

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

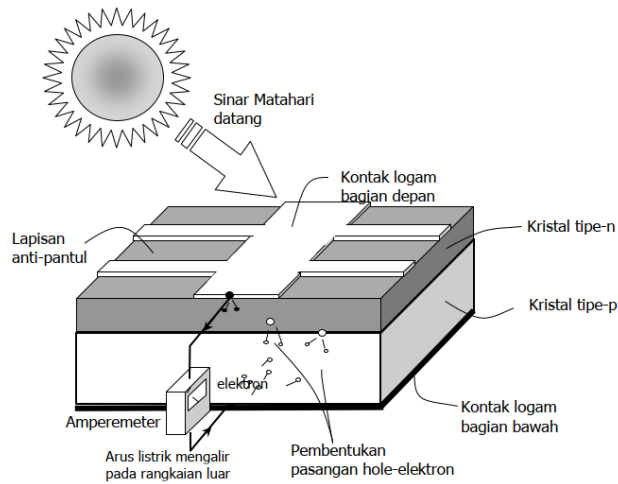
2.1 Panel Surya

Aliran listrik matahari pertama ditemukan pada abad ke-19. Ilmuan menangkan peristiwa ini secara kebetulan, berkas sinar matahari mengenai larutan elektro kimia dan mengakibatkan peningkatan muatan elektron. Setelah satu abad berlalu yakni pada awal abad ke-20, penemuan ini diberi nama *Photoelectric effect* yang menjadi dasar pengertian *Photovoltaic effect*. Ilmuan melakukan pengamatan pada sebuah lempeng metal yang melepaskan foton partikel energi cahaya ketika energi matahari mengenainya. Foton-foton tersebut secara terus-menerus mendesak atom metal, sehingga terjadi partikel energi foton bersifat gelombang energi Cahaya. Sel surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik dengan prinsip fotovoltaiik. Modul surya adalah kumpulan beberapa sel surya, dan panel surya adalah kumpulan beberapa modul surya. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya dipengaruhi oleh dua variabel fisis, yaitu intensitas radiasi cahaya matahari dan suhu lingkungan. Intensitas radiasi cahaya matahari yang diterima sel surya sebanding dengan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya, sedangkan apabila suhu lingkungan semakin tinggi dengan intensitas radiasi cahaya matahari yang tetap, maka tegangan panel surya berkurang dan arus listrik yang dihasilkan bertambah. Perubahan temperatur sel-sel surya ini diakibatkan oleh temperatur, kondisi awan dan kecepatan angin di lingkungan sekitar daerah penempatan panel surya [16].

2.1.1 Prinsip Kerja

Sel surya atau *solar cell* adalah sebuah elemen aktif yang memanfaatkan efek fotovoltaiik tersebut untuk merubah energi surya menjadi energi listrik. Elemen aktif yang dimaksud disini adalah bahan semikonduktor. Ketika cahaya surya mengenai permukaan aktif sel surya, foton yang terbentuk dalam cahaya menyalurkan energinya pada elektron valensi yang terdapat bahan semikonduktor, sebagai reaksi terhadap intensitas dan distribusi pantulan cahaya. Saat energi

semakin besar sampai pada level tertentu dapat terjadi beda potensial yang memungkinkan terjadinya arus listrik. Efek fotovoltaiik dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Efek Fotovoltaiik [8]

Berdasarkan Gambar 2.1 menjelaskan efek fotovoltaiik dari sinar matahari yang diserap oleh komponen panel surya dari kontak logam dan kristal tipe-n dan juga tipe-p, kemudian lanjut pembentukan pasangan *hole* elektron dan kemudian menghasilkan daya listrik. Panel surya seperti yang sudah diketahui bahwa energi dari matahari merupakan energi gratis yang berlimpah, untuk memanfaatkan energi ini memerlukan bantuan dari unsur paling berlimpah di bumi yaitu pasir. Pasir ini perlu di ubah menjadi 99,99 % *silicon* murni untuk digunakan sebagai cell surya. Silikon memiliki beberapa sifat kimia khusus, terutama jika berbentuk kristal. Sebuah atom silikon memiliki 14 elektron, ketika ada energi yang ditambahkan ke silikon murni, energi panas misalnya, hal ini dapat menyebabkan beberapa elektron membebaskan diri dari ikatan atom. Elektron ini disebut *carrier* bebas yang berjalan secara acak di sekitar kisi kristal dan membawa arus listrik untuk membuat *cell* surya, perlu meningkatkan *carrier* bebas pada silikon murni dengan menambahkan unsur fosfor sehingga menghasilkan silikon negatif atau tipe-n dan bagian lain dari silikon ditambah dengan unsur boron sehingga menghasilkan silikon positif atau tipe-p yang membawa muatan positif.

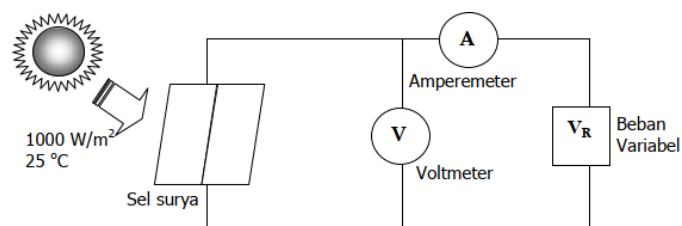
Semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe P. Akibat dari aliran elektron ini maka terbentuk

medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susunan p-n *junction* mendorong elektron dari semikonduktor menuju kontak negatif yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai energi listrik. Umumnya satu sel surya dapat menghasilkan tegangan DC sebesar 0,5 sampai 1 V. Besarnya tegangan tersebut tentunya tidak cukup untuk diaplikasikan langsung, sehingga sejumlah sel surya disusun membentuk panel surya secara seri untuk menghasilkan tegangan yang lebih tinggi, selanjutnya agar dapat digunakan, tegangan searah DC yang dihasilkan panel surya diubah menjadi tegangan bolak balik AC menggunakan inverter.

Terdapat dua jenis teknologi panel surya *Crystalline Silicon* (c-Si) yang sering digunakan yaitu *poly-crystalline* (poly-Si) dan *mono-crystalline* (mono-cSi). Jika proses kimia kristal silikon dilakukan satu langkah lebih jauh *cell-cell polycrystalin* menjadi *cell-cell cristal* mono, meskipun prinsip-prinsip operasi keduanya sama, *cell-cell* kristal mono memberikan kelebihan seperti konduktivitas yang lebih tinggi, hal ini tentunya berdampak pada peningkatan efisiensi. Kelebihan lainnya yang ditawarkan kristal mono yaitu berkinerja lebih baik pada suhu tinggi, sehingga sesuai untuk dipasang di daerah dengan suhu panas, seperti Jakarta misalnya, berbeda dengan jenis *polycrystalline* yang kurang efisien pada suhu yang tinggi.

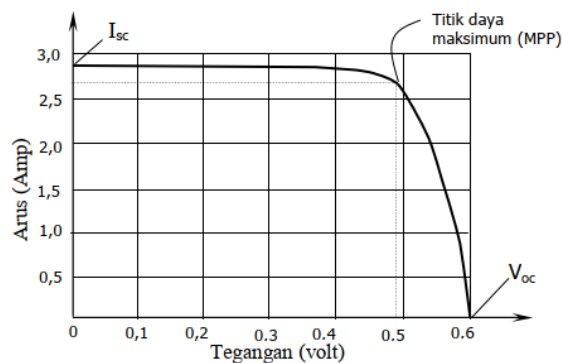
2.1.2 Karakteristik Panel Surya

Sel surya dalam keadaan tanpa penyinaran mempunyai karakteristik yang mirip dengan dioda. Ketika sel surya mendapat sinar, mengalir arus (I) konstan yang arahnya berlawanan dengan arus diode, untuk memperoleh karakteristik $V-I$ sel surya maka sel surya yang dites harus dihubungkan dengan beban listrik yang dapat divariasikan. Selain itu alat-alat ukur V dan I harus dipasang sebagaimana mestinya. Rangkaian pengetesan sel surya dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Rangkaian Pengetesan Sel Surya [8]

Berdasarkan Gambar 2.2 menjelaskan rangkaian pengetesan sel surya, saat beban sama dengan nol atau dengan kata lain beban dilepas maka dalam keadaan ini diperoleh tegangan beban nol V_{oc} (*Open Circuit Voltage*) yang merupakan tegangan maksimum sel surya karena I sama dengan 0. Saat beban diperbesar terus sampai mencapai keadaan hubung singkat maka diperoleh tegangan sel surya sama dengan nol dan arus maksimum I_{sc} (*Short Circuit Current*). Apabila beban divariasi maka diperoleh arus dan tegangan yang bervariasi pula. Kombinasi arus dan tegangan tersebut dapat digambarkan kedalam grafik karakteristik I - V sel surya seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Grafik Karakteristik I - V Sel Surya [8]

Berdasarkan Gambar 2.3 menjelaskan grafik karakteristik I - V sel surya, dapat dilihat bahwa sel menghasilkan daya yang maksimum pada sebuah titik dari grafik tersebut. Keadaan beban nol dan hubung singkat, daya yang dihasilkan sebuah sel surya sama dengan nol [17]. Gambar tersebut titik daya maksimum *Maximum Power Point* (MPP) dihasilkan dari tegangan V_{max} dan arus I_{max} , untuk mendapatkan P_{max} atau daya maksimum dapat dihitung dengan Persamaan (2.1).

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max} \quad (2.1)$$

Berdasarkan Persamaan (2.1) menjelaskan cara menghitung daya maksimal, diperoleh dari perkalian antara tegangan maksimal dengan arus maksimal. Berdasarkan prakteknya selalu diusahakan agar pemakaian beban berpatokan dari titik MPP ini. Level radiasi matahari yang lebih rendah maka luasan daerah di bawah grafik tersebut berkurang dan MPP bergeser ke kiri, namun bentuk grafik I - V secara umum masih tetap sama. Saat sel-sel surya menghasilkan daya listrik

pada keadaan sebenarnya, intensitas radiasi matahari bervariasi tiap waktu, sehingga untuk menghasilkan daya yang maksimum diperlukan sebuah peralatan elektronis yang disebut MPP [8].

2.1.3 Efisiensi Panel Surya

Efisiensi panel surya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya keluaran dibagi dengan daya *input*. Efisiensi suatu alat memperlihatkan kemampuan alat tersebut ketika alat tersebut bekerja. Efisiensi panel surya dapat ditentukan dengan menggunakan *input* panel surya yang sesuai dengan kondisi standar (iridiasi matahari sebesar 1000 W/m^2 dan suhu sebesar $25 \text{ }^\circ\text{C}$). Efisiensi panel surya secara matematis dapat dihitung dengan Persamaan (2.2).

$$\eta = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{I_{Maks} \times A} \times 100\% \quad (2.2)$$

Berdasarkan Persamaan (2.2) efisiensi panel surya didapat dari hasil bagi antara hasil kali tegangan rangkaian terbuka dengan arus hubung singkat dan *Fill Factor* (FF), kemudian dibagi dengan hasil kali arus maksimal dengan luas area dari panel surya kemudian hasil bagi tersebut dikali 100 %. FF dapat diketahui dengan Persamaan (2.3).

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2.3)$$

Berdasarkan Persamaan (2.3) adalah perhitungan FF yang didapat dari hasil bagi antara hasil kali tegangan maksimum dan arus maksimum kemudian dibagi dengan hasil kali tegangan rangkaian terbuka dan arus hubung singkat [13]. FF adalah pengukuran penting yang dapat digunakan untuk mengevaluasi efisiensi sel surya. Sel surya dengan faktor pengisian yang lebih tinggi memiliki efisiensi yang lebih tinggi sehingga lebih diminati.

2.1.4 Faktor Pengaruh Panel Surya

Saat tengah hari yang cerah radiasi sinar matahari mampu mencapai 1000 W per meter persegi. Jika sebuah piranti semikonduktor seluas satu meter persegi memiliki efisiensi 10 %, maka modul sel surya ini mampu memberikan tenaga listrik sebesar 100 Watt. Modul sel surya komersial memiliki efisiensi berkisar antara 5 % hingga 15 % tergantung material penyusunnya. Tipe silikon kristal merupakan jenis piranti sel surya yang memiliki efisiensi tinggi biaya

pembuatannya relatif lebih mahal dibandingkan jenis sel surya lainnya. Masalah yang paling penting untuk merealisasikan sel surya sebagai sumber energi alternatif adalah efisiensi piranti sel surya dan harga pembuatannya. Efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan antara tenaga listrik yang dihasilkan oleh piranti sel surya dibandingkan dengan jumlah energi cahaya yang diterima dari pancaran sinar matahari. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebenarnya tergantung pada efisiensi konversi energi dan konsentrasi sinar matahari yang diterima sel tersebut [5]. Faktor lain dari pengoperasian sel surya banyak yang harus diperhatikan. Radiasi surya sangat mempengaruhi hasil pada luaran sel surya, untuk mendapatkan hasil yang maksimal dapat dilihat penjelasan sebagai berikut:

a. *Ambient air temperature*

Sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap normal (pada 25 °C). Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel menurunkan nilai tegangan sirkuit terbuka (V_{oc}). Setiap kenaikan temperatur Sel surya 10 °C (dari 25 °C) berkurang sekitar 0,4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau melemah dua kali (2x) lipat untuk kenaikan temperatur Sel per 100°C.

b. Radiasi matahari

Radiasi matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi. Tergantung keadaan *spektrum solar* ke bumi. *Insolation solar* matahari banyak berpengaruh pada arus (I) dan sedikit pada tegangan.

c. Kecepatan angin bertiup

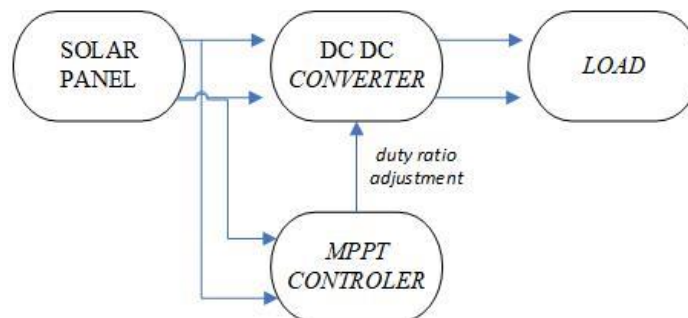
Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi larik sel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca larik sel surya. Sebaliknya jika tiupan angin kecil pada sekitar lokasi larik sel surya maka larik sel surya cepat panas. Hal tersebut dapat mengakibatkan penurunan elektabilitas sel surya. Posisi letak sel surya (larik) terhadap matahari (*tilt angle*)

Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel sel surya secara tegak lurus mendapatkan energi maksimum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$ atau 1 kW/m^2 . Jika tidak dapat mempertahankan ketegak lurus antara sinar matahari dengan bidang sel surya, maka ekstra luasan bidang panel sel surya dibutuhkan (bidang panel sel surya Sel surya pada *Equator* (*latitude* 0 derajat) yang diletakkan

mendatar ($tilt\ angle = 0$) menghasilkan energi maksimum, sedangkan untuk lokasi dengan $latitude$ berbeda harus dicarikan $tilt\ angle$ yang optimum [5].

2.2 Maximum Power Point Tracking

Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah sebuah metode untuk mendapatkan daya maksimum dari sebuah sumber energi (energi matahari, angin, dan yang lain) pada berbagai kondisi lingkungan dan kondisi beban [18]. Sebuah sumber energi tidak dapat bekerja pada daerah maksimumnya secara otomatis melainkan dikendalikan menggunakan MPPT. Prinsip kerja MPPT adalah selalu mencari dan menentukan titik kerja maksimum dari sebuah panel surya dari kurva karakteristik arus (I) dan tegangan (V) dengan dibantu DC-DC *converter*. MPPT bekerja menentukan daya maksimal dari panel surya mengikuti perubahan iradiasi matahari dan suhu lingkungan. Perubahan iradiasi dan suhu lingkungan terjadi pada setiap waktu dari pagi hingga petang. Diagram blok MPPT dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram Blok MPPT [19]

Berdasarkan Gambar 2.4 menjelaskan diagram blok MPPT, bahwa MPPT memiliki *input* dari panel surya berupa tegangan dan arus. Keluaran MPPT adalah berupa sinyal PWM yang dipergunakan sebagai *input* dari transistor pada DC-DC *converter*, kemudian arus dialirkan pada beban.

2.3 Algoritma Artificial Bee Colony

Algoritma koloni lebah buatan adalah algoritma *metaheuristic* berbasis *swarm* yang diperkenalkan untuk memecahkan masalah optimasi multidimensi dan multimodal. Algoritma ini secara khusus didasarkan pada model untuk

perilaku mencari makan koloni lebah madu. Algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC), lebah buatan diklasifikasikan menjadi tiga kelompok: lebah pekerja (*employed bees*), lebah pengamat (*onlooker bees*), dan lebah pramuka (*scout bees*). Lebah yang sedang mencari makanan atau memanfaatkan sumber makanan disebut lebah pekerja. Seekor lebah yang menunggu di sarang untuk membuat keputusan untuk memilih sumber makanan disebut sebagai *onlooker* (pengamat). Lebah pekerja yang sumber makanannya tidak dapat ditingkatkan melalui sejumlah percobaan yang telah ditentukan menjadi pengintai dan sumber makanannya ditinggalkan. Jumlah sumber makanan sama dengan jumlah lebah pekerja dan juga sama dengan jumlah lebah *onlooker* (pengamat) [12].

Lebah pekerja saat ini sedang mencari makanan dan membawa data tentang sumber makanan ke sarangnya. Seekor lebah yang menunggu di sarang untuk membuat keputusan untuk memilih sumber makanan disebut sebagai *onlooker*. Setiap kali sumber makanan dieksploitasi sepenuhnya, semua lebah pekerja yang terkait dengannya meninggalkan sumber makanan, dan menjadi pengintai [20]. Analoginya, dalam konteks optimasi, posisi sebuah makanan Sumber mewakili solusi kandidat dari masalah optimasi dan jumlah nektar dari sumber makanan sesuai dengan kualitas (kebugaran) dari solusi terkait [21]. Langkah-langkah dari algoritma ABC diuraikan mulai dari tahap inisialisasi, ABC menghasilkan populasi awal *Solution Number* (SN) solusi yang terdistribusi secara acak (*duty cycle*). Setiap solusi diproduksi dalam batas-batasnya $[0,1]$ atau X_{ij} , X_{ij} dapat diperoleh dengan Persamaan (2.4)

$$X_{ij} = X_{minj} + \text{rand} * (X_{maxj} - X_{minj}) \quad (2.4)$$

Berdasarkan Persamaan (2.4) menjelaskan perhitungan hasil produksi yang didapat dari hasil pengurangan antara batas atas dimensi j dikurangi batas bawah dimensi j kemudian dikali dengan nilai *random* dan kemudian dijumlah dengan batas bawah dimensi j. Persamaan untuk mendapatkan kebugaran atau Fit xi suatu produk makanan yang akan dieksploitasi dapat dihitung dengan Persamaan (2.5) dan Persamaan (2.6).

$$\text{Fit } xi = \frac{1}{1+f(xi)}, \text{ jika } f(xi) \geq 0 \quad (2.5)$$

$$\text{Fit } xi = 1 + |f(xi)|, \text{ jika tidak} \quad (2.6)$$

Berdasarkan Persamaan (2.5) dan Persamaan (2.6) untuk mendapatkan nilai kebugaran makanan yang dieksploitasi didapatkan dari hasil bagi antara 1 dibagi dengan hasil penjumlahan antara 1 dengan nilai kebugaran jika hasil kebugaran lebih dari sama dengan nol. Satu dijumlah dengan nilai kebugaran jika nilai kebugaran kurang dari 0. Fase lebah pekerja, setiap lebah pekerja melakukan modifikasi pada posisi sumber makanan dengan memilih secara acak sumber makanan tetangga. Sumber makanan baru dapat dihasilkan dari sumber makanan lama atau V_{ij} , V_{ij} dapat dijelaskan pada Persamaan (2.7).

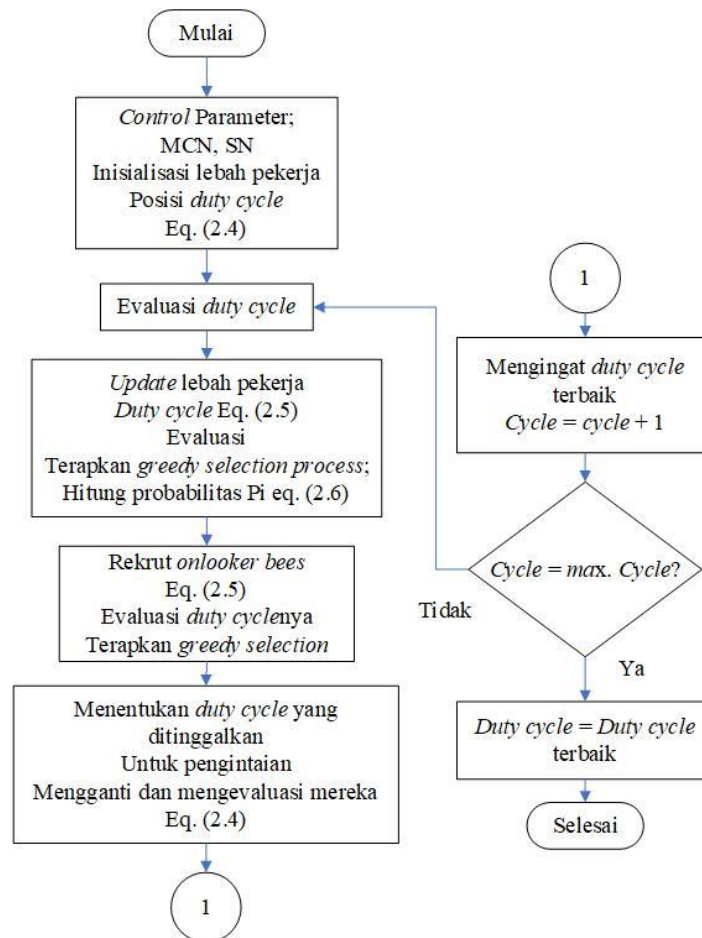
$$V_{ij} = X_{ij} + \phi_{ij} * (X_{ij} - X_{kj}) \quad (2.7)$$

Berdasarkan Persamaan (2.7) adalah perhitungan sumber makanan lama yang didapat dari hasil kali antara hasil jumlah batas i dimensi j dengan ϕ kemudian dikalikan dengan hasil pengurangan antara batas i dimensi j dengan batas k dimensi j. Batas $k \in \{1, 2, \dots, SN\}$ dan $j \in \{1, 2, \dots, D\}$ adalah indeks yang dipilih secara acak dan k harus berbeda dengan i $\phi_{ij} \in [-1, 1]$. Setiap lebah pengamat mengamati nektar lebah pekerja dan memilih salah satu sumbernya tergantung pada probabilitas P_i , dari nilai probabilitas ini lebah pengamat menentukan sumber makanan yang lebih baik. P_i dapat dihitungkan pada Persamaan (2.8).

$$P_i = \frac{Fit_i}{\sum_{n=1}^{SN} Fit_n} \quad (2.8)$$

Berdasarkan Persamaan (2.8) menjelaskan perhitungan probabilitas yang didapat dari hasil bagi antara sumber makanan yang buger dibagi dengan seluruh SN kebugaran dengan batas n sama dengan 1. Jika posisi sumber makanan lebah pekerja tidak dapat lebih jauh ditingkatkan melalui sejumlah langkah (batas) tertentu dalam algoritma ABC, lebah pekerja ini menjadi lebah pramuka. Sumber makanan acak baru posisi (lebah pramuka) dihasilkan dari Persamaan (2.4). Kecocokan dari setiap solusi kandidat baru yang dihasilkan V_{ij} dibandingkan dengan solusi lama. Jika solusi baru memiliki kesesuaian yang sama atau lebih baik daripada solusi lama, solusi baru menggantikan solusi lama di memori. Jika tidak, yang lama disimpan dalam memori, dengan kata lain mekanisme seleksi serakah digunakan dalam operasi seleksi antara yang lama dan yang kandidat. Akhir setiap siklus pencarian, jika kecocokan suatu solusi tidak dapat ditingkatkan dan jumlah percobaan yang telah ditentukan sebelumnya, yang disebut batas

habis, maka solusi tersebut ditinggalkan oleh *scout bee*. Flowchart ABC MPPT dapat dilihat pada Gambar 2.5.



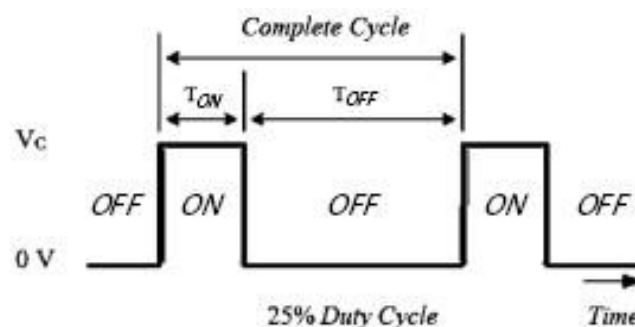
Gambar 2.5 Flowchart ABC MPPT

Berdasarkan Gambar 2.5 menjelaskan flowchart ABC MPPT yang dimulai dengan mengumpulkan informasi *Maximum Cycle Number* (MCN), *Solution Number* (SN) dan posisi *duty cycle* yang didapat dengan Persamaan (2.4), kemudian *duty cycle* dievaluasi, lanjut dengan *update* lebah pekerja *duty cycle* dengan Persamaan (2.5) dievaluasi dan terapkan *greedy selection* kemudian hitung probabilitas dengan Persamaan (2.6). Rekrut *onlooker bees* dengan Persamaan (2.5) evaluasi *duty cycle* terapkan *greedy selection*. Menentukan *duty cycle* yang ditinggalkan mengganti dan mengevaluasi dengan Persamaan (2.4). Mengingat *duty cycle* terbaik *cycle* sama dengan *cycle+1*. Apakah *cycle* maksimal jika tidak meulangi proses ke evaluasi *duty cycle* jika ya *duty cycle* sama dengan *cycle* terbaik kemudian selesai.

2.4 DC-DC Converter

DC-DC *converter* adalah rangkaian konversi tegangan yang bekerja untuk mengubah tegangan *output* DC menjadi tegangan DC dengan nilai lebih besar atau lebih kecil dari nilai tegangan *input*. Ada 2 metode kerja DC-DC *converter*, yaitu metode linier dan metode *switching*. Metode tipe linier adalah cara termudah dibandingkan dengan jenis *switching* lainnya, tetapi kurang diinginkan karena efisiensi yang rendah. Efisiensi rendah disebabkan oleh daya tinggi hilang pada transistor. Jenis metode *switching* ini tidak menyerap daya dalam transistor selama pemrosesan saklar. Hal ini terjadi karena ketika saklar ditutup maka tidak ada tegangan yang jatuh pada transistor, sedangkan pada saat saklar dibuka tidak ada arus listrik yang mengalir [22].

Dasar dari catu daya *switching* terdiri dari tiga topologi yaitu *buck* (*stepdown*), *boost* (*step up*) dan *buck-boost* (*step up* atau *step down*). Tiga sirkuit dasar catu daya *switching* ini adalah DC-DC *converter* non-terisolasi yang sisi *input* dan sisi *output* menggunakan *grounding* yang sama, ada dua cara untuk mengatur tegangan pada catu daya *switching*, yaitu dengan *Pulse Width Modulation* (PWM) dan Modulasi Frekuensi Pulsa (PFM). PWM adalah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan oleh pulsa dalam suatu periode. Sinyal PWM umumnya memiliki amplitudo tetap dan frekuensi dasar, tetapi memiliki siklus kerja (lebar pulsa) yang bervariasi dari 0% hingga 100%. *Duty cycle* pada PWM dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Duty Cycle* Pada PWM [13]

Berdasarkan Gambar 2.6 menjelaskan *duty cycle* pada PWM, *duty cycle* memiliki 2 kondisi dalam 1 periode, yaitu saat periode aktif (t_{on}) dan saat periode

tidak aktif (t_{off}). *Duty cycle* didapat dengan cara mengatur lebar pulsa *on* dan *off* dalam satu periode gelombang, *duty cycle* dapat dihitung dengan Persamaan (2.9).

$$Duty\ cycle = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \times 100\% \quad (2.9)$$

Berdasarkan Persamaan (2.9) adalah perhitungan *duty cycle* yang didapat dari hasil bagi periode aktif yang dibagi dengan hasil jumlah antara adalah periode aktif dan periode tidak aktif kemudian hasil bagi tersebut dikalikan dengan 100 %. Tegangan *output* pada PWM bergantung pada besar *duty cycle*. Semakin besar nilai *duty cycle*, maka tegangan yang dikeluarkan oleh PWM mendekati nilai tegangan nominal (V_{CC}), sebaliknya semakin kecil nilai *duty cycle* maka tegangan yang dikeluarkan PWM mendekati nol. Persamaan tegangan *output* PWM atau V_{PWM} dapat dihitung dengan Persamaan (2.10).

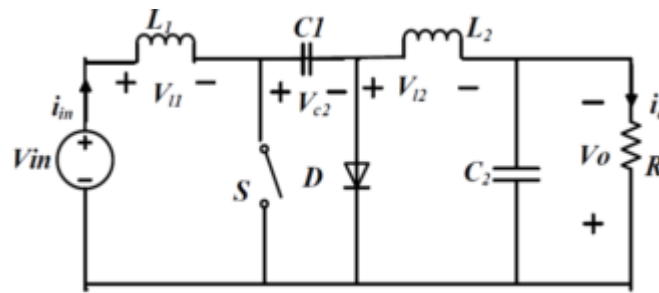
$$V_{PWM} = D \times V_{CC} \quad (2.10)$$

Berdasarkan Persamaan (2.10) adalah perhitungan untuk mendapatkan nilai dari tegangan PWM yang didapat dari hasil kali antara *duty cycle* (%) dan tegangan nominal.

2.4.1 Cuk Converter

Cuk *converter* adalah sebuah DC-DC *converter* yang memiliki keluaran *negative* pada sifat menaikkan dan menurunkan tegangan. Cuk *converter* berasal dari *boost converter*, namun cuk *converter* memiliki komponen tambahan yaitu kapasitor dan induktor. Cuk *converter* merupakan *converter* yang dapat menurunkan nilai *ripple* keluaran dan menaikkan efisiensi, karena pengiriman aliran daya secara kontinuous melalui kapasitor.

Cuk *converter* tanpa isolasi terdiri dari dua induktor dan dua kapasitor, sebuah saklar (biasanya transistor atau mosfet) dan sebuah dioda. Cuk *converter* merupakan salah satu jenis rangkaian penaik atau penurun tegangan yang memiliki karakteristik seperti rangkaian *buck-boost*. Hasil keluaran tegangan *output* mempunyai polaritas yang berkebalikan dengan tegangan *input*. Prinsip kerja *converter* cuk dapat dianalisa ke dalam dua keadaan, yaitu pada saat *switch on* atau *ton* dan pada saat *switch off* atau *toff*. Secara skematis rangkaian cuk *converter* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Rangkaian Cuk Converter [23]

Berdasarkan Gambar 2.7 rangkaian cuk converter, converter ini terdiri dari sumber tegangan arus searah atau *direct current* (DC), induktor pada sisi *input* (L_1), kapasitor pentransfer tegangan (C_1), pensaklaran atau *switch*, dioda, induktor pada sisi *output* (L_2), kapasitor *filter* (C_2) dan beban (resistif). Bentuk rangkaian cuk converter dapat dilihat pada gambar 2.7. Induktor sisi *input* berfungsi sebagai *filter* dari sumber tegangan DC untuk mengurangi riak gelombang *input*.

Berbeda dengan converter pada umumnya aliran energi terjadi pada induktor, pada cuk converter aliran energi terjadi pada kapasitor pentransfer tegangan. Hal ini karena pada kondisi *steady state* tegangan rata-rata yang melalui kedua induktor sama dengan nol. Kelebihan dari converter ini adalah arus kontinyu pada sisi *input* dan *output*. Sedangkan kelemahan pada cuk converter adalah besarnya nilai reaktif pada komponen dan besarnya arus pada *switch*, dioda serta kapasitor pentransfer tegangan.

2.4.2 Penentuan Komponen Cuk Converter

Cuk converter terdapat beberapa modus untuk operasinya. *Continuous Conduction Mode* (CCM) adalah modus arus induktor (I_L) mengalir secara kontinyu, dalam arti tidak pernah mencapai nilai nol. *Discontinuous Conduction Mode* (DCM) adalah modus arus induktor converter mencapai nilai nol, atau tidak kontinyu, agar cuk converter beroperasi pada modus CCM maka nilai L_{1min} dan L_{2min} rangkaian cuk converter harus memenuhi. Nilai L_{1min} dan L_{2min} dapat dihitung dengan Persamaan (2.11) dan Persamaan (2.12).

$$L_{1min} = \frac{V_s^2 \times V_o}{\lambda \times P \times f \times (V_o + V_s)} \quad (2.11)$$

$$L_{2min} = \frac{V_s \times V_o^2}{\lambda \times P \times f \times (V_o + V_s)} \quad (2.12)$$

Berdasarkan Persamaan (2.11) adalah menjelaskan perhitungan nilai minimal induktor diposisi satu yang didapat dari hasil bagi antara hasil kali tegangan masukan yang dikuadratkan dengan tegangan luaran kemudian dibagi dengan hasil kali faktor *ripple* dengan daya, frekuensi dan hasil jumlah tegangan luaran dan tegangan masukan. Berdasarkan Persamaan (2.12) adalah menjelaskan perhitungan nilai minimal induktor diposisi dua yang didapat dari hasil bagi antara hasil kali tegangan luaran yang dikuadratkan dengan tegangan masukan kemudian dibagi dengan hasil kali faktor *ripple* dengan daya, frekuensi dan hasil jumlah tegangan luaran dan tegangan masukan. Setelah nilai induktor, nilai kapasitansi minimum C_{1min} dan C_{2min} dapat dihitung dengan Persamaan (2.13) dan (2.14).

$$C_{1min} = \frac{P}{\lambda \times f \times (V_o + V_s)^2} \quad (2.13)$$

$$C_{2min} = \frac{P}{2 \pi \times f \times \lambda \times V_o^2} \quad (2.14)$$

Berdasarkan Persamaan (2.13) adalah menjelaskan perhitungan nilai minimal kapasitor diposisi satu yang didapatkan dari hasil bagi antara daya dibagi dengan hasil kali antara faktor *ripple* dengan frekuensi dan hasil penjumlahan tegangan luaran dan tengan masukan yang dikuadratkan. Berdasarkan Persamaan (2.14) adalah menjelaskan perhitungan nilai minimal kapasitor diposisi dua yang didapatkan dari hasil bagi antara daya dibagi dengan hasil kali faktor *ripple* dengan frekuensi dan tegangan luaran yang dikuadratkan dan 2π .

2.5 Kajian Pustaka

Berdasarkan penelitian yang serupa terdapat di beberapa jurnal yang menjelaskan tentang optimasi panel surya menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dan algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) dengan spesifikasi panel surya yang berbeda-beda, namun menghasilkan *output* yang lebih besar dibandingkan dengan rangkaian yang tidak menggunakan MPPT pada masing-masing penelitian, dan ada juga yang menggunakan metode algoritma yang berbeda dan *converter* yang sama. Jurnal yang pertama tentang optimasi panel surya penelitiannya menggunakan zeta *converter* dan algoritmanya ABC dengan

spesifikasi *Power Maximum* pada panel suryanya sebesar 90 W didapat hasil perbandingan daya yang dijelaskan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Perbandingan Daya

Irradiasi (W/m ²)	Power (W)		<i>P_{max}</i> PV (W)
	Tanpa MPPT	MPPT ABC	
800	70,28	73,25	73,27
900	74,39	81,66	81,69
1000	77,35	89,83	89,87

Berdasarkan Tabel 2.1 menjelaskan perbandingan daya, *output* pada panel surya yang menggunakan *Maximum Power Point Tracking Artificial Bee Colony* (MPPT ABC) lebih mendekati pada *P_{max}* PV dibandingkan yang tidak menggunakan MPPT. Penelitian di atas menggunakan variabel data irradiansi 800, 900 dan 1000 W/m² [6]. Penelitian selanjutnya tentang optimasi panel surya penelitiannya menggunakan *boost converter* dan algoritmanya ABC dengan spesifikasi *power maximum* pada panel suryanya sebesar 100 W didapat hasil perbandingan daya yang dijelaskan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Perbandingan Daya

Pukul (WIB)	Daya (W)	
	Tanpa MPPT	MPPT ABC
09.00	8,69	10,35
09.10	8,39	13,08
09.20	8,74	11,99
09.30	14,62	17,77
09.40	12,64	20,29
09.50	12,68	11,96
10.00	12,44	15,37
10.15	10,58	15,41
10.30	10,72	9,80
10.45	16,78	15,37
11.00	19,77	19,91
11.10	14,66	12,97
Rata-Rata	12,55	14,52

Berdasarkan Tabel 2.2 yang menjelaskan perbedaan daya pada jurnal kedua, terlihat panel surya yang menggunakan MPPT ABC mendapatkan hasil *output* rata-rata lebih besar dibandingkan panel surya yang tidak menggunakan MPPT.

Penelitian di atas menggunakan data *random* di lapangan dari pagi hingga siang hari. Dari hasil keduanya memiliki perbandingan hasil 1,95 W lebih besar rangkaian yang menggunakan MPPT ABC [7]. Penelitian selanjutnya yaitu tentang optimasi panel surya penelitiannya menggunakan metode *artificial neural network*. Penelitian ini DC-DC *converter* yang digunakannya menggunakan konverter tipe cuk, dalam penelitiannya dibandingkan dengan *converter* tipe *boost*. Spesifikasi *power maximum* pada panel suryanya sebesar 100 W didapat hasil perbandingan efisiensi DC *converter* yang dijelaskan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Perbandingan Efisiensi DC *Converter*

<i>Input condition</i>	<i>Boost (%)</i>		<i>Cuk (%)</i>	
	η_{MPPT}	η_{dc}	η_{MPPT}	η_{dc}
1	99,6	95,65	99,6	99,2
2	96,71	96,14	99,63	99,13
3	98,72	96,18	99,7	99,56
4	99,58	95,5	99,6	99,29
5	99,61	95,53	99,51	99,24

Berdasarkan Tabel 2.3 Perbandingan efisiensi DC *converter* pada jurnal ketiga menjelaskan tentang efisiensi MPPT dan *converter* pada dua *converter* yang berbeda. Percobaan pertama efisiensi MPPT yang menggunakan *boost converter* mendapatkan nilai 99,6 % sedangkan *converter* sebesar 95,65 % sedangkan. MPPT yang menggunakan *cuk converter* mendapatkan nilai 99,6 % dan efisiensi *converter* 99,2 %. Percobaan kedua efisiensi MPPT yang menggunakan *boost converter* mendapatkan nilai 99,71 % sedangkan *converter* sebesar 96,14 %. MPPT yang menggunakan *cuk converter* mendapatkan nilai 99,63 % dan efisiensi *converter* 99,13 %. Keseluruhan percobaan, efisiensi MPPT terlihat stabil sedangkan efisiensi *converter*, *cuk converter* lebih unggul [14].

Penelitian berikutnya tentang optimasi panel surya yang penelitiannya menggunakan *boost converter* dan algoritmanya ABC. Penelitian ini membandingkan hasil dari optimasi menggunakan algoritma *hybrid* antara *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) dengan ABC dan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) dengan *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan juga *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) dengan *Genetic*

Algorithm (GA). Penelitian ini didapatkan hasil perbandingan efisiensi metode algoritma yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Tabel 2.4 Perbandingan Efisiensi Metode Algoritma

<i>Algorithms</i>	<i>Cycle</i>				
	I	II	III	IV	<i>Average</i>
ANFIS-PSO	96,33	93,69	96,32	92,61	94,73
ANFIS-GA	98,72	94,73	98,63	97,93	97,50
ANFIS-ABC	99,68	97,50	98,85	97,55	98,39

Berdasarkan Tabel 2.4 menjelaskan perbandingan efisiensi metode algoritma, terlihat panel surya yang menggunakan algoritma *hybrid* ANFIS-ABC lebih unggul dibandingkan dengan yang menggunakan algoritma ANFIS-PSO dan ANFIS-GA dengan menggunakan *converter* yang sama [24]. Penelitian yang kelima tentang optimasi panel surya menggunakan metode algoritma *perturb and observe*. *Converter* yang digunakannya menggunakan tipe cuk dan penelitiannya dibandingkan dengan *converter* tipe *boost*, dengan *power maximum* panel surya 224 W didapat hasil perbandingan efisiensi *converter* yang dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Perbandingan Efisiensi *Converter*

Parameter	1000 W/m ²				500 W/m ²			
	<i>Boost converter</i>		<i>Cuk converter</i>		<i>Boost converter</i>		<i>Cuk converter</i>	
	<i>Input</i>	<i>Output</i>	<i>Input</i>	<i>Output</i>	<i>Input</i>	<i>Output</i>	<i>Input</i>	<i>Output</i>
Daya (W)	63	56,56	118	111,1	26,04	23	31,88	29,96
Tegangan (V)	9	56	20	58,5	6,2	35,17	10,6	30
Arus (A)	7	1,01	5,9	1,9	4,2	0,67	3	0,99
Efisiensi (%)	89,77		94,15		88,32		93,97	

Berdasarkan Tabel 2.5 menjelaskan perbandingan *converter*, terlihat panel surya dengan menggunakan *cuk converter* lebih unggul dibandingkan dengan *boost converter*, baik pada iradiasi 1000 W/m² dan pada iradiasi 500 W/m² *cuk converter* memiliki efisiensi lebih tinggi dengan perbandingan antara 89,77 % dengan 94 % pada iradiasi 1000 W/m² dan 88,32 % dengan 93,7 % pada iradiasi 500 W/m² [23]. Beberapa jurnal di atas sudah menjelaskan hasil dari penelitian-penelitian sebelumnya tentang algoritma ABC dan DC *converter*.