

**PERANCANGAN SISTEM MAXIMUM POWER POINT  
TRACKING CONVERTER BERBASIS MIKROKONTROLER  
ATMEGA 328**

**DESIGN OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING  
CONVERTER SYSTEM BASED ON MICROCONTROLLER  
ATMEGA 328**

**Agan Agary<sup>1</sup>, Harlianto Tanudjaja<sup>2</sup>**

**Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro  
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya - Jakarta  
<sup>1</sup>agan.agary@gmail.com, <sup>2</sup>harlianto@atmajaya.ac.id**

**Abstrak**

*Solar cell* merupakan salah satu sumber energi alternatif yang sedang berkembang saat ini, selain karena harganya yang semakin murah, *solar cell* juga ramah lingkungan. Pada penggunaannya, *solar cell* umumnya dihubungkan langsung dengan beban yang digunakan, yang mengakibatkan rendahnya daya yang diserap dari *solar cell*. Penggunaan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) Converter pada *solar cell* diharapkan dapat mengatasi masalah ini dengan cara menyesuaikan impedansi antara *solar cell* dengan beban agar transfer daya yang terjadi dapat menjadi lebih efisien. MPPT Converter ini dibuat dengan menggunakan *Noninverting* DC-DC Converter dengan sensor arus 5A dan 20A, sensor tegangan menggunakan rangkaian pembagi tegangan. Sebagai pemroses data, digunakan mikrokontroler ATmega328 yang diprogram dengan algoritma *Perturb and Observe*. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, pada beban resistif diperoleh bahwa rangkaian MPPT yang dirancang dapat bekerja dengan baik untuk memaksimalkan daya keluaran dan mengikuti perubahan beban yang terpasang.

**Kata kunci:** *Maximum Power Point Tracking, Solar cell, Perturb and Observe, Non Inverting Buck-Boost Converter*

**Abstract**

*Solar cell is one of the growing energy sources that are widely used today due to its affordable price and eco-friendliness. Solar cell is generally used by connecting the solar cell modules directly to the load, which lower the power delivered to the load. The usage of Maximum Power Point Converter (MPPT) is meant to solve this problem by adjusting the impedance between the solar cell and the load so that the power transfer can be more efficient. The MPPT Converter is made of non inverting DC - DC converter, 5A and 20A current sensor, voltage sensor made of voltage divider, and a controller made of Atmega 328 microcontroller programmed by Perturb & Observe algorithm to process the data. The test result shows that the designed MPPT Converter works well to increase the power delivered to the load and adjust to the change in the load.*

**Keywords:** *Maximum Power Point Tracking, MPPT, Solar cell, Perturb and Observe, Non Inverting Buck-Boost Converter*

**Tanggal Terima Naskah : 17 Mei 2015**  
**Tanggal Persetujuan Naskah : 02 Juli 2015**

## 1. PENDAHULUAN

*Solar cell* merupakan salah satu dari banyak sumber energi alternatif yang digunakan saat ini, karena penggunaan *solar cell* dapat menghemat penggunaan bahan bakar fosil yang jumlahnya semakin berkurang setiap tahunnya. Selain itu, harga *solar cell* yang semakin terjangkau membuat penggunaan *solar cell* semakin meluas di masyarakat. Namun, pada penggunaannya, umumnya *solar cell* digunakan untuk *supply* beban (menyalakan lampu, mengisi baterai, menyalakan motor) dengan cara dihubungkan secara langsung, sehingga daya maksimum yang seharusnya dapat diberikan oleh *solar cell* sulit tercapai. Untuk memaksimalkan daya yang dapat diberikan oleh *solar cell*, dibutuhkan suatu sistem *power conditioner* berupa *maximum power point tracking* (MPPT), yang dapat menyesuaikan beban secara elektronik untuk menyerap daya maksimum dari *solar cell*.

## 2. KONSEP DASAR

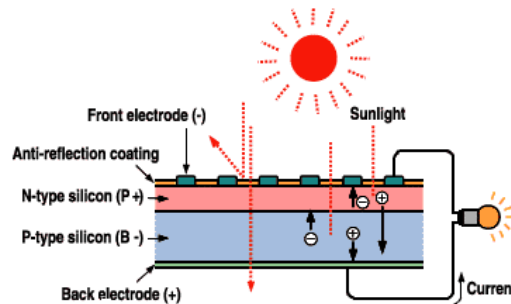
### 2.1 Sistem Pembangkit Listrik dengan *Solar Cell*

Sistem pembangkit listrik menggunakan *solar cell* adalah sistem pembangkit listrik yang menggunakan efek fotolistrik untuk menghasilkan energi listrik, dimana alat yang menghasilkan listrik ini disebut dengan *solar cell*. *Solar cell* dikenal juga dengan nama *Photovoltaic* (PV) *Cell*.



Gambar 1. *Solar cell*

*Solar cell* adalah *device* yang berfungsi untuk mengkonversi energi cahaya, dalam hal ini sumber cahaya yang berasal dari matahari menjadi energi listrik. Proses konversinya dilakukan dengan cara menyerap energi foton dari cahaya matahari kemudian mengubahnya menjadi energi kinetik untuk menggerakkan elektron.

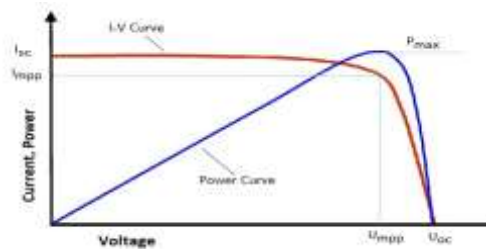


Gambar 2. Proses perubahan energi cahaya menjadi energi listrik pada *solar cell* [8]

## 2.2 *Maximum Power Point Tracking*

*Maximum Power Point Tracking* (MPPT) adalah sebuah proses untuk menjaga keluaran daya maksimum dari sebuah sumber energi, ketika daya dari sumber energi tersebut berubah-ubah terhadap waktu karena pengaruh beban, dan karena sifat dari sumber energi itu sendiri. Proses *tracking* memiliki beberapa metode, seperti *Constant Voltage*, *Incremental Conductance*, dan *Perturb and Observe*. Metode yang umum dan banyak digunakan dalam MPPT adalah metode *Perturb and Observe* (P&O). Sistem akan mengubah tegangan *solar cell* secara otomatis untuk menyesuaikan perubahan daya karena beban dan sumber, yang pengaturannya dilakukan oleh *Pulse width Modulation* (PWM) dengan cara mengubah *duty cycle*-nya berdasarkan rangkaian detektor tegangan atau rangkaian *sampling* pada rangkaian umpan balik, kemudian mengukur daya yang diambil dari *solar cell*. Apabila daya meningkat, maka tegangan akan terus diubah ke arah perubahan atau selisih/pertambahan yang terjadi, tetapi apabila daya yang dihasilkan berkurang, maka tegangan akan diubah ke arah sebaliknya [1].

*Solar cell* memiliki kurva I-V, yang menunjukkan arus dan tegangan, dan daya yang dapat dihasilkan oleh *solar cell* pada radiasi matahari tertentu. Kurva tersebut menunjukkan bahwa daya maksimum dihasilkan pada lengkungan pertemuan antara garis tegangan dan arus, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.

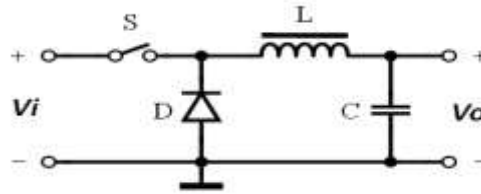


Gambar 3. Kurva  $I=f(V)$  dan daya pada *solar cell*

Kondisi transfer daya maksimum terjadi pada kondisi ideal, nilai impedansi dari keluaran ( $Z_o$ ) *solar cell* sama dengan impedansi beban, sehingga daya maksimum akan dapat diberikan oleh *solar cell* kepada beban. Namun pada kenyataannya, radiasi matahari yang berubah-ubah terhadap waktu tidak memungkinkan sebuah beban pasif untuk mengikuti garis beban maksimum tersebut. Untuk mencapai kondisi transfer daya maksimum akibat dari energi matahari yang tidak konstan, diperlukan suatu rangkaian pengatur yang dapat memantau perubahan daya. Rangkaian ini yang dikenal dengan MPPT. Rangkaian MPPT bekerja dengan cara memberikan sinyal PWM kepada rangkaian *converter* untuk bekerja mengikuti karakteristik garis beban yang sudah ditentukan secara teoritis.

## 2.3 *DC-DC Converter*

*DC-DC converter* adalah rangkaian elektronika yang berfungsi untuk mengubah tegangan DC dengan *level* tertentu, menjadi tegangan DC lain yang bisa lebih kecil ataupun lebih besar dari sumber yang digunakan. *DC-DC converter* adalah transformator pengubah tegangan yang bekerja dengan menggunakan sistem *switching*. Pada penelitian ini digunakan dua topologi *DC-DC Converter*, yaitu *buck converter*, dan *boost converter*. *Buck Converter* adalah salah satu topologi dari *DC-DC Converter* dengan tegangan keluaran dari *converter* ini lebih rendah dari tegangan masukannya.



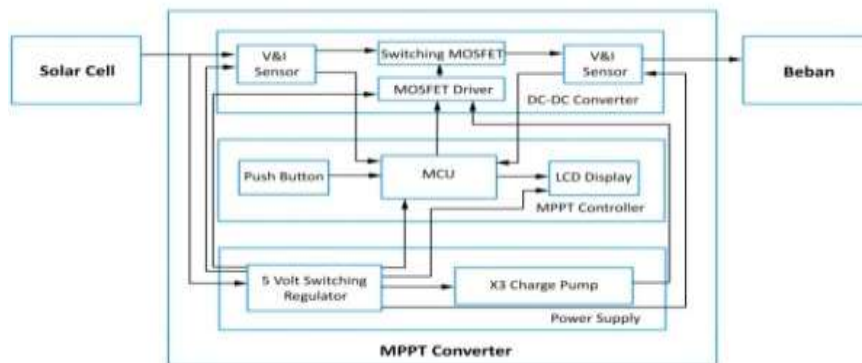
Gambar 4. Rangkaian dasar *buck converter*

MOSFET pada umumnya dibagi dua menurut *mode* kerjanya, yaitu *Enhancement* dan *Depletion*. Pada penelitian ini digunakan *mode Enhancement*, dan di dalam kategori ini, MOSFET dibagi lagi menurut spesifikasi kerjanya, yaitu *small signal* MOSFET dan *power* MOSFET. *Small signal* MOSFET adalah MOSFET yang digunakan untuk menangani sinyal pada *level* kecil, seperti *logic level voltage* di dalam computer sedangkan *Power* MOSFET adalah MOSFET yang difungsikan pada peralatan *Power*, dimana tegangan kerjanya bisa mencapai ratusan volt, dan arusnya dapat mencapai puluhan ampere. MOSFET yang digunakan di dalam penelitian ini adalah *Power* MOSFET, digunakan dua jenis MOSFET untuk *n-channel* tipe IRP 1010 dan *p-channel* tipe IRP 4905.

### 3. PERANCANGAN SISTEM

#### 3.1 Diagram Blok dan Cara Kerja Sistem

Rancangan sistem yang akan dirancang secara diagram blok dapat dilihat pada Gambar 5, sistem dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian utama, yaitu *solar cell*, *MPPT converter*, dan *Beban*.



Gambar 5. Diagram blok sistem

Sistem bekerja pertama kali ketika modul *Power Supply* menerima masukan tegangan dari *solar cell*, dan mengubahnya menjadi tegangan *supply* yang akan memberi tenaga kepada seluruh sistem. Setelah seluruh sistem mendapat tenaga, maka modul *Controller* akan mulai mengaktifkan *DC-DC Converter*. Sinyal ini akan mengalirkan daya ke beban. Proses pemberian daya atau tegangan ke beban dilakukan secara perlahan-lahan, kenaikan tegangan ini dipantau oleh rangkaian sensor arus dan sensor tegangan di bagian masukan sistem. Rangkaian *MPPT* akan mengatur besarnya tegangan keluaran optimal agar tercapai titik maksimum kerja dari *solar cell*. Informasi mengenai besarnya arus, tegangan, dan daya, ditampilkan pada *LCD display* pada *Controller*, tujuannya agar pengguna dapat melihat besarnya daya yang digunakan pada saat itu. *Push button* digunakan untuk mengganti tampilan tegangan, arus, atau daya, karena informasi tersebut tidak dapat dimasukkan ke dalam satu tampilan *LCD*.

### 3.2 Solar Cell

*Solar cell* yang digunakan di dalam penelitian ini adalah *solar cell* berbahan dasar silikon, yang spesifikasinya dapat dilihat pada Gambar 6. *Solar cell* dengan spesifikasi ini dipilih karena ukurannya yang tidak terlalu besar dan harga yang cukup murah.

TN-20M	
STC: Irradiance 1000W/M <sup>2</sup> AM1.5 Spectrum	Module temperature 25°C
Maximum power at STC	Wp 20 W
Optimum operating voltage	Vmp 17,2 V
Optimum operating current	Imp 1,16 A
Open circuit voltage	Voc 21,5 V
Short circuit current	Isc 1,25 A
NOCT: Nominal Operating Cell Temperature (the date only for reference)	45±2°C
Temperature coefficients of Pmp(%)	-0,47/°C
Temperature coefficients of Voc(%)	-0,36/°C
Temperature coefficients of Isc(%)	0,05%/K
Operation temperature	-40°C to 85°C
Maximum system voltage	1000V DC
Power tolerance	±5%
Surface Maximum Load Capacity	1/1600

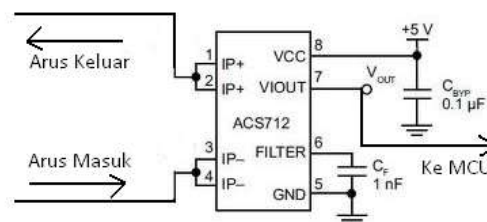
Gambar 6. Spesifikasi *solar cell* yang digunakan [2]

### 3.3 Rangkaian Sensor

Rangkaian MPPT *controller* merupakan sebuah rangkaian dengan umpan balik. Sistem ini memerhatikan umpan balik berupa daya sehingga diperlukan rangkaian sensor arus dan tegangan. Keluaran arus dan tegangan ini oleh *controller* akan diproses oleh *processor* menjadi nilai daya. Rangkaian umpan balik arus dan tegangan dari DC-DC *converter* dibutuhkan, agar MPPT *Controller* dapat menentukan berapa daya maksimum pada panel saat itu dan menyesuaikan besar arus dan tegangannya, tujuannya agar sistem dapat menyalurkan beban secara maksimal. Sensor yang terdapat di dalam DC-DC *Converter* ini terdiri dari sensor arus dan tegangan, yang terletak di bagian masukan dan keluaran sistem.

#### 3.3.1 Rangkaian Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan dalam rangkaian adalah sensor arus tipe ACS 712. Sensor ini dipilih karena tersedia di pasaran dengan spesifikasi yang mencukupi kebutuhan. Sensor arus tipe ini memiliki resistansi internal sebesar 1,2 mΩ dan tersedia untuk batas maksimum 5A dan 20 A. Pada perancangan sistem digunakan kedua sensor tersebut, sensor arus 5 A digunakan pada bagian masukan dan sensor arus 20 A digunakan pada bagian keluaran.

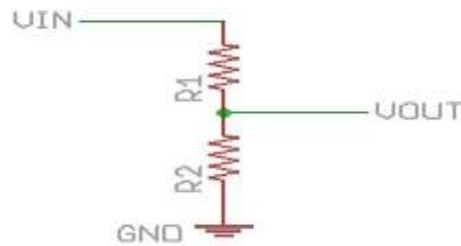


Gambar 7. Rangkaian sensor arus ACS 712

#### 3.3.2 Rangkaian Sensor Tegangan

Rangkaian sensor tegangan berfungsi untuk memantau kondisi perubahan tegangan akibat perubahan beban sehingga kondisi daya maksimal dapat dicapai. Pada sensor tegangan dalam rancangan ini digunakan rangkaian pembagi tegangan yang juga berfungsi untuk menurunkan tegangan 0-50 V menjadi 0-5 V. Hal ini dilakukan untuk

menyesuaikan spesifikasi tegangan *microcontroller* yang digunakan sebagai *controller* MPPT yang bekerja pada *level* tegangan 0-5V. Rangkaian sensor tegangan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 8.



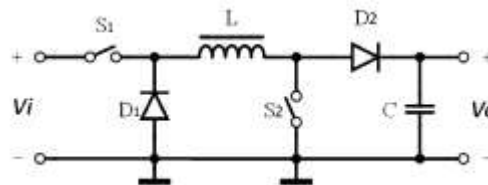
Gambar 8. Rangkaian sensor tegangan

### 3.4 Rangkaian DC-DC Converter

Rangkaian DC-DC Converter berfungsi mengubah tegangan masuk dari *solar cell* untuk disesuaikan dengan beban, agar impedansi dari *solar cell* sama atau mendekati impedansi beban, yang tujuannya untuk mencapai kondisi transfer daya maksimal dari *solar cell* ke beban.

#### 3.4.1 Topologi Non Inverting Buck-Boost Converter

Topologi yang digunakan di dalam DC-DC converter ini adalah topologi *converter Buck* dan *Boost* yang digabungkan menjadi satu, yang dapat dioperasikan sebagai *Buck* saja, *Boost* saja, maupun gabungan keduanya, yaitu *Buck-Boost*. Gabungan dari rangkaian *converter buck-boost* dengan cara ini disebut sebagai *Non Inverting Buck-Boost Converter*. Bentuk rangkaian dasar dari *Non Inverting DC-DC Converter* ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian dasar non inverting buck-boost converter

Topologi ini dipilih karena dapat mengeluarkan tegangan yang lebih besar maupun lebih kecil daripada tegangan masukannya, dan polaritas tegangan keluaran *converter* dengan topologi ini tidak terbalik terhadap masukan, sehingga memudahkan dalam penggunaannya.

#### 3.4.2 Nilai Induktor dan Kapasitor

Setiap DC-DC converter membutuhkan induktor. Pada *Buck Converter*, fungsi utama induktor adalah untuk menyaring hasil *switching* yang dilakukan oleh komponen *switching*, agar tegangan keluaran yang dihasilkan bukan berupa *step-step* yang terputus, melainkan berupa tegangan DC yang sesedikit mungkin memiliki *ripple* di atasnya. Fungsi dari induktor pada DC-DC Converter, selain untuk menghaluskan tegangan keluaran seperti pada *Buck Converter*, adalah untuk menyimpan energi, seperti yang dilakukan oleh induktor pada topologi *Boost*. Fungsi utama dari induktor pada topologi *Boost* adalah untuk menyimpan energi ketika komponen *switching* menyala dan

melepaskan energi ini ke beban pada saat komponen *switching* mati. Dengan cara ini, tegangan keluaran sistem dapat lebih tinggi daripada tegangan masukan sistem. Pada *Non Inverting Buck Boost Converter* induktor dibutuhkan untuk keperluan *Buck* dan *Boost*, yang nilainya ditentukan berdasarkan tegangan masukan, tegangan keluaran, arus keluaran, *ripple* arus, dan frekuensi kerja dari *converter*. Spesifikasi rancangan alat:

- Daya Maksimum 50 W, pada beban resistif
- Tegangan masukan maksimum 50V
- Tegangan masukan minimum 10V
- Tegangan keluaran maksimum 50V
- Tegangan keluaran minimum 5V
- Frekuensi Kerja 31.250 Hz

didapatkan nilai L sebesar [2]:

$$L > \frac{V_{inmin}^2 \times (V_{out} - V_{inmin})}{F_{sw} \times K_{ind} \times I_{out} \times V_{out}^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$L > \frac{10^2 \times (50 - 10)}{31250 \times 0.2 \times 1 \times 50^2}$$

$$L > 256 \mu H$$

Karena L harus lebih besar dari 256 uH, pada awal rancangan dipilihlah nilai L sebesar 280  $\mu H$ . Namun, pada percobaan pembuatan induktor menggunakan inti toroida, nilai ini tidak dapat diperoleh, karena dengan jumlah lilitan sebanyak 12 diperoleh L sebesar 254 uH dan dengan jumlah lilitan sebanyak 13 diperoleh L sebesar 310 uH, sehingga untuk memperoleh hasil 280 uH dibutuhkan jumlah lilitan diantara 12 dan 13, yang pada kenyataannya tidak mungkin dicapai. Dari hasil percobaan ini, nilai L yang digunakan di dalam rangkaian adalah sebesar 310 uH.

Untuk pemilihan kapasitor, besarnya kapasitor dipilih nilai terbesar dari hasil perhitungan kapasitor untuk *Buck* dan *Boost*. Setelah dilakukan perhitungan, didapat nilai C terbesar dari perhitungan *Boost Converter*, yaitu: [2]

$$C_{outmin(Boost)} = \frac{I_{out} \times D_{boost}}{F_{sw} \times V_{out_{ripple}}} \dots\dots\dots(2)$$

$$C_{outmin(Boost)} = \frac{2.5 \times 0.5}{31250 \times 0.1}$$

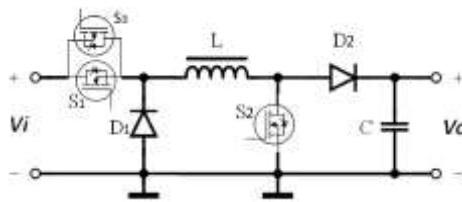
$$C_{outmin(Boost)} = 400 \mu F$$

Dari hasil perhitungan tersebut, nilai kapasitor yang akan digunakan adalah > 400 $\mu F$ . Karena nilai ini tidak ada di pasaran, faktor yang utama pada rancangan adalah *ripple* dan *error*, dimana semakin besar nilai kapasitor yang digunakan, *ripple* arus yang ditimbulkan semakin kecil. Oleh karena itu, pada realisasi rangkaian dipilih kapasitor dengan nilai 2.200 $\mu F$ , dengan tujuan agar syarat terpenuhi dan *ripple*-nya diperbaiki.

### 3.5 Komponen *Switching*

Komponen *switching* yang digunakan dalam DC-DC *Converter* ini adalah *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET) *Enhancement Mode*, dipilih MOSFET karena efisiensinya yang lebih baik daripada *Bipolar Junction Transistor* (BJT). MOSFET yang digunakan di dalam penelitian ini adalah tipe N dan Tipe P, seperti terlihat pada Gambar 10.





Gambar 10. Rangkaian *non inverting buck-boost converter* pada sistem MPPT

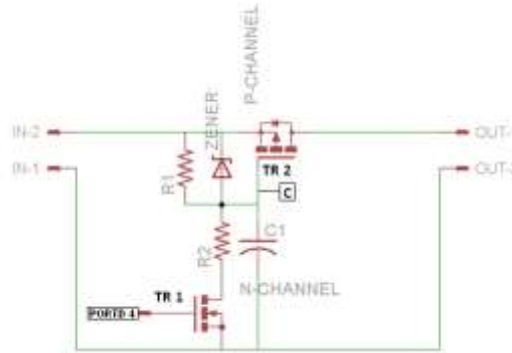
$S_1$  dan  $S_2$  merupakan *N-Channel* MOSFET dan  $S_3$  adalah *P-Channel* MOSFET. *N-Channel* MOSFET pada rangkaian dikendalikan oleh IC *N-Channel* MOSFET. Pada rancangan digunakan *Driver* tipe IR2112 buatan *International Rectifier*.



Catatan: Titik A, B, C terhubung dengan titik pada Gambar 3.7

Gambar 11. Rangkaian *N-channel* MOSFET driver

*P-Channel* MOSFET dikendalikan dengan rangkaian yang dibuat sendiri, yang rancangannya ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Rangkaian *driver P-Channel* MOSFET

Penggunaan *P-Channel* MOSFET dikarenakan IC *Driver* IR2112 tidak dapat mengendalikan *N-Channel* MOSFET ( $S_1$ ) sebagai *switch* (menyala setiap saat tanpa dimodulasi oleh gelombang PWM) pada saat rangkaian ingin dioperasikan sebagai *Boost converter*. Oleh karena itu, harus digunakan *P-Channel* MOSFET untuk mengatasi masalah ini. Hal ini dikarenakan *N-Channel* MOSFET pada  $S_1$  difungsikan sebagai *High Side Switch*.

### 3.6 *Microcontroller* MPPT Controller

MPPT Controller dibuat menggunakan *microcontroller* ATmega328, yang berfungsi sebagai pengendali sistem MPPT Converter, yang memroses data yang dikirim oleh sensor arus dan tegangan pada DC-DC Converter, serta melakukan penyesuaian *duty Cycle* pada DC-DC Converter agar daya yang disalurkan ke beban maksimum pada setiap saat. Proses *tracking* yang digunakan dalam MPPT menggunakan metode *tracking Perturb and Observe* (P&O), dimana sistem akan mengubah tegangan *solar cell* dengan cara mengubah lebar *duty cycle*, kemudian mengukur daya yang diambil dari *solar cell*. Apabila daya meningkat, maka tegangan akan terus diubah ke arah perubahan yang telah



dilakukan, tetapi apabila daya yang dihasilkan berkurang, maka tegangan akan diubah ke arah sebaliknya.

Keluaran dari sensor tegangan dan arus dibaca oleh *microcontroller* menggunakan ADC yang terintegrasi di dalamnya. ADC ini dapat menerima masukan maksimum sebesar  $V_{ref}$ , dimana  $V_{ref}$  mempunyai batas maksimum sebesar 5,5V. Pada penelitian ini,  $V_{ref}$  diambil dari VCC, sehingga besarnya VCC adalah 5 Volt.  $V_{ref}$  ini akan menjadi acuan untuk mengetahui nilai besaran tegangan sebenarnya yang diukur oleh *microcontroller*. Nilai sebenarnya yang terukur pada kaki ADC dapat dihitung dari persamaan 3, dengan  $V_{ref} = 5V$

$$V_{in} = \frac{ADC \times 5}{1024} \dots\dots\dots(3)$$

$V_{in}$  adalah tegangan yang masuk ke kaki ADC dari *microcontroller*, sehingga pada sensor tegangan yang menggunakan rangkaian pembagi tegangan, hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan yang sebenarnya (sebelum masuk ke pembagi tegangan), dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$\frac{V_{in}(ADC)}{5} = \frac{V_{in}}{50} \dots\dots\dots(4)$$

$$V_{in} = \frac{50}{5} V_{in}(ADC)$$

$$V_{in} = 10 V_{in}(ADC)$$

Pada sensor arus, karena keluaran tegangan dari sensor arus ketika arus yang masuk = 0 adalah 0,5 dari Vcc [3] dan karena arus pada rangkaian penelitian ini masuk dari kaki 3, 4, dan keluar dari kaki 1, 2, maka pengukuran besarnya tegangan yang keluar dari sensor arus dihitung dari persamaan 5.

$$V_o(Sens Rel) = V_o Isens(0) - V_o Isens(Iin) \dots\dots\dots(5)$$

Karena sensor arus yang digunakan mempunyai sensitivitas yang berbeda, maka untuk sensor arus 5A, nilai tegangan tersebut (dalam mV) dibagi dengan 185 untuk mendapatkan nilai arus yang masuk (dalam A), sedangkan untuk sensor arus 20 A, nilai tegangan yang masuk dibagi dengan 100 untuk mendapatkan nilai arus yang keluar dalam besaran ampere.

Untuk mendapatkan nilai daya yang masuk dan keluar, dilakukan dengan cara mengalikan tegangan dengan arus yang masuk/keluar.

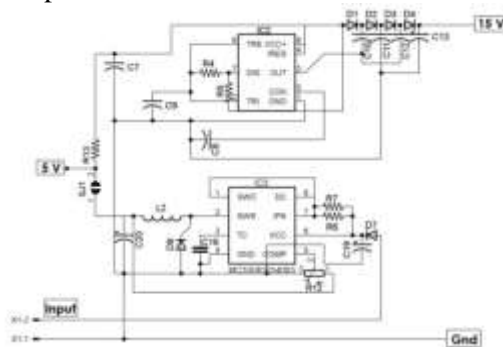
$$P = V \times I \dots\dots\dots(6)$$

### 3.7 Tampilan LCD

Rangkaian MPPT *controller* menggunakan tampilan LCD untuk menampilkan tulisan informasi keadaan sistem. LCD yang digunakan adalah LCD *Alphanumeric* 16x2 karakter dengan *driver* tipe HD4480 *compatible*, yang terhubung melalui rangkaian penambah *port*. LCD ini menggunakan IC PCA8574 sebagai komponen utamanya, yang menerima masukan dari *microcontroller* melalui *interface* I2C. Penggunaan penambah *port* ini dibutuhkan karena jumlah *port* mikrokontroler yang tidak mencukupi, karena LCD membutuhkan delapan *pin*, sedangkan jumlah *pin* yang tersisa yang dapat digunakan pada *microcontroller* hanya lima *pin*.

### 3.8 Power Supply

*Power Supply* berfungsi untuk memberikan sumber daya kepada semua komponen dari sistem, seperti *microcontroller*, sensor arus, *MOSFET Driver*, dan *Display LCD*. *Power supply* terdiri dari rangkaian *switching buck (step down) converter* tipe MC14063, yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 7-40 V dari *solar cell* ke tegangan 5 V untuk *microcontroller*, *LCD Display*, *Logic supply* dari *MOSFET Driver*, dan sensor arus. *Power supply step down* jenis *switching* dipilih karena daya disipasi yang dihasilkannya jauh lebih rendah dibandingkan dengan *power supply step down* jenis *linear*. Rangkaian ini kemudian diikuti dengan rangkaian *charge pump* yang dibuat dari rangkaian osilator IC 555 untuk menaikkan tegangan sekitar 3x lipat dari tegangan 5 Volt yang dihasilkan oleh *switching buck converter*. Tegangan sebesar +/- 15 Volt ini digunakan oleh *MOSFET Driver* untuk mengendalikan *High Side* dan *Low side* MOSFET agar mencapai keadaan saturasi yang dibutuhkan dalam proses *switching*. Rangkaian dari *Power Supply* dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Rangkaian *power supply*

### 3.9 Beban Resistif

Dalam pengujian dibutuhkan beban yang digunakan untuk menyerap daya yang diberikan oleh *solar cell*. Beban yang digunakan di dalam penelitian ini merupakan beban resistif yang berupa kumpulan hambatan dengan ukuran beragam dengan daya maksimum 20 W per hambatan.

### 3.10 Perangkat Lunak Sistem

Perangkat lunak yang digunakan di dalam sistem dibuat dalam bahasa C menggunakan program *WinAVR* dan dimasukkan ke dalam *microcontroller* menggunakan *USBasp* [4]. Untuk mengurangi kesalahan dalam pembacaan ADC, hasil konversi dari sensor tegangan dan arus pada ADC dimasukkan ke dalam *filter* LPF digital IIR, jenis *moving average* dengan persamaan *filter*:

$$Y(n) = 0.9y(n - 1) + 0.1x(n).....(7)$$

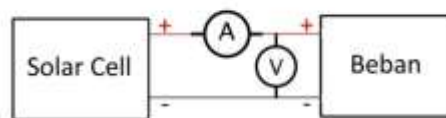
## 4. PENGUJIAN SISTEM

Pada bagian ini akan dibahas tentang proses pengujian sistem yang telah dirancang. Pengujian menggunakan beberapa macam ukuran resistor yang berfungsi sebagai beban. Resistor tersebut kemudian dihubungkan dengan *MPPT Converter* untuk dicatat tegangan, arus, dan daya yang diserap oleh masing-masing beban. Pengujian dilanjutkan dengan melepas rangkaian *MPPT Converter*, sehingga beban terhubung

langsung dengan *solar cell*, kemudian dicatat juga tegangan, arus, dan daya yang diserap oleh masing-masing beban pada konfigurasi ini. Dengan demikian, dapat diketahui apakah terdapat perbedaan antara daya yang disalurkan ke beban dengan dan tanpa menggunakan MPPT *Converter*. Seluruh percobaan dilakukan pada rentang waktu pukul 11.00 sampai 13.00, untuk mendapatkan intensitas matahari yang cukup tinggi agar hasil percobaan maksimal. Percobaan pengukuran dilakukan secara *sampling* selama dua menit untuk setiap beban yang diuji dan nilai yang diambil adalah nilai maksimum yang tercapai dalam rentang waktu dua menit tersebut.

#### 4.1 Pengukuran Daya pada Resistor Tanpa MPPT *Converter*

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan *solar cell*, *amperemeter*, *voltmeter*, dan beban seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Rangkaian percobaan tanpa MPPT

Tabel 1. Pengukuran besar V, I, dan P pada beban tanpa MPPT

Resistor ( $\Omega$ )	$V_o$ (V)	$I_o$ (A)	$P_o$ (W)
0,8	0,73	1,12	0,8176
4,7	5,16	1,09	5,6244
5,6	6	1,09	6,54
8,2	8,61	1,07	9,2127
10	10,28	1,06	10,8968
12	11,89	1,03	12,2467
15	13,23	0,86	11,3778
22	14,47	0,69	9,9843
27	15,1	0,56	8,456
47	16,65	0,39	6,4935
74	17,55	0,27	4,7385

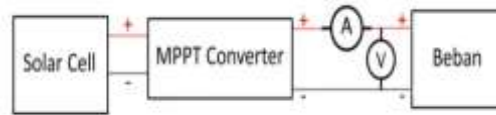
Dari data hasil percobaan, dapat dilihat bahwa daya yang diberikan ke beban menggunakan *solar cell* yang terhubung secara langsung memuncak pada saat hambatan beban 12  $\Omega$ , sedangkan pada hambatan beban yang lebih besar atau lebih kecil dari 12  $\Omega$ , daya yang diberikan akan lebih kecil. Daya yang lebih kecil ini diakibatkan karena *solar cell* mempunyai tegangan dan arus yang tidak dapat menyesuaikan dengan kebutuhan beban, sehingga pada hambatan beban kecil, arus yang mengalir pada beban hampir mendekati arus hubung pendek ( $I_{sc}$ ). Pada saat hambatan beban tinggi, tegangan *solar cell* tidak akan dapat melebihi tegangan terbuka ( $V_{oc}$ ), sehingga arus yang diberikan kecil dan daya yang diberikan juga akan kecil.

Pada saat hambatan beban 12  $\Omega$ , hal ini tidak terjadi, karena pada saat hambatan beban 12  $\Omega$ , impedansinya hampir menyamai impedansi dari *solar cell* yang digunakan, sehingga walaupun MPPT *Converter* tidak digunakan, daya yang diberikan akan tetap

besar. Penambahan MPPT Converter pada kondisi seperti ini hanya akan mengurangi daya yang diberikan ke beban, karena MPPT Converter mempunyai hambatan dalam dan tegangan jatuh yang diberikan oleh komponen dioda dan MOSFET.

#### 4.2 Pengukuran Daya pada Resistor Menggunakan MPPT Converter

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan solar cell, MPPT converter, amperemeter, voltmeter, dan beban seperti pada Gambar 15. Data hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 15. Rangkaian percobaan menggunakan MPPT

Tabel 2. Pengukuran besar V, I, dan P pada beban menggunakan MPPT

Resistor ( $\Omega$ )	$V_o$ (V)	$I_o$ (A)	$P_o$ (W)
0,8	1,85	2,9	5,365
4,7	6,91	1,46	10,0886
5,6	7,61	1,36	10,3496
8,2	9,6	1,18	11,328
10	10,4	1,09	11,336
12	11,6	0,98	11,368
15	13,7	0,88	12,056
22	15,38	0,72	11,0736
27	16,42	0,6	9,852
47	18,44	0,42	7,7448
74	24,5	0,36	8,82

Dari data hasil percobaan pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa rangkaian MPPT Converter berusaha mempertahankan daya yang diberikan ke beban agar tetap besar dengan cara menyesuaikan tegangan yang diberikan ke beban. Pada hambatan beban yang kecil, maka MPPT Converter akan berusaha mengecilkan tegangannya dan sebagai gantinya arus akan meningkat, karena daya yang diserap tetap. Ketika beban yang diberikan mempunyai hambatan yang tinggi, maka MPPT Converter akan berusaha menaikkan tegangan agar daya yang diserap beban tetap besar. Daya paling tinggi terjadi pada hambatan 15  $\Omega$ . Hal ini terjadi karena pada hambatan beban yang kecil, MPPT Converter akan berusaha memperbesar arus yang diberikan ke beban, arus yang besar ini akan membuat daya yang hilang pada komponen dioda dan High Side MOSFET juga besar.

Besarnya daya yang hilang apabila dilihat dari rumus daya  $P=I^2 \times R$  adalah berbanding kuadrat dari arus yang mengalir pada MOSFET tersebut. Pada hambatan beban yang besar daya juga berkurang, karena pada hambatan yang besar, MPPT Converter akan berusaha menaikkan tegangan keluaran dengan cara masuk ke mode boost converter. Pada mode ini, arus yang mengalir pada dioda tidak sebesar seperti pada keadaan sebelumnya ketika hambatan beban kecil. Namun arus mengalir melalui Low Side MOSFET dan P-Channel MOSFET untuk melakukan fungsi boost, sehingga tetap ada rugi-rugi daya yang terjadi, baik pada dioda maupun pada MOSFET. Tabel 3

memperlihatkan hasil perbandingan daya antara percobaan yang dilakukan tanpa menggunakan MPPT *converter*.

Tabel.3. Perbandingan daya pada percobaan pengukuran

R ( $\Omega$ )	Po (W) Tanpa MPPT	Po (W) Menggunakan MPPT
0,8	0,8176	5,365
4,7	5,6244	10,0886
5,6	6,54	10,3496
8,2	9,2127	11,328
10	10,8968	11,336
12	12,2467	11,368
15	11,3778	12,056
22	9,9843	11,0736
27	8,456	9,852
47	6,4935	7,7448
74	4,7385	8,82

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan dan hasil pengujian sistem MPPT *Converter*, dapat disimpulkan bahwa:

1. Daya yang diberikan ke beban lebih besar apabila menggunakan MPPT *Converter*, kecuali saat hambatan beban sama dengan atau mendekati hambatan dalam *solar cell*.
2. Daya yang dialirkan ke beban menggunakan MPPT akan mengecil ketika hambatan beban yang digunakan diperkecil atau diperbesar dari nilai hambatan pada daya terbesar, meskipun nilai ini masih lebih besar dibandingkan tanpa menggunakan MPPT *Converter*.
3. Secara keseluruhan rangkaian MPPT yang dirancang dapat bekerja dengan baik untuk memaksimalkan daya keluaran dan mengikuti perubahan beban resistif yang terpasang.

## REFERENSI

- [1]. Cullen, Richard A. 2000. *What is Maximum Power Point Tracking (MPPT) and How Does it Work?*, [http://www.blueskyenergyinc.com/uploads/pdf/BSE\\_What\\_is\\_MPPT.pdf](http://www.blueskyenergyinc.com/uploads/pdf/BSE_What_is_MPPT.pdf); diakses 28 Oktober 2014.
- [2]. Texas Instrument. 2012. *Design Calculations for Buck-Boost Converters*, <http://www.ti.com/lit/an/slva535a/slva535a.pdf>; diakses 29 Desember 2014.
- [3]. *THE PHOTOELECTRIC AND PHOTOVOLTAIC EFFECTS*, <http://sargosis.com/articles/science/how-pv-modules-work/the-photoelectric-and-photovoltaic-effects/>; diakses 29 Desember 2014.
- [4]. Hamilton, James. *Methods of solar power generation*, [http://www.bls.gov/green/solar\\_power/](http://www.bls.gov/green/solar_power/); diakses 29 Desember 2014.