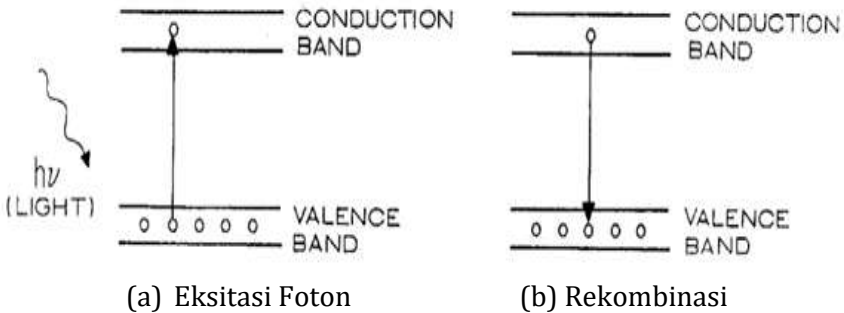
**Gambar 4.1 a. LDR dan simbol b. Karakteristik terhadap intensitas cahaya**

Seperti rangkaian pada sensor berbasis perubahan resistansi pada umumnya, LDR dikonfigurasi sebagai pembagi tegangan. Contoh rangkaian sensor LDR tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.2.



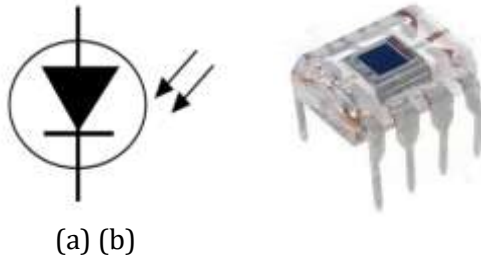
Gambar 4.2 Rangkaian elektronik LDR

Foto dioda merupakan sensor cahaya yang memiliki konfigurasi dioda semikonduktor yang mengkonversi energy cahaya menjadi energi listrik. Secara fisis sistem kerja foto dioda tersebut menggunakan efek foto listrik, yaitu peristiwa terjadinya eksitasi elektron pada bahan akibat energi foton dari luar yang melebihi energi ikat elektron pada bahan tersebut. Bahan semikonduktor yang digunakan untuk foto dioda antara lain: germanium, silicon, indium gallium arsenide, dan masih banyak lagi bahan lain yang digunakan. Setiap bahan tersebut memiliki energi *gap* yang berlainan sehingga energi foton dari cahaya yang mengenai bahan tersebut memiliki fungsi kerja yang berlainan pula. Pada sensor foto dioda terdapat pita valensi dimana tempat elektron terikat. Jika energi foton mengenai elektron tersebut maka menyebabkan elektron tereksitasi menjadi elektron bebas dan berada di pita konduksi seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3a.



Gambar 4.3 (a) Peristiwa terjadinya eksitasi elektron pada foto dioda dan (b) proses rekombinasi elektron

Pada saat energi level dipita konduksi menurun maka elektron kembali lagi melakukan rekombinasi ke pita valensi seperti pada Gambar 4.3b. Peristiwa pergerakan elektron ini secara elektronik menghasilkan arus listrik. Besar arus listrik yang dihasilkan pada efek foto listrik ini sebanding dengan intensitas foton dari cahaya yang mengenai foto dioda tersebut. Gambar 4.4 menunjukkan simbol foto dioda dan contoh fisik dari sensor foto dioda dalam kemasan IC OPT102 yang telah dilengkapi penguat *Op-amp* internal.



**Gambar 4.4 (a) Simbol sensor foto diode dan (b) bentuk fisik sensor foto diode OPT101**

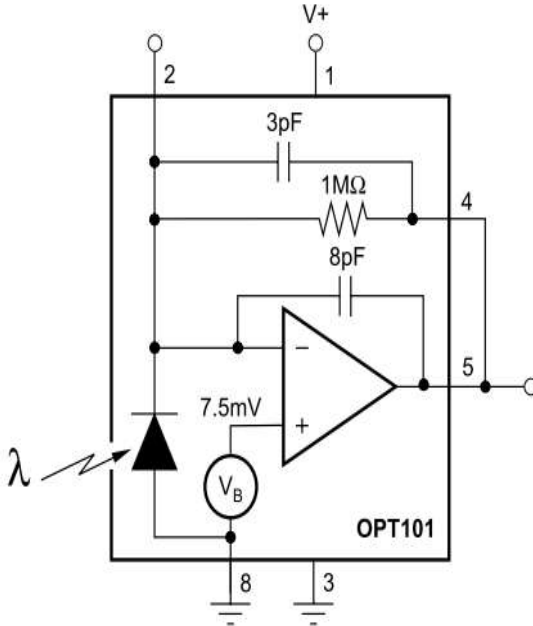
Sensor cahaya foto dioda OPT101 memiliki karakteristik tegangan linier yang meningkat terhadap intensitas cahaya yang diterima. Sensor tersebut memerlukan catu daya DC tunggal atau simetri hingga 36 Volt. Sensor cahaya foto dioda OPT101 memiliki karakteristik antara lain:

- Rentang catu daya 2,7 Volt hingga 36 Volt.
- Memiliki rangkaian internal yang dapat bekerja tanpa rangkaian pendukung.
- Memiliki responsibilitas tinggi (0,45 A/W pada panjang gelombang cahaya 650 nm).
- Bandwidth* hingga 14 KHz.
- Arus keluaran sensor sekitar 120  $\mu$ A.

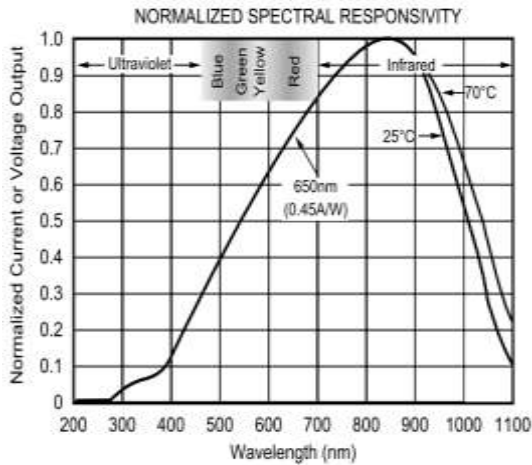
Rangkaian internal dari sensor cahaya foto dioda OPT101 ditunjukkan pada Gambar 4.5a. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa sensor dapat langsung digunakan tanpa rangkaian pendukung resistor dan kapasitor dengan cara menghubungkan pin 4 dan pin 5. Rangkaian tersebut bekerja berdasarkan penguatan dari konfigurasi internal dari resistor umpan balik  $1M\Omega$ . Jika pada kondisi rangkaian tersebut tidak sesuai dengan taraf tegangan keluaran sensor yang dibutuhkan maka dengan mudah ditambahkan rangkaian eksternal yang dihubungkan antara pin 2 dan pin 5. Pada *mode*



rangkaian ini, hubungan antara pin 5 dan pin 4 harus dilepas. Grafik karakteristik sensor OPT101 ditunjukkan pada Gambar 4.5b.



(a)



(b)

**Gambar 4.5 (a) Rangkaian internal dari sensor cahaya foto diode OPT101 dan (b) grafik karakteristiknya**

Aplikasi sensor cahaya LDR (Light Dependent Resistor) dapat digunakan sebagai :

- Sensor pada rangkaian saklar cahaya
- Sensor pada lampu otomatis
- Sensor pada alarm brankas
- Sensor pada tracker cahaya matahari
- Sensor pada kontrol arah solar cell
- Sensor pada robot line follower

Dan masih banyak lagi aplikasi rangkaian elektronika yang menggunakan LDR (Light Dependent Resistor) sebagai sensor cahaya.

#### **4.2 Karakteristik Sensor Cahaya LDR**

Sensor cahaya LDR (Light Dependent Resistor) adalah suatu bentuk komponen yang mempunyai perubahan resistansi yang besarnya tergantung pada cahaya. Karakteristik LDR terdiri dari dua macam yaitu Laju Recovery dan Respon Spektral sebagai berikut :

- **Laju Recovery Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor)**

Bila sebuah "Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor)" dibawa dari suatu ruangan dengan level kekuatan cahaya tertentu ke dalam suatu ruangan yang gelap, maka bisa kita amati bahwa nilai resistansi dari LDR tidak akan segera berubah resistansinya pada keadaan ruangan gelap tersebut. Namun LDR tersebut hanya akan bisa mencapai harga di kegelapan setelah mengalami selang waktu tertentu. Laju recovery merupakan suatu ukuran praktis dan suatu kenaikan nilai resistansi dalam waktu tertentu. Besaran ini ditulis dalam K/detik, untuk LDR tipe arus harganya lebih besar dari 200K/detik (selama 20 menit pertama mulai dari level cahaya 100 lux), kecepatan tersebut akan lebih tinggi pada arah sebaliknya, yaitu pindah dari tempat gelap ke tempat terang yang memerlukan waktu kurang dari 10 ms untuk mencapai resistansi yang sesuai dengan level cahaya 400 lux.

- **Respon Spektral Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor)**

Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor) tidak mempunyai sensitivitas yang sama untuk setiap panjang gelombang cahaya yang jatuh padanya (yaitu warna). Bahan yang biasa digunakan sebagai penghantar arus listrik yaitu

tembaga, aluminium, baja, emas dan perak. Dari kelima bahan tersebut tembaga merupakan penghantar yang paling banyak, digunakan karena mempunyai daya hantaryang baik.

- **Prinsip Kerja Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor)**

Resistansi Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor) akan berubah seiring den-gan perubahan intensitas cahaya yang mengenainya atau yang ada disekitarnya. Dalam keadaan gelap resistansi LDR sekitar  $10M\Omega$  dan dalam keadaan terang sebesar  $1K\Omega$  atau kurang. LDR terbuat dari ba-han semikonduktor seperti kadmium sulfida. Dengan bahan ini energi dari cahaya yang jatuh menyebabkan lebih banyak muatan yang dilepas atau arus listrik meningkat. Artinya resistansi bahan telah mengalami penurunan.

•

# **BAB V.**

## **MOTOR LISTRIK**

Motor listrik adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Alat yang berfungsi sebaliknya, mengubah energi mekanik menjadi energi listrik disebut generator atau dinamo. Motor listrik dapat ditemukan pada peralatan rumah tangga seperti kipas angin, mesin cuci, pompa air dan penyedot debu. Motor listrik yang umum digunakan di dunia industri adalah motor listrik asinkron, dengan dua standar global yakni IEC dan NEMA. Motor asinkron IEC berbasis metrik (milimeter), sedangkan motor listrik NEMA berbasis imperial (inch), dalam aplikasi ada satuan daya dalam Horsepower (Hp) maupun KiloWatt (KW). Prinsip kerja pada motor listrik tenaga listrik diubah menjadi tenaga mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektro magnet. Sebagaimana kita ketahui bahwa: kutub-kutub dari magnet yang senama akan tolak-menolak dan kutub-kutub tidak senama, tarik-menarik. Maka kita dapat memperoleh gerakan jika kita menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar, dan magnet yang lain pada suatu kedudukan yang tetap. Motor listrik dalam pratikal aplikasi di industri maupun aplikasi peralatan rumah tangga dibagi 2 jenis :

1. Motor listrik AC
2. Motor listrik DC

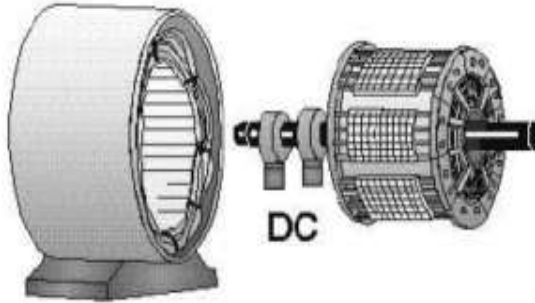
### **5.1 Motor Listrik AC**

Motor AC adalah jenis motor listrik yang bekerja menggunakan tegangan AC (Alternating Current). Motor AC memiliki dua buah bagian utama yaitu “stator” dan “rotor”. Stator merupakan komponen motor AC yang statis. Rotor merupakan komponen motor AC yang berputar. Motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekuensi variabel untuk mengendalikan kecepatan sekaligus menurunkan konsumsi dayanya. Jenis - jenis motor AC dibagi 2 yaitu:

- Motor AC Sinkrons
- Motor Induksi

### 5.1.1 Motor Listrik AC Sinkrons

Motor sinkrons merupakan motor AC bekerja pada kecepatan tetap pada sistem frekwensi tertentu, motor ini memerlukan arus searah DC untuk pembangkitan daya dan memiliki torsi awal yang rendah oleh karena itu motor sinkrons cocok untuk penggunaan awala dengan beban rendah seperti kompresor udara, perubahan frekwensi motor yang dianggap sebagai generator. Motor sinkrons mampu untuk memperbaiki faktor daya sistem sehingga sering digunakan pada sistem yang menggunakan banyak pemakaian listrik. Gambar 5.1 merupakan kontruksi dari motor AC sinkrons



**Gambar 5.1 Kontruksi utama motor AC sinkrons**

Komponen utama motor AC sinkrons :

- Rotor, Perbedaan utama antara motor sinkrons dengan motor induksi yaitu mesin sinkrons berjalan pada kecepatan yang sama dengan perputaran medan magnet. Oleh karena medan magnet rotor tidak lagi terinduksi. Rotor memiliki magnet permanen atau arus DC eksitasi yang bersumber dari eksternal untuk diinjeksi kedalam slip ring DC
- Stator, Stator menghasilkan medan magnet berputar yang sebanding dengan frekwensi yang diterapkan.

Motor ini berputar pada kecepatan sinkrons yang diberikan oleh persmaan berikut (PC Sen, 1997) :

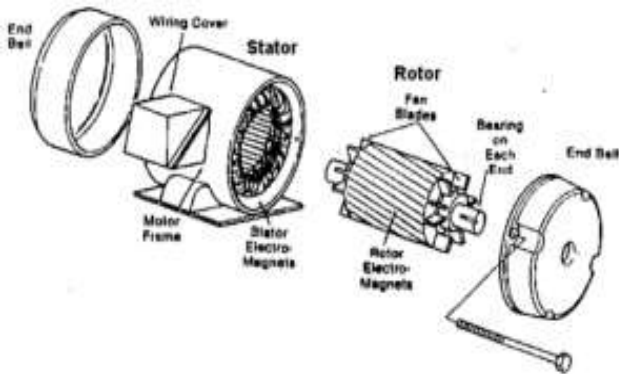
$$N_s = 120 f / P \dots\dots\dots(5.1)$$

Dimana

- Ns = Kecepatan Sinkrons
- f = Frekwensi yang diterapkan
- P = Jumlah kutub motor

### 5.1.2 Motor Listrik AC Induksi

Motor induksi adalah bekerjanya sama seperti prinsip dari suatu kerja motor AC, perbedaannya motor AC induksi tidak menggunakan penguatan medan eksitasi, melainkan kumparan kawatnya terdistribusi pada bagian stator. Motor induksi banyak digunakan pada berbagai peralatan industri dan digemari karena rancangannya yang sederhana murah dan mudah didapat serta dapat langsung digunakan pada sumber tegangan AC. Gambar 5.2 konstruksi dari motor induksi



**Gambar 5.2 Kontruksi utama motor AC induksi**

Komponen utama Motor AC induksi

- Rotor sangkar tupai terdiri dari batang penghantar tebal yang dilekatkan pada slot paralel. Batang – batang tersebut diberi hubungan pendek pada kedua ujungnya dengan alat cincin hubungan pendek
- Stator, stator dibuat dari sejumlah stamping dengan slot untuk membawa gulungan tiga fase. Gulungan ini ditingkatkan untuk kutub yang tertentu. Gulungan diberi spasi dengan selisih 120°.

Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama yaitu:

- Motor induksi satu fase, motor ini hanya memiliki satu gulungan stator beroperasi dengan pasokan daya satu fase memiliki sebuah rotor sangkar tupai dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motor.
- Motor induksi tiga fase, Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fase yang seimbang, Motor

ini mempunyai daya yang tinggi yang memiliki gulungan tupai atau gulungan rotor

Terjadinya perbedaan antara dua kecepatan yaitu kecepatan sinkrons dan kecepatan dasar pada motor induksi yang disebabkan adanya slip geseran yang meningkat dengan penambahan kapasitas beban. Slip sering terjadi pada motor induksi, oleh karena itu diperlukan cincin geser (slip ring) untuk merubah kecepatan putar rotor.

$$\% Slip = \frac{N_s - N_b}{N_s} \times 100 \dots\dots\dots(5.2)$$

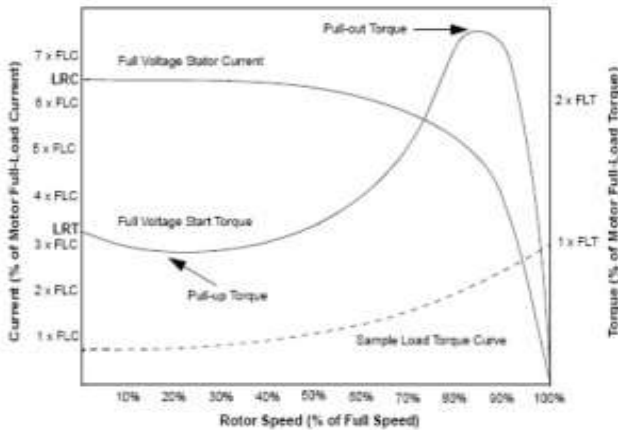
dimana :

$N_s$  = Kecepatan sinkrons (RPM)

$N_b$  = Kecepatan dasar (RPM)

Gambar 5.3 menunjukkan grafik perbandingan torsi kecepatan motor induksi AC tiga fase dengan arus yang sudah ditetapkan. Bila motor sebagai berikut:

- Mulai menyala ternyata terdapat arus nyata awal yang tinggi dan torsi yang rendah.
- Mencapai 80% kecepatan penuh, torsi berada pada tingkat tertinggi dan arus mulai turun.
- Pada kecepatan penuh atau kecepatan sinkrons arus torsi dan stator turun ke nol.

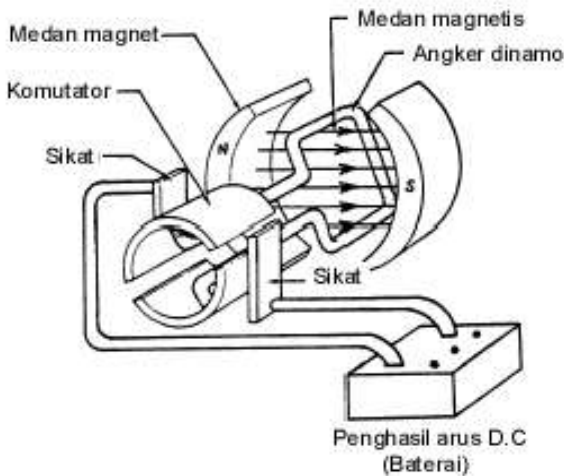


Gambar 5.3 Hubungan antara beban, kecepatan dan torsi

## 5.2 Motor Listrik DC

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan,dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer*, bor listrik, *fan* angin) dan di industri. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.

Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Prinsip kerja dari arus searah adalah membalik fasa tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen.



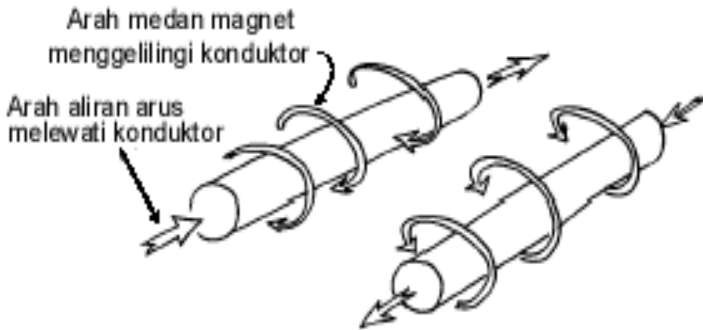
Gambar 5.4 Motor DC Sederhana



Catu tegangan dc dari baterai menuju ke lilitan melalui sikat yang menyentuh komutator, dua segmen yang terhubung dengan dua ujung lilitan. Kumparan satu lilitan pada gambar di atas disebut angker dinamo. Angker dinamo adalah sebutan untuk komponen yang berputar di antara medan magnet.

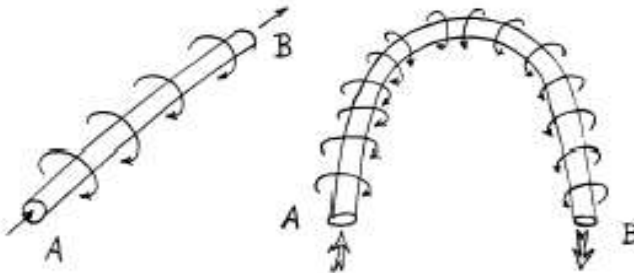
➤ **Prinsip Dasar Cara Kerja**

Jika arus lewat pada suatu konduktor, timbul medan magnet di sekitar konduktor. Arah medan magnet ditentukan oleh arah aliran arus pada konduktor.



**Gambar 5.5 Medan magnet yang membawa arus mengelilingi konduktor**

Aturan Genggaman Tangan Kanan bisa dipakai untuk menentukan arah garis fluks di sekitar konduktor. Genggam konduktor dengan tangan kanan dengan jempol mengarah pada arah aliran arus, maka jari-jari anda akan menunjukkan arah garis fluks. Gambar 5.6 menunjukkan medan magnet yang terbentuk di sekitar konduktor berubah arah karena bentuk U.

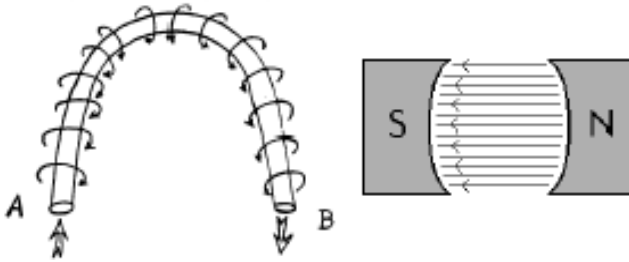


**Gambar 5.6 Medan magnet yang membawa arus mengelilingi konduktor**

Catatan :

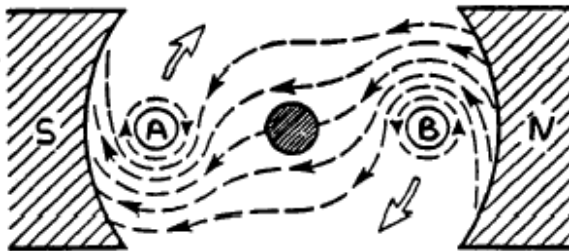
Medan magnet hanya terjadi di sekitar sebuah konduktor jika ada arus mengalir pada konduktor tersebut.

Pada motor listrik konduktor berbentuk U disebut angker dinamo.



**Gambar 5.7 Medan magnet mengelilingi konduktor dan diantara kutub**

Jika konduktor berbentuk U (angker dinamo) diletakkan di antara kutub utara dan selatan yang kuat medan magnet konduktor akan berinteraksi dengan medan magnet kutub. Lihat Gambar 5.8



**Gambar 5.8 Reaksi garis fluks**

Lingkar bertanda A dan B merupakan ujung konduktor yang dilengkungkan (*looped conductor*). Arus mengalir masuk melalui ujung A dan keluar melalui ujung B.

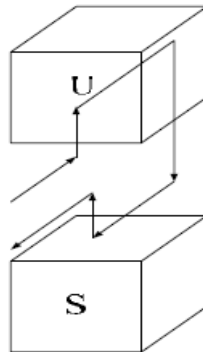
Medan konduktor A yang searah jarum jam akan menambah medan pada kutub dan menimbulkan medan yang kuat di bawah konduktor. Konduktor akan berusaha bergerak ke atas untuk keluar dari medan kuat ini. Medan konduktor B yang berlawanan arah jarum jam akan menambah medan pada kutub dan menimbulkan medan yang kuat di atas konduktor. Konduktor akan berusaha untuk bergerak turun agar keluar dari medan yang kuat tersebut. Gaya-

gaya tersebut akan membuat angker dinamo berputar searah jarum jam.

Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum :

- Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya.
- Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran / loop, maka kedua sisi loop, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
- Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar / torque untuk memutar kumparan.
- Motor-motor memiliki beberapa loop pada dinamanya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

Pada 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 sebagai tempat berlangsungnya proses perubahan energi, daerah tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



**Gambar 5.9 Prinsip kerja motor DC**

Agar proses perubahan energi mekanik dapat berlangsung secara sempurna, maka tegangan sumber harus lebih besar daripada tegangan gerak yang disebabkan reaksi lawan. Dengan memberi arus pada kumparan jangkar yang dilindungi oleh medan maka menimbulkan perputaran pada motor.

### 5.2.1 Motor Stepper

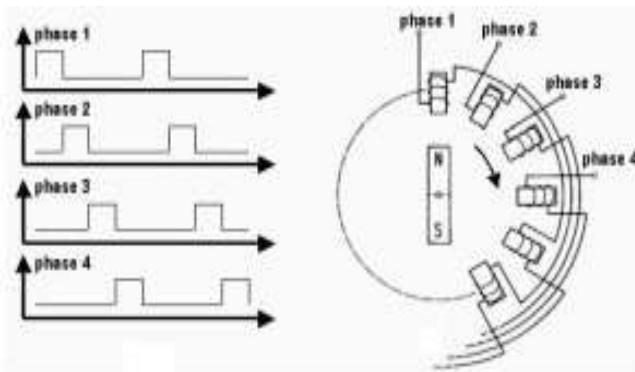
Motor Stepper adalah salah satu jenis motor DC yang dikendalikan dengan pulsa – pulsa digital. Prinsip kerja motor stepper adalah dengan mengubah pulsa elektronik menjadi gerakan mekanis diskrit dimana motor stepper berputar berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor stepper tersebut.

Kelebihan motor stepper dibandingkan motor DC biasa :

- Sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa masukan sehingga lebih mudah diatur.
- Motor dapat langsung memberikan torsi penuh pada saat mulai berputar.
- Posisi dan pergerakan repetisinya dapat ditentukan secara presisi.
- Memiliki respon yang sangat baik terhadap mulai stop dan berbalik putaran rotornya.
- Sangat andal karena tidak adanya sikat yang bersentuhan dengan rotor seperti motor DC.
- Dapat menghasilkan perputaran yang lambat sehingga beban dapat dikopel langsung ke porosnya.
- Frekwensi perputaran dapat ditentukan secara bebas dan mudah pada range yang luas.

#### a. Prinsip kerja motor stepper

Prinsip kerja motor stepper adalah mengubah pulsa – pulsa input menjadi gerakan mekanis diskrit. Oleh karena itu untuk menggerakkan motor stepper diperlukan pengendali motor stepper yang membangkitkan pulsa – pulsa secara periodik.



**Gambar 5.10 Pulsa yang dibangkitkan dan masuk kedalam motor stepper**

Gambar 5.10 menunjukkan ilustrasi dari pulsa keluaran pengendalian motor stepper dari penerapan pulsa tersebut pada motor stepper untuk menghasilkan arah putaran yang bersesuaian dengan pulsa kendali.

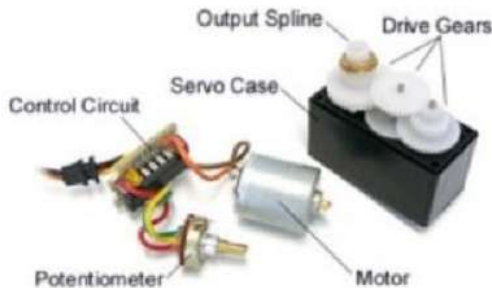
### **b. Jenis – jenis motor stepper**

Berdasarkan struktur rotor dan stator pada motor stepper maka motor stepper dapat dikategorikan dalam 3 jenis yaitu

- Motor Stepper Variabel Reluctance (VR)
- Motor Stepper Permanent Magnet (PM)
- Motor Stepper Hybrid

## **5.2.2 Motor Servo**

Motor servo adalah jenis motor DC dengan sistem umpan balik tertutup yang terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian gear rangkaian kontrol dan potensiometer. Motor servo sebenarnya tak berdiri sendiri melainkan didukung oleh komponen – komponen lain yang berada dalam modul sedangkan fungsi potensiometer dalam motor servo adalah untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sementara sudut sumbu motor servo dapat diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel servo itu sendiri. Oleh karena itu motor servo dapat berputar searah dan berlawanan jarum jam. Motor servo dapat menampilkan grakan 0 sampai 90 derajat, 180 derajat hingga 360 derajat. Aplikasi motor ini digunakan penggerak kai dan juga lengan pada robot. Selain itu motor servo juga memiliki torsi yang berat sehingga mampu menopang beban cukup berat. Berikut ini bagian – bagian dari motor servo.



**Gambar 5.11 Bagian – bagian motor Servo**

# **BAB VI.**

## **MICROKONTROLER**

### **6.1 Apa itu Mikrokontroler**

Mikrokontroler, sebagai suatu terobosan teknologi mikroprosesor dan mikrokomputer, ikut memenuhi kebutuhan pasar komponen elektronik dan teknologi baru. Sebagai teknologi baru, yaitu teknologi semikonduktor dengan kandungan transistor yang lebih banyak namun hanya memerlukan ruang yang kecil serta dapat diproduksi secara massal membuat harganya menjadi lebih murah (dibandingkan mikroprosesor). Sebagai kebutuhan pasar, mikrokontroler hadir untuk memenuhi selera industri elektronik. Tidak seperti sistem komputer, yang mampu menangani berbagai macam program aplikasi (misalnya pengolah kata, pengolah angka dan lain sebagainya), mikrokontroler hanya bisa digunakan untuk suatu aplikasi tertentu saja (hanya satu program saja yang bisa disimpan). Perbedaan lainnya terletak pada perbandingan RAM dan ROM. Pada sistem komputer perbandingan RAM dan ROMnya besar, artinya program-program pengguna disimpan dalam ruang RAM yang relatif besar, sedangkan rutin-rutin antarmuka perangkat keras disimpan dalam ruang ROM yang kecil. Sedangkan pada Mikrokontroler, perbandingan ROM dan RAM nya yang besar, artinya program kontrol disimpan dalam ROM (bisa Masked ROM atau Flash PEROM) yang ukurannya relatif lebih besar, sedangkan RAM digunakan sebagai tempat penyimpanan sementara, termasuk register-register yang digunakan pada mikrokontroler yang bersangkutan.

Mikrokontroler juga disebut salah satu dari bagian dasar dari suatu sistem komputer. Meskipun mempunyai bentuk yang jauh lebih kecil dari suatu komputer pribadi dan komputer mainframe, mikrokontroler dibangun dari elemen-elemen dasar yang sama. Secara sederhana, komputer akan menghasilkan output yang spesifik berdasarkan input yang diterima dan program yang dikerjakan. Seperti umumnya komputer, mikrokontroler sebagai alat yang mengerjakan perintah-perintah yang diberikan kepadanya. Artinya, bagian terpenting dan utama dari suatu sistem komputerisasi adalah program itu sendiri yang dibuat oleh seorang programmer. Program ini memerintahkan komputer untuk melakukan jalinan yang panjang dari aksi-aksi sederhana untuk melakukan tugas yang lebih kompleks yang diinginkan oleh programmer. Sistem dengan mikrokontroler umumnya menggunakan piranti input yang jauh lebih kecil seperti saklar atau keypad kecil. Hampir semua input mikrokontroler hanya dapat memproses sinyal input digital dengan tegangan yang sama dengan tegangan logika dari sumber. Tegangan

positif sumber umumnya adalah 5 volt. Padahal dalam dunia nyata terdapat banyak sinyal analog atau sinyal dengan tegangan level

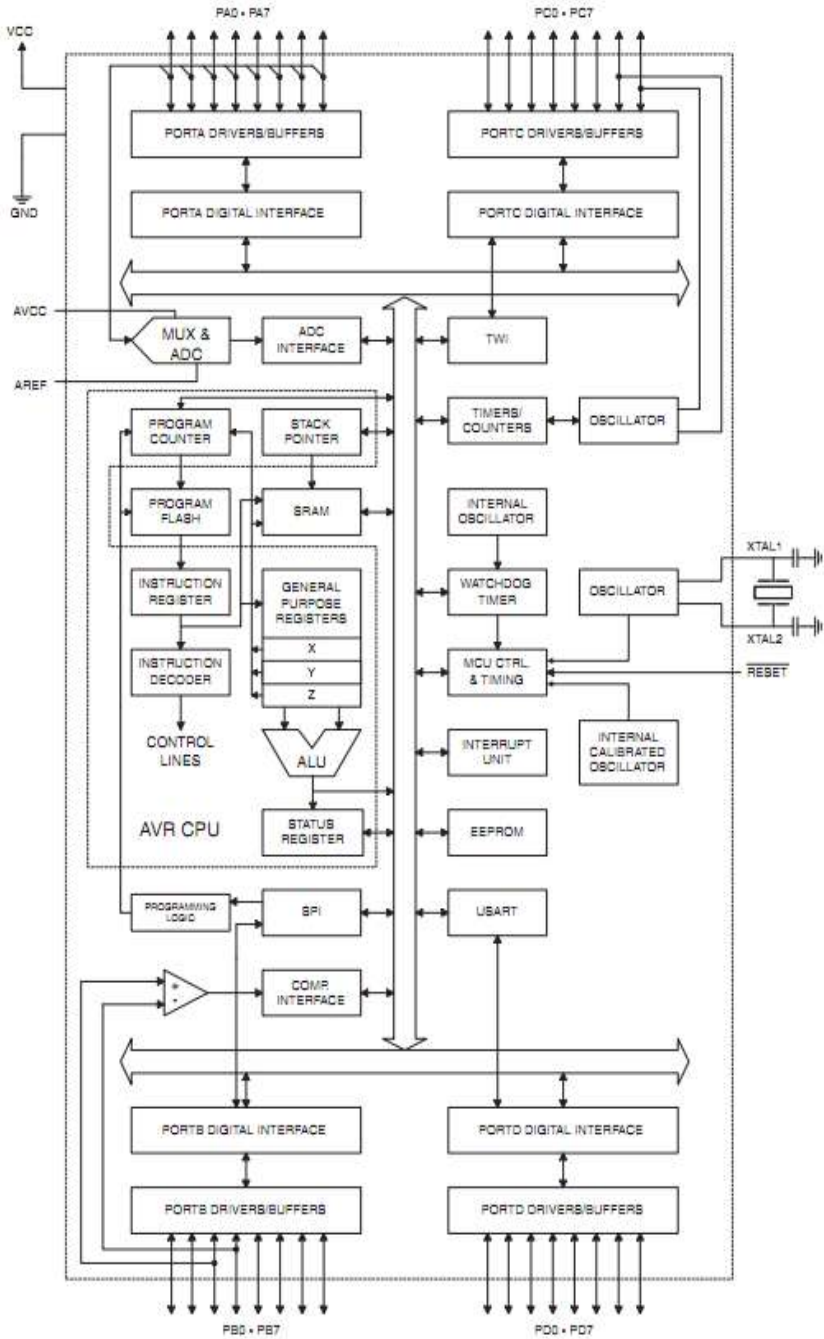
## 6.2 Pengertian Mikrokontroler ATmega16

Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan saat ini yaitu mikrokontroler AVR. AVR adalah mikrokontroler RISC (Reduce Instruction Set Compute) 8 bit berdasarkan arsitektur Harvard. Secara umum mikrokontroler AVR dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yaitu keluarga AT90Sxx, ATmega dan ATtiny. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral, dan fiturnya. Seperti mikroprosesor pada umumnya, secara internal mikrokontroler ATmega16 terdiri atas unit-unit fungsionalnya Arithmetic and Logical Unit (ALU), himpunan register kerja, register dan dekoder instruksi, dan pewaktu beserta komponen kendali lainnya. Berbeda dengan mikroprosesor, mikrokontroler menyediakan memori dalam serpih yang sama dengan prosesornya (in chip).

### 6.2.1 Arsitektur Mikrokontroler ATmega16

Mikrokontroler ini menggunakan arsitektur *Harvard* yang memisahkan memori program dari memori data, baik bus alamat maupun bus data, sehingga pengaksesan program dan data dapat dilakukan secara bersamaan (*concurrent*). Secara garis besar mikrokontroler ATmega16 terdiri dari :

1. Arsitektur RISC dengan *throughput* mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16Mhz.
2. Memiliki kapasitas Flash memori 16Kbyte, EEPROM 512 Byte, dan SRAM Kbyte.
3. Saluran I/O 32 buah, yaitu Bandar A, Bandar B, Bandar C, dan Bandar D.
4. CPU yang terdiri dari 32 buah register.
5. User interupsi internal dan eksternal.
6. Bandar antarmuka SPI dan Bandar USART sebagai komunikasi serial.
7. Fitur Peripheralnya terdiri dari :
  - a. Dua buah 8-bit timer/counter dengan prescaler terpisah dan mode compare.
  - b. Satu buah 16-bit timer/counter dengan prescaler terpisah, mode compare, dan mode capture.
  - c. Real time counter dengan osilator tersendiri.
  - d. Empat kanal PWM dan antarmuka komparator analog

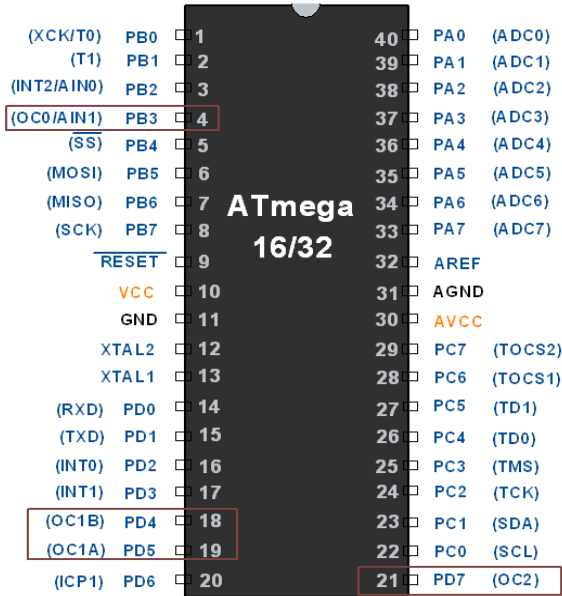


Gambar 6.1 Blok Diagram ATmega16



## 6.2.2 Konfigurasi PIN ATmega16

Konfigurasi pena (pin) mikrokontroler ATmega16 dengan kemasan 40 pena dapat dilihat pada Gambar 6.2. Dari gambar tersebut dapat terlihat ATmega16 memiliki 8 pena untuk masing-masing bandar A (*Port A*), bandar B (*Port B*), bandar C (*Port C*), dan bandar D (*Port D*).



Gambar 6.2 Pin ATmega16

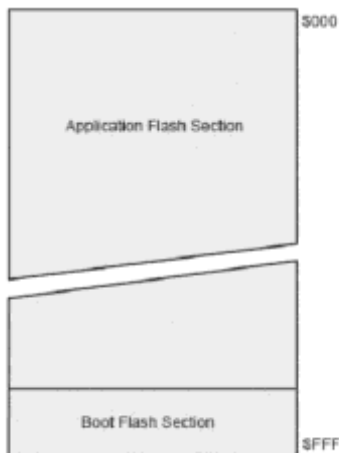
### Penjelasan Pin

- VCC : Tegangan *Supplay* (5 volt)
- GND : *Ground*
- RESET : Input *reset* level rendah pada pin ini selama lebih dari panjang pulsa minimum akan menghasilkan *reset*, walaupun *clock* sedang berjalan.
- XTAL1 : Input penguat *osilator inverting* dan input pada rangkaian operasi *clock internal*
- XTAL2 : Output dari penguat *osilator inverting*.
- AVCC : Pin tegangan suplay untuk port A dan ADC. Pin ini harus dihubungkan ke VCC walaupun ADC tidak digunakan, maka pin ini harus dihubungkan ke VCC melalui *low pass filter*.
- AREF : Pin referensi tegangan analaog untuk ADC.

## 6.3 Peta Memori ATmega16

### 6.3.1 Memori Program

Arsitektur ATmega16 mempunyai dua memori utama, yaitu memori data dan memori program. Selain itu, ATmega16 memiliki memori EEPROM untuk menyimpan data. ATmega16 memiliki 16K byte *On-chip In-System Reprogrammable Flash Memory* untuk menyimpan program. Instruksi ATmega16 semuanya memiliki format 16 atau 32 bit, maka memori *flash* diatur dalam 8K x 16 bit. Memori *flash* dibagi kedalam dua bagian, yaitu bagian program *boot* dan aplikasi seperti terlihat pada Gambar 6.3. *Bootloader* adalah program kecil yang bekerja pada saat sistem dimulai yang dapat memasukkan seluruh program aplikasi ke dalam memori prosesor.

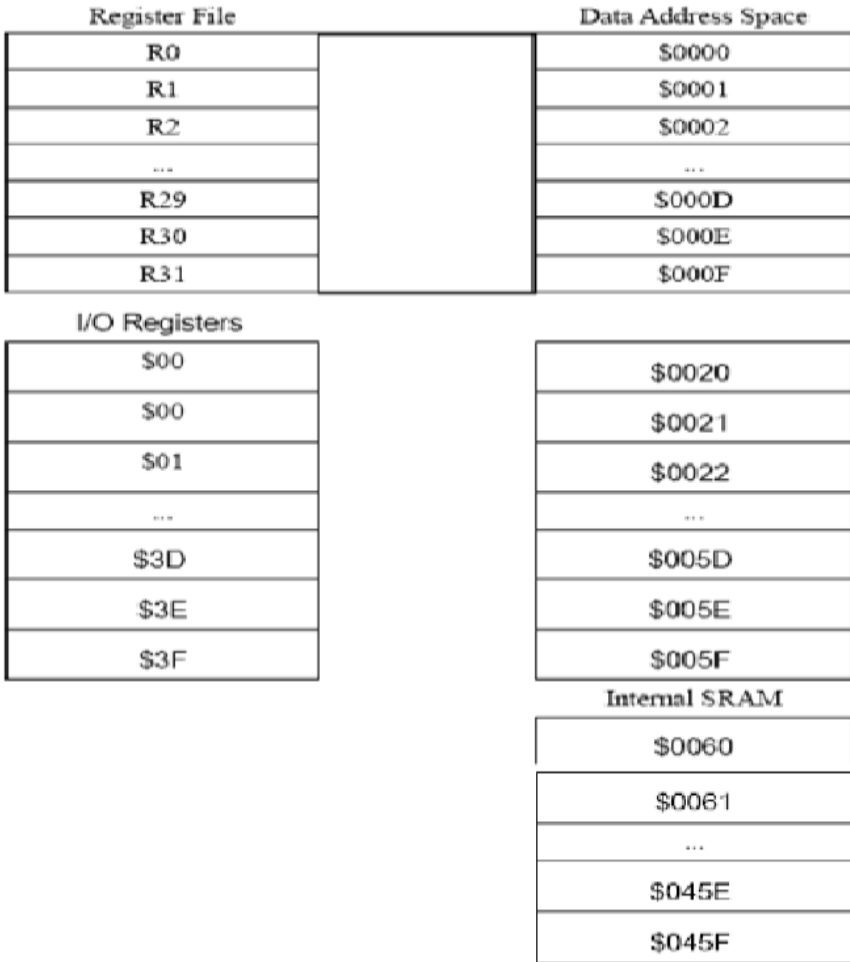


Gambar 6.3 Peta Memori ATmega

### 6.3.2 Memori Data (SRAM)

Memori data AVR ATmega16 terbagi menjadi 3 bagian, yaitu 32 register umum, 64 buah register I/O dan 1 Kbyte SRAM internal. *General purpose register* menempati alamat data terbawah, yaitu \$00 sampai \$1F. Sedangkan memori I/O menempati 64 alamat dan digunakan untuk mengatur fungsi terhadap berbagai fitur mikrokontroler seperti kontrol register, *timer/counter*, fungsi-fungsi I/O, dan sebagainya. 1024 alamat berikutnya mulai dari \$60 hingga \$45F digunakan untuk SRAM internal berikutnya mulai dari \$20 hingga \$5F. Memori I/O merupakan register yang khusus digunakan untuk mengatur

fungsi terhadap berbagai fitur mikrokontroler seperti kontrol register, *timer/counter*, fungsi-fungsi I/O, dan sebagainya. 1024 alamat berikutnya mulai dari \$60 hingga \$45F digunakan untuk SRAM internal.



**Gambar 6.4 Peta Memori Data ATmega16**

### 6.3.3 Memori Data EEPROM

ATmega16 terdiri dari 512 byte memori data EEPROM 8 bit, data dapat ditulis/dibaca dari memori ini, ketika catu daya dimatikan, data terakhir yang ditulis pada memori EEPROM masih tersimpan pada memori ini, atau dengan kata lain memori

EEPROM bersifat *nonvolatile*. Alamat EEPROM mulai dari \$000 sampai \$1FF.

### 6.4 Analog To Digital Converter

AVR ATmega16 merupakan tipe AVR yang telah dilengkapi dengan 8 saluran ADC internal dengan resolusi 10 bit. Dalam mode operasinya, ADC dapat dikonfigurasi, baik *single ended* input maupun *differential* input. Selain itu, ADC ATmega16 memiliki konfigurasi pewaktuan, tegangan referensi, mode operasi, dan kemampuan filter derau (*noise*) yang amat fleksibel sehingga dapat dengan mudah disesuaikan dengan kebutuhan dari ADC itu sendiri. ADC pada ATmega16 memiliki fitur-fitur antara lain :

- Resolusi mencapai 10-bit
- Akurasi mencapai  $\pm 2$  LSB
- Waktu konversi 13-260 $\mu$ s
- 8 saluran ADC dapat digunakan secara bergantian
- Jangkauan tegangan input ADC bernilai dari 0 hingga VCC
- Disediakan 2,56V tegangan referensi internal ADC
- Mode konversi kontinyu atau mode konversi tunggal
- Interupsi ADC complete
- *Sleep Mode Noise canceler*

Proses inialisasi ADC meliputi proses penentuan *clock*, tegangan referensi, format data keluaran, dan modus pembacaan. Register-register yang perlu diatur adalah sebagai berikut:

- ADC Control and Status Register A – ADCSRA

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Gambar 6.5 ADC Control and Status**

Register A – ADCSRA

ADEN : 1 = adc enable, 0 = adc disable

ADCS : 1 = mulai konversi, 0 = konversi belum terjadi

ADATE : 1 = auto trigger diaktifkan, trigger berasal dari sinyal yang dipilih (set pada trigger SFIOR bit ADTS). ADC akan start konversi pada edge positif sinyal trigger.

ADIF : diset ke 1, jika konversi ADC selesai dan data register ter-update.

Namun ADC Conversion Complete Interrupt dieksekusi jika bit ADIE dan bit-I dalam register SREG diset. ADIE : diset 1, jika bit-I dalam register SREG diset.

ADPS[0..2]: Bit pengatur clock ADC, faktor pembagi 0 ... 7 = 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128.

**Tabel 6.1 Konfigurasi Clock ADC**

ADPS2	ADPS1	ADPS0	Division Factor
0	0	0	2
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	32
1	1	0	64
1	1	1	128

• ADC Multiplexer-ADMUX

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Gambar 6.6 ADC Multiplexer**

REFS 0, 1: Pemilihan tegangan referensi ADC

00 : Vref = Aref

01 : vref = AVCC dengan eksternal kapasitor pada AREF

10 : vref = internal 2.56 volt dengan eksternal kapasitor pada AREF ADLAR : Untuk setting format data hasil konversi ADC, default = 0

• Special Function IO Register-SFIOR

SFIOR merupakan register 8 bit pengatur sumber picu konversi ADC, apakah dari picu eksternal atau dari picu internal, susunannya seperti yang terlihat pada Gambar 6.7 berikut :

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADTS2	ADTS1	ADTS0	ADHSM	ACME	PUD	PSR2	PSR10	SFIOR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Gambar 6.7 Register SFIOR**

ADTS[0...2]: Pemilihan trigger (pengatur picu) untuk konversi ADC, bit-bit ini akan berfungsi jika bit ADATE pada register ADCSRA bernilai 1. Konfigurasi bit ADTS[0...2] dapat dilihat pada Tabel 6.2.

**Tabel 6.2 Pemilihan sumber picu ADC**

ADTS2	ADTS1	ADTS0	Trigger Source
0	0	0	Free Running mode
0	0	1	Analog Comparator
0	1	0	External Interrupt Request 0
0	1	1	Timer/Counter0 Compare Match
1	0	0	Timer/Counter0 Overflow
1	0	1	Timer/Counter Compare Match B
1	1	0	Timer/Counter1 Overflow
1	1	1	Timer/Counter1 Capture Event

ADHSM : 1. ADC *high speed mode enabled*. Untuk operasi ADC, bit ACME, PUD, PSR2 dan PSR10 tidak diaktifkan.

## **6.5 Bahasa C**

Bahasa BCPL yang dikerjakan oleh Martin Richards pada tahun 1967 merupakan awal dari lahirnya bahasa C. Ken Thompson memulai pengembangan bahasa BCPL yaitu bahasa B pada tahun 1970. Perkembangan selanjutnya dari bahasa B dikembangkan menjadi bahasa C oleh Dennis Ritchie beberapa bulan berikutnya di Bell Telephone Laboratories Inc. (sekarang AT&T Bell Laboratories).

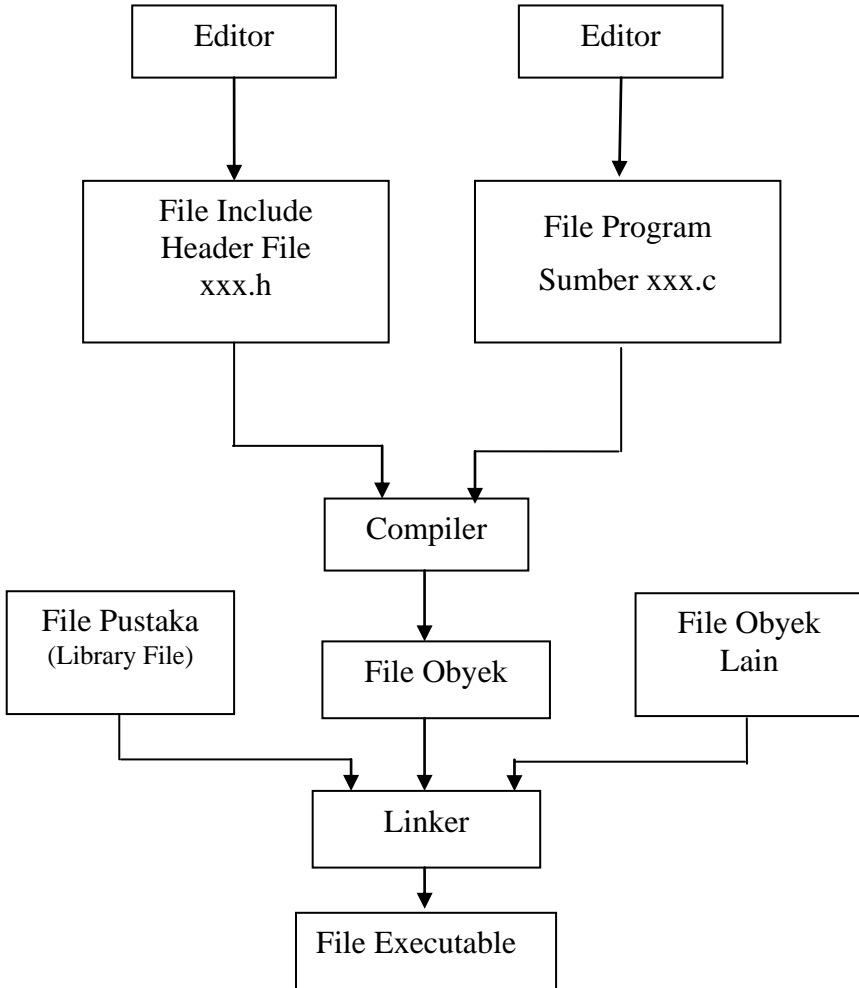
Beberapa alasan mengapa Bahasa C banyak digunakan, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Bahasa C hampir tersedia di semua jenis komputer
2. Bahasa C adalah bahasa yang terstruktur
3. Memiliki dukungan pustaka yang banyak
4. Proses eksekusi program lebih cepat
5. Kode Bahasa C sifatnya adalah portable dan fleksibel untuk semua jenis komputer.
6. Bahasa C hanya menyediakan sedikit kata-kata kunci, hanya terdapat 32 kata kunci.

### **6.5.1 Kompilasi Program C**

Agar suatu program dalam bahasa pemrograman dapat dimengerti oleh komputer, program harus diterjemahkan dahulu ke dalam kode mesin. Adapun penerjemah yang digunakan biasa berupa interpreter atau kompilator. Interpreter suatu jenis penerjemah yang menerjemahkan baris per baris instruksi untuk setiap saat.

Proses awal dari bentuk program sumber C (source program, yaitu program yang ditulis dalam bahasa C) hingga menjadi program yang executable (dapat dieksekusi secara langsung) ditunjukkan pada Gambar 6.8 di bawah.



**Gambar 6.8 Kompilasi Linking dari program C**

### 6.5.2 Tipe Data Bahasa C

Tipe data merupakan bagian yang paling penting karena tipe data mempengaruhi seriap instruksi yang akan dilaksanakan oleh komputer. Misalnya saja 5 dibagi 2 bisa saja memberikan hasil yang berbeda tergantung pada tipe datanya. Jika 5 dan 2 bertipe *integer*, akan menghasilkan nilai 2. Namun jika keduanya bertipe *float* maka akan memberikan nilai 2.5000000. Pemilihan tipe data yang tepat akan membuat proses operasi data menjadi lebih efisien. Tipe data pada bahasa C dapat dilihat pada Tabel 6.3.



Tabel 6.3 Tipe data bahasa C

Type Data	Ukuran (byte)	Format	Keterangan
char	1	%c	Karakter / String
int	2	%i %d	Bilangan Bulat ( <i>integer</i> )
float	4	%f	Bilangan pecahan ( <i>float</i> )
double	8	%lf	Pecahan presisi ganda

### 6.5.3 Perangkat Lunak Mikrokontroler ATmega16

Sebuah mikrokontroler tidak akan bekerja bila tidak diberikan program untuk diisikan ke dalam mikrokontroler tersebut. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini akan digunakan perangkat lunak CodeVisionAVR sebagai media penghubung antara program yang akan diisikan ke mikrokontroler ATmega16 yang menggunakan bahasa C.

Pemrograman mikrokontroler AVR dapat menggunakan *low level language* (assembly) dan *high level language* (C, Basic, Pascal, JAVA, dll) tergantung *compiler* yang digunakan. Bahasa Assembler pada mikrokontroler AVR memiliki kesamaan instruksi, sehingga jika telah menguasai pemrograman satu jenis mikrokontroler AVR, maka akan dengan mudah untuk memprogram mikrokontroler AVR jenis lain, tetapi bahasa assembler relatif lebih sulit dipelajari daripada bahasa C, untuk pembuatan suatu proyek yang besar akan memakan waktu yang lama, serta penulisan programnya akan panjang. Sedangkan bahasa C memiliki keunggulan dibandingkan bahasa *assembly* yaitu penyusunan program akan lebih sederhana dan mudah pada proyek yang lebih besar. Bahasa C hampir bisa melakukan semua operasi yang dapat dikerjakan oleh bahasa mesin.

CodeVision AVR pada dasarnya merupakan perangkat lunak pemrograman mikrokontroler keluarga AVR berbasis bahasa C. Ada tiga komponen penting yang telah diintegrasikan dalam perangkat lunak ini: *Compiler* C, IDE dan program generator.

Berdasarkan spesifikasi yang dikeluarkan oleh perusahaan pengembangnya, *Compiler C* yang digunakan hampir mengimplementasikan semua komponen standar yang ada pada bahasa C standar ANSI (seperti struktur program, jenis tipe data, jenis operator, dan *library* fungsi standar berikut penamaannya). Tetapi walaupun demikian, dibandingkan bahasa C untuk aplikasi komputer, *compiler C* untuk mikrokontroler ini memiliki sedikit perbedaan yang disesuaikan dengan arsitektur AVR tempat program C tersebut ditanamkan (*embedded*).

Khusus untuk *library* fungsi, disamping *library* standar (seperti fungsi-fungsi matematik, manipulasi *string*, pengaksesan memori dan sebagainya), CodeVision AVR juga menyediakan fungsi-fungsi tambahan yang sangat bermanfaat dalam pemrograman antarmuka AVR dengan perangkat luar yang umum digunakan dalam aplikasi kontrol. Beberapa fungsi *library* yang penting diantaranya adalah fungsi-fungsi untuk pengaksesan LCD, komunikasi I2C, IC RTC (*Real time Clock*), sensor suhu, SPI (*Serial Peripheral Interface*) dan lain sebagainya.

Untuk memudahkan pengembangan program aplikasi, CodeVisionAVR juga dilengkapi IDE yang sangat *user friendly*. Selain menu-menu pilihan yang umum dijumpai pada setiap perangkat lunak berbasis Windows, CodeVisionAVR ini telah mengintegrasikan perangkat lunak *downloader* yang bersifat *In System Programmer* yang dapat digunakan untuk mentransfer kode mesin hasil kompilasi ke dalam sistem memori mikrokontroler AVR yang sedang diprogram.

CodeVisionAVR juga menyediakan sebuah fitur yang dinamakan dengan *Code Generator* atau CodeWizardAVR. Secara praktis, fitur ini sangat bermanfaat membentuk sebuah kerangka program (*template*), dan juga memberi kemudahan bagi *programmer* dalam peng-inisialisasian register-register yang terdapat pada mikrokontroler AVR yang sedang diprogram. Dinamakan *Code Generator*, karena perangkat lunak CodeVision ini akan membangkitkan kode-kode program secara otomatis setelah fase inisialisasi pada jendela CodeWizardAVR selesai dilakukan. Secara teknis, penggunaan fitur ini pada dasarnya hampir sama dengan *application wizard* pada bahasa-bahasa pemrograman visual untuk komputer seperti Visual C, Borland Delphi, dan sebagainya.

## 6.6 Komunikasi USARTs

Komunikasi USARTs (*Universal Synchronous Asynchronous receiver Transmitter*) atau komunikasi data serial sangat berbeda

dengan format pemindahan data paralel. Disini, pengiriman bit-bit tidak dilakukan sekaligus melalui saluran paralel, tetapi setiap bit dikirimkan satu persatu melalui saluran tunggal. Dalam pengiriman data secara serial harus ada sinkronisasi atau penyesuaian antara pengirim dan penerima agar data yang dikirimkan dapat diterima dengan tepat dan benar oleh penerima. Salah satu mode transmisi dalam komunikasi serial adalah mode asinkron. Transmisi mode serial ini digunakan apabila pengiriman data dilakukan satu karakter tiap pengiriman. Antara satu karakter dengan yang lainnya tidak ada waktu antara yang tetap. Karakter dapat dikirimkan sekaligus ataupun beberapa karakter kemudian berhenti untuk waktu yang tidak tentu, kemudian dikirimkan sisanya. Dengan demikian bit-bit data ini dikirimkan dengan periode yang acak sehingga pada sisi penerima data akan diterima kapan saja. Adapun sinkronisasi yang terjadi pada mode transmisi ini adalah dengan memberikan bit-bit penanda awal dari data dan penanda akhir dari data pada sisi pengirim maupun dari sisi penerima. Format data komunikasi serial terdiri dari parameter-parameter yang dipakai untuk menentukan bentuk data serial yang dikomunikasikan, dimana elemen-elemennya terdiri dari :

1. Kecepatan mobilisasi data per bit (baud rate)
2. Jumlah bit data per karakter (data length)
3. Parity yang digunakan
4. Jumlah stop bit dan start bit

Komunikasi serial menggunakan RS232 untuk berhubungan dengan perangkat lainnya. Seperti yang terlihat pada Tabel 6.8, RS232 mempunyai 9 pin.

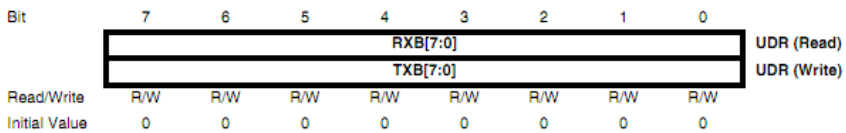
**Tabel 6.4 Fungsi masing-masing pena RS232**

RS232 Pin Assignments (DB9 PC signal set)	
Pena 1	Receive Line Signal Detector (Data Carrier)
Pena 2	Receive Data
Pena 3	Transmit Data
Pena 4	Data Terminal Ready
Pena 5	Signal Ground
Pena 6	Data Set Ready
Pena 7	Request To Send
Pena 8	Clear To Send
Pena 9	Ring Indicator

Pada mikrokontroler AVR untuk mengaktifkan dan mengatur komunikasi USART dilakukan dengan cara mengaktifkan register-register yang digunakan untuk komunikasi USART. Register-register yang digunakan untuk komunikasi USART antara lain:

**1. USART I/O Data Register (UDR)**

UDR merupakan register 8 bit yang terdiri dari 2 buah dengan alamat yang sama, yang digunakan sebagai tempat untuk menyimpan data yang akan dikirimkan (TXB) atau tempat data diterima (RXB) sebelum data tersebut dibaca.



**Gambar 6.8 Bit-bit Register UDR**

## 2. USART Control and Status Register A (UCSRA)

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X	MPCM	UCSRA
Read/Write	R	R/W	R	R	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	1	0	0	0	0	0	

**Gambar 6.9 Bit-bit Register UCSRA**

Penjelasan bit penyusun UCSRA seperti yang terlihat pada Gambar 6.9:

- **RXC (USART Receive Complete)**  
Bit ini akan set ketika data yang masuk ke dalam UDR belum dibaca dan akan berlogika nol ketika sudah dibaca. Flag ini dapat digunakan untuk membangkitkan interupsi RX jika diaktifkan dan akan berlogika nol secara otomatis bersamaan dengan eksekusi vektor interupsi yang bersangkutan.
- **TXC (USART Transmit Complete)**  
Bit ini akan set ketika data yang dikirim telah keluar. Flag ini akan membangkitkan interupsi TX jika diaktifkan dan akan clear secara otomatis bersamaan dengan eksekusi vektor interupsi yang bersangkutan
- **UDRE (USART Data Register Empty)**  
Flag ini sebagai indikator isi UDR. Jika bernilai satu maka UDR dalam keadaan kosong dan siap menerima data berikutnya, jika flag bernilai nol berarti sebaliknya.
- **FE (Frame Error)**  
Bit ini sebagai indikator ketika data yang diterima error, misalnya ketika stop bit pertama data dibaca berlogika nol maka bit FE bernilai satu. Bit akan bernilai 0 ketika stop bit data yang diterima berlogika nol.
- **DOR (Data OverRun)**  
Bit ini berfungsi untuk mendeteksi jika ada data yang tumpang tindih. Flag akan bernilai satu ketika terjadi tumpang tindih data.

- **PE (Parity Error)**

Bit yang menentukan apakah terjadi kesalahan paritas. Bit ini berfungsi jika ada kesalahan paritas. Bit akan berlogika satu ketika terjadi bit parity error apabila bit paritas digunakan.

- **U2X (Double the USART Transmission Speed)**

Bit yang berfungsi untuk menggandakan laju data menjadi dua kalinya. Hanya berlaku untuk modus asinkron, untuk mode sinkron bit ini diset nol.

- **MPCM (Multi Processor Communication Mode)**

Bit untuk mengaktifkan modus multi prosesor, dimana ketika data yang diterima oleh USART tidak mengandung informasi alamat akan diabaikan

### 3. USART Control and Status Register B (UCSRB)

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	<b>RXCIE</b>	<b>TXCIE</b>	<b>UDRIE</b>	<b>RXEN</b>	<b>TXEN</b>	<b>UCSZ2</b>	<b>RXB8</b>	<b>TXB8</b>	UCSRB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Gambar 6.10 Bit-bit Register UCSRB**

Gambar 6.10 menunjukkan bit penyusun UCSRB. Penjelasan bit penyusun UCSRB:

- **RXCIE (RX Complete Interrupt Enable)**

Bit pengatur aktivasi interupsi penerimaan data serial, akan berlogika satu jika diaktifkan dan berlogika nol jika dinonaktifkan.

- **TXCIE (TX Complete Interrupt Enable)**

Bit pengatur aktivasi pengiriman data serial, akan berlogika satu jika diaktifkan dan berlogika nol jika dinonaktifkan.

- **UDRIE (USART Data Register Empty Interrupt Enable) :**

Bit ini berfungsi untuk mengaktifkan interupsi data register kosong, berlogika satu jika diaktifkan dan sebaliknya.

- **RXEN (Receiver Enable)**

Bit ini berfungsi untuk mengaktifkan pena RX saluran USART. Ketika pena diaktifkan maka pena tersebut tidak dapat

digunakan untuk fungsi pena I/O karena sudah digunakan sebagai saluran penerima USART.

- **TXEN (Transmitter Enable)**

Bit ini berfungsi untuk mengaktifkan pena TX saluran USART. Ketika pena diaktifkan maka pena tersebut tidak dapat digunakan untuk fungsi pena I/O karena sudah digunakan sebagai saluran pengirim USART.

- **UCSZ2 (Character Size)**

Bit ini bersama dengan UCSZ1 dan UCSZ0 dalam register UCSRC digunakan untuk memilih tipe lebar data bit yang digunakan.

- **RXB8 (Receive Data Bit 8)**

Bit ini digunakan sebagai bit ke-8 ketika menggunakan format data 9-10 bit, dan bit ini harus dibaca dahulu sebelum membaca UDR.

- **TXB8 (Transmit Data Bit 8)**

Bit ini digunakan sebagai bit ke-8 ketika menggunakan format data 9-10 bit, dan bit ini harus ditulis dahulu sebelum membaca UDR.

#### 4. USART CONTROL AND STATUS REGISTER C (UCSRC)

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL	UCSRC
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	1	0	0	0	0	1	1	0	

Gambar 6.11 Bit-bit Register UCSRC

Gambar 6.11 menunjukkan bit penyusun UCSRB. Penjelasan bit penyusun UCSRC:

- **URSEL (Register Select) :**

Bit ini berfungsi untuk memilih register UCSRC dengan UBBRH, dimana untuk menulis atau membaca register UCSRC maka bit harus berlogika satu.

- **UMSEL (USART Mode Select)**

Bit pemilih mode komunikasi serial antara sinkron dan asinkron. Pengaturan bit UMSEL dapat dilihat pada Tabel 6.9.

**Tabel 6.9 Pengaturan bit UMSEL**

UMSEL	Mode
0	Asynchronous Operation
1	Synchronous Operation

- **UPM[1...0] (Parity Mode)**

Bit ini berfungsi untuk memilih mode paritas bit yang akan digunakan. Transmitter USART akan membuat paritas yang akan digunakan secara otomatis.

- **USBS (Stop Bit Select)**

Bit yang berfungsi untuk memilih jumlah stop bit yang akan digunakan.

- **UCSZ1 dan UCSZ0 : merupakan bit pengatur jumlah karakter serial**

Bit yang berfungsi untuk memilih lebar data yang digunakan dikombinasikan dengan bit UCSZ2 dalam register UCSRB. Bit pengatur Ukuran Karakter dapat dilihat pada Tabel 6.10.

**Tabel 6.10 Bit Pengatur Ukuran Karakter**

UCSZ2	UCSZ1	UCSZ0	Character Size
0	0	0	5-bit
0	0	1	6-bit
0	1	0	7-bit
0	1	1	8-bit
1	0	0	Reserved
1	0	1	Reserved
1	1	0	Reserved
1	1	1	9-bit

- **UCPOL (Clock Parity) :**

Bit yang berguna hanya untuk modus sinkron. Bit ini berhubungan dengan perubahan data keluaran dan sampel masukan, dan clock sinkron (XCK).

•



*This page is intentionally left blank*

# BAB VII.

## SOLAR PANEL

### 7.1 Apa itu Solar Panel

Sel surya atau juga sering disebut fotovoltaik adalah perangkat yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. Sel surya bisa disebut sebagai pemeran utama untuk memaksimalkan potensi sangat besar energi cahaya matahari yang sampai ke bumi, walaupun selain dipergunakan untuk menghasilkan listrik, energi dari matahari juga bisa dimaksimalkan energi panasnya melalui sistem solar thermal.

Sel surya dapat dianalogikan sebagai perangkat dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial menghasilkan tegangan dc sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus short-circuit dalam skala milliampere per cm<sup>2</sup>. Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28-36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan dc sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar (Air Mass 1.5). Modul surya tersebut bisa digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. Gambar dibawah menunjukkan ilustrasi dari modul surya.

Pada umumnya, *solar cell* merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap photon dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel surya tersebut dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Pada sel surya terdapat sambungan (*function*) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing - masing yang diketahui sebagai semikonduktor jenis "P" (positif) dan semikonduktor jenis "N" (Negatif). Silikon jenis P merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus

langsung mencapai *junction*. Bagian P ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif. Dibawah bagian P terdapat bagian jenis N yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negatif.

## 7.2 Semikonduktor dan Sel Surya

Sebuah semikonduktor adalah sebuah elemen dengan kemampuan listrik di antara sebuah konduktor dan isolator. Sel surya adalah suatu perangkat yang memiliki kemampuan mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan mengikuti prinsip *photovoltaic*, adanya energi dari cahaya (foton) pada panjang gelombang tertentu akan mengeksitasi sebagian elektron pada suatu material ke pita energi yang ditemukan oleh Alexandre Edmond Becquerel (Belgia) pada 1894. Efek ini dapat timbul terutama pada semikonduktor listrik yang memiliki konduktivitas menengah dikarenakan sifat elektron di dalam material yang terpisah dalam pita-pita energi tertentu yang disebut pita konduksi dan pita valensi.

Kedua pita energi tersebut berturut-turut dari yang berenergi lebih rendah adalah pita valensi dan pita konduksi, sedangkan keadaan tanpa elektron disebut dengan celah pita. Celah pita ini besarnya berbeda-beda untuk setiap material semikonduktor, tapi disyaratkan tidak melebihi 3 atau 4 eV ( $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$ ).

Berdasarkan teori Maxwell tentang radiasi elektromagnetik, cahaya dapat dianggap sebagai spektrum gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang berbeda. Pendekatan yang berbeda dijabarkan oleh Einstein bahwa efek *photovoltaic* mengindikasikan cahaya merupakan partikel diskrit atau quanta energi. Dualitas cahaya sebagai partikel dan gelombang dirumuskan dengan persamaan :

$$E = \frac{h.c}{\lambda} \dots\dots\dots (7.1)$$

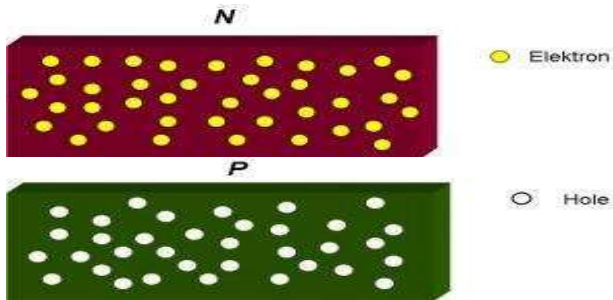
## 7.3 Proses Konversi Solar Cell

Proses pengubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor. Lebih tepatnya tersusun atas dua jenis semikonduktor, yakni jenis n dan jenis p. Semikonduktor jenis n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif, (n = negatif). Sedangkan

semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan p (p = positif) karena kelebihan muatan positif.

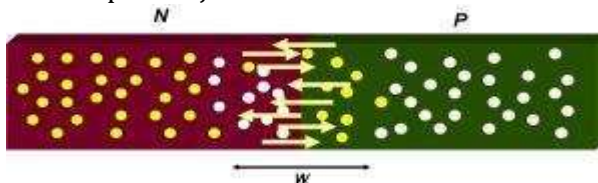
Pada awalnya, pembuatan dua jenis semikonduktor ini dimaksudkan untuk meningkatkan tingkat konduktifitas atau tingkat kemampuan daya hantar listrik dan panas semikonduktor alami. Di dalam semikonduktor alami ini, elektron maupun hole memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron atau *hole* dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor. Dua jenis semikonduktor n dan p ini jika disatukan akan membentuk sambungan p-n atau dioda p-n. Istilah lain menyebutnya dengan sambungan metalurgi (*metallurgical junction*) yang dapat digambarkan sebagai berikut.

- a. Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung.



**Gambar 7.1 Semikonduktor jenis p dan n Sebelum Disambung**

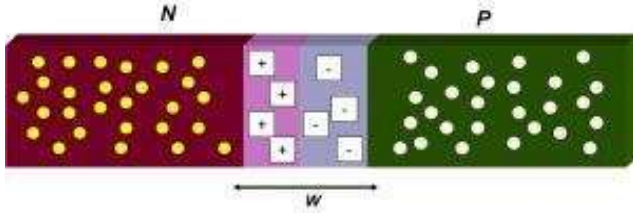
- b. Sesaat setelah dua jenis semikonduktor ini disambung, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p, dan perpindahan *hole* dari semikonduktor p menuju semikonduktor n.



**Gambar 7.2 Perpindahan elektron dan hole pada semikonduktor**

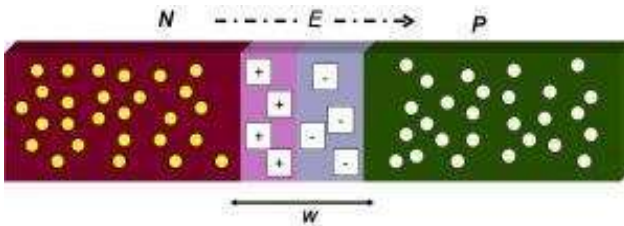
- c. Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan hole pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah *hole* pada semikonduktor p akan berkurang. Daerah ini akhirnya

berubah menjadi lebih bermuatan negatif. Pada saat yang sama, hole dari semikonduktor p bersatu dengan elektron yang ada pada semikonduktor n yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif.



**Gambar 7.3 Hasil muatan positif dan negatif pada semikonduktor**

- d. Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (*depletion region*) ditandai dengan huruf W.
- e. Baik elektron maupun *hole* yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (*minority charge carriers*) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda.
- f. Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali *hole* ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan *hole* maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi.

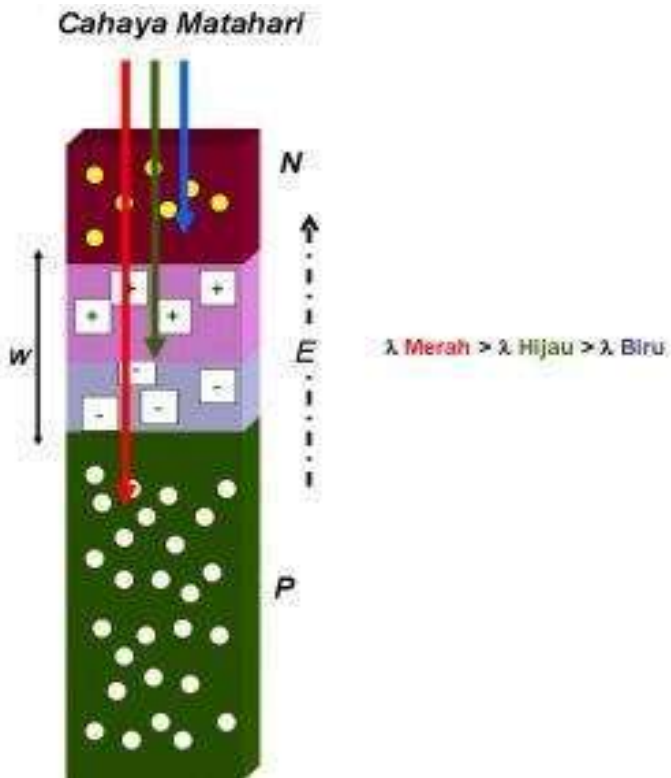


**Gambar 7.4 Timbulnya Medan Listrik Internal E**

- g. Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan pn berada pada titik setimbang, yakni saat di mana jumlah hole yang

berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah *hole* yang tertarik kembali ke arah semikonduktor p akibat medan listrik E. Begitu pula dengan jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p, dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan medan listrik E.

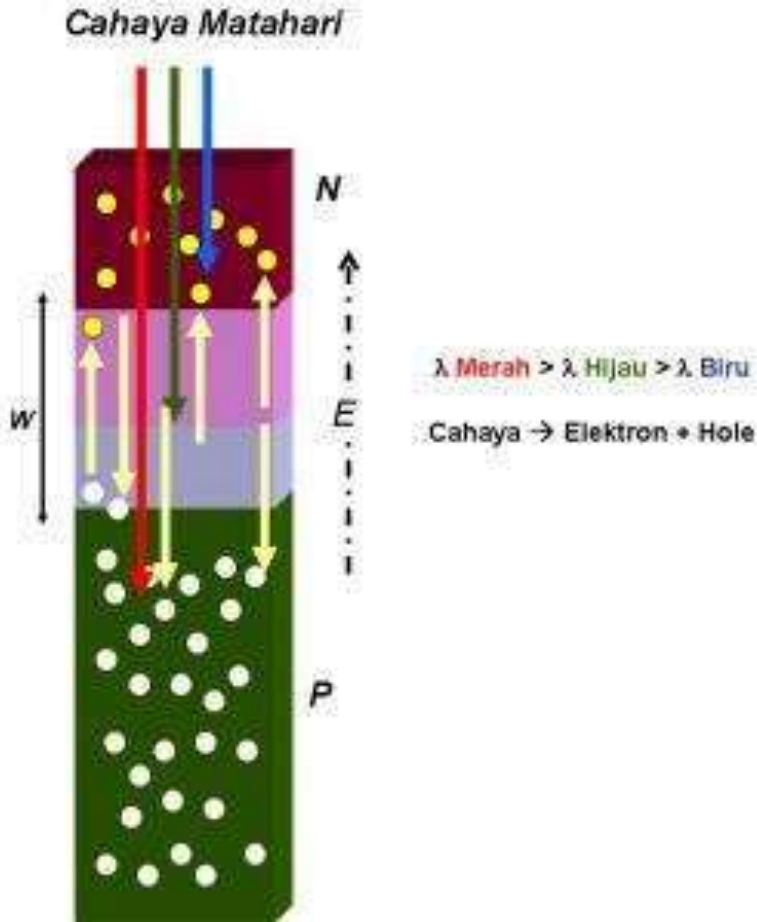
Pada sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor p.



**Gambar 7.5 Sambungan Semikonduktor Terkena Cahaya Matahari**

Ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk

melepaskan dirinya dari semikonduktor n, daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan *hole* pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi electron hole yakni, terbentuknya pasangan elektron dan *hole* akibat cahaya matahari.



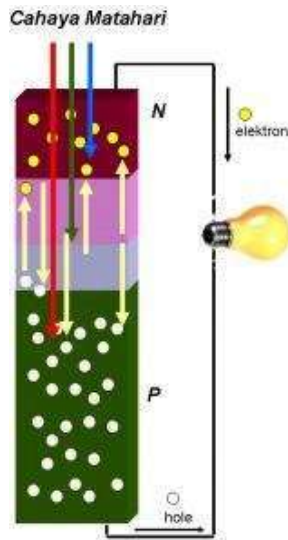
**Gambar 7.6 Sambungan Semikonduktor Ditembus Cahaya Matahari**

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol "lamda" sebagian di gambar atas) yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan pn berada pada bagian sambungan pn yang berbeda pula. Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang, mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor p yang

akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi di sana. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n.

Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik  $E$ , elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n, begitu pula dengan *hole* yang tertarik ke arah semikonduktor p.

Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron.



**Gambar 7.7 Kabel Dari Sambungan Semikonduktor Dihungkan Ke Lampu**

Pada alat ini *solar cell* digunakan sebagai sumber energi pengganti listrik untuk mengisi ulang baterai sekunder (*charger*) yang digunakan untuk menghidupkan portal parkir otomatis. Dan untuk mengetahui daya yang dihasilkan dari *solar cell* pada saat pengisian baterai langsung digunakan rumus :

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots (7.2)$$

Keterangan :

$$P = \text{daya (dalam watt ,W)}$$

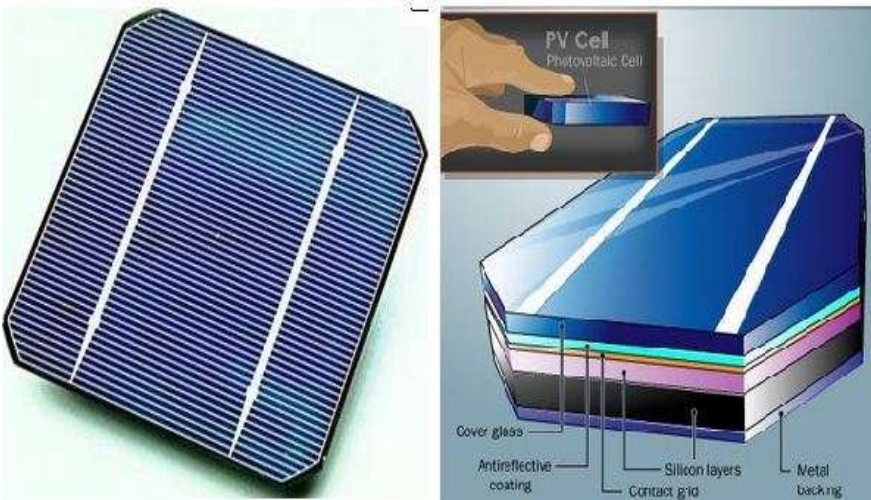


$V = \text{ggl (dalam volt, V)}$

$I = \text{arus (dalam Ampere, A)}$

#### 7.4 Struktur Sel Surya

Sesuai dengan perkembangan sains&teknologi, jenis-jenis teknologi sel surya pun berkembang dengan berbagai inovasi. Ada yang disebut sel surya generasi satu, dua, tiga dan empat, dengan struktur atau bagian-bagian penyusun sel yang berbeda pula. Dalam hal ini struktur dan cara kerja dari sel surya yang umum berada dipasaran saat ini yaitu sel surya berbasis material silikon yang juga secara umum mencakup struktur dan cara kerja sel surya generasi pertama (sel surya silikon) dan kedua (thin film/lapisan tipis).



**Gambar 7.8 Struktur sel Surya menggunakan silikon**

Gambar 7.8 diatas menunjukkan ilustrasi sel surya dan juga bagian-bagiannya. Secara umum terdiri dari :

1. Substrat/Metal backing

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum. Untuk sel surya dye-sensitized (DSSC) dan sel surya organik, substrat

juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya sehingga material yang digunakan yaitu material yang konduktif tapi juga transparan seperti indium tin oxide (ITO) dan flourine doped tin oxide (FTO).

## 2. Material semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Untuk kasus gambar diatas, semikonduktor yang digunakan adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik. Sedangkan untuk sel surya lapisan tipis, material semikonduktor yang umum digunakan dan telah masuk pasaran yaitu contohnya material  $\text{Cu(In,Ga)(S,Se)}_2$  (CIGS), CdTe (kadmium telluride), dan amorphous silikon, disamping material-material semikonduktor potensial lain yang dalam sedang dalam penelitian intensif seperti  $\text{Cu}_2\text{ZnSn(S,Se)}_4$  (CZTS) dan  $\text{Cu}_2\text{O}$  (copper oxide). Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari junction atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p (material-material yang disebutkan diatas) dan tipe-n (silikon tipe-n, CdS,dll) yang membentuk p-n junction. P-N junction ini menjadi kunci dari prinsip kerja sel surya. Pengertian semikonduktor tipe-p, tipe-n, dan juga prinsip p-n junction dan sel surya akan dibahas dibagian “cara kerja sel surya”.

## 3. Kontak metal / contact grid

Selain substrat sebagai kontak positif, diatas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

## 4. Lapisan antireflektif

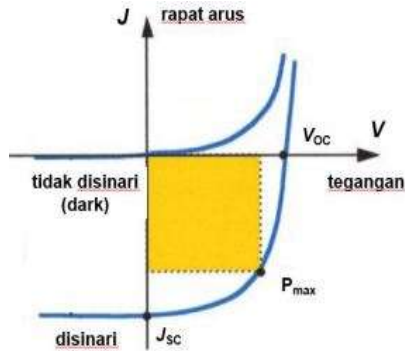
Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali.

5. Enkapsulasi / cover glass

Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran.

7.5 Pengukuran Performansi Sel Surya

Performansi dari sel surya umumnya direpresentasikan dalam efisiensi. Efisiensi ini sering dijadikan acuan untuk menilai kualitas suatu sel surya dibandingkan dengan sel surya yang lain untuk perbandingan efisiensi beberapa jenis sel surya). Efisiensi didefinisikan sebagai rasio dari output energy sel surya terhadap input energy dari matahari. Besaran efisiensi ini juga bergantung dari intensitas spectrum matahari dan juga temperatur dari sel surya, sehingga umumnya untuk pengukuran efisiensi dalam kondisi standar, spectrum cahaya AM 1.5 yang di simulator menggunakan dari solar simulator dan temperatur sel surya 25°C digunakan pada saat pengukuran.



Gambar 7.9 . Kurva J-V sel surya

Untuk menentukan efisiensi, terlebih dahulu dilakukan pengukuran hubungan rapat arus - tegangan ( $J-V$ ) yang membentuk kurva seperti pada Gambar 7.9 diatas. Pengukuran biasanya dilakukan dalam kondisi tersinari dan juga kondisi tidak tersinari. Rapat arus  $J_{sc}$ , tegangan open circuit  $V_{oc}$ , dan *Fill Factor* ( $FF$ ) adalah tiga parameter yang menentukan kualitas suatu sel surya. Rapat arus short circuit ( $J_{sc}$ ) dan tegangan open-circuit ( $V_{oc}$ ) didefinisikan sebagai arus dan tegangan maksimum yang bisa di didapat dari sel surya. Daya sel surya mencapai maksimum ( $P_{max}$ ) pada saat kondisi  $J_m$  dan  $V_m$ . *Fill Factor* ( $FF$ ) didefinisikan sebagai rasio sebagai berikut

$$FF = \frac{J_m \cdot V_m}{J_{sc} \cdot V_{oc}} \dots\dots\dots (7.3)$$

Efisiensi dari sel surya adalah rasio dari daya maksimum terhadap daya input cahaya datang,  $P_s$ ,

$$\eta = \frac{J_m \cdot V_m}{P_s} \dots\dots\dots (7.4)$$

Sehingga efisiensi juga bisa direpresentasikan sebagai

$$\eta = \frac{J_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{P_s} \dots\dots\dots (7.5)$$

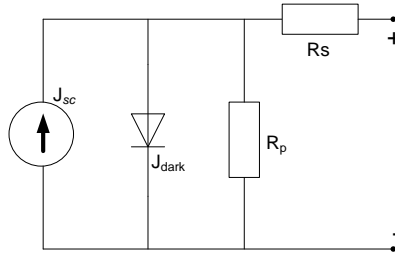
Tabel 7.1 dibawah menunjukkan kompilasi dari efisiensi,  $J_{sc}$ ,  $V_{oc}$ , dan  $FF$  dari berbagai jenis sel surya sebagai gambaran korelasi antar berbagai parameter tersebut.

**Tabel 7.1 Jenis Sel Surya dan Efisiensinya**

Jenis Sel Surya	Efisiensi (%)	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	Voc (V)	FF (%)
Crystalline Silicon	25	42,7	0,706	82,8
GaAs	28,8	29,68	1,122	86,5
CiGS	19,6	34,8	0,713	79,2
Dye-Sensitized	11,9	22,47	0,744	71,2
Organik	10,7	17,75	0,872	68,9

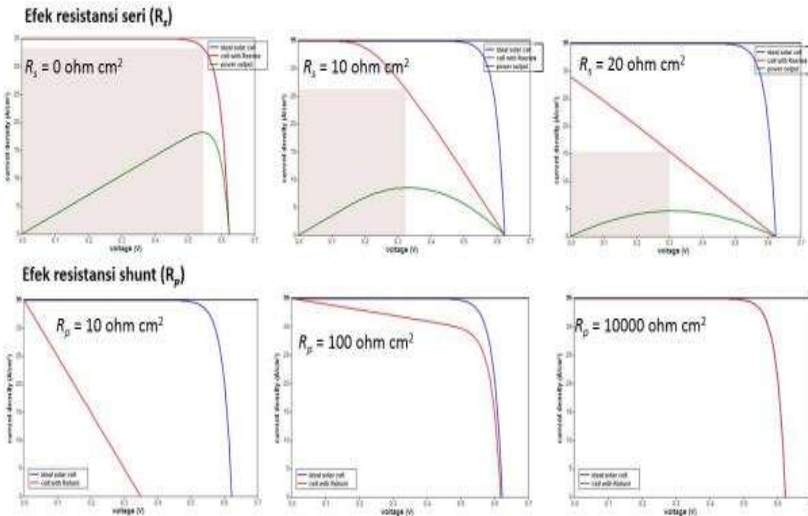
## 7.6 Efek Resistansi Terhadap Kurva $J$ - $V$ Sel Surya

Sel surya dianalogikan dalam rangkaian listrik seperti pada Gambar 7.10, yang terdiri dari sumber arus yang menghasilkan rapat arus maksimum ( $J_{sc}$ ), arus dalam kondisi tidak tersinari yang mengalir berlawanan arah ( $J_{dark}$ ), resistansi seri ( $R_s$ ) yang disebabkan resistansi dari komponen - komponen di sel surya, dan resistansi shunt ( $R_p$ ) yang diakibatkan adanya arus bocor akibat tidak sempurnanya struktur material (contohnya adanya lubang-lubang di material).



**Gambar 7.10 . Rangkaian listrik sel surya**

Besaran  $R_s$  dan  $R_p$  mempengaruhi nilai  $J_{sc}$ ,  $V_{oc}$ , atau  $FF$ , sehingga umumnya dijadikan parameter evaluasi untuk mencari tahu penyebab rendahnya performansi suatu sel surya. Secara umum sel surya yang ideal mempunyai  $R_s$  yang serendah mungkin dan  $R_p$  yang sebesar mungkin. Gambar 7.11 dibawah menunjukkan efek besar  $R_s$  dan  $R_p$  terhadap kurva  $J-V$  sel surya.

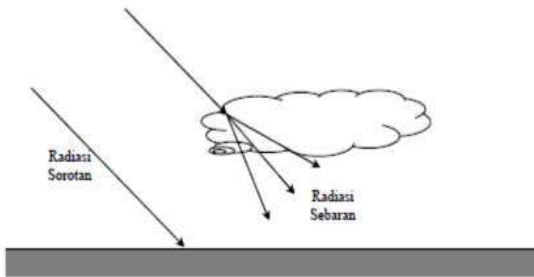


**Gambar 7.11 Efek resistansi seri dan resistansi shunt terhadap kurva  $J - V$  sel surya**

Efisiensi maksimum suatu sel surya juga ditentukan oleh material apa yang digunakan sebagai material aktif sel surya tersebut. Material yang ideal harus mempunyai koefisien absorpsi cahaya yang tinggi agar cahaya yang datang bisa terserap secara signifikan, mempunyai energi gap (*band gap*) yang tepat untuk memaksimalkan absorpsi spektrum cahaya yang luas, dan juga harus membentuk junction P - N yang baik dengan material tipe N yang tepat.

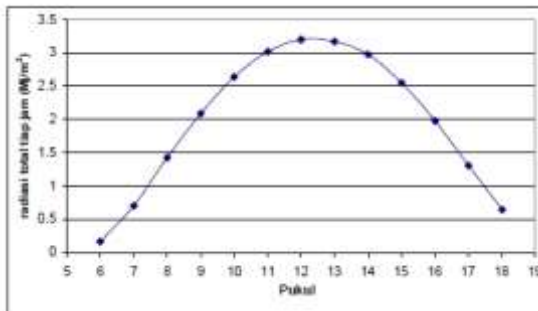
## 7.7 Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi

Konstanta radiasi matahari sebesar  $1353 \text{ W/m}^2$  dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang-gelombang pendek (ultraviolet) sedangkan karbon dioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipencarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi yang disebut sebagai radiasi sebaran.



**Gambar 7.12 Radiasi sorotan dan radiasi sebaran yang mengenai permukaan bumi**

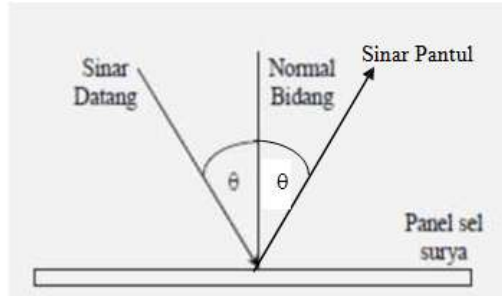
Besarnya radiasi harian yang diterima permukaan bumi ditunjukkan pada grafik Gambar 7.13. Pada waktu pagi dan sore radiasi yang sampai permukaan bumi intensitasnya kecil. Hal ini disebabkan arah sinar matahari tidak tegak lurus dengan permukaan bumi (membentuk sudut tertentu) sehingga sinar matahari mengalami peristiwa difusi oleh atmosfer bumi.



**Gambar 7.13 Grafik besar radiasi harian matahari yang mengenai permukaan bumi**

### 7.8 Pengaruh Sudut Datang Terhadap Radiasi yang diterima

Besarnya radiasi yang diterima panel sel surya dipengaruhi oleh sudut datang (*angle of incidence*) yaitu sudut antara arah sinar datang dengan komponen tegak lurus bidang panel.



**Gambar 7.14** Arah sinar datang membentuk sudut terhadap normal bidang panel sel surya

Panel akan mendapat radiasi matahari maksimum pada saat matahari tegak lurus dengan bidang panel. Pada saat arah matahari tidak tegak lurus dengan bidang panel atau membentuk sudut  $\theta$  seperti Gambar 7.14 maka panel akan menerima radiasi lebih kecil dengan faktor  $\cos \theta$ .

$$I_r = I_{r0} \cos \theta \dots\dots\dots (7.6)$$

Dimana :

$I_r$  = Radiasi yang diserap panel

$I_{r0}$  = Radiasi yang mengenai panel

$\theta$  = Sudut antara sinar datang dengan normal bidang panel

•

# BAB VIII.

## PROSES PERPINDAHAN PANAS

### 8.1 Perpindahan Panas (Heat Transfer)

Panas sering diartikan dengan kalor yang dihasilkan, jadi perpindahan kalor dari suatu zat ke zat lain seringkali terjadi dalam kehidupan sehari-hari baik penyerapan atau pelepasan kalor, untuk mencapai dan mempertahankan keadaan yang dibutuhkan sewaktu proses berlangsung. Kalor sendiri adalah salah satu bentuk energi.

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak musnah, contohnya hukum kekekalan massa dan momentum, ini artinya kalor tidak hilang. Energi hanya berubah bentuk dari bentuk yang pertama ke bentuk yang ke dua.

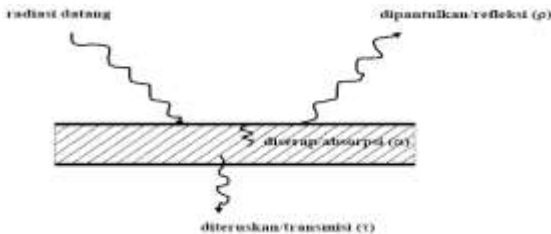
Kalor dapat diangkut dengan tiga macam cara yaitu:

- a. Pancaran (Radiasi)

Yang dimaksud dengan pancaran (radiasi) ialah perpindahan kalor melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain. Semua benda memancarkan kalor. Keadaan ini baru terbukti setelah suhu meningkat. Pada hakekatnya proses perpindahan kalor radiasi terjadi dengan perantaraan foton dan juga gelombang elektromagnet. Apabila sejumlah energi kalor menimpa suatu permukaan, sebagian akan dipantulkan, sebagian akan diserap ke dalam bahan, dan sebagian akan menembusi bahan dan terus ke luar. Jadi dalam mempelajari perpindahan kalor radiasi akan dilibatkan suatu fisik permukaan.

Untuk menyelesaikan perpindahan panas radiasi menggunakan Hukum Stefan-Boltzman dan dirumuskan sebagai berikut :

$$q_r = \epsilon \sigma AT^4 \dots\dots\dots (8.1)$$



**Gambar 8.1 Perpindahan Panas Radiasi**



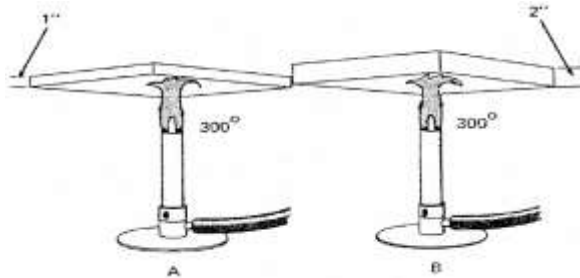
b. Hantaran (Konduksi)

Yang dimaksud dengan hantaran ialah pengangkutan kalor melalui satu jenis zat. Sehingga perpindahan kalor secara hantaran/konduksi merupakan satu proses pendalaman karena proses perpindahan kalor ini hanya terjadi di dalam bahan. Arah aliran energi kalor, adalah dari titik bersuhu tinggi ke titik bersuhu rendah.

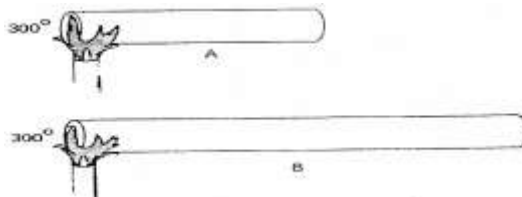
Bahan yang dapat menghantar ka1or dengan baik dinamakan konduktor. Penghantar yang buruk disebut isolator. Sifat bahan yang digunakan untuk menyatakan bahwa bahan tersebut merupakan suatu isolator atau konduktor ialah koefisien konduksi termal. Apabila nilai koefisien ini tinggi, maka bahan mempunyai kemampuan mengalirkan kalor dengan cepat. Untuk menyelesaikan perpindahan panas menggunakan Hukum Fourier dan dirumuskan sebagai berikut :

$$q_k = kA \left( - \frac{dT}{dx} \right) \dots\dots\dots (8.2)$$

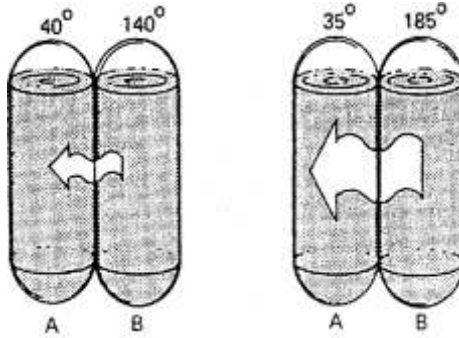
Dibawah Gambar 8.2, Gambar 8.3, Gambar 8.4 proses perpindahan panas secara konduksi



Gambar 8.2 Perpindahan panas konduksi pada bahan dengan ketebalan berbeda



Gambar 8.3 Perpindahan panas konduksi pada bahan dengan panjang berbeda



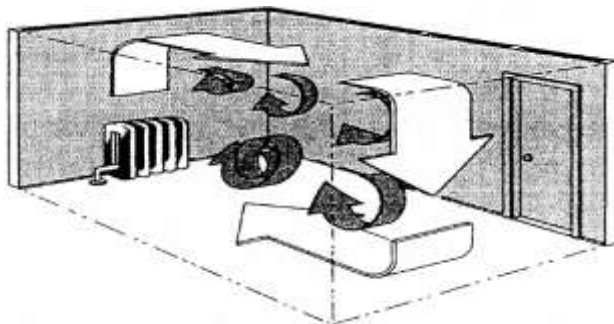
**Gambar 8.4** Perpindahan panas konduksi pada bahan dengan  $\Delta$  suhu berbeda

c. Aliran (Konveksi)

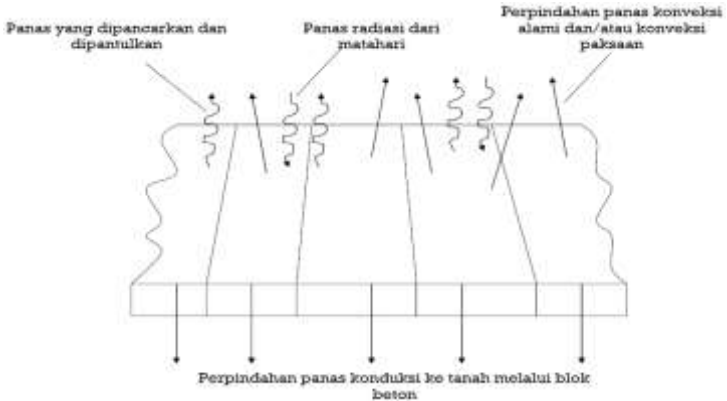
Yang dimaksud dengan aliran ialah perpindahan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses perpindahan kalor secara aliran/konveksi merupakan satu fenomena permukaan. Proses konveksi hanya terjadi di permukaan bahan. Jadi dalam proses ini struktur bagian dalam bahan kurang penting. Keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan itu adalah yang utama. Lazimnya, keadaan keseimbangan termodinamik di dalam bahan akibat proses konduksi, suhu permukaan bahan akan berbeda dari suhu sekelilingnya. Dalam hal ini terdapat keadaan suhu tidak seimbang diantara bahan dengan sekelilingnya.

Untuk menyelesaikan perpindahan panas menggunakan Hukum Newton dan dirumuskan sebagai berikut:

$$q_c = h_c A (T_W - T_S) \dots\dots\dots (8.3)$$



**Gambar 8.5** Perpindahan panas peristiwa pergerakan udara dengan sumber panas salah satu sudut



**Gambar 8.6** Perpindahan Panas Konduksi, Konveksi dan Radiasi pada suatu benda

## 8.2 Penukar Panas (Heat Exchanger)

Dalam praktikal, fungsi penukar kalor yang dipergunakan di industri lebih diutamakan untuk menukarkan energi dua fluida (boleh sama zatnya) yang berbeda temperaturnya. Pertukaran energi dapat berlangsung melalui bidang atau permukaan perpindahan panas yang memisahkan kedua fluida atau secara kontak langsung (fluidanya bercampur). Energi yang dipertukarkan akan menyebabkan perubahan temperatur fluida (panas sensibel) atau kadang dipergunakan untuk berubah fasa (panas laten). Laju perpindahan energi dalam penukar kalor dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kecepatan aliran fluida, sifat-sifat fisik yang dimiliki oleh kedua fluida yang saling dipertukarkan energinya (viskositas, konduktivitas termal, kapasitas panas spesifik, dan lain-lain), beda temperatur antara kedua fluida, dan sifat permukaan bidang perpindahan panas yang memisahkan kedua fluida. Bagaimana pengaruh setiap parameter terhadap laju perpindahan panas akan dibahas secara lebih detail dalam modul yang lain. Walaupun fungsi penukar kalor adalah untuk menukarkan energi dua fluida atau dua zat, namun jenisnya banyak sekali. Hal ini terjadi karena biasanya desain penukar kalor harus menunjang fungsi utama proses yang akan terjadi di dalamnya.

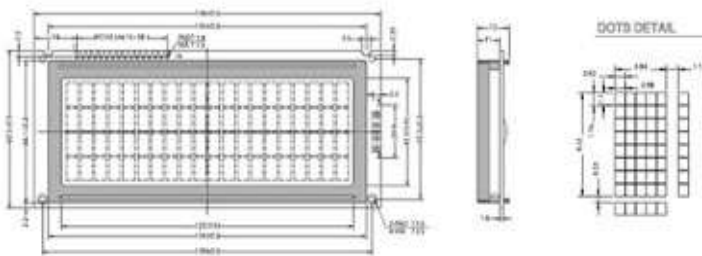
•

# BAB IX.

## LIQUID CRYSTAL DISPLAY

### 9.1 Liquid Crystal Display (LCD)

CD (*Liquid Crystal Display*) merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk menampilkan suatu karakter, baik itu angka, huruf atau karakter tertentu, sehingga tampilan tersebut dapat dilihat secara visual. Pemakaian LCD sebagai tampilan banyak digunakan karena daya yang dibutuhkan LCD relatif kecil (*mikro watt*), meskipun pada modul ini dibatasi oleh sumber cahaya eksternal/internal, suhu dan jangka hidup, untuk lebih jelas berikut dibawah ini konfigurasi modul LCD 20 x 4, sebagai berikut:



**Gambar 9.1 Modul LCD 20 x 4**

Sebuah panel LCD akan terhubung pada mikrokontroler untuk mengatur karakter huruf atau angka, data akan dikirim dalam bentuk kode ASCII, kode ini akan diterima dan diolah sehingga terbentuk matrik matrik yang dapat terbaca secara visual.

### 9.2 Karakteristik LCD

Berikut adalah karakteristik dari LCD 20 x 4:

- 20 Karakter dan 4 Baris tampilan kristal cair (LCD) dari dot matrik.
- ROM pembangkit karakter untuk 192 tipe karakter (5x7 dot matrik)
- Mempunyai 2 jenis RAM, yaitu RAM pembangkit karakter dan RAM data tampilan.

- RAM pembangkit karakter untuk 8 tipe karakter program tulis dengan bentuk 5 x 7 dot matrik.
- RAM data tampilan dengan bentuk 80 x 8 matrik titik (maksimum 80 karakter).
- Mempunyai pembangkit *clock internal*.
- Catu daya 5 Vdc.
- Rangkaian otomatis riset saat daya dinyalakan.
- Jangkauan suhu pengoperasian 0 - 50 derajat.

### 9.3 Konfigurasi LCD (*Liquid Crystal Display*)

Ada 2 cara untuk berkomunikasi dengan LCD, yaitu 8 bit dan 4 bit jalur data, selain bit data tersebut juga dibutuhkan 3 jalur lagi untuk kontrol, yaitu : RS, RW dan E. Untuk memperjelas konfigurasi pin LCD dapat dilihat pada Tabel 9.1 dibawah ini :

**Tabel 9.1 Konfigurasi PIN LCD**

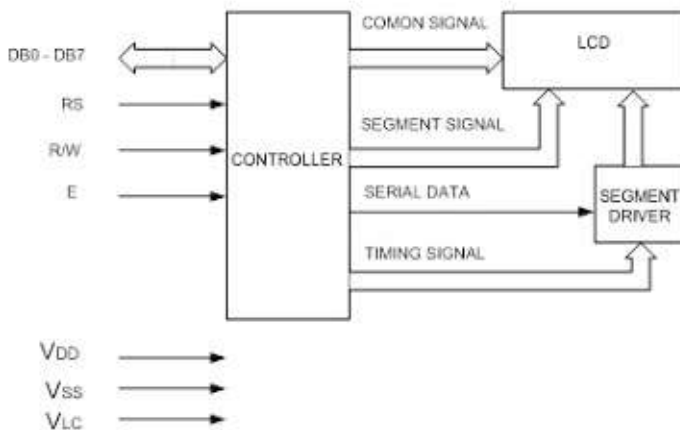
Pin	Simbol	Fungsi
1	GND	Ground
2	VCC	(+5 Volt)
3	VO	Pengaturan kontras layar
4	RS	H/L Register select
5	R/W	H/L Read/Write
6	E	H/L Enable
7	DB0	Data Bus Line
8	DB1	Data Bus Line
9	DB2	Data Bus Line
10	DB3	Data Bus Line
11	DB4	Data Bus Line
12	DB5	Data Bus Line
13	DB6	Data Bus Line
14	DB7	Data Bus Line
15	A	(+5 V) untuk BKL
16	K	(GND) untuk BKL

### 9.4 Cara Kerja LCD

LCD mempunyai 2 bagian karakter utama yaitu :

- Panel atau display yang berfungsi sebagai media penampil informasi huruf atau angka sebanyak 4 baris dan masing-masing baris bisa menampung 20 karakter huruf atau angka
- Sistem kontroller yang ditempelkan dibalik panel LCD, yang berfungsi mengatur tampilan informasi serta mengatur komunikasi LCD dengan mikrokontroller.

Contoh sistem kendali LCD sebagai berikut :



**Gambar 9.2 Rangkaian kontrol I LCD 20 x 4**

Dari Gambar 9.2 diatas dapat dilihat bahwa input pada LCD yang berupa 8 bit data (D0 - D7) diterima terlebih dahulu oleh rangkaian kontroller LCD yang bertugas untuk mengatur data inputan sebelum tampil di LCD, selain itu juga dilengkapi dengan input (RS, R/W dan E) yang digunakan sebagai kendali kontroller LCD, pada proses pengiriman data (R/W = 1) dan proses pengambilan data (R/W = 0).

Pin RS dipakai untuk membedakan jenis data yang dikirim, jika (RS = 0) data yang dikirim adalah perintah untuk mengatur kerja modul LCD, sedangkan jika (RS = 1) data yang dikirim adalah kode ASCII yang akan ditampilkan. Demikian pula saat pengambilan data jika (RS = 0) data yang diambil dari modul merupakan data status

yang mewakili aktifitas modul LCD, sedangkan saat (RS = 1) maka data yang diambil merupakan kode ASCII dari data yang ditampilkan.

### 9.5 Struktur Dasar LCD

Struktur dasar LCD terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian backlight (lampu latar Belakang) dan bagian Liquid Crystals (Kristal Cair) seperti yang disebutkan dimana LCD tidak memancarkan cahaya apapun. LCD hanya merefleksikan dan mentransmisikan cahaya yang melewatinya. Oleh karena itu LCD memerlukan Backlight atau cahaya latar belakang untuk sumber cahayanya. Cahaya backlight tersebut pada umumnya berwarna putih. Sedangkan kristal cair itu adalah cairan organik yang berada diantara dua sumber kaca yang memiliki permukaan transparan yang konduktif. Untuk penjelasan di atas ada beberapa bagian yang diperlihatkan pada Gambar 9.3 dibawah ini dan keterangan tiap bagian menguraikan bagian lapisan dalam dari LCD adalah sebagai berikut :

- Backlight (Cermin)
- Lapisan Terpolarisasi 2
- Elektroda Negatif
- Lapisan Kristal Cair
- Elektroda Positif
- Lapisan Terpolarisasi 1



**Gambar 9.3 Bagian Lapisan dari LCD**

## 9.6 Aplikasi LCD dengan Mikrokontroler Dengan Simulasi Proteus

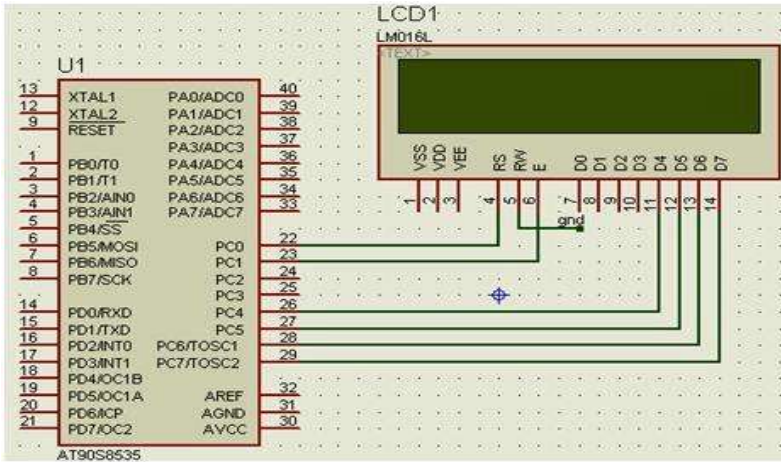
Pada aplikasi umumnya RW diberi logika rendah “0”. Bus data terdiri dari 4-bit atau 8-bit. Jika jalur data 4-bit maka yang digunakan ialah DB4 sampai dengan DB7. Sebagaimana terlihat pada table diskripsi, *interface* LCD merupakan sebuah *parallel bus*, dimana hal ini sangat memudahkan dan sangat cepat dalam pembacaan dan penulisan data dari atau ke LCD. Kode ASCII yang ditampilkan sepanjang 8-bit dikirim ke LCD secara 4-bit atau 8 bit pada satu waktu. Jika mode 4-bit yang digunakan, maka 2 nibble data dikirim untuk membuat sepenuhnya 8-bit (pertama dikirim 4-bit MSB lalu 4-bit LSB dengan pulsa clock EN setiap *nibblenya*). Jalur kontrol EN digunakan untuk memberitahu LCD bahwa mikrokontroler mengirimkan data ke LCD. Untuk mengirim data ke LCD program harus menset EN ke kondisi high “1” dan kemudian menset dua jalur kontrol lainnya (RS dan R/W) atau juga mengirimkan data ke jalur data bus.

Saat jalur lainnya sudah siap, EN harus diset ke “0” dan tunggu beberapa saat (tergantung pada *datasheet* LCD), dan set EN kembali ke high “1”. Ketika jalur RS berada dalam kondisi low “0”, data yang dikirimkan ke LCD dianggap sebagai sebuah perintah atau instruksi khusus (seperti bersihkan layar, posisi kursor dll). Ketika RS dalam kondisi *high* atau “1”, data yang dikirimkan adalah data ASCII yang akan ditampilkan dilayar. Misal, untuk menampilkan huruf “A” pada layar maka RS harus diset ke “1”. Jalur kontrol R/W harus berada dalam kondisi *low* (0) saat informasi pada data bus akan dituliskan ke LCD. Apabila R/W berada dalam kondisi *high* “1”, maka program akan melakukan *query* (pembacaan) data dari LCD. Instruksi pembacaan hanya satu, yaitu Get LCD status (membaca status LCD), lainnya merupakan instruksi penulisan. Jadi hampir setiap aplikasi yang menggunakan LCD, R/W selalu diset ke “0”. Jalur data dapat terdiri 4 atau 8 jalur (tergantung mode yang dipilih pengguna), DB0, DB1, DB2, DB3, DB4, DB5, DB6 dan DB7. Mengirim data secara *parallel* baik 4-bit atau 8-bit merupakan 2 mode operasi primer. Untuk membuat sebuah aplikasi *interface* LCD, menentukan mode operasi merupakan hal yang paling penting.

Mode 8-bit sangat baik digunakan ketika kecepatan menjadi keutamaan dalam sebuah aplikasi dan setidaknya minimal tersedia 11 pin I/O (3 pin untuk kontrol, 8 pin untuk data). Sedangkan mode 4 bit minimal hanya membutuhkan 7-bit (3 pin untuk kontrol, 4 pin untuk data). Bit RS digunakan untuk memilih apakah data atau



instruksi yang akan ditransfer antara mikrokontroler dan LCD. Jika bit ini di set (RS = 1), maka byte pada posisi kursor LCD saat itu dapat dibaca atau ditulis. Jika bit ini di reset (RS = 0), merupakan instruksi yang dikirim ke LCD atau status eksekusi dari instruksi terakhir yang dibaca.



Gambar 9.4 Mikrokontroler Atmega dan LCD 2 x 16

### 9.7 Listing Program Aplikasi LCD

```

Menuliskan karakter string "Selamat Datang" dan "fahmizal"
$regfile = "m8535.dat"
$crystal = 8000000
'konfigurasi pin lcd 16*2
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portc.4 , Db5 = Portc.5 , Db6 = Portc.6 , Db7
= Portc.7 , E = Portc.1 , Rs = Portc.0
Config Lcd = 16 * 2
cls
Do
Home
Lcd "Selamat Datang"
Lowerline
Lcd "fahmizal"
Loop
End
    
```



Perintah "Cls" berfungsi sebagai pembersih layar lcd dari sisa-sisa karakter yang tersimpan pada memori lcd tersebut. Perintah "Home" berfungsi untuk meletakkan kursor lcd pada baris pertama dan kolom pertama. Sedangkan perintah "Lowerline" berfungsi untuk meletakkan kursor lcd pada baris kedua dan kolom pertama. Untuk menghilangkan kursor lcd ditambah dengan instruksi "Cursor Off" pada konfigurasi lcd. Perintah "Config Lcd = 16 \* 2" merupakan deklarasi penggunaan tipe lcd 16\*2, jika diinginkan konfigurasi lcd 16\*4 maka perintah diubah menjadi "Config Lcd = 16 \* 4". Berikut tampilan lcd 16\*4:



```
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portc.4 , Db5 = Portc.5 , Db6 = Portc.6 , Db7  
= Portc.7 , E = Portc.1 , Rs = Portc.0
```

```
Config Lcd = 16 * 4
```

```
Do
```

```
Home
```

```
Lcd "Selamat Datang"
```

```
Lowerline
```

```
Lcd "fahmizal"
```

```
Thirdline
```

```
Lcd "mikrokontroler"
```

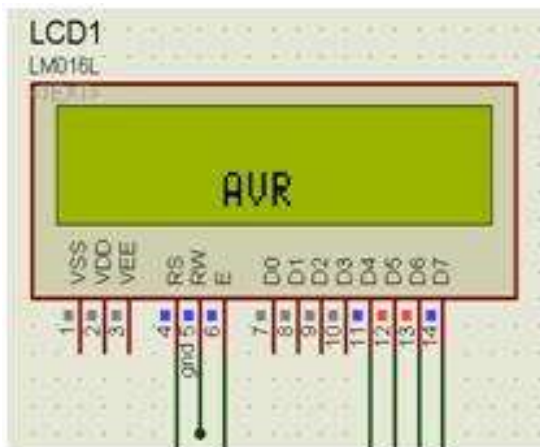
```
Fourthline
```

```
Lcd "mudah dgn AVR"
```

```
Loop
```

```
End
```

Perintah "Thirdline" berfungsi untuk meletakkan kursor lcd pada baris ketiga dan kolom pertama. Sedangkan perintah "Fourthline" berfungsi untuk meletakkan kursor lcd pada baris keempat dan kolom pertama. Penyederhanaan perintah "Home, Lowerline, Thirdline, Fourthline" dapat dilakukan dengan perintah "locate". Sebagai contoh karakter "AVR" akan ditampilkan pada lcd dengan posisi baris kedua dan kolom ketujuh maka perintahnya menjadi:



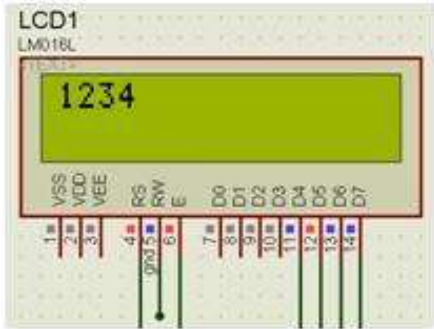
```
Do
Locate 2, 7
Lcd "AVR"
Loop
End
```

- Program menuliskan variabel pada LCD 2\*16



```
$regfile = "m8535.dat"
$crystal = 8000000
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portc.4 , Db5 = Portc.5 , Db6 = Portc.6 , Db7
= Portc.7 , E = Portc.1 , Rs = Portc.0
Config Lcd = 16 * 4
Cursor Off
Dim Tulisan As String * 10
Do
Tulisan = "fahmizal"
Locate 1, 1
Lcd Tulisan
Loop
End
```

Program percobaan kedua ialah menuliskan suatu variabel pada lcd, prinsipnya ialah menyimpan (*buffer*) data tersebut kedalam suatu variabel. Dalam contoh ini perintah “Lcd Tulisan” ialah menuliskan data yang tersimpan pada variabel tulisan. Variabel tulisan tersebut sebelumnya harus dideklarasikan sebagai tipe data jenis apa, pada percobaan ini variabel tulisan dideklarasikan sebagai tipe data string. Untuk kasus variabel data berupa tipe integer ialah sebagai berikut:



*Dim Tulisan As integer*

*Do*

*Tulisan = 1234*

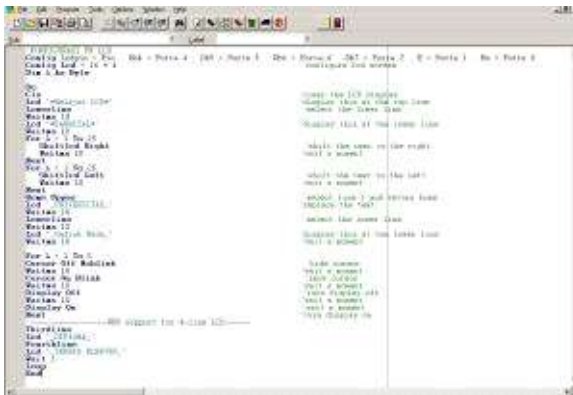
*Locate 1, 1*

*Lcd Tulisan*

*Loop*

*End*

- Program menggeser kekiri dan kekanan karakter LCD**



```
$regfile = "m8535.dat"
$crystal = 12000000
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Porta.4 , Db5 = Porta.5 , Db6 = Porta.6 , Db7
= Porta.7 , E = Porta.1 , Rs = Porta.0
Config Lcd = 16 * 4
Dim A As Byte
Do
Cls
Lcd "*Belajar LCD*"
Lowerline
Waitms 10
Lcd "*FAHMIZAL*"
Waitms 10
For A = 1 To 25
Shiftlcd Right
Waitms 10
Next
For A = 1 To 25
Shiftlcd Left
Waitms 10
Next
Home Upper
Lcd "_UNIVERSITAS_"
Waitms 10
Lowerline
Waitms 10
Lcd "_Gadjah Mada_"
Waitms 10
For A = 1 To 5
Cursor Off Noblink
Waitms 10
Cursor On Blink
Waitms 10
Display Off
Waitms 10
Display On
Next
'-----NEW support for 4-line LCD-----
Thirdline
Lcd "_DIPLOMA_"
```

*Fourthline*

*Lcd “\_TEKNIK ELEKTRO\_”*

*Wait 1*

*Loop*

*End*

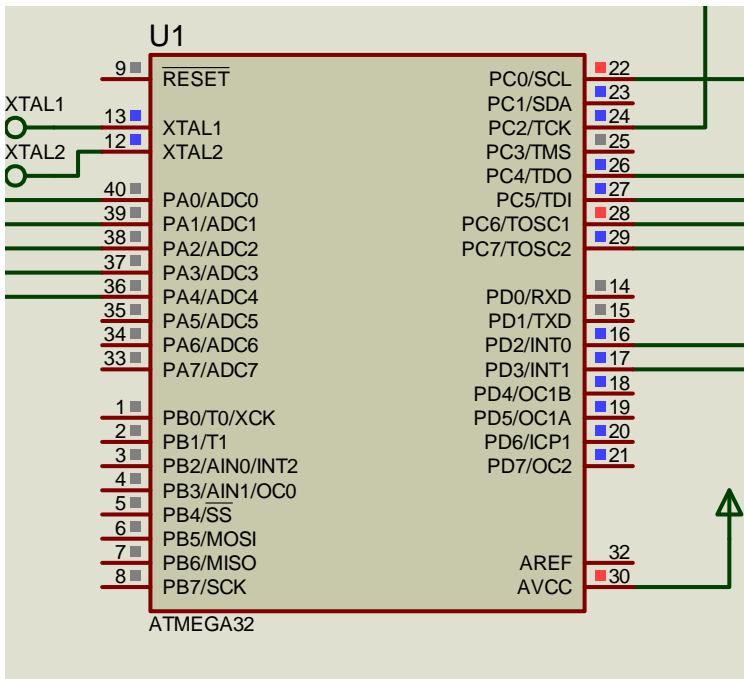
•

# BAB X.

## HASIL SIMULASI MPPT

### 10.1 Rancang Model MPPT

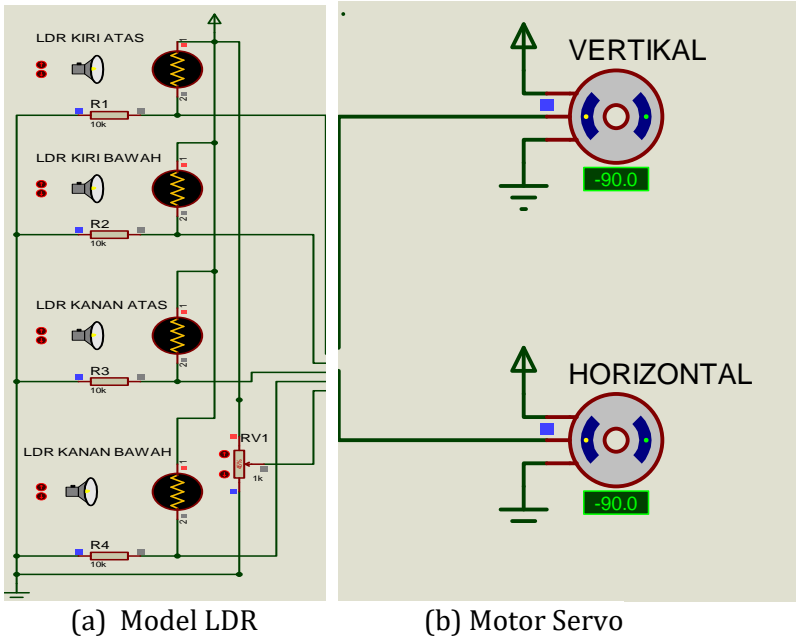
Mikrokontroler AtMega16/32 difungsikan untuk mengatur input dan output dari rangkaian MPPT (Maksimum Power Point Tracking). Input yang berasal dari LDR yang dimasukkan kedalam mikrokontroler kemudian diproses mengikuti listing program C++ dan keluaran intruksi dari program tersebut masuk ke motor servo berupa tegangan sebesar 5 volt. Jadi Sinyal output yang keluar dari Atmega 32 masuk ke display LCD dan servo. Sinyal yang masuk ke LCD memberi tampilan besarnya sudut vertikal dan horizontal dari titik fokus matahari. Sinyal servo yang didapatkan dari mikrokontroler memberi instruksi kepada servo untuk menggerakkan panel surya dan kolektor surya. Besarnya sudut menampilkan kondisi sementara pergerakan panel sel surya dan kolektor surya terhadap matahari. Mikrokontroler ATmega32 ditunjukkan pada Gambar 10.1.



Gambar 10.1 Mikrokontroler ATmega32

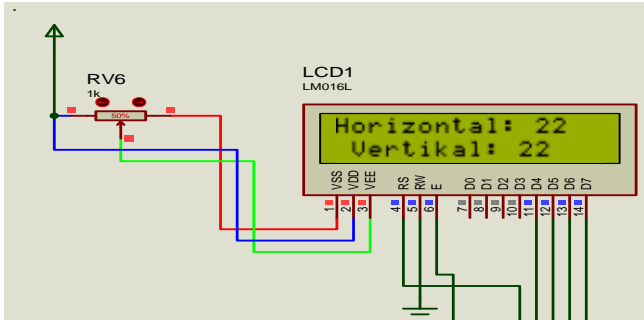


Sensor LDR kiri atas dan kanan atas berfungsi mengikuti cahaya untuk menggerakkan motor dengan rentang sudut  $0^{\circ}$  sampai ke  $180^{\circ}$  (kondisi vertikal). Sensor LDR kanan atas dan kiri atas berfungsi mengikuti cahaya matahari dimana terjadi pergeseran sudut deteksi dan menggerakkan motor dengan rentang  $0^{\circ}$  sampai  $180^{\circ}$  (kondisi horizontal). Sensor LDR kanan bawah apabila terkena cahaya pada posisi bawah panel surya dan menggerakkan motor ke kondisi vertikal yang bergerak hanya motor servo vertikal. Sensor LDR kiri bawah mendeteksi terjadi pergeseran sudut cahaya dan menggerakkan motor dengan rentang  $0^{\circ}$  sampai  $180^{\circ}$  motor servo vertikal dan horizontal menggerakkan kembali secara cepat panel surya dan kolektor ke posisi asal. Light diode resistor ditunjukkan pada Gambar 10.2.



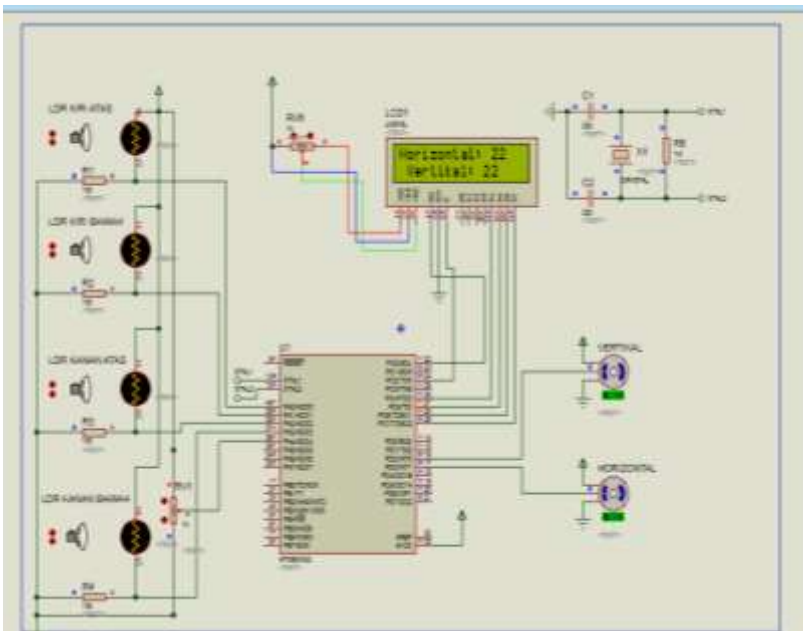
**Gambar 10.2 Model Simulasi Sensor LDR dan Motor Servo**

Untuk monitoring hasil simulasi menggunakan LCD 16 x 2 karakter yang bertujuan melihat pergerakan dari motor servo dengan maksud untuk memudahkan melihat kondisi jejak panas terdeteksi dari arah Timur dan Barat serta Utara dan Selatan dari pergerakan panel surya dan yang mengenai solar kolektor yang akan digunakan nantinya dalam penelitian ini



**Gambar 10.3 LCD 16 x 2**

Hasil simulasi untuk penjejak cahaya matahari (MPPT) secara otomatis telah berhasil disimulasikan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10.4. Simulasi ini dilengkapi dengan empat LDR, satu LCD, dua servo dan satu mikrokontroler ATmega32. Keempat LDR masing-masing mempunyai tugas yang berbeda-beda disesuaikan pada arah vertikal dan horizontal pergerakan cahaya matahari, sehingga bisa dicapai penyerapan cahaya pada titik sudut  $90^{\circ}$  maksimum. Sebagaimana diketahui sudut pancaran cahaya matahari maksimum itu adalah pada sudut tegak lurus arah matahari.



**Gambar 10.4 Simulasi Model MPPT**

## **10.2 Listing Program Mikrokontroler MPPT**

Dibawah listing program yang di buat dengan bahasa C dengan menggunakan program CAVR digunakan sebagai penggerak dari mikrokontroler ATmega16/32 dilakukan pada simulasi Proteus yang diperlihatkan pada Gambar 10.3\4

```
#include <mega32.h>
#include <delay.h>
#include <alcd.h>
#include <stdio.h>

#define ADC_VREF_TYPE 0x60
// Read the 8 most significant bits
// of the AD conversion result
unsigned char read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
    // Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
    delay_us(10);
    // Start the AD conversion
    ADCSRA|=0x40;
    // Wait for the AD conversion to complete
    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCH;
}

// inialisasi port D sebagai output dari servo

#define port_servo1 PORTD.2
#define port_servo2 PORTD.3
#define port_servo3 PORTD.4
#define port_servo4 PORTD.5
#define port_servo5 PORTD.6
```

```
char screen[16];

// Declare your global variables here
char screen[16];

unsigned int pewaktu;
unsigned char servo[8];

// Declare your global variables here
void nilai_servo(void);

// Seting TCNT0 pada nilai 39 untuk membuat gelombang
dari 0-20 ms

interrupt [TIM0_OVF] void timer0_ovf_isr(void)
{
    TCNT0=39;
    pewaktu++;

//pewaktu akan terus mencacah dari waktu 0 - 20ms

if (pewaktu>4)
{
    pewaktu=0;
    port_servo1=1;
    port_servo2=1;
    port_servo3=1;
    port_servo4=1;
    port_servo5=1;
    nilai_servo();
}
}

void nilai_servo(void)
```

```
{

// 0-20ms periode dijalankan dalam rutin fungsi disini
// kita hanya perlu mengisi nilai dari servo[1]-servo[5] untuk
menggerakkan servo dengan maximal nilai adalah 255

unsigned char pulsa;
for (pulsa=0; pulsa<=200; pulsa++)
{
if (pulsa>=servo[1]) port_servo1=0;
if (pulsa>=servo[2]) port_servo2=0;
if (pulsa>=servo[3]) port_servo3=0;
if (pulsa>=servo[4]) port_servo4=0;
if (pulsa>=servo[5]) port_servo5=0;

delay_us(10);
}
}
void main(void)
{
// Declare your local variables here

// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In
Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;

// Port B initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In
Func2=In Func1=In Func0=In
```

```
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;

// Port C initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In
Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;

// Port D initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In
Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTD=0x00;
DDRD=0xFC;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC0 output: Disconnected

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 750.000 kHz
```

```
// ADC Voltage Reference: AVCC pin
// Only the 8 most significant bits of
// the AD conversion result are used
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x84;

TCCR0=0x04;
TCNT0=0x39;
OCR0=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x01;
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// Alphanumeric LCD initialization
// Connections are specified in the
// Project|Configure|C Compiler|Libraries|Alphanumeric LCD
menu:
// RS - PORTC Bit 0
// RD - PORTC Bit 1
// EN - PORTC Bit 2
// D4 - PORTC Bit 4
// D5 - PORTC Bit 5
// D6 - PORTC Bit 6
// D7 - PORTC Bit 7
// Characters/line: 16
lcd_init(16);
// Global enable interrupts
#asm("sei")

while (1)
{
int avt=(read_adc(0)+read_adc(2))/2;
```

```
int avd=(read_adc(1)+read_adc(3))/2;
int avl=(read_adc(0)+read_adc(1))/2;
int avr=(read_adc(2)+read_adc(3))/2;
int dvert=avt-avd;
int dhoriz=avl-avr;

servo[1]=dvert; //(read_adc(0)+read_adc(2))/2;
servo[2]=dhoriz; //(read_adc(1)+read_adc(3))/2;
//servo[3]=read_adc(2);
//servo[4]=(read_adc(0)+read_adc(2))/2;
//servo[5]=(read_adc(1)+read_adc(3))/2;
lcd_gotoxy(0,0);
printf(screen,"Horizontal:          %d          ",dvert);
//servo[1]);//,servo[2],servo[3]);
lcd_puts(screen);
lcd_gotoxy(1,1);
printf(screen,"Vertikal:          %d          ",dhoriz);
//servo[2]);//,servo[5]);
lcd_puts(screen);
}
}
```

### 10.3 Simulasi Alat MPPT

Setelah dijalankan listing program MPPT yang dimasukkan ke dalam Mikrokontroler dari hasil simulasi model menggunakan Proteus pada Gambar 10.4 berhasil menjalankan program dan tidak mempunyai kesalahan sintaks program maka selanjut file listing program tersebut di aplikasikan pada perangkat keras MPPT yang sudah dirancang bangun seperti pada Gambar 10.5. Setelah dijalankan perangkat keras mendeteksi cahaya sehingga pergerakan solar panel dan solar kolektor untuk pengeringan ikan teri yang digerakkan oleh aktuator motor sudah berjalan sebagaimana mestinya. Dan tampilan LCD sudah menunjukkan besaran deteksi sensor LDR arah barat dan timur sesuai dengan jejak cahaya matahari.





**Gambar 10.5 Blok MPPT dan LCD**

Hasil simulasi alat perangkat MPP Tdi bengkel elektronik sudah dapat diaplikasikan selain untuk pengeringan ikan teri juga digunakan untuk pengecharge baterai 70 Ah dengan keluaran tegangan panel surya 15 VDC. Dan energi listrik DC dari baterai dapat digunakan sebagai pemanas (heater) yang menggunakan lampu pijar AC 100 Watt yang bersumber dari dari konversi baterai DC ke AC menggunakan inverter dengan maksud jika kondisi mendung atau gelap dapat digunakan pemanas tersebut. Prototype alat tersebut seperti terlihat pada Gambar 10.6. Sedangkan blok rangkaian pengecharge baterai seperti terlihat pada Gambar 10.7 (a) dan (b). Saat kondisi tegangan baterai jatuh, blok pengecharge bekerja untuk mengisi arus baterai dan disaat baterai penuh, relai akan bekerja untuk discharge arus dari panel surya ke baterai.

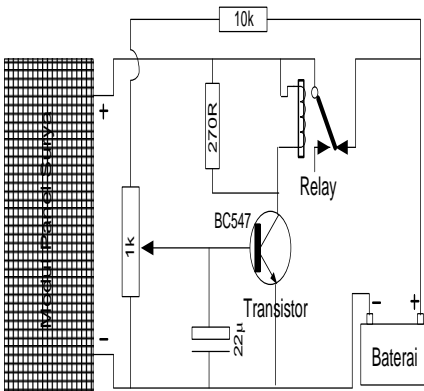


(a) Panel Surya



(b) Solar Kolektor Dan Heater

**Gambar 10.6 Panel Surya dan Solar Kolektor (Pengeringan Ikan Teri)**



(a) Skematik Rangkaian Charge



(b) Rangkaian Elektronik Charge

**Gambar 10.7(a) dan (b) Rangkaian Pengecharge Baterai**

*This page is intentionally left blank*

## DAFTAR PUSTAKA

- Mismail, B., 2006, *Dasar Teknik Elektro*, Jawa Timur Indonesia, Bayumedia Publishing.
- Suryono, 2018, *Teknologi Sensor Konsep Fisis dan Teknik Akuisisi Data Berbasis Mikrokontroler 32 Bit ATSAM3X8E (ARDUINO DUE)*, Edisi I Undip Press.
- Theraja, B.L., 2002. *Fundamental of Electrical Engineering and Electronics*, New Delhi, S. Chand & Company Ltd.
- C.K, Alexander., M.O. Sadiku.,2006. *Fundamental of Electric Circuits*, Prentice Hall International, Inc..
- Malvino, A.P.,1999, *Electronics Principle*, Sixth Ed. Singapore, McGraw - Hill.
- Sen, P.C.,1996, *Principles Of Electric Machines And Power Electronics*, Amerika, John Willey & Sons.
- Rashid, M. H., 2004. *Power Electronics, Circuit, Device and Application* 3<sup>rd</sup> Edition, *Pearson Education, Inc.*
- Kern, D.Q. *Process Heat Transfer*, International Student Edition. New York, McGraw- Hill Kogakusha Ltd.
- Mikheyev, M., 1986, *Fundamental of Heat Transfer*, New York, Amerika, John Willey & Sons Inc.
- Ahmed, T., Soon, T. K., Mekhilef, S. 2014, A Single Phase Doubly Grounded Semi-Z- Source Inverter for Photovoltaic (PV) Systems with Maximum Power Point Tracking (MPPT), *Energies*. 3619-3641.
- M. J, Saifuddin., Abdurahman, Faizar, Meliala, S, Rosdiana, 2018. Design of Maximum Power Point Tracking for Solar Collector Drying System: An Experimental Study, *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*. 9(4):1799-1803.

M. J, Saifuddin, Sayuti., M., Meliala, S, Rosdiana., Sadli, M. 2018, Comparison of Modification of Photovoltaic Surface Structure between Gallium Arsenide and Silicon Solar Cells Using Silvaco Software, *The Internasional Journal of Science & Technoledge (TheIJST)*. 6(8): 83-93.

Meliala, S, Rosdiana, Saifuddin. 2018. Drying Design Model For Dried-Anchovy Using Solar Collector And Solar Cell Panel Position Control. *Malikusaleh Internasional Conferences on Engineering, Medical and Information Sciences*. Hal 56

•

## *Riwayat Penulis*



Selamat Meliala, ST., MT adalah seorang Dosen Teknik Elektro pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe. Pada tahun 2000 menyelesaikan gelar sarjana teknik di Universitas Malikussaleh. Beliau mengajar mulai tahun 2002 sampai sekarang. Kemudian tahun 2008 melanjutkan pendidikan pascasarjana Magister di Departemen Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara ,Medan. Dan tahun 2011 menyelesaikan gelar S2 pada konsentrasi Kualitas Sistem Tenaga (Power Quality) di Universitas Sumatera Utara. Beliau mengampu mata kuliah Dasar Teknik Elektro dan Teknik Tegangan Tinggi.

Penelitian – penelitian yang sudah dipublikasi nasional maupun internasional antara lain

- Analisis tegangan keluaran *DC Step-Up Cuk* konverter Menggunakan *Fuzzy Logic* Kontroler.
- Simulasi Filter Aktif Seri Sebagai Kompensasi Harmonisa Pada Sistem Saluran Tegangan Rendah.
- *Design of Maximum Power Point Tracking for solar collector drying system: an experimental study.*
- *Comparison of Modification of Photovoltaic Surface Structure between Gallium Arsenide and Silicon Solar Cells Using Silvaco Software.*
- Pengaruh Filter Pasif Single Tuned untuk Minimalisir Harmonisa Akibat Kontaminasi Arus Harmonisa pada Distribusi Tegangan Rendah Tiga Fasa PT. PLN Lhokseumawe.
- Simulasi Rancangan Generator *Cockcroft Walton* Sebagai Pembangkit Tegangan Tinggi DC 33.8 KV Dengan 3 Multiple Cascaded.
- Simulasi *Step-Up Cuk* konverter tegangan DC ke DC sebagai pembangkit tegangan DC untuk eksitasi generator sinkron 8,1 KVA.
- Pengaruh Filter Aktif Terhadap Kompensasi Harmonisa Pada PCC Tegangan 380 Volt Transformator Distribusi 200 KVA.
- Pengaruh Filter Pasif Single Tuned Mengurangi Efek Harmonisa yang Dibangkitkan Beban Non Linear pada Saluran 220 V.
- Simulasi Over Current Relay (OCR) Menggunakan Karakteristik Standar Inverse Sebagai Proteksi Trafo Daya 30 MVA. •

## *Riwayat Penulis*



Saifuddin Muhammad Jalil, S.Si., M.Sc adalah seorang Dosen Teknik Elektro pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe. Pada tahun 2000 menyelesaikan gelar sarjana Ilmu Fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengatuhan Alam (UNSYIAH), Banda Aceh. Beliau mengajar mulai tahun 2002 sampai sekarang. Kemudian tahun 2006 melanjutkan pendidikan pascasarjana Master di Faculty of Engineering Departement of Microelectronics di Universitas Kebangsaan Malaysia (UKM), Kuala Lumpur. Dan tahun 2008 menyelesaikan gelar S2 pada di Universitas Kebangsaan Malaysia. Beliau mengampu mata kuliah Fisika Dasar dan Mikroprosesor.

Penelitian – penelitian yang sudah dipublikasi internasional antara lain :

- *Design of Maximum Power Point Tracking for solar collector drying system: an experimental study.*
- *Comparison of Modification of Photovoltaic Surface Structure between Gallium Arsenide and Silicon Solar Cells Using Silvaco Software.*
- *The effect of surface texturing on GaAs solar cell using TCAD tools and The effect of electrical properties by texturing surface on GaAs solar cell efficiency.*
- *Various doping concentration effect on silicon-on-insulator (SOI) phase modulator*
- *Analyses for various doping structures of SOI-based optical phase modulator using free carrier dispersion effect.*
- *Phase modulator based on silicon-on-insulator (SOI) rib waveguide.*
- *The effect of surface texturing on GaAs solar cell using TCAD tools.*

•

## *Riwayat Penulis*



Rosdiana, ST, MT adalah seorang Dosen Teknik Elektro pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe. Pada tahun 1999 menyelesaikan gelar sarjana Fakultas Teknik Fisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Beliau mengajar mulai tahun 2006 sampai sekarang. Kemudian tahun 2002 melanjutkan pendidikan pascasarjana Magister di Fakultas Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Dan tahun 2005 menyelesaikan gelar S2 pada konsentrasi Komunikasi Multimedia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Beliau mengampu mata kuliah Algoritma Pemrograman, Pengolahan Sinyal Digital dan Medan Elektromagnetik.

Penelitian – penelitian yang sudah dipublikasi nasional maupun internasional antara lain :

- Pengendalian Persediaan Probabilistik Model Fixed Order Interval (FOI) Pada PT.Ecogreen Oleochemicals.
- Pengkodean Gabungan Sumber-Kanal Menggunakan Kompresi Fraktal Untuk Transmisi Citra.
- *Joint Source-Channel Fractal Image Decoding for Image Transmission.*
- *Pengkodean Gabungan Sumber-Kanal Menggunakan Kompresi Fraktal Untuk Transmisi Citra*
- *Design of Maximum Power Point Tracking for solar collector drying system: an experimental study.*
- *Comparison of Modification of Photovoltaic Surface Structure between Gallium Arsenide and Silicon Solar Cells Using Silvaco Software.*

•



*This page is intentionally left blank*

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk memformulasikan model simulasi dan produk untuk pengeingan ikan teri yang nantinya akan memudahkan nelayan untuk memanfaatkan aplikasi teknologi renewable energi untuk proses pengeringan ikan secara umum. Dan serta pola pengembangan para nelayan ikan dalam konteks pembangunan ekonomi lokal berbasis pengeringan ikan di Aceh. Serta bermanfaat sebagai bahan ajar kepada mahasiswa untuk lebih mengenal aplikasi teknologi Maksimum Power Point Tracking (MPPT) dan Solar Kolektor. Tujuan khusus penelitian ini merupakan tindak lanjut dari hasil tujuan penelitian tahun pertama yaitu mengkaji kendala proses pengeringan secara tradisional dan peluang pengembangan pengolahan dan pengeringan ikan dengan para nelayan ikan.

Evaluasi kinerja produk pengembangan pengeringan ikan dilakukan secara pengujian alat dilapangan dengan menggunakan ikan teri basah berdasarkan hasil yang didapat dari proses pengeringan ikan teri secara otomatis sudah memenuhi hasil yang diinginkan yaitu kandungan kadar air ikan teri sudah berkurang.

Hasil penelitian tahun pertama memberikan informasi listing program Maksimum Power Point Tracking (MPPT) bahwa model simulasi MPPT sudah bekerja sehingga sudah bisa diaplikasikan dalam membuat alat atau produk pengeringan menggunakan solar kolektor pada tahu kedua. Meskipun produk berupa prototype pengeringan tersebut pada nelayan ikan teri, namun masih dihadapi beberapa kendala dan tantangan dalam pengembangannya sehingga perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk mendapatkan model produk yang layak diterapkan di daerah pesisir Aceh melalui produk pengeringan ikan secara otomatis dengan menggunakan teknologi MPPT.

**UNIMAL PRESS**

ISBN 978-602-464-054-5



9 786024 640545