

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

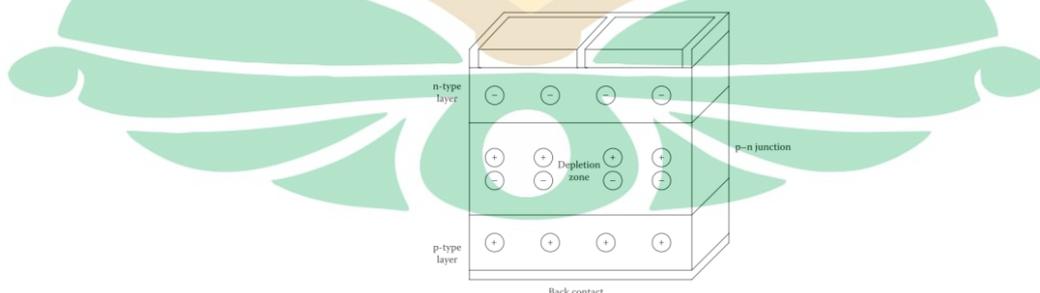
Pada bab ini dijabarkan mengenai dasar teori dari penelitian yang dilakukan. Adapun yang menjadi landasan teori adalah panel surya, *maximum power point tracking*, konverter DC-DC, *nature inspired algorithm*, dan baterai *lead acid*.

2.1 Panel Surya

Panel surya atau *photovoltaic* merupakan teknologi pembangkit yang dapat menghasilkan daya listrik arus searah, dengan proses yang disebut *photoelectric effect*. Apabila bahan semikonduktor tersebut diberikan paparan cahaya, maka modul yang terdiri dari sel tersebut akan menghasilkan listrik (Luque & Hegedus, 2003)

2.2 Prinsip Kerja Panel Surya

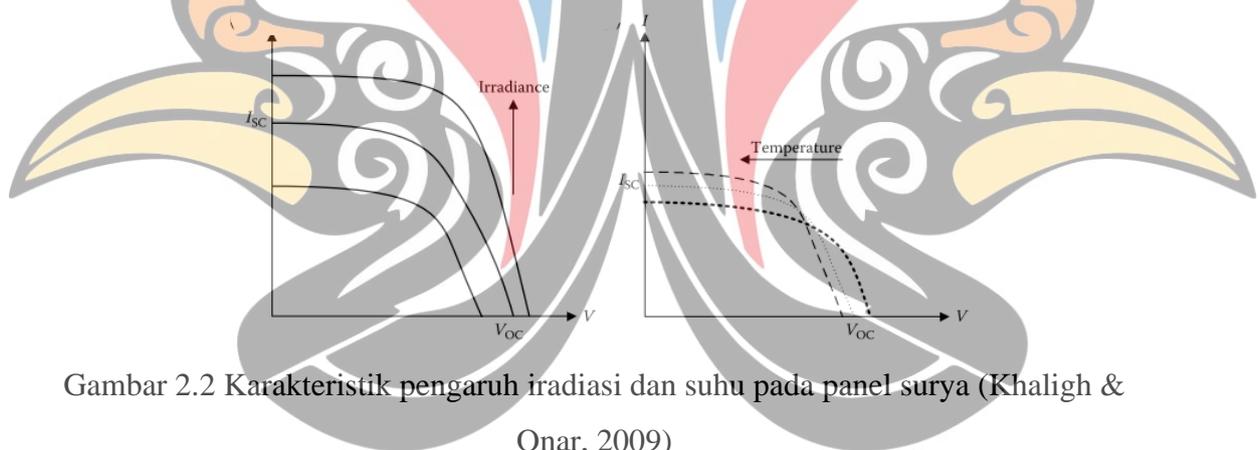
Panel surya memanfaatkan energi cahaya matahari yang diserap dan ditransformasikan menjadi elektron. Dengan adanya penambahan muatan maka elektron akan melepaskan diri dari posisi normalnya pada sebuah ikatan atom, sehingga adanya pergerakan elektron menyebabkan aliran listrik. Panel surya tersusun dari beberapa sel yang biasa disebut dengan modul panel surya. Gambar 2.1 menunjukkan *p-n junction* dari sel panel surya. Ketika silikon tipe-n dan tipe-p terkoneksi, elektron berlebih akan berpindah dari sisi permukaan tipe-n ke sisi tipe-p. Hasilnya terjadi penumpukan muatan positif pada *layer* tipe-n dan muatan negatif pada *layer* tipe-p. Kedua *layer* berperilaku seperti baterai dan menciptakan medan listrik pada *layer p-n junction* (Khaligh & Onar, 2009).



Gambar 2.1 Ilustrasi *p-n junction* pada sel surya (Khaligh & Onar, 2009)

Skema kerja sel surya pada Gambar 2.1 sebuah celah yang terbentuk karena adanya pita valensi. Ketika muatan melebihi ambang tertentu yang diterapkan pada elektron valensi maka elektron akan melepaskan ikatan dan dapat bergerak bebas pada daerah *depletion zone*. Panel surya apabila terpapar oleh cahaya matahari, foton akan memutus ikatan valensi elektron dan mendorong elektron ke celah atau pita konduksi secara khusus elektron yang terkumpul pada pita konduksi akan terdorong ke sirkuit eksternal (Luque & Hegedus, 2003)

Daya panel surya dipengaruhi oleh iradiasi, apabila iradiasi meningkat maka arus hubung singkat (I_{sc}) pada panel surya akan meningkat. Iradiasi secara proposional menjadi parameter baiknya daya pembangkitan panel surya, akan tetapi suhu pada sel surya apabila mengalami kenaikan dari batas nominalnya, tegangan V_{oc} akan menurun seiring bertambahnya suhu. Berikut ilustrasi pada Gambar 2.2 pengaruh iradiasi dan suhu pada panel surya (Khaligh & Onar, 2009).

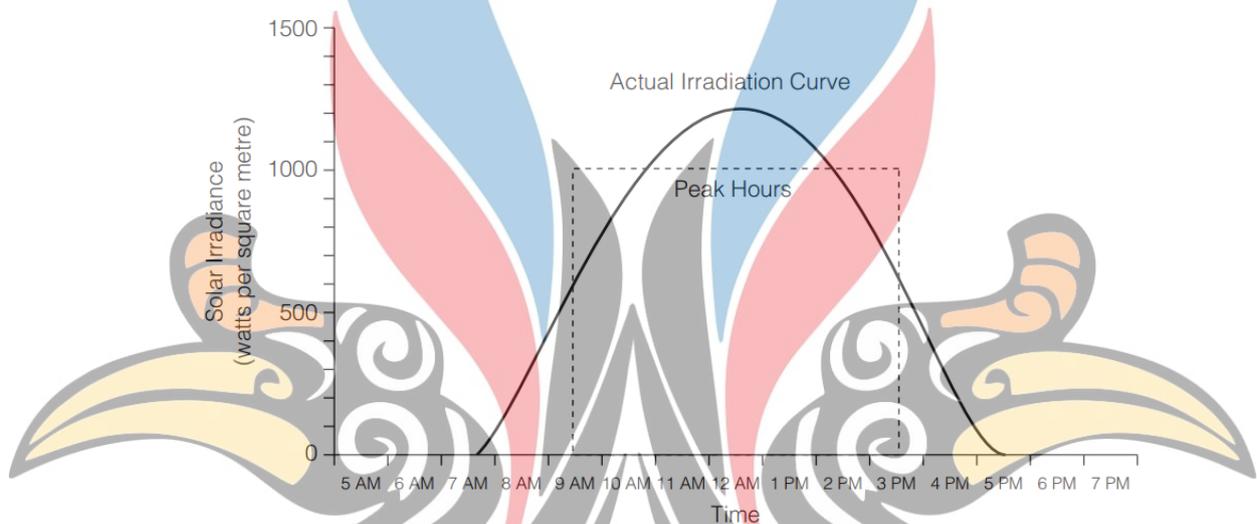


Gambar 2.2 Karakteristik pengaruh iradiasi dan suhu pada panel surya (Khaligh & Onar, 2009)

2.3 Prinsip Radiasi Matahari

Sinar matahari yang mencapai bumi merupakan energi yang disebut radiasi. Radiasi terdiri dari muatan partikel foton, setiap unit radiasi matahari membawa sejumlah energi yang disimpan pada perangkat pengumpul energi surya. Energi matahari tiba pada atmosfer bumi dengan nominal 1350 W/m^2 yang biasa disebut sebagai konstanta matahari (radiasi matahari). Namun tidak semua energi dapat mencapai permukaan bumi. Atmosfer menyerap dan memantulkan sebagian besar darinya, sehingga saat mencapai permukaan bumi energi matahari bernilai sekitar 1000 W/m^2 (Hankins, 2010).

Penyinaran matahari mengacu pada intensitas radiasi matahari yang menghantam permukaan sel surya, atau daya yang diterima persatuan luas dari matahari. Modul panel surya menghadap secara tegak lurus dengan sinar matahari maka penyinarannya akan jauh lebih tinggi daripada jika penyinaran matahari tidak tegak lurus terhadap panel surya. Perubahan intensitas matahari pada panel yang datar di ilustrasikan pada Gambar 2.3. Energi sinar matahari pada pagi dan sore hari tidak berada pada sudut optimal. Pada siang hari daya yang diterima dapat lebih tinggi. Jumlah actual daya yang diterima pada waktu tertentu bervariasi dengan kondisi cuaca.



Gambar 2.3 Kurva daya panel surya terhadap iradiasi (Hankins, 2010).

2.4 Model Matematis Panel Surya

Model matematis panel surya dapat diekspresikan oleh rangkaian ekivalen pada Gambar 2.4. Dalam model ini V_{oc} dan I_{sc} merupakan parameter utama dan dapat diketahui bahwa persamaan ini merupakan representasi karakteristik arus dan tegangan terhadap iradiasi matahari dan suhu. Representasi karakteristik panel surya dalam model matematis dapat ditulis seperti pada persamaan (2.1).

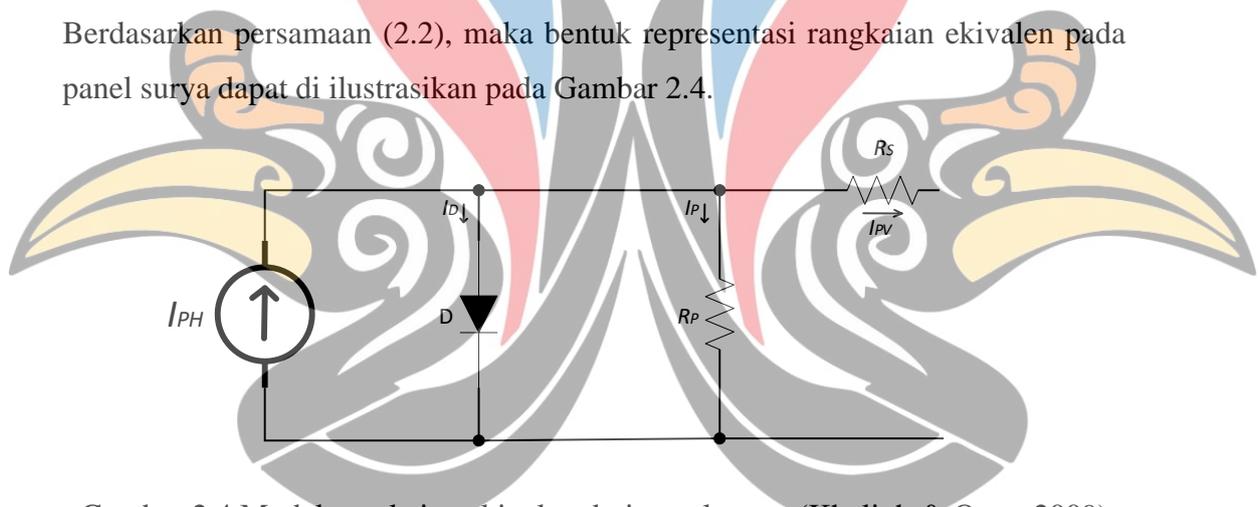
$$I_{PV} = I_{PH} - I_D - I_{Rp} \quad (2.1)$$

$$I_{PV} = I_{PH} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V_{PV} + R_S I_{PV})}{\alpha \times K \times T} \right) - 1 \right] - \frac{V_{PV} + R_S I_{PV}}{R_p} \quad (2.2)$$

Dimana,

- I_{PH} = Photocurrent (A)
- I_o = Arus saturasi balik dari diode (A)
- q = Muatan elektron ($1,602 \times 10^{19} C$)
- V_{PV} = Tegangan Panel Surya (V)
- I_{PV} = Arus Panel Surya (*implicit equation*)
- K = Konstanta Boltzman ($1,381 \times 10^{-23} J/K$)
- T = Suhu Panel ($^{\circ}C$)
- α = Diode ideality factor
- R_s = Tahanan seri dari diode (Ω)
- R_p = Tahanan Shunt dari diode (Ω)

Berdasarkan persamaan (2.2), maka bentuk representasi rangkaian ekivalen pada panel surya dapat di ilustrasikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Model rangkaian ekivalen dari panel surya (Khaligh & Onar, 2009)

Rangkaian ekivalen panel surya pada Gambar 2.4 dapat dilihat bahwa sumber panel surya yaitu arus, dikarenakan energi cahaya matahari menyebabkan penambahan pton sehingga elektron melepas ikatan dan terjadi pergerakan muatan (Khaligh & Onar, 2009).

2.5 Maximum Power Point Tracking

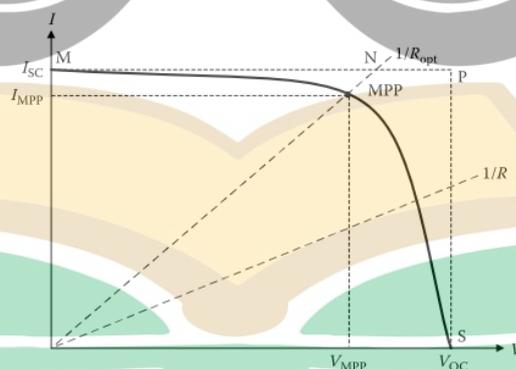
Sistem panel surya memanfaatkan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk meningkatkan efisiensi panel surya. Efisiensi disini berupa konverter daya dan pencarian titik daya maksimum dengan menggunakan

algoritma. Panel surya memiliki karakteristik I-V yang sangat *non linear* dan daya keluarannya sangat bergantung pada suhu dan radiasi, kondisi lingkungan yang bervariasi sangat mempengaruhi keluaran daya panel surya. Karakteristik panel surya membuat pelacakan titik daya maksimum menjadi kompleks, dan untuk mengatasi masalah ini dapat menggunakan metode MPPT seperti *Perturb and Observe* (P&O). Metode kontrol tersebut merupakan yang paling umum diterapkan dalam sistem (Venkatesan & Saravanan, 2016).

2.6 Prinsip *Maximum Power Point Tracking* Modul Panel Surya

Maximizer merupakan salah satu perkembangan alat *power electronic* dengan kontrol yang mampu mengisi baterai pada sebuah sistem. Pengisian baterai menggunakan panel surya dan pada pengujian daya keluaran panel surya naik sebesar 10%, pada situasi suhu panel yang dimiliki dibawah 25°C pada cuaca berawan dan musim dingin. *Maximizer* dapat dengan mudah memberikan rating 25% lebih tinggi untuk pengisian baterai menggunakan *Maximizer* (Watkinson, 1984).

Kurva arus-tegangan (I-V) diperoleh dengan sel surya mendapatkan tingkat cahaya nominal, sambil mempertahankan suhu sel di batas operasional. Secara konseptual kurva I-V mewakili kombinasi arus dan tegangan keluaran operasi dari panel surya yang dapat memvariasikan resistansi beban, dan mengukur arus yang dihasilkan (Khaligh & Onar, 2009).



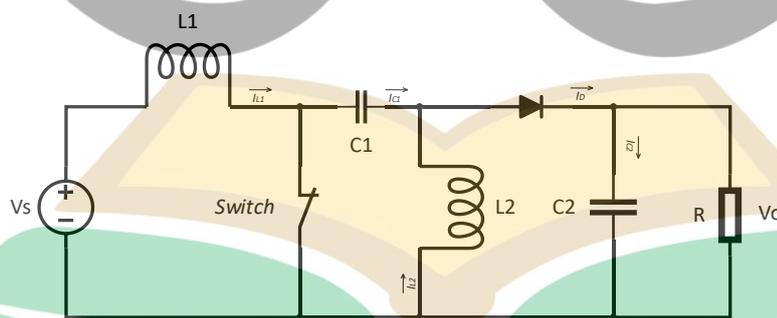
Gambar 2.5 Kurva karakteristik I-V pada panel surya (Khaligh & Onar, 2009)

Kurva karakteristik I-V pada Gambar 2.5 menggunakan dua titik yaitu I_{sc} (Arus *Short Circuit*) dan V_{oc} (Tegangan *Open Circuit*), Arus hubung singkat (I_{sc})

merupakan arus yang dihasilkan ketika terminal positif dan negatif sel dihubungkan pendek, dan tegangan antar terminal adalah nol. Pada tegangan sirkuit terbuka (V_{oc}) merupakan tegangan pada terminal positif dan negatif dalam kondisi sirkuit terbuka ketika arus bernilai nol. Pada kondisi ini tidak bisa mendapatkan kurva daya maksimum dikarenakan titik daya maksimum terjadi ketika hasil kali arus dan tegangan maksimum. Representasi daya maksimum dapat dilihat pada Gambar 2.5 pada titik MPP yang terletak pada puncak kurva I-V, yaitu titik dimana modul menghasilkan daya listrik maksimum (Khaligh & Onar, 2009).

2.7 *The Single-Ended Primary Inductance Converter (SEPIC)*

Konverter DC-DC digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan sumber, konverter SEPIC memiliki konfigurasi yang tidak jauh berbeda dengan konverter *cuk*. Perbedaan yang dimiliki konverter SEPIC dan *cuk* hanya pada polaritas keluaran konverter (Soedibyo dkk., 2016). Konverter SEPIC dapat digunakan sebagai konverter DC-DC untuk mengatur level tegangan keluaran panel surya dalam menyuplai daya pada beban berupa baterai. Panel surya sangat bergantung dengan kondisi lingkungan berupa cahaya matahari dan suhu sekitarnya diharapkan dengan adanya konverter SEPIC dapat memberikan tegangan keluaran yang optimal. Selain itu konverter SEPIC memiliki arus *ripple* yang rendah dari konverter DC-DC lainnya (Efendi dkk., 2017). Desain rangkaian konverter SEPIC dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Rangkaian konverter SEPIC (W. Hart Daniel, 2010)

Konverter SEPIC memiliki tegangan induktor dengan rata-rata adalah nol dan kapasitor memiliki arus rata-rata adalah nol untuk operasi *steady state*. Berdasarkan hal tersebut untuk melihat tegangan pada kapasitor 1 pada MOSFET

dalam kondisi *closed* dapat menggunakan persamaan (2.3) dengan prinsip hukum Kirchoff's II (W. Hart Daniel, 2010)

$$-V_s + v_{L1} + v_{C1} - v_{L2} = 0 \quad (2.3)$$

$$-V_s + 0 + v_{C1} - 0 = 0 \quad (2.4)$$

$$V_{C1} = V_s \quad (2.5)$$

Tegangan induktor pada kondisi MOSFET dalam posisi *closed*, dan diode dalam kondisi *open* dapat dituliskan dalam persamaan (2.6).

$$V_{L1} = V_s \quad (2.6)$$

MOSFET dalam kondisi *open*, dan diode dalam kondisi *closed* seperti pada Gambar 2.6. Persamaan pada rangkaian berdasarkan Kirchoff's II dapat dituliskan dalam persamaan (2.7).

$$-V_s + v_{L1} + v_{C1} + V_o = 0 \quad (2.7)$$

$$-V_s + v_{L1} + V_s + V_o = 0 \quad (2.8)$$

$$V_{L1} = -V_o \quad (2.9)$$

Persamaan konverter SEPIC untuk tegangan keluaran dapat dituliskan pada persamaan (2.12).

$$(v_{L1,sw\ closed})(DT) + (v_{L1,sw\ open})(1 - D)T = 0 \quad (2.10)$$

$$(v_s)(DT) - (v_o)(1 - D)T = 0 \quad (2.11)$$

$$V_o = V_s \times \left(\frac{D}{1 - D} \right) \quad (2.12)$$

Konverter SEPIC memiliki kemampuan untuk memiliki tegangan *input* dan *output* yang lebih besar atau lebih kecil dari input tanpa ada pembalikan polaritas, sehingga konverter ini cocok untuk berbagai aplikasi. Persamaan memiliki asumsi tidak ada rugi-rugi pada konverter, daya yang disuplai oleh sumber sama dengan daya yang digunakan oleh beban sehingga dapat dituliskan pada persamaan (2.13).

$$P_s = P_o \quad (2.13)$$

$$P_s = V_s I_s = V_s I_{L1} \quad (2.14)$$

$$P_o = V_o I_o \quad (2.15)$$

$$V_s I_{L1} = V_o I_o \quad (2.16)$$

$$I_{L1} = I_s = \frac{V_o I_o}{V_s} = \frac{V_o^2}{V_s R} \quad (2.17)$$

Variasi yang terdapat pada arus di induktor 1 ketika MOSFET dalam keadaan *closed* dapat dituliskan pada persamaan (2.19).

$$v_{L1} = V_s = L_1 \left(\frac{di_{L1}}{dt} \right) = L_1 \left(\frac{\Delta i_{L1}}{\Delta t} \right) = L_1 \left(\frac{\Delta i_{L1}}{DT} \right) \quad (2.18)$$

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_s DT}{L_1} = \frac{V_s D}{L_1 f} \quad (2.19)$$

Arus pada induktor 2 dapat dilihat dengan menggunakan hukum Kirchoff's I dapat dituliskan pada persamaan (2.21).

$$i_{L2} = i_D - i_{C1} \quad (2.20)$$

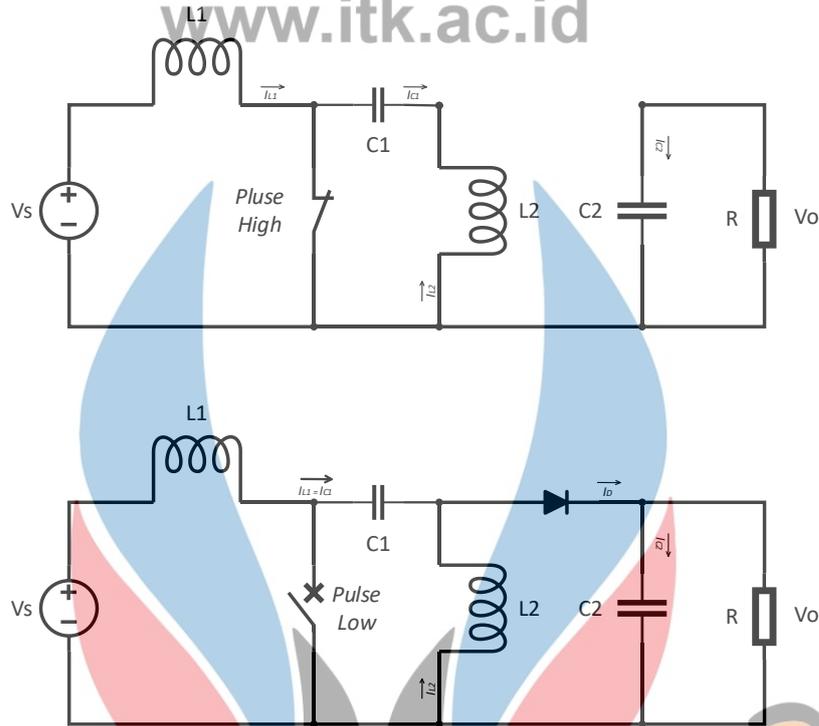
$$i_D = i_{C2} + I_o \quad (2.21)$$

Berdasarkan persamaan arus induktor dan arus diode maka persamaan (2.20) dapat disederhakan pada persamaan (2.23).

$$i_{L2} = i_{C2} + I_o - i_{C1} \quad (2.22)$$

$$i_{L2} = I_o \quad (2.23)$$

Konverter DC-DC beroperasi berulang berdasarkan siklus MOSFET dengan frekuensi tinggi. Ketika MOSFET dalam keadaan *high* induktor 1 akan diberikan muatan oleh tegangan input dan induktor 2 diisi oleh kapasitor 1. Diode dalam kondisi *low* dan keluaran konverter akan dipertahankan oleh kapasitor 2. Ketika MOSFET dalam kondisi *low* muatan induktor keluar melalui diode ke beban dan kapasitor akan diisi. Semakin besar persentase *duty cycle*, semakin besar tegangan keluaran konverter. Apabila pulsa berlangsung terlalu lama, kapasitor tidak akan menampung muatan yang dikirim dari induktor dan akan terjadi kegagalan pada konverter (Soedibyo dkk., 2016).



Gambar 2.7 Kondisi *switching* konverter SEPIC (W. Hart Daniel, 2010).

2.7.1 *Konsiderasi Duty Cycle*

Konsiderasi *duty cycle* diperlukan untuk menyesuaikan siklus operasi sehingga konverter dapat beroperasi pada titik daya yang direncanakan (Zhang, 2013). Kondisi keluaran ideal pada konverter SEPIC pada persamaan (2.24).

$$V_{out} = \frac{D \times V_{in}}{1 - D} \tag{2.24}$$

Kerugian pada komponen diode yang menyebabkan penurunan tegangan pada operasi, sehingga dapat ditambahkan besaran komponen seperti pada persamaan (2.25).

$$V_{out} + V_D = \frac{D \times V_{in}}{1 - D} \tag{2.25}$$

Konsiderasi operasi *duty cycle* pada persamaan (2.25) dapat disederhanakan pada persamaan (2.26).

$$D = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in} + V_{out} + V_D} \tag{2.26}$$

2.7.2 Perancangan Nilai Induktor

Perancangan komponen induktor semakin besar nilainya, semakin baik rangkaian akan beroperasi dan mengurangi *ripple*. Namun induktor dengan ukuran besar lebih mahal dan memiliki resistansi internal yang lebih besar. Aturan yang baik untuk menentukan induktansi adalah membiarkan arus *ripple* menjadi 40% dari arus *input* maksimum pada tegangan *input* minimum (Zhang, 2013). Perancangan nilai induktor L_1 dan L_2 dapat dituliskan pada persamaan (2.29).

$$\Delta I_L = I_{in} \times 40\% \quad (2.27)$$

$$\Delta I_L = I_{out} \times \frac{V_{out}}{V_{in}} \times 40\% \quad (2.28)$$

$$L_1 = L_2 = \frac{V_{in}}{\Delta I_L \times f_{sw}} \times D \quad (2.29)$$

2.7.3 Perancangan Nilai Kapasitor

Pemilihan komponen kapasitor harus dengan tegangan lebih besar dari tegangan input. Perancangan nilai kapasitor C_1 dan C_2 konverter SEPIC dapat dituliskan pada persamaan (2.31) dan (2.32).

$$I_{C1} = I_{C2} = I_{out} \times \sqrt{\frac{V_{out} + V_D}{V_{in}}} \quad (2.30)$$

$$\Delta V_c = \frac{I_{out} \times D}{C_1 \times f_s} \quad (2.31)$$

$$C_2 \geq \frac{I_{out} \times D}{V_{ripple} \times 0.5 \times f_s} \quad (2.32)$$

2.7.4 Perancangan Nilai Resistor

Pemilihan nilai resistor berdasarkan perhitungan tegangan maksimum dan tegangan minimum dari persamaan (2.26). Arus minimum dan maksimum yang melewati beban resistansi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.33).

$$I_{out} = \frac{P_{out}}{V_{out}} \quad (2.33)$$

Berdasarkan persamaan (2.33) perancangan nilai resistor dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.34).

$$R_i = \frac{V_{out}}{I_{out}} \quad (2.34)$$

Perancangan resistor berdasarkan persamaan (2.34) terdiri dari dua nilai, pada saat kondisi minum dan maksimum. Pemilihan resistor yang akan digunakan pada implementasi adalah nilai resistor dengan kondisi *duty cycle* maksimum.

2.7.5 Perancangan Lilitan Induktor Toroid

Nilai induktansi pada suatu komponen dipengaruhi oleh jumlah lilitan pada *magnetic cores*, setiap inti atau *magnetic cores* memiliki *permeability* yang merupakan kemampuan medan magnet pada suatu inti. Perancangan induktor dengan menggunakan inti toroid memerlukan nilai A_L yang dapat ditemukan pada *manufacturer data* (Silver, 2008). Perhitungan lilitan induktor dapat dilakukan menggunakan persamaan (2.35).

$$N = 1000 \sqrt{\frac{L(mH)}{A_L(mH/1000turns)}} \quad (2.35)$$

Dimana nilai N merupakan jumlah lilitan, dan L merupakan nilai induktansi dalam satuan mH dan A_L merupakan induktansi indeks dalam mH per 1000 lilitan

2.8 Nature Inspired Algorithm

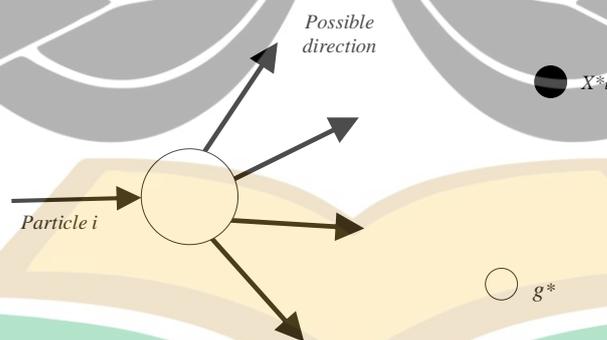
Algoritma optimasi bertujuan untuk memecahkan masalah prosedur secara efisien, berupa iterasi dalam perhitungan atau instruksi untuk mendapatkan solusi optimal (Ding dkk., 2018). Proses optimasi berupa menemukan nilai terbaik yang tersedia dari beberapa fungsi tujuan (Islam dkk., 2016). Efisiensi *Maximum Power Point Tracking* akan menurun jika permukaan panel surya berada pada kondisi *partial shading*. Umumnya MPPT akan bekerja sempurna pada kondisi normal (cuaca cerah). Kondisi kerja panel surya pada kurva karakteristik seperti pada Gambar 2.5 terdapat satu titik maksimum pada kurva karakteristik P-V. Algoritma optimisasi seperti pada *Perturb and Observe*, *Firefly*, dan *Bee Colony*, digunakan untuk melakukan skema pelacakan titik puncak global pada keluaran panel surya

(Efendi dkk., 2017). Jenis lainnya dari *nature inspired algorithm* yaitu *Particle Swarm Optimization* dan *Grey Wolf Optimizer*.

2.8.1 Particle Swarm Optimization

Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) merupakan metode optimalisasi fungsi *nonlinear* kontinu. Metode PSO merupakan metafora sosial untuk pengoptimalan. Metafora yang digunakan kondisi sosial secara berkelompok seperti burung dan ikan. Algoritma PSO memiliki konsep yang sangat sederhana dan paradigma dapat diimplementasikan kedalam beberapa fungsi operator matematika untuk dapat melakukan pengoptimalan. Karakteristik sosial dari kawanan burung untuk terbang berkelompok secara seragam dengan perubahan arah secara tiba-tiba, berhamburan, dan berkumpul kembali sehingga hal ini yang mendasari pengoptimalan menggunakan perilaku sosial dari kawanan burung (Kennedy & Eberhart, 1995).

Algoritma PSO dibangun dengan memperhatikan aktifitas kawanan burung secara kelompok. Optimisasi pada setiap partikel dilakukan secara bersamaan dengan mempertahankan beberapa solusi kandidat. Setiap iterasi pada algoritma PSO mencari kandidat solusi yang sesuai ditentukan oleh fungsi tujuan. Algoritma PSO setiap partikel mewakili solusi, setiap iterasi partikel bergerak ke posisi baru (Islam dkk., 2016).



Gambar 2.8 Perubahan posisi partikel pada PSO (Ding dkk., 2018)

Algoritma PSO pada setiap partikel memperbarui posisi berdasarkan kecepatan yang dihitung. Berikut merupakan persamaan *velocity* dan posisi baru menggunakan algoritma PSO.

$$V_j^{t+1} = W \times V_j^t + R_1 \times C_1 (P_j - X_j^t) + R_2 \times C_2 (P_g - X_j^t) \quad (2.36)$$

$$X_j^{t+1} = X_j^t + V_j^{t+1} \quad (2.37)$$

Pada persamaan (2.36) dan (2.37) terdapat beberapa parameter pada persamaan PSO sebagai berikut.

P_g = *Global best location*

P_j = *Position best location*

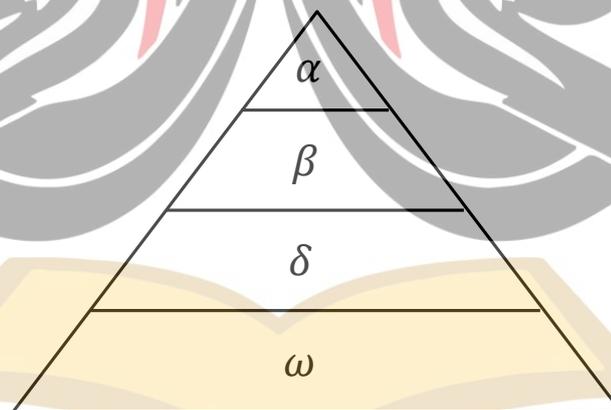
W = *Inertia weight*

C_1 dan C_2 = *Learning parameter*

R_1 dan R_2 = *Random parameter range [0,1]*

2.8.2 Grey Wolf Optimizer

Serigala merupakan hewan yang hidup secara berkelompok. *Grey wolf* memiliki hirarki sosial yaitu alpha (α), beta (β), delta (δ), dan omega (ω). Pemodelan optimasi menggunakan hirarki kawan serigala untuk mendapatkan nilai terbaik dengan alpha sebagai pemimpin dan pengambil keputusan untuk menyerang buruannya (Mirjalili dkk., 2014).



Gambar 2.9 Hirarki pada kawan Serigala (Mirjalili dkk., 2014)

Grey wolf dapat di transformasikan dalam bentuk matematis dengan melihat tindakan sosial kawan serigala untuk berburu mangsanya. Dapat dikatakan alpha (α) adalah *fittest solution*, secara berurutan solusi terbaik kedua dan ketiga adalah serigala beta (β), delta (δ), dan kandidat solusi ada pada

serigala omega (ω). Kawanan serigala dalam berburu akan mengelilingi mangsanya. Kebiasaan ini dapat di hitung secara matematis model perpindahan posisi serigala dengan simbol (X_t) pada persamaan (2.39). Perpindahan serigala dipengaruhi oleh koefisien \vec{A} dan \vec{C} sebagai strategi dalam perburuan. Perubahan posisi serigala dalam mendekati target dipengaruhi oleh persamaan (2.39) (Mirjalili dkk., 2014).

$$\vec{D} = |\vec{C} \times \vec{X}_p(t) - \vec{X}_t(t)| \quad (2.38)$$

$$\vec{X}(t + 1) = |\vec{X}_p(t) - \vec{A} \times \vec{D}| \quad (2.39)$$

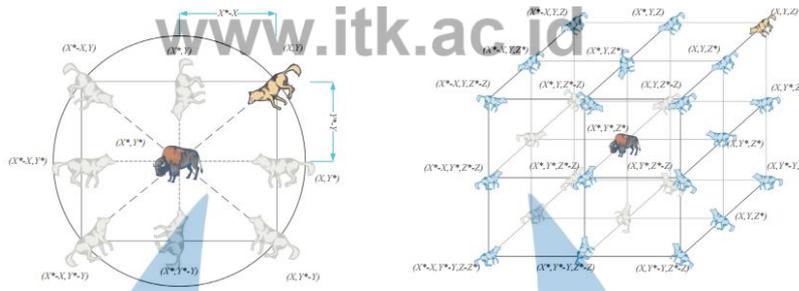
$$\vec{A} = 2\vec{a} \times \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (2.40)$$

$$\vec{C} = 2 \times \vec{r}_2 \quad (2.41)$$

Pada persamaan (2.38), (2.39), (2.40), dan (2.41) tersebut terdapat beberapa parameter dimana,

- t = Iterasi
- \vec{A} dan \vec{C} = Merupakan koefisien vektor
- \vec{X}_p = Posisi mangsa dalam vektor
- \vec{X}_t = Indikasi posisi vektor dari *grey wolf*
- \vec{a} = Merupakan kostanta akan menurun seiring iterasi [2,0]
- \vec{r}_1 dan \vec{r}_2 = Merupakan nilai vektor secara random [1,0]

Grey Wolf Optimizer dapat memperbarui posisinya berdasarkan posisi dari mangsanya yang berada di tempat yang berbeda dengan mengatur vektor nilai \vec{A} dan \vec{C} . Posisi pada *grey wolf* dapat di perbarui berdasarkan 2D dan 3D, sehingga *grey wolf* dapat memperbarui posisi mengelilingi mangsanya dengan menggunakan persamaan (2.43) dan (2.44). Ilustrasi dari perpindahan *grey wolf* terdapat pada Gambar 2.10 (Mirjalili dkk., 2014).



Gambar 2.10 Posisi perburuan serigala dan posisi selanjutnya (Mirjalili dkk., 2014)

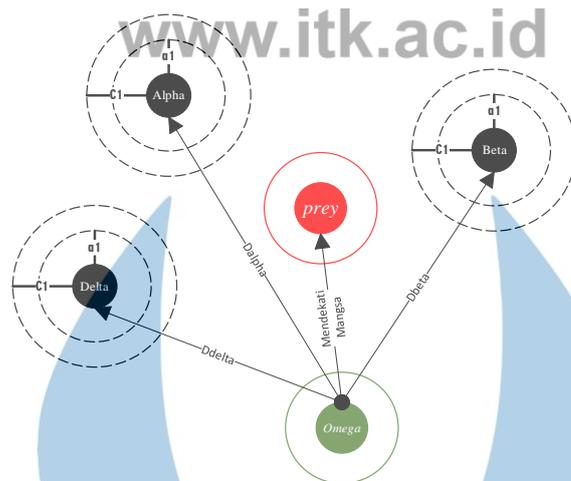
Grey wolf memiliki kemampuan untuk mengenali lokasi dari mangsanya di sekitar mereka. Dalam perburuan biasanya terdapat serigala yang menjadi pemimpin yaitu α . β dan δ juga terdapat kemungkinan ikut dalam perburuan. Dalam kondisi ruang pencarian yang luas berdasarkan kebiasaan serigala maka serigala alpha (α) akan menjadi solusi kandidat terbaik, sedangkan β dan δ memiliki pengetahuan yang baik mengenai potensi lokasi dari mangsa, begitu juga dengan ω yang merupakan calon target. Posisi terbaik didapatkan dengan melihat nilai alpha, beta, dan delta sehingga dari tiga solusi terbaik diharapkan dapat mencai target dengan baik pada persamaan (2.44) sebagai berikut (Mirjalili dkk., 2014).

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \times \vec{X}_\alpha - \vec{X}|, \vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \times \vec{X}_\beta - \vec{X}|, \vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \times \vec{X}_\delta - \vec{X}| \quad (2.42)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \times (\vec{D}_\alpha), \vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \times (\vec{D}_\beta), \vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \times (\vec{D}_\delta) \quad (2.43)$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (2.44)$$

Persamaan diatas merupakan perbaharuan posisi berdasarkan serigala α , β , dan δ dengan melakukan observasi posisi untuk mengestimasi posisi dari mangsanya. Serigala omega (ω) akan memperbarui dan menyesuaikan posisinya untuk mendekati mangsa (Mirjalili dkk., 2014). Posisi serigala dapat ditentukan berdasarkan Gambar 2.11 ilustrasi dari perubahan posisi serigala pada optimasi *grey wolf*.



Gambar 2.11 Perubahan posisi baru pada GWO (Mirjalili dkk., 2014)

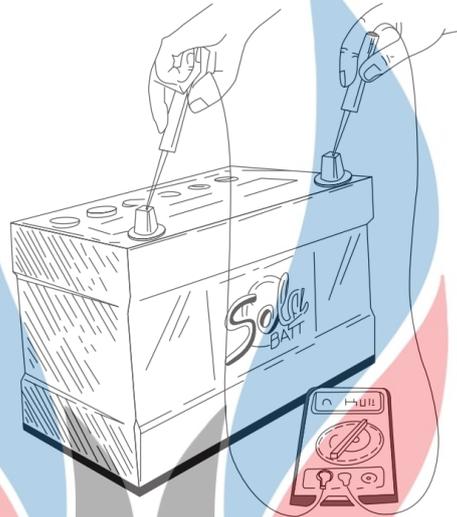
Serigala akan memburu dan menyerang apabila mangsanya tidak bergerak, Apabila dimodelkan perubahan posisi mangsa akan menurun seiring berjalanya iterasi (\vec{a}) sehingga permisalan nilai (\vec{A}) dapat berupa interval $[-2\alpha, 2\alpha]$ ketika nilai α berkurang dari 2 ke 0 maka nilai (\vec{A}) dapat berubah nilai intervalnya menjadi $[-1, 1]$. Sehingga dapat dimodelkan serigala akan menyerang mangsanya apabila $|A| < 1$ dan untuk memodelkan serigala meninggalkan mangsanya dan mencari mangsa lain dapat di tuliskan sebagai $|A| > 1$ mencari mangsa yang lain, dengan harapan mangsa yang lebih baik (Mirjalili dkk., 2014).

2.9 Valve-Regulated Lead Acid Batteries

Panel surya menghasilkan listrik hanya saat matahari bersinar, modul panel surya tidak dapat menyimpan energi listrik. Baterai atau akumulator merupakan alat untuk menyimpan muatan listrik. Sistem *off-grid* biasanya menggunakan beberapa jenis baterai untuk menyimpan energi matahari yang dipanen. Baterai adalah kelompok sel elektrokimia sebuah perangkat yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Energi listrik pada pengisian baterai akan tersimpan sebagai energi kimia di dalam sel. Ketika baterai sedang dikosongkan, energi kimia yang tersimpan dikeluarkan dari baterai dan diubah menjadi energi listrik (Hankins, 2010).

State of charge pada baterai dapat berkurang seperti layaknya tegangan pada baterai dan dapat diukur menggunakan *multimeter*. Baterai panel surya biasanya pada kondisi pengisian 100% memiliki tegangan sekitar 12.6V. Ketika

dikosongkan hingga 50% SoC, tegangannya akan menjadi sekitar 12.1V dan ketika benar-benar kosong (atau mati) tegangannya akan menjadi sekitar 11.5V atau lebih rendah. Pembacaan actual bervariasi menurut jenis baterai dan parameter status pengisian baterai (Hankins, 2010).



Gambar 2.12 Ilustrasi pengukuran *state of charge* dengan menggunakan *multimeter* (Hankins, 2010).

Baterai VRLA (*Valve-Regulated Lead Acid*) merupakan baterai yang sering digunakan dalam aplikasi *standby*. Baterai VRLA biasanya dalam masa pakainya menghabiskan 90% dalam kondisi *standby* dan umumnya hanya mengalami *shallow discharges* dengan DOD (*Depth of Discharge*) diantara 5% dan 50%. Baterai dirancang untuk mengurangi dampak pengisian daya yang berlebihan secara terus menerus yang menyebabkan pengaruh pada komponen konduktif dan menghasilkan pengosongan muatan dalam waktu singkat. Baterai VRLA biasanya dirancang untuk memberikan masa pakai 10 tahun pada operasi 25°C, akan tetapi kegagalan premature baterai yang disebabkan oleh keseimbangan material yang tidak tepat selama proses manufaktur. Kegagalan juga dapat disebabkan arus pengisian yang tinggi dan suhu pengoperasian yang tinggi menyebabkan kegagalan premature. (Wong dkk., 2008).

2.10 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan:

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Metode	Hasil
1	(Efendi dkk., 2018)	<i>Modified P&O Method as power optimizer Battery Charging Using SEPIC Converter</i>	Implementasi alat menggunakan <i>microcontroller</i> yang terintegrasi algoritma P&O untuk kontrol konverter SEPIC pada pengisian baterai. Percobaan dilakukan dengan membandingkan performa dengan menggunakan beberapa metode algoritma yaitu : <i>modified P&O</i> , P&O, dan tanpa MPPT. Pengukuran kapasitas baterai pada proses pengisian baterai selama 180 menit <i>modified P&O</i> dapat memproduksi daya lebih besar dibandingkan konvensional P&O.
2	(Efendi dkk., 2017)	<i>Maximum Power Point Tracking of SEPIC Converter Using Modified PSO</i>	Simulasi <i>software maximum power tracking</i> dengan menggunakan metode algoritma <i>modified PSO</i> dan P&O percobaan dilakukan dengan memberikan <i>pattern partial shading</i> pada <i>pv array</i> . Hasil dari simulasi tersebut didapatkan akurasi dari MPPT <i>partial shading</i> menggunakan metode MPSO lebih baik dari pada P&O. Tingkat akurasi daya keluaran mendekati target MPSO sebesar 95% dan P&O antara 47% - 85%.
3	(Mohanty dkk., 2016)	<i>A New MPPT Design Using Grey Wolf Optimization Technique for Photovoltaic System Under Partial Shading Conditions</i>	Melakukan simulasi melalui <i>software</i> dengan menggunakan tiga algoritma GWO, PSO, dan P&O. Simulasi dilakukan pada kondisi <i>partial shading</i> . Hasil simulasi menunjukkan GWO dapat menangani <i>partial shading</i> dengan efektif seperti algoritma lainnya PSO dan P&O, akan tetapi pada GWO mendapatkan nilai konvergen lebih cepat serta efisiensi pelacakan yang lebih tinggi.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Nama dan Tahun Publikasi	Metode	Hasil
4	(Soedibyo dkk., 2016)	<i>Comparative Buck-Boost, Cuk, SEPIC, and Zeta Converter for Maximum Power Point Tracking with P&O Method</i>	Melakukan simulasi melakukan <i>software</i> PSIM untuk membandingkan konverter DC-DC. Perbandingan dapat dilihat dari nilai keluaran dan pada tingkat <i>ripple</i> pada sisi masukan maupun keluaran. Simulasi dilakukan dengan panel surya dan beban yang sama. Hasil simulasi didapatkan konverter <i>buck-boost</i> dan <i>cuk</i> memiliki polaritas terbalik yaitu <i>negative</i> akan tetapi pada konverter SEPIC dan <i>zeta</i> adalah sebaliknya. Diantara keempat konverter dapat dilihat sinyal arus dan tegangan memiliki tingkat <i>ripple</i> yang kecil.

