

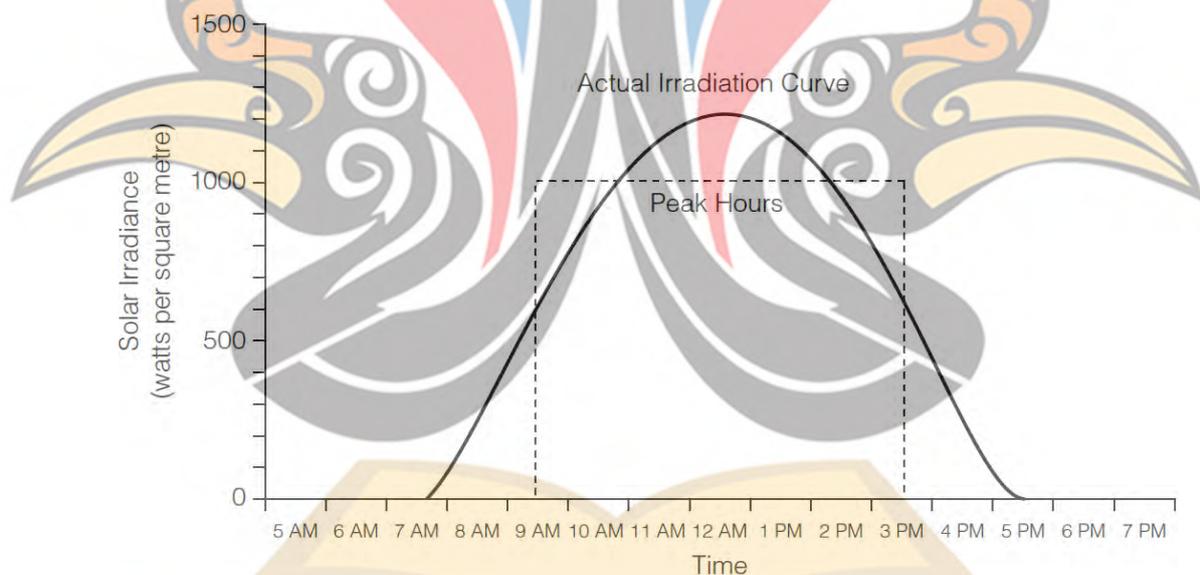
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

www.itk.ac.id

Pada bab ini berisikan tentang iradiasi matahari, prinsip kerja sel surya, DC-DC Converter, Buck Converter, Lead Acid Battery

2.1 Iradiasi Matahari

Iradiasi matahari yang dipancarkan terhadap bumi mengalami perubahan setiap saat. Perubahan tersebut disebabkan oleh posisi dari matahari berdasarkan revolusi bumi yang terjadi. Pada posisi tersebut matahari dapat memancarkan iradiasi maksimum berdasarkan waktu penyinaran oleh matahari. Iradiasi maksimum yang paling optimal pada waktu siang hari. Hal ini disebabkan oleh posisi matahari yang tegak lurus terhadap permukaan bumi sehingga nilai iradiasi mencapai $> 1000 \text{ W/m}^2$ (Hankins, 2009). Iradiasi optimal terdapat pada kurva iradiasi aktual dari matahari seperti yang terdapat pada Gambar 2.1



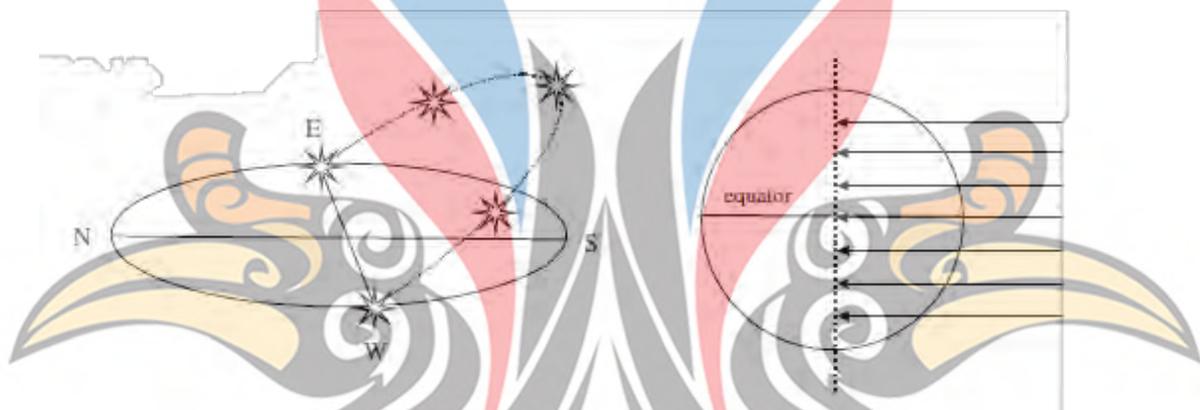
Gambar 2.1 Kurva aktual iradiasi matahari terhadap bumi (Hankins, 2009)

Pada pagi hari dan sore hari posisi matahari berubah dengan memiliki sudut deklinasi. Sudut tersebut menyebabkan nilai iradiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi menjadi berkurang. Nilai iradiasi matahari dengan interval 800-1000W/m² dapat diterima oleh permukaan bumi pada waktu 9AM & 2PM. Nilai iradiasi dengan interval 600-800 W/m² terdapat pada waktu 8AM & 3PM.

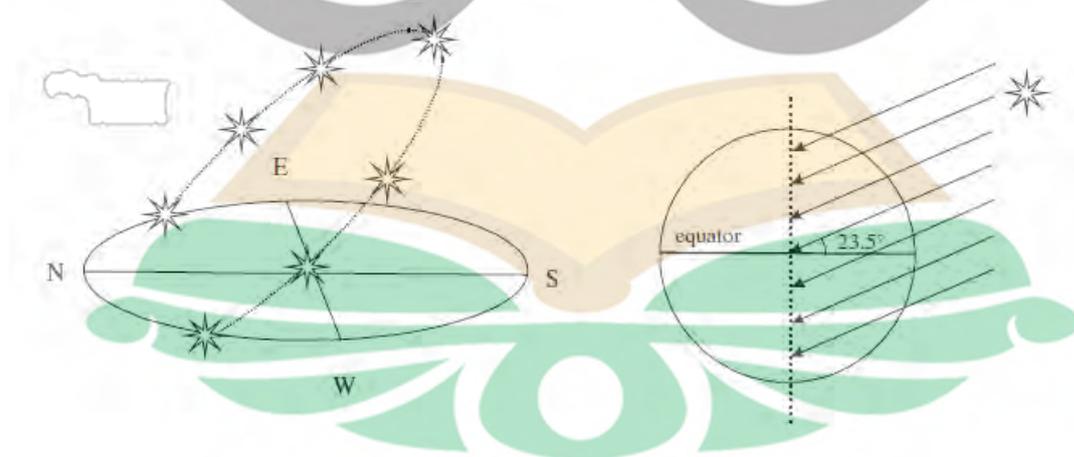
Nilai iradiasi antara 400-600 W/m² terletak pada waktu 7AM & 4PM (Hankins, 2009).

www.itk.ac.id

Revolusi bumi adalah perputaran bumi terhadap matahari dengan waktu selama 365 hari. Revolusi tersebut dapat memberikan efek berupa perubahan musim diberbagai belahan dunia. Perubahan musim tersebut dipengaruhi oleh pancaran sinar yang diberikan oleh matahari kepada bumi. Sinar tersebut dapat memberikan pengaruh terhadap nilai iradiasi matahari yang mengalami fluktuasi berdasarkan posisi penyinaran dari matahari (Di Piazza & Vitale, 2013). Posisi tersebut dapat membentuk sebuah sudut deklinasi terhadap bumi berdasarkan musim yang terjadi, seperti pada Gambar 2.2, Gambar 2.3, dan Gambar 2.4.

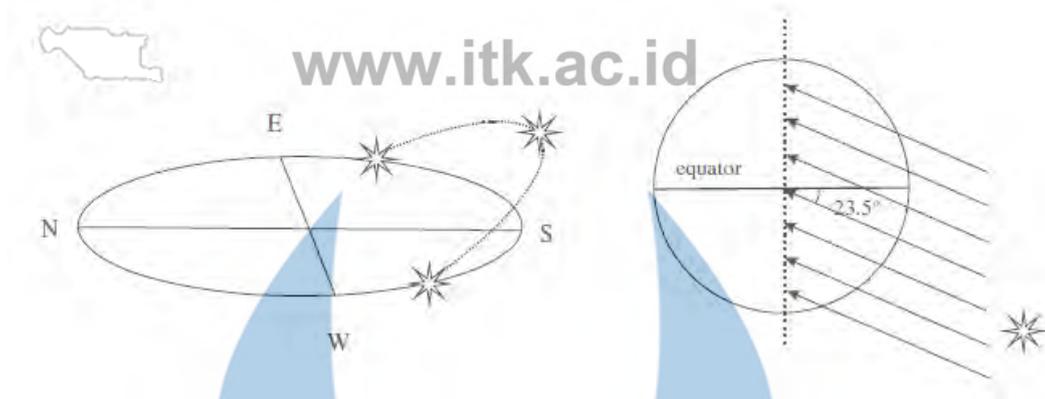


Gambar 2.2 Posisi bumi terhadap matahari pada musim semi dan gugur (Di Piazza & Vitale, 2013)



Gambar 2.3 Posisi bumi terhadap matahari pada musim panas (Di Piazza & Vitale, 2013)

www.itk.ac.id

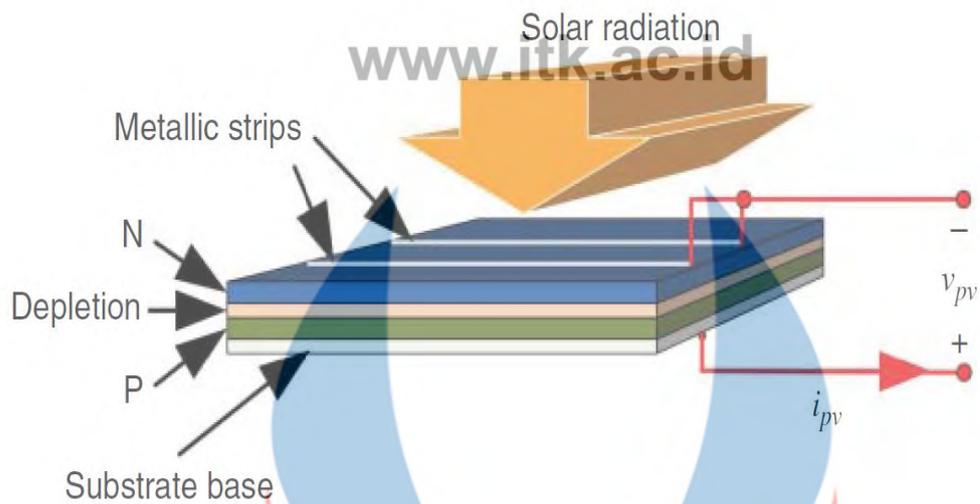


Gambar 2.4 Posisi bumi terhadap matahari terhadap musim dingin (Di Piazza & Vitale, 2013)

2.2 Prinsip Kerja Sel Surya

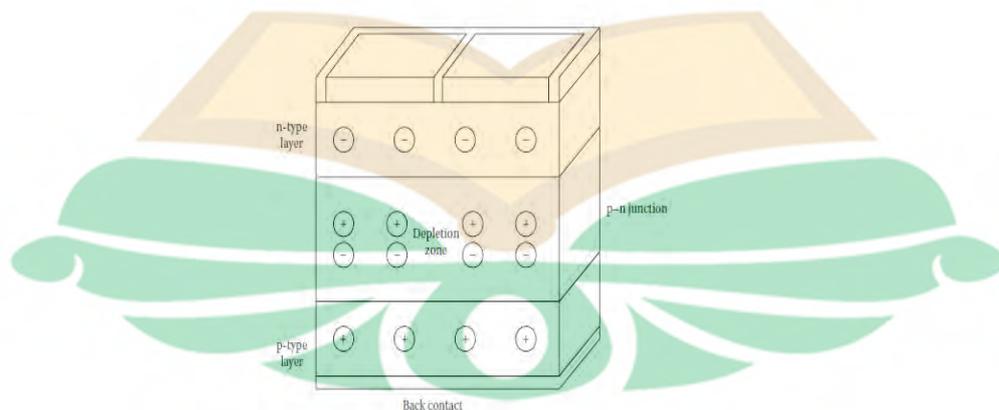
Sel Surya adalah suatu komponen semikonduktor yang berfungsi mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Pengubahan energi tersebut dilakukan dengan cara melepaskan elektron pada saat menerima rangsangan dari sinar matahari. Bahan semikonduktor yang digunakan pada sel surya untuk mengkonversi energi tersebut berupa silicon. Bahan tersebut terdiri atas dua buah lapisan yaitu lapisan bermuatan negatif (N) dan lapisan bermuatan positif (P).

Terdapat lapisan yang berfungsi untuk memisahkan antara kedua lapisan tersebut sering disebut depletion. Lapisan tersebut dapat bekerja apabila menerima rangsangan cahaya matahari sehingga menghasilkan arus searah (DC). Besar nilai arus tersebut berbanding lurus dengan besar nilai intensitas cahaya matahari yang diterima. Semakin besar nilai intensitas cahaya matahari, maka semakin besar nilai arus yang dihasilkan oleh sel surya (Xiao, 2017). Ilustrasi sebuah sel surya beserta lapisan yang tersusun dapat dilihat pada Gambar 2.5.



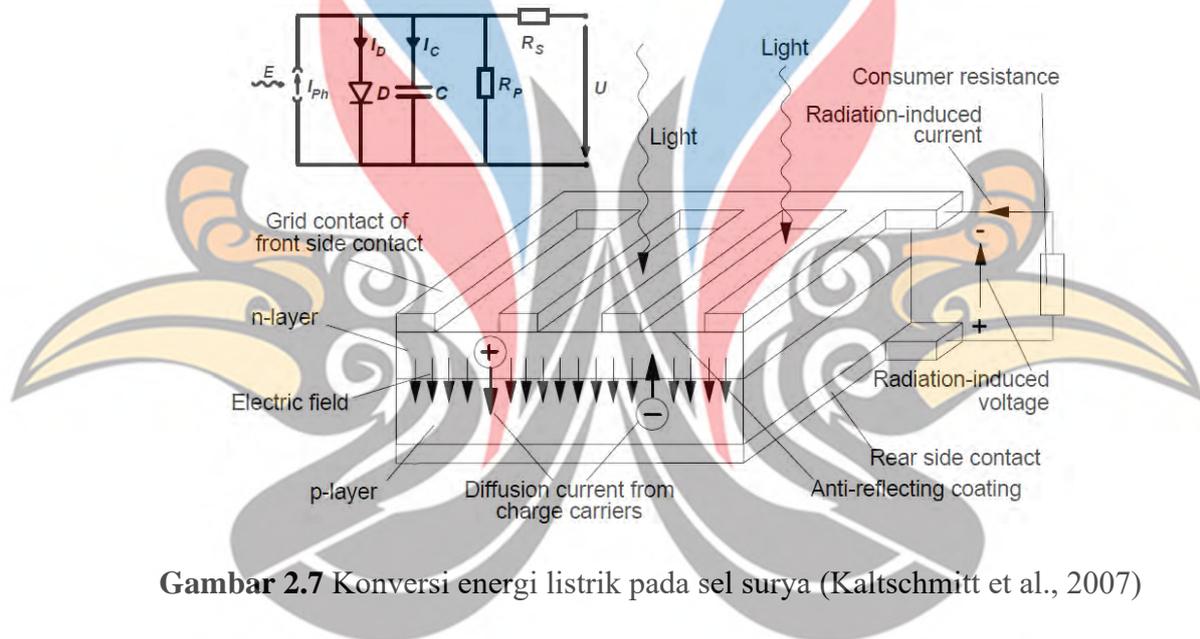
Gambar 2.5 Konstruksi dari sel surya (Xiao, 2017)

Lapisan tersebut berasal dari bahan semikonduktor yang digunakan pada sel surya. Bahan tersebut dapat berubah menjadi isolator apabila temperatur rendah, namun berubah menjadi konduktor apabila menerima rangsangan dari cahaya matahari. Lapisan "N" merupakan lapisan yang didoping oleh sebuah atom phosphor. Lapisan tersebut terletak tepat berada tepat diatas dari lapisan depletion pada sel surya. Lapisan "P" merupakan lapisan yang didoping oleh sebuah atom boron. Lapisan tersebut terletak dibawah dari lapisan depletion pada sel surya. Doping merupakan proses penambahan atom phosphor dan boron pada bahan semikonduktor alami (Khaligh & Onar, 2017). Letak lapisan-lapisan pada sel surya diperlihatkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Lapisan-lapisan pada sel surya (Khaligh & Onar, 2017)

Pada sel surya terjadi proses pengubahan energi cahaya menjadi energi listrik yang sering disebut dengan efek *photoelectric*. Efek tersebut dapat terjadi dengan memanfaatkan material atom penyusun pada sel surya. Jika sambungan *p-n junction* pada sel surya dihadapkan ke cahaya, maka foton dari cahaya tersebut diserap oleh elektron. Cahaya tersebut dapat melepaskan ikatan elektron sehingga menyebabkan elektron berpindah menuju *p-area* dengan bantuan medan listrik. *Holes* bebas yang terdapat pada *p-area* berpindah menuju ke *n-area*. Proses difusi yang terjadi pada kedua muatan tersebut dapat menghasilkan tegangan sel surya dalam kondisi tanpa beban. Apabila rangkaian tersebut dihubungkan ke beban, maka dapat menghasilkan arus pada sel surya (Kaltschmitt et al., 2007).



Gambar 2.7 Konversi energi listrik pada sel surya (Kaltschmitt et al., 2007)

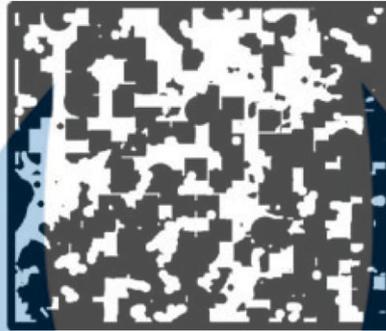
2.2.1 Material Penyusun Sel Surya

Material semikonduktor yang digunakan pada sel surya dikelompokkan menjadi 3 jenis. Material tersebut meliputi *Amorphous Silikon*, *Monocrystalline Silicon* dan *Polycrystalline Silicon*. Penjelasan dari ketiga material tersebut terdapat sebagai berikut (Robert Foster, Majid Ghassemi, 2009):

A. *Amorphous Silicon Modules*

Module ini terbuat dari *uncrystalized silicon*, memiliki warna yang gelap atau sering disebut dengan *thin film silicon*, performa yang baik dalam kondisi intensitas matahari yang rendah dan memiliki efisiensi yang rendah dari 5-8%

(Robert Foster, Majid Ghassemi, 2009). Pola struktur dari *module* tersebut diperlihatkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Struktur *amorphous silicon* (Robert Foster, Majid Ghassemi, 2009)

B. *Monocrystalline Module*

Module ini terbuat dari *crystal silicon*. *Crystal silicon* merupakan jenis *silicon* yang terbaik, biasanya warna permukaan dari *module* ini biru kehitaman. *Module* ini memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi yaitu 24% tetapi harga dipasaran lebih mahal dibandingkan dengan jenis yang lain (Robert Foster, Majid Ghassemi, 2009). Pola struktur dari *module* tersebut diperlihatkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Struktur *monocrystalline silicon* (Robert Foster, Majid Ghassemi, 2009)

C. *Polycrystalline Module*

Module ini juga terbuat dari *crystal silicon*, biasanya warna permukaan *module* ini biru. Tingkat efisiensi dari *module* ini sebesar 13-15% dan harganya lebih murah dari *monocrystalline* (Robert Foster, Majid Ghassemi, 2009). Pola Struktur dari *module* tersebut diperlihatkan pada gambar 2.10.

www.itk.ac.id



Gambar 2.10 Struktur *polycrystalline silicon* (Robert Foster, Majid Ghassemi, 2009)

2.2.2 Klasifikasi Sel Surya

Secara umum sel surya dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bagian berdasarkan jumlah sel yang ada. Pembagian tersebut meliputi *cell*, *module*, *string*, dan *array*.



Gambar 2.11 Klasifikasi dari sel surya (Xiao, 2017)

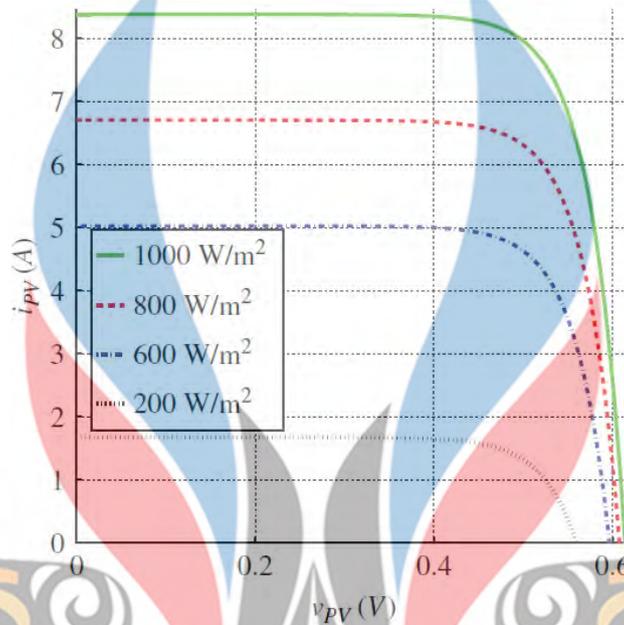
Gambar 2.11 menunjukkan bahwa urutan bagian terkecil hingga terbesar. Urutan paling kecil terdapat pada *cell* dan paling besar terdapat pada *array*.

Cell merupakan bagian yang paling kecil dan hanya terdiri dari satu buah sel surya. *Module* merupakan kumpulan dari beberapa bagian *cell* yang disusun secara seri maupun paralel. *String* merupakan kumpulan dari beberapa *module* yang dikoneksikan secara seri. Koneksi tersebut bertujuan untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih besar dari sel surya. *Array* merupakan suatu kumpulan dari beberapa *string* yang dihubungkan secara paralel, namun koneksi tersebut bertujuan untuk mendapatkan arus keluaran yang lebih tinggi (Xiao, 2017).

2.2.3 Karakteristik Sel Surya

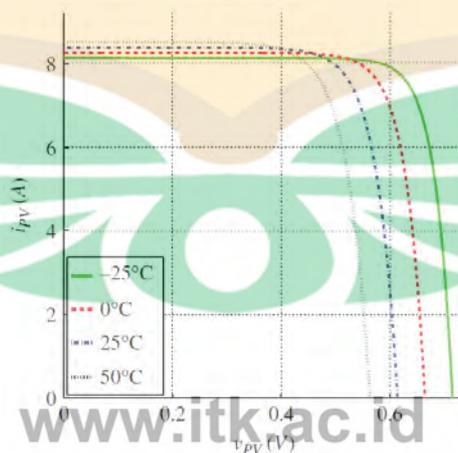
Sel surya sangat memiliki ketergantungan terhadap jumlah iradiasi matahari yang terpapar. Jumlah tersebut proposional dengan nilai arus keluaran yang dapat dihasilkan dari sel surya. Pada suatu ketika nilai iradiasi matahari yang

diterima mencapai maksimum berdasarkan *standart condition test* yaitu 1000W/m². Nilai tersebut dapat menghasilkan nilai arus yang tinggi, apabila nilai tersebut mengalami penurunan menyebabkan nilai arus keluaran menjadi rendah (Xiao, 2017). Pengaruh iradiasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Pengaruh perubahan nilai iradiasi matahari (Xiao, 2017)

Temperatur lingkungan yang terpapar pada sel surya tersebut juga dapat mempengaruhi nilai tegangan keluaran. Besar nilai dari temperatur tersebut berbanding terbalik dengan nilai tegangan keluaran yang dihasilkan oleh sel surya. Semakin besar nilai temperatur, maka nilai tegangan yang dihasilkan semakin kecil. Setiap kenaikan temperatur sebesar 1°C dapat mengurangi tegangan keluaran sebesar 0.04-1V (Xiao, 2017).

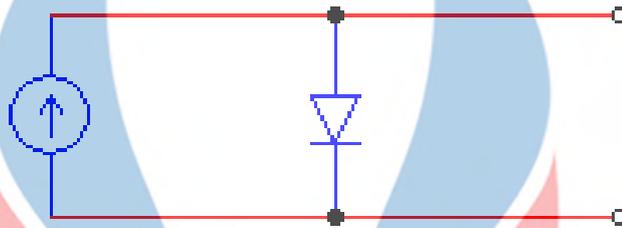


Gambar 2.13 Pengaruh perubahan nilai temperatur lingkungan (Xiao, 2017)

www.itk.ac.id

2.2.4 Rangkaian Ekuivalen dari Sel Surya

Sel surya memiliki rangkaian ekuivalen ideal untuk mendapatkan kurva karakteristik I-V. rangkaian tersebut terdiri dari sumber arus yang dihubungkan secara parallel dengan sebuah diode (Markvart & Castañer, 2003).



Gambar 2.14 Rangkaian ekuivalen ideal dari sel surya (Markvart & Castañer, 2003)

Jika dilihat dari gambar tersebut, maka dapat diperoleh persamaan arus dan tegangan.

$$I = I_{ph} - I_d \left(e^{\frac{qV}{k_B T}} - 1 \right) \quad (2.1)$$

$$V = \frac{k_B T}{q} \ln \left(1 + \frac{I_{ph}}{I_d} \right) \quad (2.2)$$

Persamaan (2.1) dan (2.2) memiliki beberapa notasi rumus. Penjelasan notasi tersebut ditunjukkan sebagai berikut (Markvart & Castañer, 2003) :

I_{ph} = Arus yang dihasilkan berdasarkan nilai iradiasi yang diterima (A)

I_d = Arus saturasi yang mengalir pada diode (A)

I = Arus yang dihasilkan oleh solar cell (A)

V = Tegangan yang dihasilkan oleh solar cell (V)

q = Muatan elektron

k_B = Tetapan boltzman

www.itk.ac.id

T = Temperatur dalam kondisi standart condition test (oK)

www.itk.ac.id

Berdasarkan persamaan (2.1), maka didapatkan persamaan untuk arus *Photovoltaic* dan arus saturasi dioda (Markvart & Castañer, 2003) :

$$I_{ph} = I_{sc(ref)} \left(\frac{G}{G_{(ref)}} \right) + K_o (T - T_{(ref)}) \quad (2.3)$$

$$I_d = I_{rs} \left(\frac{T}{T_{(ref)}} \right)^{\frac{3}{n}} e^{-\frac{qV}{nk \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{(ref)}} \right)}} \quad (2.4)$$

$$I_{rs} = \frac{I_{sc(ref)}}{\left(e^{\frac{qV_{oc(ref)}}{nkT_{(ref)}}} - 1 \right)} \quad (2.5)$$

Pada persamaan (2.3) diperlukan sebuah nilai *reverse diode* untuk melengkapi persamaan tersebut. Nilai tersebut dapat ditemukan dengan menggunakan persamaan (2.5). pada persamaan (2.3),(2.4),(2.5) memiliki notasi rumus yang dapat dijelaskan sebagai berikut (Markvart & Castañer, 2003):

$I_{sc(ref)}$ = Arus short circuit pada kondisi standart condition test (A)

G = Iradiasi yang terpapar pada solar cell (W/m²)

$G_{(ref)}$ = Iradiasi pada saat kondisi *standart condition test* (W/m²)

T = Temperatur yang terpapar *solar cell* (oK)

$T_{(ref)}$ = Temperatur pada saat kondisi *standart condition test* (oK)

n = Jumlah *cell* yang terhubung

I_{rs} = Arus *reverse diode* (A)

$V_{oc(ref)}$ = Tegangan *open circuit* dalam kondisi *standart condition test* (V)

www.itk.ac.id

2.3 DC-DC Converter

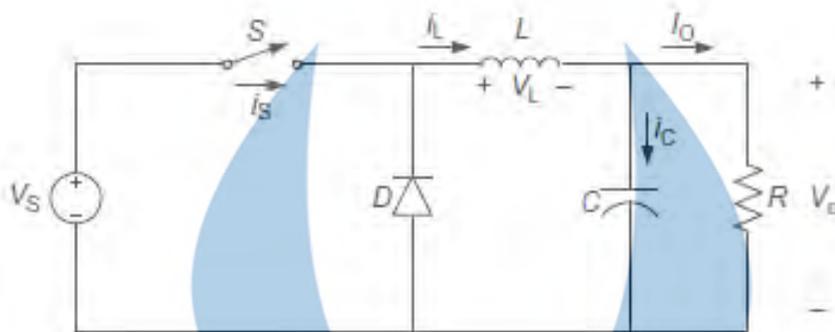
DC-DC Converter adalah konverter yang mencacah daya arus searah atau lebih dikenal dengan sebutan DC Chopper. Pemanfaatan konverter ini digunakan untuk penyediaan tegangan keluaran DC yang bervariasi besarnya sesuai dengan permintaan pada beban. Daya masukan dari proses DC-DC tersebut adalah berasal dari sumber daya DC yang biasanya memiliki tegangan masukan yang tetap. Pada dasarnya, penghasilan tegangan keluaran DC yang ingin dicapai adalah dengan cara pengaturan lamanya waktu penghubungan antara sisi keluaran dan sisi masukan pada rangkaian yang sama. Komponen yang digunakan untuk menjalankan fungsi penghubung tersebut tidak lain adalah *switch (solid state electronic switch)* seperti Thyristor, MOSFET, ataupun IGBT (W. Hart Dania, 2010).

Secara umum ada dua fungsi pengoperasian dari DC chopper yaitu penaikan tegangan dimana tegangan keluaran yang dihasilkan lebih tinggi dari tegangan masukan, dan penurunan tegangan dimana tegangan keluaran lebih rendah dari tegangan masukan. Dalam sistem perubahan DC-DC converter, terdapat dua tipe yaitu tipe linier dan tipe peralihan atau tipe *switching (DC chopper)*. Tipe linier merupakan cara termudah untuk mencapai tegangan keluaran yang bervariasi, namun kurang efisien karena tingginya daya yang hilang (*power loss*) pada transistor. Sedangkan pada tipe *switching*, tidak ada daya yang diserap pada transistor sebagai *switch*. Ini dimungkinkan karena pada waktu *switch* ditutup tidak ada tegangan yang jatuh pada transistor, sedangkan pada waktu *switch* dibuka, tidak ada arus listrik mengalir. Ini berarti semua daya terserap pada beban, sehingga efisiensi daya menjadi 100% (W. Hart Dania, 2010).

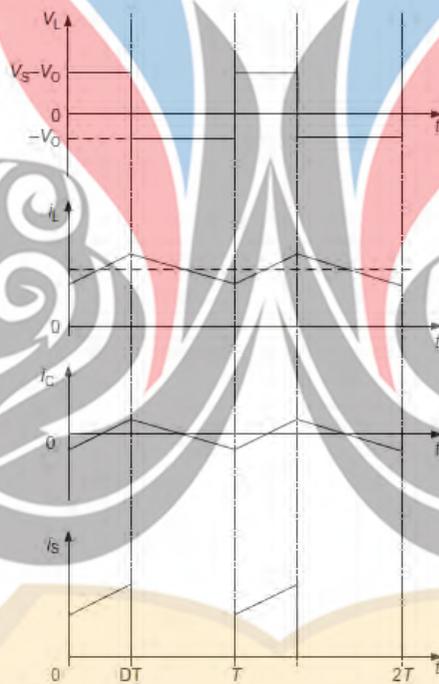
2.4 Buck Converter

Buck Converter atau biasanya dikenal dengan *Step-down DC-DC Converter* merupakan *converter* yang menurunkan nilai *output* dari suatu *input*. *Buck Converter* terdiri dari input tegangan DC (V_s), *switch* terkontrol (S), dioda (D), induktor (L), kapasitor (C), dan beban (R) (Rashid, 2017). rangkaian pada

Buck Converter ditunjukkan pada Gambar 2.15 dan bentuk gelombang dari Buck Converter akan ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.15 Rangkaian Buck Converter (Rashid, 2017)



Gambar 2.16 Bentuk gelombang Buck Converter (Rashid, 2017)

Arus induktor selalu positif, di mana arus induktor tidak pernah nol untuk periode waktu berapa pun. Hal ini disebut *continuous conduction mode (CCM)*. Itu dapat dilihat dari rangkaian yang Ketika sakelar (S) diperintahkan untuk keadaan aktif, dioda (D) bias terbalik, Ketika sakelar (S) dimatikan, dioda bekerja untuk mendukung tanpa gangguan arus di induktor. Hubungan antara tegangan masukan, tegangan keluaran, *switch duty ratio (D)* dan periode (T) dapat diturunkan dengan persamaan :

$$(V_s - V_o DT) = -V_o(1 - D)T \quad (2.6)$$

Oleh karena itu, fungsi transfer tegangan DC, didefinisikan sebagai rasio tegangan keluaran ke tegangan masukan adalah :

$$M_V = \frac{V_o}{V_s} = D \quad (2.7)$$

Serta untuk mendapatkan nilai induktor dan kapasitor adalah :

$$L = \frac{V_{in}D(1 - D)}{f\Delta I_L} \quad (2.8)$$

$$C = \frac{V_{in}D(1 - D)}{8L\Delta V f^2} \quad (2.9)$$

Pada persamaan diatas terdapat beberapa parameter pada persamaan :

ΔV = Ripple Tegangan

ΔI_L = Ripple Arus

f = Frekuensi

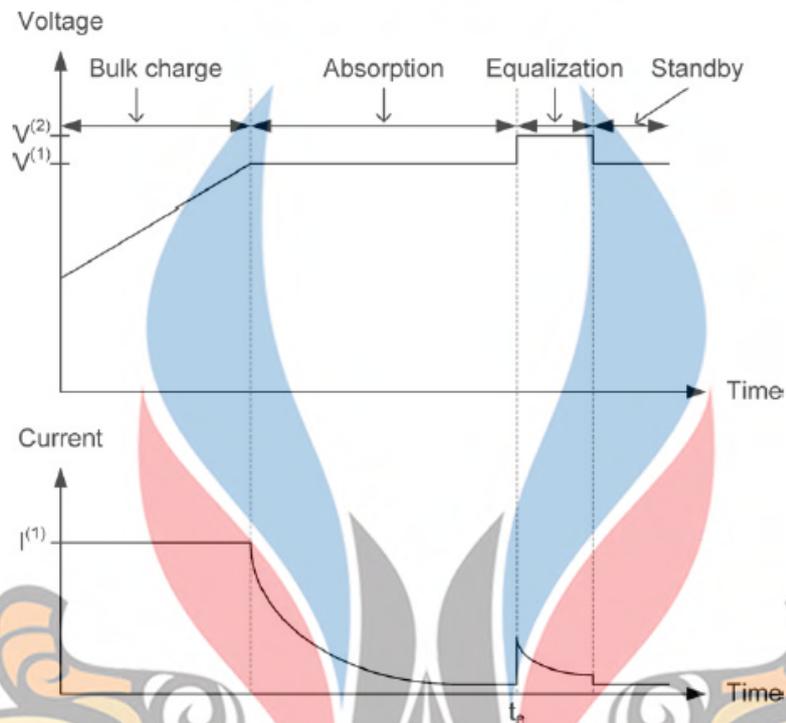
2.5 Lead Acid Battery

VRLA batteries (*Valve-regulated Lead-acid*) atau yang lebih dikenal dengan aki. Dalam penggunaannya baterai *lead acid* hanya bisa digunakan 90% dalam kondisi *standby mode*. Nilai ini disebut juga sebagai *State of Charge* (SOC) dari sebuah baterai. Selain memiliki nilai SOC, baterai ini juga memiliki nilai *Depth of Discharge* (DOD) diantara 5% - 50%. Baterai *lead acid* dirancang untuk menghindari dampak pengisian daya yang berlebihan terhadap sel komponen konduktif. *Discharge* hanya terjadi bila ada sebagian atau pemutusan total didalam jaringan atau dalam kondisi darurat (Wong et al., 2008).

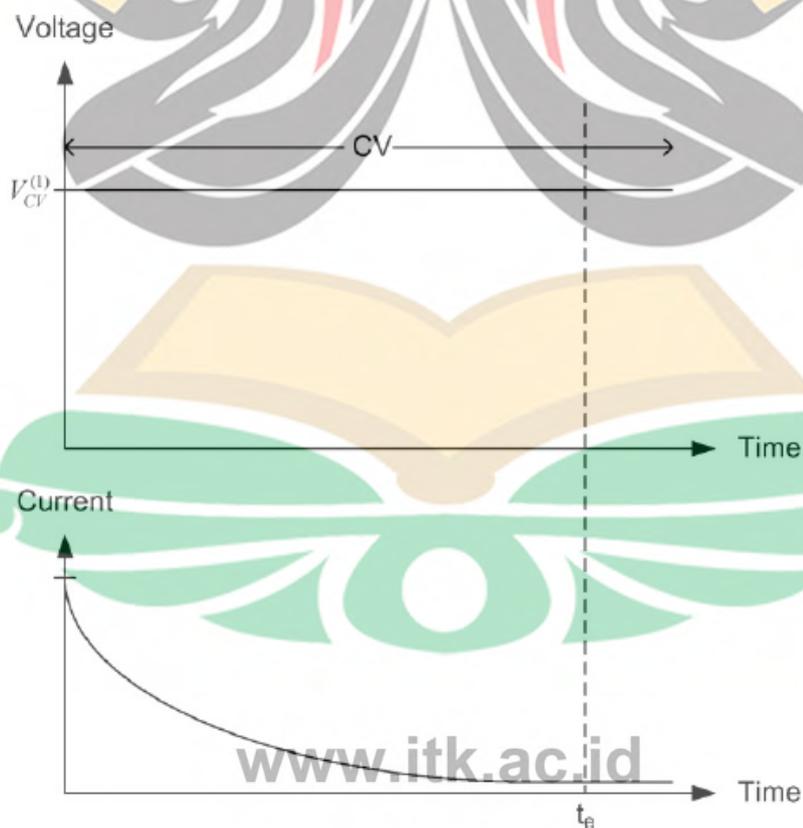
Kapasitas energi dan masa pakai adalah factor utama dalam baterai *lead acid*. Baterai *lead acid* dirancang untuk digunakan selama kurang lebih 10 tahun pemakaian. Untuk pengisian baterai terdiri dari 4 mode dasar yaitu, *bulk charge mode*, *absorption mode*, *equalization mode* dan *standby mode*. Mode operasi ideal dalam pengisian baterai *lead acid* dapat dilihat pada Gambar 2.17 dan untuk

kurva pengisian arus dan tegangan dapat dilihat pada Gambar 2.18 (Wong et al., 2008).

www.itk.ac.id



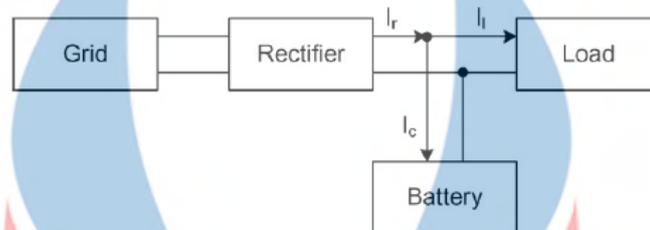
Gambar 2.17 Mode pengisian ideal baterai *lead acid* (Wong et al., 2008)



www.itk.ac.id

Gambar 2.18 Kurva pengisian arus dan tegangan (Wong et al., 2008)

Baterai *lead acid* biasanya pengisiannya dengan *float charged*. *Float charged* dilakukan dengan tegangan konstan dan baterai yang diparalel dengan keluaran pada *rectifier* dan beban. Alur dari *float charged* dapat dilihat dari diagram blok pada Gambar 2.19 (Wong et al., 2008) .



Gambar 2.19 Blok diagram *float charger* (Wong et al., 2008)

2.6 Kecerdasan Buatan

Kecerdasan buatan merupakan suatu pengetahuan yang membuat komputer dapat meniru kecerdasan manusia sehingga komputer dapat melakukan hal-hal yang dikerjakan oleh manusia dimana membutuhkan suatu kecerdasan. Kecerdasan yang maksud adalah kecerdasan untuk mengoptimalkan suatu data untuk menemukan nilai terbaik dengan suatu analisa penalaran tertentu (Islam et al., 2016).

2.6.1 Particle Swarm Optimization

Particle Swarm Optimization (PSO) dikemukakan oleh Eberhart dan Kennedy. Algoritma ini dievaluasi menurut kebiasaan suatu kawanan hewan (seperti burung dan ikan). Operasi dasar dari PSO dilakukan sekaligus mempertahankan beberapa calon solusi di ruang pencarian. Dalam PSO setiap partikel memperbarui posisi berdasarkan dari kecepatan yang dihitung membandingkan dengan solusi terbaik dari populasi dan solusi terbaiknya sendiri. Populasi partikel didistribusikan seragam untuk pengoptimalan ruang pencarian multi-dimensi masalah (Islam et al., 2016).

$$V_j^{t+1} = W \times V_j^t + R_1 \times C_1 (P_j - X_j^t) + R_2 \times C_2 (P_g - X_j^t) \quad (2.8)$$

$$X_j^{t+1} = X_j^t + V_j^{t+1} \quad (2.9)$$

Pada persamaan tersebut terdapat beberapa parameter pada persamaan PSO sebagai berikut :

www.itk.ac.id

P_g	=	<i>Global best location</i>
P_j	=	<i>Position best location</i>
W	=	<i>Inertia weight</i>
$C1$ dan $C2$	=	<i>Learning parameter</i>
$R1$ dan $R2$	=	<i>Random parameter range [0,1]</i>

2.6.2 *Perturb & Observe*

Perturb & Observe (P&O) juga dikenal sebagai metode mendaki bukit. Bentuk paling dasar dari algoritma P&O beroperasi dengan menunjukkan kurva keluaran dari fungsi pada radiasi konstan dan modal konstan. Dalam algoritma ini nilai kenaikan operasi dan perubahan diamati. Jika nilai operasi positif, maka diduga telah memindahkan ke titik operasi yang lebih dekat dengan nilai optimal. Dengan demikian, gangguan lebih lanjut dengan kondisi yang sama harus menggerakkan ke titik operasi menuju optimasi (Riazul Hamid et al., 2016).

Algoritma ini menggunakan umpan balik sederhana pengaturan dan sedikit parameter terukur. Dalam hal ini, tegangan modul secara berkala diberikan perubahan dan daya keluaran yang sesuai dibandingkan dengan yang sebelumnya siklus yang diperbarui. Dalam algoritma ini sedikit perubahan dimasukkan ke sistem. Perubahan ini menyebabkan daya modul berbeda-beda. Jika daya meningkat karena perubahan maka perubahan dilanjutkan dalam arah yang sama. Setelah daya puncak mencapai daya optimal dan saat berikutnya berkurang dan karenanya setelah itu perubahan terbalik (Atallah et al., 2014).

2.7 **Penelitian Terdahulu**

Pada tabel 2.1 adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang mempunyai keterkaitan dengan penelitian yang diajukan.

www.itk.ac.id

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Metode	Hasil
1	Cheng et al., 2010	<i>Maximum Power Point Tracking (MPPT) with PSO</i>	Pelacakan daya maksimum menggunakan PSO mendapatkan hasil nilai titik tegangan daya maksimum dengan kesalahan yang sangat kecil. Dan daya keluaran PV mencapai daya maksimum dari PV. Pengoptimalan ini membuat PV menemukan nilai maksimal secara akurat.
2	Riazul Hamid et al., 2016	<i>Maximum Power Point Tracking (MPPT) with P&O</i>	Pelacakan daya maksimum menggunakan pendekatan berulang untuk menemukan daya maksimum yang terus berubah. Untuk mencapai pelacakan daya maksimum pengontrolan menyesuaikan tegangan dengan jumlah kecil dari panel surya
3	Wahyu Ramadhana 2020		

