



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 091399**

**OPTIMALISASI DAYA PADA INTERKONEKSI  
PHOTOVOLTAIC (PV) DAN JARINGAN DISTRIBUSI  
MENGUNAKAN MAXIMUM POWER POINT TRACKER  
(MPPT) METODE PENGUKURAN ARUS HUBUNG  
SINGKAT**

**Dwi Agustina Hery Indrawati  
NRP 2206 100 028**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Dr.Ir. Mochamad Ashari, M.Eng.  
Vita Lystianingrum, ST, M.Sc**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2010**



**FINAL PROJECT - TE 091399**

**POWER OPTIMALIZATION OF PHOTOVOLTAIC (PV)  
AND DISTRIBUTION NETWORK INTERCONNECTION  
INVOLVING MAXIMUM POWER POINT TRACKER  
(MPPT) WITH SHORT CIRCUIT CURRENT  
MEASUREMENT METHOD**

**Dwi Agustina Hery Indrawati  
NRP 2206 100 028**

**Advisor  
Prof. Dr. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng.  
Vita Lystianingrum, ST, M.Sc**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2010**

# **OPTIMALISASI DAYA PADA INTERKONEKSI PHOTOVOLTAIC (PV) DAN JARINGAN DISTRIBUSI MENGGUNAKAN MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) METODE PENGUKURAN ARUS HUBUNG SINGKAT**

Dwi Agustina Hery Indrawati  
NRP 2206 100 028

**Dosen Pembimbing**  
Prof. Dr.Ir. Mochamad Ashari, M.Eng.  
Vita Lystianingrum, ST, M.Sc

## **ABSTRAK**

Pembangkitan energi terbarukan menawarkan potensi besar dalam keperluan energi global kedepan. Energi matahari adalah pilihan terbaik untuk pembangkit listrik karena tersedia di setiap tempat secara gratis. Topik pada tugas akhir ini adalah tentang perancangan dari optimalisasi daya pada sistem interkoneksi *Photovoltaic* (PV) dengan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) dan jaringan distribusi. Salah satu metode PV konversi dengan MPPT adalah dengan menggunakan metode *Short Circuit Current* (arus hubung singkat). MPPT yang akan digunakan menggunakan *Buck-Boost Converter*. Tegangan output dari MPPT berupa tegangan dc diubah menjadi tegangan ac melalui sebuah *Inverter*. Tegangan ac yang dihasilkan kemudian akan disalurkan grid. Melalui simulasi dengan *software* MATLAB dibuat pemodelan *PV*, *Buck-Boost Converter*, *MPPT*, *Inverter* dan integrasi dari keseluruhannya. Hasil simulasi pada tugas akhir ini menunjukkan bahwa PV dengan MPPT mempunyai rasio daya lebih tinggi dibanding PV tanpa MPPT. Pada tugas akhir ini, PV menggunakan MPPT saat iradiasi 500 Watt/m<sup>2</sup> mampu menghasilkan rasio daya sebesar 68.65%, sedangkan saat iradiasi 1000 Watt/m<sup>2</sup> menghasilkan rasio daya sebesar 60.37% . Tahapan dalam perancangan PV inverter terhubung ke grid meliputi pencarian daya puncak PV, menentukan besar nilai index

modulasi untuk SPWM dan penentuan sudut  $\delta$  antara tegangan grid dengan tegangan keluaran inverter. Hasil dari PV terhubung grid untuk  $m = 0.8$  maka menghasilkan sudut  $\delta$  sebesar  $6.82^\circ$ .

**Kata kunci** : PV, MPPT, Buck-Boost Converter, Jaringan Distribusi, MATLAB

# **POWER OPTIMALIZATION OF PHOTOVOLTAIC (PV) AND DISTRIBUTION NETWORK INTERCONNECTION INVOLVING MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) WITH SHORT CIRCUIT CURRENT MEASUREMENT METHOD**

Dwi Agustina Hery Indrawati  
NRP 2206 100 028

## *Advisor*

Prof. Dr. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng.  
Vita Lystianingrum, ST, M.Sc

## **ABSTRACT**

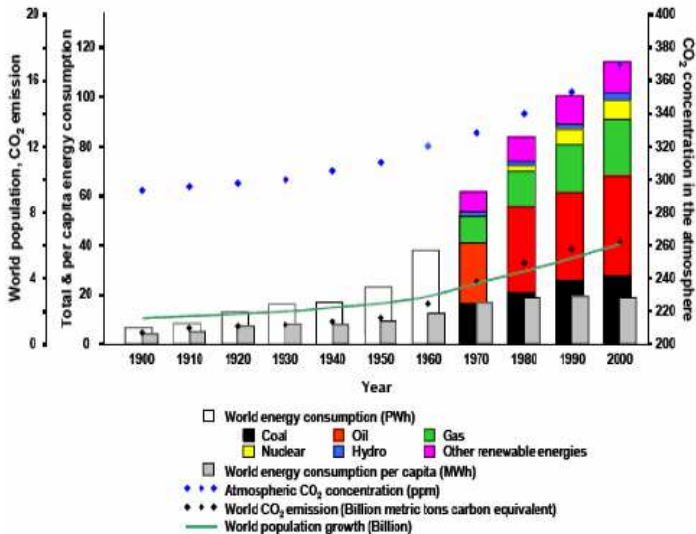
Renewable energy has a big potency in the next global energy. Solar energy is the best choice for electricity generator because we can find it free in everywhere. This topic of final project is desain of power optimalization of photovoltaic and distribution network interconnection involving Maximum Power Point Tracker with short circuit current measurement method. MMPT which used is buck boost converter. Output voltage from MPPT is dc voltage that will convert into ac voltage with inverter. That ac voltage will be transmitted into grid connection. From simulation use software MATLAB, desain of PV, buck boost converter, MPPT, inverter and integration all of them will be done. The result of simulation show that PV with MPPT has power ratio higher than PV without MPPT. In this final project, PV used MPPT when irradiation is 500 Watt/m<sup>2</sup> can produce 68.65 % for power ratio, and when irradiation 1000 Watt/m<sup>2</sup> produce 60.37% for power ratio. Steps in modeling PV inverter grid connected consist of look for power peak of PV, determine index modulation value for SPWM and determine  $\delta$  angle between grid voltage with output voltage inverter. The result of PV connected gri for  $m = 0.8$  can produce  $\delta = 6.82^\circ$ .

**Keywords:** PV, MPPT, Buck Boost Converter, Distribution Network Interconnection, MATLAB

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## BAB II TEORI PENUNJANG

Kebutuhan energi sebagai penggerak kehidupan semakin lama semakin meningkat. Hal ini didorong oleh lonjakan jumlah populasi manusia terutama di negara berkembang dan negara industri baru. Sumber energi utama saat ini adalah energi fosil yang cadangannya pun semakin lama semakin menurun. Terlebih lagi dampak buruk dari akibat penggunaan energi ini berupa gas-gas yang dapat merusak lingkungan, salah satunya  $CO_2$  gas penyebab rumah kaca (*greenhouse effect*). Korelasi penggunaan energi fosil dengan peningkatan  $CO_2$  dari tahun ke tahun digambarkan oleh grafik berikut [1]:



**Gambar 2.1.** Grafik Korelasi Penggunaan Energi dan  $CO_2$

Berbagai riset dilakukan untuk mendayagunakan energi terbarukan sebagai alternatif solusi. Salah satu energi itu adalah matahari yang biasa disebut sumber energi surya. Daya yang dihasilkan sistem ditentukan oleh intensitas cahaya, temperatur dan faktor geografis (misalnya *longitude* dan *latitude*) suatu daerah. Daerah

Indonesia sangat berpotensi untuk pemanfaatan energi surya karena intensitas matahari yang selalu bersinar sepanjang tahun.

### **2.1. Panel Photovoltaic**

Susunan sel surya dapat dibagi menjadi 3 kategori. Kategori pertama adalah rangkaian sel surya dalam bentuk modul kecil mampu menghasilkan 1- 10 kW daya listrik. Digunakan untuk beban yang relative kecil, seperti pompa irigasi, kontrol jarak jauh, pengisian ulang baterai, peralatan komunikasi dan lain-lain.

Kategori kedua berupa stasiun tenaga darat (*cooperative terrestrial power station*), mampu mereduksi 10 k – 10 MW daya listrik. Digunakan untuk kepentingan bisnis atau kelompok tertentu, pemakaian suatu komunitas untuk mendukung suatu tenaga yang konvensional atau sebagai sumber tenaga cadangan.

Kategori terakhir adalah stasiun tenaga *photovoltaic* daya penuh (*full scale mega watt power station*) memproduksi 10-100 MW, di desain untuk menjadi sumber listrik utama. Biasanya dibangun di daerah gurun yang kemungkinan mendapat sinar matahari maksimum dalam jangka waktu lama sepanjang hari.

Ketiga kategori tersebut mempunyai kelemahan yang sama jika dibandingkan dengan sumber tenaga listrik konvensional yaitu ketidakmampuan menyediakan daya listrik secara konstan sepanjang hari. Maka pemanfaatan sel surya diusahakan optimal untuk tiap kondisi eksternal yang ada.

Pemasangan sel surya secara seri dan parallel serta penggabungan sel surya menjadi suatu panel akan menjadi satu unit panel *photovoltaic* dengan ranting yang lebih besar yang dapat digabungkan dengan panel-panel yang sama membentuk suatu kesatuan (*array*). Pada prinsipnya, ukuran *array* bias mencapai ribuan megawatt yang dapat membatasi adalah pertimbangan luas area yang digunakan untuk meletakkan panel *photovoltaic*.

### **2.2. Intensitas Cahaya Matahari pada Permukaan Bumi**

Ada berbagai macam energi alternatif yang dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik antara lain adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya. Pembangkit listrik tenaga surya merupakan pembangkit listrik energi terbarukan yang menawarkan potensi besar dalam kehidupan energi global untuk masa depan. Energi



matahari tersedia di setiap tempat dan dapat diperoleh secara gratis atau cuma-cuma.

Energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari sebenarnya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 69 persen dari total energi pancaran matahari. Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat luar biasa besarnya yaitu mencapai  $3 \times 10^{24}$  joule pertahun, energi ini setara dengan  $2 \times 10^{17}$  Watt. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Dengan kata lain, dengan menutup 0,1 persen saja permukaan bumi dengan divais solar sel yang memiliki efisiensi 10 persen sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia saat ini.

Selain disebabkan oleh jauhnya jarak matahari ke bumi, penyebab lain dari penurunan intensitas cahaya matahari adalah:

- Hamburan oleh molekul-molekul yang ada di atmosfer
- Hamburan oleh awan dan partikel debu
- Penyerapan oleh gas-gas yang ada di atmosfer seperti oksigen dan lapisan ozon.

Pancaran sinar matahari sampai pada suatu tempat dipengaruhi oleh:

- Keadaan cuaca tempat tersebut
- Posisi permukaan penerima terhadap jatuhnya sinar matahari
- Waktu penyinaran dalam sehari pada suatu tempat
- Letak geografis daerah tersebut
- Posisi matahari dalam satu tahun.

### **2.3. Prinsip Kerja Sel Surya**

*Photovoltaic* (PV) mulai digunakan sebagai salah satu sumber energi alternatif, sehingga diperlukan adanya suatu sistem yang digunakan untuk menghasilkan keluaran daya yang dibutuhkan oleh konsumen. Sistem yang digunakan harus dapat bekerja secara optimal dengan tingkat efektifitas yang tinggi dan keluaran yang maksimal. Untuk mencapai tingkat operasional PV yang maksimal, diperlukan adanya suatu sistem yang dapat mencapai kondisi kerja maksimal PV, yang dinamakan *maximum power point* (MPP) atau titik kerja maksimum, dimana kondisi tersebut bergantung pada karakteristik dari PV yang digunakan.

Sel surya merupakan sebuah divais semikonduktor yang memiliki permukaan yang luas dan terdiri dari rangkaian dioda tipe p

dan n, yang mampu merubah energi sinar matahari menjadi energi listrik.

Kebanyakan sel surya yang diperdagangkan secara umum adalah yang berbentuk Kristal tunggal silicon murni yang “dikotori” dengan bahan lain seperti Boron atau Fosfor. Tipe – p menghantarkan muatan positif dibuat dengan mengganti silicon dalam Kristal dengan boron sedangkan tipe – n penghantar muatan negative dibuat dengan mengganti silicon dengan fosfor.

Saat sinar matahari menerpa sel surya, sejumlah electron dilepaskan dan berpindah ke elektroda negative (n-layer), pada saat yang sama lubang yang terbentuk berkumpul di *p-layer*. Maka terbentuklah arus listrik dari kedua elektroda tersebut.

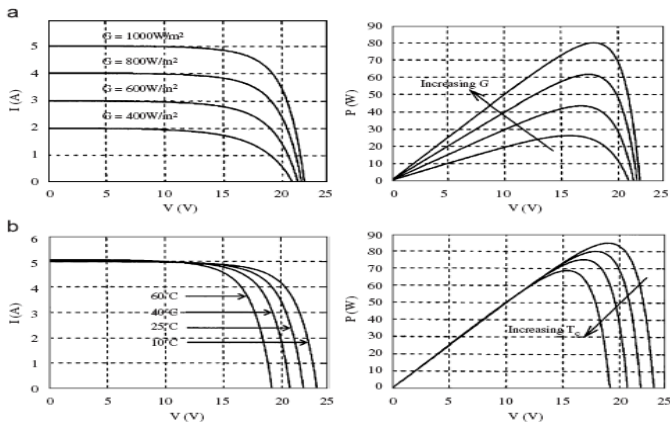
Energi listrik yang dihasilkan dalam bentuk tegangan dc sebesar kurang lebih 0,5V per sel dan arus listrik yang dihasilkan besarnya bervariasi tergantung panjang gelombang dan tingkat *isolation* yang menyinari sel serta besar luas permukaan sel yang disinari. Maka untuk menghasikan daya listrik maksimal, maka sel surya dalam posisi tegak lurus menghadap sinar matahari sehingga tegangan dan arus yang dihasilkan maksimal untuk kondisi panjang gelombang dan intensitas yang sama.

### **2.3.1. Karakteristik Panel Photovoltaic**

Salah satu keuntungan dari tenaga *photovoltaic* adalah kehandalan dan kefleksibelan desain dari rangkaian *photovoltaic*. Saat sel surya dihubung secara seri besar tegangan total menjadi sama dengan jumlah seluruh tegangan sel yang dirangkai seri sedangkan arus tetap sama dengan arus satu buah sel surya.

Jika dirangkai parallel, total arus menjadi sama dengan penjumlahan dari masing-masing arus yang dihasilkan masing-masing sel surya, tegangan tetap dengan tegangan dari sebuah sel surya.

PV mempunyai dua karakteristik yaitu P-V dan I-V karakteristik. Hubungan antara intensitas cahaya matahari dan suhu terhadap I-V dan P-V karakteristik telah ditunjukkan pada [2].



**Gambar 2.2** (a) Pengaruh Intensitas Sinar Matahari Terhadap I-V dan P-V Karakteristik  
 (b) Pengaruh Suhu Terhadap I-V dan P-V Karakteristik

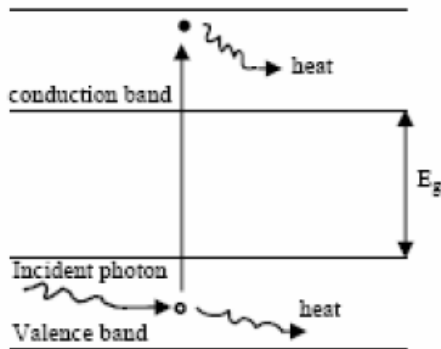
### 2.3.2. Rangkaian Pengganti Panel Photovoltaic

Material yang populer digunakan sebagai bahan untuk PV adalah silicon yang memiliki atom valensi 4 dan struktur diamond. Jika materialkan ini dikuatkan maka akan menjadi sumber energi listrik jika terkena sinar matahari. Perubahan itu digambarkan dengan persamaan :

$$E_{ph} = \frac{hc}{\gamma} \quad (2.1)$$

Dengan  $h$  = konstanta plank  
 $C$  = kecepatan cahaya  
 $\gamma$  = panjang gelombang cahaya

Mekanisme pembangkitan arus digambarkan sebagai berikut:

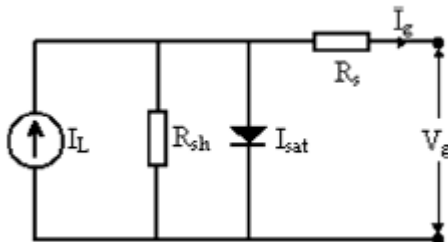


**Gambar 2.3.** Pembangkitan Elektron dan Hole

Metode PV yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah metode *short circuit current*. Persamaan umum antara arus MPP dan arus hubung singkat sebagaimana disebutkan dalam [3] adalah sebagai berikut :

$$k_2 = \frac{I_{MPP}}{I_{sc}} \sim \text{constant} < 1 \quad (2.2)$$

Rangkaian ekivalen dari solar panel secara umum adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.4** Rangkaian Ekivalen dari Panel Surya

Hal-hal yang mempengaruhi keandalan dari panel surya adalah:

1. Pengaruh suhu pada arus saturasi diode ( $I_0$ )

2. Pengaruh suhu pada arus yang mengalir dari sumber arus panel surya ( $I_L$ )
3. Resistor yang dirangkai seri ( $R_s$ )
4. Faktor kualitas diode (A) yang menjadi parameter variabel. Faktor diode tergantung dari jenis sel surya yang diinginkan.

Berdasarkan rangkaian ekivalen panel surya, suhu kerja dari panel akan mempengaruhi besar arus saturasi dari diode ( $I_0$ ) dan arus yang mengalir dari sumber arus panel surya ( $I_L$ ). Diode yang dirangkai parallel pada gambar 2.4 akan digunakan pada simulasi dengan faktor kualitas diode yang diatur berdasarkan jenis bahan diode yang digunakan oleh sel surya tersebut.

Persamaan pada [4] yang memenuhi karakteristik panel surya yang digunakan pada Tugas Akhir ini antara lain:

$$I = I_L - I_0(e^{q(V+IR_s)/nkT} - 1) \quad (2.3)$$

$$I_L = I_{L(T_1)}(1 + K_o(T - T_1)) \quad (2.4)$$

$$I_{L(T_1)} = G * I_{sc(T_1,nom)}/G_{(nom)} \quad (2.5)$$

$$K_o = (I_{sc(T_2)} - I_{sc(T_1)})/(T_2 - T_1) \quad (2.6)$$

$$I_o = I_{o(T_1)} * (T/T_1)^{3/n} * e^{-qV_g/Ak*(1/T-1/T_1)} \quad (2.7)$$

$$I_{o(T_1)} = I_{sc(T_1)}/(e^{qV_{oc(T_1)}/AkT_1} - 1) \quad (2.8)$$

$$R_s = -dV/dI_{V_{oc}} - 1/X_v \quad (2.9)$$

$$X_v = I_{o(T_1)} * q/AkT_1 * e^{qV_{oc(T_1)}/AkT_1} \quad (2.10)$$

Semua konstanta dari persamaan (2.3) sampai (2.10) dapat ditentukan dengan menggunakan parameter-parameter dari panel surya yang kemudian dapat digunakan untuk menentukan karakteristik kurva I-V pada panel surya yang digunakan. Pada Tugas Akhir ini menggunakan panel surya BPSX-60 untuk simulasinya.

**Tabel 2.1** Parameter Panel Surya BPSX-60

<b>Electrical Parameters</b>		<b>Keterangan</b>
A	2	<i>Ideality diode factor of PN junction</i>
$E_g$	1.12 eV	<i>Band gap energy</i>
$n_p$	1	<i>Number of parallel-connected modules</i>
$n_s$	36	<i>Number of series-connected modules</i>
$P_{MAX}$	60 W	<i>Maximum power at standard conditions</i>
$V_{MAX}$	16.8 V	<i>Voltage at the maximum power point</i>
$I_{MAX}$	3.56 A	<i>Current at the maximum power point</i>
NOTC	47 °C	<i>Nominal Operating Cell Temperature</i>
$I_{SC}$	3.87 A	<i>Short-circuit current at standard conditions</i>
$V_{OC}$	21.06 V	<i>Open-circuit voltage at standard conditions</i>
$K_v$	-80 mV/°C	<i><math>V_{OC}</math> temperature coefficient</i>
$K_i$	0.065 %/°C	<i><math>I_{SC}</math> temperature coefficient</i>

Standard Condition : 25 °C dan 1000W/m<sup>2</sup>

Persamaan 2.4 menunjukkan bahwa hubungan antara arus yang mengalir dari sumber arus sel surya  $I_L$  dengan suhu kerja panel surya adalah konstan. Sedangkan  $I_L$  pada BPSX60 berubah dari 3,79 A sampai 3,87 A (2%) jika suhu berubah dari 25°C sampai 60°C.

Berdasarkan persamaan 2.5 dapat diketahui bahwa nilai arus yang mengalir dari sumber arus sel surya  $I_L$  berbanding langsung terhadap tingkat iradiasi matahari yang mengenai panel surya (W/m<sup>2</sup>). Pada saat sel surya terhubung singkat yang sesuai dengan rating (ratio pada simulasi 1 Sun = 1000W/m<sup>2</sup>), maka didapatkan nilai parameter pada panel surya BPSX60 dengan  $I_{SC} = 3,87$  Ampere, pada Sun = 1 dan  $T_1 = 25^\circ\text{C}$ , sehingga didapat  $I_L(T_1) = 3,87$  A.

Saat sel surya tidak terkena cahaya matahari maka hubungan antara tegangan terminal sel surya dan arus sesuai dengan persamaan Shockley. Namun saat sel surya terkena cahaya matahari dan sel surya dihubungkan open circuit maka arus dari sumber arus panel surya akan mengalir melalui diode, maka kurva karakteristik I-V dari panel surya akan sama dengan arus yang dihasilkan  $I_L$ . Hal ini ditunjukkan pada persamaan (2.3).

Terlihat pada persamaan (2.8), harga saturasi diode  $I_o$  pada suhu 25°C dihitung dengan menggunakan hubungan open circuit dan arus hubung singkat  $I_{sc}$  pada suhu tersebut.

Untuk mengetahui nilai paling ideal pada faktor kualitas diode maka dilakukan perkiraan untuk menentukannya. Nilai factor kualitas diode (A) yang sering digunakan pada diode adalah antara 1 sampai 2. Pada Tugas akhir ini menggunakan panel surya BPSX60 dengan kualitas diode (A) bernilai 2 karena bahan dari panel surya berupa *crystalline*. Nilai tersebut juga berguna sebagai nilai awal dalam metode *curve fitting* sampai nilai yang tepat dicapai.

### **2.3.3. Efisiensi Sel surya**

Efisiensi solar sel dan harga pembuatan solar sel merupakan masalah yang paling penting untuk merealisasikan solar sel sebagai sumber energi alternatif. Efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan antara tenaga listrik yang dihasilkan oleh divais solar sel dibandingkan dengan jumlah energi yang diterima dari pancaran sinar matahari.

Indonesia sebenarnya sangat berpotensi untuk menjadikan solar sel sebagai salah satu sumber energi masa depannya mengingat posisi Indonesia pada khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima di permukaan bumi di hampir seluruh Indonesia.

Efisiensi maksimum dari konversi energy sel surya pada dasarnya dipengaruhi oleh:

- Konstruksi internal dari sel surya, dimensi, area yang aktif, spesifikasi material, karakteristik hubungan *photovoltaic*, tekstur permukaan, lapisan anti refleksi serta konfigurasi kontak dan grid
- Tingkat penyinaran
- Suhu kerja
- Kerusakan partikel akibat radiasi
- Suhu lingkungan dan pengaruh lingkungan lainnya.

### **2.3.4. Daya Output Maksimum Panel Photovoltaic (Kurva Titik Daya Maksimum)**

Dilihat dari berbagai algoritma pada MPP itu sendiri, dapat dibedakan dan dikelompokkan berbagai metode MPP pada *photovoltaic*. Hal ini dijelaskan pada [5] . Ada metode langsung dan tidak langsung. Metode tidak langsung (*quasi seeks*) MPP diperkirakan melalui penggunaan data empiris dengan pendekatan matematika, banyaknya sinar matahari dan besar tegangan serta arus PV. Namun dari perkiraan yang dibawa intensitas sinar dan suhu, keduanya tidak bisa mendapatkan MPP secara tepat. Sedangkan metode langsung (*true*

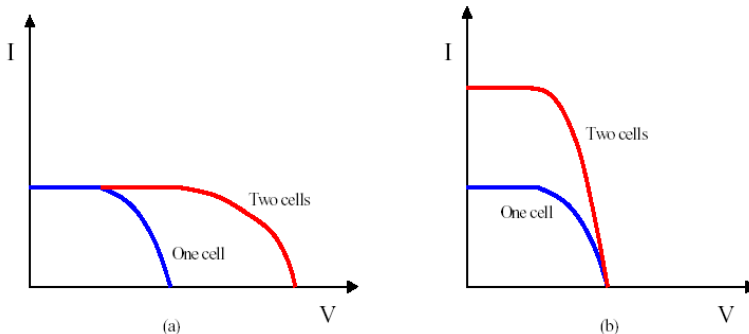
*seeking methods*) bisa mendapatkan tegangan maximum aktual dari besar tegangan dan arus PV. Semua algoritma baik langsung maupun tidak langsung dapat digunakan pada berbagai DC/DC converter, MPPT untuk sistem stands-alone.

Untuk menambah kemampuan dan keandalan dapat dilakukan dengan memperhatikan hal – hal berikut ini seperti yang telah disebutkan sebelumnya:

1. Pengaruh suhu pada arus saturasi diode ( $I_o$ )
2. Pengaruh suhu pada arus yang mengalir dari sumber arus *photovoltaic*
3. Resistor yang dirangkai seri ( $R_s$ )
4. Resistor yang dirangkai parallel ( $R_p$ )
5. Faktor kualitas diode ( $n$ ) yang menjadi parameter variable. Variabel ini tergantung jenis diode yang digunakan. 2 untuk crystalline dan kurang dari 2 untuk amorphous.

### 2.3.5. Pemasangan Secara Seri dan Paralel

Dalam prakteknya untuk mendapatkan besar tegangan dan arus dengan nilai tertentu pada sel surya, maka harus dilakukan pemasangan sel surya secara seri dan paralel. Berikut ini adalah gambar grafik I-V dari dua buah sel surya identik yang dihubungkan secara seri dan paralel :

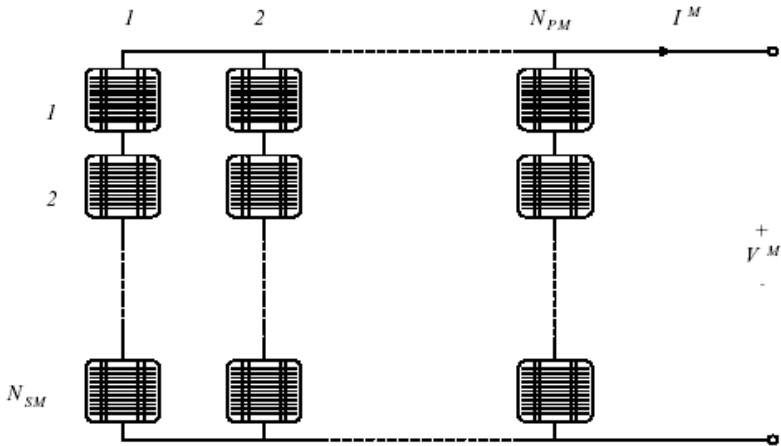


**Gambar 2.5** Sel Surya Dihubungkan (a) Seri (b) Paralel

Berdasarkan gambar 2.5 kita dapat mengetahui bahwa sel surya yang dihubungkan seri tegangan yang dihasilkan adalah hasil penjumlahan dari tegangan masing-masing sel surya tersebut dan arus yang dihasilkan adalah tetap (tidak bertambah seperti pada tegangan),



sedangkan jika dipasang paralel hasilnya adalah kebalikan dari pemasangan seri, yakni arus yang dihasilkan adalah hasil penjumlahan dari arus masing-masing sel surya dan tegangan yang dihasilkan adalah tetap (tidak bertambah seperti pada arus). Oleh karena itu perlu adanya modifikasi pada persamaan yang ada pada sel surya. Berikut ini adalah gambar modul sel surya atau PV modul (gabungan dari beberapa sel surya yang disusun secara seri dan paralel) :



**Gambar 2.6** PV Modul yang Terdiri dari Sel Surya yang Disusun Paralel ( $N_{PM}$ ) dan Sel Surya yang Disusun Seri ( $N_{SM}$ )

Untuk lebih memudahkan dalam penulisan maka parameter akan ditambah dengan superscript M untuk PV modul dan C untuk PV sel , sehingga persamaan untuk arus keluaran PV modul [6] menjadi :

$$I^M = I_{SC}^M \left[ 1 - \exp \left( \frac{V^M - V_{OC}^M + R_S^M \cdot I^M}{N_{SM} V_t^C} \right) \right] \quad (2.11)$$

Dimana : Arus Short Circuit PV Modul  $I_{SC}^M = N_{PM} I_{SC}^C$

Tegangan Open Circuit PV Modul  $V_{OC}^M = N_{SM} V_{OC}^C$

Resistansi seri PV modul  $R_S^M = \frac{N_{SM}}{N_{PM}} \cdot R_S^C$

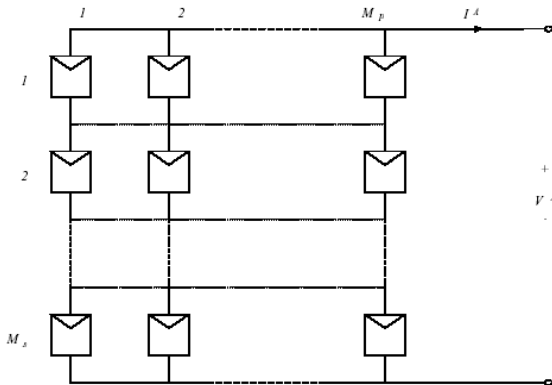
Tegangan Termal PV sel  $V_t^C = nkT/q$

Dalam rangkaian biasanya PV modul yang tersusun dari PV sel dilambangkan dengan gambar sebagai berikut :



**Gambar 2.7** Lambang atau Simbol dari Sebuah PV Modul

Jika PV modul tersebut dipasang dengan PV modul lainnya maka disebut PV Array. PV Array dapat disusun dari PV modul yang dipasang seri maupun paralel, dengan analogi yang sama seperti pada PV sel maka didapat besarnya tegangan PV Array adalah hasil penjumlahan dari masing-masing PV modul yang dipasang seri dan besarnya arus PV Array adalah hasil penjumlahan besarnya arus dari masing-masing PV modul yang dipasang paralel.



**Gambar 2.8** PV Array yang Tersusun dari PV Modul

Jika PV modul adalah identik maka besarnya tegangan dan arus PV Array :

$$V^A = M_s \cdot V^M \quad (2.12)$$

$$I^A = M_p \cdot I^M \quad (2.13)$$

Dimana :  $M_s$  = Jumlah PV modul yang dipasang seri

$M_p$  = Jumlah PV modul yang dipasang paralel

#### 2.4. Maximum Power Point Tracker (MPPT)

Tugas Akhir kali ini menggunakan MPPT dengan *buck-boost converter topology* dengan berbagai perkiraan yang sekiranya dapat mengatasi berbagai kekurangan pada topologi converter sebelumnya.

Beban variable dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan maximum sebagai fungsi dari berbagai kondisi sinar dan suhu yang akan menjadi input-an resistor pada converter. Grafik PV sistem pada berbagai variasi perubahan beban ditunjukkan pada Gambar 2.9.

Ketika sinar matahari bervariasi seperti pada gambar, tiap MPP merespon pada satu nilai input resistor pada converter. Kemudian ketika radiasi matahari maupun temperatur berubah, nilai input resistor yang terlihat pada solar module berubah pada lokasi MPP yang baru dan akan menghasilkan *duty cycle* yang berbeda beda.

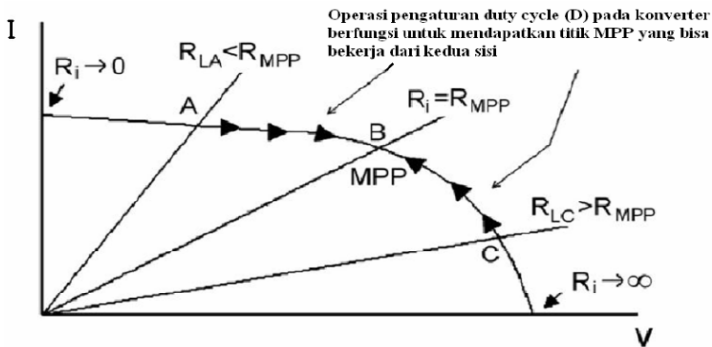
Beberapa cara pada klasifikasi titik daya maximum MPPT pada metode langsung dan tidak langsung antara lain sebagai berikut :

Metode tidak langsung (*quasi seeks*) :

- Metode pencocokan kurva (*curve-fitting method*)
- Metode *look-up table*
- Metode *photovoltaic open circuit voltage*
- Metode *photovoltaic short circuit current*

Metode langsung (true seeking methods) :

- Metode sampling
- Metode melalui modulasi (*method by modulation*)



**Gambar 2.9** Titik Kerja pada Karakteristik Kurva I-V dengan Buck Boost

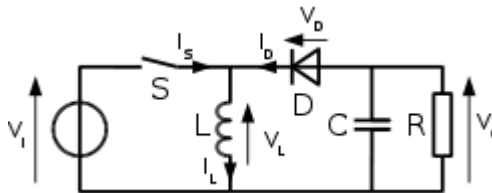
Titik kerja PV akan berubah sesuai dengan perubahan nilai hambatan beban. Berdasarkan grafik tersebut kita juga dapat mengetahui terdapat suatu titik kerja optimal, sehingga didapatkan daya maksimal. Titik kerja tersebut adalah pada  $V_{mp}$ , dan  $I_{mp}$ , dan akan menghasilkan  $P_{max}$ .

*Maximum Power Point Tracker* (MPPT) digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus yang optimal sehingga didapat daya keluaran yang maksimal dari suatu sel surya. Daya keluaran yang maksimal ini akan menghasilkan efisiensi yang tinggi dan mengurangi rugi-rugi suatu sel surya

Adapun prinsip kerja dari MPPT adalah menaikkan dan menurunkan tegangan kerja sel surya. Apabila dalam suatu sistem sel surya, tegangan kerja sel surya jatuh pada daerah disebelah kiri  $V_{mp}$  (tegangan kerja lebih kecil daripada tegangan  $V_{mp}$ ), maka tegangan kerja sel surya akan dinaikkan sampai mencapai  $V_{mp}$ , begitu juga sebaliknya apabila tegangan kerja sel surya lebih besar daripada  $V_{mp}$  (tegangan kerja lebih besar daripada  $V_{mp}$ ), maka tegangan kerja sel surya akan diturunkan sampai mencapai  $V_{mp}$ . Setelah mencapai tegangan *maximum point*, secara otomatis daya keluaran pada sel surya juga akan menjadi maksimal. Adapun yang bertugas untuk menaikkan dan menurunkan tegangan adalah DC/DC konverter

## 2.5. Konverter DC – DC Buck Boost

*Buck boost converter* merupakan salah satu jenis konverter yang bisa menaikkan dan menurunkan tegangan. Tegangan output yang dihasilkan dapat lebih besar atau lebih kecil dari tegangan input. Tegangan output mempunyai polaritas yang terbalik terhadap tegangan input.



**Gambar 2.10** Buck Boost Converter

Adapun persamaan yang digunakan untuk mencari besarnya tegangan output :

$$V_o = \frac{D}{1-D} \cdot V_{in} \quad (2.14)$$

Dimana :

$V_{in}$  = Tegangan input  
 $D$  = Besarnya duty cycle  
 $V_o$  = Tegangan output

Besarnya Arus output :

$$I_o = \frac{1-D}{D} \cdot I_{in} \quad (2.15)$$

Dimana :

$I_{in}$  = Tegangan input  
 $D$  = Besarnya duty cycle  
 $I_o$  = Tegangan output

Buck-Boost konverter ini dioperasikan pada mode CCM (*Continuous Conduction Mode*), oleh karena itu parameter komponen yang digunakan diperoleh melalui persamaan :

$$L_{\min} = \frac{(1-D)^2}{2f} \cdot R \quad (2.16)$$

Dimana :

- $L_{\min}$  = Nilai induktor minimum
- $D$  = Besarnya duty cycle
- $f$  = Frekuensi switching
- $R$  = Nilai hambatan pada sisi output

Sedangkan untuk besarnya nilai kapasitor kita gunakan persamaan :

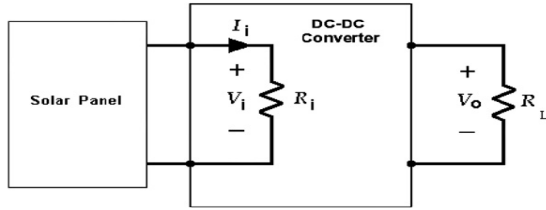
$$C = \frac{V_o \cdot D}{\Delta V_o \cdot R \cdot f} \quad (2.17)$$

Dimana :

- $C$  = Nilai kapasitor
- $D$  = Besarnya Duty Cycle
- $\Delta V_o$  = Besarnya Ripple tegangan pada sisi output
- $R$  = Nilai hambatan pada sisi output
- $f$  = Frekuensi Switching

Penggunaan dari berbagai macam topologi converter telah diperlihatkan pada [2-5] mulai dari *buck converter*, *boost converter* maupun *buck-boost converter*. Pada topologi *buck*, tegangan output tidak akan pernah lebih tinggi daripada tegangan input, oleh karena itu untuk menghasilkan tegangan tinggi AC untuk jala jala listrik diperlukan tambahan *boost converter* atau transformator *step-up*. Sedangkan pada topologi *boost converter* dapat menghasilkan tegangan output lebih tinggi daripada input namun tegangan lebih rendah dari input level tidak diperbolehkan. Dengan *buck-boost converter topology* diharapkan dapat mengatasi masalah tegangan input lebih tinggi atau lebih rendah tersebut berdasarkan *duty ratio*.

Diagram dari panel suryayang dihubungkan dengan converter ditunjukkan pada gambar 2.11, dimana  $R_i$  sebagai tahanan resistansi dalam dari panel surya sebagai masukkan konverter , dan  $R_L$  sebagai beban resistansi dari konverter.

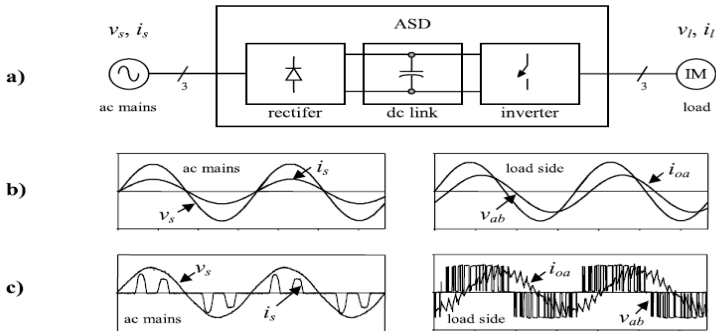


**Gambar 2.11** Panel Surya Terhubung dengan Konverter

Supaya system konverter bekerja secara maksimum maka nilai resistansi input ( $R_i$ ) harus sama dengan nilai resistansi keluaran ( $R_L$ ). Konverter seolah-olah berfungsi sebagai tahanan variabel yang berfungsi untuk mengatur agar nilai tahanan dalam ( $R_i$ ) sama dengan nilai beban ( $R_L$ ) sehingga daya yang dihasilkan panel surya dapat menjadi maksimum.

## 2.6. Inverter DC – AC

Berdasarkan bentuk tegangan outputnya inverter dapat dibedakan sebagai tipe *squarewave* (output sinyal kotak) dan *sinewave* (output sinyal sinus) inverter. Karena jaringan listrik *utility* beroperasi menggunakan sinyal sinusoidal maka tugas akhir ini menggunakan *single phase full bridge inverter* yang cocok untuk residensial atau bangunan.

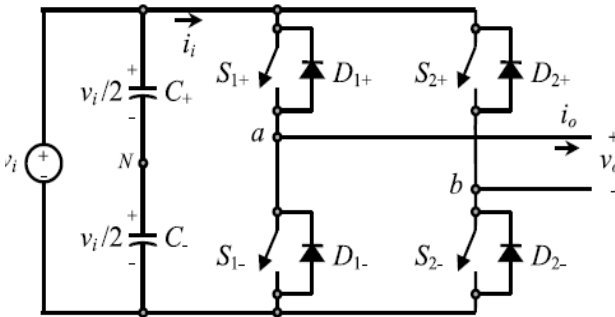


**Gambar 2.12** a) Topologi Konversi Energi

b) Gelombang Input Ideal (ac mains) dan Output Ideal (load side)

c) Gelombang Input Sebenarnya (ac mains) dan Output Sebenarnya (load side)

Skema single phase full bridge inverter secara umum sebagai berikut:



**Gambar 2.13** Single Phase Full Bridge Inverter

**Tabel 2.2** Kondisi Switch Single Phase Full Bridge Inverter [7]

State	State	$v_a$	$v_b$	v
1	1+ & 2- on, 1- & 2+ off	$v/2$	$-v/2$	v
2	1- & 2+ on, 1+ & 2- off	$-v/2$	$v/2$	-v
3	1+ & 2+ on, 1- & 2- off	$v/2$	$v/2$	0
4	1- & 2- on, 1+ & 2+ off	$-v/2$	$-v/2$	0
5	1-, 2-, 1+ dan 2+ semua off	$-v/2$	$v/2$	-v
		$v/2$	$-v/2$	v

Agar outputan dari inverter berupa sinyal sinus, maka digunakan sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM). Hal ini sudah disebutkan pada [7].

### 2.6.1 Sinyal Carrier dan Sinyal Modulasi pada SPWM

Sinyal modulasi merupakan keluaran ac yang diharapkan ( $v_c$ ) dan sinyal carrier adalah gelombang triangular ( $v_\Delta$ ). Jika  $v_c > v_\Delta$  maka switch S+ pada inverter on dan switch S- off. Begitu pula sebaliknya, jika  $v_c < v_\Delta$  maka nswitch S+ off dan switch S- on. Ketika sinyal modulasi berupa gelombang sinusoidal dengan frekuensi  $f_c$  dan amplitudo  $v_c$  dan sinyal triangular dengan frekuensi  $f_\Delta$  dan amplitudo  $v_\Delta$  maka dapat dicari index modulasi ( $m_a$ ).

$$m_a = \frac{v_c}{v_\Delta} \quad (2.18)$$



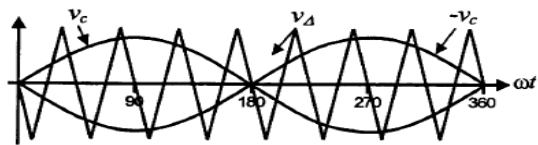
Rasio frekuensi modulasi ( $m_f$ )

$$m_f = \frac{f_\Delta}{f_c} \quad (2.19)$$

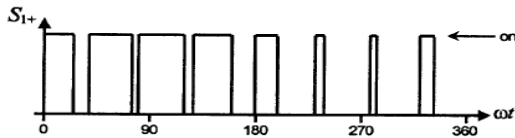
Tegangan inverter ( $v_o$ )

$$v_o = v_i \cdot m_a \quad (2.20)$$

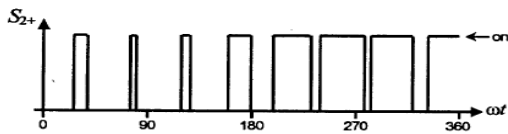
Dimana  $v_i$  adalah tegangan dc terhubung pada inverter.



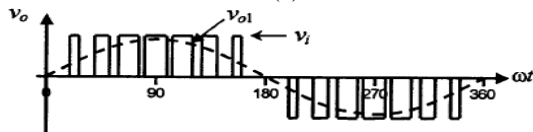
(a)



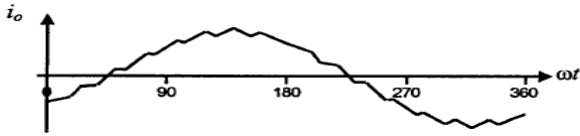
(b)



(c)



(d)

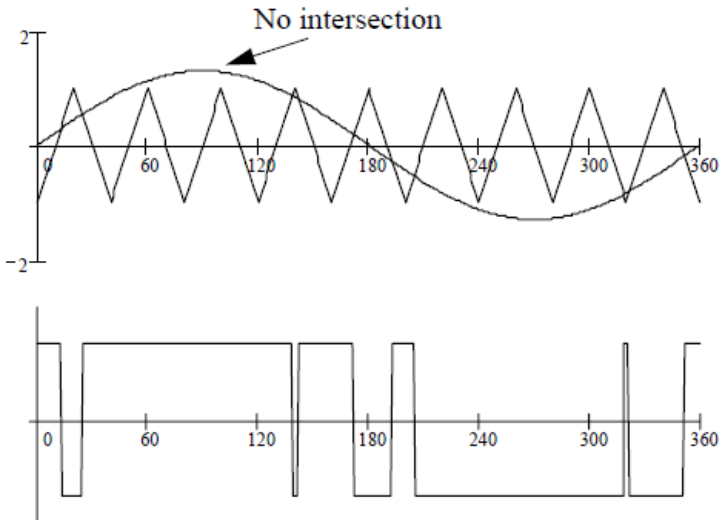


(e)

**Gambar 2.14** Full Bridge Inverter, Gelombang Ideal untuk  $m_a=0.8$  dan  $m_f=0.8$

- (a) Gelombang Carier dan Gelombang Triangular
- (b) Kondisi Switch  $S_{1+}$
- (c) Kondisi Switch  $S_{2+}$
- (d) Tegangan Output ac
- (e) Aarus Output AC

Inverter dapat bekerja dengan baik untuk  $m \leq 1$ , untuk  $m > 1$ , periode gelombang triangular tidak memotong gelombang carier.



**Gambar 2.15** Overmodulasi  $m=1.3$

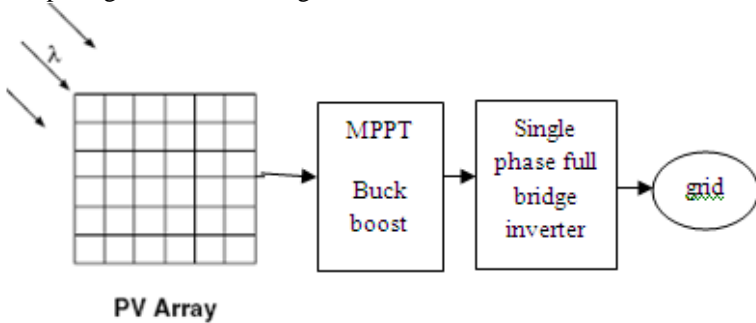
## 2.7. Jaringan Listrik Utility (Grid Connected)

Sistem pembangkitan PV yang tidak terhubung ke jaringan mempunyai keuntungan karena sederhana dan mudah pengontrolannya, namun membutuhkan baterai sebagai penyimpan energi sehingga untuk

pembangkitan daya besar butuh biaya tinggi. Untuk mengatasinya maka dihubungkan dengan sistem jaringan listrik *utility* sebagai media penyimpanan energi. Hal ini dijelaskan pula pada [8].

Inverter yang terhubung dengan grid antara lain adalah Voltage Source Inverter (VSI) dan Current Source Inverter (CSI). Agar photovoltaic inverter dapat terhubung dengan grid, maka diperlukan pengaturan sudut  $\delta$  antara tegangan keluaran inverter dan tegangan grid yang sebelumnya menentukan index modulasi untuk SPWM.

Skema gabungan sistem secara umum digambarkan dengan jelas pada gambar 2.16 sebagai berikut:



**Gambar 2.16** Skema Sistem Keseluruhan Secara Umum

Untuk menghubungkan grid dan inverter menggunakan persamaan:

$$P_{max} = \frac{V_{inv} \cdot V_{grid}}{X_L} \sin \delta \quad (2.21)$$

$$V_{inv} = (V_{dc} / \sqrt{2}) \cdot m \quad (2.22)$$

Dimana

$P_{max}$  = daya maksimum yang diinginkan

$V_{inv}$  = tegangan inverter

$V_{grid}$  = tegangan grid

$\delta$  = sudut antara tegangan keluaran inverter dan tegangan grid

$X_L$  = harga induktor yang menghubungkan antara inverter dengan grid

$V_{dc}$  = tegangan dc yang terhubung ke inverter

m = index modulasi

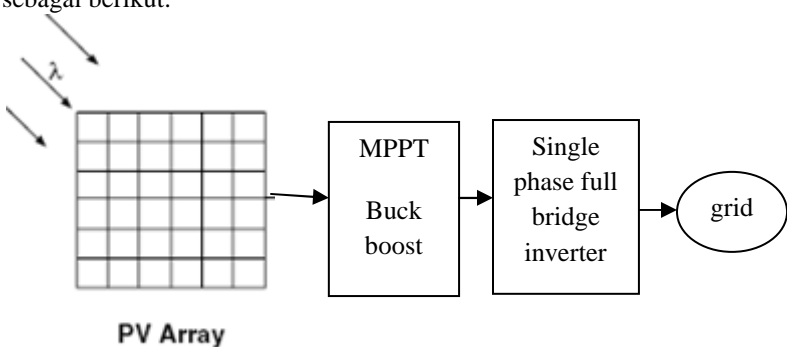
Pemodelan terhadap sistem diatas dilakukan secara terpisah untuk setiap komponen seperti PV, MPPT, serta inverter. Pemodelan sistem keseluruhan dilakukan terhadap berbagai kondisi untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem.

## BAB III

### Pemodelan Photovoltaic (PV) dan Maximum Power Point Tracker Metode Pengukuran Arus Hubung Singkat untuk Optimisasi Daya Interkoneksi dengan Jaringan Distribusi

Aplikasi teknologi *photovoltaic* telah berkembang pesat dan sangat beragam dari yang berskala kecil sampai teknologi satelit komunikasi luar angkasa. Efisiensi konversi energi pada *photovoltaic* tergantung dari berbagai faktor luar antara lain seperti kadar cahaya matahari (*insolation*) yang dapat ditangkap panel surya, suhu dan kondisi beban. MPPT yang terdiri dari dc/dc converter yaitu konverter *buck-boost* akan menghubungkan panel dengan beban. Setelah itu digunakan konverter dc/ac yang biasa disebut inverter untuk menghubungkannya dengan grid.

Secara umum desain sistem perencanaan optimisasi daya pada interkoneksi PV dan jaringan distribusi menggunakan MMPT adalah sebagai berikut:

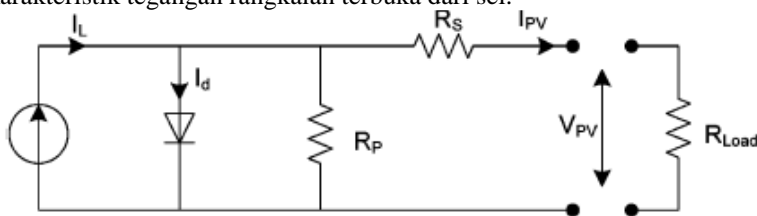


**Gambar 3.1** Diagram Konfigurasi Sistem Keseluruhan

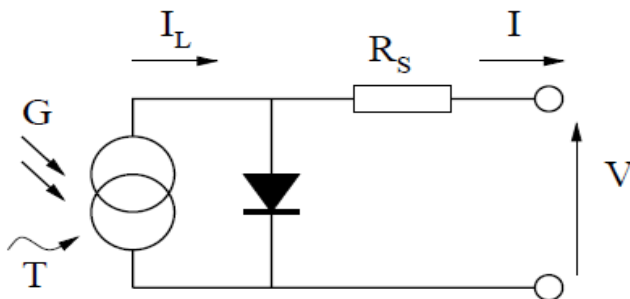
#### 3.1 Pemodelan Photovoltaic

Gambar rangkaian ekuivalen dari panel surya berupa rangkaian pengganti sederhana yang terdiri dari sumber arus yang di parallel dengan diode .

Sel surya terdiri dari p-n junction dalam lapisan kecil semikonduktor. Jika keadaan gelap, karakteristik output V-I dari panel *photovoltaic* hampir sama dengan karakteristik diode yaitu berupa persamaan eksponensial. Namun ketika cahaya mengenai panel *photovoltaic*, suatu energi yang lebih besar dari energy *bandgap* semikonduktor diserap dan membuat pasangan elektron dan lubang (*hole*). Pasangan ini terpisah karena pengaruh medan listrik internal dari *p-n junction* dan menghasilkan arus yang sebanding dengan radiasi cahaya tersebut. Ketika sel mengalami hubung singkat, arus akan mengalir di dalam rangkaian eksternal dan ketika rangkaian terbuka arus akan dialirkan secara internal oleh diode *p-n junction* intrinsik (hanya mengalir arus  $I_L$ ). Karakteristik diode ini membentuk karakteristik tegangan rangkaian terbuka dari sel.



**Gambar 3.2** Rangkaian Sederhana PV



**Gambar 3.3** Rangkaian Pengganti PV Dengan Nilai  $R_S$  Tak Hingga

Hal-hal yang mempengaruhi keandalan dari panel surya adalah:

1. Pengaruh suhu pada arus saturasi diode ( $I_0$ )
2. Pengaruh suhu pada arus yang mengalir dari sumber arus panel surya ( $I_L$ )
3. Resistor yang dirangkai seri ( $R_S$ )

4. Faktor kualitas diode (A) yang menjadi parameter variabel.  
Faktor diode tergantung dari jenis sel surya yang diinginkan.

Persamaan yang memenuhi karakteristik panel surya yang digunakan pada Tugas Akhir ini antara lain:

$$I = I_L - I_0(e^{q(V+IR_s)/nkT} - 1) \quad (3.1)$$

$$I_L = I_{L(T_1)}(1 + K_o(T - T_1)) \quad (3.2)$$

$$I_{L(T_1)} = G * I_{sc(T_{1,nom})}/G_{(nom)} \quad (3.3)$$

$$K_o = (I_{sc(T_2)} - I_{sc(T_1)})/(T_2 - T_1) \quad (3.4)$$

$$I_o = I_{o(T_1)} * (T/T_1)^{3/n} * e^{-qV_g/Ak*(1/T-1/T_1)} \quad (3.5)$$

$$I_{o(T_1)} = I_{sc(T_1)}/(e^{qV_{oc(T_1)}/AkT_1} - 1) \quad (3.6)$$

$$R_s = -dV/dI_{V_{oc}} - 1/X_v \quad (3.7)$$

$$X_v = I_{o(T_1)} * q/AkT_1 * e^{qV_{oc(T_1)}/AkT_1} \quad (3.8)$$

$$V = ((I * R_s) + (V_{t_{T_a}} * \log((I_{ph} - I + I_r)/I_r))) * N_s \quad (3.9)$$

Keterangan :

$I_L$  = Arus Panel Surya

$I_0$  = Arus Saturasi Diode

$R_s$  = Resistor yang Dirangkai Seri

$G$  = Intensitas Sinar Matahari

$K_o$  = Konstanta Sel Surya

Semua konstanta dari persamaan (3.1) sampai (3.9) dapat ditentukan dengan menggunakan parameter-parameter dari panel surya yang kemudian dapat digunakan untuk menentukan karakteristik kurva I-V pada panel surya yang digunakan. Pada Tugas Akhir ini menggunakan panel surya BPSX-60 untuk simulasinya.

**Tabel 3.1** Parameter Panel Surya BPSX-60

<i>Electrical Parameters</i>		<b>Keterangan</b>
A	2	<i>Ideality diode factor of PN junction</i>
$E_g$	1.12 eV	<i>Band gap energy</i>
$n_p$	1	<i>Number of parallel-connected modules</i>
$n_s$	36	<i>Number of series-connected modules</i>
$P_{MAX}$	60 W	<i>Maximum power at standard conditions</i>
$V_{MAX}$	16.8 V	<i>Voltage at the maximum power point</i>
$I_{MAX}$	3.56 A	<i>Current at the maximum power point</i>
NOTC	47 °C	<i>Nominal Operating Cell Temperature</i>
$I_{SC}$	3.87 A	<i>Short-circuit current at standard conditions</i>
$V_{OC}$	21.06 V	<i>Open-circuit voltage at standard conditions</i>
$K_v$	-80 mV/°C	<i><math>V_{OC}</math> temperature coefficient</i>
$K_i$	0.065 %/°C	<i><math>I_{SC}</math> temperature coefficient</i>

Standard Condition : 25 °C dan 1000W/m<sup>2</sup>

Tugas Akhir ini menggunakan panel surya BPSX-60 dengan spesifikasi ditunjukkan pada tabel 3.1 dengan keluaran daya maksimum 60 Watt dan terdiri dari 36 sel surya dengan diode jenis crystalline yang dirangkai secara seri.

Pemodelan simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab 2009a. Program dijalankan dengan cara memasukkan nilai-nilai parameter pada table 3.1 dengan menggunakan persamaan (3.1) sampai dengan persamaan (3.9) dan kemudian disimulasikan dengan menggunakan M-file. Listing program M-File terdapat pada lampiran.

Tugas akhir ini, *photovoltaic* yang digunakan akan disambung dengan grid. Untuk memenuhi *sizing* grid, maka *photovoltaic* modul dibuat menjadi *photovoltaic array* supaya menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar. PV array akan dibuat untuk menghasilkan daya sebesar 5000 Watt dan tegangan sebesar 340 Volt saat iradiasi 1000 Watt/m<sup>2</sup>. Untuk mendapatkan besar tegangan dan arus dengan nilai tertentu pada sel surya, maka harus dilakukan pemasangan sel surya secara seri dan paralel. Persamaan arus keluaran PV modul:

$$I^M = I_{SC}^M \left[ 1 - \exp \left( \frac{V^M - V_{OC}^M + R_S^M \cdot I^M}{N_{SM} V_t^C} \right) \right] \quad (3.10)$$



Dimana :

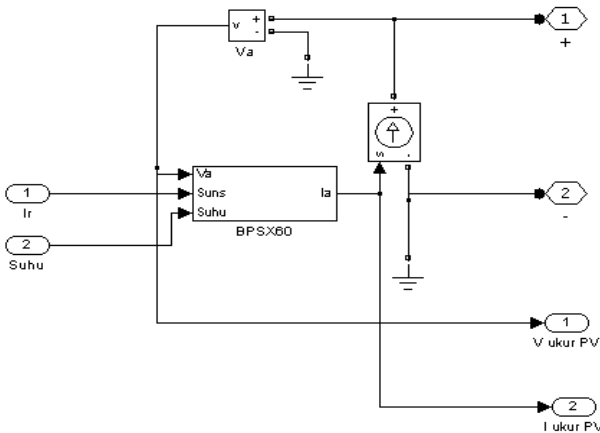
$$\text{Arus Short Circuit PV Modul } I_{SC}^M = N_{PM} I_{SC}^C \quad (3.11)$$

$$\text{Tegangan Open Circuit PV Modul } V_{OC}^M = N_{SM} V_{OC}^C \quad (3.12)$$

$$\text{Resistansi seri PV modul } R_S^M = \frac{N_{SM}}{N_{PM}} \cdot R_S^C \quad (3.13)$$

$$\text{Tegangan Termal PV sel } V_t^C = nkT / q \quad (3.14)$$

Persamaan (3.11) dan (3.12) serta parameter yang ada pada table 3.1 untuk daya sebesar 5000 Watt dan tegangan keluaran 340 Volt, digunakan untuk mendapatkan  $N_{sm} = 21$  dan  $N_{pm} = 4$  yang berarti bahwa PV modul harus di seri sebanyak 21 buah kemudian di paralel sebanyak 4 kali untuk mengasilkan daya keluaran 5000 Watt dan tegangan sebesar 340 Volt.



**Gambar . 3.4** Rangkaian Sistem Panel Surya BPSX60 pada Matlab

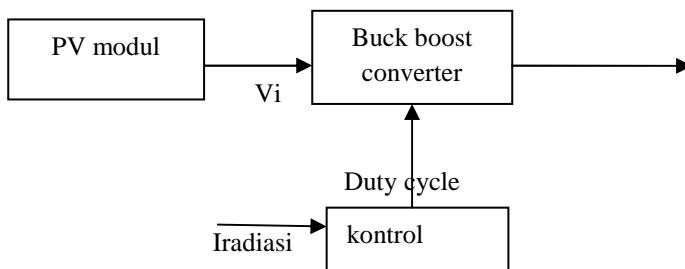
Gambar 3.4 merupakan rangkaian panel surya yang disimulasikan pada Matlab. Pada sistem simulasi panel surya ada dua buah masukan eksternal yaitu tingkat radiasi matahari (Suns) dan suhu kerja dari panel surya yang diperlukan sebagai masukan untuk pemodelan panel surya. Keluaran dari simulasi ini adalah arus ( $I$  ukur

PV) yang apabila dihubungkan ke beban akan menghasilkan nilai tegangan panel surya ( $V$  ukur PV) yang juga berfungsi sebagai *feedback* untuk masukan nilai internal pada pemodelan panel surya tersebut. Hal ini dijelaskan pada gambar 3.4.

### 3.2 Sistem MPPT (Maximum Power Point Tracker) dengan Menggunakan Arus Hubung Singkat ( $I_{sc}$ )

Sistem MPPT dengan menggunakan arus hubung singkat adalah salah satu jenis metode dari MPPT dimana untuk mendeteksi daya keluaran maksimum dengan mencari nilai arus hubung singkat terlebih dahulu.

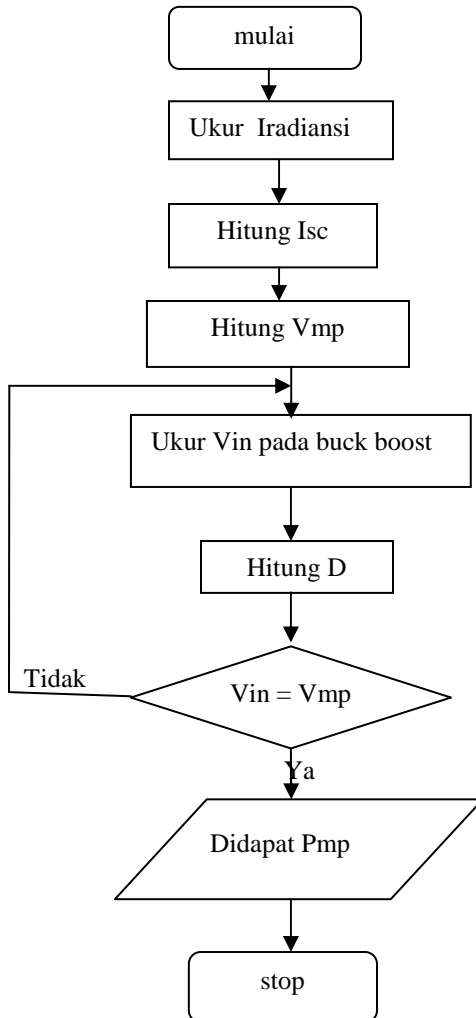
Adapun blok diagram secara umum dari sistem MPPT adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.5** Blok Diagram Secara Umum dari Sistem MPPT

Pada gambar 3.5 PV modul terhubung ke *buck boost converter*. *Buck boost* mendapat tegangan masukan dari PV modul. Kemudian *Buck boost converter* tersebut dikontrol oleh suatu data yang masukannya adalah besar iradiasi dan menghasilkan outputan *duty cycle*. *Duty cycle* itulah yang nantinya akan digunakan sebagai kontrol *buck boost converter* agar dapat menghasilkan tegangan keluaran maksimum.

Berikut merupakan flowchart dari urutan bagaimana mendapatkan parameter-parameter untuk menentukan *duty cycle*:



**Gambar 3.6** Flowchart Metode Isc

Konverter DC-DC *buck boost* yang digunakan pada tugas akhir ini dikontrol dengan menggunakan metode arus hubung singkat untuk mendapatkan nilai titik daya maksimum berdasarkan pada karakteristik kurva  $I_V$  panel surya. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Menghitung arus  $I_{sc}$  untuk iradiasi bervariasi dengan cara simulasi modul PV dihubung singkat. Pada simulasi Matlab mengubah nilai  $R$  menjadi sangat kecil.
2. Menghitung tegangan keluaran maksimum dengan simulasi, dengan cara mengganti nilai  $R$  variabel dari kecil ke besar sampai mendapatkan nilai tegangan keluaran maksimum.
3. Setelah mendapatkan nilai tegangan keluaran *maximum point* dengan mendapatkan besar  $R$  optimum, maka dapat dihitung pula besar *duty cycle* yang akan digunakan untuk mengontrol buck boost konverter. *Duty cycle* dapat dihitung dengan persamaan 2.14. Dimana tegangan masukan adalah tegangan masukan pada modul PV.
4. Setelah didapat data  $I_{rad}$ ,  $I_{sc}$ ,  $V_{mp}$ , serta  $D$  maka data-data tersebut dimasukkan ke dalam lookup table untuk mempermudah kontrol *buck boost*.

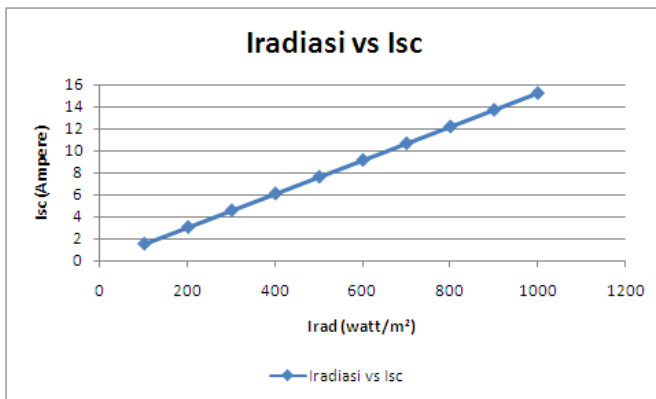
*Maximum Power Point Tracker* (MPPT) digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus yang optimal sehingga didapat daya keluaran yang maksimal dari suatu sel surya. Daya keluaran yang maksimal ini akan menghasilkan efisiensi yang tinggi dan mengurangi rugi-rugi suatu sel surya

Adapun prinsip kerja dari MPPT adalah menaikkan dan menurunkan tegangan kerja sel surya. Apabila dalam suatu sistem sel surya, tegangan kerja sel surya jatuh pada daerah disebelah kiri  $V_{mp}$  (tegangan kerja lebih kecil daripada tegangan  $V_{mp}$ ), maka tegangan kerja sel surya akan dinaikkan sampai mencapai  $V_{mp}$ , begitu juga sebaliknya apabila tegangan kerja sel surya lebih besar daripada  $V_{mp}$  (tegangan kerja lebih besar daripada  $V_{mp}$ ), maka tegangan kerja sel surya akan diturunkan sampai mencapai  $V_{mp}$ . Setelah mencapai tegangan *maximum point*, secara otomatis daya keluaran pada sel surya juga akan menjadi maksimal. Adapun yang bertugas untuk menaikkan dan menurunkan tegangan adalah DC/DC konverter.

Data pada *lookup table* tersebut adalah sebagai berikut:

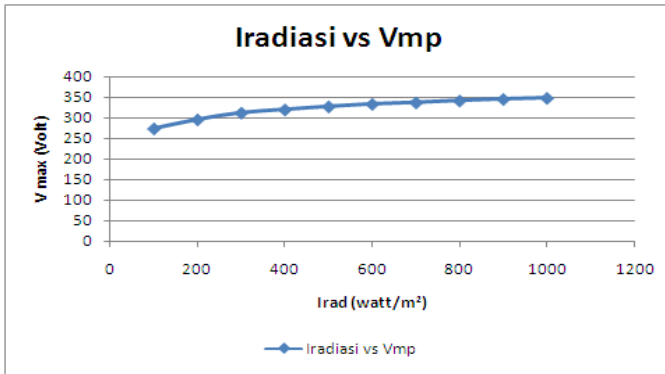
**Table 3.2** Lookup Table Irradiasi, I<sub>sc</sub> dan V<sub>mp</sub>

Irradiasi (Watt/m <sup>2</sup> )	I <sub>sc</sub> (Ampere)	V <sub>mp</sub> (Volt)
100	1.52	273.5
200	3.04	295.6
300	4.56	312.1
400	6.08	320.1
500	7.6	327.5
600	9.12	333.6
700	10.64	337.2
800	12.16	341.9
900	13.68	345.7
1000	15.2	348.3



**Gambar 3.7** Grafik Antara Irradiasi Terhadap I<sub>sc</sub>

Pada gambar 3.7 tampak bahwa semakin tinggi nilai iradiasi maka semakin besar pula nilai I<sub>sc</sub>.



**Gambar 3.8** Grafik Antara Iradiasi Terhadap V mp

Pada gambar 3.8 dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai iradiasi maka semakin besar pula tegangan maksimum yang dihasilkan PV.

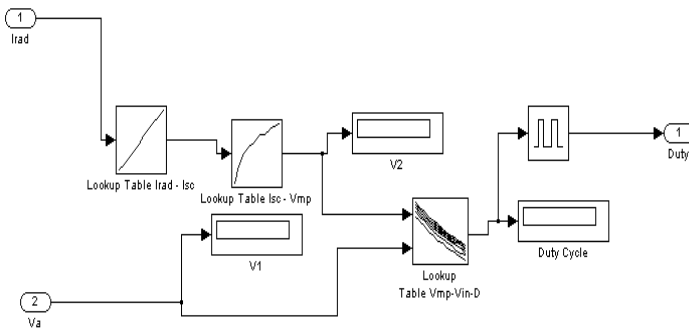
**Tabel 3.3** Lookup Table Duty Cycle

V input (Volt)	V output (Volt)				
	273.5	295.6	312.1	320.1	327.5
250	0.52	0.54	0.55	0.56	0.57
260	0.513	0.53	0.54	0.55	0.56
270	0.5	0.52	0.54	0.54	0.55
280	0.49	0.51	0.53	0.53	0.54
290	0.48	0.5	0.52	0.52	0.53
300	0.48	0.5	0.51	0.52	0.52
310	0.47	0.49	0.5	0.5	0.51
320	0.46	0.48	0.49	0.5	0.5
330	0.45	0.47	0.49	0.49	0.5
340	0.45	0.46	0.48	0.48	0.49
350	0.44	0.46	0.47	0.48	0.48
360	0.43	0.45	0.46	0.47	0.48

V input (Volt)	V output (Volt)				
	333.6	337.2	341.9	345.7	348.3
250	0.57	0.57	0.58	0.58	0.58
260	0.56	0.56	0.57	0.57	0.57
270	0.55	0.55	0.56	0.56	0.56
280	0.54	0.55	0.55	0.55	0.55
290	0.53	0.54	0.54	0.54	0.55
300	0.53	0.53	0.53	0.53	0.54
310	0.52	0.52	0.52	0.53	0.53
320	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52
330	0.5	0.5	0.51	0.51	0.51
340	0.49	0.49	0.5	0.5	0.51
350	0.49	0.49	0.49	0.49	0.5
360	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49

Tabel 3.3 merupakan table *duty cycle* antara tegangan maksimum yang dikeluarkan oleh *buck boost* dengan tegangan masukan pada PV dengan menggunakan rumus *duty cycle* pada *buck boost*.

Tabel 3.2 dan 3.3 digunakan sebagai system kontrol bagi *buck boost converter* agar dapat menghasilkan keluaran maksimum.



**Gambar 3.9** Kontrol MPPT Lookup Table pada Matlab

Gambar 3.9 merupakan simulasi kontrol *buck boost* pada Matlab dengan memasukkan data kontrol pada *lookup table*. Blok kontrol MPPT dengan metode *lookup table* pada gambar 3.8 berfungsi untuk mengontrol *duty cycle* secara otomatis apabila terjadi perubahan tingkat intensitas cahaya matahari dan terjadi perubahan beban sehingga akan menghasilkan daya maksimum.

### 3.3 Pemodelan Buck Boost

Konverter DC-DC topologi *buck-boost* merupakan jenis konverter yang dapat menghasilkan magnitud tegangan output DC lebih besar maupun lebih kecil daripada tegangan input DC. Hal ini dapat dicapai karena dengan cara pengaturan waktu *switching* dari konverter yang dilakukan dengan teknik PWM dengan frekuensi yang konstan.

Perbandingan waktu kerjanya adalah waktu *switching* ( $T_{ON}$ ) terhadap periode waktu total ( $T_C$ ) disebut dengan *Duty cycle* (D) dimana untuk pengontrolannya dilakukan oleh system elektronik.

Parameter buck boost dicari dengan menggunakan persamaan

$$L_{\min} = \frac{(1 - D)^2}{2f} \cdot R \quad (3.15)$$

$$C = \frac{V_o \cdot D}{\Delta V_o \cdot R \cdot f} \quad (3.16)$$

Daya keluaran ( $P_o$ ) yang diharapkan sebesar 5000 Watt dengan tegangan ( $V_o$ ) sebesar 340 Volt maka besar resistansi (R) adalah  $\frac{V_o^2}{P_o} = \frac{340^2}{5000} = 23.12 \Omega$

Arus keluaran ( $I_o$ ) sebesar  $\frac{P_o}{V_o} = \frac{5000}{340} = 14.7$  Ampere

Dianggap *ripple* dari tegangan output adalah 5% , jadi  $\Delta V_o = 5\% V_o$   
 $\Delta V_o = 5\% \times 340 = 17$

*Duty cycle* yang digunakan sebesar 0.3 atau 30%

Frekuensi yang digunakan sebesar 1KHz

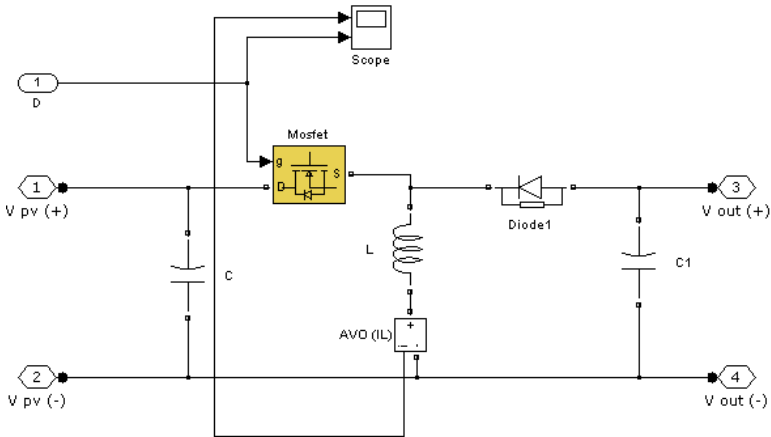
Dari data diatas maka dapat dihitung nilai kapasitor (C) dan induktor (L) dari *buck boost* konverter tersebut.

$$L = \frac{(1 - D)^2 R}{2f} = \frac{(1 - 0.3)^2 \cdot 23,12}{2 \cdot 10^3} = 5.66 \times 10^{-3} \text{ Henry}$$



$$C = \frac{V_o \cdot D}{\Delta V_o \cdot R \cdot f} = \frac{340 \times 0,3}{17 \times 23,12 \times 10^3} = 2,59 \times 10^{-4} \text{ Farad}$$

Jadi, didapat nilai  $L = 2,446 \times 10^{-4}$  Henry dan  $C = 4,67 \times 10^{-5}$  Farad.



**Gambar 3.10** Simulasi Konverter Buck Boost pada Matlab

Gambar 3.10 menunjukkan simulasi rangkaian *buck boost* pada Matlab. Simulasi rangkaian *converter buck boost* pada Matlab dirancang bekerja pada kondisi CCM (*Continous Conduction Mode*), maka berdasarkan hasil pengujian nilai induktor dan kapasitor ditunjukkan pada tabel 3.4.

**Tabel 3.4** Parameter Buck Boost

Induktor / Kapasitor	Keterangan
L (Induktor)	5660 $\mu\text{H}$
C (Kapasitor)	259 $\mu\text{F}$
C1 (Kapasitor)	259 $\mu\text{F}$

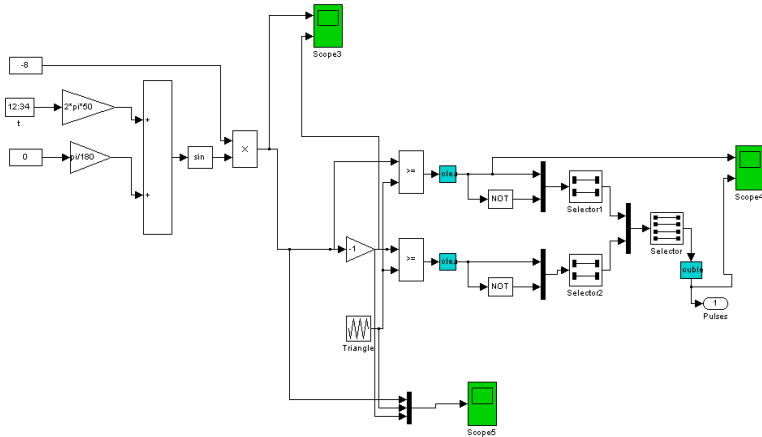
### 3.4 Pemodelan Inverter Full Bridge Single Phase Terhubung dengan Grid

Grid yang digunakan adalah *Vac single phase 220V/50 Hz*, oleh karena itu digunakan inverter *full bridge single phase* dengan menggunakan *sinusoidal Pulse Width Modulation* untuk menghasilkan

gelombang output sinusoidal. Untuk bisa terhubung dengan grid maka dilakukan penentuan index modulasi ( $m$ ) dan sudut fase  $\delta$  antara tegangan grid dengan tegangan inverter. Untuk tugas akhir kali ini, daya yang akan disalurkan sebesar 5000 Watt, dengan memperhitungkan daya *miss match* yang ada, maka daya yang akan disalurkan sekitar 4000 Watt dengan tegangan sebesar 340 Volt. Dengan menggunakan persamaan aliran daya dua sumber pada persamaan 3.17 dan 3.18 untuk  $V_{grid}$  220 Volt dengan lik induktor sebesar 4mH maka diperoleh besar sudut  $\delta$  adalah  $6.82^\circ$  dengan  $m=0.8$ . Perhitungan tersebut didapat dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

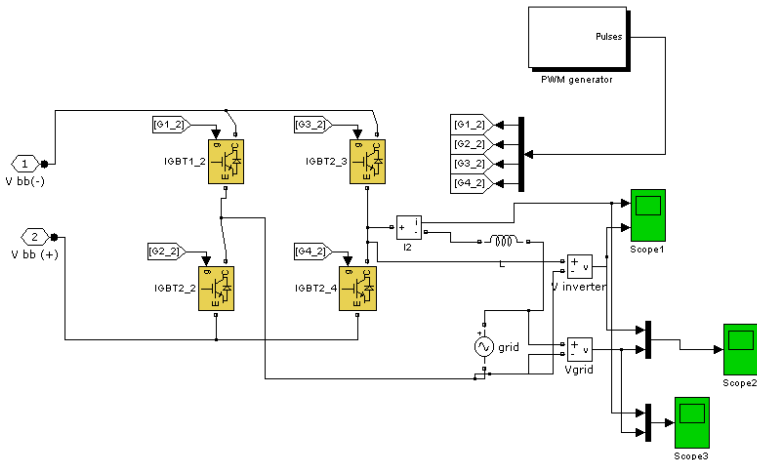
$$P_{max} = \frac{V_{inv} V_{grid}}{X_L} \sin \delta \quad (3.17)$$

$$V_{inv} = (V_{dc} / \sqrt{2}) \cdot m \quad (3.18)$$



**Gambar 3.11** Simulasi PWM Generator

Gambar 3.11 merupakan sinusoidal PWM yang digunakan sebagai kontrol dari inverter. Inverter *full bridge single phase* menggunakan Sinusoidal PWM untuk menghasilkan outputan yang berbentuk sinusoidal. SPWM tersebut terdiri dari gelombang modulasi dengan amplitude 8 dan gelombang triangular dengan amplitude 10 agar dapat menghasilkan index modulasi sebesar 0.8.

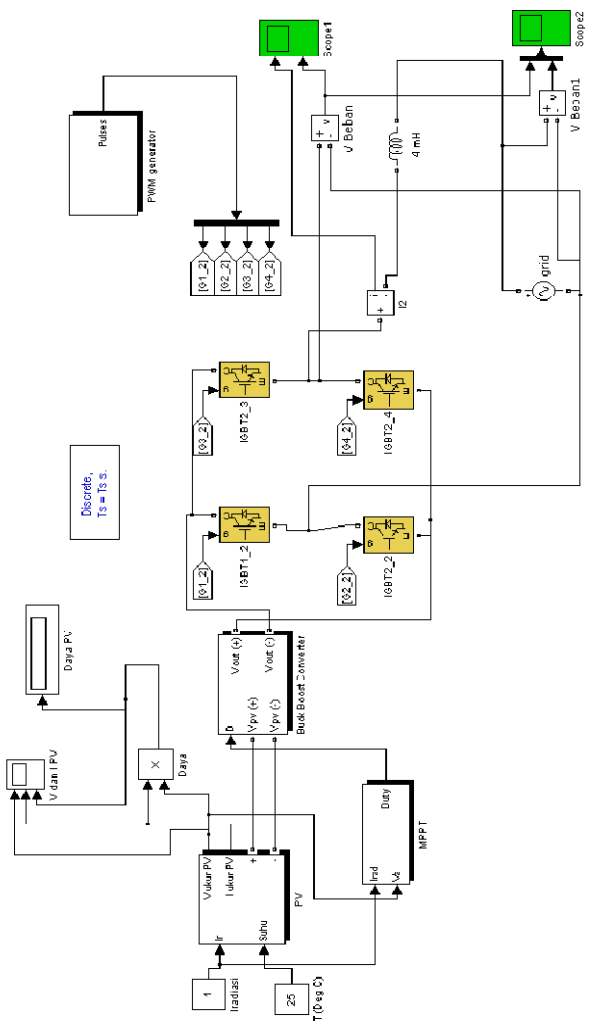


**Gambar 3.12** Rangkaian Inverter Terhubung Dengan Grid

Dengan adanya index modulasi sebesar 0.8 maka didapat pula besar sudut fasa  $\delta$  antara tegangan grid dan tegangan inverter sebesar  $6.82^\circ$ .

### 3.5 Rangkaian Utama

Dalam Tugas Akhir ini, simulasi dibuat dengan menggunakan software MATLAB 2009a. Gambar 3.13 menunjukkan rangkaian simulasi yang secara garis besar menggambarkan simulasi yang dibuat. Adapun rangkaian keseluruhan system ada pada gambar 3.13. Pengukuran nilai dari *duty cycle* (D) ditentukan secara otomatis dengan menggunakan metode lookup table. Duty cycle inilah yang akan menentukan kerja converter DC-DC buck-boost yang juga akan mempengaruhi besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya beserta sistem MMPT.



**Gambar.3.13** Rangkaian Utama PV Terkoneksi ke Grid

## **BAB IV**

### **HASIL SIMULASI dan ANALISIS**

Bab ini akan membahas mengenai hasil simulasi dan analisis data dari pengujian terhadap sistem modul PV yang meliputi :

1. Model PV pada keadaan iradiansi tertentu dengan R variabel
2. modul PV yang dihubungkan ke MPPT dengan R variabel
3. modul PV beserta MPPT yang dihubungkan ke grid melalui *single phase full bridge inverter*.

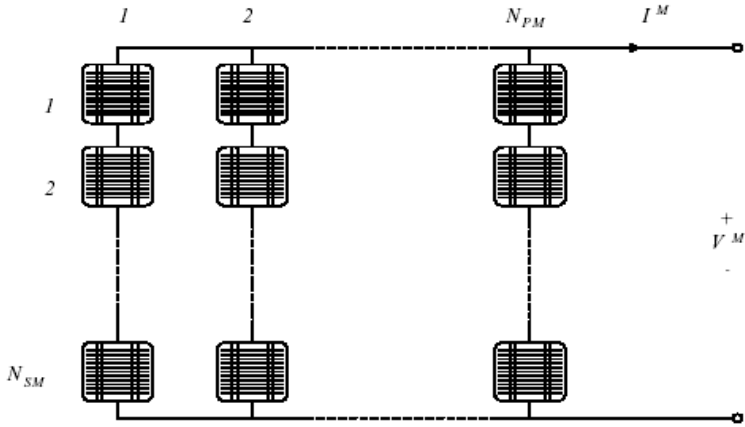
Semua pengujian dilakukan pada suhu 25°C.

Data yang akan dianalisis meliputi :

1. Tegangan, arus dan daya modul PV pada iradiansi tertentu dengan R variabel
2. Tegangan, arus dan daya modul PV yang terhubung ke MPPT pada iradiansi tertentu dengan R variabel
3. Tegangan, arus dan daya dari PV beserta MPPT yang terhubung ke grid.

#### **4.1 Pengujian Model PV**

Beban yang akan disambungkan ke PV adalah *single phase grid* 220 Vac/50 Hz, maka model PV pada Matlab yaitu PV BPSX-60 yang akan digunakan perlu dimodifikasi untuk dapat disambungkan ke grid karena model PV tersebut merupakan model untuk satu panel. Modifikasi ini dilakukan karena PV BPSX60 hanya mampu memberikan daya sebesar 60 Wattpeak saat kondisi *maximum point*. Untuk menghasilkan PV 5000 Watt/340 Volt maka panel PV akan diseri sebanyak 21 kemudian diparalel sebanyak 4 kali ditunjukkan pada gambar 4.1. Sedangkan data pengukuran radiasi matahari untuk PV BPSX-60 dengan daya 60 Wattpeak selama satu hari ditunjukkan pada lampiran.



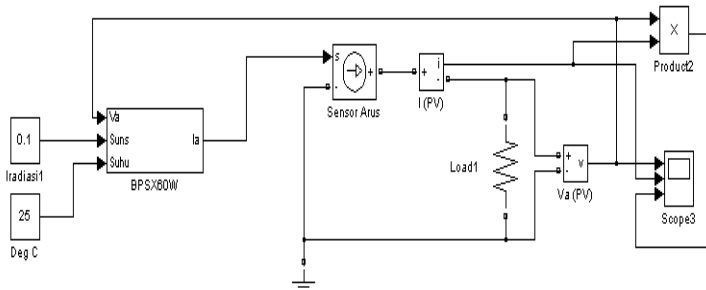
**Gambar 4.1** PV Modul yang Terdiri dari Sel Surya yang Disusun Paralel ( $N_{PM}=4$ ) dan Sel Surya yang Disusun Seri ( $N_{SM}=21$ )

Saat PV BPSX di seri 21 buah kemudian di paralel 4 kali , dengan menggunakan parameter PV BPSX 60 pada tabel 3.1 maka tegangan dan arus total yang dihasilkan PV modul pada gambar 4.1 adalah sebagai berikut:

$$V_{max} = 16.8 \times 21 = 352.8 \text{ Volt}$$

$$I_{max} = 3.56 \times 4 = 14.24 \text{ Ampere}$$

Dengan efisiensi untuk satu panel surya adalah sebesar 12%.



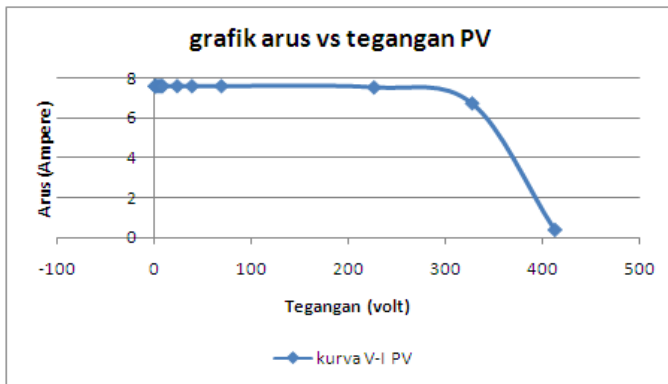
**Gambar 4.2** Modul PV BPSX60 yang Dihubungkan dengan Beban yang Bervariasi

Hasil simulasi modul PV ditunjukkan pada tabel 4.1 dan tabel 4.2

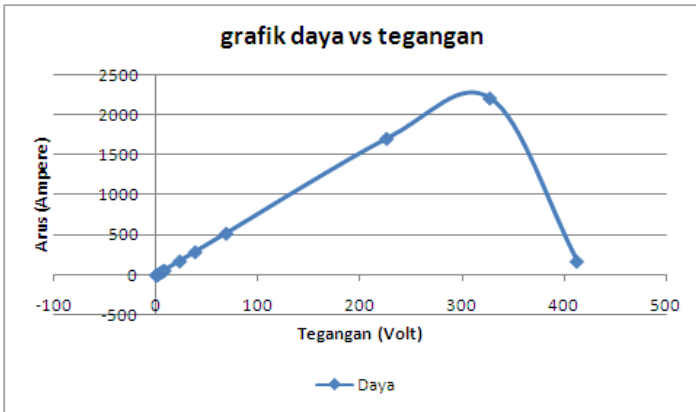
#### 4.1.1 Pengujian PV untuk Iradiasi 500 Watt/m<sup>2</sup>

**Tabel 4.1** Tegangan, Arus dan Daya PV

R(ohm)	V (volt)	I (ampere)	P=V.I(watt)
0.0001	0.00076	7.6	0.005776
0.001	0.0076	7.6	2.888
0.05	0.38	7.6	2.888
0.2	1.52	7.6	11.55
0.5	3.8	7.6	28.88
0.7	5.32	7.6	40.43
0.9	6.84	7.6	51.98
1	7.6	7.599	462
3	22.8	7.599	519.7
5	38	7.599	577.4
9	68.39	7.591	1152
30	226.1	7.536	1704
48.6	327.5	6.74	2208
1000	413	0.413	170.5



**Gambar 4.3** Kurva Tegangan dan Arus PV (Iradiasi 500 Watt/m<sup>2</sup>)



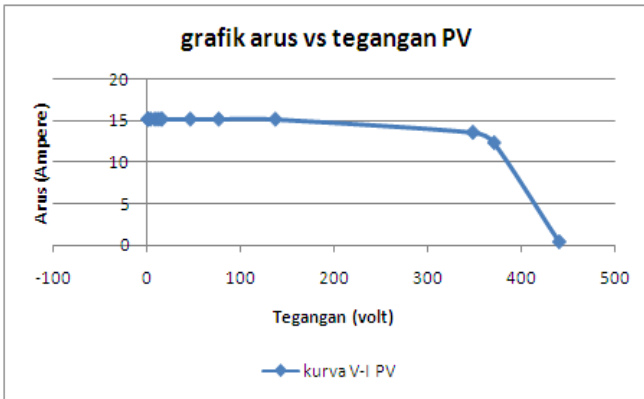
**Gambar 4.4** Kurva Daya PV (Iradiasi 500 Watt/m<sup>2</sup>)

#### 4.1.2 Pengujian PV untuk Iradiasi 1000 Watt/m<sup>2</sup>

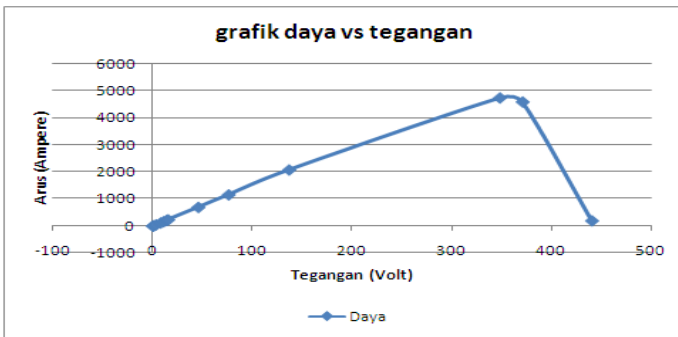
**Tabel 4.2** Tegangan, Arus dan Daya PV

<b>R(ohm)</b>	<b>V (volt)</b>	<b>I (ampere)</b>	<b>P=V.I(watt)</b>
0.0001	0.00152	15.2	0.0231
0.001	0.0152	15.2	0.231
0.05	0.76	15.2	11.55
0.2	3.04	15.2	46.21
0.5	7.6	15.2	115.5
0.7	10.64	15.2	161.7
0.9	13.68	15.2	207.9
1	15.2	15.2	231
3	45.6	15.2	693.1
5	75.99	15.2	1155
9	136.7	15.19	2077
25.6	348.3	13.61	4740
30	371.2	12.37	4592
1000	440.9	0.4409	194.4



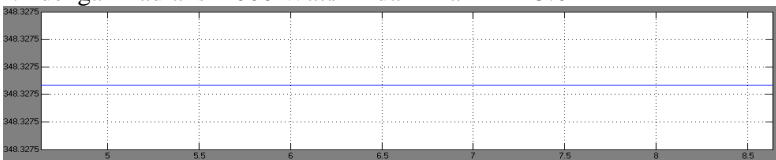


**Gambar 4.5** Kurva Tegangan dan Arus PV (Iradiasi 1000 Watt/m<sup>2</sup>)

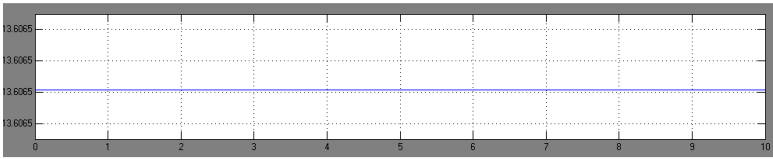


**Gambar 4.6** Kurva Daya PV (Iradiasi 1000 watt/m<sup>2</sup>)

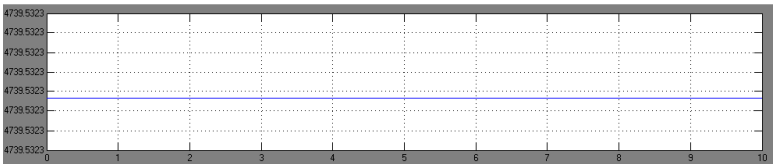
Berikut hasil dari simulasi Matlab modul PV yang ditunjukkan gambar 4.2 dengan iradiansi 1000 Watt/m<sup>2</sup> dan nilai  $R = 25.6 \Omega$



**Gambar 4.7** Tegangan Keluaran mMaksimum Pada PV Tanpa MPPT Dengan  $Suns = 1000 \text{ Watt/m}^2$



**Gambar 4.8** Arus Keluaran Maksimum Pada PV Tanpa MPPT Dengan Suns = 1000 Watt/m<sup>2</sup>



**Gambar 4.9** Daya Keluaran Maksimum pPada PV Tanpa MPPT Dengan Suns = 1000 Watt/m<sup>2</sup>

Hasil simulasi pada gambar 4.7 sampai gambar 4.9 menunjukkan bahwa tegangan output panel PV tidak mengandung komponen ac (*ripple*). Hal ini disebabkan karena tidak ada frekuensi switching pada sistem ini.

Pada gambar 4.3 sampai dengan gambar 4.6 dapat diketahui nilai daya maksimum untuk masing-masing kondisi iradiasi. Nilai daya bisa didapatkan dengan mengubah ubah nilai resistansi dari kecil sampai besar. Pada saat iradiasi 500 Watt/m<sup>2</sup>, PV mampu menghasilkan daya maksimum sebesar 2208 Watt. Sedangkan pada iradiasi 1000 Watt/m<sup>2</sup>, PV mampu menghasilkan daya yang lebih besar yaitu 4740 Watt.

Selain itu, dari data pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 dapat diketahui besarnya nilai Voc dan Isc untuk masing-masing iradiasi. Nilai Voc pada kondisi iradiasi 500 Watt/m<sup>2</sup> adalah sebesar 413 Volt, dan sebesar 440.9 Volt untuk iradiasi 1000 Watt/m<sup>2</sup>.

Sedangkan nilai Isc untuk kondisi iradiasi 500 Watt/m<sup>2</sup> adalah sebesar 7.6 Ampere, dan 15.2 Ampere saat iradiasi 1000 Watt/m<sup>2</sup>.

#### **4.2 Pengujian Sistem PV yang Dihubungkan dengan MPPT**

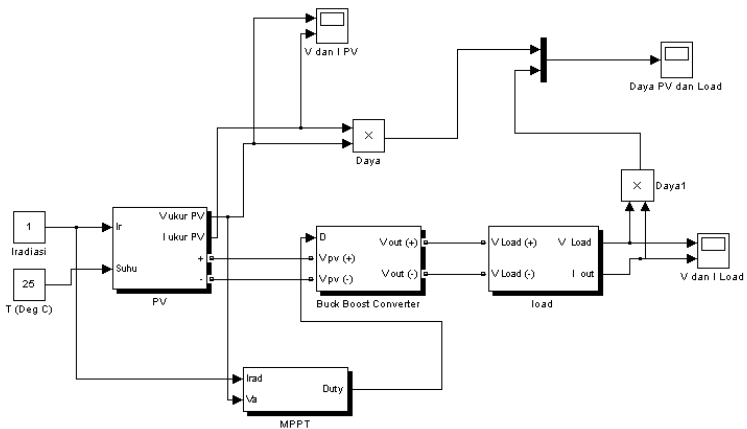
Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan PV BPSX60 dengan MPPT. Data yang akan dianalisis adalah daya beban serta ratio daya antara sesudah dan sebelum menggunakan MPPT. Untuk mempermudah perbandingan data, maka iradiasi yang akan digunakan

dalam simulasi PV terhubung MPPT adalah 500 Watt/m<sup>2</sup> dan 1000 Watt/m<sup>2</sup>.

Daya maksimum *nameplate* adalah daya maksimum yang harus keluar pada suatu kondisi intensitas cahaya tertentu, misal saat iradiasi 1000 Watt/m<sup>2</sup> maka daya maksimum yang harus muncul adalah 4740 Watt.

**Tabel 4.3** Daya Maksimum Nameplate, Vmp, Imp dan Isc Untuk Iradiasi yang Berbeda

Iradiasi (Watt/m <sup>2</sup> )	Pmaks Nameplate (Watt)	Vmp (Volt)	Imp (Ampere)	Isc (Ampere)
100	360.9	273.5	1.32	1.52
200	792.2	295.6	2.68	3.04
300	1249	312.1	4	4.56
400	1723	320.1	5.38	6.08
500	2208	327.5	6.74	7.6
600	2702	333.6	8.09	9.12
700	3204	337.2	9.5	10.64
800	3711	341.9	10.85	12.16
900	4223	345.7	12.22	13.68
1000	4740	348.3	13.6	15.2



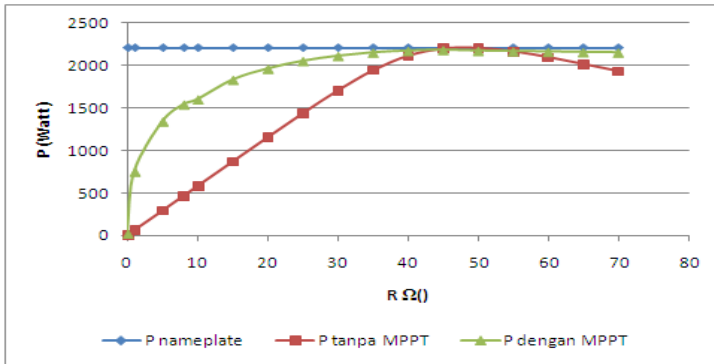
**Gambar 4.10** Modul PV BPSX60 yang Dihubungkan Dengan MPPT

#### 4.2.1 Pengujian PV Terhubung MPPT pada Iradiasi 500 Watt/m<sup>2</sup>

Pengujian dilakukan dengan mengukur besarnya daya output pada beban pada keadaan *steady state*.

**Tabel 4.4** Daya Load Tanpa dan Dengan MPPT

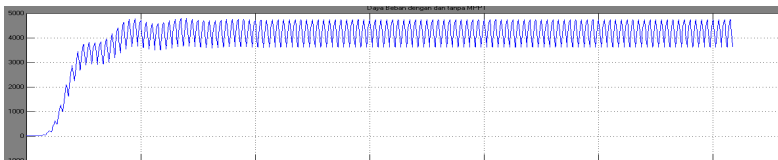
<b>R (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Pmaks Nameplate (Watt)</b>	<b>P Load Tanpa MPPT (Watt)</b>	<b>P Load Dengan MPPT (Watt)</b>
0.01	2208	0.5776	21.13
1	2208	57.76	750
5	2208	288.8	1340
8	2208	462	1540
10	2208	577.4	1600
15	2208	865.6	1830
20	2208	1152	1960
25	2208	1435	2050
30	2208	1704	2110
35	2208	1940	2150
40	2208	2111	2170
45	2208	2196	2180
50	2208	2203	2170
55	2208	2161	2165
60	2208	2092	2160
65	2208	2011	2155
70	2208	1928	2150



**Gambar 4.11** Grafik Daya Beban Tanpa dan Dengan Menggunakan MPPT (Iradiasi 500 Watt/m<sup>2</sup>)

#### 4.2.2 Pengujian PV Terhubung MPPT pada Iradiansi 1000 Watt/m<sup>2</sup>

Berikut merupakan hasil dari simulasi pada gambar 4.10 dengan iradiansi 1000 Watt/m<sup>2</sup> dan R = 13Ω.



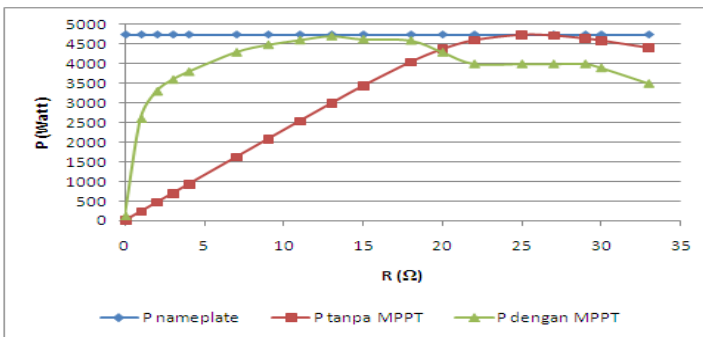
**Gambar 4.12** Daya Beban Dengan MPPT

Pada gambar 4.12 dapat dilihat bahwa ternyata bentuk gelombang daya berupa sinus. Gelombang ini terjadi akibat sinyal gangguan pada switching converter sebesar 10kHz, sehingga gelombang sinus pada daya juga mempunyai frekuensi 10 kHz.

Setelah didapatkan daya beban tanpa dan dengan MPPT untuk masing-masing kondisi iradiansi, maka ratio daya dapat dihitung dengan cara membagi daya beban dengan daya maksimal yang dikeluarkan PV modul.

**Tabel 4.5** Daya Load Tanpa dan Dengan MPPT

R ( $\Omega$ )	Pmaks Nameplate (Watt)	P Load Tanpa MPPT (Watt)	P Load Dengan MPPT (Watt)
0.01	4740	2.31	114.2
1	4740	231	2600
2	4740	462.1	3300
3	4740	693.1	3600
4	4740	924.1	3800
7	4740	1617	4300
9	4740	2077	4490
11	4740	2536	4610
13	4740	2990	4710
15	4740	3433	4630
18	4740	4042	4600
20	4740	4371	4550
22	4740	4600	4000
25	4740	4738	4000
27	4740	4719	4000
29	4740	4644	4000
30	4740	4592	3900
33	4740	4408	3500



**Gambar 4.13** Grafik Daya Beban Tanpa dan Dengan MPPT (Iradiasi 1000 Watt/m<sup>2</sup>)

### 4.2.3 Ratio Daya pada Iradiasi 500 Watt/m<sup>2</sup>

**Tabel. 4.6** Data Ratio Daya Tanpa dan Dengan MPPT Untuk  
 $I_r = 500 \text{ W/m}^2$ .

<b>R (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Ratio Daya Tanpa MPPT (%)</b>	<b>Ratio Daya Dengan MPPT (%)</b>
0.01	0.026	0.96
1	2.6	33.97
5	13.08	60.69
8	20.92	69.75
10	26.15	72.46
15	39.2	82.88
20	52.17	88.77
25	64.99	92.84
30	77.17	95.56
35	87.86	97.37
40	95.61	98.28
45	99.46	98.73
50	99.77	98.28
55	97.87	98.05
60	94.75	97.83
65	91.08	97.6
70	87.32	97.4

Dari tabel 4.6 dapat dicari ratio daya rata-rata untuk PV tanpa MPPT dan PV dengan MPPT. Didapatkan ratio daya rata-rata sebagai berikut:

Ratio daya rata-rata tanpa MPPT : 61.77%

Ratio daya rata-rata dengan MPPT : 81.2%

#### 4.2.4 Ratio Daya pada Iradiasi 1000 Watt/m<sup>2</sup>

**Tabel. 4.7** Data Ratio Daya Tanpa dan Dengan MPPT Untuk  
 $I_r = 1000 \text{ W/m}^2$ .

<b>R (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Ratio Daya Tanpa MPPT (%)</b>	<b>Ratio Daya Dengan MPPT (%)</b>
0.01	0.049	2.4
1	4.87	54.85
2	9.75	69.62
3	14.62	75.95
4	19.49	80.17
7	94.11	90.72
9	43.82	94.72
11	53.50	97.26
13	63.08	99.37
15	72.43	97.67
18	85.27	97.04
20	92.21	95.99
22	97.05	84.4
25	99.96	84.4
27	99.56	84.4
29	97.97	84.4
30	96.88	82.3
33	92.99	73.83

Dari tabel 4.7 dapat dicari ratio daya rata-rata untuk PV tanpa MPPT dan PV dengan MPPT. Didapatkan ratio daya rata-rata sebagai berikut:

Ratio daya rata-rata tanpa MPPT : 59.87%

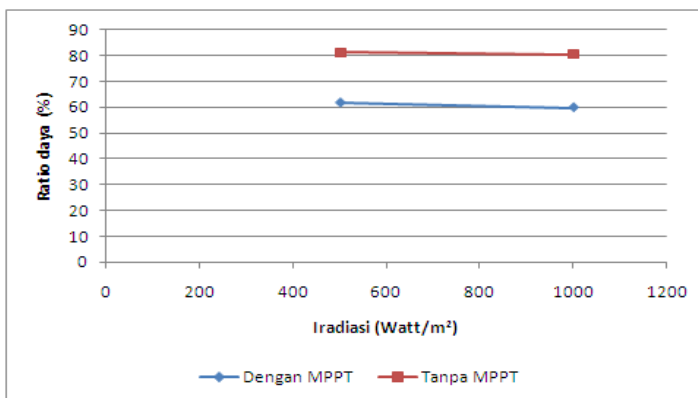
Ratio daya rata-rata dengan MPPT : 80.53%

Berdasarkan ratio daya rata-rata, PV dengan MPPT mempunyai ratio daya lebih tinggi dibanding PV tanpa MPPT.



**Tabel 4.8** Ratio Daya Rata – Rata Untuk Iradiasi Berbeda

Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Ratio Daya Tanpa MPPT (%)	Ratio Daya Dengan MPPT (%)
500	61.77	81.2
1000	59.87	80.53

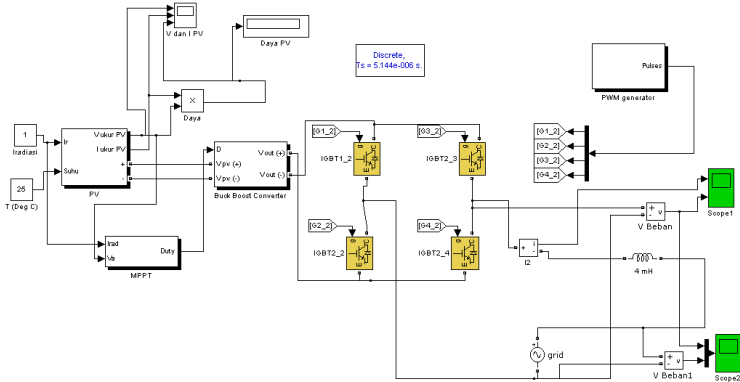


**Gambar 4.14** Ratio Daya Rata-Rata

Dari kedua pengujian tersebut didapatkan, modul PV yang menggunakan MPPT mempunyai ratio daya yang lebih tinggi daripada modul PV yang tidak menggunakan MPPT, oleh karena itu MPPT dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi modul PV yang dihubungkan pada beban yang berubah-ubah.

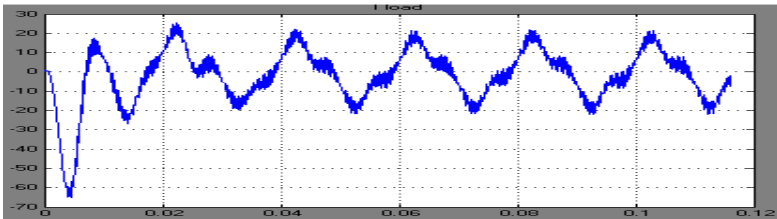
### 4.3 Pengujian Modul PV yang Terhubung MPPT ke Grid

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan modul PV dengan sumber yang lain yaitu grid. Adapun data yang akan dianalisis adalah tegangan inverter, tegangan grid, arus grid, serta daya yang tercatat ke grid. Pengujian dan analisis dengan menggunakan iradiansi 1000 Watt/m<sup>2</sup>.

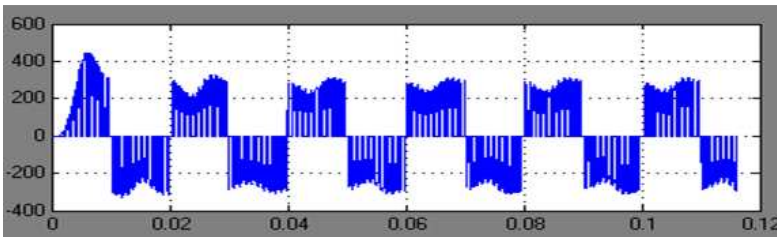


**Gambar 4.15** Rangkaian PV yang Terhubung ke Grid

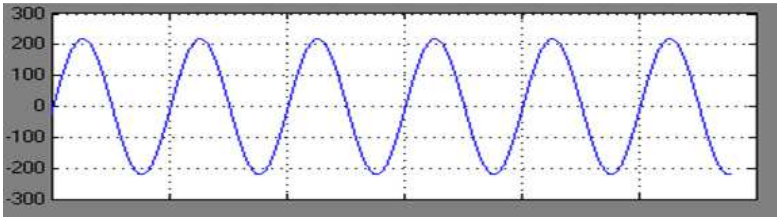
Dari hasil simulasi gambar 4.15 dengan  $m = 0.8$ ,  $V_{grid} = 220$  Volt, link induktor =  $0.04$  mH ,  $P_{max} = 4000$  watt maka diperoleh sudut  $\delta$  sebesar  $6.83^\circ$ .



**Gambar 4.16** Gelombang I load



**Gambar 4.17** Tegangan Inverter



**Gambar 4.18** Tegangan Grid

Gambar 4.16 dan gambar 4.17 merupakan gelombang arus beban dan gelombang tegangan inverter. Sedangkan gambar 4.18 menunjukkan tegangan grid. Sudut antara tegangan inverter dan tegangan grid terdapat beda fasa  $\delta$  sebesar  $6.82^\circ$ .

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari simulasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya puncak maksimum PV diperoleh dengan penelusuran karakteristik PV berdasarkan parameter solar irradiasi dan temperature.
2. PV menggunakan MPPT mampu menghasilkan ratio daya lebih tinggi dibanding PV yang tidak menggunakan MPPT, saat iradiasi 500 Watt/m<sup>2</sup> ratio daya tanpa MPPT sebesar 61.77% sedangkan menggunakan MPPT 81.2% dan saat iradiasi 1000 Watt/m<sup>2</sup> menghasilkan ratio daya tanpa MPPT sebesar 59.87% sedangkan dengan MPPT 80.53%
3. Tahapan dalam perancangan photovoltaic inverter terhubung ke grid meliputi pencarian daya puncak PV, menentukan besar nilai index modulasi untuk SPWM dan penentuan sudut  $\delta$  antara tegangan grid dengan tegangan keluaran inverter. Untuk  $m = 0.8$  maka menghasilkan sudut  $\delta$  sebesar 6.82°.

#### **5.2 Saran**

Saran-saran yang dapat diberikan berkaitan dengan tugas akhir ini antara lain:

1. Perlu diadakan penelitian lagi tentang penelusuran daya maksimum dengan metoda berbeda.
2. Pembahasan yang lebih mendalam tentang harmonisa yang dihasilkan oleh inverter.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## LAMPIRAN

### A. Listing program BPSX 60

```
function Ia = BPSX60(Va,Suns,TaC)
% bpsx60 model untuk MSX-60 solar array
% Inputan berupa (tegangan PV, iradiasi, Suhu)
% Ia = bpsx60(Va,G,T) = array voltage
% Ia,Va = array current,voltage
% G = num of Suns (1 Sun = 1000 W/m^2)
% T = Temperatur in Deg C
k = 1.38e-23; % Boltzman's konstanta
q = 1.60e-19; % charge on an electron
% enter the following constants here, and the
model will be
% calculated based on these. for 1000W/m^2
A = 2; % "diode quality" factor, =2 for
crystalline, <2 for amorphous
Vg = 1.12; % band gap voltage, 1.12eV for xtal
Si, ~1.75 for amorphous Si.
Ns = 21*36; % Jumlah cell pada bpsx60
(diodes)(Seri)(dikalikan 21 krn modul diseri 21)
T1 = 273 + 25;
Voc_T1 = 21*21.06 /Ns; % open cct voltage per
cell at temperature T1 (dikalikan 21 krn modul
diseri 21)
Isc_T1 = 4*3.80; % short cct current per cell at
temp T1 (karena modul setelah diseri 21 kemudian
diparalel menjadi 4)
T2 = 273 + 75;
Voc_T2 = 21*17.05 /Ns; % open cct voltage per
cell at temperature T2 (dikalikan 21 krn modul
diseri 21)
Isc_T2 = 4*3.92; % short cct current per cell at
temp T2 (karena modul setelah diseri 21 kemudian
diparalel menjadi 4)
TaK = 273 + TaC; % array working temp
TrK = 273 + 25; % reference temp
```

```

% when Va = 0, light generated current Iph_T1 =
array short cct current
% constant "a" can be determined from Isc vs T
Iph_T1 = Isc_T1 * Suns;
a = (Isc_T2 - Isc_T1)/Isc_T1 * 1/(T2 - T1);
Iph = Iph_T1 * (1 + a*(TaK - T1));
Vt_T1 = k * T1 / q; % = A * kT/q
Ir_T1 = Isc_T1 / (exp(Voc_T1/(A*Vt_T1))-1);
Ir_T2 = Isc_T2 / (exp(Voc_T2/(A*Vt_T1))-1);
b = Vg * q/(A*k);
Ir = Ir_T1 * (TaK/T1).^(3/A) .* exp(-b.*(1./TaK
- 1/T1));
X2v = Ir_T1/(A*Vt_T1) * exp(Voc_T1/(A*Vt_T1));
dVdI_Voc = - 1.15/Ns / 2; % dV/dI at Voc per
cell --
% from manufacturers graph
Rs = - (2l/4)*dVdI_Voc - 1/X2v; % series
resistance per cell (-2l/4)
% Ia = 0:0.01:Iph;
Vt_Ta = A * 1.38e-23 * TaK / 1.60e-19; % = A *
kT/q
% Ia1 = Iph - Ir.*( exp((Vc+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1);
% solve for Ia: f(Ia) = Iph - Ia - Ir.*(
exp((Vc+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1) = 0;
% Newton's method: Ia2 = Ia1 - f(Ia1)/f'(Ia1)
Vc = Va/Ns;
Ia = zeros(size(Vc));
% Iav = Ia;
for j=1:5;
Ia = Ia - ...
(Iph - Ia - Ir.*( exp((Vc+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -
1))...
./ (-1 - (Ir.*( exp((Vc+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -
1)).*Rs./Vt_Ta);
% Iav = [Iav;Ia]; % to observe convergence for
debugging.
End

```



**B. Data Pengukuran Radiasi Matahari untuk PV BPSX-60 Dengan Daya 60 Wattpeak Selama Satu Hari**

**Tabel 1 Hasil Pengambilan Data**

JAM	Voc (Volt)	V (Volt)			I (Ampere)			Iradiasi W/m <sup>2</sup>	Keterangan
		5 ( $\Omega$ )	10 ( $\Omega$ )	15 ( $\Omega$ )	5 ( $\Omega$ )	10 ( $\Omega$ )	15 ( $\Omega$ )		
9:00	18.17	10.80	15.60	16.50	2.50	1.60	1.10	597.00	Cerah
9:30	18.00	13.17	15.80	16.50	2.95	1.69	1.16	791.00	Cerah
10:00	17.70	13.15	15.70	16.24	2.94	1.67	1.14	892.00	Cerah
10:30	17.65	12.60	15.60	16.11	2.80	1.62	1.10	774.00	Cerah
11:00	17.99	12.36	15.75	16.50	2.78	1.65	1.13	710.00	Cerah
11:30	17.85	12.56	16.00	16.70	2.85	1.65	1.15	935.00	Cerah
12:00	17.34	12.60	15.20	16.80	3.72	1.57	1.09	830.00	Cerah
12:30	17.80	9.00	15.00	15.90	1.90	1.54	1.10	560.00	Berawan
13:00	17.55	8.58	14.50	15.60	1.87	1.53	1.09	470.00	Berawan
13:30	17.74	7.80	14.38	15.88	1.74	1.50	1.08	424.00	Berawan
14:00	17.67	7.09	13.78	15.34	1.52	1.40	1.05	373.00	Berawan
14:30	17.67	5.76	12.35	15.02	1.27	1.26	1.03	214.00	Berawan
15:00	17.42	4.62	9.22	13.30	0.97	0.99	0.91	230.00	Berawan

**Tabel 2** Hasil Perhitungan Dengan Data yang Didapat

JAM	P (Watt) ( Panel )	P (Watt)			Keterangan
		5 ( $\Omega$ )	10 ( $\Omega$ )	15 ( $\Omega$ )	
9:00	35.82	27.00	24.96	18.15	Cerah
9:30	47.46	38.85	26.70	19.14	Cerah
10:00	53.52	38.66	26.22	18.51	Cerah
10:30	46.44	35.28	25.27	17.72	Cerah
11:00	42.60	34.36	25.99	18.65	Cerah
11:30	56.10	35.80	26.40	19.21	Cerah
12:00	49.80	46.87	23.86	18.31	Cerah
12:30	33.60	17.10	23.10	17.49	Berawan
13:00	28.20	16.04	22.19	17.00	Berawan
13:30	25.44	13.57	21.57	17.15	Berawan
14:00	22.38	10.78	19.29	16.11	Berawan
14:30	12.84	7.32	15.56	15.47	Berawan
15:00	13.80	4.48	9.13	12.10	Berawan

**Tabel 4.3** Hasil Perhitungan Efisiensi

Kondisi	Rata-rata (Watt)	Efisiensi rata-rata (%)
P (Panel Surya)	36.00	
P (5 ohm)	25.09	69.68190171
P (10 ohm)	22.33	62.01715812
P (15 ohm)	17.31	48.07940171