

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Photovoltaic*

Dewasa ini energi listrik tidak hanya bersumber pada pembangkit konvensional saja, namun terdapat satu sumber energi terbarukan berupa sel surya yang dapat mengubah tenaga matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari dapat diubah menjadi energi listrik secara langsung dengan teknologi bernama *Photovoltaic*. Pengaplikasian PV dapat disusun secara seri maupun paralel tergantung dari spesifikasi modul yang dirancang.

Efek *photovoltaic* merupakan dasar konversi energi yang bersumber dari sinar matahari yang ditangkap oleh elemen semikonduktor yang disusun sedemikian rupa menjadi sebuah sel surya. Perkembangan sel surya kian pesat dikarenakan dorongan isu tentang *global warming* karena sumber energi yang sekarang digunakan masih bergantung pada minyak bumi, gas dan Batubara, ketiga sumber tersebut dapat mencemari lingkungan dan memiliki jumlah yang semakin lama kian menurun. [6]

#### 2.2 **Sistem Komponen Fisik *Photovoltaic***

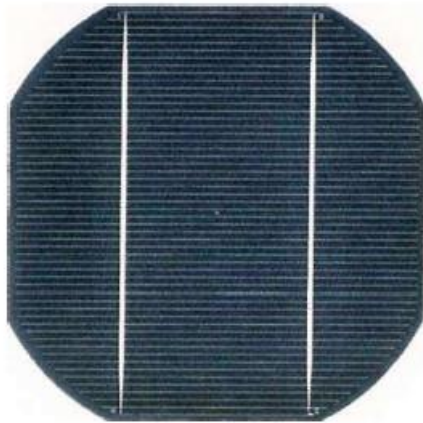
Perkembangan sel surya dewasa ini berdasarkan teknologinya secara garis besar dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

##### 2.2.1 **Tipe Monocrystalline**

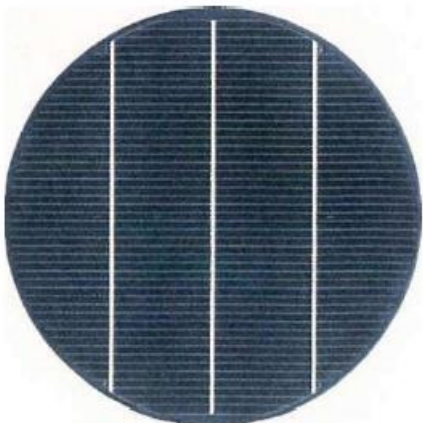
Kumpulan silikon tipis yang disusun sedemikian rupa seperti susunan kripik singkong merupakan ciri dari tipe sel surya *monocrystalline*. Dengan demikian tingkat efisiensi pada tipe ini mampu menyentuh angka 15% - 20%. Susunan silikon *monocrystalline* memiliki harga yang tinggi, namun meskipun harganya lebih mahal dari tipe sel surya yang lain *monocrystalline* tetap memiliki kelemahan berupa bentuk modul dari sel surya tipe ini akan menyisakan banyak ruang kosong dikarenakan tipe sel surya ini umumnya memiliki bentuk persegi enam dan bulat selain itu tipe sel surya *monocrystalline* kinerjanya dapat menurun jika dipasang pada tempat yang memiliki intensitas matahari rendah (teduh). [7]



Gambar 2. 1 Modul *Square Monocrystalline Cell*



Gambar 2. 2 Modul *Semi-round Monocrystalline cell*



Gambar 2. 3 Modul *Round Monocrystalline Cell*

Dilihat dari ciri fisik modul *monocrystalline* identik memiliki warna hitam pekat, selain itu sel surya tipe ini memiliki efisiensi ruangan yang sangat baik. Durabilitas dari kinerja sel surya ini juga cukup Tangguh mengingat banyak

produsen yang berani memberikan jaminan garansi selamata dua puluh lima tahun untuk produk sel surya bertipe *monocrystalline*.

### 2.2.2 Tipe Polycrystalline

Tahun 1981 sel surya *polycrystalline* pertama kali diperkalkan saat awal pemasarannya sel surya ini juga dikenal sebagai *polysilicon* (p-Si) dan *multi-crystal silicon*. Berbeda dengan basis sel surya *monocrystalline*, tipe sel surya *polycrystalline* tidak membutuhkan proses *Czochralski* atau proses permunian suatu bahan dengan cara pengkristalan. Cetakan persegi digunakan sebagai wadah silikon yang telah di lebur kemudian dinginkan dan dipotong seperti wafer. Sel surya tipe ini terbuat dari proses peleburan kristal silikon yang dicetak berbentuk persegi, tingkat kemurnian kristal silikon tidak setinggi tipe sel *monocrystalline* menyebabkan sel surya tipe ini hanya mampu memiliki nilai efisiensi sebesar 13%-16% saja. Meskipun nilai efisiensi rendah tipe sel surya *polycrystalline* banyak beredar di pasaran, dikarenakan proses pembuatannya lebih mudah dan tentu memiliki harga yang lebih ekonomis dari pada tipe sel surya *monocrystalline*.



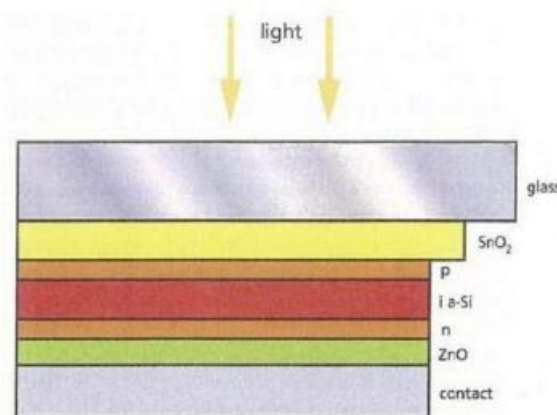
Gambar 2. 4 Modul *Pollycrystalline*

Meskipun ekonomis tipe sel surya *polycrystalline* memiliki keunggulan berupa harga yang lebih ekonomis, limbah yang dihasilkan tidak sebesar tipe sel surya *monocrystalline*, secara teknis nilai toleransi terhadap suhu panas yang rendah

dibandingkan dengan tipe sel surya *monocrystalline* mengingat suhu yang terlalu tinggi tipe dapat merusak komponen pada sel surya, namun hal tersebut hanya berefek kecil pada sebagian pengguna jadi tidak perlu dikhawatirkan. Selain beberapa kelebihan tersebut sel surya *polycrystalline* memiliki beberapa kekurangan berupa nilai efisiensi yang hanya berkisar 13-16% saja hal tersebut berdampak pada kebutuhan jumlah sel surya bertipe *polycrystalline* yang akan digunakan jika nilai daya yang dibutuhkan sama dengan sel surya yang bertipe *monocrystalline*.

### 2.3 Teknologi Sel Film Tipis

Terjadi peningkatan perkembangan proses film tipis yang digunakan untuk membuat sel-sel surya pada tahun 1990-an. Semikonduktor peka Cahaya yang memiliki lapisan tipis dimanfaatkan untuk substrat yang memiliki rentang biaya yang ekonomis (kebanyakan kaca). Berikut contoh sel film tipis yaitu Silikon Amorphous, Amorphous merupakan struktur yang digunakan tidak mengandung kristal atau non-kristal, efisiensi film tipis yang digunakan bernilai sekitar 4-6%. Silikon murni tanpa kristal memiliki harga yang ekonomis dan proses pembuatannya tidak memerlukan proses yang khusus, pemanfaatan solar sel jenis ini dapat diaplikasikan pada alat seperti mainan, jam, dan kalkulator bertenaga surya. Gambar 2.5 merupakan bentuk lapisan struktur lapisan sel *amorphous* yang tersusun oleh tujuh bahan yang ditumpuk sedemikian rupa.



Gambar 2. 5 Struktur Lapisan Sel *Amorphous*

Berikut Tabel 2.1 perbandingan efisiensi dari masing-masing tipe material yang digunakan untuk membuat modul solar PV.

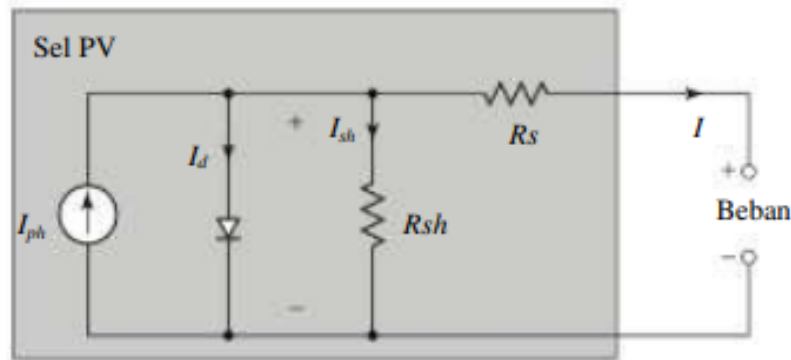
**Tabel 2. 1** Perbandingan Efisiensi Bahan Dasar *Photovoltaic*

<i>Solar cell material</i>	<i>Cell efficiency, <math>\eta_{cell}</math> (labolatory)</i>	<i>Cell efficiency, <math>\eta_{cell}</math> (production)</i>	<i>Panele efficiency, <math>\eta_{panele}</math> (series production)</i>
<i>Monocrystalline Silicon</i>	24.7%	18%	14%
<i>Polycrystalline Silicon</i>	19.8%	16%	13%
<i>Ribbon Silicon</i>	19.7%	14%	13%
<i>Crystalline Thin Film Silicon</i>	19.2%	9.5%	7.9%
<i>Amorphous Silicon</i>	13.0%	10.5%	7.5%

(Volker Quaschnig, 2005)

## 2.4 Karakteristik *Photovoltaic*

Rangkaian persamaan sel surya dikembangkan guna mendapatkan ketepatan nilai sesuai dengan spesifikasi modul sel surya. Persamaan sel surya ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2. 6 Rangkaian Persamaan Sel Surya

Arus yang dihasilkan dari proses penangkapan intensitas radiasi matahari atau *irradiance* atau disebut juga dengan arus *photo* ( $I_{ph}$ ) dan arus diode ( $I_d$ ) merupakan arus saturasi yang dihasilkan oleh sel surya kemudian arus hambatan paralel ( $I_{sh}$ ) merupakan arus yang dihasilkan akibat adanya rugi-rugi yang ada pada modul sel surya. Rangkaian persamaan tersebut dapat dilis dengan rumus seperti dibawah ini. [8]

$$I = I_{ph} - I_0 \left[ \exp \left( \frac{V+1 \cdot R_s}{A \cdot N_s \cdot V_T} \right) - 1 \right] - \frac{V+1 \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$I$  = Arus Modul PV

$I_{ph}$  = Arus Photo (A)

$I_0$  = Arus Dioda (A)

$V$  = Tegangan Modul PV (V)

$A$  = Faktor Ideal

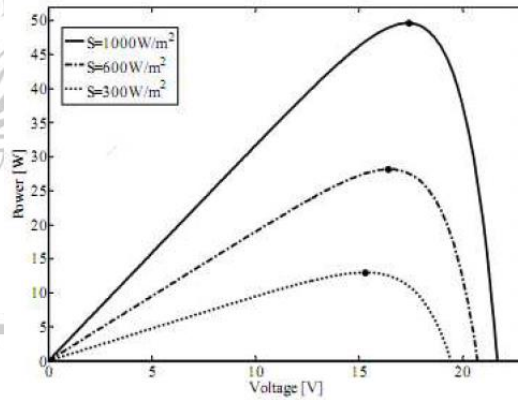
$N_s$  = Jumlah Sel

$R_s$  = Tahanan Seri (Ohm)

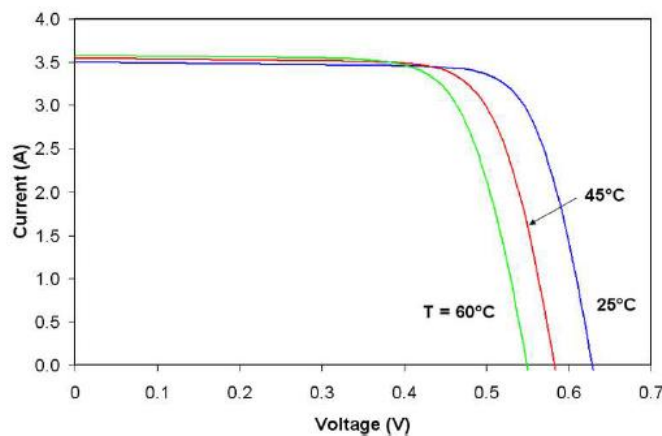
$R_{sh}$  = Tahanan Pararel (Ohm)

$k$  = Konstanta Boltzman ( $1.3806 \times 10^{-23}$  J/K)

Persamaan diatas dapat diaplikasikan pada sistem simulasi menggunakan computer guna mendapatkan kurva karakteristik hasil keluaran dari photovoltaic, gambar 2.7 dan 2.8 menunjukkan bahwa dari kedua hasil keluaran photovoltaic adalah *non-linear* hal tersebut terjadi karena photovoltaic sangat bergantung pada beberapa aspek seperti tingkat radiasi yang dihasilkan oleh matahari, temperature suhu, dan kondisi pembebanan. [9]



Gambar 2. 7 Karakteristik Daya Dan Tegangan Dengan Tingkat Radiasi Yang Berbeda.



Gambar 2. 8 Karakteristik Arus Dan Tegangan Pada Suhu Permukaan Photovoltaic Yang Berbeda.

## 2.5 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

MPPT diaplikasikan pada *photovoltaic* guna memastikan kinerjanya dapat tetap berada dikondisi MPP, sehingga efisiensi produksi energi dapat tercapai. MPPT mampu memantau dan menyesuaikan parameter operasi *photovoltaic* untuk mempertahankan kinerja terbaiknya. Meski terdapat banyak faktor yang dapat mempengaruhi kinerja *photovoltaic* MPPT mampu melacak daya maksimum pada kondisi dan waktu tertentu. MPPT berkerja dengan cara memaksa *photovoltaic* agar dapat bekerja pada titik daya maksimumnya, sehingga daya yang dihasilkan kemudian disalurkan ke beban merupakan daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh *photovoltaic*. [10]

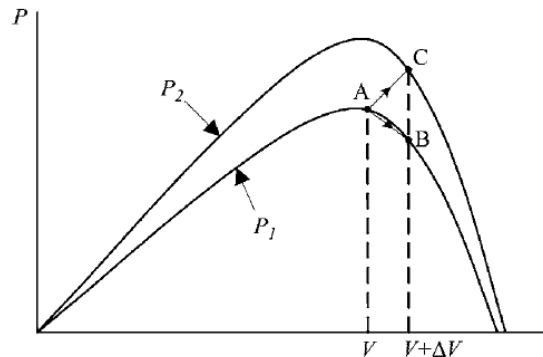
Metode MPPT dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu metode *direct* dan metode *indirect*. Metode *direct* merupakan metode yang digunakan untuk mengukur tegangan dan arus pada sel surya. Dalam penerapannya metode *direct* dapat kita jumpai pada metode-metode seperti *peturb and observe* (P&O), *incremental conductance*, *feedback voltage (current)*, *intelegent*, dan *fuzzy logic*. Sedangkan metode *indirect* merupakan metode yang bersumber dari *database* yang didalamnya terdapat parameter, data berupa kurva perbedaan irradiasi dan suhu generator panel surya, atau data berupa fungsi-fungsi matematika yang diperoleh dari data empiris untuk melacak MPP. Metode *indirect* dapat kita jumpai pada *Short-Circuit Current* (SCC), *Open-Circuit Voltage* (OCV), *Temperature* dan *Irradiation* (IT), dan *Constant Voltage* (CV). [11]

## 2.6 Metode Peturb And Observe (P&O)

Algoritma P&O merupakan teknik pencarian titik puncak dari keluaran daya *photovoltaic* metode ini bisa juga dikenal sebagai metode "*hill-climbing*". Kedua istilah tersebut hanya dibedakan dari segi cara bagaimana masing-masing dari kedua metode tersebut diimplementasikan. Metode "*hill-climbing*" bekerja dengan membaca *perturbation* (gangguan) pada *duty cycle* konverter, sedangkan metode P&O bekerja dengan membaca tegangan DC antara *photovoltaic* dengan konverter. Dalam penerapannya Metode "*hill-climbing*" berkerja dengan modifikasi tegangan



DC antara *photovoltaic* dan konverter, sehingga keduanya memiliki acuan pada teknik yang sama. [12]

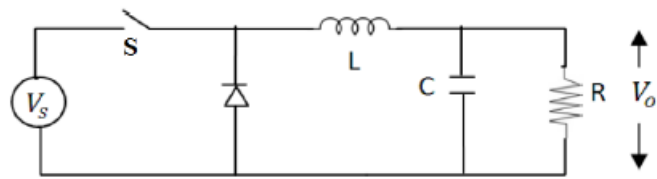


Gambar 2. 9 Kurva Perbedaan Antara Metode P&O dan Metode *Hill-Climbing*

Metode *hill-climbing* dan P&O sangat bergantung pada kondisi perubahan cuaca. Grafik titik A beroperasi ketika kondisi cuaca konstan, gangguan atau *perturbation*  $\Delta V$  pada tegangan *photovoltaic* (V) akan menyebabkan daya turun seperti yang ditunjukkan pada grafik titik B. Namun jika irradiasi meningkat dan menyebabkan adanya pergeseran dari grafik  $P_1$  ke  $P_2$  dalam satu periode pengambilan sampel, dan titik operasi akan bergerak dari titik A ke C. [13]

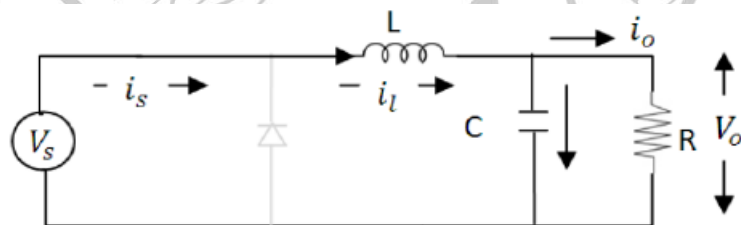
## 2.7 Buck Converter

Metode *buck converter* bekerja seperti saklar atau *switch mode power supply* (SMPS). SMPS dapat mencapai tingkatan efisiensi dan akurasi tegangan yang tinggi sekalipun bersifat *non-linear* dan tidak *continue*. Regulator linear juga bisa digunakan sebagai pengganti *buck-converter*, tetapi memiliki tingkat efisiensi yang rendah, sehingga *buck-converter* dapat digunakan untuk mengatasi kelemahan tersebut. Penerapan rangkaian *buck-converter* dapat kita jumpai pada regulator mikroprosesor, dimana diperlukan respon frekuensi tinggi dan transient yang baik dengan cakupan arus beban yang luas. *Buck-converter* dapat mengubah tegangan yang tinggi menjadi tegangan rendah. Prinsip kerja rangkaian ini yaitu dengan membelokkan atau diturunkan daya massukkan, sehingga output yang dihasilkan akan lebih rendah. Selain memiliki kelebihan dalam kemampuan menurunkan tegangan, biaya yang diperlukan dalam membuat rangkaian ini cukup ekonomis.



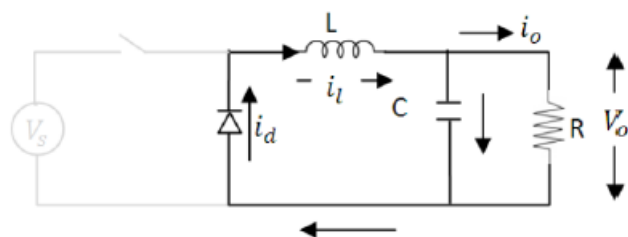
Gambar 2. 10 Diagram Rangkaian Buck-Converter

Gambar 2.10 merupakan rangkaian dasar dari dc-dc *buck-converter*. Tegangan input ( $V_s$ ) disalurkan ke *switch* ( $S$ ) yang bekerja seperti katub yang dapat membuka dan menutup aliran arus yang menuju ke beban. Selain terdapat komponen dioda ( $D$ ), *low-pass filter* ( $L$  dan  $C$ ), dan beban ( $R$ ). Terdapat dua kondisi kerja dalam pengoperasian rangkian *buck-converter* yaitu keadaan *ON* dan *OFF*.



Gambar 2. 11 Diagram Rangkaian Buck-Converter Kondisi *On-State*

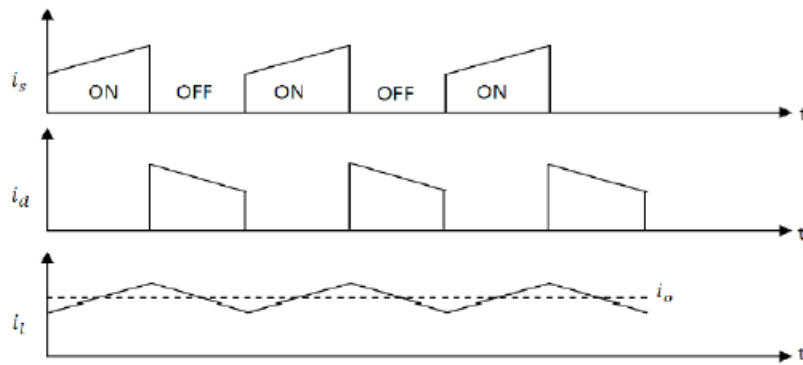
Ketika kondisi *On*, *switch* akan tertutup sehingga arus  $i_s$  akan terhubung secara langsung dengan induktor  $L$ , kemudian menuju ke beban dan kembali lagi ke sumber. Tegangan masukan yang konstan menuju pada induktor, maka arus yang melewati induktor akan meningkat secara linear. [14]



Gambar 2. 12 Diagram Rangkaian *Buck-Converter* Kondisi *Off-State*

Ketika kondisi *Off*, *switch* akan membuka, hal tersebut menyebabkan arus dari sumber tegangan akan terputus sehingga sumber tegangan yang digunakan beban berasal dari induktor dan kapasitor dimana dioda menjadi *forward bias*. Arus

mengalir ke induktor L ke beban melewati dioda dan dikembalikan menuju ke induktor L. Nilai induktor yang kecil dibandingkan saat kondisi *On-State* maka arus yang melewati iduktor akan turun secara linear. [14]



Gambar 2. 13 Gelombang *Buck-Converter*

Masukkan tegangan, keluaran tegangan, dan persaklaran *duty cycle* (D) didapatkan dari gelombang VL, sehingga input dan output dapat memiliki nilai tegangan yang berbeda. Mengacu pada hukum Faraday, tegangan kedua pada induktor selama periode operasi *steady state* sama dengan nol. [15]

## 2.8 Sinyal Pulse Width Modulation (PWM)

Sinyal PWM merupakan sinyal yang dapat digunakan sebagai pengendali daya pada perangkat elektronika. PWM memiliki wujud berupa gelombang yang memiliki karakter berupa gelombang persegi panjang dengan pulsa yang lebar dan dapat dimodulasi sehingga hasil dari nilai rata-rata gelombang tersebut dapat bervariasi. Metode *intersective* dapat digunakan untuk memproduksi sinyal PWM. Metode *intersective* memanfaatkan sinyal segitiga atau sinyal gigi gergaji (*saw tooth*) sebagai gelombang modulasi dan komparator. Ketika PWM mendapatkan sinyal referensi yang lebih besar dari pada nilai modulasi gelombang hal tersebut menyebabkan sinyal PWM berada pada kondisi *High*, begitupun sebaliknya ketika PWM mendapatkan sinyal referensi yang lebih rendah hal maka kondisi PWM akan *Low*. [16]

*Duty cycle* (D) merupakan penggambaran perbandingan lebar kondisi High dengan periode satu gelombang sinyal PWM, atau dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$D = \frac{t_{High}}{T} \quad (2.2)$$

