

**RANCANG BANGUN *MAXIMUM POWER POINT TRACKER*  
MENGUNAKAN *BUCK CONVERTER* PADA PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA SURYA**

**SKRIPSI**



**Disusun oleh :**

**Endra Sagita Destiawan**

**NIM. 0812214**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2012**

## SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Endra Sagita Destiawan

NIM : 0812214

Program Studi : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Elektronika

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi yang saya buat adalah hasil karya sendiri, tidak merupakan plagiasi dari karya orang lain. Dalam Skripsi ini tidak memuat karya orang lain, kecuali dicantumkan sumbernya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat, dan apabila di kemudian hari ada pelanggaran atas surat pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksinya.

Malang, 8 Oktober 2012

Yang membuat Pernyataan,



Endra Sagita Destiawan

NIM : 0812214

## **ABSTRAK**

# **RANCANG BANGUN *MAXIMUM POWER POINT TRACKER* MENGUNAKAN *BUCK CONVERTER* PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA**

**Endra Sagita Destiawan, NIM 0812214**

**Dosen Pembimbing : Dr. Eng Aryuanto S, ST, MT dan Awan Uji K, ST, MT**

Berbagai macam sumber energi terbarukan telah dikembangkan, sumber energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang cukup populer yang bersih dan tersedia secara bebas. Photovoltaics cell (PV) sebagai jenis pembangkit listrik terbarukan, PV masih memiliki banyak kekurangan terutama pada sisi efisiensi keluaran yang terbilang rendah.

Maximum Power Point Tacker (MPPT) adalah suatu metode untuk mencari point (titik) maksimum dari kurva karakteristik tegangan dan arus input (V-I) pada aplikasi panel surya. Dengan bantuan Konverter DC-DC jenis Buck, Buck Konverter ini akan mengubah tegangan dc masukan menjadi tegangan dc yang lebih rendah (konverter penurun tegangan). Sistem ini bekerja dalam mode pensaklaran yang jauh lebih efisiensi dibanding sistem catu-daya linier lainnya. Dengan duty cycle pada pensaklaran konverter diubah dengan nilai yang tepat.

Hasil pengujian pada panel surya yang menggunakan maximum power point tracker (MPPT) dengan metode buck konverter, mendapatkan hasil yang maksimum pada berbagai intensitas matahari yang berbeda-beda. Selisih daya yang dicapai sebesar 3.03 % dengan menggunakan MPPT.

**Kata kunci :** Panel Surya, Maximum power point tracker (MPPT), Buck konverter, Duty cycle.

## **Abstract**

A wide range of renewable energy sources have been developed, the source of solar energy is a renewable energy source that is quite popular, clean and freely available. Cell photovoltaics (PV) as a kind of renewable power generation, PV still has many shortcomings, especially on the side of the output efficiency is low.

Maximum Power Point Tracker (MPPT) is a method for finding a point (point) of the curve maximum voltage and input current characteristics (VI) on the application of solar panels. With the help of DC-DC Converter type Buck, Buck Converter will convert dc input voltage into a lower dc voltage (lowering voltage converter). The system works in a switching mode that is much more efficient than linear power supply system of the other. With a duty cycle of the switching converter is converted to the proper value.

Test results on the solar panel that uses the maximum power point tracker (MPPT) by the method of a buck converter, get the maximum intensity of the sun on a variety of different. The excess power is achieved by using MPPT 3.03%.

**Key words :** Solar Panels, Maximum power point tracker (MPPT), Buck converter, Duty cycle.



## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kepada Allah SWT karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun *Maximum Power Point Tracker* Menggunakan *Buck Converter* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya” dapat terselesaikan.

Skripsi ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar sarjana teknik. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan pada:

1. Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. H. Sidik Noertjahjono, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Dr. Eng Aryuanto Soetedjo, ST, MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
5. Bapak Dr. Eng Aryuanto Soetedjo, ST, MT selaku Dosen Pembimbing I dari Jurusan Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
6. Bapak Awan Uji Krismanto, ST, MT selaku Dosen Pembimbing II dari Jurusan Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
7. Semua Pihak yang telah membantu dalam penulisan dan penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan untuk perbaikan skripsi ini.

Malang, 8 Oktober 2012

Penulis

## DAFTAR ISI

Lembar Persetujuan.....	i
Abstrak.....	ii
Kata Pengantar .....	iv
Daftar Isi .....	v
Daftar Gambar.....	vii
Daftar Tabel .....	ix
Daftar Grafik.....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	1
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Metodologi Penulisan .....	2
1.6. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II DASAR TEORI</b>	
2.1. Panel Surya .....	5
2.1.1. Prinsip Dasar Teknologi Panel Surya ( <i>Photovoltaic</i> ) .....	5
2.1.2. Efisiensi <i>Photovoltaic</i> .....	9
2.2. Konverter DC-DC .....	11
2.2.1. Buck Konverter .....	12
2.2.2. Konverter <i>Forward</i> .....	13
2.2.3. Konverter Jenis Jembatan .....	14
2.2.4. Konverter <i>Push-Pull</i> .....	16
2.2.5. Boost Konverter .....	17
2.2.6. Buck-Boost Konverter .....	18
2.3. Transistor .....	19
2.3.1. Jenis-jenis Transistor.....	20
2.3.2. BJT .....	21
2.3.3. FET.....	22
2.3.4. Mosfet .....	22
a. Mosfet tipe hampa ( <i>Depletion Type</i> ) .....	22
b. Mosfet tipe berisi ( <i>Enhancement type</i> ) .....	24

2.4. Induktor .....	25
2.5. Dioda .....	31
2.6. <i>Maximum power point Tracker</i> (MPPT).....	36
2.7. Mikrokontroler ATmega16 .....	37
2.8. LCD.....	42
2.9. Sensor Arus .....	45
2.10. Sensor Tegangan .....	47
2.11. <i>Driver</i> Mosfet IR2110.....	49
<b>BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT</b>	
3.1. Pendahuluan .....	51
3.2. Perancangan dan Perealisasian Alat.....	51
3.3. Perancangan Perangkat Keras .....	52
3.3.1. Perencanaan Panel Surya .....	52
3.3.2. Perencanaan MPPT Buck konverter .....	53
3.3.3. Perencanaan Mikrokontroller ATmega16.....	56
3.3.4. Rangkaian <i>Clock Generator</i> .....	57
3.3.5. Sensor Tegangan .....	58
3.3.6. Sensor Arus .....	59
3.3.7. LCD.....	59
3.4. <i>Flowchart</i> .....	61
<b>BAB IV PENGUJIAN</b>	
4.1. Umum.....	64
4.2. Pengujian dan Analisa Sistem.....	64
4.2.1. Pengujian Panel Surya .....	65
4.2.2. Pengujian Rangkaian Mikrokontroller.....	66
4.2.3. Pengujian Rangkaian Sensor Arus.....	67
4.2.4. Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan.....	69
4.2.5. Pengujian MPPT Buck Konverter.....	70
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1. Kesimpulan .....	75
5.2. Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA .....	76
LAMPIRAN .....	77

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Modul Surya .....	6
Gambar 2.2 : Prinsip Kerja <i>Photovoltaic</i> .....	6
Gambar 2.3 : Penampang PV .....	7
Gambar 2.4 : Sirkuit Sederhana dari Sel Fotovoltaik .....	7
Gambar 2.5 : Sirkuit Diode Tunggal.....	8
Gambar 2.6 : Penampang PV dari Bahan Silikon.....	10
Gambar 2.7 : Buck Konverter .....	13
Gambar 2.8 : Konverter <i>Forward</i> .....	14
Gambar 2.9 : Konverter Jembatan .....	15
Gambar 2.10 : Gelombang Konverter Jembatan Penuh.....	16
Gambar 2.11 : Konverter <i>Push-Pull</i> .....	17
Gambar 2.12 : Boost konverter .....	17
Gambar 2.13 : Penyearah dengan Faktor Daya-Satu .....	18
Gambar 2.14 : Buck-Boost Konverter .....	19
Gambar 2.15 : Konverter <i>Flyback</i> .....	19
Gambar 2.16 : Transistor .....	19
Gambar 2.17 : Simbol Transistor dari Berbagai tipe .....	21
Gambar 2.18 : Kontruksi Mosfet Tipe Hampa Kanal-N .....	24
Gambar 2.19 : Konstruksi Mosfet Tipe Berisi Kanal-N Elektron yang Terimbas Membentuk Kanal Maya bila Tegangan Gerbang Positif .....	25
Gambar 2.20 : Lambang rangkaian untuk induktansi .....	26
Gambar 2.21 : Perwakilan grafik parameter induktansi L .....	27
Gambar 2.22 : Rangkaian untuk contoh 2.3.....	28
Gambar 2.23 : Bentuk-bentuk gelombang untuk contoh 2.3 .....	29
Gambar 2.24 : Induktor linear dengan inti besi .....	30
Gambar 2.25 : (a) Susunan dioda sambungar, p-n, (b) Lambang diode .....	32
Gambar 2.26 : (a) Muatan listrik dalam bahan semikonduktor ienis-p. (b) Muatan listrik dalam semikonduktor jenis-n.....	32
Gambar 2.27 : Muatan listrik pada sambungan p-n .....	33
Gambar 2.28 : (a) Sambungan p-n. (b) Sebaran rapat muatan p. (c) Sebaran kuat medan listrik .....	34
Gambar 2.29 : Panjar maiu pada sambungan p-n .....	34

Gambar 2.30 : Sebaran potensial listrik jika dioda diberi panjar maju .....	35
Gambar 2.31. Sebaran petensial pada sambungan pn dengan panjar mundur .....	36
Gambar 2.32. Blok Diagram Konfigurasi Sistem MPPT .....	37
Gambar 2.33 : Pin Out ATmega16 .....	32
Gambar 2.34 : Diagram Block ATmega16 .....	38
Gambar 2.35 : Arsitektur Mikrokontroler AVR RISC .....	42
Gambar 2.36 : DDRAM M1632 .....	43
Gambar 2.37 : Hubungan antara CGROM dan DDRAM .....	44
Gambar 2.38 : Skematik LCD M1632 .....	44
Gambar 2.39 : Diagram Blok dari IC ACS712 .....	45
Gambar 2.40 : Konfigurasi Pin dari IC ACS712 .....	46
Gambar 2.41 : Kemasan dari IC ACS712 .....	46
Gambar 2.42 : Rangkaian Pembagi Tegangan .....	48
Gambar 2.43 : Contoh Rangkaian Pembagi Tegangan .....	49
Gambar 2.44 : Pin Out IR2110 .....	50
Gambar 3.1 : Blok Diagram MPPT dengan Buck Konverter .....	51
Gambar 3.2 : Rangkaian Buck Konverter .....	54
Gambar 3.3 : Alokasi pada Port ATmega16 .....	56
Gambar 3.4 : Rangkaian <i>Clock Generator</i> .....	57
Gambar 3.5 : Rangkaian Pembagi Tegangan .....	58
Gambar 3.6 : Skematik ACS712 .....	59
Gambar 3.7 : Skematik LCD .....	60
Gambar 3.8 : <i>Flowchart</i> pada MPPT .....	62
Gambar 4.1 : Panel Surya .....	65
Gambar 4.2 : Tegangan Output Panel Surya .....	66
Gambar 4.3 : Pengujian pada LCD .....	66
Gambar 4.4 : Sinyal Keluaran PWM pada Mokracontroller .....	67
Gambar 4.4 : Output ACS712 .....	67
Gambar 4.5 : Output Sensor Tegangan .....	69
Gambar 4.6 : Keluaran output Sinyal PWM Pada Driver Mosfet .....	74

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1	: Karakteristik Sel Surya.....	10
Tabel 2.2	: Jenis Modul Surya.....	11
Tabel 2.3	: Fungsi Khusus Port A.....	40
Tabel 2.4	: Fungsi Khusus Port B.....	40
Tabel 2.5	: Fungsi Khusus Port C.....	41
Tabel 2.6	: Fungsi Khusus Port D.....	41
Tabel 2.7	: Pin Out M1632.....	45
Tabel 2.8	: Tipe-tipe IC ACS712.....	47
Tabel 2.9	: Fungsi Pin IR2110.....	50
Tabel 3.1	: Spesifikasi dari Panel Surya.....	53
Tabel 3.2	: Spesifikasi Komponen Buck Konverter.....	53
Tabel 3.3	: Pin Out LCD.....	61
Tabel 4.1	: Data Pengujian Panel Surya 50 W(P).....	65
Tabel 4.2	: Hasil Pengujian Sensor Arus.....	68
Tabel 4.3	: Hasil Pengujian Sensor Tegangan.....	69
Tabel 4.4	: Pengukuran Tanpa MPPT.....	71
Tabel 4.5	: Pengukuran dengan MPPT.....	72

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1	: Pengaruh Resistor Seri dan Paralel pada Karakteristik Sel fotovoltaik..	9
Grafik 2.2	: Kurva Karakteristik P-V Panel Surya dengan Level Intensitas Cahaya Yang Berbeda-Beda .....	36
Grafik 2.3	: Tegangan Keluaran Sensor ACS712 terhadap Arus Listrik yang Terukur .....	47
Grafik 4.1	: Perbandingan menggunakan MPPT dan yang tanpa menggunakan MPPT .....	73



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi telah mendorong manusia untuk berusaha mengatasi segala permasalahan yang timbul di sekitarnya. Berbagai macam sumber energi terbarukan telah dikembangkan para peneliti, seperti pembangkit listrik energi angin, air, surya, pasang air laut, biomassa, biofuel, dan panas bumi. Sumber energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang cukup populer yang bersih dan tersedia secara bebas (*free*). Masalah utama dari jenis energi tersebut adalah tidak tersedia terus menerus. Energi surya hanya tersedia pada siang hari ketika cuaca cerah (tidak mendung atau hujan).

Pembangkit listrik tenaga surya merupakan salah satu pembangkit tenaga listrik alternatif yang banyak dikembangkan, panel surya / *photovoltaics cell* (PV) sebagai jenis pembangkit listrik terbarukan. Dalam aplikasinya secara konvensional panel surya memiliki banyak kekurangan terutama pada sisi efisiensi keluaran yang terbilang rendah, hal tersebut dikarenakan perbedaan karakteristik antara panel surya dengan beban dan intensitas cahaya matahari selalu berubah-ubah.

*Maximum Power Point Tracker* (MPPT) adalah suatu metode untuk mencari point (titik) maksimum dari kurva karakteristik tegangan dan arus input (V-I) pada aplikasi panel surya. Sistem *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) dengan bantuan Konverter DC-DC digunakan untuk mengatur besarnya tegangan keluaran pada panel surya, agar panel surya memperoleh daya maksimum pada berbagai tingkat intensitas cahaya matahari. Dengan menganalisa masukan sumber hasil konversi panel surya dengan memanfaatkan kemampuan kapasitas puncak dari karakteristik panel, diharapkan mendapat daya maksimum ketika Konverter bekerja dan tidak terlalu besar daya yang hilang saat proses switching yang terhubung kebeban.

### 1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas dapat diperoleh permasalahan yang timbul diantaranya yaitu:

1. Bagaimana cara untuk memperoleh daya pada panel surya secara maksimal dengan berbagai intensitas cahaya matahari.

2. Mendapatkan perbandingan penggunaan panel surya yang menggunakan konverter dc-dc tipe buck dan yang tanpa konverter dc-dc.
3. Bagaimana cara mengendalikan PWM pada buck konverter agar tidak terlalu besar daya yang hilang ketika converter bekerja.

### 1.3. Tujuan

Tujuan dari skripsi ini adalah bagaimana cara untuk memaksimalkan kinerja pada panel surya dengan menggunakan buck konverter untuk mencapai daya yang maksimum.

### 1.4. Batasan Masalah

Penulisan mengambil batasan masalah sebagai berikut:

1. Tidak membahas mengenai *charge battery*.
2. Tidak membahas mengenai *battery*.
3. Hanya menggunakan model konverter dc-dc adalah tipe buck.
4. Tidak membahas mengenai catu daya.
5. Hanya membahas MPPT untuk panel surya.

### 1.5. Metodologi Penulisan

Metodologi penulisan yang dipakai dalam pembuatan skripsi ini:

#### a. Studi literatur

Mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang telah ada, yang berhubungan dengan pembahasan masalah.

#### b. Perencanaan dan pembuatan alat

Membuat digram blok rangkaian yang sesuai dengan rencana kerja, yang kemudian direalisasikan dengan masalah perencanaan dan pembuatan berdasarkan diagram blok rangkaian yang telah disusun.

#### c. Studi analisa alat

Dimaksudkan untuk melakukan analisa dan pengujian alat yang telah dirancang apakah sesuai antara fungsi dengan kerja yang diharapkan.

#### d. Pengambilan Kesimpulan

Dilakukan setelah mendapatkan hasil dari perancangan dan pengujian alat. Jika hasil yang diperoleh telah sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan saat

dilakukan perancangan, berarti alat tersebut telah dianggap selesai dan sesuai dengan harapan.

e. Penyusunan buku laporan

Bertujuan untuk menyusun data laporan yang berpedoman pada alat yang telah selesai dibuat beserta kesimpulan dan cara kerja alat.

## 1.6. Sistematika penulisan

Sistematika penulisan dalam proses penyelesaian penulisan dan pembuatan peralatan ini penulis melakukan dalam tahap-tahap yang sesederhana mungkin untuk mempermudah pemahaman dan penguasaan teori aplikasi peralatan ini secara praktis. Langkah awal proses tersebut adalah studi kepustakaan serta penguasaan teori yang disusul dengan perencanaan rangkaian. Selanjutnya diikuti dengan pembuatan laporan tugas akhir yang berupa buku merupakan akhir dari pembuatan tugas akhir. Langkah-langkah di atas dapat dibuat sistematika pembahasan dari buku ini menjadi lima bab yakni:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, metodologi pembahasan dan sistematika pembahasan yang akan dipaparkan dalam skripsi ini.

### **BAB II LANDASAN TEORI**

Membahas tentang berbagai macam teori yang mendukung tentang buck *converter*, panel surya dan MPPT.

### **BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT**

Berisi mengenai tahap-tahap RANCANG BANGUN *MAXIMUM POWER POINT TRACKER* MENGGUNAKAN *BUCK CONVERTER* PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA. Hal ini meliputi perancangan arsitektur hardware dan pembuatan software aplikasi.

### **BAB IV PENGUJIAN ALAT**

Membahas tentang pengujian MPPT, pengujian sensor untuk menentukan PWM yang dikeluarkan mikrokontroler ATmega16.

## **BAB V PENUTUP**

Penulis menarik kesimpulan dari apa yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya dan mengemukakan saran-saran yang mungkin akan bermanfaat bagi laporan akhir ini.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

Landasan teori sangat membantu untuk dapat memahami suatu sistem, selain dari pada itu, dapat juga dijadikan sebagai bahan literatur, teori dasar, serta referensi yang berguna sebagai acuan, rujukan perhitungan dan landasan acuan di dalam merencanakan suatu sistem. Dengan pertimbangan hal-hal tersebut, maka landasan teori merupakan bagian yang harus dipahami untuk pembahasan selanjutnya. Pengetahuan yang mendukung perencanaan dan pembuatan alat tersebut.

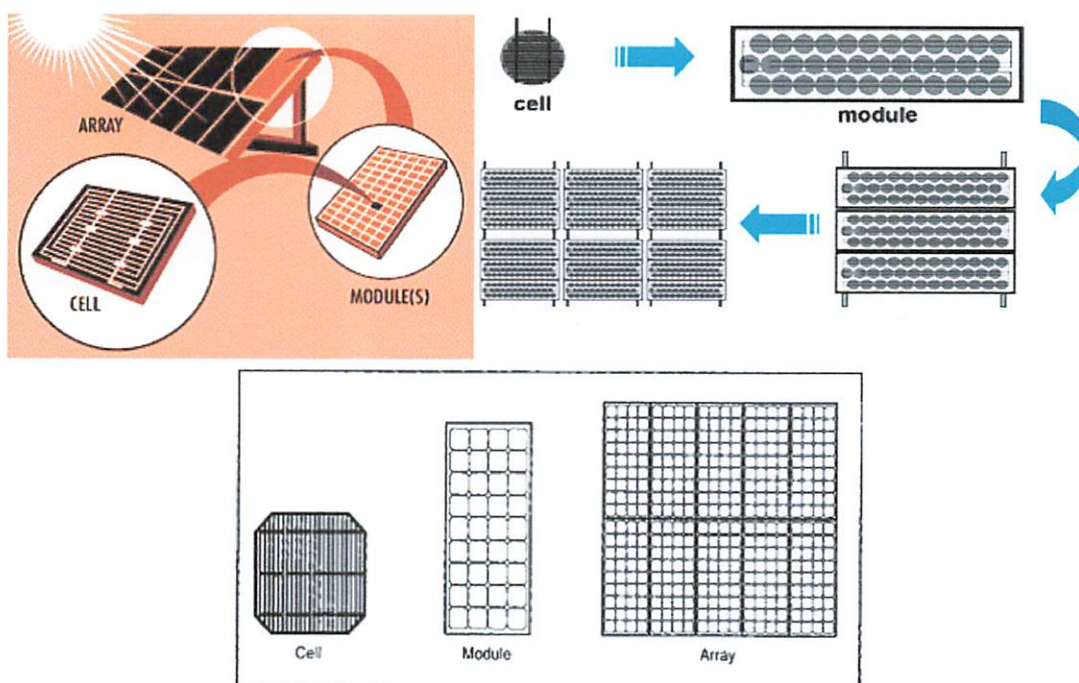
#### 2.1. Panel Surya

*Photovoltaic* adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek *photovoltaic*.

Panel surya sangat mudah dalam hal pemeliharaan karena tidak ada bagian yang bergerak. Satu-satunya hal yang harus dikhawatirkan adalah memastikan untuk menyingkirkan segala hal yang dapat menghalangi sinar matahari ke panel surya tersebut.

##### 2.1.1. Prinsip Dasar Teknologi Panel Surya (*Photovoltaic*)

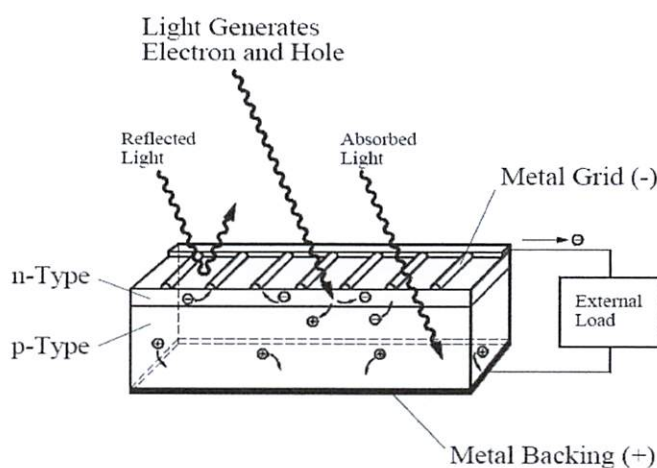
Inti dari kerja *photovoltaic* (PV) adalah mengubah atau mengkonversi energi dari radiasi matahari menjadi energi listrik. Beberapa komponen yang digunakan adalah elemen semikonduktor yang disebut sel surya, kemudian disusun menjadi modul surya.



**Gambar 2.1. Modul Surya**

(Sumber : Oleh Suhono Instalasi Solar House System)

Prinsip Kerja *photovoltaic*:



**Gambar 2.2. Prinsip Kerja Photovoltaic**

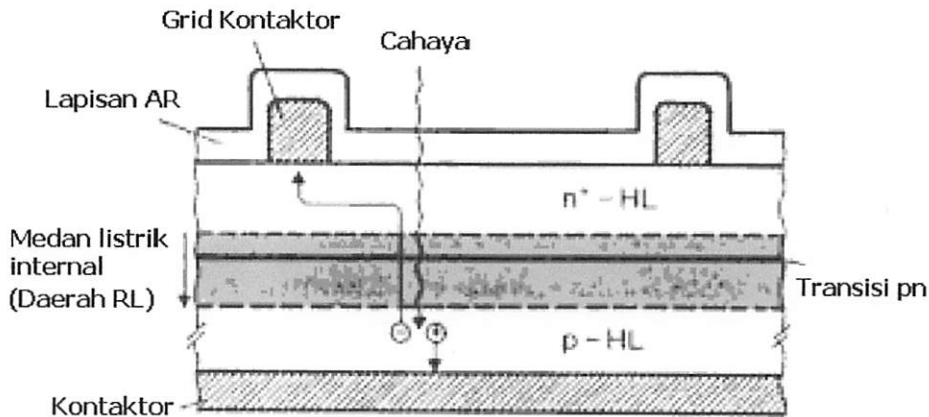
(Sumber : Oleh Suhono Instalasi Solar House System)

Prinsip kerja PV adalah ketika ada sebuah foton atau lebih masuk ke dalam sel surya yang terdiri dari lapisan semikonduktor seperti pada gambar, maka akan menghasilkan pembawa muatan bebas berupa elektron dan *hole*. Foton yang masuk berasal dari radiasi matahari. Jika pembawa muatan dapat mencapai daerah ruang muatan sebelum terjadi rekombinasi, maka akibat oleh medan listrik yang ada akan

dipisahkan dan dapat bergerak menuju kontaktor. Jika terdapat kawat penghubung antar kontaktor maka dapat dihasilkan arus (Penick dan Louk, 1998).

Secara umum, konstruksi sebuah PV terdiri dari 3 bagian, yaitu

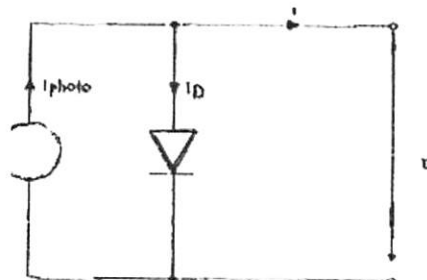
- Lapisan penerima radiasi
- Lapisan tempat terjadinya pemisahan muatan akibat fotoinduksi
- Lapisan kontaktor



**Gambar 2.3. Penampang PV**

(Sumber : Oleh Suhono Instalasi Solar House System)

Banyak variasi bahan yang digunakan dalam membuat PV. Silikon memiliki indeks bias bahan yang tinggi maka akibatnya pada permukaan terjadi rugi refleksi yang besar (sampai 30%). Oleh karena itu, untuk meminimalkan rugi tersebut maka pada permukaan dilapisi dengan lapisan antirefleksi/lapisan AR (Sihana, 2007). Secara sederhana, komponen yang ada di dalam sel PV dapat digambarkan sebagai sirkuit elektrik.



**Gambar 2.4. Sirkuit Sederhana dari Sel fotovoltaik**

(Sumber : Oleh Suhono Instalasi Solar House System)



Dari penggambaran sebagai sirkuit elektrik seperti di atas, maka dihasilkan:

$$I = I_{\text{photon}} - I_{\text{dark}}$$

$$I = I_{\text{photon}} - I_s \left( e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:

$V_T$  = Thermal Voltage in V

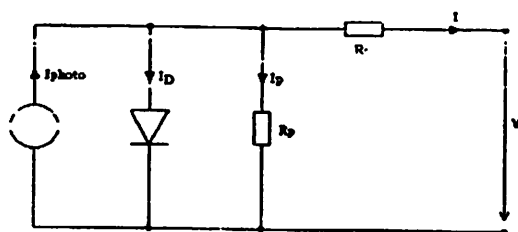
$V_T = kT/e$ , ( $V_T = 25,7$  mV pada  $25^\circ\text{C}$ )

$k$  = konstanta Boltzman ( $k = 1,3806 \times 10^{-23}$  J/K)

$e$  = muatan elektron ( $e = 1,6022 \times 10^{-19}$  As)

$I_S$  = arus saturasi diode

Dalam menyusun sel PV menjadi sebuah modul, tipe rangkaian akan mempengaruhi karakteristik dari PV itu sendiri (lihat Gambar 2.6). Namun, baik tipe rangkaian seri ( $R_s$ ) maupun paralel ( $R_p$ ), keduanya tetap memiliki rugi-rugi (*losses*) akibat rangkaiannya (Sihana, 2007). Secara sederhana, rangkaian sirkuit elektriknya berubah menjadi seperti pada Gambar 2.5



**Gambar 2.5. Sirkuit Diode Tunggal**

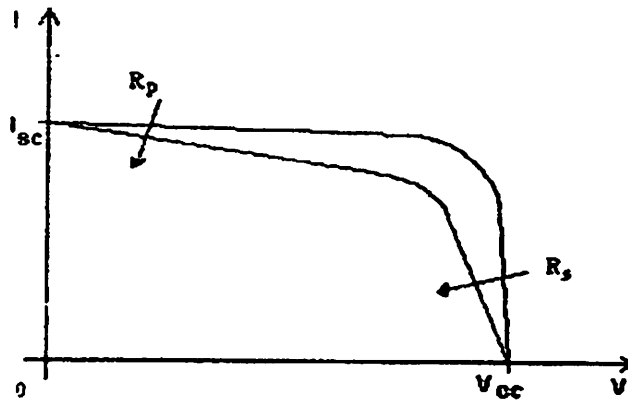
(Sumber : Oleh Suhono Instalasi Solar House System)

Dengan pemodelan seperti di atas, maka arusnya menjadi :

$$I = I_{\text{photon}} - I_0 - I_P$$

$$I_P = (V + I R_S) / R_P$$

$$I_0 = I_S \left( \exp \left( (V + I R_S) / (m V_T) \right) - 1 \right)$$



**Grafik 2.1. Pengaruh Resistor Seri dan Paralel pada Karakteristik Sel fotovoltaik**

(Sumber : Oleh Suhono Instalasi Solar House System)

### 2.1.2. Efisiensi Photovoltaic

Dalam menilai suatu PV bekerja dengan baik atau tidak, serta menentukan kualitasnya adalah tergantung pada efisiensi yang dihasilkan oleh PV tersebut. Apabila PV memiliki efisiensi yang baik, maka daya yang dihasilkan akan maksimal dan rugi-rugi akan semakin kecil. PV dengan efisiensi yang tinggi dan rugi-rugi yang kecil inilah yang bisa dikatakan PV yang baik.

Efisiensi pada PV dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain insolasi matahari ( $I$ ), Luas kolektor PV ( $A_c$ ) dan daya kolektor yang dimiliki PV. Secara matematis bisa dituliskan sebagai berikut :

$$\eta_p = \frac{(IV)_{max}}{IA_c} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana,

$\eta_p$  = efisiensi PV

$(IV)_{max}$  = daya kolektor maksimum (W)

$I$  = Insolasi matahari ( $W/m^2$ )

$A_c$  = luas kolektor PV ( $m^2$ )

Daya output yang dihasilkan oleh sel surya bervariasi tergantung pada energi *band gap* masing-masing bahan semikonduktornya (Green, 1998).

**Tabel 2.1. Karakteristik Sel Surya**

Jenis Material	Energi Band Gap (eV)	$\eta_{so}$	$\eta_{struktur}$
Silikon (Si)	1,11	24	8
Indium Phosphide (InP)	1,25	23	3
Gallium Arsenide (GaAs)	1,35	24	1
Cadmium Telluride (CdTe)	1,45	21	7
Gallium Phosphide (GaP)	2,25	17	1
Cadmium Sulfide (CdS)	2,40	16	7

(Sumber : Oleh Suhono Instalasi Solar House System)

Nilai efisiensi sebuah modul surya juga sangat tergantung kepada nilai *Peak Sun Hour (PSH)*. PSH sangat subyektif tergantung pada karakteristik lingkungan termasuk lamanya penyinaran matahari dan indeks kecerahan di suatu tempat. Besarnya nilai PSH bisa diperoleh mengikuti rumus berikut :

$$PSH = \Sigma \bar{I} \Delta t / IR \dots \dots \dots (2.3)$$

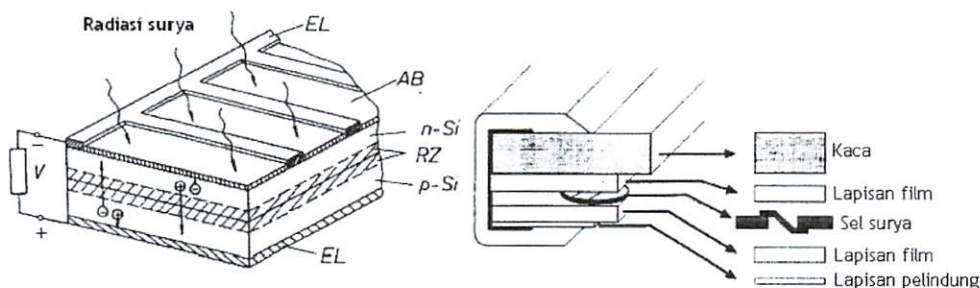
Di mana :

$\bar{I}$  adalah intensitas matahari pada jam tertentu pada bulan tertentu

$\Delta t$  adalah rentang waktu dimana matahari memiliki intensitas rerata harian  $\bar{I}$

$IR$  adalah intensitas matahari untuk pengujian standar PV ( $1000 \text{ W/m}^2$ )

Gambar 2.7. adalah gambar penampang susunan sel PV dari bahan silikon.



**Gambar 2.6. Penampang PV dari Bahan Silikon**

(Sumber : Oleh Suhono Instalasi Solar House System)

Berdasarkan pada struktur kristalnya, maka sel PV dari bahan silikon dapat dibedakan menjadi 3 macam :

- Sel monokristalin : efisiensi tinggi (16%), memiliki stabilitas yang bagus tetapi harganya mahal.

- Sel multikristalin : efisiensi lebih rendah (13%),
- Sel *amorf* : proses produksi jauh lebih mudah dibanding kedua tipe di atas, tetapi dengan efisiensi sel PV paling rendah.

**Tabel 2.2. Jenis Modul Surya (Sihana, 2007)**

Keterangan	SM55 Siemens	BP585 BP Solar	NT51A85E Sharp	50-ALF ASE	UPM880 Unisolar	ST40 Siemens
Tipe Sel	Mono-Si	Mono-Si	Mono-Si	Poli-Si	a-Si	CIS
Jumlah sel	36(3x12)	36(4x9)	36(4x9)	36(4x9)	-	-
Tegangan (V)	17,4	18	17,4	17,2	15,6	16,6
Arus (A)	3,15	4,72	4,91	2,9	1,4	2,29
Efisiensi (%)	12,9	13,5	13,4	11,5	5,4	8,9

## 2.2. Konverter DC-DC

Sistem catu-daya yang bekerja dalam mode pensaklaran (*switching*) mempunyai efisiensi yang jauh lebih tinggi dibanding sistem catu-daya linier. Oleh karenanya, hampir semua catu-daya modern bekerja dalam mode switching atau dikenal sebagai SMPS (*Switched Mode Power Supply*). Komponen utama dari sistem catu-daya adalah konverter dc-dc yang berfungsi untuk mengkonversikan daya elektrik bentuk dc (searah) ke bentuk dc lainnya.

Secara umum, ada tiga rangkaian (topologi) dasar konverter dc-dc, yaitu buck, boost, dan buck-boost. Rangkaian lain biasanya mempunyai kinerja mirip dengan topologi dasar ini sehingga sering disebut sebagai turunannya. Contoh dari konverter dc-dc yang dianggap sebagai turunan rangkaian buck adalah *forward*, *push-pull*, *half-bridge*, dan *full-bridge*. Contoh dari turunan rangkaian boost adalah konverter yang bekerja sebagai sumber arus. Contoh dari turunan rangkaian buck-boost adalah konverter *flyback*.

Pada tahun 1980-an, ditemukan dan dipatenkan ratusan rangkaian baru konverter dc-dc. Rangkaian baru ini ditawarkan dengan bermacam kelebihan yang diklaim bisa menggantikan peran rangkaian konvensional. Para insinyur baru sering sekali pusing dan menghabiskan banyak waktu untuk memilih dan mencoba rangkaian baru ini. Akan

tetapi setelah banyak menghabiskan waktu dan biaya, sering sekali terbukti bahwa rangkaian baru tersebut sangat susah untuk diproduksi. Sebagai akibatnya, sampai saat ini, hampir semua industri masih menawarkan topologi dasar dalam jajaran produknya. Pengecualian mungkin ditemui pada penerapan yang sangat khusus. Akan tetapi, hampir semua insinyur biasanya mencoba lebih dulu menggunakan rangkaian dasar untuk bermacam keperluan. Kalau diperlukan, kinerja yang khusus dicoba dipenuhi dengan menggunakan beberapa rangkaian dasar yang dihubungkan seri, paralel, atau kaskade.

Kondisi ini tidak berarti bahwa konverter dc-dc tidak mengalami perkembangan selama tiga-puluh tahun terakhir ini. Perkembangan pesat terjadi di bidang integrasi, produksi, saklar semikonduktor, dan teknik untuk mengurangi rugi-rugi penyaklaran. Tulisan ini akan mencoba mengkaji beberapa topologi dasar konverter daya yang banyak dipakai di industri. Dengan memahami kinerja konverter dasar ini, para insinyur yang bekerja di industri konverter daya bisa dengan baik memilih topologi yang sesuai untuk hampir semua keperluan. Pekerjaan selanjutnya tinggal menentukan ukuran tapis dan rangkaian kendalinya.

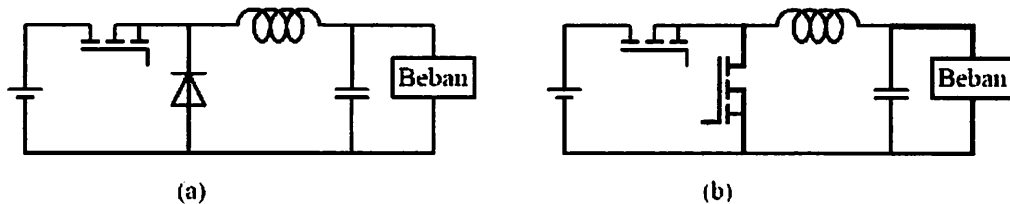
### 2.2.1. Buck Konverter

Konverter jenis buck merupakan jenis konverter yang banyak digunakan dalam industri catu-daya. Konverter ini akan mengkonversikan tegangan dc masukan menjadi tegangan dc lain yang lebih rendah (konverter penurun tegangan).

Rangkaian ini terdiri atas satu saklar aktif (MOSFET) dan satu saklar pasif (diode). Untuk tegangan kerja yang rendah, saklar pasif sering diganti dengan saklar aktif sehingga susut daya yang terjadi bisa dikurangi. Kedua saklar ini bekerja bergantian. Setiap saat hanya ada satu saklar yang menutup. Nilai rata-rata tegangan keluaran konverter sebanding dengan rasio antara waktu penutupan saklar aktif terhadap periode penyaklarannya (faktor kerja). Nilai faktor kerja bisa diubah dari nol sampai satu. Akibatnya, nilai rata-rata tegangan keluaran selalu lebih rendah dibanding tegangan masukannya.

Beberapa konverter buck bisa disusun paralel untuk menghasilkan arus keluaran yang lebih besar. Jika sinyal ON-OFF masing-masing konverter berbeda sudut satu sama lainnya sebesar  $360^\circ/N$ , yang mana  $N$  menyatakan jumlah konverter, maka didapat konverter dc-dc  $N$ -fasa. Konverter buck  $N$ -fasa inilah yang sekarang banyak digunakan sebagai regulator tegangan mikroprosesor generasi baru. Dengan memperbanyak jumlah

fasa, ukuran tapis yang diperlukan bisa menjadi jauh lebih kecil dibanding konverter dc-dc satu-fasa. Selain digunakan sebagai regulator tegangan mikroprosesor, konverter buck multifasa juga banyak dipakai dalam industri logam yang memerlukan arus dc sangat besar pada tegangan yang rendah.



**Gambar 2.7. Buck Konverter**

(Sumber : <http://konversi.wordpress.com/2009/01/07/topologi-konverter-dc-dc/> )

Perlu dicatat bahwa arus masukan konverter buck selalu bersifat tak kontinyu dan mengandung riak yang sangat besar. Akibatnya pada sisi masukan, konverter buck memerlukan tapis kapasitor yang cukup besar untuk mencegah terjadinya gangguan interferensi pada rangkaian di sekitarnya. Konverter dc-dc jenis buck biasanya dioperasikan dengan rasio antara tegangan masukan terhadap keluarannya tidak lebih dari 10. Jika dioperasikan pada rasio tegangan yang lebih tinggi, saklar akan bekerja terlalu keras sehingga keandalan dan efisiensinya turun. Untuk rasio yang sangat tinggi, lebih baik kalau kita memilih versi yang dilengkapi trafo.

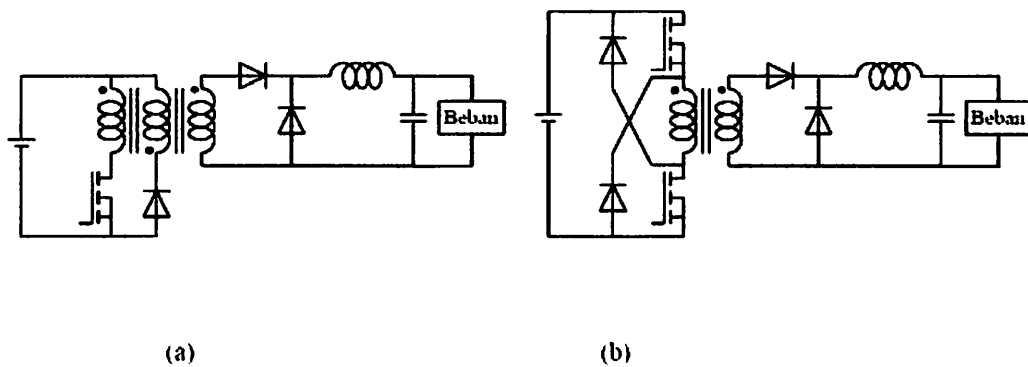
### 2.2.2. Konverter Forward

Jika penerapan mensyaratkan adanya isolasi galvanis antara sisi masukan dan keluaran atau bekerja dengan rasio tegangan yang sangat tinggi maka konverter jenis forward bisa menjadi pilihan. Skema dari konverter dc-dc jenis forward diperlihatkan di Gambar 2.9.(a). Jika saklar MOSFET menutup maka beban akan merasakan tegangan yang besarnya sebanding dengan tegangan masukan dikalikan rasio jumlah lilitan trafonya. Jika saklar MOSFET menutup maka tegangan bebannya sama dengan nol. Akibatnya, nilai rata-rata tegangan beban bisa diatur dengan mengatur faktor kerja saklar. Rasio tegangan yang tinggi didapat dengan memilih rasio jumlah lilitan trafo yang sesuai.

Pada Gambar 2.9.(a), trafo dilengkapi dengan belitan tersier dan dioda. Rangkaian ini berperan saat saklar MOSFET terbuka. Belitan bantu dan dioda ini berfungsi untuk menjamin bahwa fluksi magnetik di inti trafo telah turun kembali menjadi nol sebelum saklar MOSFET kembali ditutup. Tegangan maksimum yang

dirasakan saklar aktif adalah tegangan sumber ditambah tegangan primer trafo (tegangan beban dikalikan rasio jumlah lilitan primer terhadap sekunder). Selain itu untuk menjamin bahwa fluksi magnetik selalu kembali menjadi nol selama saklar aktif terbuka, saklar aktif tidak boleh dioperasikan dengan faktor-kerja lebih dari 50%. Pada saat ini, konverter forward seperti di Gambar 2.9.(a) banyak dipakai untuk daya sampai 100 Watt.

Untuk daya yang lebih besar, rangkaian konverter forward dimodifikasi menjadi seperti terlihat di Gambar 2.9.(b). Dengan topologi ini, tegangan maksimum yang dirasakan saklar menjadi berkurang. Topologi ini cocok untuk daya sampai 1000 Watt. Untuk daya kecil, topologi ini tidak cocok karena susut daya di empat saklar yang digunakan menjadi sangat membebani sistem.



**Gambar 2.8. Konverter Forward**

(Sumber : <http://konversi.wordpress.com/2009/01/07/topologi-konverter-dc-dc/>)

### 2.2.3. Konverter Jenis Jembatan

Masalah utama yang dihadapi konverter forward adalah penggunaan trafo yang kurang efisien. Penggunaan trafo kurang efisien karena trafo dimagnetisasi secara tak simetris (gelombang tegangan trafo bukan gelombang bolak-balik). Untuk mengatasi masalah ini, kita bisa menggunakan topologi setengah-jembatan (*half-bridge*) seperti terlihat di Gambar 2.10.(a). Jika saklar S1 ditutup maka trafo merasakan tegangan positif sedangkan jika saklar S2 ditutup maka trafo merasakan tegangan negatif. Kelemahan utama dari topologi ini adalah tidak cocok untuk dioperasikan dalam mode arus terkendali. Inilah alasan utama mengapa topologi ini tidak banyak digunakan.

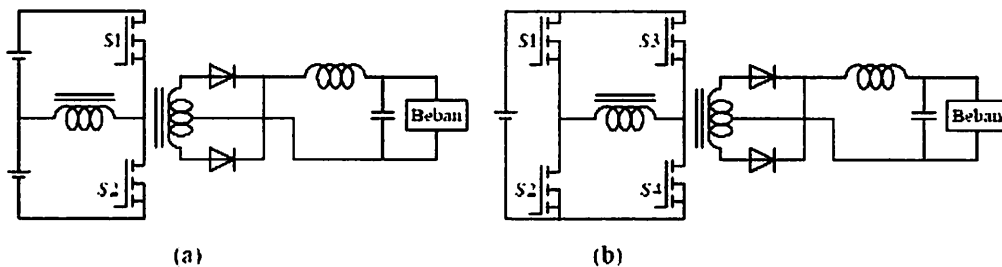
Untuk mengatasi masalah pada konverter setengah-jembatan, kita bisa menggunakan topologi jembatan-penuh (*full-bridge*). Skema konverter ini diperlihatkan di Gambar 2.10.(b). Untuk memahami kinerja konverter jembatan-penuh, kita bisa



menganggap sebagai dua konverter setengah-jembatan seperti terlihat di Gambar 2.11. Masing-masing konverter setengah-jembatan menghasilkan gelombang persegi yang berbeda fasa. Belitan primer trafo akan merasakan selisih tegangan yang dihasilkan oleh dua konverter setengah-jembatan tersebut. Selisih tegangan ini tergantung pada besarnya beda fasa antara dua gelombang tegangan yang dihasilkan.

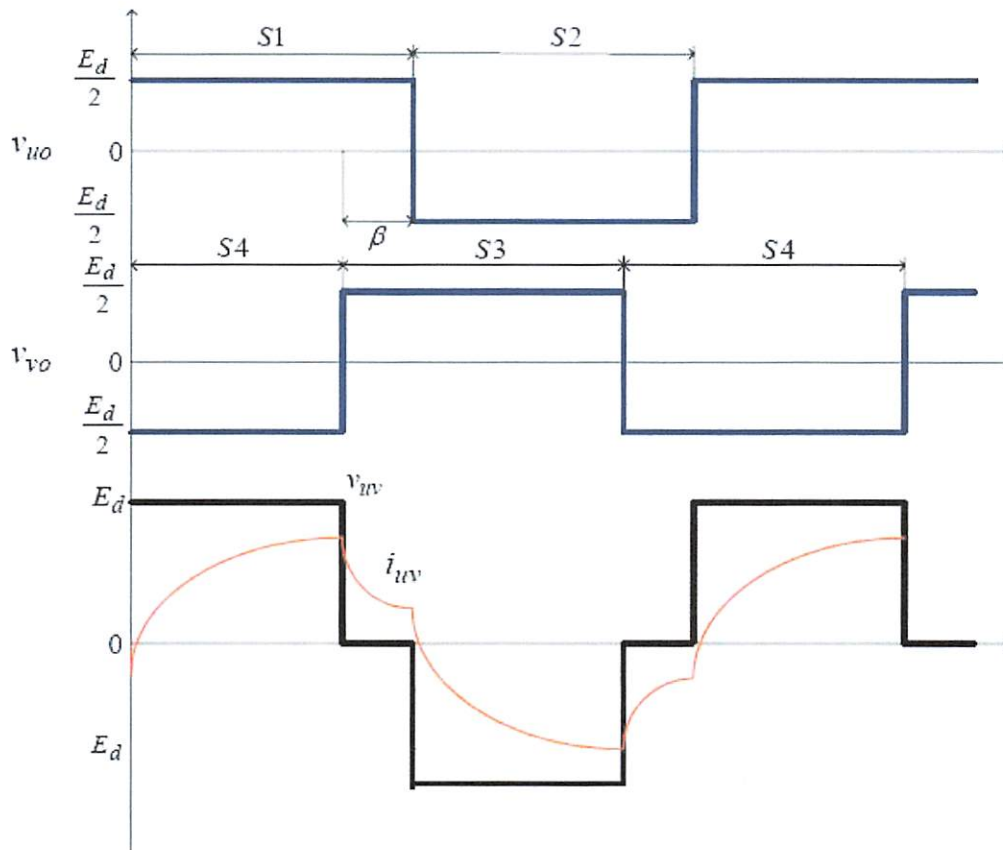
Dengan mode kerja seperti di Gambar 2.11, konverter jembatan-penuh bisa dirancang agar bekerja dalam mode pensaklaran lunak (*soft switching*). Pada mode kerja ini, pembukaan dan penutupan saklar selalu terjadi saat tegangan pada saklar sama dengan nol. Akibatnya, rugi-rugi daya pensaklaran (rugi-rugi daya yang terjadi selama proses penutupan dan pembukaan saklar) bisa ditekan menjadi sangat rendah.

Konverter daya jenis jembatan penuh ini cocok untuk penerapan daya besar sampai 5000 Watt. Walaupun komponen yang digunakannya banyak, manfaat yang didapat bisa mengalahkan kerugiannya.



**Gambar 2.9. Konverter Jembatan**

(Sumber : <http://konversi.wordpress.com/2009/01/07/topologi-konverter-dc-dc/>)



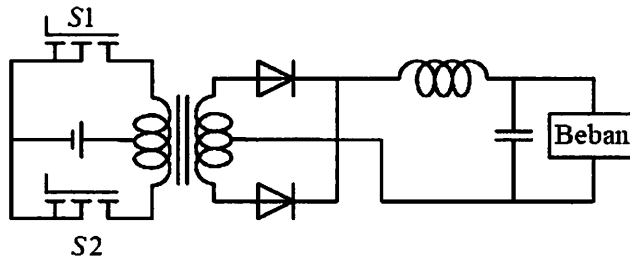
**Gambar 2.10. Gelombang Konverter Jembatan Penuh**

(Sumber : <http://konversi.wordpress.com/2009/01/07/topologi-konverter-dc-dc/>)

#### 2.2.4. Konverter *Push-Pull*

Topologi turunan buck lain yang cukup populer adalah *push-pull* seperti terlihat di Gambar 2.12. Keuntungan utama dari topologi ini adalah dua saklar yang digunakan bisa dikendalikan dengan dua rangkaian *gate* yang referensinya sama. Ini akan sangat menyederhanakan rangkaian kendali yang diperlukan sehingga bisa dibuat dalam satu *chip*.

Topologi *push-pull* cocok untuk penerapan dengan tegangan masukan yang rendah karena saklar akan merasakan tegangan sebesar dua kali tegangan masukannya. Akibatnya, rangkaian ini cocok untuk konverter daya yang dipasang dengan baterai. Topologi ini banyak dipakai untuk daya sampai 500 Watt.



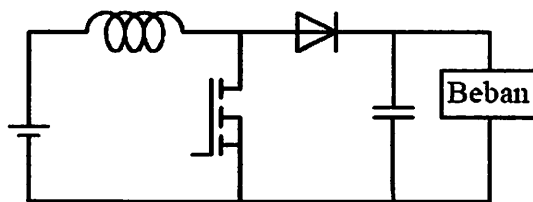
**Gambar 2.11. Konverter Push-Pull**

(Sumber : <http://konversi.wordpress.com/2009/01/07/topologi-konverter-dc-dc/>)

### 2.2.5. Boost Konverter

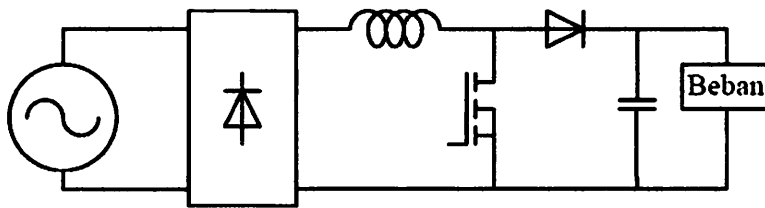
Topologi boost bisa menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dibanding tegangan masukannya (penaik tegangan). Skema konverter ini diperlihatkan di Gambar 2.13. Jika saklar MOSFET ditutup maka arus di induktor akan naik (energi tersimpan di induktor naik). Saat saklar dibuka maka arus induktor akan mengalir menuju beban melewati dioda (energi tersimpan di induktor turun). Rasio antara tegangan keluaran terhadap tegangan masukan konverter sebanding dengan rasio antara periode penyaklaran dan waktu pembukaan saklar. Ciri khas utama konverter ini adalah bisa menghasilkan arus masukan yang kontinyu.

Pada saat ini, topologi boost banyak dipakai dalam penyearah yang mempunyai faktor-daya satu seperti terlihat di Gambar 2.14. Pada rangkaian ini, saklar dikendalikan sedemikian rupa sehingga gelombang arus induktor mempunyai bentuk seperti bentuk gelombang sinusoidal yang disearahkan. Dengan cara ini, arus masukan penyearah akan mempunyai bentuk mendekati sinusoidal dengan faktor-daya sama dengan satu. Pengendali konverter semacam ini sekarang tersedia banyak di pasaran dalam bentuk *chip*.



**Gambar 2.12. Boost Konverter**

(Sumber : <http://konversi.wordpress.com/2009/01/07/topologi-konverter-dc-dc/>)



**Gambar 2.13. Penyearah dengan Faktor-Daya Satu**

(Sumber : <http://konversi.wordpress.com/2009/01/07/topologi-konverter-dc-dc/>)

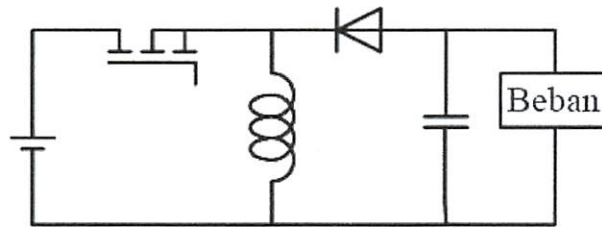
### 2.2.6. Buck-Boost Konverter

Skema konverter buck-boost diperlihatkan di Gambar 2.15. Jika saklar MOSFET ditutup maka arus di induktor akan naik, saat saklar dibuka maka arus di induktor turun dan mengalir menuju beban. Dengan cara ini, nilai rata-rata tegangan beban sebanding dengan rasio antara waktu pembukaan dan waktu penutupan saklar. Akibatnya, nilai rata-rata tegangan beban bisa lebih tinggi maupun lebih rendah dari tegangan sumbernya.

Masalah utama dari konverter buck-boost adalah menghasilkan riak arus yang tinggi baik di sisi masukan maupun sisi keluarannya. Akibatnya, diperlukan tapis kapasitor yang besar di kedua sisinya. Inilah salah satu alasan mengapa konverter buck-boost jarang dipakai di industri.

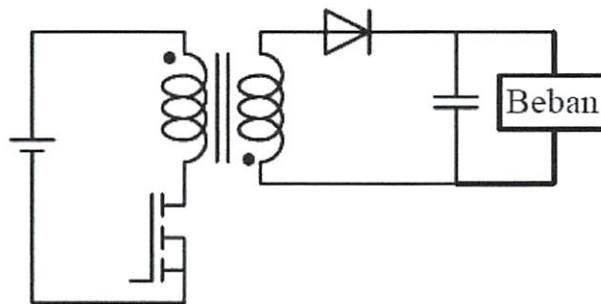
Dalam industri, topologi yang sering dipakai adalah turunan buck-boost yang lebih populer disebut konverter *flyback*. Skema konverter ini diperlihatkan di Gambar 2.16. Pada konverter ini, energi tersimpan di trafo akan naik saat saklar MOSFET ditutup. Saat saklar dibuka, energi tersimpan di trafo akan dikirim ke beban melalui dioda. Konverter ini sering dipakai untuk menghasilkan banyak level tegangan keluaran dengan menggunakan beberapa belitan sekunder trafo.

Konverter *flyback* biasa dipakai untuk daya sampai 100 Watt. Keuntungan utama dari konverter *flyback* adalah menggunakan komponen yang paling sedikit dibanding konverter jenis lainnya. Kelemahan utama dari topologi ini adalah tingginya tegangan yang dirasakan oleh saklar.



**Gambar 2.14. Buck-Boost Konverter**

(Sumber : <http://konversi.wordpress.com/2009/01/07/topologi-konverter-dc-dc/>)

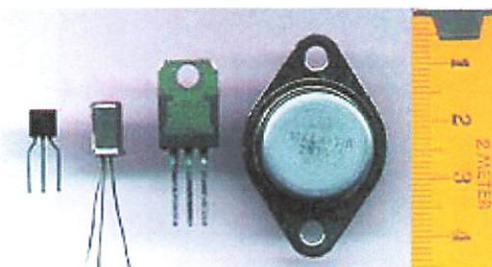


**Gambar 2.15. Konverter Flyback**

(Sumber : <http://konversi.wordpress.com/2009/01/07/topologi-konverter-dc-dc/>)

### 2.3. Transistor

Transistor adalah alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, sebagai sirkuit pemutus dan penyambung (*switching*), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau sebagai fungsi lainnya. Transistor dapat berfungsi semacam kran listrik, dimana berdasarkan arus inputnya (BJT) atau tegangan inputnya (FET), memungkinkan pengaliran listrik yang sangat akurat dari sirkuit sumber listriknya.



**Gambar 2.16. Transistor**

(Sumber : <http://id.wikipedia.org/wiki/Transistor>)

Pada umumnya, transistor memiliki 3 terminal, yaitu Basis (B), Emitor (E) dan Kolektor (C). Tegangan yang di satu terminalnya misalnya Emitor dapat dipakai untuk

mengatur arus dan tegangan yang lebih besar daripada arus input Basis, yaitu pada keluaran tegangan dan arus output Kolektor.

Transistor merupakan komponen yang sangat penting dalam dunia elektronik modern. Dalam rangkaian analog, transistor digunakan dalam amplifier (penguat). Rangkaian analog melingkupi penguat suara, sumber listrik stabil (*stabilisator*) dan penguat sinyal radio. Dalam rangkaian-rangkaian digital, transistor digunakan sebagai saklar berkecepatan tinggi. Beberapa transistor juga dapat dirangkai sedemikian rupa sehingga berfungsi sebagai *logic gate*, memori dan fungsi rangkaian-rangkaian lainnya.

### *Cara kerja transistor*

Dari banyak tipe-tipe transistor modern, pada awalnya ada dua tipe dasar transistor, bipolar junction transistor (BJT atau transistor bipolar) dan *field-effect* transistor (FET), yang masing-masing bekerja secara berbeda.

Transistor bipolar dinamakan demikian karena kanal konduksi utamanya menggunakan dua polaritas pembawa muatan : elektron dan lubang, untuk membawa arus listrik. Dalam BJT, arus listrik utama harus melewati satu daerah/lapisan pembatas dinamakan *depletion zone*, dan ketebalan lapisan ini dapat diatur dengan kecepatan tinggi dengan tujuan untuk mengatur aliran arus utama tersebut.

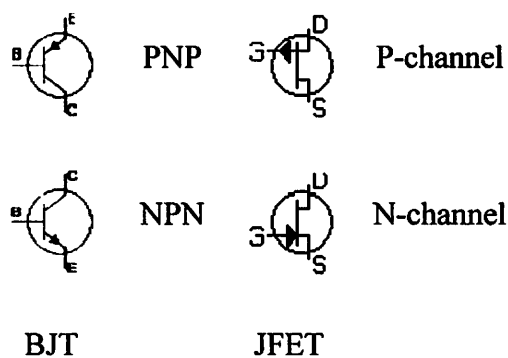
FET (juga dinamakan transistor unipolar) hanya menggunakan satu jenis pembawa muatan (elektron atau *hole*, tergantung dari tipe FET). Dalam FET, arus listrik utama mengalir dalam satu kanal konduksi sempit dengan *depletion zone* di kedua sisinya (dibandingkan dengan transistor bipolar dimana daerah Basis memotong arah arus listrik utama). Dan ketebalan dari daerah perbatasan ini dapat diubah dengan perubahan tegangan yang diberikan, untuk mengubah ketebalan kanal konduksi tersebut. Lihat artikel untuk masing-masing tipe untuk penjelasan yang lebih lanjut.

#### 2.3.1. Jenis-jenis Transistor

Secara umum, transistor dapat dibeda-bedakan berdasarkan banyak kategori:

- Materi semikonduktor : Germanium, Silikon, *Gallium Arsenide*.
- Kemasan fisik : *Through Hole Metal*, *Through Hole Plastic*, *Surface Mount*, IC, dan lain-lain.

- Tipe : UJT, BJT, JFET, IGFET (MOSFET), IGBT, HBT, MISFET, VMOSFET, MESFET, HEMT, SCR serta pengembangan dari transistor yaitu IC (*Integrated Circuit*) dan lain-lain.
- Polaritas : NPN atau *N-channel*, PNP atau *P-channel*.
- Maximum kapasitas daya : *Low Power*, *Medium Power*, *High Power*.
- Maximum frekuensi kerja : *Low*, *Medium*, atau *High Frequency*, RF transistor, *Microwave*, dan lain-lain.
- Aplikasi : Amplifier, Saklar, *General Purpose*, Audio, Tegangan Tinggi, dan lain-lain.



**Gambar 2.17. Simbol Transistor dari Berbagai Tipe**

(Sumber : <http://id.wikipedia.org/wiki/Transistor>)

### 2.3.2. BJT

*Bipolar Junction Transistor* (BJT) adalah salah satu dari dua jenis transistor. Cara kerja BJT dapat dibayangkan sebagai dua diode yang terminal positif atau negatifnya berdempet, sehingga ada tiga terminal. Ketiga terminal tersebut adalah emiter (E), kolektor (C), dan basis (B).

Perubahan arus listrik dalam jumlah kecil pada terminal basis dapat menghasilkan perubahan arus listrik dalam jumlah besar pada terminal kolektor. Prinsip inilah yang mendasari penggunaan transistor sebagai penguat elektronik. Rasio antara arus pada kolektor dengan arus pada basis biasanya dilambangkan dengan  $\beta$  atau  $h_{FE}$ .  $\beta$  biasanya berkisar sekitar 100 untuk transistor-transistor BJT.



### 2.3.3. FET

FET dibagi menjadi dua keluarga: *Junction FET (JFET)* dan *Insulated Gate FET (IGFET)* atau juga dikenal sebagai *Metal Oxide Silicon* (atau semikonduktor) FET (MOSFET). Berbeda dengan IGFET, terminal *gate* dalam JFET membentuk sebuah diode dengan kanal (materi semikonduktor antara *Source* dan *Drain*). Secara fungsinya, ini membuat *N-channel JFET* menjadi sebuah versi *solid-state* dari tabung vakum, yang juga membentuk sebuah diode antara *grid* dan katode. Dan juga, keduanya (JFET dan tabung vakum) bekerja di "*depletion mode*", keduanya memiliki impedansi input tinggi, dan keduanya menghantarkan arus listrik dibawah kontrol tegangan input.

FET lebih jauh lagi dibagi menjadi tipe *enhancement mode* dan *depletion mode*. *Mode* menandakan polaritas dari tegangan *gate* dibandingkan dengan *source* saat FET menghantarkan listrik. Jika kita ambil *N-channel FET* sebagai contoh: dalam *depletion mode*, *gate* adalah negatif dibandingkan dengan *source*, sedangkan dalam *enhancement mode*, *gate* adalah positif. Untuk kedua *mode*, jika tegangan *gate* dibuat lebih positif, aliran arus di antara *source* dan *drain* akan meningkat. Untuk *P-channel FET*, polaritas-polaritas semua dibalik. Sebagian besar IGFET adalah tipe *enhancement mode*, dan hampir semua JFET adalah tipe *depletion mode*.

### 2.3.4. Mosfet

Mosfet (*metal oxide semiconductor field effect transistor*) berbeda dengan Jfet karena terminal gerbang terisolasi dari kanalnya oleh suatu lapisan silikon dioksida. Lapisan ini akan memperbesar impedansi masukan, sampai  $10^{10}$  ohm atau lebih, yang tetap terjaga untuk berbagai harga dan polaritas tegangan gerbang-sumber. Jadi, berbeda dengan Jfet, impedansi masukan mosfet tak tergantung pada panjaran mundur pertemuan P-N.

Terdapat 2 jenis mosfet : tipe hampa dan berisi. Pada kedua jenis mosfet ini, masing-masing terdiri dari kanal N dan kanal P, sehingga seluruhnya terdapat 4 jenis mosfet.

#### a. Mosfet tipe hampa (*Depletion Type*)

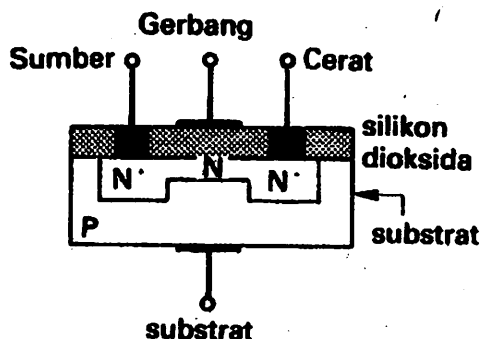
Konstruksi lengkap Mosfet mode hampa kanal-N disajikan pada Gambar 2.19. Dua sisi  $N^+$  injeksi tinggi didifusikan pada substrat tipe-P injeksi rendah dan digabungkan dengan kanal tipe-N injeksi relatif rendah.

Terminal gerbang merupakan lempeng aluminium yang terisolasi dari kanalnya oleh suatu lapisan silikon dioksida. Hubungan juga dibuat antara lempeng aluminium yang lain dengan substratnya sendiri. Pada kebanyakan mosfet, terminal substrat terhubung dengan terminal sumber, tetapi kadangkala juga dibuat hubung-luas. Substrat harus selalu dijaga pada potensial negatif relatif terhadap cerat untuk menjamin bahwa kanal substrat pertemuan P-N pada konsidi terpanjang mundur.

Keinginan seperti ini dapat dipenuhi dengan cara menghubungkan substrat dengan sumber. Lapisan hampa akan melebar di kanal, sampai beberapa besar, tergantung pada tegangan cerat-sumber. Karena adanya penurunan tegangan pada resistansi kanal oleh arus cerat, maka lapisan hampa diusahakan lebih melebar mendekati sumber. Resistansi kanal tergantung pada kedalaman lapisan hampa menembus kanal. Dengan tegangan nol yang diberikan pada terminal gerbang, ketika tegangan cerat-sumber diperbesar, arus cerat pada awalnya akan membesar, tetapi ketika lapisan hampa meluas mendekati ujung serat kanal, maka arus cerat menjadi lebih kurang konstan dengan diperbesarnya lagi tegangan cerat sumber.

Resistansi kanal, dan juga arus cerat, dari mosfet tipe hampa dapat juga dikontrol oleh tegangan yang diberikan pada gerbang. Tegangan positif pada gerbang akan menarik elektron menuju kanal sisi injeksi  $N^+$  pada salah satu ujungnya. Jumlah elektron bebas cukup untuk menaikkan konduksi di kanal sehingga resistansi kanal akan mengecil. Berkurangnya resistansi kanal tentu saja akan diikuti dengan membesarnya arus cerat saat tegangan tetap diberikan antara terminal cerat dan sumber. Kenaikan tegangan gerbang positif akan memperbesar arus cerat yang mengalir saat tegangan cerat sumber sedemikian besar, mencukupi untuk memperluas lapisan hampa ujung cerat dari kanal. Sebaliknya, jika gerbang dijaga pada potensial negatif relatif terhadap sumber, elektron akan tertolak dari kanal ke sisi  $N^+$ . Pengecilan jumlah elektron bebas akan memperbesar konduksi di kanal, maka resistansi kanal akan membesar. Arus cerat yang mengalir saat lapisan hampa meluas di kanal tergantung pada resistansi kanal.

Dengan demikian arus cerat suatu mosfet tipe hampa dapat dikontrol oleh tegangan yang dikenakan diantara terminal-terminal gerbang dan sumbernya.



**Gambar 2.18. Konstruksi Mosfet Tipe Hampa Kanal-N**

(Sumber : Green, DC. 1987. *Pedoman Elektronika II*)

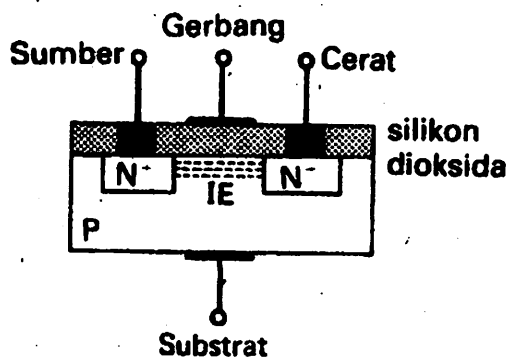
b. Mosfet tipe berisi (*Enhancement type*)

Konstruksi mosfet tipe berisi disajikan pada Gambar 2.20. terminal gerbang diisolasi dari kanalnya oleh suatu lapisan silikon dioksida, dan terminal substrat dihubungkan dengan terminal sumber, untuk mempertahankan kanal substrat pertemuan P-N pada kondisi terpanjar terbalik. Dapat terlihat bahwa kanal tak terjadi diantara sisi sumber  $N^+$  dan cerat, dengan demikian arus cerat yang mengalir saat tegangan gerbang-sumber sama dengan nol adalah sangat kecil. Tetapi, jika ada suatu tegangan yang dikenakan diantara terminal-terminal gerbang dan sumber, yang membuat terminal gerbang relatif positif terhadap sumber, maka suatu kanal maya akan terbentuk. Tegangan gerbang yang positif akan menarik elektron menuju sisi di bawah gerbang dan menghasilkan kanal tipe N (terlihat pada gambar), yang memungkinkan adanya aliran arus cerat. Tegangan positif yang harus dikenakan pada gerbang untuk menghasilkan kanal maya disebut sebagai tegangan ambang dan umumnya sekitar 2 Volt. Setelah kanal maya terbentuk, arus cerat yang mengalir tergantung pada magnituda tegangan-tegangan gerbang-sumber dan cerat-sumber. Kenaikan tegangan gerbang-sumber sampai di atas harga ambangnya akan menarik lebih banyak elektron menuju kanal, dan akibatnya akan memperkecil resistansi kanal. Arus cerat akan menimbulkan penurunan tegangan pada kanal dan seperti pada tipe fet lainnya. Penyumbatan akan terjadi untuk suatu besar tegangan cerat tertentu. Pada suatu harga tegangan gerbang-sumber tertentu, arus cerat akan membesar dengan membesarnya tegangan sumber-cerat di atas batas penyumbatan, dan kemudian akan terjaga kurang lebih konstan.

Arus cerat mosfet dapat dikontrol oleh suatu tegangan yang dikenakan diantara terminal-terminal gerbang dan sumber. Jika arus cerat kemudian dilewatkan pada suatu resistor, penguatan tegangan akan diperoleh.

Susunan dasar penguat mosfet mirip rangkaian Jfet yang disajikan pada Gambar 2.20. dan operasinya juga sama. Parameter-parameter suatu mosfet, sama dengan pada Jfet : konduktansi gandeng  $g_m$ , resistansi cerat-sumber  $r_{ds}$  dan resistansi masukan  $R_{IN}$ . Umumnya  $g_m$  sekitar 1 sampai 10 mS,  $r_{ds}$  sekitar 5 sampai 50 K ohm, dan  $R_{IN}$  adalah  $10^{10}$  ohm atau lebih.

Patut dicatat, bahwa konduktansi gandeng mosfet mendekati konduktansi gandeng Jfet, tetapi resistansi cerat sumber lebih kecil dan resistansi masukannya lebih besar.



**Gambar 2.19. Konstruksi Mosfet Tipe Berisi Kanal-N Elektron yang Terimbas**

**Membentuk Kanal Maya bila Tegangan Gerbang Positif**

(Sumber : Green, DC. 1987. Pedomani Elektronika II)

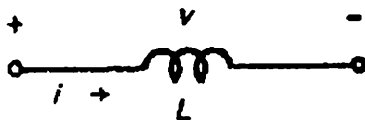
#### 2.4. Induktor

Jenis unsur rangkaian kedua memerlukan tegangan antara kutub-kutubnya yang adalah sebanding dengan kecepatan perubahan arus yang melaluinya. Secara kuantitatif, tegangan tersebut adalah

$$- \text{volt} \dots\dots\dots (2.4)$$

Konstanta pembanding  $L$  adalah *induktansi diri* atau cukup disebut sebagai *induktansi*. Jika  $v$ ,  $i$  dan  $t$  berturut-turut dinyatakan dalam volt, ampere dan detik, induktansi dinyatakan dalam *henry* (H) dengan dimensi  $ML^2Q^{-2}$ . Tegangan jatuh  $v$

dalam persamaan (2.4) adalah tegangan jatuh pada arah arusnya. Lambang induktansi dengan arus dan tegangannya yang berkaitan diperlihatkan pada Gambar 2.7 .



**Gambar 2.20 Lambang rangkaian untuk induktansi**

( Sumber : Mismail, Budiono. 1995. Rangkaian Listrik )

Jika tegangan antara induktor diketahui dan arusnya merupakan besaran yang dicari, maka Persamaan (2.4) dapat ditulis sebagai

$$i = \frac{1}{L} \int v dt \text{ ampere} \dots\dots\dots (2.5)$$

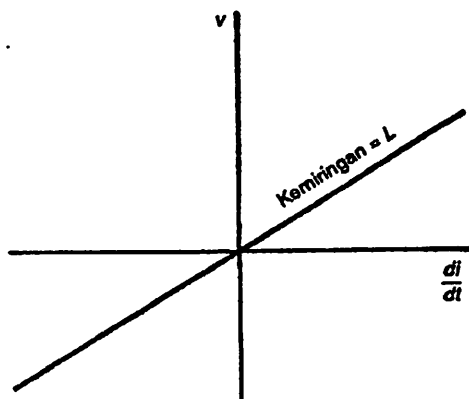
Persamaan (2.5) menunjukkan bahwa arus dalam induktor tidak bergantung pada nilai sesaat tegangannya, melainkan pada nilai sejak awal hingga saat tegangan diamati, yaitu integral atau jumlah hasil kali volt-detik untuk seluruh waktu hingga saat diamati. Jika diinginkan untuk mengetahui arus induktor yang mengikuti peristiwa pengalihan yang biasanya terjadi pada sebarang saat, katakanlah  $t = 0$ , maka Persamaan (2.5) dapat ditulis sebagai  $i(0)$  adalah arus yang sudah ada pada saat pengalihan itu terjadi dan merupakan besarnya arus induktor yang telah berlalu sampai terjadinya peristiwa pengalihan tersebut.

$$i = \frac{1}{L} \int v dt + i(0) \text{ A} \dots\dots\dots (2.6)$$

Induktansi kawat penghubung umumnya kecil dan dapat diabaikan. Alat seperti *induktor*, kumparan peredam, dan kumparan induksi, digunakan dalam rangkaian listrik untuk mendapatkan pengaruh induktansi. Rentang nilai induktansi ini sangat luas; sepotong kawat lurus sepanjang 2,5 cm dapat mempunyai induktansi sebesar  $10^{-8}$  H. Kumparan besar dengan inti besi dapat mempunyai nilai beberapa ribu henry.

Suatu *induktor linear* adalah induktor yang parameter induktansinya tidak bergantung pada arusnya. Sebagaimana diuraikan di depan, induktansi berhubungan erat dengan medan magnet; induktor merupakan suatu unsur rangkaian yang dapat menyimpan tenaga dalam bentuk medan fluks magnet. Pada saat arus mengalir melalui

suatu induktor, arus itu menimbulkan fluks ruang. Bila fluks itu menembus udara, ia akan menimbulkan suatu kesebandingan antara arus dengan fluks tersebut sehingga parameter induktansi tetap konstan untuk setiap nilai arus. Lukisan selisih potensial antara kumparan sebagai fungsi waktu ditunjukkan pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.21. Perwakilan grafik parameter induktansi L**

( Sumber : Mismail, Budiono. 1995. Rangkaian Listrik )

Bila fluks dibuat agar menembus besi, timbul gangguan terhadap kesebandingan hubungan antara arus dengan fluks yang dihasilkannya. Dalam hal itu inductor dikatakan *tak-linear* dan lukisannya bukan lagi merupakan sepotong garis lurus.

Karena pengaruh induktansi menentang perubahan arus, induktansi analog dengan massa atau kelembaman dalam sistem mekanika atau massa fluida dalam hidrolika. Induktansi, sesuai dengan Persamaan (2.4), memerlukan tegangan tak-hingga untuk menimbulkan perubahan sesaat pada arus; tepat seperti massa mobil mencegah mobil untuk bergerak atau berhenti secara tiba-tiba.

Daya yang berhubungan dengan induktansi dalam rangkaian adalah

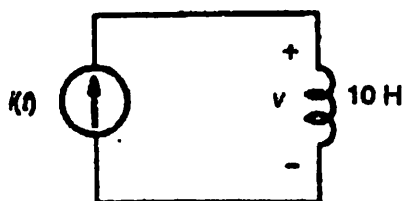
$$p = vi = Li \frac{di}{dt} \text{ watt} \dots\dots\dots (2.7)$$

dan tegangannya

$$w = \int p dt = \int Li \frac{di}{dt} dt = \int Li di = \frac{1}{2} Li^2 \text{ joule} \dots\dots\dots (2.8)$$

Tidak seperti tenaga dalam resistansi yang berubah menjadi panas, tenaga induktif tersebut disimpan dalam medan magnet seperti halnya dengan tenaga kinetik

yang disimpan dalam massa yang bergerak. Dari Persamaan (2.8), tampak bahwa nilainya hanya bergantung pada besar arusnya saja tidak bergantung pada bagaimana arus itu mencapai nilai tersebut. Tenaga induktif yang tersimpan itu akan muncul kembali dalam rangkaian pada saat arus menjadi nol. Misalnya, jika suatu saklar dibuka pada suatu rangkaian induktif pembawa arus, maka arus akan berkurang dengan cepat tetapi tidak mendadak dalam satu saat. Sesuai dengan Persamaan (2.4), suatu tegangan yang relative tinggi akan muncul di antara kontak saklar dan mungkin akan timbul loncatan bunga-api listrik. Loncatan bunga-api itu memungkinkan tenaga yang tersimpan tersebut dipergunakan sebagai panas dalam bunga-api dan resistor rangkaiannya.



**Gambar 2.22. Rangkaian untuk contoh 2.3**

(Sumber : Mismail, Budiono. 1995. Rangkaian Listrik)

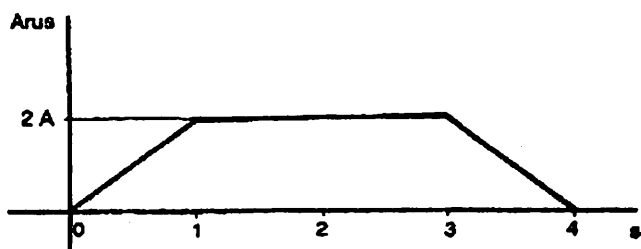
**Contoh 2.3** Induktansi pada gambar 2.9 dibangkitkan oleh suatu sumber arus sempurna. Lengkungan (yang dinamakan *bentuk-gelombang*) arus sebagai fungsi waktu diberikan pada gambar 2.10a. Lukislah bentuk gelombang tegangan  $v$ , daya sesaat  $p$ , dan tenaga yang tersimpan  $w$  sebagai fungsi waktu.

**Jawab** Bentuk gelombang hasilnya juga diberikan pada gambar 2.10. Bentuk gelombang tegangan (gambar 2.10b) diperoleh dari persamaan (2.4), induktansi dikalikan dengan turunan waktu arus itu. Bentuk gelombang daya (gambar 2.10c) dan tenaga (gambar 2.10d) masing-masing diperoleh dari persamaan (2.7) dan (2.8). Tampak bahwa jika arus dalam induktor itu konstan (dalam selang 1 sampai dengan 3 detik), maka tegangan dan dayanya sama dengan nol. Selama selang itu tenaganya tersimpan dalam sistem.

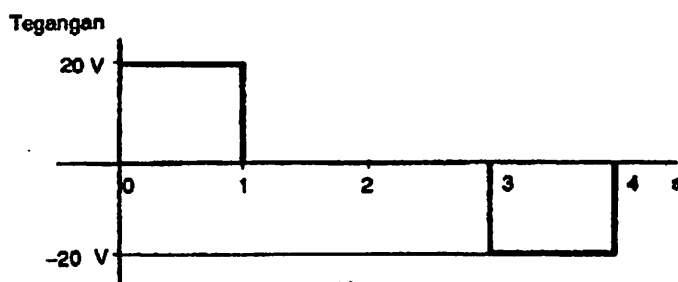
Tegangan jatuh antara kutub suatu induktor dapat dinyatakan menurut persamaan (2.5), tetapi tegangan jatuh yang sama dapat diturunkan menurut hukum

Faraday melalui fluks yang dihasilkan arus dan banyaknya lilitan  $N$  pada kumparan induktor. Sesuai dengan hal itu, dapatlah dituliskan.

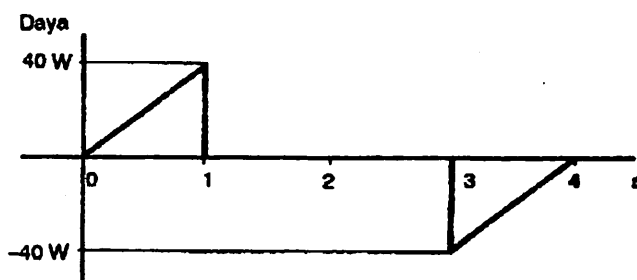
$$v = L \frac{di}{dt} = N \frac{d\phi}{dt} \text{ V} \dots\dots\dots (2.9)$$



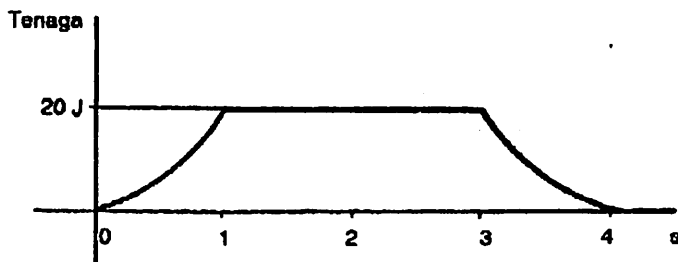
(a)



(b)



(c)

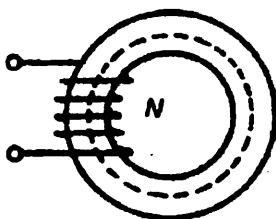


(d)

**Gambar 2.23 Bentuk-bentuk gelombang untuk contoh 2.3**

(Sumber : Mismail, Budiono. 1995. Rangkaian Listrik)





**Gambar 2.24 Induktor linear dengan inti besi**

(Sumber : Mismail, Budiono. 1995. Rangkaian Listrik)

$$L = N \frac{d\phi}{dt} H \dots\dots\dots (2.10)$$

Dalam hal fluks  $\phi$  berbanding lurus dengan arus (yaitu dalam induktor linear), persamaan terakhir ini menjadi

$$L = \frac{N\phi \text{ weber-lilitan}}{i \text{ ampere}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Di sini parameter induktansi mempunyai pernyataan gabungan karena sebagian dinyatakan dalam variabel rangkaian  $i$  dan sebagian lagi dalam variabel medan  $\phi$ . Untuk menghindari hal tersebut fluks dapat digantikan oleh pernyataan setaranya, yaitu  $ggm$  adalah *daya gerak magnet* yang menghasilkan fluks  $\phi$  dalam rangkaian magnet yang mempunyai reluktansi  $\mathfrak{R}$ .

$$\phi = \frac{ggm}{\text{reluktansi magnet}} = \frac{Ni}{\mathfrak{R}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Gambar 2.11 memperlihatkan sebuah induktor yang terdiri atas  $N$  buah lilitan yang digulung di sekitar inti besi berbentuk gelang. Jika inti besi diandaikan mempunyai panjang menengah/meter dengan luas penampang  $A$  meter<sup>2</sup>, maka reluktansi magnetnya dapat dibuktikan besarnya sama dengan dengan  $\mu$  adalah sifat fisis bahan magnet yang disebut permeabilitas. Tampak adanya kemiripan antara persamaan (2.24) di atas dengan persamaan (2.4).

$$\mathfrak{R} = \frac{1}{\mu A} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan menyisipkan persamaan (2.12) dan (2.13) ke dalam persamaan (2.11) akan dihasilkan pernyataan parameter induktansi untuk rangkaian pada gambar 2.11. jadi

$$L = \frac{N^2 \mu A}{l} \text{ henry} \dots\dots\dots (2.14)$$

Seperti halnya dengan resistansi, inddktansi juga bergantung pada geometri dimensi fisis dan sifat magnet mediumnya. Hal ini penting karena ia menyatakan apa yang dapat dilakukan untuk mengubah nilai  $L$  tersebut. Jadi, untuk induktor yang dilukiskan pada gambar 2.11, parameter induktansinya dapat dinaikkan nilainya dengan empat cara: memperbanyak lilitannya, menggunakan inti besi dengan permeabilitas yang lebih tinggi, mengurangi panjang intinya, dan memperbesar luas penampang intinya.

## 2.5. Dioda

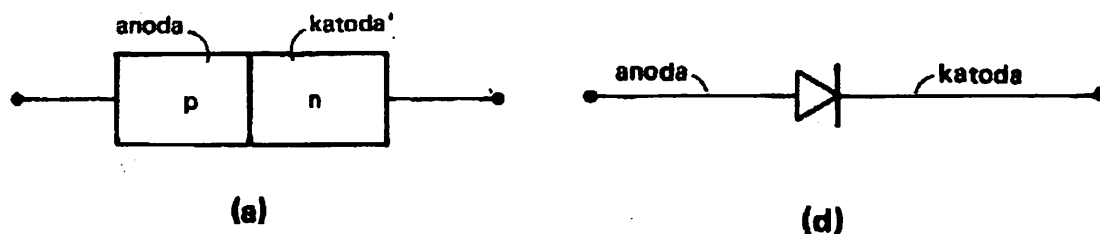
Dioda adalah suatu komponen elektronik yang dapat melewati arus pada satu arah saja. Ada berbagai macam dioda, yaitu dioda tabung, dioda sambungan p-n, dioda kontak titik (point-contact diode) dan sebagainya. Dalam hal ini kita akan membatasi pembahasan pada dioda sambungan p-n, khususnya dioda penyearah, dioda isyarat dan dioda Zener.

Dioda memegang peranan amat penting dalam elektronika, di antaranya adalah. untuk menghasilkan tegangan searah dari tegangan bolak-balik, untuk mengesan gelombang radio, untuk membuat berbagai bentuk gelombang isyarat, untuk mengatur tegangan searah agar tidak berubah dengan beban maupun dengan perubahan tegangan jala-jala (PLN), untuk saklar elektronik, LED, laser semikonduktor, mengesan gelombang mikro dan lain-lain. Beberapa pengertian dasar daripada dioda sambungan p-n digunakan pada transistor, sehingga apabila kita menguasai pengertian dasar dioda akan mudah pula kita memahami sifat transistor.

### 2.5.1 Sambungan p-n

Bentuk dioda yang lazim digunakan terdiri dari semikonduktor jenis p yang dibuat bersambung dengan semikonduktor jenis-n. Penyambungan ini dilakukan waktu penumbuhan kristal.

Secara skematis dioda sambungan p-n dapat dilukiskan seperti pada gambar 4.1a.

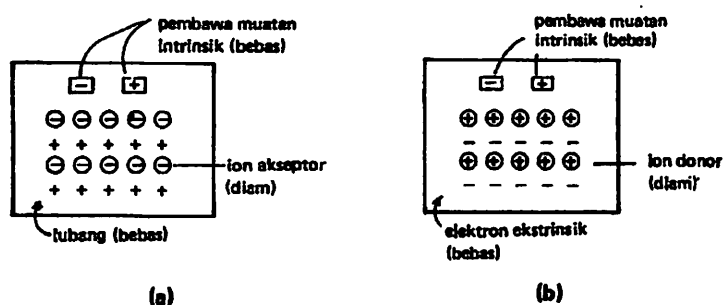


**Gambar 2.25. (a) Susunan dioda sambungar, p-n, (b) Lambang dioda.**

(Sumber : Sutrisno. 1986. ELEKTRONIKA: teori dasar dan penerapannya )

Marilah kita selidiki lebih lanjut apa yang terjadi jika suatu bahan semikonduktor jenis-p dihubungkan dengan suatu bahan semikonduktor jenis-n. Isi muatan listrik kedua macam bahan ini dapat digambarkan seperti pada gambar 4.2.

Pada gambar 4.2 muatan yang diberi lingkaran menyatakan ion, dan muatan ini tetap di tempat, tidak bergerak walaupun diberi medan listrik. Tanda + dan - dalam kotak persegi menyatakan pembawa muatan intrinsik,

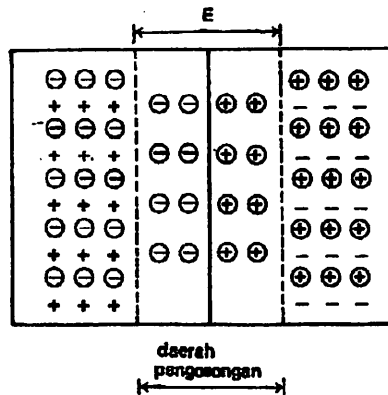


**Gambar 2.26. (a) Muatan listrik dalam bahan semikonduktor jenis-p. (b) Muatan listrik dalam semikonduktor jenis-n.**

(Sumber : Sutrisno. 1986. ELEKTRONIKA: teori dasar dan penerapannya )

yaitu yang berasal dari ikatan kovalen pada atom silikon, yang menjadi bebas oleh karena eksitasi termal. Pembawa muatan yang lain adalah muatan bebas, yaitu lubang yang dihasilkan oleh atom akseptor pada bahan jenis-p, dan elektron bebas yang berasal dari atom donor pembawa muatan bebas ini aaiit pembawa muatan *ekstrinsik*.

Apa yang terjadi bila bahan jenis-p bersambung dengan bahan jenis-n, ditunjukkan pada gambar 4.3.



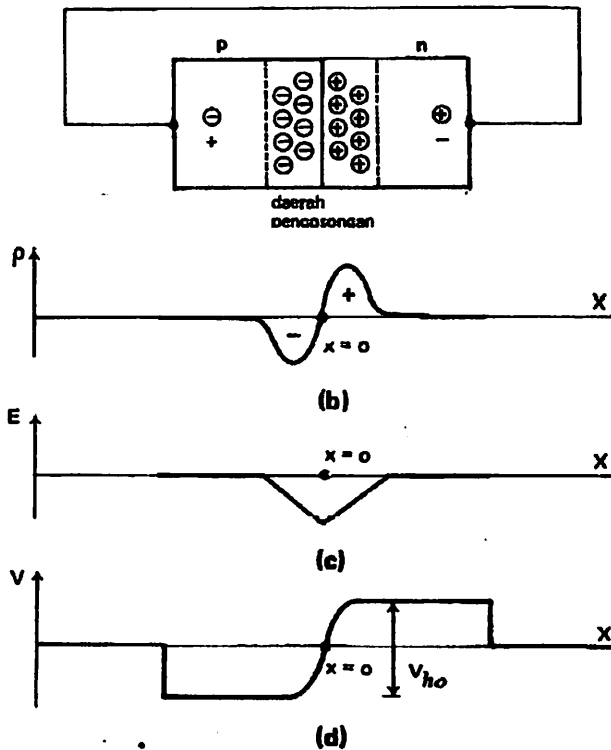
**Gambar 2.27. Muatan listrik pada sambungan p-n**

(Sumber : Sutrisno. 1986. *ELEKTRONIKA: teori dasar dan penerapannya*)

Elektron bebas pada bahan jenis- $n$  akan berdifusi melalui sambungan, masuk ke dalam bahan jenis  $p$ , dan terjadi rekombinasi dengan lubang-lubang yang ada dalam bahan  $p$ . Sebaliknya juga terjadi, yaitu lubang bahan  $p$  berdifusi masuk ke dalam bahan  $n$ , dan ber-rekombinasi dengan elektron dan saling meniadakan muatan. Akibatnya, tepat pada sambungan  $p-n$  terjadi daerah tanpa muatan bebas, yang disebut *daerah pengosongan* (depletion region). Oleh karena muatan positif terpisah dari muatan negatif, maka dalam daerah pengosongan terjadi medan listrik, yang melawan proses difusi selanjutnya. Dengan adanya medan listrik ini terjadi *beda potensial listrik* (bukit potensial) antara bagian  $p$  dan bagian  $n$  dalam daerah pengosongan. Sebaran muatan, kuat medan listrik, dan potensial listrik pada sambungan  $p-n$  dilukiskan pada gambar 4.

Ingat bahwa hubungan antara kuat medan listrik  $E$  dan potensial listrik  $V$  diberikan oleh hubungan  $E = -\frac{dV}{dx}$ , yaitu negatif daripada kemiringan grafik  $V(x)$ . Adanya kuat medan listrik menyebabkan terjadinya bukit potensial pada sambungan  $p-n$ . Agar suatu elektron dalam bahan  $n$  dapat menyeberangi sambungan haruslah elektron tersebut mempunyai energi lebih besar daripada bukit potensial, yaitu  $eV_{ho}$  ( $e$  = muatan elektron). Pada keadaan ini terjadi aliran arus minoritas, yaitu lubang yang ada di jenis  $n$  dan elektron bebas yang ada di jenis  $p$ , yang tidak dihalangi oleh bukit potensial akan tetapi bahkan dibantu untuk menyeberang sambungan. Pada saat yang sama lubang yang ada di jenis  $p$ , yaitu pembawa muatan mayoritas ada juga yang mempunyai cukup energi untuk menyeberang sambungan. Dalam keadaan mantap kedua aliran ini saling meniadakan. Hal serupa terjadi dengan elektron bebas. Dapat disimpulkan bahwa tanpa tegangan, arus dioda sama dengan nol.

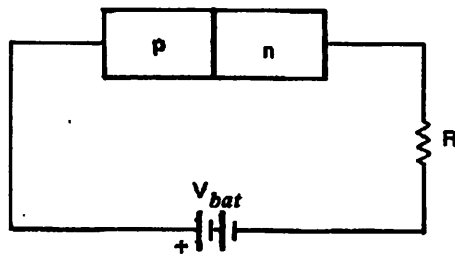
Peristiwa yang dilukiskan pada gambar 4.4 adalah yang terjadi jika antara ujung bahan  $p$  dan  $n$  tidak diberi sumber  $ggl$  (baterai). Sekarang antara ujung bahan- $p$



**Gambar 2.28. (a) Sambungan p-n. (b) Sebaran rapat muatan  $\rho$ . (c) Sebaran kuat medan listrik.**

(Sumber : Sutrisno. 1986. ELEKTRONIKA: teori dasar dan penerapannya)

$E$  (d) Sebaran potensial  $V$ ;  $V_{ho}$  = bukit potensial.



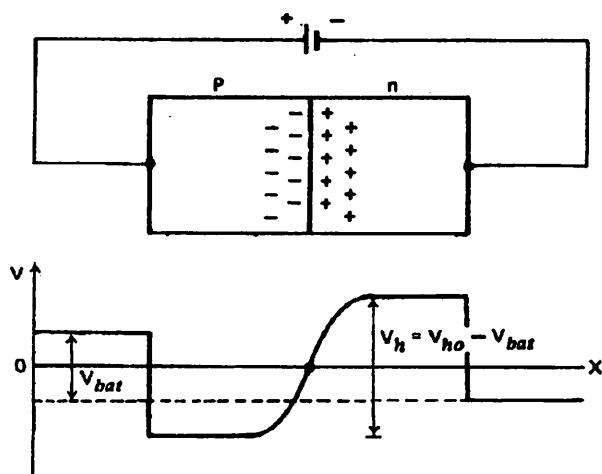
**Gambar 2.29. Panjar maiu pada sambungan p-n**

(Sumber : Sutrisno. 1986. ELEKTRONIKA: teori dasar dan penerapannya)

dan  $-n$  kita hubungkan suatu baterai, dengan bahan- $p$  dihubungkan dengan kutub positif, dan bahan- $n$  dengan kutub negatif. Pada keadaan ini dikatakan sambungan  $p-n$  diberi *panjar maju*. lihat gambar 4.5.

Dengan adanya panjar maju ini sebaran potensial pada sambungan  $p-n$  nampak seperti pada gambar 4.6.

Dengan diberi panjar maju, bukit potensial ( $V_h$ ) menjadi kurang daripada tinggi bukit potensial tegangan ( $V_{ho}$ ). Dengan berkurangnya tinggi bukit potensial, elektron dari bagian  $-n$  dan lubang dari bagian  $p$  mudah menyeberang, sehingga terjadi aliran listrik.

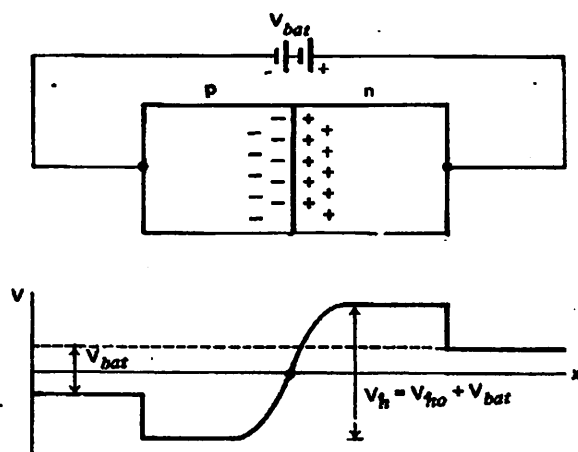


**Gambar 2.30. Sebaran potensial listrik jika dioda diberi panjar maju.**

(Sumber : Sutrisno. 1986. ELEKTRONIKA: teori dasar dan penerapannya)

Jika kutub baterai positif dihubungkan dengan bagian  $n$  dan kutub baterai negatif dengan bagian  $p$ , dikatakan sambungan  $p-n$  diberi *panjar mundur*. Distribusi potensial sambungan  $p-n$  dengan tegangan mundur nampak seperti pada gambar 4.7.

Dengan adanya panjar mundur pada sambungan  $p-n$ , bukit potensial bertambah tinggi, sehingga muatan ekstrinsik (elektron dalam jenis- $n$  dan lubang dalam jenis- $p$ ) susah mengalir, karena tak punya cukup tenaga untuk mengatasi bukit potensial. Dapatlah disimpulkan bahwa suatu sambungan  $p-n$  akan mengalirkan arus bila diberi tegangan maju dan susah mengalirkan arus bila diberi tegangan mundur. Ini adalah sifat dioda. Ternyata peninggian bukit potensial ini diikuti dengan *pelebaran* daerah pengosongan pada sambungan  $pn$ . Peristiwa terakhir ini dimanfaatkan pada dioda *varikap* dan pada *transistor efek medan* (FET).

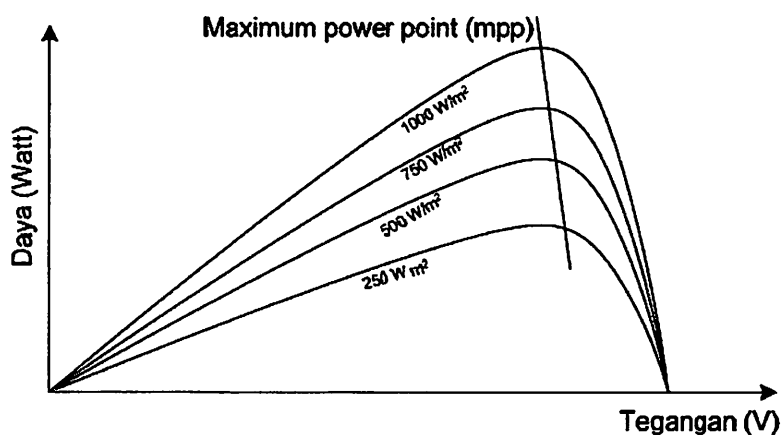


**Gambar 2.31. Sebaran potensial pada sambungan pn dengan panjar mundur.**

(Sumber : Sutrisno, 1986. *ELEKTRONIKA: teori dasar dan penerapannya*)

## 2.6. Maximum Power Point Tracker (MPPT)

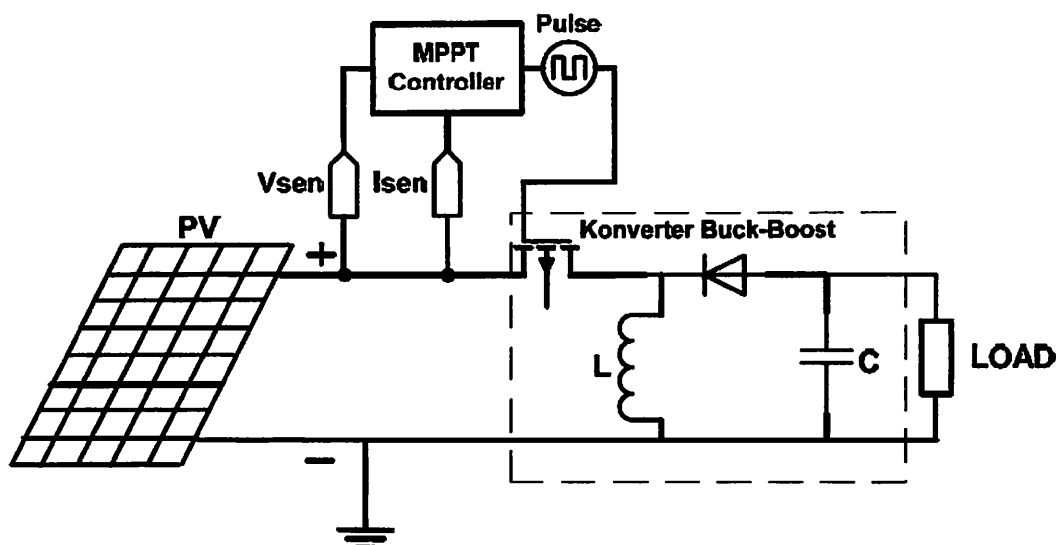
*Maximum Power Point Tracker* (MPPT) adalah suatu sistem untuk mencari sebuah *point* (titik) maksimum dari tegangan dan arus keluaran pada panel surya. Sistem ini dapat memaksa panel surya untuk membangkitkan daya hingga maksimum pada setiap perubahan level intensitas cahaya matahari.



**Grafik 2.2. Kurva Karakteristik P-V Panel Surya Dengan Level Intensitas Cahaya Yang Berbeda-Beda**

(Sumber : Aprian, Farhan, 2010)

Sistem *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) merupakan sebuah rangkaian devais elektronik yang dapat mengubah-ubah titik operasi dari panel surya. Contoh desain panel surya yang terhubung dengan sistem MPPT ke beban ditunjukkan blok diagram menggunakan buck-boost konverter seperti gambar dibawah ini .



**Gambar 2.32. Blok Diagram Konfigurasi Sistem MPPT**

(Sumber : Aprian, Farhan, 2010)

## 2.7. Mikrokontroler ATmega16

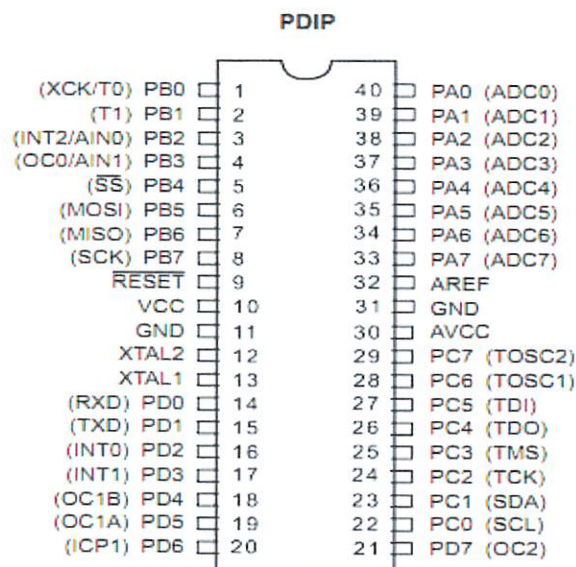
Mikrokontroler AVR adalah mikrokontroler RISC 8 bit berdasarkan arsitektur Harvard, yang dibuat oleh Atmel pada tahun 1996. AVR memiliki keunggulan dibandingkan dengan mikrokontroler lain, keunggulan AVR yaitu AVR memiliki kecepatan eksekusi program yang lebih cepat, karena sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus *clock*, lebih cepat dibandingkan MCS51 yang membutuhkan 12 siklus *clock* untuk mengeksekusi 1 instruksi. Mikrokontroler ATmega16 memiliki fitur yang lengkap (ADC internal, EEPROM internal, *Timer/Counter*, *Watchdog Timer*, PWM, *Port I/O*, komunikasi serial, Komparator, I2C,dll).

Berikut ini merupakan beberapa spesifikasi ATMega16:

1. Arsitektur RISC dengan *throughput* mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16 Mhz.
2. Memiliki kapasitas flash memori 16Kbyte, EEPROM 512 Byte, dan SRAM 1Kbyte
3. Saluran *Port I/O* sebanyak 32 buah, yaitu *Port A*, *Port B*, *Port C*, dan *Port D*.
4. CPU yang terdiri atas 32 buah register
5. User interupsi internal dan eksternal
6. *Port USART* sebagai komunikasi serial
7. Konsumsi daya rendah (DC 5V)
8. Fitur peripheral, yang terdiri dari

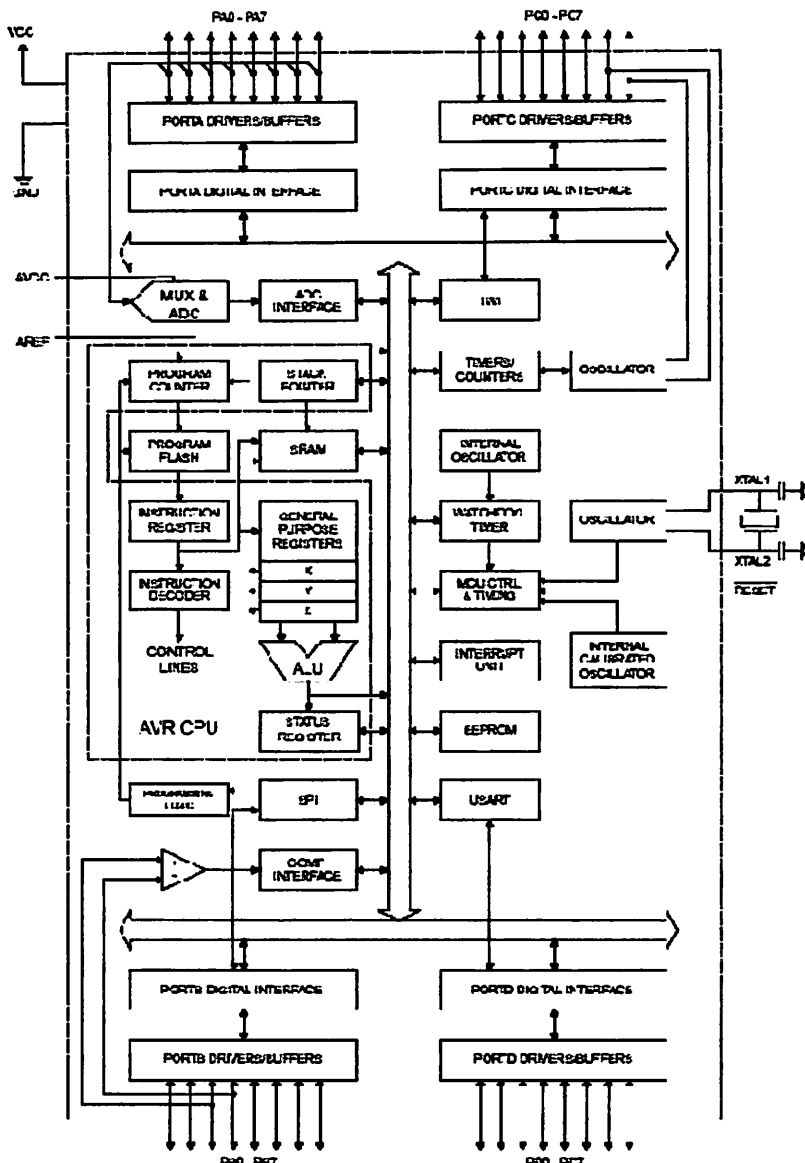


- a. Tiga buah *Timer/Counter* dengan perbandingan
  - 2 (dua) buah *Timer/Counter* 8 bit dengan *Prescaler* terpisah dan *Mode Compare*
  - 1 (satu) buah *Timer/Counter* 16 bit dengan *Prescaler* terpisah, *Mode Compare*, dan *Mode Capture*
- b. *Real Time Counter* dengan osilator tersendiri
- c. 4 *channel* PWM
- d. 8 *channel*, 10-bit ADC
  - 8 *Single-ended Channel*
  - 7 *Differential Channel* hanya pada kemasan TQFP
  - 2 *Differential Channel* dengan *Programmable Gain* 1x, 10x, atau 200x
- e. *Byte-oriented Two-wire Serial Interface*
- f. Antarmuka SPI
- g. *Watchdog Timer* dengan osilator internal
- h. *On-chip Analog Comparator*



**Gambar 2.33. Pinout ATmega16**

(Sumber : <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>)



**Gambar 2.34. Diagram block ATmega16**

(Sumber : <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>)

Konfigurasi pin ATmega16 dengan kemasan 40 pin *Dual In-line Package* (DIP) dapat dilihat pada Gambar 2.27. dari gambar diatas dapat dijelaskan fungsi dari masing-masing pin ATmega16 sebagai berikut:

1. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai masukan catu daya
2. GND merupakan pin *Ground*
3. Port A (PA0 – PA7) merupakan pin input/output dua arah (*full duplex*) dan selain itu merupakan pin masukan ADC, dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3. Fungsi Khusus Port A**

Port Pin	Alternate Function
PA7	ADC7 (ADC input channel 7)
PA6	ADC6 (ADC input channel 6)
PA5	ADC5 (ADC input channel 5)
PA4	ADC4 (ADC input channel 4)
PA3	ADC3 (ADC input channel 3)
PA2	ADC2 (ADC input channel 2)
PA1	ADC1 (ADC input channel 1)
PA0	ADC0 (ADC input channel 0)

(Sumber : <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>)

4. Port B (PB0 – PB7) merupakan pin input/output dua arah (*full duplex*) dan selain itu merupakan pin khusus, seperti dapat dilihat pada tabel 2.4.

**Tabel 2.4. Fungsi Khusus Port B**

Port Pin	Alternate Functions
PB7	SCK (SPI Bus Serial Clock)
PB6	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output)
PB5	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Input)
PB4	$\overline{SS}$ (SPI Slave Select Input)
PB3	AIN1 (Analog Comparator Negative Input) OC0 (Timer/Counter0 Output Compare Match Output)
PB2	AIN0 (Analog Comparator Positive Input) INT2 (External Interrupt 2 Input)
PB1	T1 (Timer/Counter1 External Counter Input)
PB0	T0 (Timer/Counter0 External Counter Input) XCK (USART External Clock Input/Output)

(Sumber : <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>)

5. Port A (PC0 – PC7) merupakan pin input/output dua arah (*full duplex*) dan selain itu merupakan pin khusus, seperti dapat dilihat pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5. Fungsi Khusus Port C**

Port Pin	Alternate Function
PC7	TOSC2 (Timer Oscillator Pin 2)
PC6	TOSC1 (Timer Oscillator Pin 1)
PC5	TDI (JTAG Test Data In)
PC4	TDO (JTAG Test Data Out)
PC3	TMS (JTAG Test Mode Select)
PC2	TCK (JTAG Test Clock)
PC1	SDA (Two-wire Serial Bus Data Input/Output Line)
PC0	SCL (Two-wire Serial Bus Clock Line)

(Sumber : <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>)

6. Port D (PD0 – PD7) merupakan pin input/output dua arah (*full duplex*) dan selain itu merupakan pin khusus, seperti dapat dilihat pada Tabel 2.6.

**Tabel 2.6. Fungsi Khusus Port D**

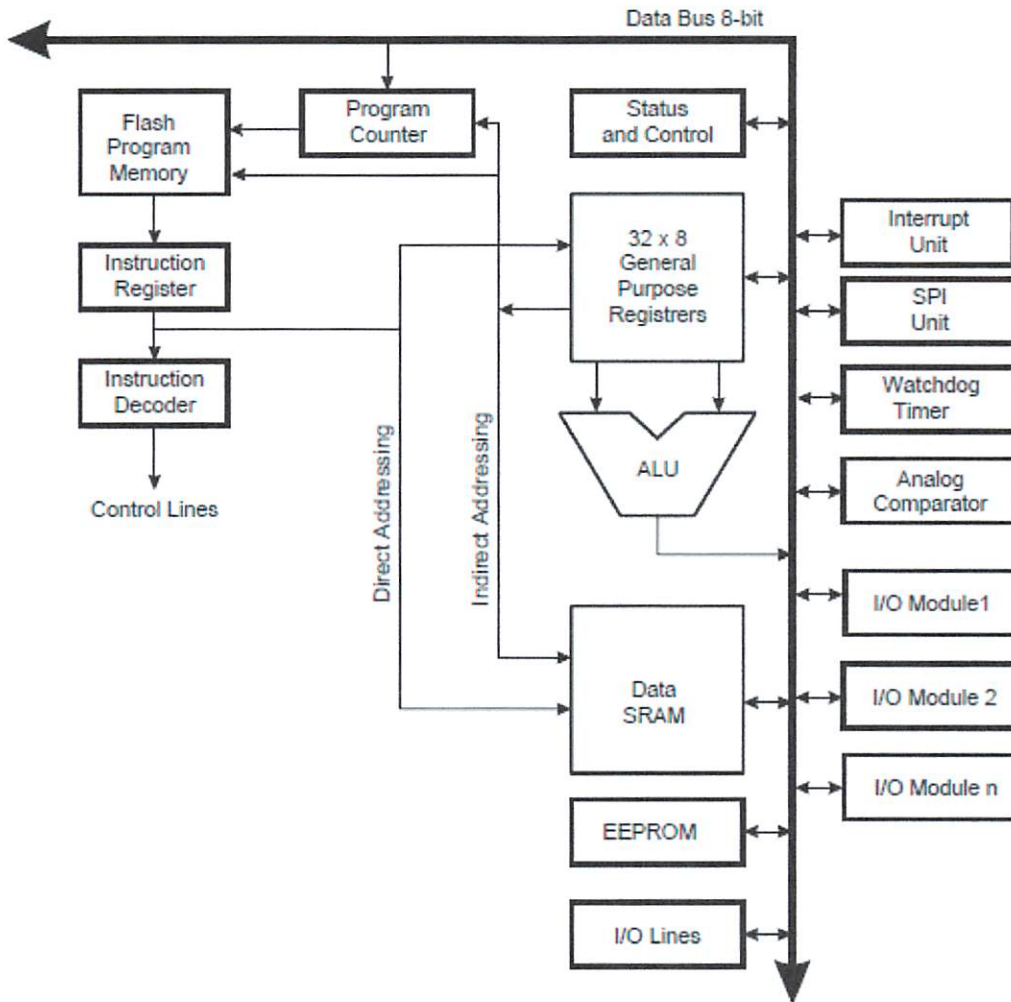
Port Pin	Alternate Function
PD7	OC2 (Timer/Counter2 Output Compare Match Output)
PD6	ICP1 (Timer/Counter1 Input Capture Pin)
PD5	OC1A (Timer/Counter1 Output Compare A Match Output)
PD4	OC1B (Timer/Counter1 Output Compare B Match Output)
PD3	INT1 (External Interrupt 1 Input)
PD2	INT0 (External Interrupt 0 Input)
PD1	TXD (USART Output Pin)
PD0	RXD (USART Input Pin)

(Sumber : <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>)

7. RESET merupakan pin yang digunakan untuk me-reset mikrokontroler.
8. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan *clock* eksternal.
9. AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC.
10. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.

Pada Gambar 2.28. dapat kita lihat arsitektur mikrokontroler AVR RISC yang menjelaskan bagian-bagian apa saja yang ada dalam Mikrokontroler itu sendiri.





**Gambar 2.35. Arsitektur Mikrokontroler AVR RISC**

(Sumber : <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>)

## 2.8. LCD

M1632 adalah merupakan modul LCD dengan tampilan 16 x 2 baris dengan konsumsi daya yang rendah. Modul ini dilengkapi dengan mikrokontroler yang didisain khusus untuk mengendalikan LCD. Mikrokontroler HD44780 buatan Hitachi yang berfungsi sebagai pengendali LCD ini mempunyai CGROM (*Character Generator Read Only Memory*), CGRAM (*Character Generator Random Access Memory*) dan DDRAM (*Display Data Random Access Memory*).

DDRAM adalah merupakan memori tempat karakter yang ditampilkan berada. Contoh, untuk karakter 'A' atau 41H yang ditulis pada alamat 00, maka karakter tersebut akan tampil pada baris pertama dan kolom pertama dari LCD. Apabila karakter tersebut ditulis di alamat 40, maka karakter tersebut akan tampil pada baris kedua kolom pertama dari LCD.

Display position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DDRAM address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F
	HD44780U display								Extension driver display							
For shift left	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50
For shift right	27	0C	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E
	67	4C	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E

**Gambar 2.36. DDRAM M1632**

(Sumber : data sheet HD44780)

CGRAM adalah merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter di mana bentuk dari karakter dapat diubah-ubah sesuai keinginan. Namun memori ini akan hilang saat *power supply* tidak aktif, sehingga pola karakter akan hilang.

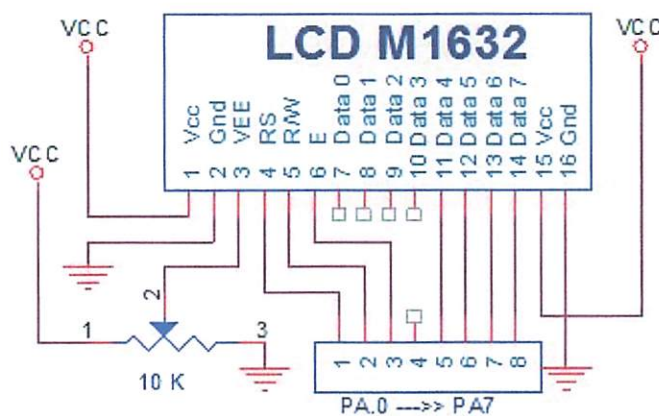
CGROM adalah merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter dimana pola tersebut sudah ditentukan secara permanen dari HD44780 sehingga pengguna tidak dapat mengubah lagi. Namun karena ROM bersifat permanen, maka pola karakter tersebut tidak akan hilang walaupun *power supply* tidak aktif.

Pada Gambar 2.30., tampak terlihat pola-pola karakter yang tersimpan dalam lokasi-lokasi tertentu dalam CGROM. Pada saat HD44780 akan menampilkan data 41H yang tersimpan pada DRAM, maka HD44780 akan mengambil data di alamat 41H (0100 0001) yang ada pada CGROM yaitu pola karakter A.

	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111	
xxxx0000 (1)			0	1	A	P	~	P				一	夕	ミ	α	ρ	
xxxx0001 (2)			!	1	A	Q	a	q				。	ア	チ	ム	ã	q
xxxx0010 (3)			"	2	B	R	b	r				「	イ	ツ	ズ	ß	ø
xxxx0011 (4)			#	3	C	S	c	s				」	ウ	テ	モ	ε	ω
xxxx0100 (5)			\$	4	D	T	d	t				、	エ	ト	ホ	μ	Ω
xxxx0101 (6)			%	5	E	U	e	u				・	オ	ナ	ユ	σ	Ü
xxxx0110 (7)			&	6	F	V	f	v				ヲ	カ	ニ	ヨ	ρ	Σ
xxxx0111 (8)			'	7	G	W	g	w				フ	キ	ズ	ラ	g	π
xxxx1000 (1)			(	8	H	X	h	x				イ	ク	ネ	リ	ſ	×
xxxx1001 (2)			)	9	I	Y	i	y				ウ	ケ	ル	ニ	Ÿ	Ƴ
xxxx1010 (3)			*	:	J	Z	j	z				エ	コ	ソ	レ	ſ	Ƴ
xxxx1011 (4)			+	;	K	L	k	l				オ	ザ	ヒ	ロ	*	Ƴ
xxxx1100 (5)			,	<	L	¥	l	l				カ	シ	フ	ワ	¢	Ƴ
xxxx1101 (6)			-	=	M	J	m	j				ユ	ズ	ヘ	ン	£	÷
xxxx1110 (7)			.	>	N	^	n	+				ヨ	セ	ホ	マ	Ƴ	Ƴ
xxxx1111 (8)			/	?	O	_	o	+				ッ	ソ	マ	°	ö	Ƴ

Gambar 2.37. Hubungan antara CGROM dan DDRAM

(Sumber : data sheet HD44780)



Gambar 2.38. Skematik LCD M1632

(Sumber : schematic LCD)

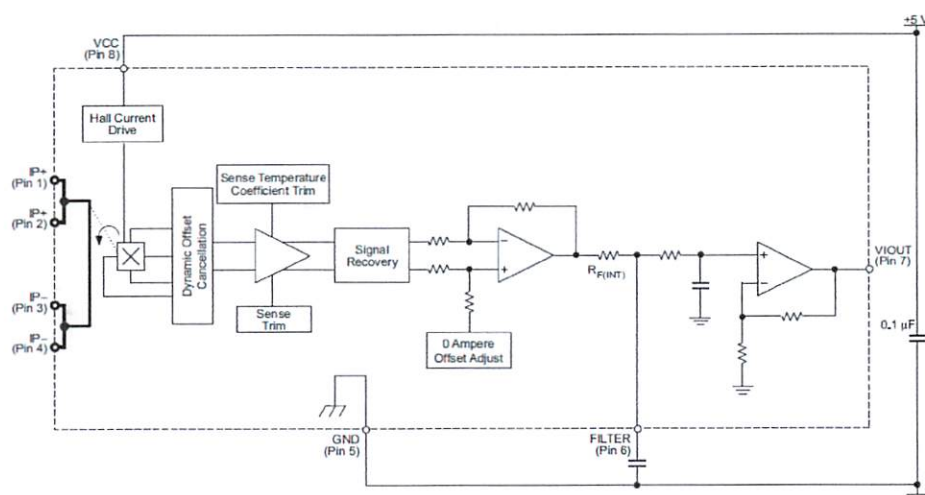
Tabel 2.7. Pin Out M1632

No	Nama Pin	Deskripsi
1	VCC	+5V
2	GND	0V
3	VEE	Tegangan Kontras LCD
4	RS	Register Select, 0 = Register Perintah, 1 = Register I
5	R/W	1 = Read, 0 = Write
6	E	Enable Clock LCD, logika 1 setiap kali pengiriman ; pembacaan data
7	D0	Data Bus 0
8	D1	Data Bus 1
9	D2	Data Bus 2
10	D3	Data Bus 3
11	D4	Data Bus 4
12	D5	Data Bus 5
13	D6	Data Bus 6
14	D7	Data Bus 7
15	Anoda (Kabel coklat untuk LCD Hitachi)	Tegangan positif backlight
16	Katoda (Kabel merah untuk LCD Hitachi)	Tegangan negatif backlight

(Sumber : <http://delta-electronic.com/article/wpcontent/uploads/2008/09/an0034.pdf>)

## 2.9. Sensor Arus

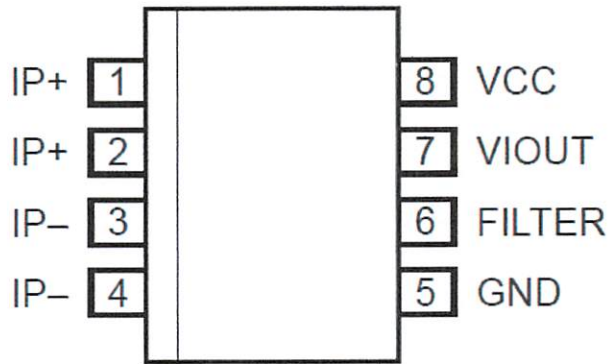
Allegro ® ACS712 menyediakan solusi ekonomis dan tepat untuk pengukuran arus AC atau DC di dunia industri, komersial, dan sistem komunikasi. Perangkat terdiri dari rangkaian sensor efek-hall yang linier, *low-offset*, dan presisi. Saat arus mengalir di jalur tembaga pada bagian pin 1-4, maka rangkaian sensor efek-hall akan mendeteksinya dan mengubahnya menjadi tegangan yang proporsional seperti yang dapat dilihat pada digram blok fungsi berikut.



Gambar 2.39. Diagram blok dari IC ACS712.

(Sumber : <http://www.allegromicro.com/~Media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx>)



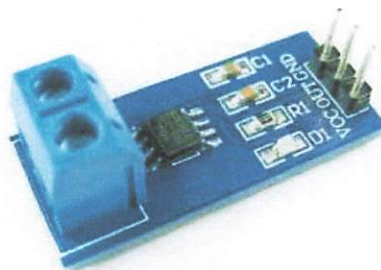


**Gambar 2.40. Konfigurasi pin dari IC ACS712.**

(Sumber : <http://www.allegromicro.com/~Media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx>)

Berikut ini adalah karakteristik dari sensor arus ACS712:

- Memiliki sinyal analog dengan sinyal-gangguan rendah (*low-noise*)
  - Ber-*bandwidth* 80 kHz
  - Total output error 1.5% pada  $T_a = 25^\circ\text{C}$
  - Memiliki resistansi dalam  $1.2\text{ m}\Omega$
  - Tegangan sumber operasi tunggal 5.0V
  - Sensitivitas keluaran: 66 sd 185 mV/A
- Tegangan keluaran proporsional terhadap arus AC ataupun DC
  - Fabrikasi kalibrasi
  - Tegangan *offset* keluaran yang sangat stabil
  - Hysterisis akibat medan magnet mendekati nol
  - Rasio keluaran sesuai tegangan sumber



**Gambar 2.41. Kemasan dari IC ACS712.**

(Sumber : <http://indo-ware.com/produk-639-modul-ac71230a.html>)

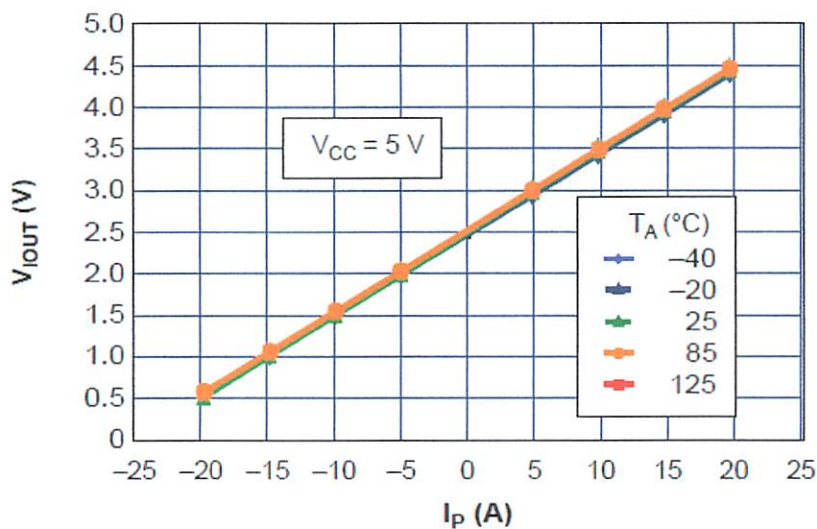
ACS712 produksi Allegro ini diproduksi dengan tiga varian maksimal pembacaan arus:

**Tabel 2.8. Tipe-tipe IC ACS712**

Part Number	Ta (°C)	Jangkauan	Sensitivitas (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	-40 to 85	±30	66

(Sumber : <http://depokinstruments.com/2012/03/29/sensor-arus-listrik-acs712/>)

Sensor ACS712 ini pada saat tidak ada arus yang terdeteksi, maka keluaran pada  $V_{out}$  sensor adalah 2,5 V. Dan saat arus mengalir dari IP+ ke IP-, maka keluaran akan >2,5 V.



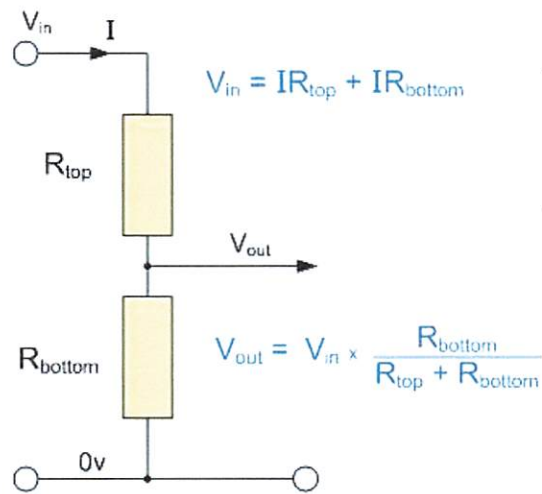
**Grafik 2.3. Tegangan Keluaran Sensor ACS712 terhadap Arus Listrik yang Terukur.**

(Sumber : <http://www.allegromicro.com/~Media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx>)

## 2.10. Sensor Tegangan

Pembagi Tegangan (*voltage divider*) Menghubungkan resistor seri seperti ini pada tegangan DC memiliki satu keuntungan, tegangan yang berbeda muncul di setiap resistor menghasilkan sebuah rangkaian yang disebut Rangkaian Pembagi Tegangan. Rangkaian yang ditunjukkan di atas adalah pembagi tegangan sederhana di mana tiga 1V, 2V dan 6V dihasilkan dari satu *supply* tegangan baterai 9V. Hukum tegangan Kirchoff menyatakan bahwa " tegangan dalam rangkaian tertutup sama dengan jumlah

semua tegangan ( $IR$ ) di seluruh rangkaian". Rangkaian dasar Resistor Seri sebagai Pembagi Tegangan dapat dilihat pada Gambar rangkaian dibawah ini;

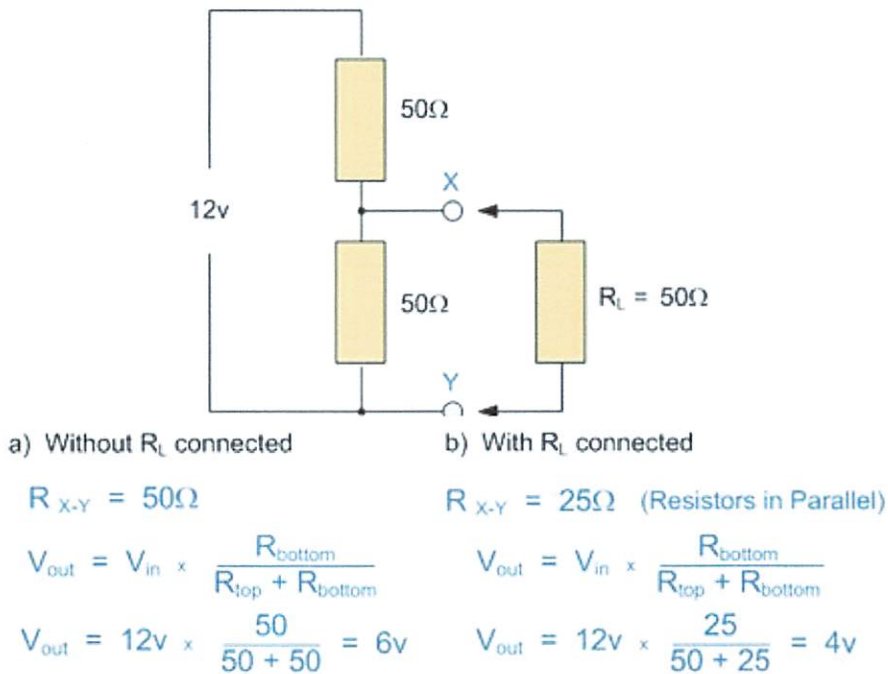


**Gambar 2.42. Rangkaian Pembagi Tegangan**

(Sumber : <http://electronical-instrument.blogspot.com/2010/06/rangkaian-pembagi-tegangan.html>)

Dalam rangkaian dua resistor yang dihubungkan secara seri melalui  $V_{in}$ , yang merupakan tegangan listrik yang terhubung ke resistor,  $R_{top}$ , di mana tegangan keluaran  $V_{out}$  adalah tegangan resistor  $R_{bottom}$  yang diberikan oleh formula. Jika lebih resistor dihubungkan secara seri pada rangkaian maka tegangan yang berbeda akan muncul di setiap resistor berkaitan dengan masing-masing hambatan  $R$  ( $I \times R$  Hukum Ohm) menyediakan tegangan berbeda dari satu sumber pasokan/catudaya. Namun, harus berhati-hati ketika menggunakan jaringan jenis ini sebagai impedansi karena dapat mempengaruhi tegangan keluaran. Sebagai contoh;

Misalkan Anda hanya memiliki 12V DC *supply* dan rangkaian Anda yang memiliki impedansi  $50\Omega$  memerlukan pasokan 6V. Menghubungkan dua nilai yang sama resistor, misalkan masing-masing  $50\Omega$  bersama-sama sebagai sebuah jaringan pembagi potensial di 12V akan mendapatkan hasil yang diharapkan baik sampai anda menambahkan beban rangkaian kedalam jaringan.. Hal ini ditunjukkan seperti rangkaian di bawah ini:



**Gambar 2.43. Contoh Rangkaian Pembagi Tegangan**

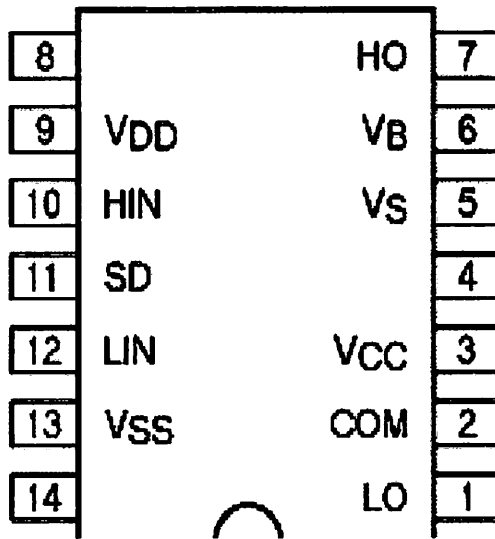
Seperti yang dapat Anda lihat dari atas,  $V_{out}$  tegangan output tanpa resistor beban terhubung memberikan kita yang diperlukan yakni 6V, tapi tegangan output yang sama pada saat beban  $V_{out}$  terhubung turun menjadi hanya 4V, (Resistor dalam Paralel). Maka tegangan keluaran  $V_{out}$  ditentukan oleh rasio  $V_{top}$  untuk  $V_{bottom}$  dengan efek mengurangi level tegangan sinyal atau dikenal sebagai *Attenuation* sehingga harus berhati-hati bila menggunakan jaringan pembagi potensial. Semakin tinggi beban impedansi menimbulkan efek pembebanan pada output.

Sebuah resistor variabel, potensiometer atau sering disebut juga Pot, adalah contoh yang baik dari multi-resistor pembagi tegangan. Pengaturan dengan memutar/menggeser tombol pada potensiometer akan menghasilkan Resistansi yang berbeda pada kaki resistor sehingga akan menghasilkan tegangan keluaran yang kita harapkan dengan lebih akurat.

### 2.11. Driver Mosfet IR2110

IR2110 adalah sebuah IC pengganti isolation transformer yg memisahkan output *High* (HO) dari output *LOW* (LO). Karena LO bekerja pada tegangan yg terhubung ke VSS sebagai *commonnya*, sedangkan HO bekerja pada dasar tegangan common yg berbeda jauh hingga ratusan volt terhadap VSS.





**Gambar 2.44. Pin Out IR2110**

(Sumber : <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir2110.pdf>)

Pada IC *gate driver* ini sangat membantu sekali terhadap pensaklaran pada moset, karena memiliki arus yang tinggi. Sedangkan arus dari mikrokontroler kecil maka di perlukan IC ini untuk mendriver mosfet. Dibawah ini adalah tabel fungsi dari Pin IR2110.

**Tabel 2.9. Fungsi Pin IR2110**

Symbol	Description
V <sub>DD</sub>	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
V <sub>SS</sub>	Logic ground
V <sub>B</sub>	High side floating supply
HO	High side gate drive output
V <sub>S</sub>	High side floating supply return
V <sub>CC</sub>	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

(Sumber : <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir2110.pdf>)

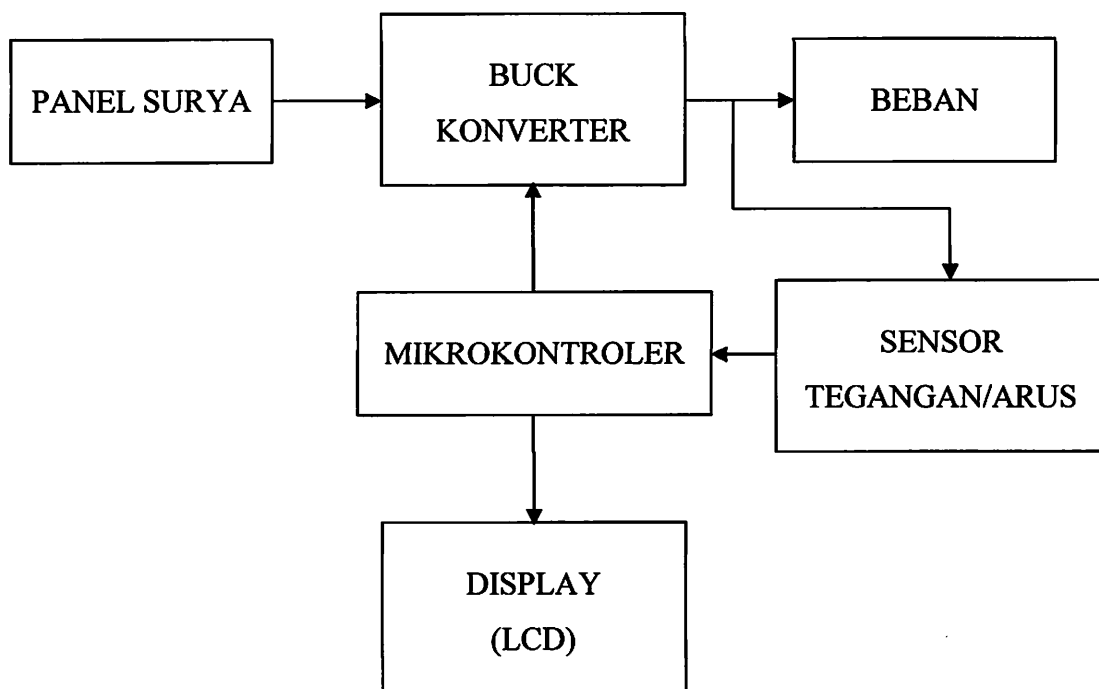
## BAB III

### PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

#### 3.1. Pendahuluan

Pada bab ini akan membahas mengenai peralatan yang direncanakan dan akan direalisasikan sebagaimana fungsinya. Data dan spesifikasi komponen yang digunakan dalam perencanaan merupakan data sekunder yang diambil dari buku data komponen elektronika. Apapun perencanaan dan pembuatan alat meliputi perencanaan dan pembuatan perangkat keras serta perangkat lunak secara garis besarnya. Pemilihan komponen berdasarkan perencanaan dan disesuaikan dengan komponen yang ada di pasaran.

#### 3.2. Perancangan dan Perealisasian Alat



**Gambar 3.1. Blok Diagram MPPT dengan Buck Konverter**

Penjelasan blok diagram sebagai berikut :

1. Panel surya adalah suatu pembangkit listrik yang mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung.
2. Buck *converter* digunakan untuk menurunkan tegangan input dari panel surya agar tegangan output bisa di tentukan pada 14 volt. Penggunaan buck konverter

ini karena pada tegangan dan arus panel surya selalu berubah-ubah berdasarkan perubahan radiasi matahari.

3. Sensor arus yang digunakan yaitu ACS712 untuk 20 Ampere. Pada sensor tegangan disini menggunakan rangkaian pembagi tegangan, yaitu dengan memasang dua buah resistor yang dipasang seri.
4. Mikrokontroler sebagai pusat kontrol dari semua rangkaian, disini mikrokontroller yang dipakai yaitu mikrokontroller ATmega16.
5. Beban diperancangan ini menggunakan baterai sebagai penyimpanan sementara yang kemudian akan diteruskan ke inverter untuk mengkonversi ke tegangan AC.
6. LCD (*Liquid Crystal Display*) suatu alat yang dapat menampilkan karakter ASCII sehingga kita bisa menampilkan campuran huruf dan angka sekaligus di dalam rangkaian berfungsi untuk menampilkan output tegangan dan arus pada buck konverter.

### *Perinsip Kerja*

Panel Surya yang mengubah sinar matahari menjadi energi listrik, menghasilkan daya yang masuk ke buck konverter. Output buck konverter dibaca oleh sensor tegangan dan sensor arus, kemudian dikonfersikan ke ADC yang ada pada mikrokontroller. Pada mikrokontroller akan menjalankan program untuk menambah atau mengurangi PWM yang akan dikirm ke rangkaian *driver* mosfet. Setelah *driver* mosfet bekerja maka pada buck konverter ini akan menurunkan tegangan yang digunakan untuk mengisi baterai. Pada output buck konverter yang dibaca oleh sensor kemudian ditampilkan ke LCD.

## **3.3. Perancangan Perangkat Keras**

### **3.3.1. Perencanaan Panel Surya**

Pada perencanaan panel surya ini penulis menggunakan panel surya dengan spesifikasi seperti pad Tabel 3.1 dibawah ini :

**Tabel 3.1. Spesifikasi Dari Panel Surya**

<b>Spesifikasi</b>	<b>Nilai</b>
Maksimum power (Pmax)	50 Watt
Short circuit current (Isc)	3.25 Ampere
Open current voltage (Voc)	21,5 Volt
Nominal Voltage ( Vpm)	17.5 Volt
Maximum power current ( Ipm)	2.86 Ampere

Dari spesifikasi di atas kita dapat memperoleh parameter untuk mendapatkan kurva karakteristik yang kita butuhkan untuk perancangan ini.

### 3.3.2. Perencanaan MPPT Buck Konverter

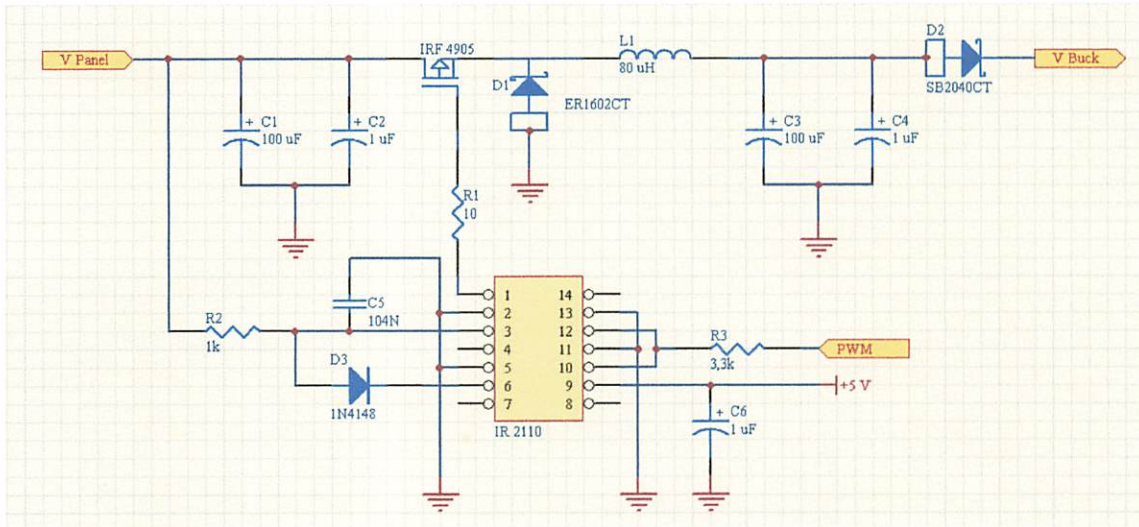
Dalam perancangan buck konverter ini saya menggunakan komponen yang ada di pasaran dengan Tabel 3.2 spesifikasi sebagai berikut :

**Tabel 3.2 Spesifikasi Komponen Buck Konverter**

<b>Spesifikasi komponen</b>	<b>Nilai</b>
Mosfet tipe IRF 4905	$V_{ds} = -55 \text{ V}$ , $I_D = -74 \text{ A}$
Induktor	80uH
Capasitor	100uf / 50 V
Capasitor	1uf / 50 V
Dioda Schottky ER1602CT	$V_{rrm} = 200 \text{ V}$ , $I_{AV} = 16 \text{ A}$
Dioda Schottky SB2040CT	$V_{rrm} = 40 \text{ V}$ , $I_{AV} = 20 \text{ A}$
Mosfet Gate Driver IR2110	$V_{out} 10 - 20\text{V}$ , $I_o = 2\text{A}$

Dari spesifikasi diatas dapat kita rancang sesuai dengan skematik Gambar 3.2 di bawah ini :





**Gambar 3.2. Rangkaian Buck Konverter**

Pada perancangan buck konverter ini tegangan sebesar 14 V, maka untuk cara kerja rangkaian boost konverter pada mode *Continuous Conduction Mode* (CCM) dimana arus induktor  $i_L(t) > 0$ . Ketika saklar ditutup, sumber tegangan  $V_d$  diberikan ke induktor dan nilai kenaikan dari arus induktor ditentukan oleh sumber tegangan  $V_d$  dan induktansi  $L$ . Tegangan pada induktor bernilai positif. Dengan maksimum *power* panel surya sebesar 50 watt maka untuk memperoleh daya keluaran  $P_{out} = V_o \times I_o$ , maka :

$$\begin{aligned}
 I_o &= \frac{P_o}{V_o} \dots\dots\dots (3.1) \\
 &= \frac{50}{14} \\
 &= 3.57 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan *duty cycle* (D) maka kita menggunakan rumus sebagai berikut :

$$D = \frac{V_i}{V_o} \dots\dots\dots (3.2)$$

dimana :

- $V_o$  = tegangan output
- $V_i$  = tegangan Input
- D = *duty cycle*

Disini nilai  $V_o$  diperoleh sebesar 14 V, sedangkan untuk  $V_i$  diperoleh dari tegangan yang diperoleh saat maksimum sebesar  $V_{oc} = 21.5V$ .

maka :

$$D = \frac{21.5}{14}$$

$$= 1.54$$

Untuk mendapatkan nilai register PWM *timer*, sebagai berikut dengan nilai PWM maksimum register adalah 255.

Maka :

$$D = \frac{255}{1.54}$$

$$= 166$$

Menetapkan arus *ripple* pada beban yang akan digunakan yaitu baterai 12 V/7.2 Ah dengan rumus sebagai berikut :

$$I_{Ripple} = 0.3 \times I_{Load}$$

Dimana  $I_{Load}$  maksimum sebesar 7.2 Ah pada baterai.

Maka :

$$I_{Ripple} = 0.3 \times 7.2$$

$$= 2.16 \text{ A}$$

Untuk menentukan besar nilai induktor kita bisa gunakan rumus dibawah ini :

$$L = (V_{in} - V_{out}) \cdot (D / F_{sw}) / I_{ripple} \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana :

$F_{sw} = \text{Frekuensi switch}$

Disini  $F_{sw}$  pada mikrokontroler menggunakan 10.800 KHz.

Maka :

$$L = (21.5 \text{ V} - 14 \text{ V}) \cdot (1.54 / 10.8 \times 10^3 \text{ Hz}) / 2.16 \text{ A}$$

$$= (7.5) \cdot (142.6 \times 10^{-6}) / 2.16$$

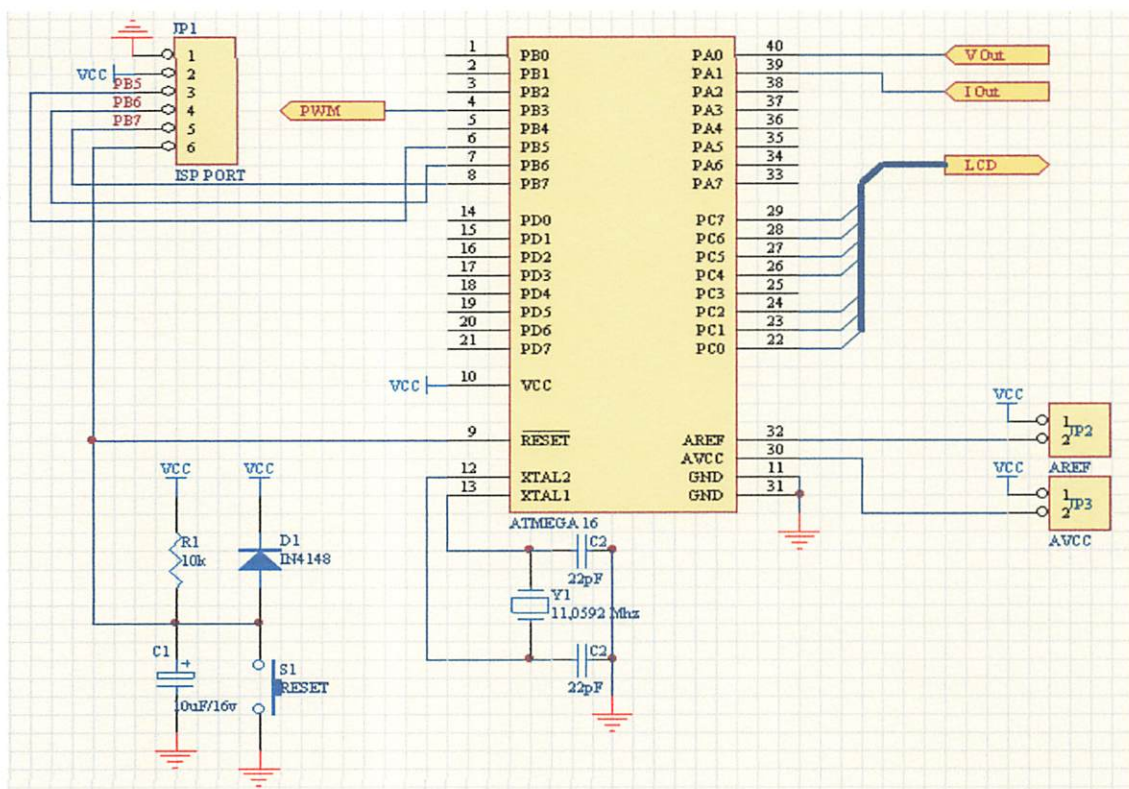
$$= 1.07 \times 10^{-3} / 2.16$$

$$= 0.495 \text{ mH}$$

Induktor yang dibutuhkan sesuai perhitungan diatas minimal bernilai 0.000495 H. Sedangkan dipasaran tidak ada, maka pada perancangan ini saya membuat inductor yang bernilai 80 $\mu$ H. Sedangkan untuk nilai dioda kita pakai ini yaitu ER1602CT dan SB2040CT adalah dioda jenis schottky yang mempunyai 2 anoda dan 1 katoda berjenis *high speed power switching* arus balik ( $I_{RRM}$ ) = 0.5 mA, dan untuk Mosfet disini saya menggunakan IRF 4905 yaitu Mosfet jenis *P-Channel* yang memang digunakan untuk swithcing. Mosfet ini memiliki Tegangan drain to source ( $V_{DS}$ ) sebesar 55 V dan arus 74 A.

### 3.3.3. Perencanaan Mikrokontroler ATmega16

Pada perancangan ini saya menggunakan Atmega 16 yang berfungsi sebagai controller untuk membangkitkan pulsa PWM pada mosfet *driver* dan membaca perubahan data dari sensor yang di proses pada ADC kemudian di tampilkan ke LCD untuk pembacaannya dapat kita lihat pada Gambar 3.3 aloksai port Atmega 16 yang digunakan. Pada Gambar 3.3 ada beberapa komponen seperti rangkaian reset, *clock* generator.



Gambar 3.3. Alokasi Pada Port ATmega16

### 3.3.4. Rangkaian Clock Generator

Untuk kristal dari *minimum system* ini menggunakan frekuensi 11.0592 MHz, sedangkan untuk kapasitor menggunakan 22 pF sampai 22 pF. Nilai kapasitor ini diperoleh dari tabel *datasheet* tentang penggunaan kapasitor untuk rangkaian *osilator/sistem clock* pada ATmega 16. Penggunaan kristal 11,0592 MHz ini bertujuan agar perhitungan *baudrate* tidak mengalami *error* yang disebabkan karena selisih perhitungan. Perhitungan *baudrate* pada AVR ATmega16 dengan menggunakan kristal 11,0592 MHz, dimana *baudrate* yang diinginkan ialah 38400 bps, maka nilai pada *UBRR (USART Baud Rate Register)* dapat ditentukan dengan perhitungan :

$$\begin{aligned}
 UBRR &= (f_{osc} / 16.Baud) - 1 \\
 UBRR &= (11059200 / 16.38400) - 1 \\
 UBRR &= (11059200 / 614400) - 1 \\
 UBRR &= 18 - 1 \\
 &= 17 = 11 \text{ MHz}
 \end{aligned}$$

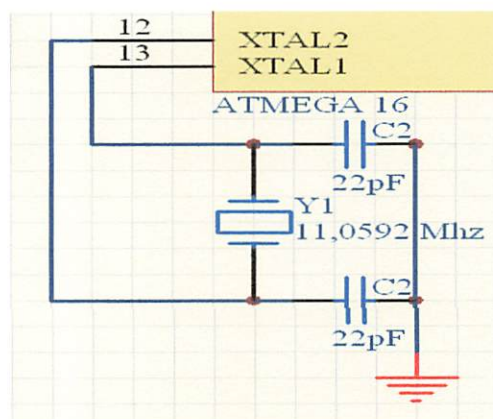
Dimana :

*UBRR* : *USART Baud Rate Register*.

*Fosc* : Kristal yang digunakan.

*Baud* : *baudrate* yang diinginkan.

Penggunaan kristal 11,0592 MHz memungkinkan hasil perhitungan *baudrate* tidak sisa dan *error* dari selisih perhitungan tidak ada.



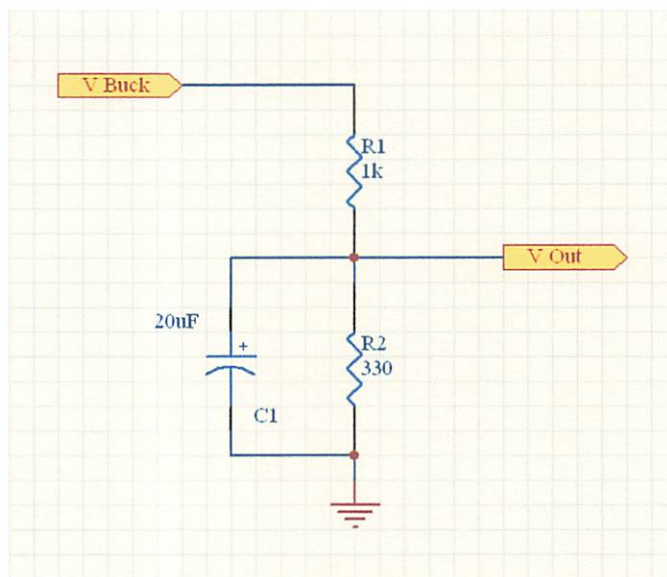
Gambar 3.4. Rangkaian Clock Generator



### 3.3.5. Sensor Tegangan

Disini rangkaian sensor tegangan menggunakan Pembagi Tegangan (*voltage divider*) dimana resistor dihubungkan secara seri pada tegangan DC, tegangan yang berbeda muncul di setiap resistor menghasilkan sebuah rangkaian yang disebut Rangkaian Pembagi Tegangan.

Gambar seperti dibawah ini :



**Gambar 3.5. Rangkaian Pembagi Tegangan**

Pada ADC mikrokontroller hanya mampu menerima tegangan dc maksimal 5 volt, sedangkan pada keluaran output buck konverter maksimal bisa sampai 18 volt. Maka dari itu rangkaian pembagi tegangan ini sangat membantu sekali sebagai sensor tegangan. Nilai dari resistor tersebut dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in} \dots\dots\dots (3.4)$$

Dimana :

$V_{out}$  = Tegangan output dari resistor (V)

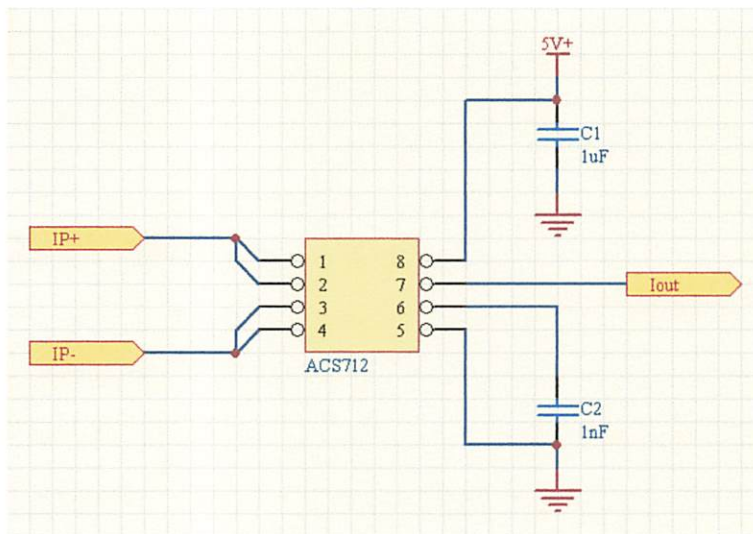
$V_{in}$  = Tegangan sumber (V)

$R_1$  dan  $R_2$  = Resistor ( $\Omega$ )

$$\begin{aligned} V_{out} &= \frac{330}{1000+330} \times 18 \\ &= 0.25 \times 18 \\ &= 4.5 \text{ V} \end{aligned}$$

### 3.3.6. Sensor Arus

Allegro ® ACS712 menyediakan solusi ekonomis dan tepat untuk pengukuran arus AC atau DC di dunia industri, komersial, dan sistem komunikasi. Perangkat terdiri dari rangkaian sensor efek-hall yang linier, *low-offset*, dan presisi. Saat arus mengalir di jalur tembaga pada bagian pin 1-4, maka rangkaian sensor efek-hall akan mendeteksinya dan mengubahnya menjadi tegangan yang proporsional



**Gambar 3.6. Skematik ACS712**

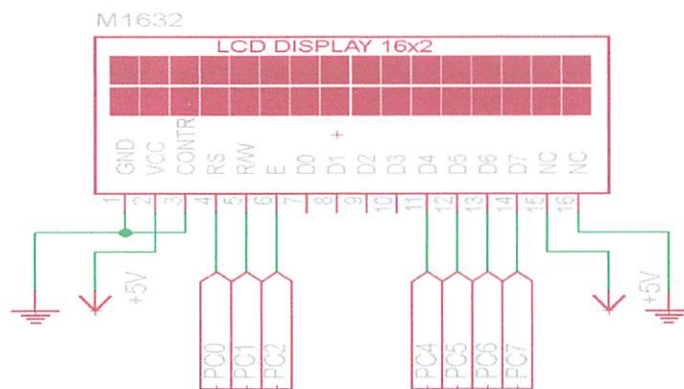
Sensor ACS712 ini pada saat tidak ada arus yang terdeteksi, maka keluaran pada  $V_{out}$  sensor adalah 2,5 V. Dan saat arus mengalir dari IP+ ke IP-, maka keluaran akan  $>2,5$  V. Setiap Perubahan pada input ACS712 ini dengan *range* 100 mV/A. Misalkan jika pada beban sebesar 2 Ampere maka kenaikan *range* sebesar 200 mV.

Maka:

$$\begin{aligned} V_{out} &= 2.5 + 0.2 \\ &= 2.7 \text{ V} \end{aligned}$$

### 3.3.7. LCD

M1632 adalah merupakan modul LCD dengan tampilan 16 x 2 baris dengan konsumsi daya yang rendah. Modul ini dilengkapi dengan mikrokontroler yang didisain khusus untuk mengendalikan LCD.



**Gambar 3.7. Skematik LCD**

Rangkaian LCD ditunjukkan dalam Gambar 3.5. saluran data DB4..DB7 dihubungkan dengan Port C (PC4..PC7) mikrokontroler. Pin R/W dihubungkan pada Vcc, Pin RS dan E dihubungkan pada Port C (PC0.PC1.PC2) mikrokontroler, sedangkan Pin Vee dihubungkan pada trimport untuk mengatur kecerahan layar LCD.

Signal RS diberikan pada LCD untuk membedakan signal antara instruksi program atau instruksi penulisan data. Untuk pin R/W akan berlogika *low* (0) apabila dihubungkan dengan *ground* maka LCD difungsikan hanya untuk menuliskan program atau data ke *display*. Untuk mengambil data dari mikrokontroller maka pin-pin data dihubungkan dengan *port* C0 sampai port C2 yang merupakan pin-pin data dari mikrokontroller. Pada pin 3 (VEE) digunakan untuk mengatur kontras dari karakter yang ditampilkan, sedangkan pin 15 (V+) diberi tegangan yang masuk sesuai dengan data datasheet yaitu 4,5 V

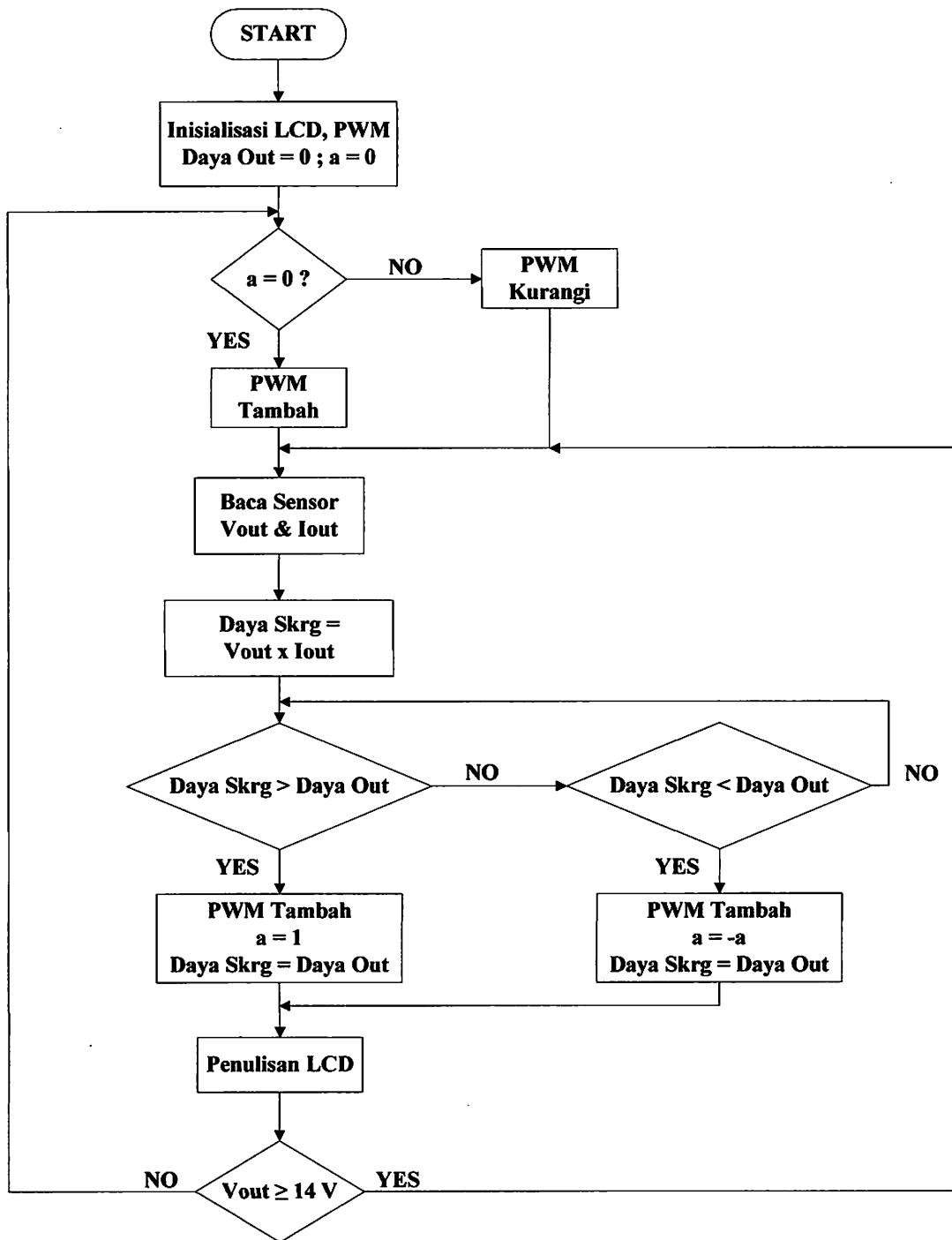
Tabel 3. 3 Pin Out LCD

No	Nama Pin	Level	Deskripsi
1	VSS	0 V	Ground
2	VDD	+5 V	Tegangan suplai logika
3	VEE	Variabel	Tegangan kontras
4	RS	H/L	Register select, 0 = perintah, 1 = data
5	R/W	H/L	1 = baca data 0 = tulis data
6	E	H/L	Enable clock, logika 1 setiap kirim / baca data
7	D0	H/L	Data Bus 0
8	D1	H/L	Data Bus 1
9	D2	H/L	Data Bus 2
10	D3	H/L	Data Bus 3
11	D4	H/L	Data Bus 4
12	D5	H/L	Data Bus 5
13	D6	H/L	Data Bus 6
14	D7	H/L	Data Bus 7
15	Anode	4.2V-4.6V	Tegangan positif backlight
16	Katode	0 V	Tegangan negatif backlight

### 3.4. Flowchart

Pada Flowchart di sini menjelaskan cara kerja *software* secara umum seperti di bawah ini:





**Gambar 3.8. Flowchart pada MPPT**

*Penjelasan dari Flowchart :*

Pertama *start* kemudian inisialisasi PWM, LCD, daya out = 0 dan a = 0, baru setelah itu proses ke a = 0 ? jika "NO" maka PWM akan di kurangi dan jika "YES" maka PWM akan di tambah lalu mulai baca sensor Vout dan Iout yang kemudian ke proses selanjutnya melakukan proses daya sekarang = Vout x Iout. Setelah proses daya

sekarang mulailah proses perbandingan antara daya sekarang > daya out jika “YES” maka proses PWM Tambah,  $a=0$  daya out = daya sekarang kemudian proses penulisan LCD dan jika “NO” maka masuk ke proses daya sekarang < daya out jika “YES” maka PWM Tambah,  $a=0$ , daya out = daya skrg, pada proses ini jika “NO” maka proses akan kembali ke proses daya sekarang =  $V_{out} \times I_{out}$ . Dan jika “YES” maka PWM Tambah,  $a = -a$ , daya out = daya sekarang kemudian masuk ke penulisan LCD. Setelah penulisan LCD ini proses akan dilanjutkan ke  $V_{out} \geq 14 \text{ V}$  jika “YES” kembali ke baca sensor  $V_{out}$  dan  $I_{out}$ , jika “NO” akan kembali ke awal yaitu  $a = 0$  ?.

## BAB IV PENGUJIAN

### 4.1. Umum

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah rangkaian yang telah dibuat tersebut dapat berjalan dengan baik sesuai dengan program yang diberikan, dan digunakan untuk mengetahui kelemahan atau kekurangan pada seluruh kerja sistem. Setelah merancang seluruh MPPT, sebelumnya dilakukan langkah pengujian masing-masing sub-sistem. Setelah sub-sistem bekerja dengan baik, maka selanjutnya dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan yaitu dengan menggabungkan seluruh sub-sistem hingga membentuk sebuah sistem MPPT.

Pengujian yang perlu dilakukan meliputi:

- Pengujian Panel Surya.
- Pengujian rangkaian mikrokontroler.
- Pengujian rangkaian sensor arus dan sensor tegangan.
- Pengujian rangkaian MPPT.

### 4.2. Pengujian dan Analisa Sistem

Pada pengujian “Rancang Bangun *Maximum Power Point Tracker* menggunakan *Buck Converter* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya”, prinsip kerjanya secara keseluruhan adalah pada saat energi matahari yang dipancarkan dan jatuh ke panel surya, kemudian akan bekerja menangkap energi matahari yang dipancarkan tersebut. Komponen (*solar cell*) ini mengkonversikan energi cahaya matahari tersebut menjadi energi listrik. Dan energi listrik tersebut akan masuk ke buck konverter kemudian diteruskan ke aki. Dalam pengujian ini akan melakukan pengujian pada siang hari mulai jam 10.00 sampai 15.00 WIB.

Disini mikro ATmega16 pada port PB3 berfungsi sebagai PWM untuk driver mosfet yang akan dikuatkan sehingga bisa *mendrive power* mosfet pada buck konverter, selain itu pada *port* untuk pembacaan pada sensor arus dan tegangan, kemudian untuk menampilkan pembacaan pada sensor arus dan tegangan pada *port* PC0 sampai PC7.

### 4.2.1. Pengujian Panel Surya

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tegangan panel surya 50 W(P) yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Pengujian panel surya ini dilaksanakan dengan menggunakan alat ukur voltmeter dan *solar power meter*. Adapun tegangan panel surya yang menggunakan 4 panel surya dipasang secara parallel dan diperoleh sebesar 17.8 volt sampai 20.1 volt dc dari pengamatan pukul 08:00 sampai 16:00 ditunjukkan pada Tabel 4.1.

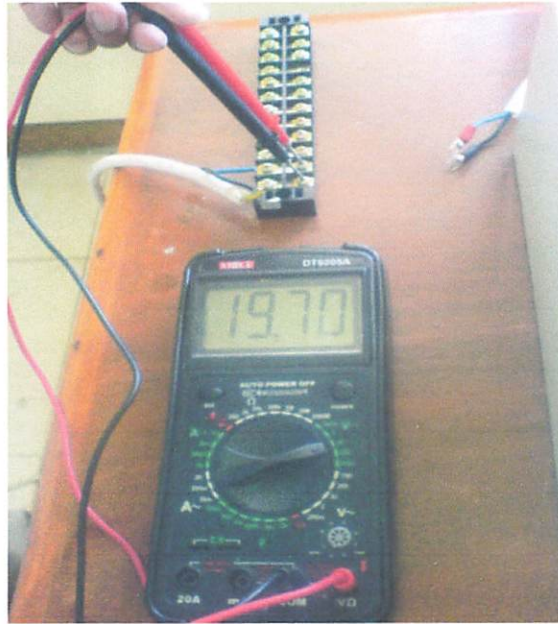
**Tabel 4.1. Data Pengukuran Panel Surya 50W(P)**

No	Jam	Tegangan pada panel surya (Volt)	Solar power meter (Watt/m <sup>2</sup> )	Cuaca
1	8:00	20,1	792	cerah
2	9:00	19,8	880	cerah
3	10:00	19,6	933	cerah
4	11:00	19,7	942	cerah
5	12:00	19,6	993	cerah
6	13:00	19,6	1030	cerah
7	14:00	18,8	505	berawan
8	15:00	18,9	710	cerah
9	16:00	17,8	270	cerah

(Diambil pada tgl 25 Mei 2012, Malang)



**Gambar 4.1. Panel Surya**



**Gambar 4.2. Tegangan Output Panel Surya**

#### 4.2.2. Pengujian Rangkaian Mikrokontroller

Pada bagian ini saya mencoba dengan menggunakan LCD 16 x 2 untuk menampilkan karakter pada port C dengan menggunakan CodeVision AVR. Berikut program yang di gunakan :

```

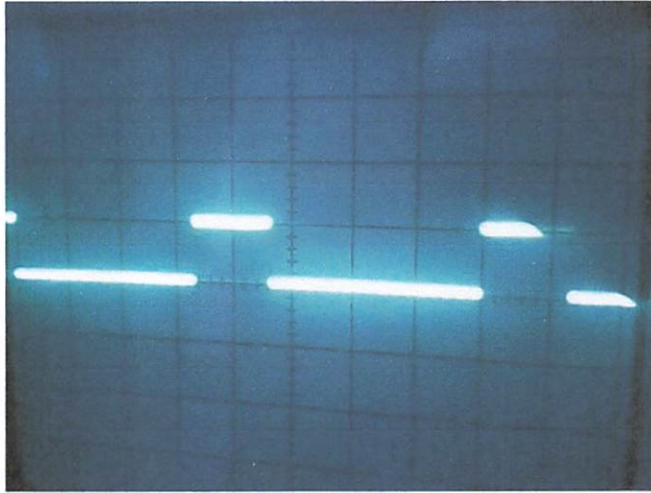
lcd_init(16);
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("BUCK CONVERTER");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("DIRECT CURRENT");
delay_ms(1000);

```



**Gambar 4.3. Pengujian Pada LCD**

Selanjutnya Pengujian untuk sinyal keluaran PWM pada *Port B.3*, dan tegangan keluaran pada saat bekerja. Bisa dilihat pada gambar yang ada dibawah ini:



*Gambar 4.4 Sinyal Keluaran PWM Pada Mikrokontroler*

#### 4.2.3. Pengujian Rangkaian Sensor Arus

Pada pengujian sensor arus disini saya akan menggunakan avometer untuk mengukur output sensor arus ACS712 ini. Karena pada ACS712 sudah mengkonversi input besaran arus menjadi tegangan, pada kondisi 0 (Nol) A keluaran output-nya 2.50 V. Pada setiap *range* perubahan yaitu 100 mV.



*Gambar 4.4. Output ACS712*

**Tabel 4.2. Hasil Pengujian Sensor Arus**

No	Jam	Arus Terukur (Ampere)		Eror %
		Output Buck	Pengukuran	
1	10:00	0.87	0.99	12.12
2	10:30	0.98	1.17	16.23
3	11:00	0.98	1.18	16.94
4	11:30	1.56	1.71	8.77
5	12:00	2.35	2.65	11.32
6	12:30	2.13	2.47	13.76
7	13:00	2.13	2.44	12.71
8	13:30	2.06	2.35	12.34
9	14:00	1.98	2.07	4.34
10	14:30	1.32	1.47	10.21
11	15:00	1.39	1.58	12.02

Berikut perhitungannya :

$$\begin{aligned}
 \%Error &= \frac{|Output\ Buck - Pengukuran|}{Pengukuran} \times 100\% \\
 &= \frac{|0.87 - 0.99|}{0.99} \times 100\% \\
 &= \frac{|-0.12|}{0.99} \times 100\% \\
 &= 0.1212 \times 100\% \\
 &= 12.12 \%
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan persen error rata-rata :

$$\begin{aligned}
 \%Error\ Rata-rata &= \frac{jumlah\ keseluruhan\ \%}{jumlah\ pengujian} \\
 &= \frac{130.76\ \%}{11} \\
 &= 11.88 \%
 \end{aligned}$$



Dari hasil pengujian rangkaian sensor arus diatas, didapat eror rata-rata sebesar 11.88%.

#### 4.2.4. Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

Sensor teganga disini saya menggunakan rangkaian pembagi tegangan dengan menggunakan 2 buah resistor. Pada R1 saya menggunakan 1k Ohm, dan untuk R2 saya menggunakan 330 Ohm.



*Gambar 4.5. Output Sensor Tegangan*

*Tabel 4.3. Hasil Pengujian Sensor Tegangan*

No	Jam	Tegangan Terukur (Volt)		Eror %
		Output Buck	Pengukuran	
1	10:00	15.8	15.5	1.93
2	10:30	15.7	15.4	1.95
3	11:00	14.9	14.2	4.92
4	11:30	14.7	14.1	4.25
5	12:00	12.8	13.0	1.15
6	12:30	12.1	12.5	3.20
7	13:00	12.8	13.2	3.03
8	13:30	12.9	13.4	3.73
9	14:00	12.8	13.4	4.47
10	14:30	12.2	12.7	3.93
11	15:00	12.2	12.6	3.17



Berikut perhitungannya :

$$\begin{aligned}
 \%Error &= \frac{|Output\ Buck - Pengukuran|}{Pengukuran} \times 100\% \\
 &= \frac{|15.8 - 15.5|}{15.5} \times 100\% \\
 &= \frac{|0.3|}{0.99} \times 100\% \\
 &= 0.0193 \times 100\% \\
 &= 1.93 \%
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan persen error rata-rata :

$$\begin{aligned}
 \%Error\ Rata-rata &= \frac{jumlah\ keseluruhan\ \%}{jumlah\ pengujian} \\
 &= \frac{35.73\ \%}{11} \\
 &= 3.25 \%
 \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian rangkaian sensor tegangan diatas, didapat eror rata-rata sebesar 3.25%.

#### 4.2.5. Pengujian MPPT buck konverter

Rangkaian MPPT ini adalah untuk mengetahui berapa besar perubahan antara input yang berasal dari panel surya ke output buck konverter saat dioperasikan . Perubahan tegangan yang terjadi saat puncak yaitu pada kondisi panas atau sinar matahari yang sangat cerah dan pada saat mendung. Pada Pengujian disini saya menggunakan beban baterai 12 V/ 7.2 Ah.

**Tabel 4.4. Pengujian Tanpa MPPT**

No	cuaca	jam	Tegangan Output (Volt)	Arus Beban (Ampere)	Solar Power Meter (W/M <sup>2</sup> )	Daya Beban (Watt)
1	berawan	10:00	16.3	0.94	457	15.322
2	cerah	10:30	16.1	1.04	971	16.744
3	cerah	11:00	16.1	1.02	984	16.422
4	cerah	11:30	15.1	1.52	940	22.952
5	cerah	12:00	12.2	2.25	982	27.45
6	cerah	12:30	12.8	2.02	990	25.856
7	cerah	13:00	14.1	1.97	998	27.777
8	cerah	13:30	13.5	1.84	1003	24.84
9	cerah	14:00	13.3	1.54	970	20.482
10	berawan	14:30	13.1	1.39	510	18.209
11	cerah	15:00	13.2	1.21	856	15.972

(Diambil pada tgl 23 Juli 2012, Malang)

Pada tabel pengujian tanpa MPPT dimana nilai daya beban bisa dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{\text{Beban}} = V \times I$$

Maka

$$\begin{aligned} P_{\text{Beban}} &= 16.3 \times 0.94 \\ &= 15.322 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Jadi nilai pada percobaan pertama untuk daya beban Tanpa MPPT adalah 15.322 Watt.

**Tabel 4.5. Pengujian Dengan MPPT**

No	cuaca	Jam	Tegangan Output (Volt)	Arus (Ampere)	Solar Power Meter (W/M <sup>2</sup> )	Daya Beban (Watt)
1	berawan	10:00	15.8	0.99	457	15.642
2	cerah	10:30	15.7	1.17	971	18.369
3	cerah	11:00	14.9	1.18	984	17.582
4	cerah	11:30	14.7	1.71	940	25.137
5	cerah	12:00	12.8	2.65	982	33.92
6	cerah	12:30	12.1	2.47	990	29.887
7	cerah	13:00	12.8	2.44	998	31.232
8	cerah	13:30	12.9	2.35	1003	30.315
9	cerah	14:00	12.8	2.07	970	26.496
10	berawan	14:30	12.2	1.47	510	17.934
11	cerah	15:00	12.2	1.58	856	19.276

(Diambil pada tgl 23 Juli 2012, Malang)

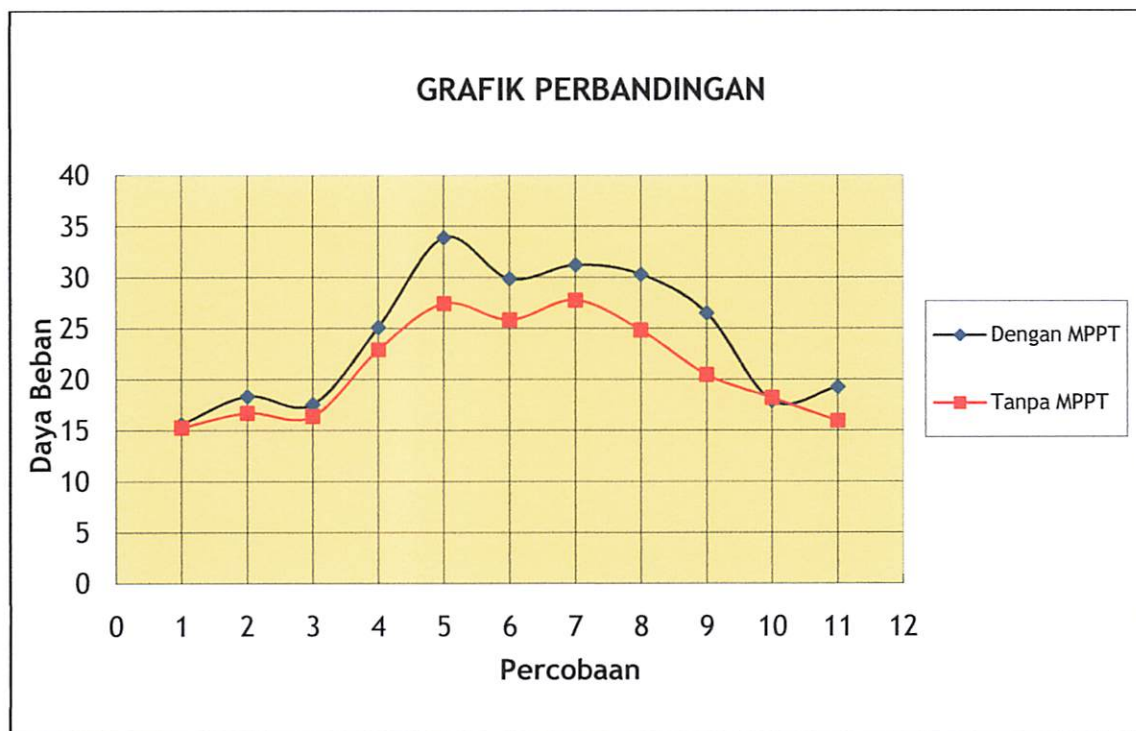
Sama pada perhitungan tabel diatas, pengujian dengan MPPT dimana untuk mencari nilai daya beban dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{\text{Beban}} = V \times I$$

Maka

$$\begin{aligned} P_{\text{Beban}} &= 15.8 \times 0.99 \\ &= 15.642 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Jadi nilai pada percobaan pertama untuk daya beban Dengan MPPT adalah 15.642 Watt.



**Grafik 4.1. Perbandingan menggunakan MPPT dan yang tanpa menggunakan MPPT.**

Selisih perbandingan pada panel surya dengan menggunakan MPPT dan yang tanpa menggunakan MPPT disini bisa menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Selisih} = D \text{ Dengan MPPT} - D \text{ Tanpa MPPT}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= 18.369 - 16.744 \\ &= 1.625 \text{ Watt} \end{aligned}$$

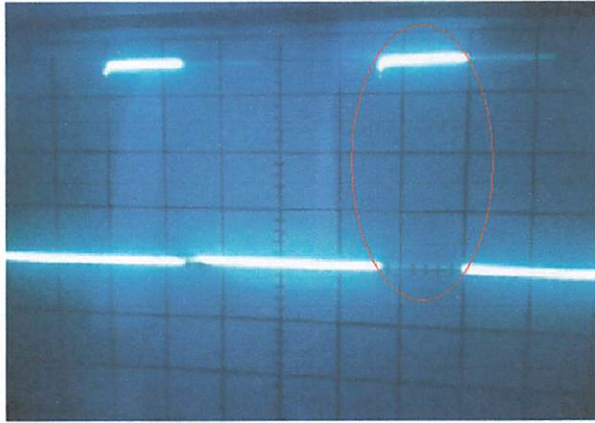
Sehingga didapatkan persen selisih daya rata-rata :

$$\text{Selisih } D_r = \frac{\text{Seluruh daya beban \%}}{\text{jumlah daya}}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \text{Selisih } D_r &= \text{Selisih daya rata-rata} \\ &= \frac{33.314 \%}{11} \\ &= 3.03 \% \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian rangkaian MPPT buck konverter diatas, didapat selisih daya rata-rata sebesar 3.03 %.



***Gambar 4.6. Keluaran output Sinyal PWM Pada Driver Mosfet***

Disini terlihat sekali perbedaan antara output PWM pada mikrokontroller dan setelah *driver mosfet*.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah perencanaan dan pembuatan sistem kemudian pengujian dan analisa, penulis akan menyampaikan beberapa kesimpulan dan saran yaitu sebagai berikut :

1. Panel surya dapat mendapatkan daya yang maksimum menggunakan *maximum power point tracker* (MPPT) dengan buck konverter ini pada berbagai intensitas matahari yang berbeda-beda.
2. Pada pengujian Sensor Arus eror rata-ratanya sebesar 11.88 %
3. Pada pengujian Sensor Tegangan eror rata-ratanya sebesar 3.25 %.
4. Selisih perbandingan dengan menggunakan MPPT buck konverter pada daya panel surya mencapai 3.03 %.
5. Cukup banyak daya yang hilang ketika menggunakan buck konverter jika tegangan diturunkan terlalu besar.

#### **5.2 Saran**

Dari mulai pembuatan sampai penyelesaian skripsi ini ada beberapa hal penulis yang ingin sampaikan untuk pengembangan alat ini. Meskipun alat ini sudah dapat bekerja masih ada hal-hal yang perlu di optimalkan, baik dari segi *hardware* maupun *software*. Beberapa saran yang penulis berikan:

1. Alat ukur yang digunakan sebaiknya menggunakan range yang cukup untuk mengukur di bawah 5 volt saat pengujian dilakukan sehingga hasil dari pengukuran dapat maksimal.
2. Untuk menambahkan daya yang lebih maksimum diharapkan agar tegangan tidak diturunkan terlalu besar.
3. Penggunaan sensor yang kurang presisi diharapkan saat pengembangan perlu mencari sensor yang lebih presisi lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wardana, Lingga. 2006. *Belajar Sendiri Mikrokontroller AVR seri ATmega8535 Simulasi, Hardware, dan Aplikasi*. Yogyakarta: Andi
- [2] Green, DC. 1987. *Pedoman Elektronika II*. Jakarta: Gramedia
- [3] Sutrisno. 1986. *ELEKTRONIKA: teori dasar dan penerapannya*. Bandung: ITB
- [4] Mismail, Budiono. 1995. *Rangkaian Listrik*. Bandung: ITB
- [5] <http://www.scribd.com/doc/48246846/laporan-kp-shs-suhono> 8 juli 2012.
- [6] <http://konversi.wordpress.com/2009/01/07/topologi-konverter-dc-dc/> diakses pada tanggal 8 juli 2012.
- [7] <http://id.wikipedia.org/wiki/Transistor> diakses pada tanggal 16 juli 2012.
- [8] <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-12830-Presentation.pdf> diakses pada tanggal 14 juli 2012.
- [9] <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf> diakses pada tanggal 11 juli 2012.
- [10] <http://www.allegromicro.com/~Media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx> diakses pada tanggal 18 juli 2012.
- [11] <http://depokinstruments.com/2012/03/29/sensor-arus-listrik-ac712/> diakses pada tanggal 19 juli 2012.
- [12] <http://electronical-instrument.blogspot.com/2010/06/rangkaian-pembagi-tegangan.html> diakses pada tanggal 19 juli 2012.
- [13] <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir2110.pdf> diakses pada tanggal 22 juli 2012.
- [14] <http://delta-electronic.com/article/wp-content/uploads/2008/09/an0034.pdf> diakses pada tanggal 18 juli 2012.



# LAMPIRAN





PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

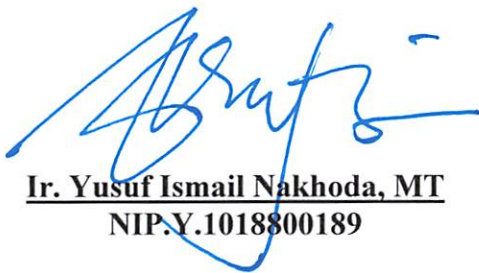
Nama : **Endra Sagita Destiawan**  
Nim : **08.12.214**  
Jurusan : **Teknik Elektro S-1**  
Konsentrasi : **Teknik Elektronika**  
Masa Bimbingan : **Semester Genap 2011-2012**  
Judul : **RANCANG BANGUN MAXIMUM POWER POINT  
TRACKER MENGGUNAKAN BUCK CONVERTER  
PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA**

Dipertahankan dihadapan Tim Penguji Skripsi Jenjang Program Strata Satu (S-1)

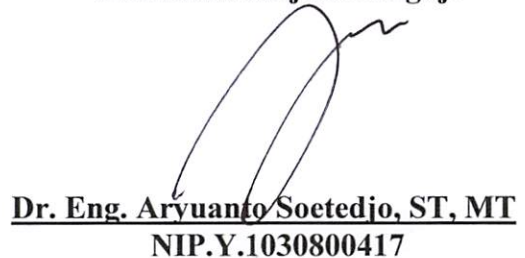
Pada Hari : Selasa  
Tanggal : 07 Agustus 2012  
Dengan Nilai : 84,05 (A) *o*

**PANITIA UJIAN SKRIPSI**

**Ketua Majelis Penguji**

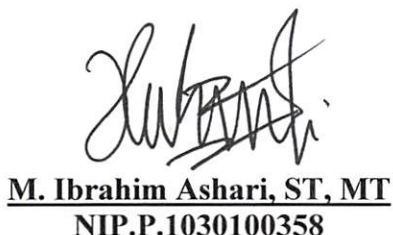
  
**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT**  
NIP.Y.1018800189

**Sekretaris Majelis Penguji**

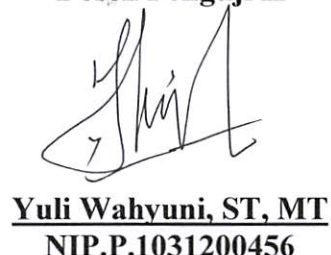
  
**Dr. Eng. Aryanto Soetedjo, ST, MT**  
NIP.Y.1030800417

**ANGGOTA PENGUJI**

**Dosen Penguji I**

  
**M. Ibrahim Ashari, ST, MT**  
NIP.P.1030100358

**Dosen Penguji II**

  
**Yuli Wahyuni, ST, MT**  
NIP.P.1031200456



## FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Jenjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

Nama : **Endra Sagita Destiawan**  
Nim : **08.12.214**  
Jurusan : **Teknik Elektro S-1**  
Konsentrasi : **Teknik Elektronika**  
Masa Bimbingan : **Semester Genap 2011-2012**  
Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN MAXIMUM POWER POINT TRACKER MENGGUNAKAN BUCK CONVERTER PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA**

No	Penguji	Tanggal	Uraian	Paraf
1.	Penguji II	07 Agustus 2012	Perbaikan laporan Bab IV: <ul style="list-style-type: none"><li>• Analisa Perhitungan dalam perancangan dan pengujian beri salah satu contohnya.</li><li>• Pengujiannya di refisi untuk jumlah panel suryanya.</li><li>• Grafik.</li><li>• Daftar pustaka.</li><li>• Kesimpulan.</li></ul>	

### Disetujui:

Penguji I

**M. Ibrahim Ashari, ST, MT**  
NIP.P.1030100358

Penguji II

**Yuli Wahyuni, ST, MT**  
NIP.P.1031200456

### Mengetahui:

Dosen Pembimbing I

**Dr. Eng Aryuanto S, ST, MT**  
NIP .Y. 1030800417

Dosen Pembimbing II

**Awan Uji Krismanto, ST, MT**  
NIP.P.198003012005011002



**FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI**

Nama : Endra Sagita Destiawan  
Nim : 08.12.214  
Masa Bimbingan : Semester Genap 2011-2012  
Judul Skripsi : RANCANG BANGUN MAXIMUM POWER POINT TRACKER  
MENGGUNAKAN BUCK CONVERTER PADA PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA SURYA

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	7 Mei 2012	Revisi rumusan masalah, batasan masalah, dan tujuan	
2.	15 Mei 2012	Diskusi Rancangan buck konverter	
3.	14 Juli 2012	Diskusi pembuatan inductor untuk buck konverter	
4.	17 Juli 2012	Diskusi pemilihan rangkaian driver mosfet	
5.	18 Juli 2012	Revisi Flowchart	
6.	19 Juli 2012	Diskusi pembuatan program	
7.	24 Juli 2012	Revisi penulisan tabel pengujian dan perhitungan	
8.	25 Juli 2012	Diskusi mengambil kesimpulan dan Abstrak	

Malang






Dosen Pembimbing,

**Dr. Eng Aryunto S, ST, MT**  
NIP .Y. 1030800417



**FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI**

Nama : Endra Sagita Destiawan  
 Nim : 08.12.214  
 Masa Bimbingan : Semester Genap 2011-2012  
 Judul Skripsi : RANCANG BANGUN MAXIMUM POWER POINT TRACKER  
 MENGGUNAKAN BUCK CONVERTER PADA PEMBANGKIT LISTRIK  
 TENAGA SURYA

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	8 Mei 2012	Diskusi tentang maximum power point trecker	
2.	9 Mei 2012	Menambahkan latar belakang	
3.	14 Juli 2012	Diskusi pembuatan buck konverter	
4.	16 Juli 2012	Diskusi pembuatan rangkaian keseluruhan	
5.	21 Juli 2012	Diskusi untuk melakukan pengujian alat	

Malang

Dosen Pembimbing,



**Awan Uji Krismanto, ST, MT**  
**NIP . 198003012005011002**



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

BNI (PERJERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 55143; (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-202/EL-FTI/2012  
Lampiran : -  
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Kepada : Yth. Bapak/Ibu **Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST, MT**  
Dosen Teknik Elektro S-1  
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa :

Nama : **ENDRA SAGITA DESTIAWAN**  
Nim : **0812214**  
Fakultas : **Teknologi Industri**  
Program Studi : **Teknik Elektro S-1**  
Konsentrasi : **Teknik Elektronika**

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

**" Semester Genap Tahun Akademik 2011 - 2012 "**

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.



Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT**

NIP. Y. 1018800189





PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK**

UNIVERSITAS (PERSERO) MALANG  
PANGKALAN NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-202/EL-FTI/2012  
Lampiran : -  
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Kepada : Yth. Bapak/Ibu Awan Uji Krismanto, ST, MT  
Dosen Teknik Elektro S-1  
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa :

Nama : **ENDRA SAGITA DESTIAWAN**  
Nim : **0812214**  
Fakultas : **Teknologi Industri**  
Program Studi : **Teknik Elektro S-1**  
Konsentrasi : **Teknik Elektronika**

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

**" Semester Genap Tahun Akademik 2011 - 2012 "**

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.



Mengetahui

Program Studi Teknik Elektro S-1

**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT**

NIP.Y. 1018800189



**BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1**  
 Konsentrasi : Teknik Elektronika

1.	Nim	: 0812214		
2.	Nama	: ENDRA SAGITA DESTIAWAN		
3.	Konsentrasi Jurusan	: Teknik Elektronika		
4.	Jadwal Pelaksanaan:	Waktu	Tempat	
	16 April 2012	09.00	III.1.1	
5.	Judul proposal yang diseminarkan Mahasiswa	RANCANG BANGUN MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) MENGGUNAKAN BUCK CONVERTER <sup>Pada</sup> PEMBANGKIT LISTRIK <del>(TANPA)</del> TENAGA		
6.	Perubahan judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	RANCANG BANGUN BUCK KONVERTER UNTUK PENGENDALI TEGANGAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA		
7.	Catatan :			
8.	Catatan :			
	Persetujuan judul Skripsi			
	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II	Disetujui, Dosen Keahlian III	
	 (.....)	 (.. Bambang Prio H. )	 (.. Cahil. MHY. ....)	
Mengetahui, Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs			
	Pembimbing I	Pembimbing II		
 Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT NIR Y. 1018800189	(.....)	 (.....)		

TENAGA SURYA







INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

## Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika / T. Infokom, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA :  
NIM :  
Perbaikan melalui :

1) Analisa perhitungan dalam perancangan dan pengujian.  
Beri salah satu contohnya.

2) Kesimpulan

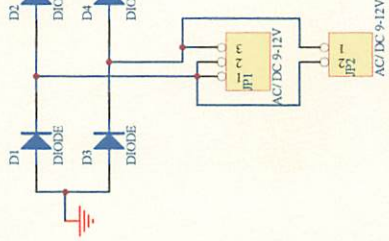
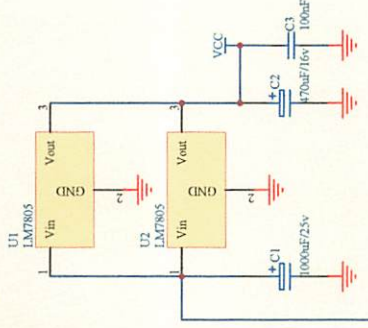
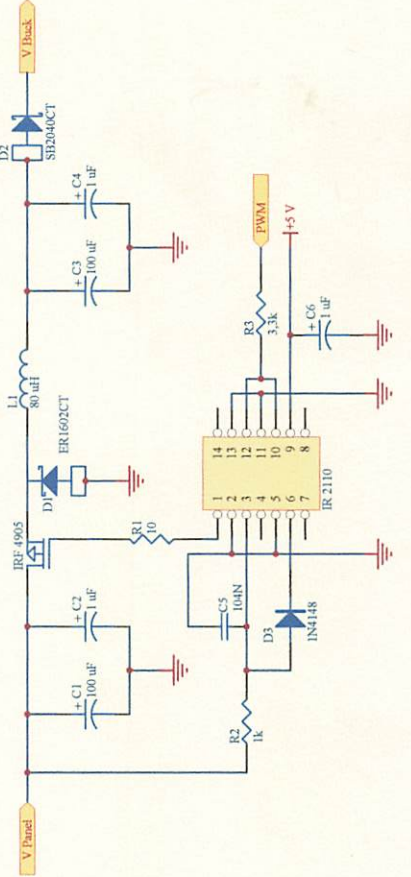
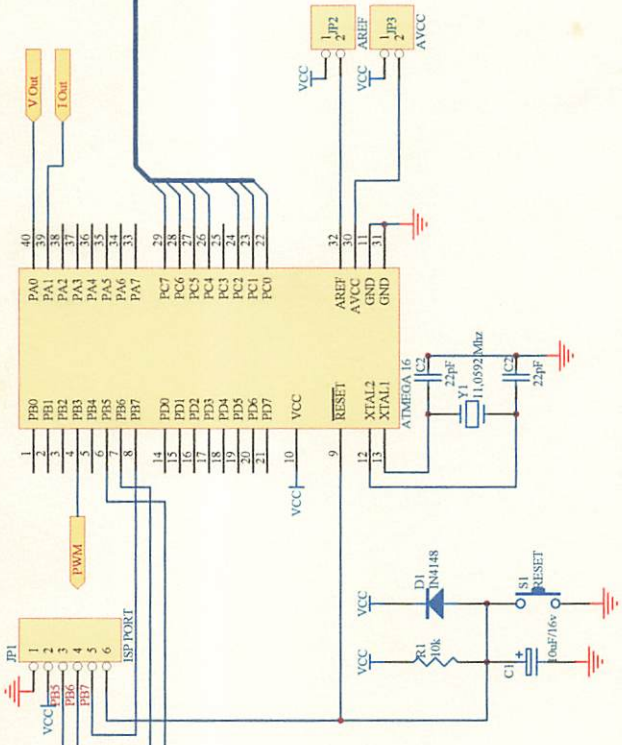
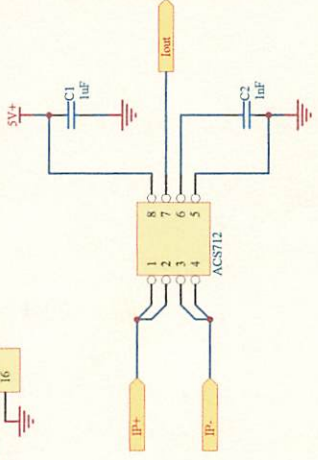
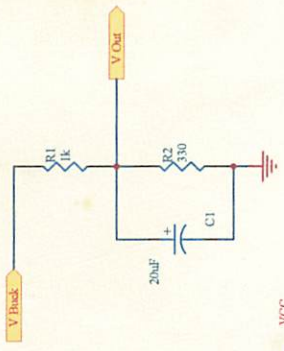
3) pengujiannya direvisi w/ jumlah panel surya.

4) Grafik

5) Daftar pustaka

Malang, 7 - Agustus - 2019

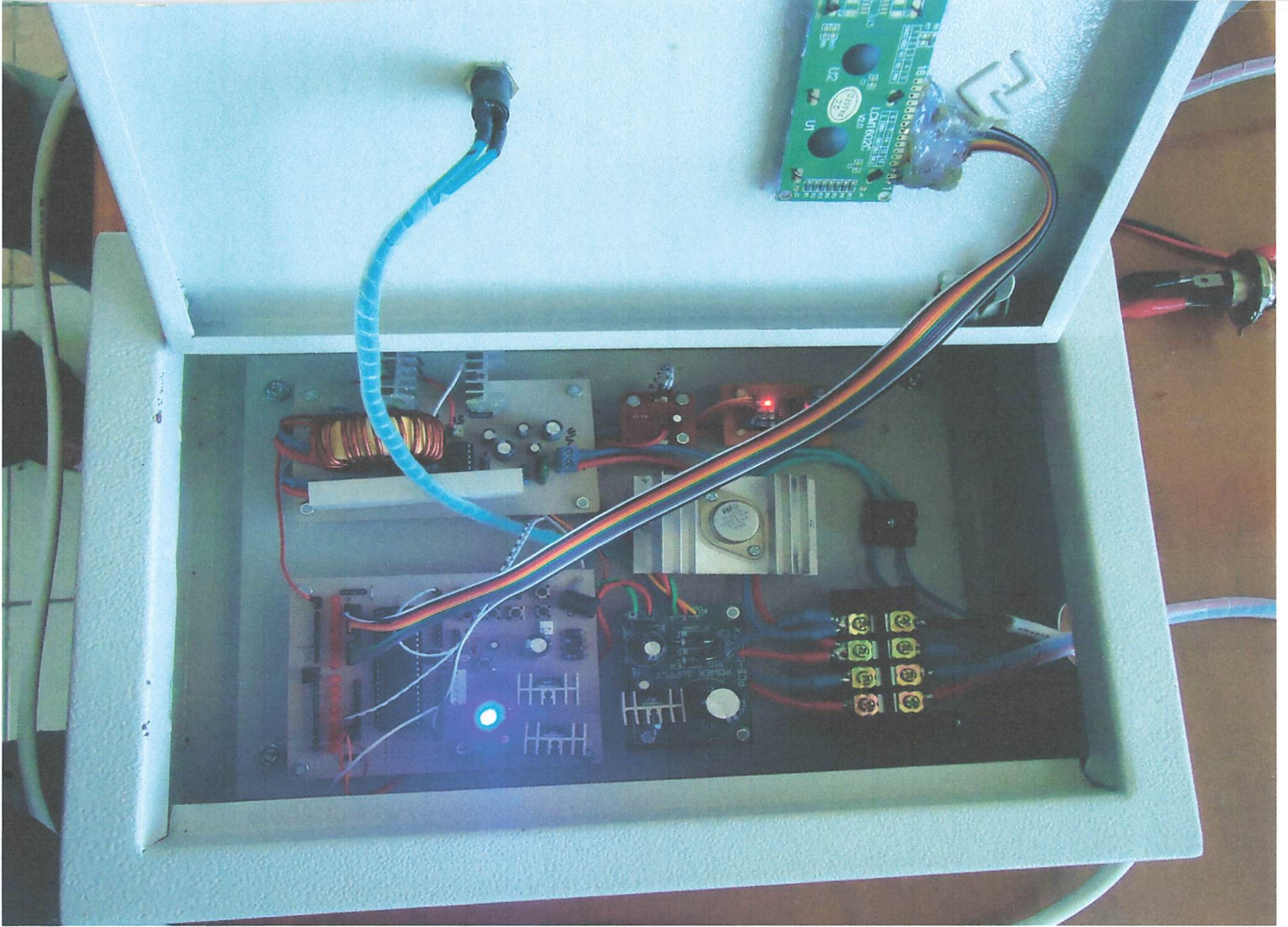
  
( Yuni Wahyuni, ST, MT )















```
*****
his program was produced by the
odewizardAVR V1.25.3 Professional
Automatic Program Generator
Copyright 1998-2007 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
http://www.hpinfotech.com
```

```
Project :
Version :
Date : 7/9/2012
Author : F4CG
Company : F4CG
Comments:
```

```
Chip type : ATmega16
Program type : Application
Clock frequency : 11.059200 MHz
Memory model : Small
External SRAM size : 0
Data Stack size : 256
*****/
```

```
#include <mega16.h>
#include <delay.h>
#include <stdio.h>
```

```
#define PWM OCR0
#define slope 1
```

```
/ Alphanumeric LCD Module functions
asm
.equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
endasm
#include <lcd.h>
```

```
#define ADC_VREF_TYPE 0x00
```

```
/ Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
```

```
DMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
/ Start the AD conversion
DCSRA|=0x40;
/ Wait for the AD conversion to complete
while ((ADCSRA & 0x10)==0);
DCSRA|=0x10;
return ADCW;
```

```
float arus,teg,daya,daya2,persen;
unsigned int a,b;
unsigned char c,baris1[16],baris2[16];
signed char slope;
```

```
/ Declare your global variables here
```

```
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
DDRTA=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
```

```

DRTB=0x00;
DRB=0x08;

/ 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
DRTC=0x00;
DRC=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
DRTD=0x00;
DRD=0x00;

/ Timer/Counter 0 initialization
/ Clock source: System Clock
/ Clock value: 10.800 kHz
/ Mode: Fast PWM top=FFh
/ OCO output: Inverted PWM
CCR0=0x6D;
CNT0=0x00;
CRO=0x00;

/ Timer/Counter 1 initialization
/ Clock source: System Clock
/ Clock value: Timer 1 Stopped
/ Mode: Normal top=FFFFh
/ OC1A output: Discon.
/ OC1B output: Discon.
/ Noise Canceler: Off
/ Input Capture on Falling Edge
/ Timer 1 Overflow Interrupt: Off
/ Input Capture Interrupt: Off
/ Compare A Match Interrupt: Off
/ Compare B Match Interrupt: Off
CCR1A=0x00;
CCR1B=0x00;
CNT1H=0x00;
CNT1L=0x00;
CR1H=0x00;
CR1L=0x00;
CR1AH=0x00;
CR1AL=0x00;
CR1BH=0x00;
CR1BL=0x00;

/ Timer/Counter 2 initialization
/ Clock source: System Clock
/ Clock value: Timer 2 Stopped
/ Mode: Normal top=FFh
/ OC2 output: Disconnected
SSR=0x00;
CCR2=0x00;
CNT2=0x00;
CR2=0x00;

/ External Interrupt(s) initialization
/ INT0: Off
/ INT1: Off
/ INT2: Off
UCR=0x00;
UCSR=0x00;

/ Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TMSK=0x00;

/ Analog Comparator initialization
/ Analog Comparator: Off
/ Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off

```

```

CSR=0x80;
FIOR=0x00;

/ ADC initialization
/ ADC Clock frequency: 345.600 kHz
/ ADC Voltage Reference: AREF pin
/ ADC Auto Trigger Source: None
DMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
DCSRA=0x85;

/ LCD module initialization
cd_init(16);
cd_gotoxy(0,0);
cd_putsf("BUCK CONVERTER");
cd_gotoxy(0,1);
cd_putsf("DIRECT CURRENT");
delay_ms(1000);
wm=70;
cd_clear();
aya2=0;
lope=1;

while (1)
{
    // Place your code here
    a=read_adc(2);
    delay_ms(50);
    b=read_adc(0);
    delay_ms(50);

    teg=((a*0.0049)*4);

    arus=b*0.0049;

    arus=((arus-2.5)*10);

    daya=teg*arus;

    if (daya<daya2)
    {
        if (PWM<=255)
        {
            slope=slope;}
        {
            PWM=PWM+slope;}
        }
    if (daya>daya2)
    {
        if (PWM>=0)
        {
            slope=-slope;
            PWM=PWM+slope;}
        }

    if (teg>=14)
    {
        PWM=PWM+slope;
    }

    if (teg<=14)
    {
        PWM=PWM-slope;
    }

    daya2=daya;
    persen=PWM;
    persen= persen*100;
}

```



```
persen=persen/255;
```

```
printf(baris1,"%3.2f v %3.2f A ",teg,arus);  
printf(baris2,"PWM %3.1f%% %3.1f w",persen,daya);  
lcd_gotoxy(0,0);  
lcd_puts(baris1);  
lcd_gotoxy(0,1);  
lcd_puts(baris2);  
//lcd_gotoxy(9,1);  
//lcd_putchar(37);  
  
delay_ms(1000);  
lcd_clear();  
};
```

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5  $\mu$ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at  $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m $\Omega$  internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



TÜV America  
Certificate Number:  
U8V 06 05 54214 010



### Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1



### Description

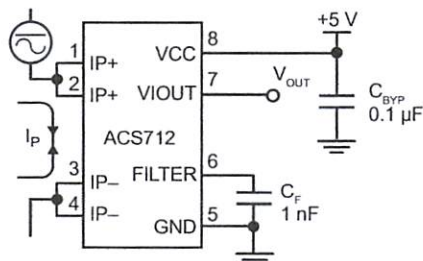
The Allegro<sup>®</sup> ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ( $>V_{IOUT(Q)}$ ) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m $\Omega$  typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

*Continued on the next page...*

### Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal,  $V_{OUT}$ , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current,  $I_P$ , within the range specified.  $C_F$  is recommended for noise management, with values that depend on the application.

**Description (continued)**

device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the inductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 1 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

**Selection Guide**

Part Number	Packing*	T <sub>A</sub> (°C)	Optimized Range, I <sub>P</sub> (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

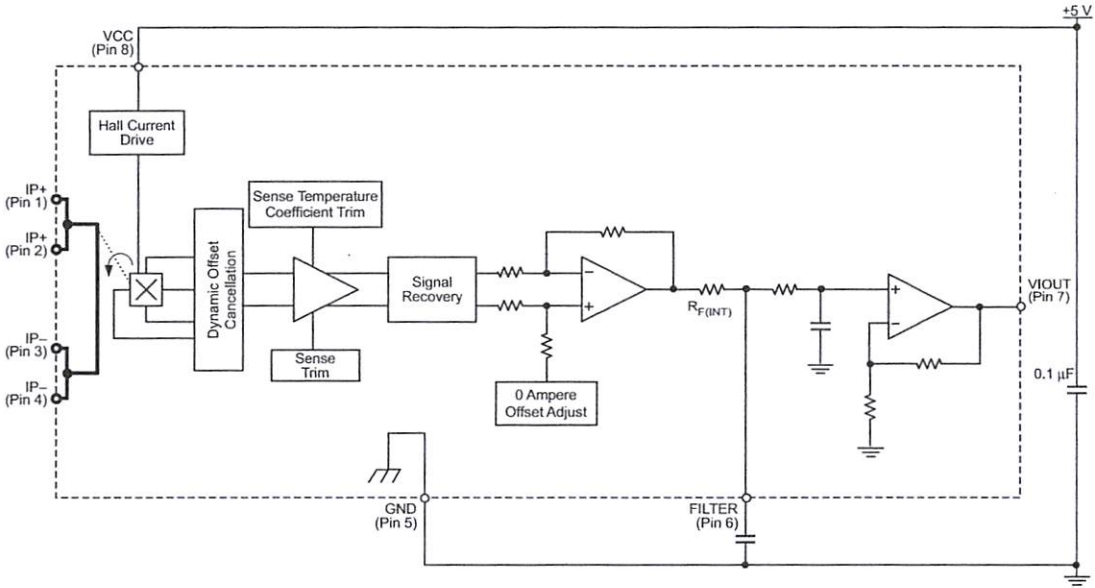
Contact Allegro for additional packing options.

**Absolute Maximum Ratings**

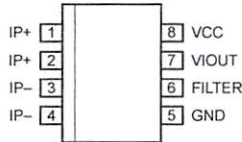
Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		8	V
Reverse Supply Voltage	V <sub>RCC</sub>		-0.1	V
Output Voltage	V <sub>IOUT</sub>		8	V
Reverse Output Voltage	V <sub>RIOUT</sub>		-0.1	V
Reinforced Isolation Voltage	V <sub>ISO</sub>	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T <sub>A</sub> =25°C	2100	VAC
		Maximum working voltage according to UL60950-1	184	V <sub>peak</sub>
Dielectric Isolation Voltage	V <sub>ISO(bsc)</sub>	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T <sub>A</sub> =25°C	1500	VAC
		Maximum working voltage according to UL60950-1	354	V <sub>peak</sub>
Output Current Source	I <sub>IOUT(Source)</sub>		3	mA
Output Current Sink	I <sub>IOUT(Sink)</sub>		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I <sub>P</sub>	1 pulse, 100 ms	100	A
Normal Operating Ambient Temperature	T <sub>A</sub>	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T <sub>J(max)</sub>		165	°C
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>		-65 to 170	°C

Parameter	Specification
Surge and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal



**COMMON OPERATING CHARACTERISTICS<sup>1</sup>** over full range of  $T_A$ ,  $C_F = 1$  nF, and  $V_{CC} = 5$  V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b>						
Supply Voltage	$V_{CC}$		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	$I_{CC}$	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	$C_{LOAD}$	V <sub>IOUT</sub> to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	$R_{LOAD}$	V <sub>IOUT</sub> to GND	4.7	–	–	k $\Omega$
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m $\Omega$
Rise Time	$t_r$	$I_P = I_P(\text{max})$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $C_{OUT} = \text{open}$	–	5	–	$\mu\text{s}$
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$ ; $I_P$ is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Linearity	$E_{LIN}$	Over full range of $I_P$	–	1.5	–	%
Symmetry	$E_{SYM}$	Over full range of $I_P$	98	100	102	%
Output Current Output Voltage	$V_{IOUT(Q)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	$t_{PO}$	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$ , 20 A present on leadframe	–	35	–	$\mu\text{s}$
Magnetic Coupling <sup>2</sup>			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance <sup>3</sup>	$R_{F(INT)}$			1.7		k $\Omega$

Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient,  $T_A$ , and internal leadframe temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_J(\text{max})$ , is not exceeded.

$\Delta I = 0.1$  mT.

$R_{F(INT)}$  forms an RC circuit via the FILTER pin.

**COMMON THERMAL CHARACTERISTICS<sup>1</sup>**

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	$T_A$	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
					Value	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance <sup>2</sup>	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board			5	$^\circ\text{C/W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	$^\circ\text{C/W}$

Additional thermal information is available on the Allegro website.

Allegro evaluation board has 1500 mm<sup>2</sup> of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.

**IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF**

**HIGH AND LOW SIDE DRIVER**

**Features**

- Floating channel designed for bootstrap operation  
 Fully operational to +500V or +600V  
 Tolerant to negative transient voltage  
 dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible  
 Separate logic supply range from 3.3V to 20V  
 Logic and power ground  $\pm 5V$  offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

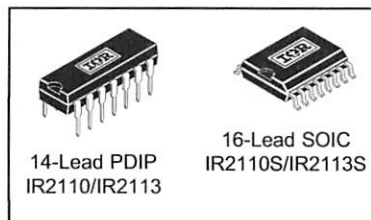
**Product Summary**

$V_{\text{OFFSET}}$ (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{\text{O}+/-}$	2A / 2A
$V_{\text{OUT}}$	10 - 20V
$t_{\text{on/off}}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

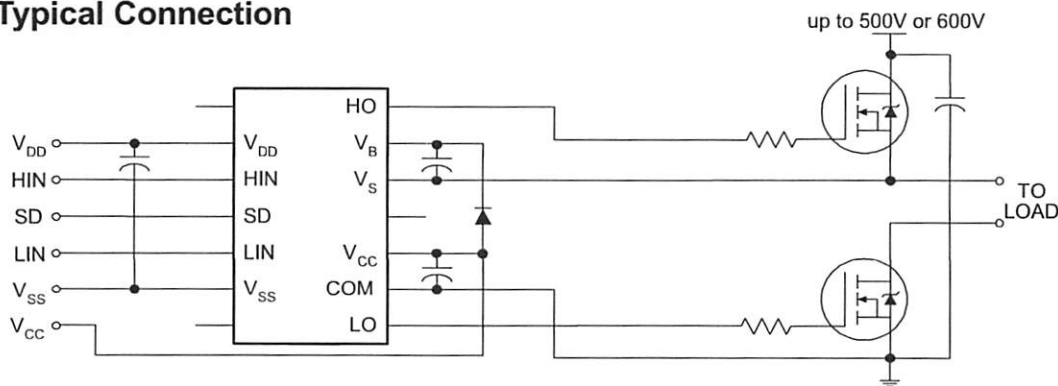
**Description**

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

**Packages**



**Typical Connection**



(Refer to Lead Assignments for correct pin configuration). This/These diagram(s) show electrical connections only. Please refer to our Application Notes and DesignTips for proper circuit board layout.

## Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V <sub>B</sub>	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V	
	(IR2113)	-0.3	625		
V <sub>S</sub>	High side floating supply offset voltage	V <sub>B</sub> - 25	V <sub>B</sub> + 0.3		
V <sub>HO</sub>	High side floating output voltage	V <sub>S</sub> - 0.3	V <sub>B</sub> + 0.3		
V <sub>CC</sub>	Low side fixed supply voltage	-0.3	25		
V <sub>LO</sub>	Low side output voltage	-0.3	V <sub>CC</sub> + 0.3		
V <sub>DD</sub>	Logic supply voltage	-0.3	V <sub>SS</sub> + 25		
V <sub>SS</sub>	Logic supply offset voltage	V <sub>CC</sub> - 25	V <sub>CC</sub> + 0.3		
V <sub>IN</sub>	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub> - 0.3	V <sub>DD</sub> + 0.3		
dV <sub>S</sub> /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50		V/ns
P <sub>D</sub>	Package power dissipation @ T <sub>A</sub> ≤ +25°C	(14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	—	1.25	
R <sub>THJA</sub>	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	—	100	
T <sub>J</sub>	Junction temperature	—	150	°C	
T <sub>S</sub>	Storage temperature	-55	150		
T <sub>L</sub>	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

## Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V<sub>S</sub> and V<sub>SS</sub> offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V <sub>B</sub>	High side floating supply absolute voltage	V <sub>S</sub> + 10	V <sub>S</sub> + 20	V
V <sub>S</sub>	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V <sub>HO</sub>	High side floating output voltage	V <sub>S</sub>	V <sub>B</sub>	
V <sub>CC</sub>	Low side fixed supply voltage	10	20	
V <sub>LO</sub>	Low side output voltage	0	V <sub>CC</sub>	
V <sub>DD</sub>	Logic supply voltage	V <sub>SS</sub> + 3	V <sub>SS</sub> + 20	
V <sub>SS</sub>	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V <sub>IN</sub>	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	
T <sub>A</sub>	Ambient temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V<sub>S</sub> of -4 to +500V. Logic state held for V<sub>S</sub> of -4V to -V<sub>BS</sub>. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V<sub>DD</sub> < 5V, the minimum V<sub>SS</sub> offset is limited to -V<sub>DD</sub>.

### Dynamic Electrical Characteristics

$V_{BIAS}$  ( $V_{CC}$ ,  $V_{BS}$ ,  $V_{DD}$ ) = 15V,  $C_L$  = 1000 pF,  $T_A$  = 25°C and  $V_{SS}$  = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$t_{on}$	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
$t_{off}$	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
$t_{sd}$	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
$t_r$	Turn-on rise time	10	—	25	35		
$t_f$	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	—	—	—		10 20

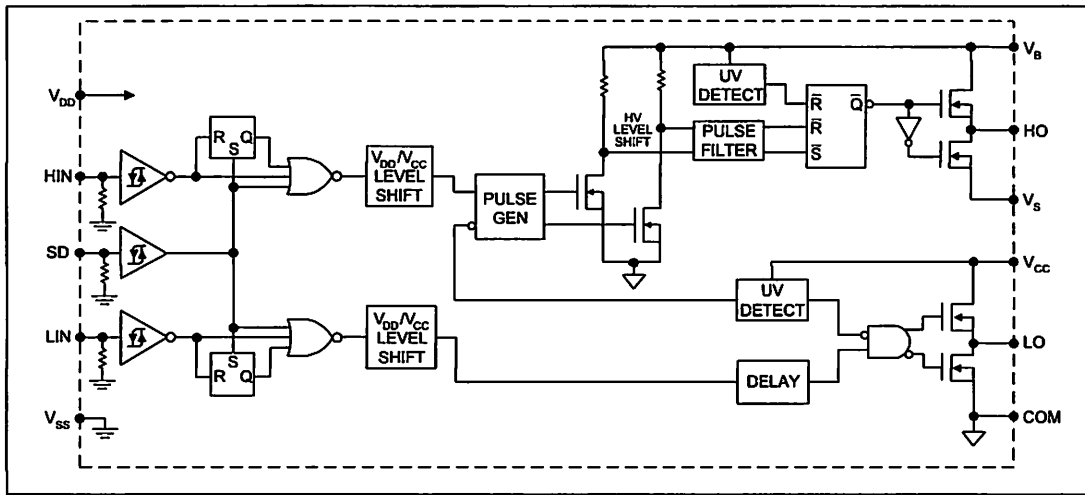
### Static Electrical Characteristics

$V_{BIAS}$  ( $V_{CC}$ ,  $V_{BS}$ ,  $V_{DD}$ ) = 15V,  $T_A$  = 25°C and  $V_{SS}$  = COM unless otherwise specified. The  $V_{IN}$ ,  $V_{TH}$  and  $I_{IN}$  parameters are referenced to  $V_{SS}$  and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The  $V_O$  and  $I_O$  parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{IH}$	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
$V_{IL}$	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
$V_{OH}$	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
$V_{OL}$	Low level output voltage, $V_O$	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
$I_{LK}$	Offset supply leakage current	16	—	—	50	$\mu A$	$V_B = V_S = 500V/600V$
$I_{QBS}$	Quiescent $V_{BS}$ supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{QCC}$	Quiescent $V_{CC}$ supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{QDD}$	Quiescent $V_{DD}$ supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{IN+}$	Logic "1" input bias current	20	—	20	40	V	$V_{IN} = V_{DD}$
$I_{IN-}$	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
$V_{BSUV+}$	$V_{BS}$ supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
$V_{BSUV-}$	$V_{BS}$ supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
$V_{CCUV+}$	$V_{CC}$ supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
$V_{CCUV-}$	$V_{CC}$ supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
$I_{O+}$	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$ , $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
$I_{O-}$	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$ , $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$



**Functional Block Diagram**



**Lead Definitions**

Symbol	Description
VDD	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
VSS	Logic ground
VB	High side floating supply
HO	High side gate drive output
VS	High side floating supply return
VCC	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

**Lead Assignments**

<p>             8 HO 7              9 VDD VB 6              10 HIN VS 5              11 SD 4              12 LIN VCC 3              13 VSS COM 2              14 LO 1           </p> <p><b>14 Lead PDIP              IR2110/IR2113</b></p>	<p>             9 HO 8              10 VB 7              11 VDD VS 6              12 HIN 5              13 SD 4              14 LIN VCC 3              15 VSS COM 2              16 LO 1           </p> <p><b>16 Lead SOIC (Wide Body)              IR2110S/IR2113S</b></p>
<p>             8 HO 7              9 VDD VB 6              10 HIN VS 5              11 SD 4              12 LIN VCC 3              13 VSS COM 2              14 LO 1           </p> <p><b>14 Lead PDIP w/o lead 4              IR2110-1/IR2113-1</b></p>	<p>             8 HO 7              9 VDD VB 6              10 HIN VS 5              11 SD 4              12 LIN VCC 3              13 VSS COM 2              14 LO 1           </p> <p><b>14 Lead PDIP w/o leads 4 &amp; 5              IR2110-2/IR2113-2</b></p>
<p><b>Part Number</b></p>	

## Features

- High-performance, Low-power Atmel® AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory segments
  - 16 Kbytes of In-System Self-programmable Flash program memory
  - 512 Bytes EEPROM
  - 1 Kbyte Internal SRAM
  - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
  - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C<sup>(1)</sup>
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
  - In-System Programming by On-chip Boot Program
  - True Read-While-Write Operation
  - Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
  - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
  - Extensive On-chip Debug Support
  - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Four PWM Channels
  - 8-channel, 10-bit ADC
    - 8 Single-ended Channels
    - 7 Differential Channels in TQFP Package Only
    - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
  - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
  - Programmable Serial USART
  - Master/Slave SPI Serial Interface
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
  - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated RC Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
- Pin Configurations and Packages
  - 32 Programmable I/O Lines
  - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
  - 2.7V - 5.5V for ATmega16L
  - 4.5V - 5.5V for ATmega16
- Speed Grades
  - 0 - 8 MHz for ATmega16L
  - 0 - 16 MHz for ATmega16
- Power Consumption @ 1 MHz, 3V, and 25°C for ATmega16L
  - Active: 1.1 mA
  - Idle Mode: 0.35 mA
  - Power-down Mode: < 1 µA



## 8-bit AVR<sup>®</sup> Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash

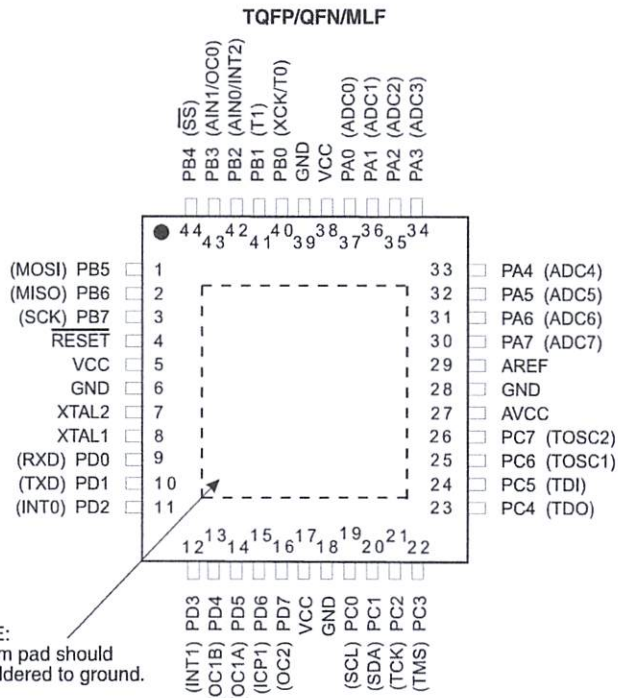
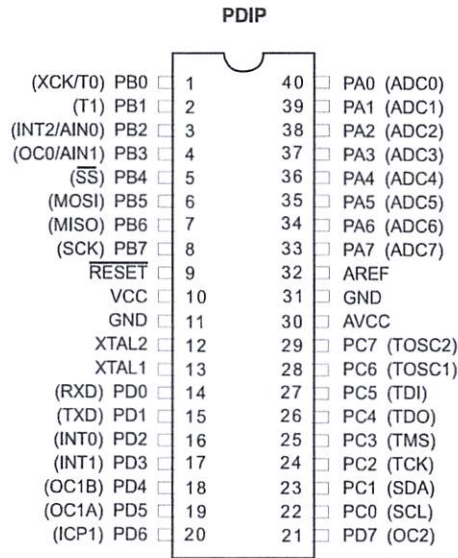
ATmega16  
ATmega16L

Rev. 2466T-AVR-07/10



Figure 1. Pinout ATmega16

Configurations



Disclaimer

Typical values contained in this datasheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

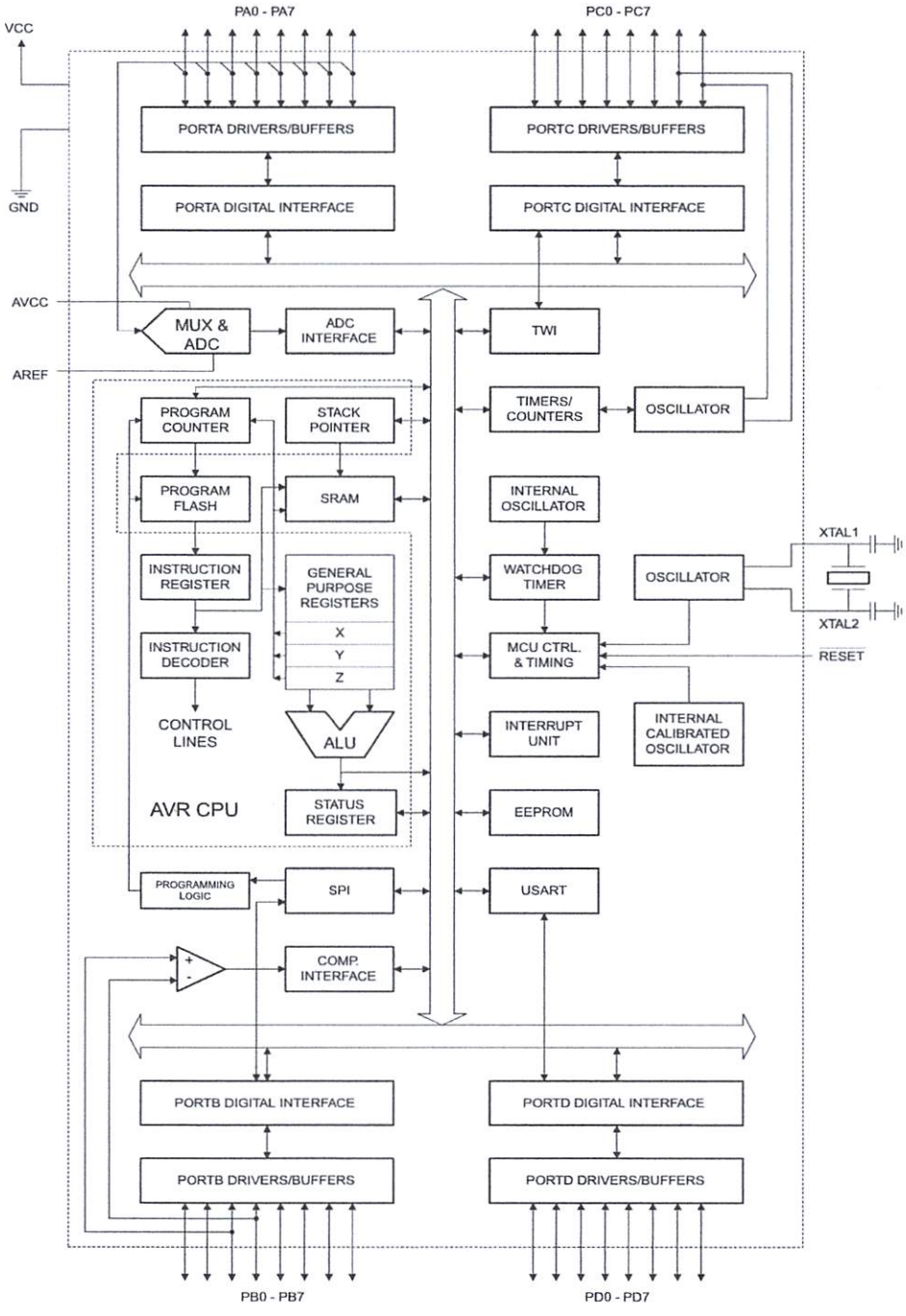


## Overview

The ATmega16 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega16 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

## Block Diagram

Figure 2. Block Diagram





The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega16 provides the following features: 16 Kbytes of In-System Programmable Flash Program memory with Read-While-Write capabilities, 512 bytes EEPROM, 1 Kbyte SRAM, 32 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, a JTAG interface for Boundary-scan, On-chip Debugging support and programming, three flexible Timer/Counters with compare modes, Internal and External Interrupts, a serial programmable USART, a byte oriented Two-wire Serial Interface, an 8-channel, 10-bit ADC with optional differential input stage with programmable gain (TQFP package only), a programmable Watchdog Timer with Internal Oscillator, an SPI serial port, and six software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the USART, Two-wire interface, A/D Converter, SRAM, Timer/Counters, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next External Interrupt or Hardware Reset. In Power-save mode, the Asynchronous Timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except Asynchronous Timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low-power consumption. In Extended Standby mode, both the main Oscillator and the Asynchronous Timer continue to run.

The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface, by a conventional nonvolatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega16 is a powerful microcontroller that provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The ATmega16 AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C compilers, macro assemblers, program debugger/simulators, in-circuit emulators, and evaluation kits.

## Descriptions

Digital supply voltage.

Ground.

### Port A (PA7..PA0)

Port A serves as the analog inputs to the A/D Converter.

Port A also serves as an 8-bit bi-directional I/O port, if the A/D Converter is not used. Port pins can provide internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. When pins PA0 to PA7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current if the internal pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.



## Port B (PB7..PB0)

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port B also serves the functions of various special features of the ATmega16 as listed on [page 58](#).

## Port C (PC7..PC0)

Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. If the JTAG interface is enabled, the pull-up resistors on pins PC5(TDI), PC3(TMS) and PC2(TCK) will be activated even if a reset occurs.

Port C also serves the functions of the JTAG interface and other special features of the ATmega16 as listed on [page 61](#).

## Port D (PD7..PD0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port D also serves the functions of various special features of the ATmega16 as listed on [page 63](#).

## RESET

Reset Input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in [Table 15 on page 38](#). Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.

## OSC1

Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

## OSC2

Output from the inverting Oscillator amplifier.

## AVCC

AVCC is the supply voltage pin for Port A and the A/D Converter. It should be externally connected to  $V_{CC}$ , even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to  $V_{CC}$  through a low-pass filter.

## AREF

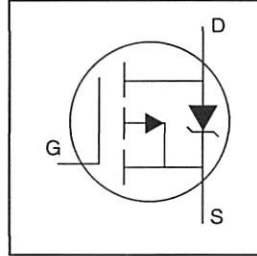
AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.



# IRF4905

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- P-Channel
- Fully Avalanche Rated

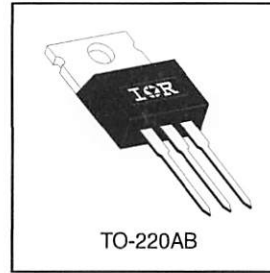


$V_{DS} = -55V$
$R_{DS(on)} = 0.02\Omega$
$I_D = -74A$

## Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



## Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-74	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-52	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①	-260	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy ②	930	mJ
$I_{AR}$	Avalanche Current ③	-38	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy ④	20	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ⑤	-5.0	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case )	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1N·m)	

## Thermal Resistance


	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.75	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	



# IRF4905

International  
**IR** Rectifier

## Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	-55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = -250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	-0.05	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = -1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.02	$\Omega$	$V_{GS} = -10V, I_D = -38A$ ①
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	-2.0	—	-4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = -250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	21	—	—	S	$V_{DS} = -25V, I_D = -38A$
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	-25	$\mu A$	$V_{DS} = -55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	-250		$V_{DS} = -44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	180	nC	$I_D = -38A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	32		$V_{DS} = -44V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	86		$V_{GS} = -10V$ , See Fig. 6 and 13 ②
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	$V_{DD} = -28V$
$t_r$	Rise Time	—	99	—		$I_D = -38A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	61	—		$R_G = 2.5\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	96	—		$R_D = 0.72\Omega$ , See Fig. 10 ②
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	3400	—	pF	$V_{DS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	1400	—		$V_{DS} = -25V$
$C_{riss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	640	—		$f = 1.0\text{MHz}$ , See Fig. 5

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	-74	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	-260		
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	-1.6	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = -38A, V_{GS} = 0V$ ③
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	89	130	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = -38A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	230	350	nC	$dI/dt = -100A/\mu s$ ④
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$ )				

### Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. ( See fig. 11 )

② Starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 1.3\text{mH}$   
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = -38A$ . (See Figure 12)

③  $I_{SD} \leq -38A, dI/dt \leq -270A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$ ,  
 $T_J \leq 175^\circ\text{C}$

④ Pulse width  $\leq 300\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .

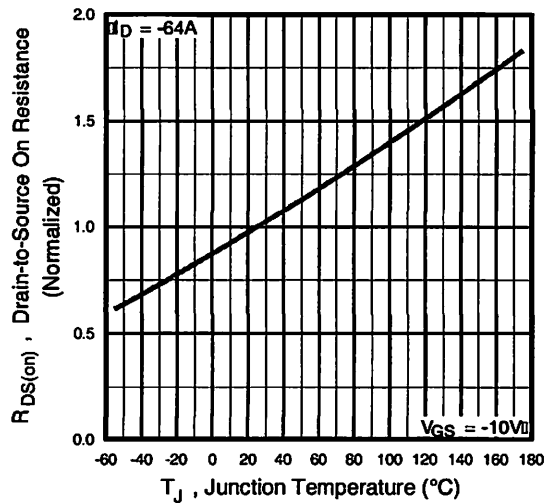
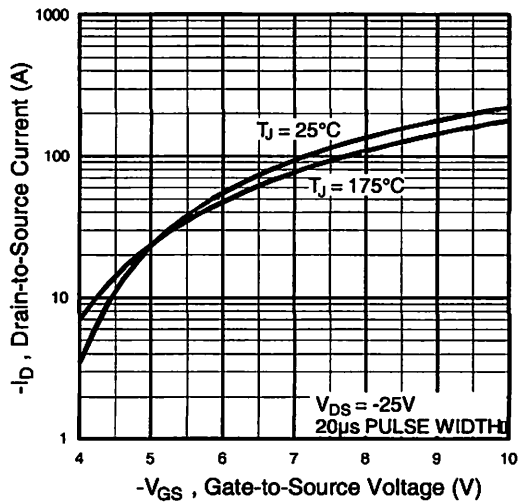
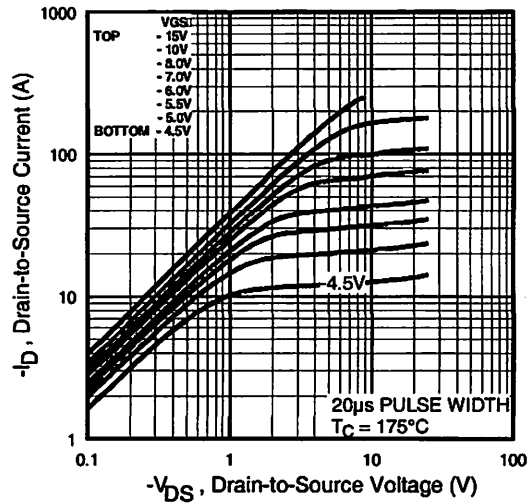
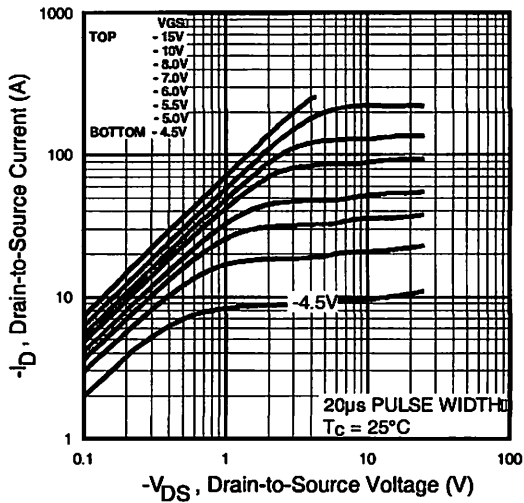
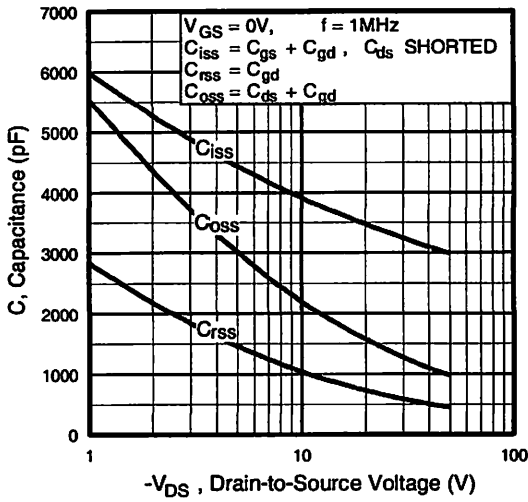


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

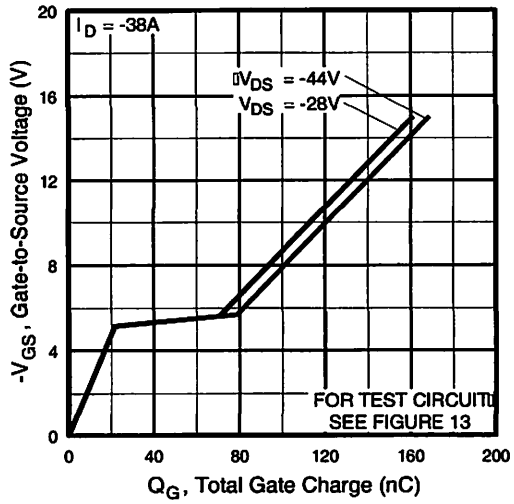
Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

# IRF4905

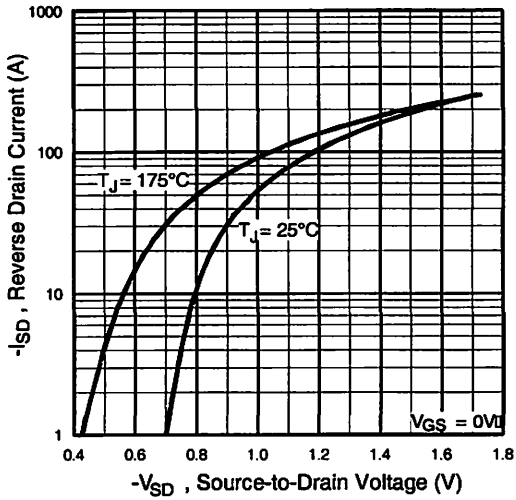
International  
**IGR** Rectifier



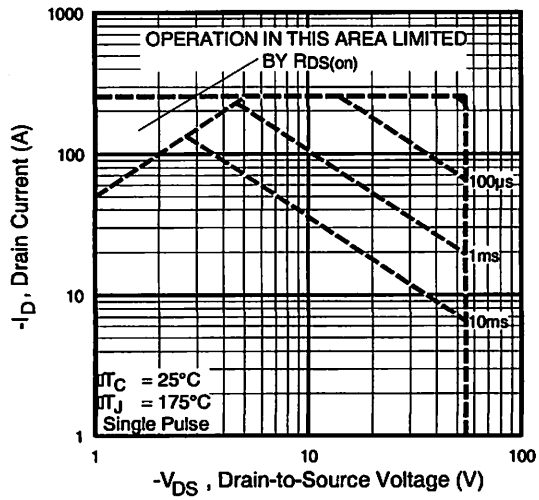
**Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage**



**Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage**



**Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage**



**Fig 8. Maximum Safe Operating Area**



# DATA SHEET

## SB2020CT~SB20100CT

### SCHOTTKY BARRIER RECTIFIERS

**VOLTAGE- 20 to 100 Volts CURRENT - 20.0 Ampere**

**ITO-220AB**

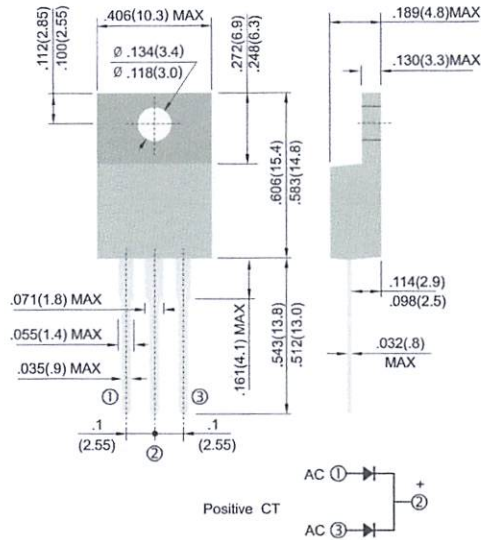
Unit: inch ( mm )

#### FEATURES

- Plastic package has Underwriters Laboratory Flammability Classification 94V-O. Flame Retardant Epoxy Molding Compound.
- Exceeds environmental standards of MIL-S-19500/228
- Low power loss, high efficiency.
- Low forward voltage, high current capability
- High surge capacity.
- For use in low voltage, high frequency inverters free wheeling , and polarity protection applications.

#### MECHANICAL DATA

Case: TO-220AB Molded plastic  
 Terminals: Solder plated, solderable per MIL-STD-202, Method 208  
 Polarity: As marked.  
 Standard packaging: Any  
 Weight: 0.08 ounces, 2.24grams.



#### MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.  
 Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.  
 For capacitive load, derate current by 20%

	SB2020CT	SB2030CT	SB2040CT	SB2050CT	SB2060CT	SB2080CT	SB20100CT	UNIT
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	80.0	100.0	V
Maximum RMS Voltage	14.0	21.0	28.0	35.0	42.0	56.0	70.0	V
Maximum DC Blocking Voltage	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	80.0	100.0	V
Maximum Average Forward Rectified Current at Tc=90°C	20							A
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)	150							A
Maximum Instantaneous Forward Voltage at 10.0A per element	0.55		0.75			0.85		V
Maximum DC Reverse Current (Note 1) Ta=25°C at Rated DC Blocking Voltage Ta=100°C	0.5 100							mA
Typical Thermal Resistance Note RθJA	100							°C/W
Operating and Storage Temperature Range Tj	-50 to +125							°C

#### NOTES:

1. Thermal Resistance Junction to Ambient .



# DATA SHEET

## ER1600CT~ER1604CT

### SUPERFAST RECOVERY RECTIFIER

**VOLTAGE** 50 to 400 Volts **CURRENT** 16.0 Amperes

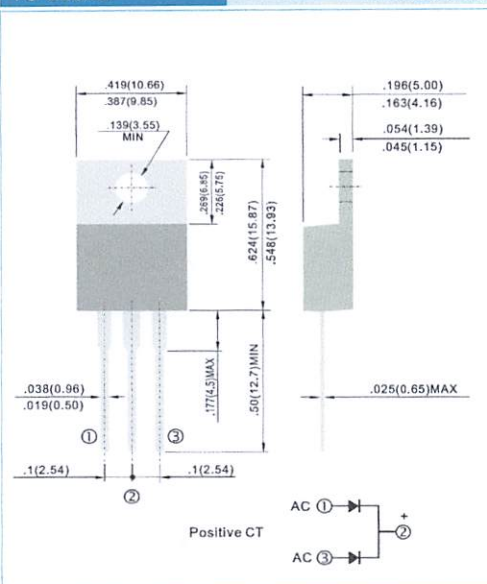
TO-220AB Unit : inch (mm)

#### FEATURES

- Plastic package has Underwriters Laboratory Flammability Classification 94V-O. Flame Retardant Epoxy Molding Compound.
- Exceeds environmental standards of MIL-S-19500/228
- Low power loss, high efficiency.
- Low forward voltage, high current capability
- High surge capacity.
- Super fast recovery times, high voltage.
- Epitaxial chip construction.
- Both normal and Pb free product are available :  
Normal : 80~95% Sn, 5~20% Pb  
Pb free: 98.5% Sn above

#### MECHANICAL DATA

Case: TO-220AB Molded plastic  
Terminals: Lead solderable per MIL-STD-202, Method 208  
Polarity: As marked.  
Standard packaging: Any  
Weight: 0.08 ounces, 2.24grams.



#### MAXIMUM RATING AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified. Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.

For capacitive load, derate current by 20%

PARAMETER	SYMBOL	ER1600 CT	ER1601 CT	ER1601A CT	ER1602 CT	ER1603 CT	ER1604 CT	UNITS
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V <sub>RRM</sub>	50	100	150	200	300	400	V
Maximum RMS Voltage	V <sub>RMS</sub>	35	70	105	140	210	280	V
Maximum DC Blocking Voltage	V <sub>DC</sub>	50	100	150	200	300	400	V
Maximum Average Forward Current .375" (9.5mm) lead length at T <sub>c</sub> = 90°C	I <sub>AV</sub>	16.0						A
Peak Forward Surge Current, 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)	I <sub>FSM</sub>	125						A
Maximum Forward Voltage at 8A	V <sub>F</sub>	0.95				1.30		V
Maximum DC Reverse Current at T <sub>A</sub> = 25°C Rated DC Blocking Voltage T <sub>A</sub> = 100°C	I <sub>R</sub>	10 500						µA
Maximum Reverse Recovery Time (Note 2)	T <sub>RR</sub>	35				50		ns
Typical Junction capacitance (Note 1)	C <sub>J</sub>	62						pF
Maximum Thermal Resistance	R <sub>θJC</sub>	3.0						°C / W
Operating and Storage Temperature Range	T <sub>J</sub> , T <sub>STG</sub>	-50 TO +150						°C

#### NOTES:

1. Measured at 1 MHz and applied reverse voltage of 4.0 VDC.
2. Reverse Recovery Test Conditions: I<sub>F</sub> = 5A, I<sub>R</sub> = 1A, I<sub>rr</sub> = 25A.
3. Both Bonding and Chip structure are available.