

**OPTIMASI PANEL SURYA MENGGUNAKAN *MAXIMUM*
POWER POINT TRACKING BERBASIS ALGORITMA
*ARTIFICIAL BEE COLONY***

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)



Disusun oleh:

WAHID DIANA TASDIK

3332150037

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2023**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Optimasi Panel Surya Menggunakan *Maximum Power Point Tracking* Berbasis *Algoritma Artificial Bee Colony*
Nama Mahasiswa : Wahid Diana Tasdik
NPM : 3332150037
Fakultas/Jurusan : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut diatas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 30 September 2022



WAHID DIANA TASDIK
3332150037

LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa Skripsi berikut

Judul : Optimasi Panel Surya Menggunakan *Maximum Power Point Tracking* Berbasis *Algoritma Artificial Bee Colony*
Nama Mahasiswa : Wahid Diana Tasdik
NPM : 3332150037
Fakultas/Jurusan : Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal 30 September 2022 melalui Sidang Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan LULUS.

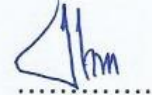
Dewan Penguji

Pembimbing I : HM. Hartono, S.T., M.T.

Penguji I : Dr. Eng. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc.

Penguji II : Fadil Muhammad, S.T., M.T.

TTD



Mengetahui,

Ketua Jurusan



Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng.
NIP. 198307032009121006

PRAKATA

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Supriyanto, M.Sc.,IPM. selaku dosen pembimbing akademik saya.
3. Bapak H.M Hartono, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
4. Orang tua saya yang telah memberikan bantuan dukungan baik materil dan moril.
5. Semua pihak yang telah membantu saya dalam penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Cilegon, 30 September 2022

Penulis

ABSTRAK

Wahid Diana Tasdik

Teknik Elektro

Optimasi Panel Surya Menggunakan *Maximum Power Point Tracking* Berbasis
Algoritma Artificial Bee Colony

Panel surya merupakan jenis pembangkit energi terbarukan yang banyak digunakan oleh masyarakat luas. Namun, dalam operasinya panel surya memiliki kekurangan yaitu efisiensi yang sangat rendah. Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja panel surya adalah dengan menemukan titik MPP (*Maximum Power Point*) pada kurva V-P panel surya. Tujuan dari penelitian ini adalah menemukan titik maksimum panel surya sehingga daya *output* menjadi maksimal. Penelitian ini telah berhasil membuat model sistem MPPT berbasis panel surya dengan metode *Artificial Bee Colony* menggunakan DC-DC *converter* tipe cuk. Model yang dibuat menggunakan panel surya *Solarland 200 WP*. Perbedaan daya *output* berdasarkan hasil pengujian didapatkan hasil efisiensi daya yang dihasilkan panel surya menggunakan MPPT pada perubahan iradiasi dengan suhu tetap rata-rata adalah 99,06%. Pada perubahan suhu dengan iradiasi tetap rata-rata adalah 99,12%.

Kata Kunci:

MPPT, *Artificial Bee Colony*, panel surya, cuk *converter*

ABSTRACT

Wahid Diana Tasdik

Electrical Engineering

Solar Panel Optimization Using Maximum Power Point Tracking Based on
Artificial Bee Colony Algorithm

Solar panels are a type of renewable energy generator that is widely used by the wider community. However, in operation solar panels have a disadvantage, namely very low efficiency. One way to improve the performance of solar panels is to find the MPP (Maximum Power Point) point on the V - P curve of the solar panel. The purpose of this study is to find the maximum point of the solar panel so that the output power is maximized. This research has succeeded in making a model of a solar panel-based MPPT system using the Artificial Bee Colony method using a DC-DC converter of the choke type. The model is made using Solarland 200 WP solar panels. The difference in output power based on the test results obtained the results of the power efficiency generated by solar panels using MPPT on changes in irradiation with an average fixed temperature of 99.06%. At temperature changes with constant irradiation the average is 99.12%.

Keywords:

MPPT, Artificial Bee Colony, solar panels, cuk converter

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PRAKATA.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Masalah	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Panel Surya	4
2.1.1 Prinsip Kerja	4
2.1.2 Karakteristik Panel Surya.....	6
2.1.3 Efisiensi Panel Surya.....	8
2.1.4 Faktor Pengaruh Panel Surya.....	8
2.2 <i>Maximum Power Point Tracking</i>	10
2.3 <i>Algoritma Artificial Bee Colony</i>	10
2.4 <i>DC-DC Converter</i>	14
2.4.1 <i>Cuk Converter</i>	15
2.4.2 Penentuan Komponen <i>Cuk Converter</i>	16
2.5 Kajian Pustaka	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Alur Penelitian	21

3.2	Identifikasi Masalah	22
3.3	Instrumen Penelitian.....	22
3.3.1	Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	22
3.3.2	Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	23
3.4	Perancangan Penelitian	23
3.4.1	Data Iradiasi dan Suhu	23
3.4.2	Data Panel Surya	25
3.4.3	Data Cuk <i>Converter</i>	25
3.4.4	Variabel Algoritma <i>Artificial Bee Colony</i>	27
3.4.5	MPPT ABC	28
3.5	Algoritma Sistem.....	29
3.6	Tempat dan Waktu Penelitian.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Pengujian Karakteristik Cuaca dan Panel Surya	31
4.2	Cuk <i>Converter</i>	33
4.3	Pengujian Perubahan Iradiasi dan Suhu Tetap	34
4.4	Pengujian Perubahan Suhu dan Iradiasi Tetap	40
4.5	Pengujian Karakteristik Perubahan Beban Resitif	45
4.6	Presentase Pengujian	47
BAB V KESIMPULAN		50
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN		A
A.	Perhitungan Komponen Rangkaian Cuk Konvertreer	A
B.	<i>Script</i> Algoritma <i>Artificial Bee Colony</i>	B
C.	Hasil Pengujian.....	C

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Efek Fotovoltaik	5
Gambar 2.2	Rangkaian Pengetesan Sel Surya.....	6
Gambar 2.3	Grafik Karakteristik <i>I-V</i> Sel Surya.....	7
Gambar 2.4	Diagram Blok MPPT	10
Gambar 2.5	<i>Flowchart</i> ABC MPPT.....	13
Gambar 2.6	<i>Duty Cycle</i> Pada PWM.....	14
Gambar 2.7	Rangkaian Cuk <i>Converter</i>	16
Gambar 3.1	Rangkaian Cuk <i>Converter</i>	26
Gambar 3.2	Diagram Blok MPPT ABC	29
Gambar 3.3	<i>Flowchart</i> Sistem MPPT.....	30
Gambar 4.1	Karakteristik <i>V-I</i> dan Karakteristik <i>V-P</i> Terhadap Perubahan Suhu	31
Gambar 4.2	Karakteristik <i>V-I</i> Karakteristik <i>V-P</i> Pada Perubahan Irradiasi	32
Gambar 4.3	Desain Simulink Pengujian Cuk <i>Converter</i>	33
Gambar 4.4	Rangkaian Panel Surya Tanpa MPPT	34
Gambar 4.5	Rangkaian Panel Surya Menggunakan MPPT	35
Gambar 4.6	Percobaan Perubahan Irradiasi dan Suhu Tetap Beban 9 Ω	36
Gambar 4.7	Percobaan Perubahan Irradiasi dan Suhu Tetap Beban 12 Ω	38
Gambar 4.8	Percobaan Perubahan Irradiasi dan Suhu Tetap Beban 15 Ω	39
Gambar 4.9	Percobaan Perubahan Suhu dan Irradiasi Tetap Beban 9 Ω	42
Gambar 4.10	Percobaan Perubahan Suhu dan Irradiasi Tetap Beban 12 Ω	43
Gambar 4.11	Percobaan Perubahan Suhu dan Irradiasi Tetap Beban 15 Ω	44
Gambar 4.12	Perubahan Beban Pada Irradiasi 1000 W/m ² dan Suhu 23 °C.....	46
Gambar 4.13	Perubahan Beban Pada Irradiasi 700 W/m ² dan Suhu 33 °C.....	46
Gambar 4.14	Presentase Pengujian Perubahan Irradiasi	48
Gambar 4.15	Presentase Pengujian Perubahan Suhu	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Daya.....	18
Tabel 2.2 Perbandingan Daya.....	18
Tabel 2.3 Perbandingan Efisiensi DC <i>Converter</i>	19
Tabel 2.4 Perbandingan Efisiensi Metode Algoritma	20
Tabel 2.5 Perbandingan Efisiensi <i>Converter</i>	20
Tabel 3.1 Data Pertama Nilai Suhu dan Iradiasi Matahari	24
Tabel 3.2 Data Kedua Nilai Suhu dan Iradiasi Matahari	24
Tabel 3.3 Parameter Modul Panel Surya	25
Tabel 3.4 Parameter Cuk <i>Converter</i>	27
Tabel 3.5 Parameter Algoritma <i>Artificial Bee Colony</i>	28
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Perubahan Iradiasi dan Suhu Tetap.....	36
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Perubahan Suhu dan Iradiasi Tetap.....	41
Tabel 4.3 Presentase MPPT dan Tanpa MPPT Perubahan Iradiasi	47
Tabel 4.4 Presentase MPPT dan Tanpa MPPT Perubahan Suhu	49

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Modul fotovoltaik (PV) merupakan sumber energi listrik yang sangat tinggi. Kisaran efisiensi energi ini biasanya tidak tercapai dalam praktek karena variasi radiasi matahari, suhu sel surya, dan beban listrik [1]. Sel surya memiliki karakteristik keluaran yang berubah-ubah yang dipengaruhi oleh iradiasi matahari, suhu, dan impedansi beban. Daya maksimal sel surya didapatkan ketika berada pada titik operasi tertentu atau disebut *Maximum Power Point* (MPP) [2][3]. Semakin rendah penyinaran matahari yang diterima PV maka semakin rendah energi yang dihasilkan [4]. Titik MPP sesuai dengan kondisi penyinaran matahari, maka diperlukan suatu metode untuk melacak titik tersebut [5]. Metode ini disebut dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) [6]. Sistem fotovoltaik (PV) harus bekerja pada titik daya maksimum, yang merupakan varian kontinu dan terutama bergantung pada penyinaran matahari dan suhu [7]. Variasi suhu dan iradiasi mengubah titik daya maksimum dan menurunkan efisiensi *array* PV [8]. Titik operasi harus dilacak menggunakan algoritma MPPT untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal [9].

Algoritma heuristik yang baru-baru ini diusulkan adalah algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC), yang didasarkan pada kecerdasan buatan perilaku lebah madu [10]. Algoritma ABC merupakan algoritma yang meniru tingkah laku kawanan lebah dalam mencari dan mengeksplorasi sumber-sumber makanan secara efisien [7]. Ketika beberapa ekor lebah menemukan sumber-sumber makanan, kemudian mengundang lebah lainnya melalui tarian yang dilakukan di lokasi tertentu. Informasi mengenai sumber makanan tersebut terdiri dari tiga hal yaitu arah, jarak dari sarang dan kualitas (jumlah nektar). Semakin bagus kualitas sumber makanan, semakin lama durasi tarian yang dilakukan sehingga semakin banyak lebah yang mengikuti ajakannya [11][12].

DC-DC *converter* adalah rangkaian elektronika yang digunakan sebagai regulator tegangan [13]. DC-DC *converter* terbagi menjadi beberapa topologi yaitu topologi *boost converter*, *buck converter*, *buck-boost converter*, *sepic*

converter, *zeta converter* dan *cuk converter*. DC-DC *converter* memiliki dua tipe *switching* yang berbeda yaitu *resonant* dan *soft switching converter*, dan *hard switching Pulse Width Modulation (PWM) converter* [14]. Salah satu *converter* DC-DC yang sering dijumpai yaitu DC-DC *converter* dengan topologi *cuk* yang menggunakan prinsip *switching* dengan PWM. Jenis *converter* ini dapat bekerja menaikkan dan menurunkan tegangan. Prinsip ini sama seperti *buck-boost converter* tetapi memiliki perbedaan dari segi rangkaian dan lebih efisien [15].

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari skripsi ini adalah:

1. Bagaimana pemodelan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) menggunakan simulasi.
2. Bagaimana performa Panel menggunakan MPPT berbasis algoritma ABC dan tanpa menggunakan MPPT.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari skripsi ini adalah:

1. Menghasilkan rancangan pemodelan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) yang dapat bekerja maksimal dan memiliki efisiensi tinggi.
2. Menganalisis perbedaan daya *output* panel surya yang menggunakan MPPT algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) dan dengan yang tidak menggunakan MPPT.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari skripsi ini adalah:

1. Dapat menambah wawasan tentang *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) pada panel surya.
2. Menambah ketrampilan dan pengetahuan dalam MPPT algoritma ABC.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam skripsi ini adalah:

1. Panel menggunakan *Maximum Power Point Tracking Artificial Bee Colony*

(MPPT ABC) dan tanpa MPPT ABC.

2. *Software* yang digunakan pada simulasi adalah Matlab R2020a.
3. Panel surya yang digunakan adalah panel surya *Solarland* 200 WP.
4. Parameter pengujian yang digunakan adalah perubahan suhu, perubahan iradiasi dan perubahan beban.

1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini terdiri atas lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut: Bab I adalah pendahuluan yang berisikan uraian singkat mengenai segala sesuatu dilakukan dalam penelitian. Meliputi latar belakang masalah dalam penelitian ini, perumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

Bab II adalah tinjauan pustaka, bab ini berisikan teori-teori yang dibutuhkan dalam penelitian. yang diantaranya mengenai panel surya, *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) berbasis algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) dan *converter* tipe cuk. Serta membahas tentang penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yang dibahas diakhir bab ini.

Bab III adalah metodologi penelitian, berisi data-data yang diperlukan dalam penelitian, seperti data panel surya, data algoritma ABC, dan data *converter* tipe cuk. Pemodelan data-data tersebut dimasukkan ke dalam program Matlab Simulink. Bab ini juga terdapat alur penelitian dan instrumen penelitian yang dipakai dalam penelitian serta waktu dan tempat yang dilakukan pada saat penelitian.

Bab IV adalah bab hasil dan pembahasan, data-data sistem MPPT yang telah didapat lalu dipakai dalam simulasi program. Simulasi dilakukan dua tahap, pertama dilakukan tanpa MPPT dan yang kedua, dilakukan dengan memasang sistem MPPT.

Bab V adalah bab penutup, bab ini berisi hasil akhir yang didapat dari penelitian yang dilakukan. Data-data hasil penelitian tersebut ditulis dalam bentuk kesimpulan agar mempermudah untuk memahami dari penelitian ini. Akhir bab ini, memberikan saran yang dapat dipakai untuk pengembangan dalam penelitian yang sama.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

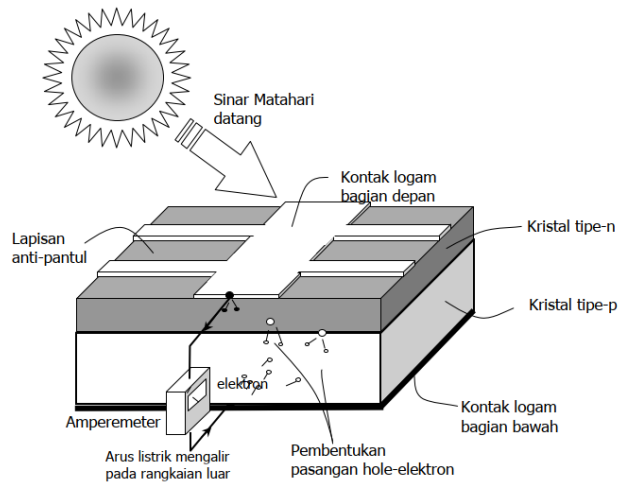
2.1 Panel Surya

Aliran listrik matahari pertama ditemukan pada abad ke-19. Ilmuwan menanggapi 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*. Ilmuwan 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.

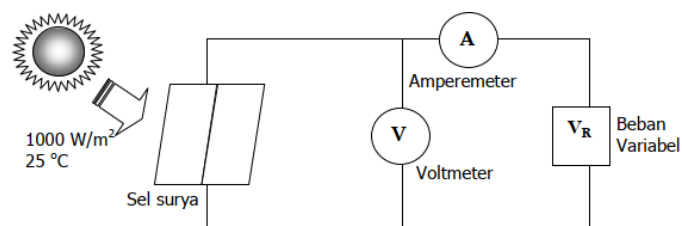
Semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe P. Akibat dari aliran elektron ini maka terbentuk

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.

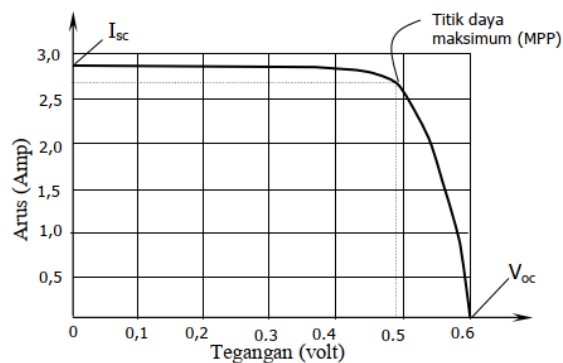
2.1.2 Karakteristik Panel Surya

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

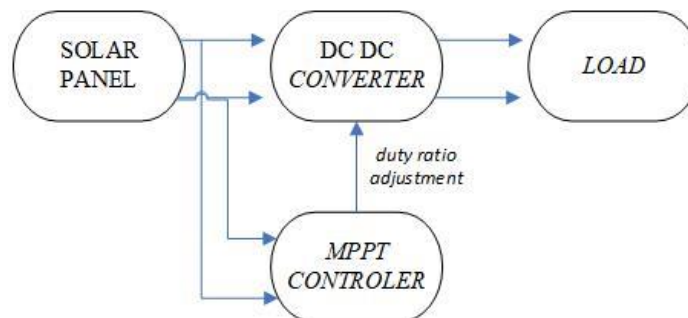
Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi larik sel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca larik sel surya. Sebaliknya jika tiupan angin kecil pada sekitar lokasi larik sel surya maka larik sel surya cepat panas. Hal tersebut dapat mengakibatkan penurunan elektabilitas sel surya. 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).

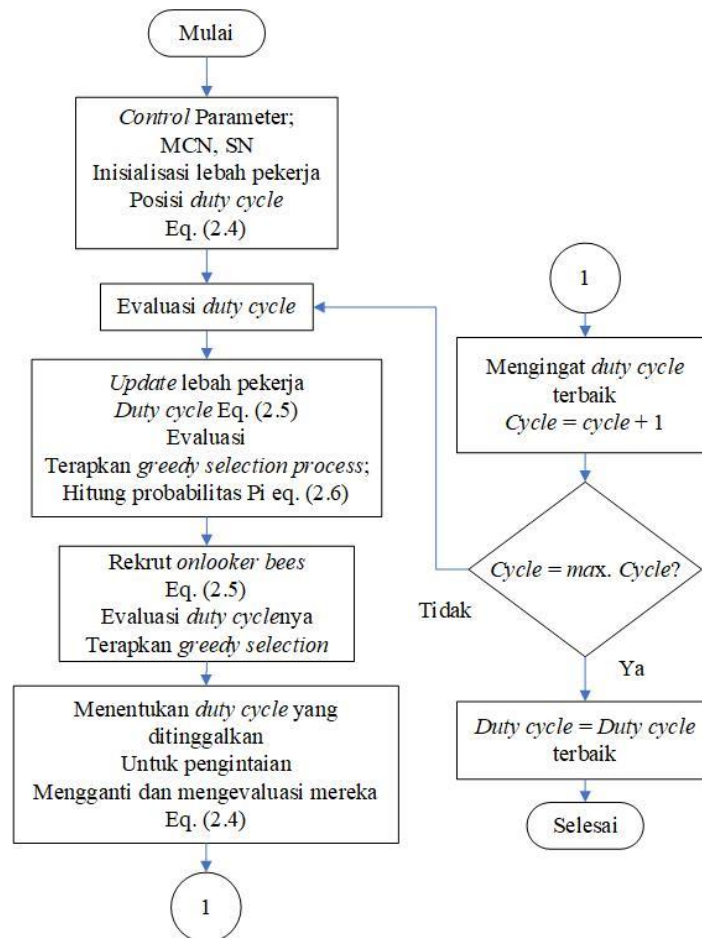
$$V_{ij} = X_{ij} + \phi_{ij} * (X_{ij} - X_{kj}) \quad (2.7)$$

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.



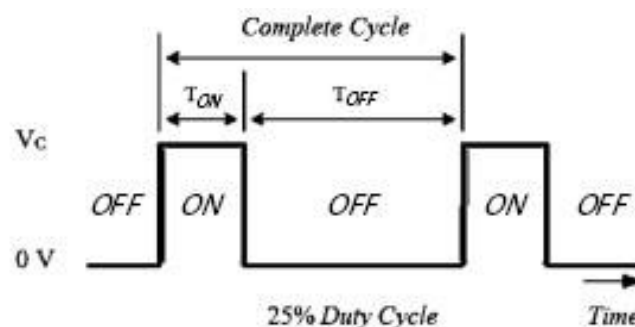
Gambar 2.5 Flowchart ABC MPPT

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).

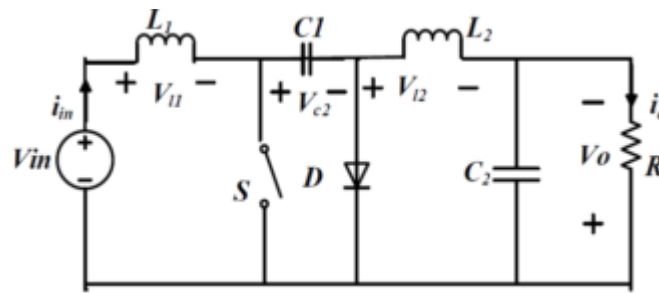
$$V_{PWM} = D \times V_{CC} \quad (2.10)$$

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 kontinu 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*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Bab ini menerangkan urutan langkah-langkah yang dilakukan untuk membuat *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) berbasis algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) menggunakan cuk *converter*. Secara umum konfigurasi sistem ini mendapat *input* dari iradiasi matahari dan suhu lingkungan yang menyebabkan panel surya dapat bekerja. *output* dari panel surya diubah oleh cuk *converter* agar dapat menyesuaikan dengan beban resistif. Nilai *duty cycle* pada cuk *converter* diatur berdasarkan tegangan dan arus panel surya yang dikendalikan oleh MPPT berbasis algoritma ABC agar mendapatkan daya maksimum panel surya. Penelitian dimulai dengan mencari referensi terkait data yang digunakan pada penelitian, data panel surya, data cuk *converter*, algoritma logika ABC dan sistem MPPT secara keseluruhan. Referensi yang didapat digunakan untuk membantu dalam pelaksanaan penelitian.

Menentukan parameter *input* pada panel surya terdiri dari 2 variabel yaitu iradiasi matahari dan suhu, dalam kondisi standar pengujian panel surya iradiasi matahari yang digunakan adalah 1000 W/m^2 dan pada suhu 25°C Penelitian ini dilakukan pengujian dengan iradiasi matahari dan suhu yang variatif. Pemodelan panel surya dilakukan dalam *software* Matlab R2020a. Pemodelan panel surya yang dilakukan adalah menentukan panel surya yang digunakan pada perancangan sistem MPPT secara keseluruhan. Penentuan panel surya bergantung pada kapasitas yang digunakan untuk selanjutnya menjadi acuan pada komponen lainnya. Melakukan perhitungan matematis untuk menentukan nilai yang digunakan pada setiap komponen di dalam cuk *converter*.

Perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan rumusan dari bab sebelumnya. Algoritma ABC yang digunakan sebagai algoritma sistem MPPT. Menggabungkan keseluruhan model menjadi sistem MPPT secara keseluruhan untuk kemudian dilakukan tahap pengujian model keseluruhan yang sudah dibuat sebelumnya. Melakukan pengujian pada sistem MPPT keseluruhan dengan memberikan nilai *input* yang telah ditentukan sebelumnya, mengamati dan

memeriksa bila terjadi adanya kesalahan ataupun kekeliruan sehingga tidak mendapatkan hasil yang tidak sesuai.

3.2 Identifikasi Masalah

Titik *Maximum Power Point* (MPP) yang tidak sesuai dengan kondisi matahari dan banyaknya faktor luar yang menyebabkan tidak optimalnya keluaran fotovoltaiik pada panel surya membuat pengeluaran biaya untuk merangkai fotovoltaiik sangat besar. Algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) adalah algoritma *metahauristic* yang terbaru pada beberapa tahun terakhir ini yang mengacu pada karakter lebah pencari nektar. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) adalah metode pengoptimalan *output* panel surya dengan menggabungkan sebuah *converter* dan metode algoritma.

MPPT ABC merupakan pengoptimalan *output* panel surya yang menggabungkan antara *converter* dengan metode algoritma ABC, dalam *converter* terdapat beberapa rangkaian yang harus disesuaikan nilainya dengan keluaran daya (P) pada panel surya. Algoritma ABC membaca *duty cycle* yang digunakan dalam *converter* agar tetap dalam posisi yang optimal menyesuaikan titik pencahayaan pada matahari. Sehingga satu kesatuan MPPT dapat bekerja maksimal dan menghasilkan *output P* pada panel surya yang optimal.

3.3 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian optimasi panel surya menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) berbasis *Artificial Bee Colony* (ABC) menggunakan beberapa instrumen yang penting dan harus diperhatikan dalam pengujiannya. Hal ini disebabkan karena beberapa *software* yang digunakan memiliki kapasitas memori yang besar, sehingga perangkat keras yang digunakan harus dapat menyokong perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

3.3.1 Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini yaitu meliputi satu unit laptop dengan spesifikasi intel core i5 dengan RAM 6 GB, Penggunaan laptop

sebagai alat untuk menggunakan aplikasi Matlab yang telah terpasang di dalam laptop, dan juga digunakan untuk *software* lainnya seperti Microsoft Office.

3.3.2 Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini yaitu meliputi:

1. Perangkat lunak Matlab sebagai perangkat lunak utama dalam perancangan dan perhitungan simulasi penelitian ini yang telah terpasang di unit laptop.
2. Sistem operasi *windows* 10 64bit sebagai media dan pengujian simulasi.
3. Microsoft Office 2019 (Microsoft Excel 2019, Microsoft Word 2019, Microsoft Visio 2019) sebagai pengolah dan perhitungan data serta pembuatan laporan dari hasil simulasi dan perhitungan.

3.4 Perancangan Penelitian

Perancangan pada penelitian ini terdiri perancangan algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC), perancangan cuk *converter*, dan perancangan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) secara keseluruhan. Hal ini semua komponen dirancang satu per satu dan diuji untuk mengetahui performa masing-masing komponen. Setelah itu semua komponen dirancang secara keseluruhan dibentuk sehingga menjadi satu kesatuan MPPT. Perancangan algoritma ABC meliputi beberapa step diantaranya yaitu penentuan *Solution Number* (SN), *Maximum Cycle Number* (MCN), *limit*, *Dmin* dan *Dmax* dan semuanya dilingkup dalam operasi ABC.

Rangkaian cuk *converter* juga meliputi rangkaian resistor, induktor, kapasitor, mosfet, dan dioda, semuanya dirangkai sesuai dengan rangkaian cuk *converter* yang tertera pada jurnal. Satu kesatuan MPPT *output* dari panel surya dibaca oleh algoritma ABC sebelum masuk ke dalam rangkaian cuk *converter* untuk menentukan *duty cycle* yang diperlukan pada *converter*, kemudian *duty cycle* yang masuk ke dalam mosfet menghasilkan *output* yang optimal sesuai yang diinginkan.

3.4.1 Data Iradiasi dan Suhu

Penentuan nilai iradiasi matahari dan suhu sebagai *input* panel surya dibagi menjadi 2 jenis data. Data pertama adalah perubahan nilai iradiasi dengan suhu

tetap, data yang kedua adalah perubahan suhu dengan iradiasi tetap. Perbedaan antara kedua data ini bertujuan untuk mengetahui hasil *output* pada panel surya. Data pertama nilai suhu dan iradiasi matahari dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Pertama Nilai Suhu dan Iradiasi Matahari

Suhu (°C)	Iradiasi matahari (W/m ²)
25	800
25	900
25	1000

Berdasarkan Tabel 3.1 menjelaskan data pertama nilai suhu dan iradiasi matahari, yaitu data pertama digunakan dalam pengujian guna mengetahui daya *output* panel surya dalam kondisi perubahan iradiasi matahari dengan suhu yang tetap dengan nilai 25°C sesuai dengan kondisi standar. Data dalam Tabel 3.1 menjadi nilai *input* untuk panel surya saat dilakukan pengujian. Iradiasi matahari yang sebagai *input* dimulai dari yang terkecil yaitu 800 W/m² sampai pada paling tinggi pada kondisi standar pengujian panel surya yaitu 1000 W/m². Data kedua nilai suhu dan iradiasi matahari dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Kedua Nilai Suhu dan Iradiasi Matahari

Suhu (°C)	Iradiasi matahari (W/m ²)
23	1000
27	1000
33	1000

Berdasarkan Tabel 3.2 menjelaskan data kedua nilai suhu dan iradiasi matahari digunakan dalam pengujian guna mengetahui daya *output* panel surya dalam kondisi perubahan suhu dengan iradiasi yang tetap dengan nilai 1000 W/m² sesuai dengan kondisi standar. Suhu yang dimulai dari 20 °C hingga 30 °C. Data yang berbeda-beda untuk mengetahui karakteristik luaran rangkaian panel surya dari masing-masing percobaan.

Percobaan pertama dipasangkan beban sebesar 9 Ω yang kedua dipasangkan beban sebesar 12 Ω dan yang ketiga dipasangkan beban sebesar 15 Ω, setelah data di atas diuji coba pada rangkaian dengan MPPT dan tanpa MPPT. Hasil dari keduanya dibuat presentase dan dibandingkan efisiensinya. Manakah yang lebih besar efisiensinya rangkaian yang menggunakan MPPT atau rangkaian yang tanpa menggunakan MPPT.

3.4.2 Data Panel Surya

Penentuan jenis panel surya berpengaruh pada *output* tegangan dan arus serta daya yang dihasilkan oleh panel surya. Sistem *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) ini menggunakan satu buah modul panel surya *solarland* 200 WP. Panel surya yang digunakan pada skripsi ini menggunakan 1 panel. Parameter modul panel surya dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Parameter Modul Panel Surya

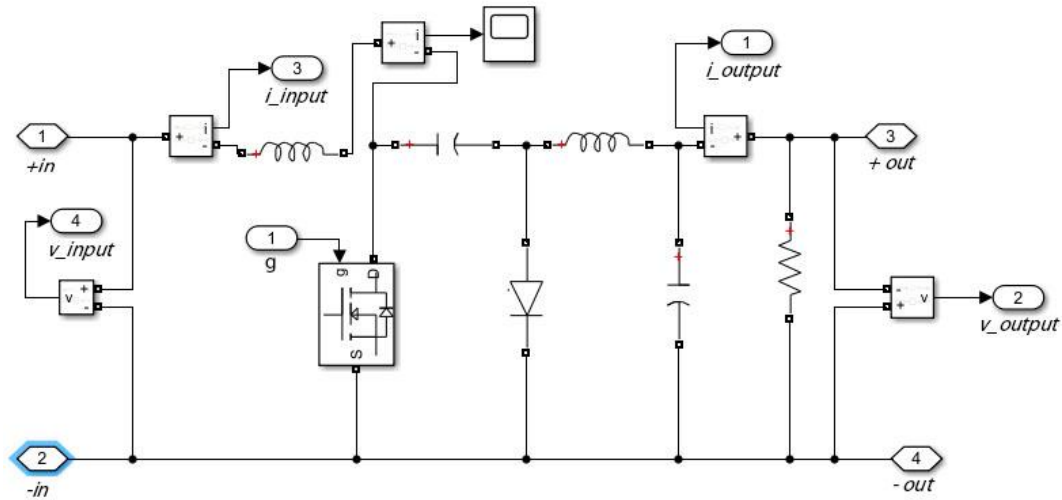
Parameter	Keterangan	Satuan
Merek	<i>Solarland</i>	-
Jenis panel surya	<i>Polycrystalline</i>	-
Daya maksimum (P_{max})	200	WP
Tegangan maksimum (V_{max})	37,39	V
Arus maksimum (I_{max})	5,35	A
<i>Open circuit voltage</i> (V_{oc})	45,5	V
<i>Short-circuit current</i> (I_{sc})	5,79	A
<i>Cells per module</i>	72	-
<i>Temperature coefficient of Voc</i>	-0,33	(%/deg.C)
<i>Temperature coefficient of Isc</i>	0,05	(%/deg.C)

Berdasarkan Tabel 3.3 menjelaskan parameter modul panel surya, panel surya yang digunakan bermerek *solarland* dengan jenis *polycrystalline* dan memiliki daya maksimum 200 WP, dengan tegangan maksimal 37,39 V dan arus maksimal 5,35 A. Panel surya ini juga memiliki *cells per module* 72, tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) 45,5 V dan arus hubung singkat (I_{sc}) 5,79 A. Parameter modul surya berpengaruh terhadap nilai komponen cuk *converter*.

3.4.3 Data Cuk Converter

Pemodelan cuk *converter* dimulai dengan membuat rangkaian cuk *converter* pada *software* Matlab. Penentuan nilai setiap komponen dilakukan berdasarkan perhitungan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya yaitu pada Persamaan 2.10 hingga 2.13. Rangkaian cuk *converter* terdiri dari 2 buah induktor, 2 buah kapasitor, 1 buah dioda, 1 buah mosfet sebagai pensaklaran dan beban resistif. Keseluruhan komponen dirangkai secara sistematis menjadi rangkaian cuk *converter*. Pemodelan rangkaian cuk *converter* menggunakan *toolbox* series RLC dan blok mosfet yang terdapat pada *library browser* pemodelan. Blok-blok ini

kemudian dirangkai seperti rangkaian ekuivalen cuk *converter*. Rangkaian cuk *converter* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Rangkaian Cuk Converter

Berdasarkan Gambar 3.2 rangkaian cuk *converter* menggunakan Matlab terdiri dari berbagai macam blok-blok yang digunakan sebagai pengukuran nilai *input* dan *output* yang dihasilkan oleh cuk *converter*, dalam cuk *converter* terdapat parameter yang harus diperhatikan dalam pengujian untuk menyokong hasil penelitian. Analisis pada konverter cuk berdasarkan beberapa asumsi berikut ini:

1. Kedua induktor pada cuk *converter* mempunyai nilai induktansi yang besar untuk menghasilkan arus yang konstan.
2. Kedua kapasitor pada cuk *converter* mempunyai nilai kapasitansi yang cukup besar untuk menghasilkan tegangan keluaran yang konstan.
3. Rangkaian dioperasikan pada kondisi *steady state*, gelombang tegangan dan arus merupakan gelombang periodik.
4. *Duty cycle* (D), *switch* tertutup pada waktu t_{on} , t_{on} merupakan perkalian antara *duty cycle* dengan periode (T). Periode merupakan waktu yang dibutuhkan untuk membentuk satu gelombang penuh, selanjutnya, *switch* terbuka pada waktu t_{off} , t_{off} merupakan perkalian antara periode dengan hasil kurang antara satu dengan *duty cycle*.
5. Dioda dan *switch* pada rangkaian cuk *converter* merupakan komponen yang ideal. Parameter cuk *converter* dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Parameter Cuk Converter

Parameter	Nilai	Satuan
Tegangan <i>input</i> (V_{in})	37,39	V
Tegangan <i>output</i> (V_{in})	48	V
Frekuensi (f)	10000	Hz
Faktor <i>ripple</i> tegangan	1	%
<i>Ripple</i> arus masukan	10	%
<i>Ripple</i> arus luaran	11	%

Berdasarkan Tabel 3.4 menjelaskan parameter cuk *converter*, faktor *ripple* tegangan pada cuk *converter* didapat nilai 1 % atau sekitar 0,01, dan *ripple* arus masukan pada cuk *converter* didapat nilai 10 % atau 0,1 kemudian *ripple* arus masukan cuk *converter* didapat nilai 11% atau sekitar 0,11. Tegangan *input* didapat 39 V karena mengikuti tegangan maksimal pada panel surya, dan tegangan *output* didapat 48 V karena menyesuaikan penggunaan baterai yang kapasitasnya 48 V. Nilai induktor 1 (L_1), induktor 2 (L_2), kapasitor 1 (C_1), kapasitor 2 (C_2) yang dibutuhkan pada cuk *converter* dalam rangkaian ini didapat hasil dari Persamaan (2.10) sampai Persamaan (2.13). L_{1min} sebesar 0,00393 H untuk L_{2min} sebesar 0,00458 H untuk C_{1min} sebesar 0,000274 H dan untuk C_{2min} sebesar 0,000227 H, perhitungan dapat dilihat pada lampiran A.

Perhitungan di atas untuk kapasitas minimal dari masing-masing rangkaian untuk menghasilkan *output* luaran yang diinginkan, dan juga untuk menjaga supaya rangkaian dalam mode *Continuous Conduction Mode* (CCM) atau biasa disebut modus yang arus induktor (I_L) mengalir secara kontinyu, dalam arti tidak pernah mencapai nilai nol. Jika rangkaian tidak dalam mode *Continuous Conduction Mode* (CCM) maka rangkaian akan eror.

3.4.4 Variabel Algoritma *Artificial Bee Colony*

Variabel algoritma ini meliputi *Solution Number* (SN), *Maximum Cycle Number* (MCN), *limit*, *time sampling*, D_{min} dan D_{max} . SN adalah jumlah lebah yang digunakan pada penelitian, MCN adalah limit jumlah iterasi pada algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC). D_{min} dan D_{max} adalah untuk pemilihan *duty cycle* maksimal dan minimal pada algoritma ABC dan *time sampling* adalah waktu yang dibutuhkan pada penelitian. Parameter algoritma ABC dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Parameter Algoritma *Artificial Bee Colony*

Parameter	Nilai
SN	3 <i>Bees</i>
MCN	50 <i>Cycle</i>
D_{min}	0,3
D_{max}	0,56
<i>Limit</i>	10
<i>Time sampling</i>	10uS

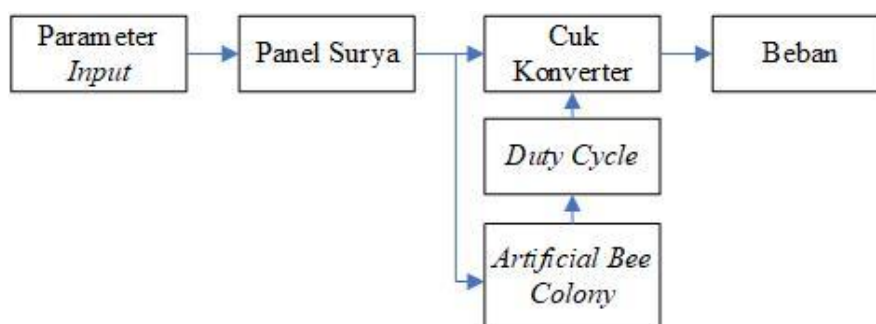
Berdasarkan Tabel 3.5 menjelaskan parameter algoritma ABC, dapat dilihat SN atau lebah yang digunakan dalam percobaan kali ini adalah tiga ekor lebah yakni yang tugasnya masing-masing adalah lebah pekerja, lebah pengamat dan lebah pramuka. MCN yang digunakan adalah 50 *cycle* yang artinya lebah berputar selama 50 kali dalam menentukan makanan yang terbaik dalam 50 kali lebah pramuka mencari sumber makanan, setelah makanan lama tidak dapat ditingkatkan. Lebah pramuka bekerja setiap 50 *cycle* sekali selama 10 kali atau batas *limit*. *Script* algoritma ABC dapat dilihat pada lampiran B.

Setelah 10 kali putaran *scout bee* sistem mengulang pada awal *cycle*. Semua lebah mencari solusi terbaik atau makanan terbaik dari *duty cycle* 0,3 hingga 0,56 dapat dilihat di tabel D_{min} D_{max} . Parameter algoritma ABC di atas adalah parameter yang digunakan untuk penelitian kali ini. Penelitian di beberapa jurnal nasional maupun internasional memiliki parameter algoritma ABC yang berbeda-beda tergantung objek apa yang dioptimalkan.

3.4.5 MPPT ABC

Maximum Power Point Tracking Artificial Bee Colony (MPPT ABC) merupakan gabungan dari DC-DC *converter* dan algoritma ABC yang dirangkai sedemikian rupa sehingga membentuk satu kesatuan rangkaian yang menghasilkan *output* yang optimal. *Converter* DC pada penelitian ini menggunakan DC *converter* tipe cuk. Panel surya menghasilkan tegangan (V) dan arus (I) sesuai dengan parameter *input*, yaitu nilai iradiasi (I_{rr}) dan temperatur (T). *Output* algoritma ABC masih berbentuk nilai *decimal duty cycle*, untuk mengubahnya menjadi sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) maka dibutuhkan blok PWM Generator.

MPPT ABC adalah gabungan dari rangkaian-rangkaian algoritma dan *converter* yang sudah diatur sedemikian hingga melalui perhitungan pada persamaan-persamaan yang dijelaskan pada bab selanjutnya. Parameter data algoritma ABC yang sudah dijelaskan pada penjelasan 3.3.4 variabel algoritma ABC dan perhitungan rangkaian cuk *converter* yang sudah dijelaskan pada penjelasan 3.3.3 maka hasil percobaan menjadi lebih signifikan dibandingkan dengan rangkaian tanpa MPPT. Data-data yang sudah dijelaskan diatas digabungkan menjadi satu kesatuan MPPT. Diagram blok MPPT ABC yang dimodelkan menggunakan *software* Matlab dapat dilihat pada Gambar 3.2.

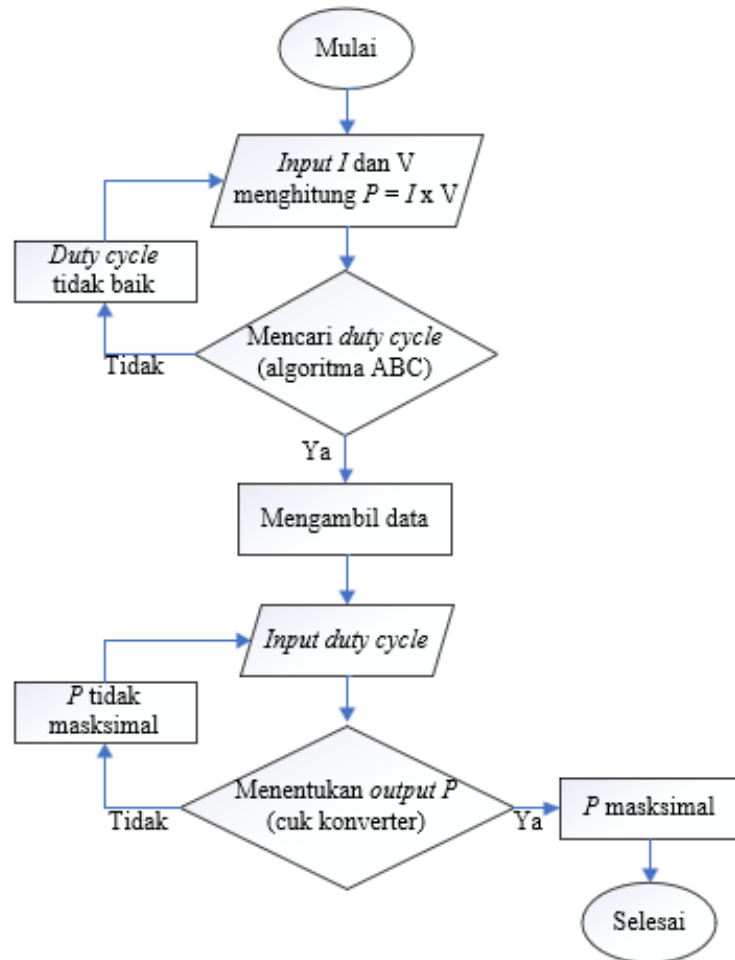


Gambar 3.2 Diagram Blok MPPT ABC

Berdasarkan Gambar 3.3 menjelaskan diagram blok MPPT ABC dimulai parameter *input* berupa iradiasi (W/m^2) dan suhu ($^{\circ}C$) masuk ke panel surya dan kemudian nilai voltase (V) dan arus (I) masukan pada cuk *converter* dibaca oleh algoritma ABC kemudian menghasilkan *duty cycle* yang masuk ke dalam cuk *converter* dan pada cuk *converter* menuju beban. Hasil kali V dan I menghasilkan daya (P) dari hasil kali ini MPPT membaca seberapa besar nilai *duty cycle* yang baik untuk digunakan dalam rangkaian cuk *converter*, melalui mosfet perubah sinyal *decimal* menjadi sinyal PWM untuk menghasilkan daya yang optimal.

3.5 Algoritma Sistem

Algoritma sistem ini menjelaskan bagaimana cara *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) bekerja secara keseluruhan dimulai dari panel surya kemudian algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) dan menuju cuk *converter*. *Flowchart* sistem MPPT dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.3 Flowchart Sistem MPPT

Berdasarkan Gambar 3.3 menjelaskan tentang *flowchart* sistem MPPT dengan data masukan pertama dari panel surya berupa arus (I) dan tegangan (V) yang kemudian dibaca oleh algoritma ABC dengan mengalikan I dan V untuk menghasilkan *duty cycle*. *Duty Cycle* yang baik akan masuk ke dalam *cuk converter* yang kemudian diproses oleh komponen dalam rangkaian untuk menghasilkan daya yang optimal.

3.6 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat yang digunakan dalam penelitian dilakukan di kontrakan Alamanda Palm Hills Estate No.5 Lantai 2 Cilegon. Waktu pengerjaan skripsi ini berlangsung dari bulan Mei 2022.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

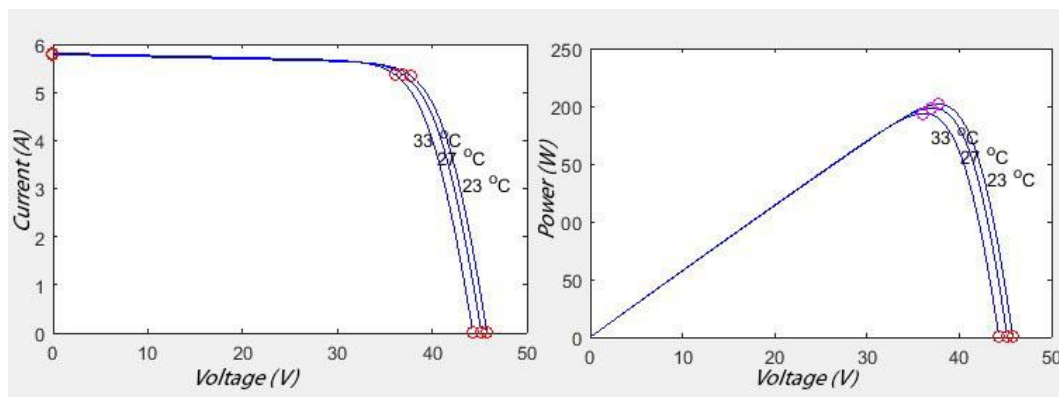
Bab ini berisikan hasil dan pembahasan dari beberapa pengujian yang dilakukan pada penelitian. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk grafik, tabel dan gambar dan kemudian dilakukan analisis pembahasan. Berikut adalah beberapa hasil dan pembahasan yang didapat di penelitian ini:

1. Karakteristik cuaca dan panel surya
2. Cuk *converter*
3. *Maximum Power Point Tracking Artificial Bee Colony* (MPPT ABC)

Pengujian ini didapat hasil dari pengujian karakteristik cuaca dan panel surya. Pengujian cuk *converter* dan pengujian MPPT dengan Algoritma ABC. Masing-masing pengujian disajikan tabel dan gambar pengujian untuk lebih memperjelas hasil.

4.1 Pengujian Karakteristik Cuaca dan Panel Surya

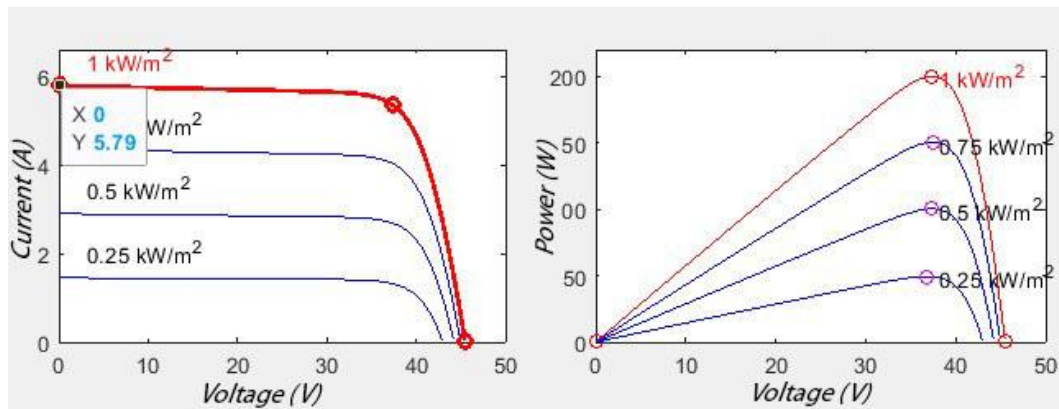
Pengujian karakteristik panel surya dilakukan untuk mengamati perubahan nilai arus, tegangan dan daya pada nilai iradiasi dan suhu sesuai dengan *Standart Test Condition* (STC) Pengujian dilakukan pada karakteristik panel surya menggunakan iradiasi 1000 W/m^2 menggunakan nilai suhu $23 \text{ }^\circ\text{C}$, $27 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $33 \text{ }^\circ\text{C}$. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik tegangan (V) dengan arus (I) dan karakteristik V dengan daya (P). Karakteristik $V-I$ dan karakteristik $V-P$ terhadap perubahan suhu dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Karakteristik $V-I$ dan Karakteristik $V-P$ Terhadap Perubahan Suhu

Berdasarkan Gambar 4.1 menjelaskan karakteristik $V-I$ dan karakteristik $V-P$ terhadap perubahan suhu, pengujian dilakukan dengan kondisi iradiasi 1000 W/m^2 dan nilai temperatur yang bervariasi. Keterangan karakteristik $V-I$ menunjukkan karakteristik arus dan tegangan pada panel surya. Kenaikan suhu pada panel surya mengakibatkan penurunan tegangan operasi dari panel surya. Tegangan terendah panel surya berada pada saat suhu $33 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan nilai tegangan $36,13 \text{ V}$ dan nilai tegangan tertinggi berada pada suhu $23 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan nilai tegangan $37,71 \text{ V}$, sedangkan nilai arus cenderung stabil berkisar 5.3 A .

Keterangan karakteristik $V-P$ menunjukkan karakteristik daya dengan tegangan pada panel surya. Perubahan temperatur menunjukkan daya dan tegangan panel surya mengalami perubahan. Titik maksimum daya yang dicapai panel surya saat suhu $23 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan nilai $201,6 \text{ W}$ dan tegangan $37,71 \text{ V}$. Kurva tersebut menunjukkan titik daya minimum yang dicapai panel surya pada suhu $33 \text{ }^\circ\text{C}$ nilai daya panel surya adalah $193,8 \text{ W}$ dengan tegangan $36,13 \text{ V}$. Pengujian karakteristik panel surya pada kondisi temperatur $25 \text{ }^\circ\text{C}$ menggunakan iradiasi 1000 W/m^2 , 750 W/m^2 , 500 W/m^2 dan 250 W/m^2 . Karakteristik $V-I$ karakteristik $V-P$ pada perubahan iradiasi dapat dilihat pada Gambar 4.2.



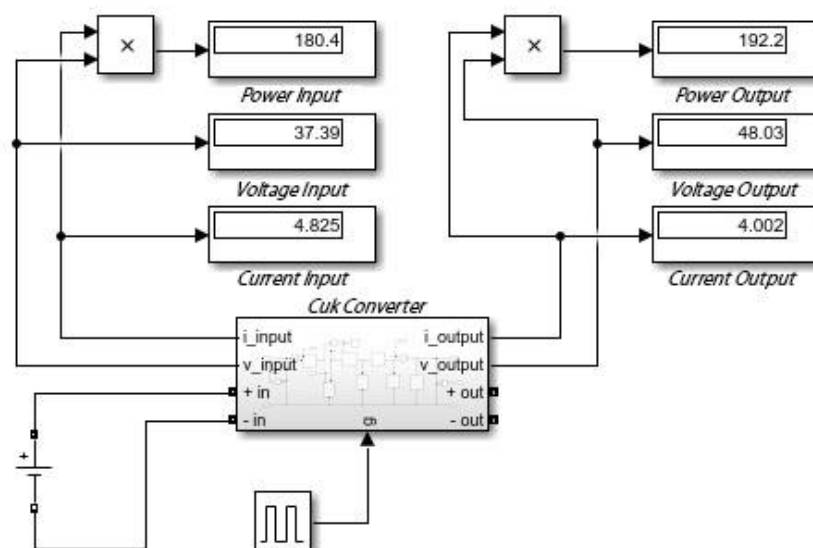
Gambar 4.2 Karakteristik $V-I$ Karakteristik $V-P$ Pada Perubahan Irradiasi

Berdasarkan Gambar 4.2 menjelaskan karakteristik $V-I$ karakteristik $V-P$ pada perubahan iradiasi, karakteristik $V-I$ perubahan temperatur membuat arus cenderung tetap dalam keadaan stabil pada panel surya, sedangkan pada karakteristik $V-I$ pada Gambar 4.2 perubahan iradiasi berpengaruh signifikan terhadap arus panel surya. Arus tertinggi dicapai pada saat iradiasi berada pada

1000 W/m² dengan nilai arus sebesar 5,79 A sedangkan arus terendah dicapai pada saat iradiasi berada pada 250 W/m². Berdasarkan karakteristik *V-P* pada Gambar 4.2. perubahan iradiasi berpengaruh pada daya yang dihasilkan pada panel surya. Daya tertinggi dicapai saat iradiasi 1000 W/m² dengan tegangan operasi 37,39 V, sedangkan daya terendah dicapai pada saat iradiasi 250 W/m² dengan tegangan operasi 36,83 V. Berdasarkan pengujian karakteristik panel surya pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa iradiasi berbanding lurus dengan daya panel surya dan berbanding terbalik terhadap temperatur. Semakin besar iradiasi yang didapatkan panel surya maka daya yang dihasilkan semakin besar. Berbanding terbalik jika temperatur panel surya semakin besar maka daya yang dihasilkan panel surya semakin rendah.

4.2 Cuk Converter

Cuk converter pada penelitian ini berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan *input* menjadi 48 V dengan sumber yang berasal dari panel surya. Pemodelan *converter* tipe *cuk* menggunakan komponen induktor, mosfet, kapasitor, dioda dan resistor. *Cuk converter* menggunakan sumber tegangan DC 37,39 V yang telah disesuaikan dengan parameter dan nilai komponen pada sistem *maximum power point tracking artificial bee colony* (MPPT ABC). Tujuannya adalah mengetahui apakah *converter* yang didesain telah sesuai dengan harapan Desain Simulink pengujian *cuk converter* dapat dilihat pada Gambar 4.3.

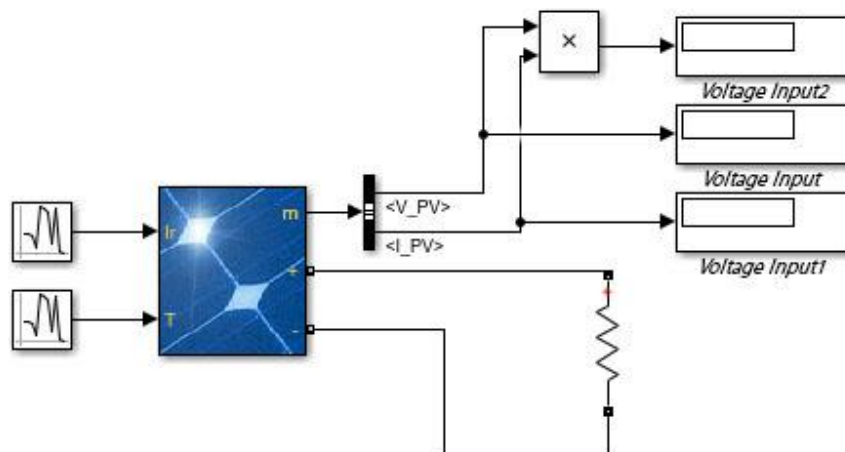


Gambar 4.3 Desain Simulink Pengujian *Cuk Converter*

Berdasarkan Gambar 4.3 menjelaskan desain Simulink pengujian cuk *converter*, hasil dari pengujian *converter* inilah yang menentukan apakah *converter* yang telah didesain layak untuk dimasukkan ke dalam sistem MPPT pada fotovoltaik. Menentukan sudah sesuai atau belum rancangan *converter* terlihat pada hasil *output* pengujian ini, jika hasil *output* sama dengan hasil *output* yang diharapkan maka *converter* sudah sesuai dan didesain dengan benar. Pengujian ini cuk *converter* didesain untuk menaikkan tegangan dari tegangan *input* sebesar 37,39 V menjadi 48 V agar sesuai dengan kapasitas baterai yang digunakan di dalam pengujian. Berdasarkan gambar 4.3 cuk *converter* sudah menunjukkan keberhasilan rancangan dalam menaikkan tegangan dari 37,39 V menjadi 48 V.

4.3 Pengujian Perubahan Iradiasi dan Suhu Tetap

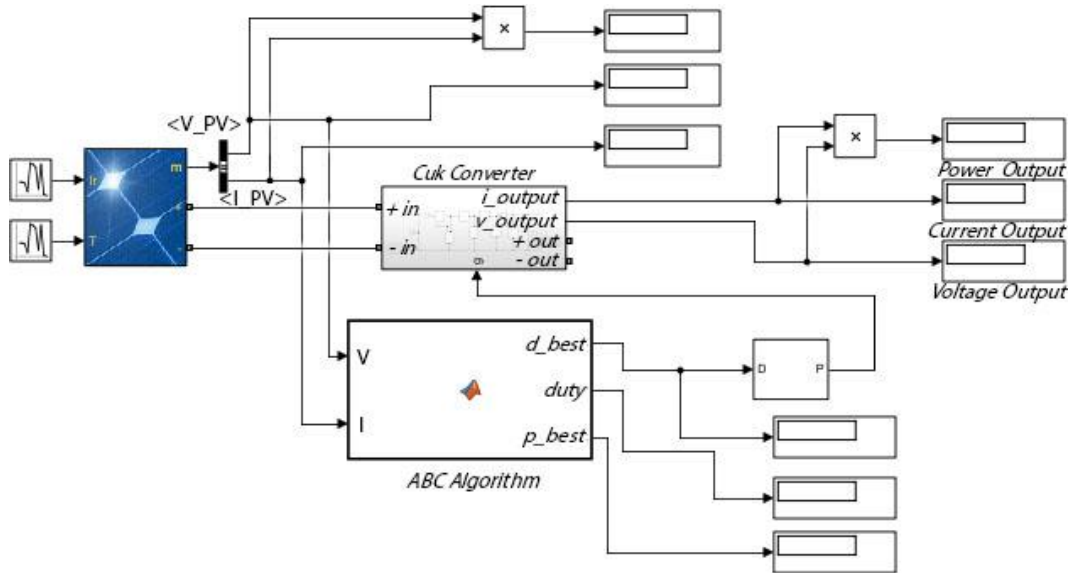
Pengujian panel surya menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dan tanpa MPPT dilakukan dengan cara menghubungkan dengan beban resistif (R). Parameter iradiasi dan temperatur yang digunakan bervariasi, data yang digunakan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2. Data masukan yang digunakan bervariasi untuk mengetahui pengaruh iradiasi ataupun suhu terhadap panel surya. Hasil dari pengujian ini adalah nilai tegangan, dan daya yang dihasilkan panel surya. Rangkaian panel surya tanpa MPPT dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Rangkaian Panel Surya Tanpa MPPT

Berdasarkan Gambar 4.4 menjelaskan rangkaian panel surya tanpa MPPT, pengujian menggunakan MPPT dilakukan untuk membandingkan hasil pengujian

dengan panel surya tanpa MPPT. Hal ini seberapa maksimal MPPT jika dibandingkan dengan tanpa MPPT. Rangkaian panel surya menggunakan MPPT dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Rangkaian Panel Surya Menggunakan MPPT

Berdasarkan Gambar 4.5 menjelaskan rangkaian panel surya menggunakan MPPT, pengujian optimasi panel surya menggunakan MPPT ABC *cuk converter* dilakukan menggunakan data pertama dan data kedua sebagai nilai *input* dari panel surya, dan dari sisi beban menggunakan perubahan nilai resistansi yang terdiri dari 9 Ω , 12 Ω dan 15 Ω . Tujuan pengujian ini untuk membandingkan nilai *output* panel surya yang menggunakan MPPT dengan panel surya yang tidak menggunakan MPPT. Variasi beban resistansi yang berbeda-beda bertujuan untuk mengetahui karakteristik daya pada panel surya untuk setiap nilai beban. Variasi data masukan bertujuan untuk mengetahui karakteristik panel surya pada perubahan iradiasi dengan suhu yang tetap, kemudian perubahan suhu dengan iridiasi tetap,

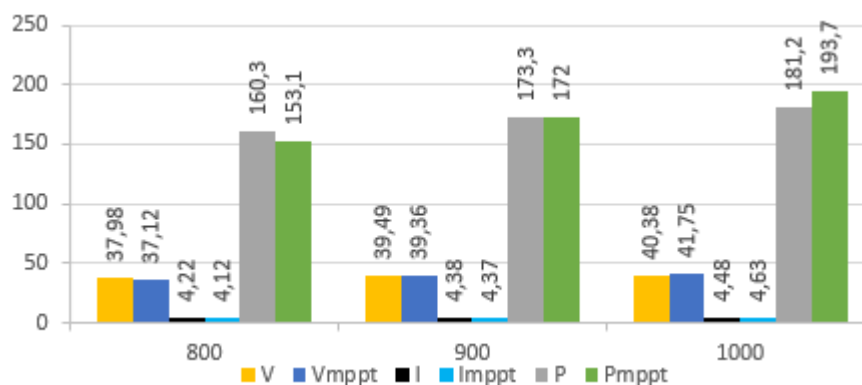
Masing-masing pengujian menggunakan variasi beban, hasil dari optimasi yang dilakukan dapat dilihat dari perbandingan daya yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan MPPT dan tanpa MPPT. Pengujian berikut menggunakan data pertama yaitu dengan perubahan iradiasi dan suhu tetap dan menggunakan beban resistansi 9 Ω , 12 Ω dan 15 Ω pada setiap perubahan iradiasi. Perubahan beban diterapkan untuk mengetahui karakteristik luaran panel surya

terhadap resistansi beban. Hasil pengujian perubahan iradiasi dan suhu tetap dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Perubahan Iradiasi dan Suhu Tetap

Pengujian 1 suhu tetap 25 °C		Tanpa MPPT			MPPT		
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
9 Ω	800	37,98	4,22	160,3	37,12	4,12	153,1
	900	39,49	4,38	173,3	39,36	4,37	172
	1000	40,38	4,48	181,2	41,75	4,63	193,7
12 Ω	800	40,85	3,4	139,1	43,61	3,63	158,4
	900	41,52	3,48	143,6	46,25	3,85	178,2
	1000	42,01	3,5	147	48,79	4,06	198,4
15 Ω	800	41,95	2,79	117,3	46,03	3,06	141,3
	900	42,43	2,82	120	51,05	3,40	173,7
	1000	42,81	2,85	122,2	52,30	3,48	182,3

Berdasarkan Tabel 4.1 menjelaskan hasil pengujian perubahan iradiasi dan suhu tetap, optimasi yang dilakukan adalah perbandingan nilai daya *ouput* dari panel surya dari yang menggunakan MPPT dan tanpa MPPT. Pengujian perubahan iradiasi 800 W/m², 900 W/m² dan 1000 W/m² dengan suhu tetap 25 °C dan dengan beban 9 Ω, 12 Ω dan 15 Ω Terlihat hasil yang sangat berbeda jika dibandingkan rangkaian yang tanpa MPPT dan dengan yang menggunakan MPPT. Beban sebesar 9 Ω sedikit berbeda dengan yang tanpa menggunakan MPPT atau dapat disebut lebih besar yang tanpa menggunakan MPPT dibandingkan dengan yang menggunakan MPPT, agar lebih jelas dapat dilihat pada grafik masing-masing percobaan 9 Ω, 12 Ω dan 15 Ω pada iradiasi 800 W/m², 900 W/m² dan 1000 W/m² dan pada suhu tetap 25 °C. Percobaan perubahan iradiasi dan suhu tetap beban 9 Ω dapat dilihat pada Gambar 4.6.



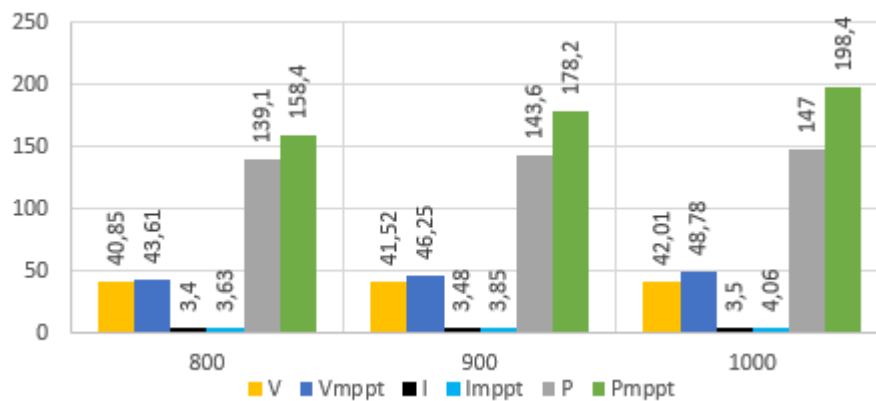
Gambar 4.6 Percobaan Perubahan Iradiasi dan Suhu Tetap Beban 9 Ω

Berdasarkan Gambar 4.6 menjelaskan percobaan perubahan iradiasi dan suhu tetap beban 9Ω , percobaan ini terlihat semua rangkaian baik yang menggunakan MPPT ataupun yang tanpa menggunakan MPPT terlihat naik dengan perubahan iradiasi 1000 W/m^2 . Masing-masing rangkaian baik yang menggunakan MPPT dan yang tidak menggunakan MPPT memiliki kenaikan tegangan (V) pada perubahan iradiasi 1000 W/m^2 dan sedikit perubahan pada arus (I). Rangkaian ini sesuai dengan hukum sel surya jika iradiasi berpengaruh pada V dan sedikit pada I . Grafik di atas yang tanpa menggunakan MPPT lebih besar hasilnya dibandingkan dengan yang menggunakan MPPT.

Iradiasi 800 W/m^2 rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki daya $153,1 \text{ W}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $160,3 \text{ W}$. Posisi Iradiasi 900 W/m^2 rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki daya 172 W sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $173,3 \text{ W}$. Iradiasi 1000 W/m^2 rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki daya $193,7 \text{ W}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $181,2 \text{ W}$. Iradiasi 800 W/m^2 rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase $37,12 \text{ V}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $37,98 \text{ V}$. Iradiasi 900 W/m^2 rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase $39,36 \text{ V}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $39,49 \text{ V}$. Iradiasi 1000 W/m^2 rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase $41,75 \text{ V}$.

Posisi iradiasi 800 W/m^2 rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus $4,12 \text{ A}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $4,22 \text{ A}$. Iradiasi 900 W/m^2 rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus $4,37 \text{ A}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $4,38 \text{ A}$. Iradiasi 1000 W/m^2 rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus $4,63 \text{ A}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $4,48 \text{ A}$. Hal ini disebabkan oleh rangkaian *converter* memiliki *setting* beban resistif 12Ω minimal. Rangkaian MPPT tidak handal dalam menghadapi beban yang kecil. Posisi iradiasi 1000 W/m^2 rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki daya yang unggul dibanding rangkaian yang tidak menggunakan MPPT. Rancangan MPPT ini juga menunjukkan kinerjanya dalam mengoptimalkan daya luaran dalam panel surya yang menggunakan algoritma ABC, selanjutnya dijelaskan percobaan pada perubahan iradiasi dan suhu tetap

menggunakan beban resistif 12Ω pada suhu tetap $25 \text{ }^\circ\text{C}$ di masing-masing iradiasi 800 W/m^2 , 900 W/m^2 dan 1000 W/m^2 . Percobaan perubahan iradiasi dan suhu tetap beban 12Ω dapat dilihat pada Gambar 4.7.

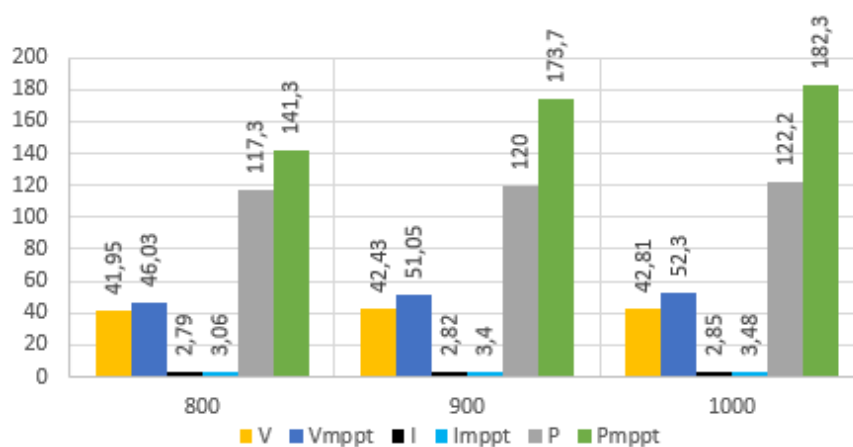


Gambar 4.7 Percobaan Perubahan Iradiasi dan Suhu Tetap Beban 12Ω

Berdasarkan Gambar 4.7 menjelaskan percobaan perubahan iradiasi dan suhu tetap beban 12Ω , percobaan ini terlihat semua rangkaian baik yang menggunakan MPPT ataupun yang tanpa menggunakan MPPT terlihat naik dengan perubahan iradiasi 1000 W/m^2 . Masing-masing rangkaian baik yang menggunakan MPPT dan yang tidak menggunakan MPPT memiliki kenaikan tegangan (V) pada perubahan iradiasi 1000 W/m^2 dan sedikit perubahan pada arus (I). Rangkaian ini sesuai dengan hukum sel surya jika Iradiasi berpengaruh pada V dan sedikit pada I . Percobaan ini rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki hasil yang lebih besar dibanding rangkaian yang tanpa menggunakan MPPT. Terlihat grafik dengan 800 W/m^2 memiliki daya sebesar $158,4 \text{ W}$ pada rangkaian yang menggunakan MPPT dan $139,1 \text{ W}$ pada rangkaian yang tanpa menggunakan MPPT. Iradiasi 900 W/m^2 mendapatkan nilai $178,2 \text{ W}$ pada rangkaian yang menggunakan MPPT dan $143,6 \text{ W}$ pada rangkaian yang tanpa MPPT. Iradiasi 1000 W/m^2 memiliki nilai daya $198,4 \text{ W}$ pada rangkaian yang menggunakan MPPT dan 147 W pada rangkaian yang tanpa menggunakan MPPT.

Posisi iradiasi 800 W/m^2 rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase $43,61 \text{ V}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $40,85 \text{ V}$. Iradiasi 900 W/m^2 rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase $46,25 \text{ V}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $41,52 \text{ V}$. Iradiasi 1000 W/m^2 rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase $48,78 \text{ V}$ sedangkan yang

tanpa menggunakan MPPT sebesar 42,01 V. Iradiasi 800 W/m² rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus 3,63 A sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 3,4 A. Iradiasi 900 W/m² rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus 3,85 A sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 3,48 A. Iradiasi 1000 W/m² rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus 4,06 A sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 3,5 A. Rangkaian yang tanpa menggunakan MPPT tidak handal dalam mengatasi kenaikan beban. Percobaan perubahan iradiasi dan suhu tetap beban 15 Ω dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Percobaan Perubahan Iradiasi dan Suhu Tetap Beban 15 Ω

Berdasarkan Gambar 4.8 menjelaskan percobaan perubahan iradiasi dan suhu tetap beban 15 Ω, sama dengan percobaan sebelumnya percobaan kali ini terlihat semua rangkaian baik yang menggunakan MPPT ataupun yang tanpa menggunakan MPPT terlihat naik dengan perubahan iradiasi 1000 W/m². Masing-masing rangkaian baik yang menggunakan MPPT dan yang tidak menggunakan MPPT memiliki kenaikan tegangan (V) pada perubahan iradiasi 1000 W/m² dan sedikit perubahan pada arus (I). Rangkaian ini sesuai dengan hukum sel surya jika Iradiasi berpengaruh pada tegangan (V) dan sedikit pada arus (I). Grafik yang menggunakan MPPT lebih besar hasilnya dibandingkan dengan yang tanpa menggunakan MPPT sama dengan percobaan yang menggunakan 12 Ω. Iradiasi 800 W/m² terdapat hasil daya 117,3 W pada rangkaian yang tidak menggunakan MPPT, dan 141,3 W pada rangkaian yang menggunakan MPPT. Posisi iradiasi 900 W/m² mendapatkan hasil daya 120 W pada rangkaian yang

tidak menggunakan MPPT dan 173,7 W pada rangkaian yang menggunakan MPPT. Iradiasi 1000 W/m² mendapatkan nilai daya 122,2 W pada rangkaian tidak menggunakan MPPT dan 182,3 pada rangkaian yang menggunakan MPPT.

Iradiasi 800 W/m² rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase 46,03 V sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 41,95 V dan pada 900 W/m² rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase 51,05 V sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 42,43 V, pada 1000 W/m² rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase 52,3 V sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 42,81 V.

Posisi iradiasi 800 W/m² rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus 3,06 A sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 2,79 A dan pada 900 W/m² rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus 3,4 A sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 2,82 A, pada 1000 W/m² rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus 3,48 A sedangkan yang tanpa menggunakan *maximum power point tracking* sebesar 2,85 A. Penjelasan di atas terlihat rangkaian yang menggunakan MPPT lebih signifikan dibandingkan dengan yang tidak menggunakan MPPT. Terlihat kemampuan sebuah algoritma dan rangkaian *converter* tipe cuk dapat menaikkan dan memperthankan daya *output*, oleh karena itu rangkaian yang tidak menggunakan MPPT tidak handal dalam naik beban resistif.

4.4 Pengujian Perubahan Suhu dan Iradiasi Tetap

Pengujian optimasi panel surya menggunakan *Maximum Power Point Tracking Artificial Bee Colony* (MPPT ABC) cuk *converter* dilakukan menggunakan data kedua sebagai nilai *input* dari panel surya, dan dari sisi beban menggunakan perubahan nilai resistansi yang terdiri dari 9 Ω , 12 Ω dan 15 Ω . Tujuan pengujian ini untuk membandingkan nilai *output* panel surya yang menggunakan MPPT dengan panel surya yang tidak menggunakan MPPT. Pengujian optimasi panel menggunakan data kedua sebagai nilai *input* dari panel surya yaitu perubahan suhu 20 °C, 30 °C hingga 35 °C dan iradiasi tetap 1000 W/m².

Perubahan suhu dipercobaan kali ini menggunakan data suhu 20 °C, 30 °C

dan 35 °C. Beban yang menggunakan perubahan nilai resistansi yang berbeda terdiri dari 9 Ω , 12 Ω dan 15 Ω . Tujuan pengujian ini untuk membandingkan nilai *output* panel surya yang menggunakan MPPT dengan panel surya yang tidak menggunakan MPPT. Variasi beban resistansi yang berbeda-beda bertujuan untuk mengetahui karakteristik daya pada panel surya untuk setiap nilai beban., hasil dari optimasi yang dilakukan dapat dilihat dari perbandingan daya yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan MPPT dan tanpa MPPT. Hasil pengujian perubahan suhu dan iradiasi tetap dapat dilihat pada Gambar 4.2.

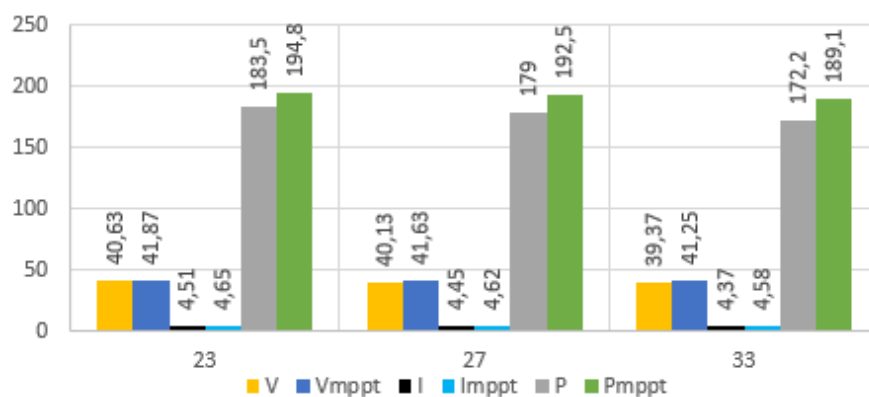
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Perubahan Suhu dan Iradiasi Tetap

Percobaan 2 iradiasi tetap 1000 W/m ²		Tanpa MPPT			MPPT		
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
9 Ω	23	40,63	4,51	183,5	41,87	4,65	194,8
	27	40,13	4,45	179	41,63	4,62	192,5
	33	39,37	4,37	172,2	41,25	4,58	189,1
12 Ω	23	42,28	3,52	149	48,96	4,08	199,8
	27	41,73	3,47	145,1	48,6	4,05	196,8
	33	40,9	3,40	139,4	47,97	3,99	191,7
15 Ω	23	43,09	2,87	123,8	52,62	3,50	184,6
	27	42,52	2,83	120,6	51,97	3,46	180,1
	33	41,67	2,78	115,8	50,99	3,4	173,4

Berdasarkan Tabel 4.2 menjelaskan hasil pengujian perubahan suhu dan iradiasi tetap, optimasi yang dilakukan adalah perbandingan nilai daya *ouput* dari panel surya dari yang menggunakan MPPT dan tanpa MPPT. Pengujian perubahan suhu dengan iradiasi tetap dan dengan beban 9 Ω , 12 Ω dan 15 Ω terlihat hasil yang sangat berbeda jika dibandingkan rangkaian yang tanpa MPPT dan dengan yang menggunakan MPPT. Hal ini disebabkan karena adanya tambahan rangkaian berupa *converter* dan Algoritma ABC yang membantu optimasi pada luaran panel surya. Beban sebesar 9 Ω berbeda dengan yang tanpa menggunakan MPPT atau disebut lebih besar dibandingkan dengan yang menggunakan MPPT, hal ini disebabkan karena *setting* beban resistif pada *converter* berada pada nilai 12 Ω minimal.

Tabel di atas agar lebih jelas dapat dilihat pada grafik dimasing-masing percobaan yang dilakukan dengan beban resistif 9 Ω , 12 Ω dan 15 Ω pada suhu 23 °C, 27 °C dan 33 °C dan iradiasi tetap 1000 W/m². Masing-masing grafik terlihat

penjelasan-penjelasan yang singkat mengenai tabel percobaan 4.2. Percobaan perubahan suhu dan iradiasi tetap beban 9Ω dapat dilihat pada Gambar 4.9.



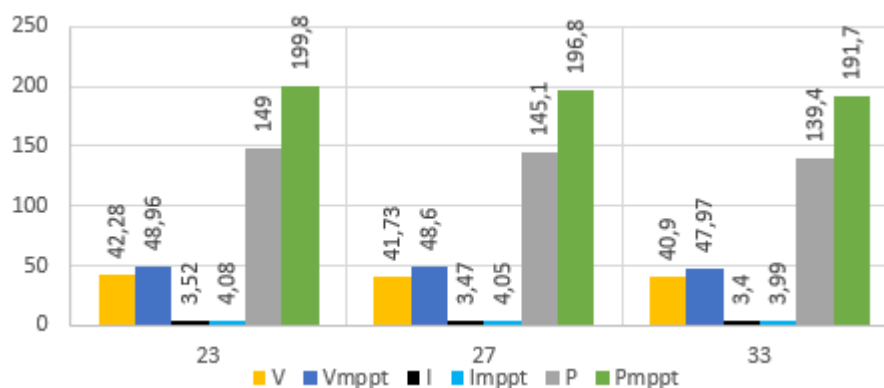
Gambar 4.9 Percobaan Perubahan Suhu dan Iradiasi Tetap Beban 9Ω

Berdasarkan Gambar 4.9 menjelaskan percobaan perubahan suhu dan iradiasi tetap beban 9Ω , percobaan ini terlihat semua rangkaian baik yang menggunakan MPPT ataupun yang tanpa menggunakan MPPT terlihat naik dengan perubahan suhu $33 \text{ }^\circ\text{C}$. Masing-masing rangkaian baik yang menggunakan MPPT dan yang tidak menggunakan MPPT memiliki kenaikan arus (I) pada perubahan suhu $33 \text{ }^\circ\text{C}$ dan sedikit perubahan pada tegangan (V).

Rangkaian ini sudah sesuai dengan hukum sel surya jika suhu berpengaruh pada V dan sedikit pada I . Grafik yang menggunakan MPPT lebih besar hasilnya dibandingkan dengan yang tanpa menggunakan MPPT. Posisi suhu $23 \text{ }^\circ\text{C}$ rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki daya $194,8 \text{ W}$ sedangkan yang tidak menggunakan MPPT memiliki daya $183,5 \text{ W}$. Suhu $27 \text{ }^\circ\text{C}$ dalam rangkaian yang menggunakan MPPT mendapatkan nilai $192,5 \text{ W}$ pada daya dan rangkaian yang tidak dilengkapi MPPT mendapatkan nilai 179 W . Suhu $33 \text{ }^\circ\text{C}$ rangkaian yang menggunakan MPPT didapatkan nilai daya $189,1 \text{ W}$ dan $172,2 \text{ W}$ pada rangkaian yang tidak menggunakan MPPT.

Posisi suhu $23 \text{ }^\circ\text{C}$ rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase $421,87 \text{ V}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $40,63 \text{ V}$ dan pada suhu $27 \text{ }^\circ\text{C}$ rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase $41,63 \text{ V}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $40,13 \text{ V}$, pada suhu $33 \text{ }^\circ\text{C}$ rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase $41,25 \text{ V}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $39,37 \text{ V}$.

Posisi suhu 23 °C rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus 4,65 A sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 4,51 A dan pada suhu 27 °C rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus 4,62 A sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 4,45 A, pada suhu 33 °C rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus 4,58 A sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 4,37 A. Percobaan perubahan suhu dan iradiasi tetap beban 12 Ω dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Percobaan Perubahan Suhu dan Iradiasi Tetap Beban 12 Ω

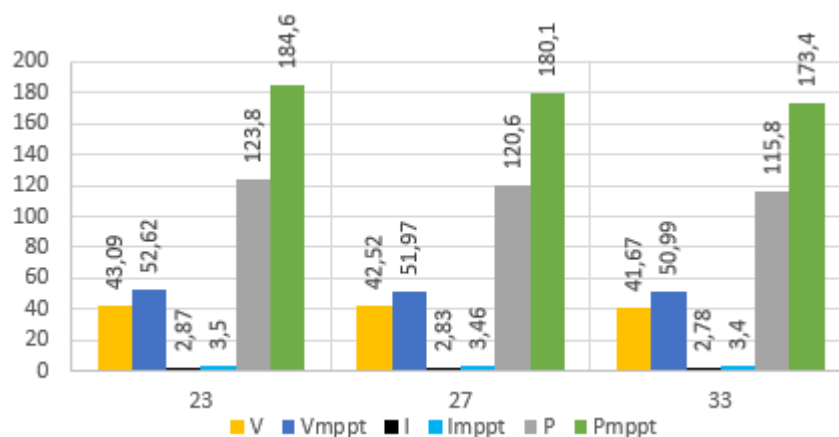
Berdasarkan Gambar 4.10 menjelaskan percobaan perubahan suhu dan iradiasi tetap beban 12 Ω , percobaan ini terlihat semua rangkaian baik yang menggunakan MPPT ataupun yang tanpa menggunakan MPPT terlihat naik dengan perubahan suhu 33 °C. Masing-masing rangkaian baik yang menggunakan MPPT dan yang tidak menggunakan MPPT memiliki kenaikan I pada perubahan suhu 33 °C dan sedikit perubahan pada V . Rangkaian ini sudah sesuai dengan hukum sel surya jika suhu berpengaruh pada V dan sedikit pada I .

Percobaan pada rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki hasil yang lebih besar dibanding rangkaian yang tanpa menggunakan MPPT. Terlihat grafik dengan suhu 23 °C memiliki daya sebesar 199,8 W pada rangkaian yang menggunakan MPPT dan 149 W pada rangkaian yang tanpa menggunakan MPPT, dan pada suhu 27 °C mendapatkan nilai 196,8 W pada rangkaian yang menggunakan MPPT dan 145,1 W pada rangkaian yang tanpa MPPT, selanjutnya pada suhu 33 °C memiliki nilai daya 191,7 W pada rangkaian yang menggunakan MPPT dan 139,4 W pada rangkaian yang tanpa menggunakan MPPT

Posisi suhu 23 °C rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase

48,96 V sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 42,28 V dan pada suhu 27 °C rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase 48,6 V sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 41,73 V, pada suhu 33 °C rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase 47,97 V sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 40,9 V.

Posisi suhu 23 °C rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus 4,08 A sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 3,52 A dan pada suhu 27 °C rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus 4,05 A sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 3,47 A, pada suhu 33 °C rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus 3,99 A sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar 3,40 A. Rangkaian yang tanpa menggunakan MPPT tidak handal dalam mengatasi kenaikan beban. Percobaan perubahan suhu dan iradiasi tetap beban 15 Ω dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Percobaan Perubahan Suhu dan Iradiasi Tetap Beban 15 Ω

Berdasarkan Gambar 4.11 menjelaskan percobaan perubahan suhu dan iradiasi tetap beban 15 Ω , percobaan ini terlihat semua rangkaian baik yang menggunakan MPPT ataupun yang tanpa menggunakan MPPT terlihat naik dengan perubahan suhu 33 °C. Masing-masing rangkaian baik yang menggunakan MPPT dan yang tidak menggunakan MPPT memiliki kenaikan I pada perubahan suhu 33 °C dan sedikit perubahan pada V , dengan demikian rangkaian ini sesuai dengan hukum sel surya jika suhu berpengaruh pada V dan sedikit pada I .

Grafik yang menggunakan MPPT lebih besar hasilnya dibandingkan dengan yang tanpa menggunakan MPPT. Grafik yang menggunakan MPPT lebih besar

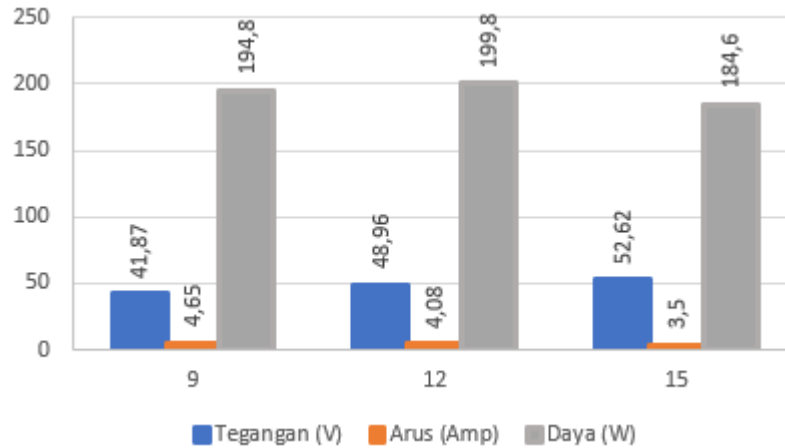
hasilnya dibandingkan dengan yang tanpa menggunakan MPPT sama dengan percobaan yang menggunakan 12Ω . Pada suhu $23 \text{ }^\circ\text{C}$ terdapat hasil daya $123,8 \text{ W}$ pada rangkaian yang tidak menggunakan MPPT, dan $184,6 \text{ W}$ pada rangkaian yang menggunakan MPPT. Posisi suhu $27 \text{ }^\circ\text{C}$ mendapatkan hasil daya $120,6 \text{ W}$ pada rangkaian yang tidak menggunakan MPPT dan $180,1 \text{ W}$ pada rangkaian yang menggunakan MPPT. Suhu $33 \text{ }^\circ\text{C}$ mendapatkan nilai daya $115,18 \text{ W}$ pada rangkaian tidak menggunakan MPPT dan $173,4$ pada rangkaian yang menggunakan MPPT.

Posisi suhu $23 \text{ }^\circ\text{C}$ rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase $52,62 \text{ V}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $43,09 \text{ V}$ dan pada suhu $27 \text{ }^\circ\text{C}$ rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase $51,97 \text{ V}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $42,52 \text{ V}$, pada suhu $33 \text{ }^\circ\text{C}$ rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki voltase $50,99 \text{ V}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $41,67 \text{ V}$.

Suhu $23 \text{ }^\circ\text{C}$ rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus $3,50 \text{ A}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $2,87 \text{ A}$ dan pada suhu $27 \text{ }^\circ\text{C}$ rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus $3,46 \text{ A}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $2,83 \text{ A}$, pada suhu $33 \text{ }^\circ\text{C}$ rangkaian yang menggunakan MPPT memiliki arus $3,4 \text{ A}$ sedangkan yang tanpa menggunakan MPPT sebesar $2,78 \text{ A}$.

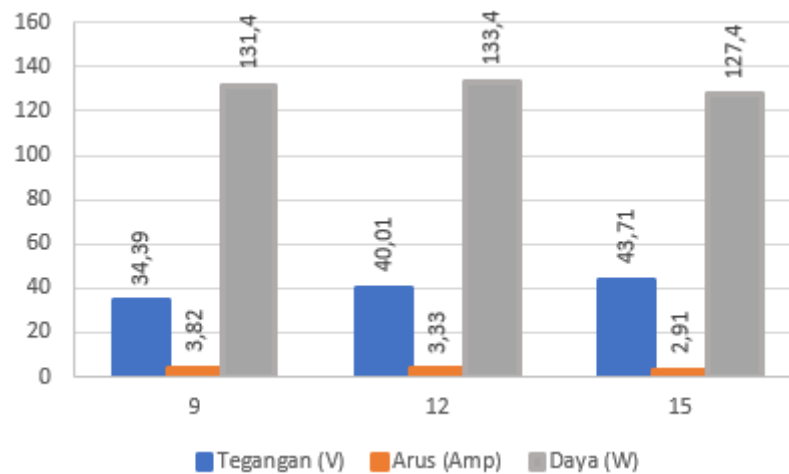
4.5 Pengujian Karakteristik Perubahan Beban Resitif

Pengujian selanjutnya dilakukan untuk mengetahui karakteristik luaran panel surya pada setiap perubahan beban. Data diambil dari *input* data pada iradiasi besar dan suhu kecil, dan juga pada iradiasi kecil dan suhu besar yakni pada saat 1000 W/m^2 dan suhu $23 \text{ }^\circ\text{C}$ dan juga pada saat 700 W/m^2 dan suhu $33 \text{ }^\circ\text{C}$ pada rangkaian *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan beban resitif berpengaruh terhadap keluaran panel surya atau tidak dan juga apakah ketika suhu besar dan iradiasi kecil dan juga sebaliknya berpengaruh pada saat beban resitif berubah. Perubahan beban pada iradiasi 1000 W/m^2 dan suhu $23 \text{ }^\circ\text{C}$ dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Perubahan Beban Pada Iradiasi 1000 W/m^2 dan Suhu $23 \text{ }^\circ\text{C}$

Berdasarkan Gambar 4.12 menjelaskan perubahan beban pada iradiasi 1000 W/m^2 dan suhu $23 \text{ }^\circ\text{C}$, dapat dilihat bahwa perubahan beban pada iradiasi 1000 W/m^2 dan suhu $23 \text{ }^\circ\text{C}$ didapatkan hasil daya yang naik pada beban $12 \text{ } \Omega$ dari $194,8 \text{ W}$ menjadi $199,8 \text{ W}$ dan turun pada beban $15 \text{ } \Omega$ dari $199,8 \text{ W}$ menjadi $184,6 \text{ W}$. Hasil berdasarkan gambar di atas tegangan naik signifikan pada kenaikan beban $9 \text{ } \Omega$, $12 \text{ } \Omega$ dan $15 \text{ } \Omega$ dan juga arus turun secara signifikan pada kenaikan beban $9 \text{ } \Omega$, $12 \text{ } \Omega$ dan $15 \text{ } \Omega$, dengan voltase naik dari $41,87 \text{ V}$ menjadi $48,96 \text{ V}$ dari kenaikan beban $9 \text{ } \Omega$ ke $12 \text{ } \Omega$ dan naik lagi menjadi $52,62 \text{ V}$ pada saat beban naik $15 \text{ } \Omega$. Arus turun dari $4,65 \text{ A}$ menjadi $4,08 \text{ A}$ dari kenaikan beban $9 \text{ } \Omega$ ke 12 dan turun lagi $3,5 \text{ A}$ pada saat beban naik $15 \text{ } \Omega$. Perubahan beban pada iradiasi 700 W/m^2 dan suhu $33 \text{ }^\circ\text{C}$ dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Perubahan Beban Pada Iradiasi 700 W/m^2 dan Suhu $33 \text{ }^\circ\text{C}$.

Berdasarkan Gambar 4.13 menjelaskan perubahan beban pada iradiasi 700 W/m² dan suhu 33 °C, dapat dilihat bahwa perubahan beban pada iradiasi 700 W/m² dan suhu 33 °C didapatkan hasil daya yang naik pada beban 12 Ω dari 131,4 W menjadi 133,4 W dan turun pada beban 15 Ω dari 133,4 W menjadi 127,4 W. Hasil berdasarkan gambar di atas tegangan naik signifikan pada kenaikan beban 9 Ω, 12 Ω dan 15 Ω dan juga arus turun secara signifikan pada kenaikan beban 9 Ω, 12 Ω dan 15 Ω, dengan voltase naik dari 34,39 V menjadi 40,01 V dari kenaikan beban 9 Ω ke 12 Ω dan naik lagi menjadi 43,71 V pada saat beban naik 15 Ω. Arus turun dari 3,82 A menjadi 3,33 A dari kenaikan beban 9 Ω ke 12 dan turun lagi 2,91 A pada saat beban naik 15 Ω. Hasil dari Matlab Simulink dapat dilihat pada lampiran C.

4.6 Presentase Pengujian

Presentase pada pengujian dimasing-masing *input* data pada iradiasi tetap dan suhu berbeda yakni 1000 W/m² dan suhu 23 °C, 27 °C, 30 °C dan pada suhu tetap dan iradiasi berbeda yakni 25 °C dan iradiasi 800 W/m², 900 W/m², 1000 W/m² pada keadaan beban standar 12 Ω. Hasil percobaan ini dibandingkan rangkaian yang menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dan tanpa menggunakan MPPT. Hal ini untuk mengetahui seberapa besar efisiensi pada kedua rangkaian. Presentase MPPT dan tanpa MPPT perubahan iradiasi dapat dilihat pada Gambar 4.3.

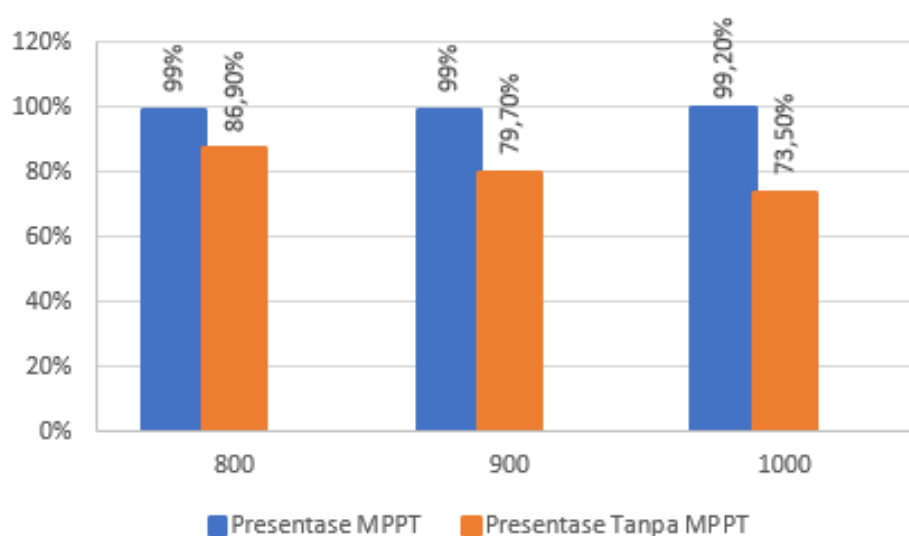
Tabel 4.3 Presentase MPPT dan Tanpa MPPT Perubahan Iradiasi

Irradiasi (W/m ²)	Power (W)		P _{max} PV (W)	Efisiensi (%)	
	MPPT	Tanpa MPPT		MPPT	Tanpa MPPT
800	158,4	139,1	160	99	86,9
900	178,2	143,6	180	99	79,7
1000	198,4	147	200	99,2	73,5
Rata-Rata				99,06	80,03

Berdasarkan tabel 4.3 menjelaskan presentase MPPT dan tanpa MPPT perubahan iradiasi, dapat dilihat efisiensi dari hasil pengujian dimasing-masing iradiasi dan efisiensi rata-rata. Efisiensi pada rangkaian yang menggunakan MPPT lebih tinggi dibanding efisiensi pada rangkaian yang tanpa MPPT. Efisiensi pada

rangkaian MPPT terlihat pada angka 99 % pada iradiasi 800 W/m², 99 % pada iradiasi 900 W/m² dan 99,2 % pada iradiasi 1000 W/m². Efisiensi pada rangkaian tanpa MPPT berada pada *range* 86,9 % pada iradiasi 800 W/m², 73,5 % pada iradiasi 900 % dan 80,3 % pada iradiasi 1000 W/m².

Rata-rata efisiensi pada rangkaian MPPT pada *range* 99,06 %, sedangkan tanpa MPPT pada *range* 80,03 %. Perbedaan dari keduanya sekitar 18,86 % lebih unggul MPPT dibanding tanpa MPPT, hal ini menunjukkan sudah tercapainya rangkaian MPPT ABC. Presentase pengujian perubahan iradiasi dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Presentase Pengujian Perubahan Iradiasi

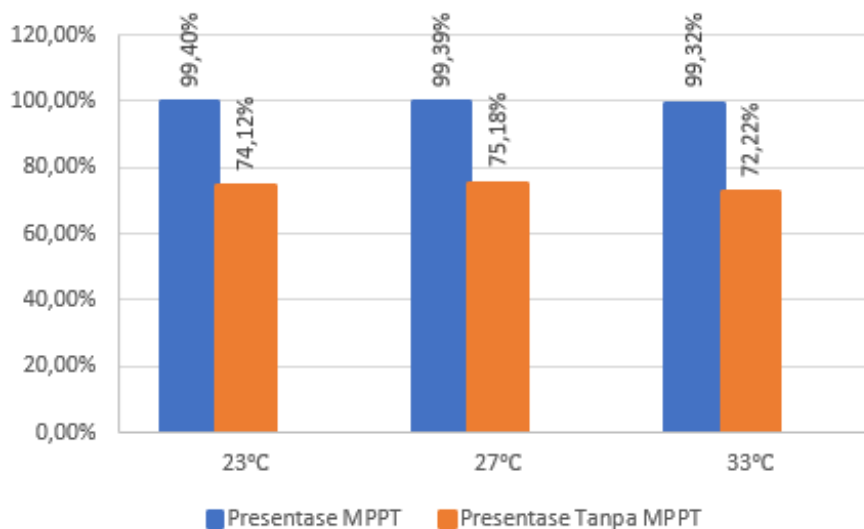
Berdasarkan Gambar 4.14 menjelaskan presentase pengujian perubahan iradiasi, hasil kedua presentasi di atas dapat dilihat bahwa persentasi pengujian dengan rangkaian MPPT lebih unggul dibanding dengan rangkaian yang tanpa MPPT. Hal ini menunjukkan algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) dan rangkaian pemodelan *converter* tipe cuk dalam pengujian ini telah berjalan dengan baik. Hal-hal yang kurang dalam pengubahan beban resistif pada *output* daya dikarenakan rangkaian ini menggunakan *setting* beban resistif pada *range* 12 Ω.

Presentase pada pengujian selanjutnya yaitu pada *input* data nilai suhu yang berubah dari 23 °C, 27 °C sampai 30 °C dan iradiasi tetap yaitu 1000 W/m² pada keadaan beban standar yaitu 12 Ω. Presentase MPPT dan tanpa MPPT perubahan suhu dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Tabel 4.4 Presentase MPPT dan Tanpa MPPT Perubahan Suhu

Suhu (°C)	Power (W)		P _{max} PV (W)	Efisiensi (%)	
	MPPT	Tanpa MPPT		MPPT	Tanpa MPPT
23	199,8	149	201	99,4	74,12
27	196,8	145,1	198	99,39	75,18
33	191,7	139,4	193	99,32	72,22
Rata-Rata				99,37	73,84

Berdasarkan tabel 4.4 menjelaskan presentase MPPT dan tanpa MPPT perubahan suhu, dapat dilihat efisiensi dari hasil pengujian dimasing-masing suhu dan efisiensi rata-rata. Efisiensi pada rangkaian yang menggunakan MPPT lebih tinggi dibanding efisiensi pada rangkaian yang tanpa MPPT. Efisiensi pada rangkaian MPPT terlihat pada angka 99,4 % pada suhu 23 °C, 99,39 % pada suhu 27 °C dan 99,32 % pada suhu 33 °C. Efisiensi pada rangkaian tanpa MPPT berada pad *range* 74,2 % pada suhu 23 °C, 75,18 % pada suhu 27 °C dan 72,22 % pada suhu 33 °C. Rata-rata efisiensi pada rangkaian MPPT pada *range* 99,37 % sedangkan tanpa MPPT 73,84 %. Presentase pengujian perubahan suhu dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Presentase Pengujian Perubahan Suhu

Berdasarkan Gambar 4.15 menjelaskan presentase pengujian perubahan suhu, hasil kedua presentasi di atas dapat dilihat bahwa persentasi pengujian dengan rangkaian MPPT lebih unggul dibanding dengan rangkaian yang tanpa MPPT. Hal ini menunjukkan algoritma ABC dan rangkaian pemodelan *converter* tipe cuk dalam pengujian ini telah berjalan dengan baik.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah dibahas pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Optimasi panel surya menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) berbasis *Artificial Bee Colony* (ABC) berdasarkan hasil pengujian menunjukkan adanya kenaikan daya *ouput* panel surya dibanding dengan panel surya tanpa MPPT. MPPT ABC menggunakan cuk *converter* dapat memaksimalkan daya maksimum panel surya dengan melacak titik maksimum daya panel surya pada setiap perubahan suhu dan perubahan iradiasi.
2. Perbedaan daya *output* berdasarkan hasil pengujian didapatkan hasil selisih daya yang dihasilkan antara panel surya menggunakan MPPT dan tanpa MPPT menggunakan resistansi 9 Ω , 12 Ω dan 15 Ω pada perubahan iradiasi dengan suhu tetap rata-rata adalah 35,1 W, pada perubahan suhu dengan iradiasi tetap rata-rata adalah 25,53 W.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah penambahan algoritma untuk mengontrol tegangan keluaran agar tetap stabil pada 48 V sesuai dengan tegangan baterai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kebede, A. B., dan G. B. Worku, "Comprehensive Review and Performance Evaluation of Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic System", *Global Energy Interconnection*, vol. 3, no. 4, pp. 398–412, 2020.
- [2] Esham, T., dan P. L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 22, no. 2, pp. 439–449, 2007, doi: 10.1109/TEC.2006.874230.
- [3] Cheikh, M. S. A., C. Larbes, G. F. T. Kebir, dan A. Zerguerras, "Maximum Power Point Tracking Using a Fuzzy Logic Control Scheme", *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 10, no. 3, pp. 387–395, 2007.
- [4] Boukenoui, R., M. Ghanes, J. P. Barbot, R. Bradai, A. Mellit, dan H. Salhi, "Experimental Assessment of Maximum Power Point Tracking Methods for Photovoltaic Systems", *Energy*, 2017, doi:10.1066/j.energy.2017.05.087.
- [5] Yuliananda, S., G. Sarya, dan R. A. R. Hastijanti, "Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya", *Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya*, vol. 01, no. 02, pp. 193–202, 2015.
- [6] Salmi, H., A. Badri, dan M. Zegrari, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Using Artificial Bee Colony Based Algorithm for Photovoltaic System", *International Journal of Intelligent Information Systems*, vol. 5, no. 1, pp. 1–4, 2016.
- [7] Hakim, E. A., T. A. Ghufuran, dan M. Effendy, N. Setyawan, "MPPT Menggunakan Algoritme Particle Swarm Optimization dan Artificial Bee Colony", *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 9, no. 2, pp. 218–224, 2020.
- [8] Widiharsa, F. A., "Karakteristik Panel Surya Dengan Variasi Intensitas Radiasi dan Temperatur Permukaan Panel", *TRANSMISI*, vol. 4, pp. 233–242, 2006. [9] Kazim, H. A. M., I. A. Qader, dan A. M. Harb, "Efficient Maximum Power Point Tracking Based on Reweighted Zero-Attracting Variable Stepsize for Grid Interfaced Photovoltaic Systems", *Computers and Electrical Engineering*, vol. 85, p. 106672, 2020.
- [10] Adaryani, M. R., dan A. Karami, "Artificial Bee Colony Algorithm for Solving Multi-Objective Optimal Power Flow Problem", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 53, pp. 219–230, 2013.
- [11] Castano, C. G., C. Restrepo, S. Kouro, dan J. Rodríguez, "MPPT Algorithm Based on Artificial Bee Colony for PV System", *IEEE Access*, vol. 9, pp. 43121–43133, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3066281.
- [12] Benyoucef, A. S., A. Chouder, K. Kara, S. Silvestre, dan O. A. Sahed, "Artificial Bee Colony Based Algorithm for Maximum Power Point Tracking (MPPT) for PV Systems Operating Subject to in Homogeneous Insolation by Using Direct Control", *APPLIED SOFT COMPUTING*, vol. 32, 2015, doi:10.1016/j.asoc.2015.03.047.
- [13] Dewi, R., "Efek Duty Cycle Pwm Pada Pengendalian Kecepatan Motor

- BLDC 3 Phasa", *Journal of Electrical Power Control and Automation*, vol. 1, no. 1, p. 14, 2018, doi: 10.33087/jepca.v1i1.4.
- [14] Darwish, A., D. Holliday, S. Ahmed, A. M. Massoud, dan B. W. Williams, "A Single-Stage Three-Phase Inverter Based on Cuk Converters for PV Applications", *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 2013, doi:10.1109/JESTPE.2014.2313185.
- [15] Gozali, M. S., "Perbandingan Konverter CUK Dan SEPIC Untuk Pelacakan Titik Daya Maksimum Berbasis Panel Surya", *Batam Polytechnics Electrical Engineering Study Program*, 2018.
- [16] Suryana, D., dan M. M. Ali, "Pengaruh Temperatur/Suhu Terhadap Tegangan Yang Dihasilkan Panel Surya Jenis Monokristalin (Studi Kasus: Baristand Industri Surabaya)", *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, vol. 2, no. 1, pp. 49–52, 2016.
- [17] Ashraf, M., "A Maximum Power-Point Tracking Multiple-Input Thermal Energy Harvesting Module", *AEUE - International Journal of Electronics and Communications*, p. 153231, 2020.
- [18] Wibisono, G., S. H. Pramono dan M. A. Muslim, "MPPT Menggunakan Metode Hibrid JST Dan Algoritma Genetika Untuk Sistem Photovoltaik", *Jurnal EECCIS*, vol. 8, no. 2, 2014.
- [19] Joshi, P. dan S. Arora, "Maximum Power Point Tracking Methodologies for Solar PV Systems – A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016.
- [20] Fanani, M. R., I. Sudiharto, dan I. Ferdiansyah, "Implementation of Maximum Power Point Tracking on PV System Using Artificial Bee Colony Algorithm", *Proceeding of International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems*, 2020.
- [21] Goud, J. S., K. R., B. Singh, S. Kumar, "Maximum Power Point Tracking Technique Using Artificial Bee Colony and Hill Climbing Algorithms during Mismatch Insolation Conditions on PV Array", *IET The Institution of Engineering and Technology*, 2018, doi:10.1049/iet-rpg.2018.5116.
- [22] Hart, D. W., "Commonly used Power and Converter Equations", *Pearson Education*, New York, 2010.
- [23] Ramasamy, S., dan T. Subbaiya, "An Efficient Modified CUK Converter with Fuzzy Based Maximum Power Point Tracking Controller for PV System", *International Journal of Simulation: System, Science and Technology*, 2012 doi: 10.5013/IJSSST.a.13.01.10.
- [24] Padmanaban S., N. Priyadarshi, M. S. Bhaskar, J. B. H. Nielsen, V. K. Ramachandaramurthy, E. Hossain, "A Hybrid ANFIS-ABC Based MPPT Controller for PV System with Anti-Islanding Grid Protection: Experimental Realization", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 103377–103389, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2931547.

LAMPIRAN

A. Perhitungan Komponen Rangkaian Cuk Konvertreer

$$L_{1min} = \frac{V_s^2 \times V_0}{\lambda \times P \times f \times (V_0 + V_s)}$$

$$L_{1min} = \frac{37,39^2 \times 48}{0.1 \times 200 \times 10000 \times (48 + 37,39)} = \frac{67.104,58}{17.078.000}$$

$$L_{1min} = 0.00393 \text{ H}$$

$$L_{2min} = \frac{V_s \times V_0^2}{\lambda \times P \times f \times (V_0 + V_s)}$$

$$L_{2min} = \frac{37,39 \times 48^2}{0.11 \times 200 \times 10000 \times (48 + 37,39)} = \frac{86.146,56}{18.785.800}$$

$$L_{2min} = 0.00458 \text{ H}$$

$$C_{1min} = \frac{P}{\lambda \times f \times (V_0 + V_s)^2}$$

$$C_{1min} = \frac{200}{0.01 \times 10000 \times (48 + 37,39)^2} = \frac{200}{729.145,21}$$

$$C_{1min} = 0.000274 \text{ F}$$

$$C_{2min} = \frac{P}{2 \pi \times f \times \lambda \times V_0^2}$$

$$C_{2min} = \frac{200}{2 \pi \times 10000 \times 0.01 \times 37,39^2} = \frac{200}{878.396,9}$$

$$C_{2min} = 0.000227 \text{ F}$$

B. *Script Algoritma Artificial Bee Colony*

```
function [d_best, duty, step] = ABC(V, I, n_bee)
%
persistent step0 colony_d0 colony_p0 p_best0 C0 d_best0 fit_p0 iteration0

%
if isempty(step0)
    step0 = 0;

    %
    colony_d0 = zeros(1, n_bee);
    colony_p0 = zeros(1, n_bee);
    p_best0 = 0;
    d_best0 = 0;

    %
    C0 = zeros(n_bee, 1);
    fit_p0 = zeros(1, n_bee);

    %
    iteration0 = 0;
end

%
step = step0 + 1; % step
colony_d = colony_d0; % n_bee (duty_cycle)
colony_p = colony_p0; % n_power (max. power)

%
C = C0; %
p_best = p_best0; % best max. power
d_best = d_best0; % best bee (duty cycle)
fit_p = fit_p0; %

%
duty = 0; % duty cycle
d_min = 0.4; % min. duty
d_max = 0.6; % max. duty

%
n_cycle = 10;
n_iteration = 1;

%
K_all = 1:n_bee;

%
iteration = iteration0;
```



```

% Initialization
for bee = 1:n_bee
    if step == bee
        colony_d(step) = d_min + (d_max - d_min) * rand;
        duty = colony_d(step);

        colony_p(step) = V * I;

        if colony_p(step) > p_best
            d_best = colony_d(step);
            p_best = colony_p(step);
        end
    end
end

% Employee Bee
for bee = 1:n_bee
    if step == (bee + n_bee)
        K = setdiff(K_all, bee);
        k = K(randi([1, numel(K)]));
        phi = unifrnd(-0.01, 0.01);

        %
        duty = colony_d(bee) + (colony_d(bee) - colony_d(k)) * phi;
        power = V * I;

        %
        if power >= colony_p(bee)
            colony_d(bee) = duty;
            d_best = colony_d(bee);
            colony_p(bee) = power;
        else
            C(bee) = C(bee)+1;
        end
    end
end

%
if step == (n_bee * 2)
    for i = 1:n_bee
        fit_p(i) = colony_p(i) / sum(colony_p);
    end
end

% Onlooker bees
for bee = 1:n_bee
    if step == ((n_bee * 2) + bee)

```

```

% roulette wheel
cum_p = cumsum(fit_p);
idx = find(rand <= cum_p, 1, 'first');
K = [1:(idx - 1), (idx + 1):3];
k = K(randi([1, numel(K)]));
phi = unifrnd(-0.01, 0.01);

%
duty = colony_d(bee) + (colony_d(bee) - colony_d(k)) * phi;
power = V * I;

%
if power >= colony_p(bee)
    colony_d(bee) = duty;
    colony_p(bee) = power;
else
    C(bee) = C(bee)+1;
end
end
end

% Scout bees
for bee = 1:n_bee
    if step == ((n_bee * 3) + bee)
        if C(bee) > n_cycle
            colony_d(bee) = d_min + (d_max - d_min) * rand;
            duty = colony_d(bee);

            colony_p(bee) = V * I;
            C(bee) = 0;

            %
            if colony_p(bee) > p_best
                d_best = colony_d(bee);
                p_best = colony_p(bee);
            end
        end
    end
end

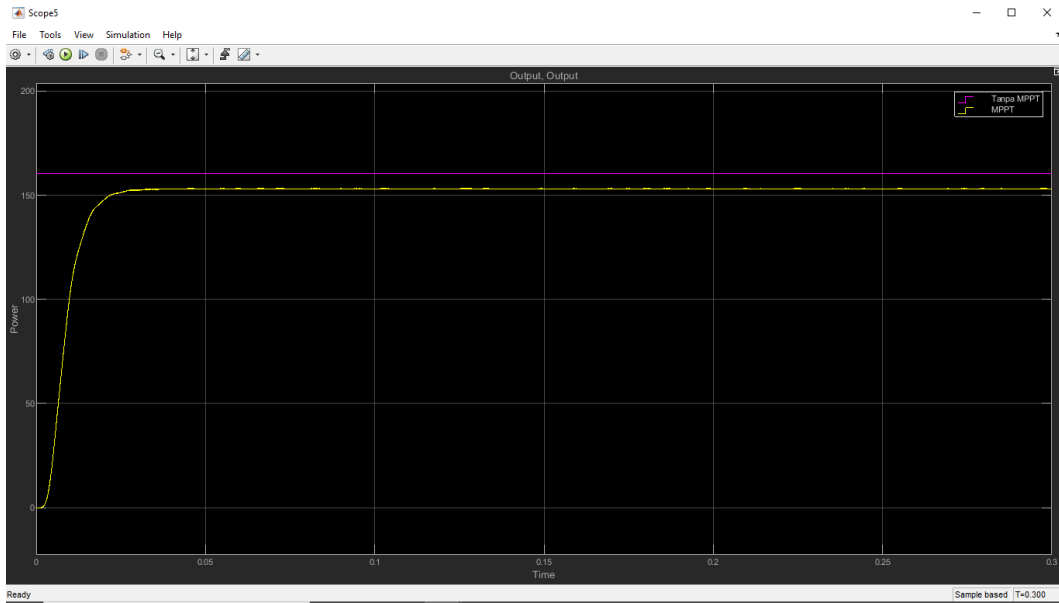
if step == (n_bee * 4)
    step = n_bee;
    iteration = iteration;

    if iteration >= n_iteration
        step = 1;
    end
end
end
end

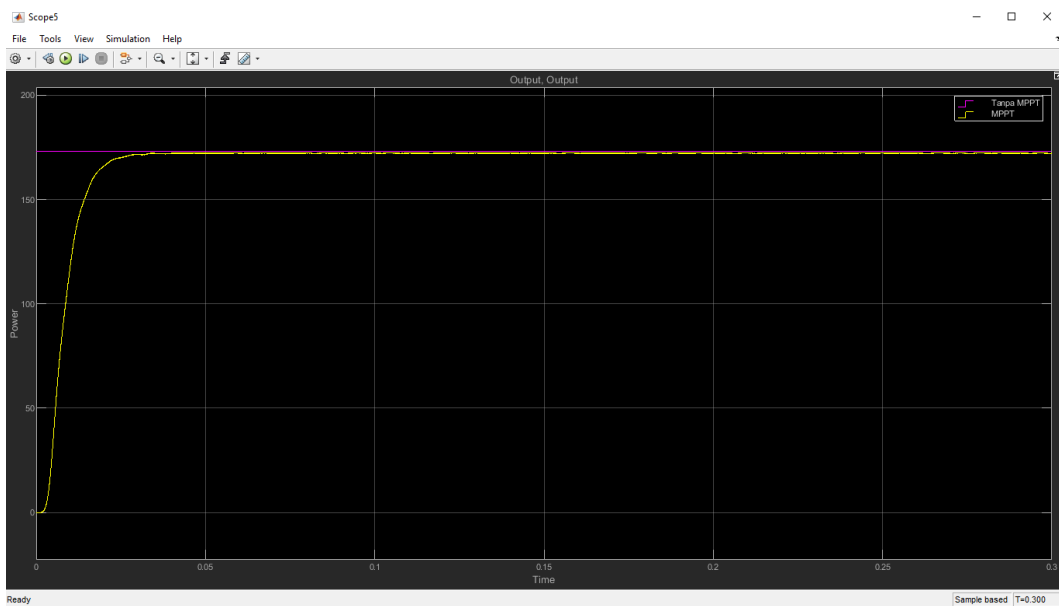
```

```
%  
iteration0 = iteration;  
C0 = C;  
colony_d0 = colony_d;  
colony_p0 = colony_p;  
fit_p0 = fit_p;  
d_best0 = d_best;  
p_best0 = p_best;  
step0 = step;  
end
```

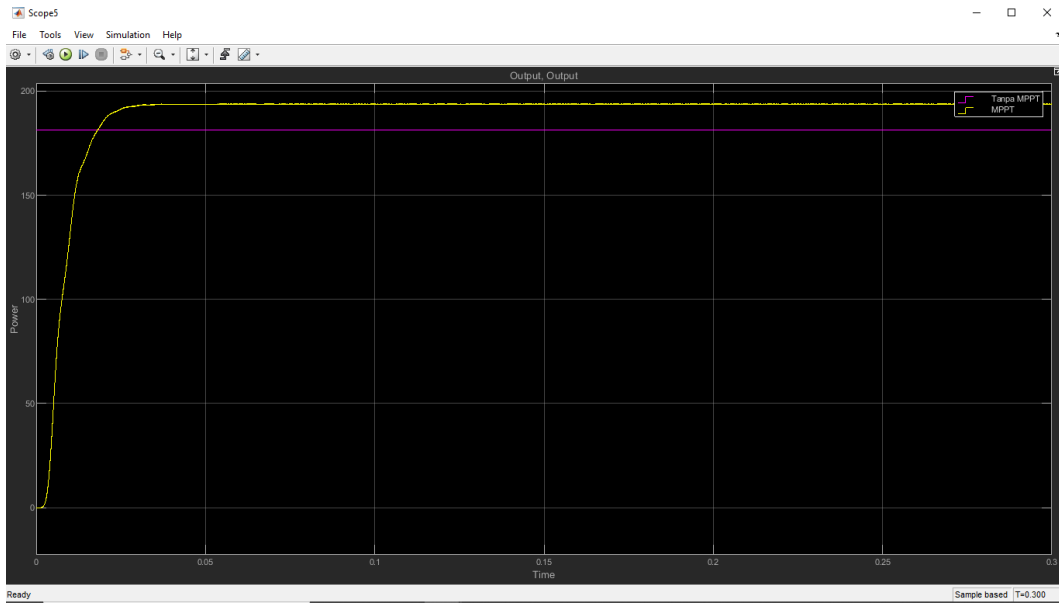
C. Hasil Pengujian



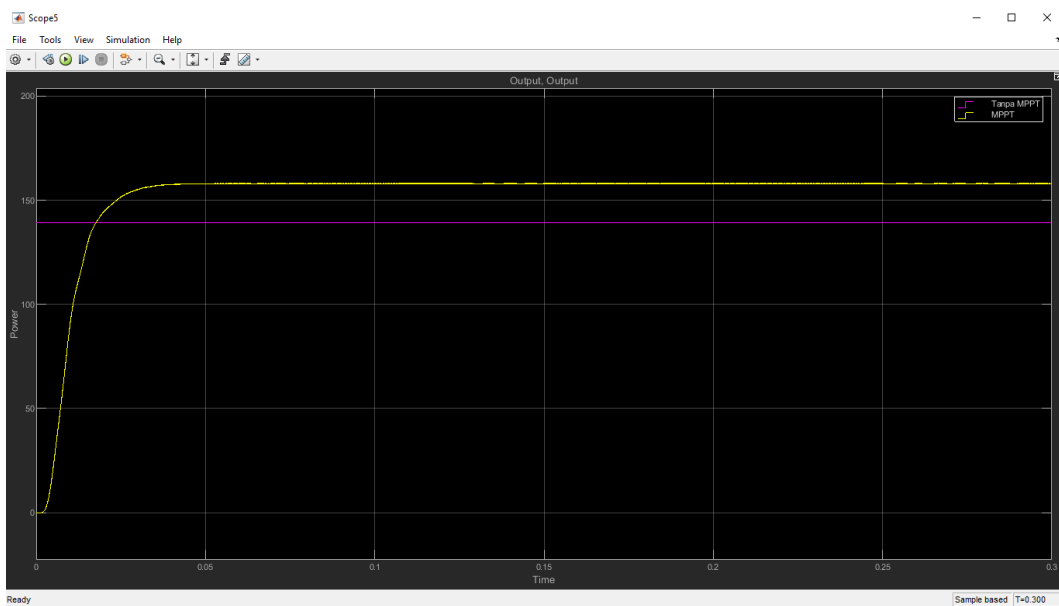
Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 800 W/m^2 Suhu 25°C Pada $R=9 \Omega$.



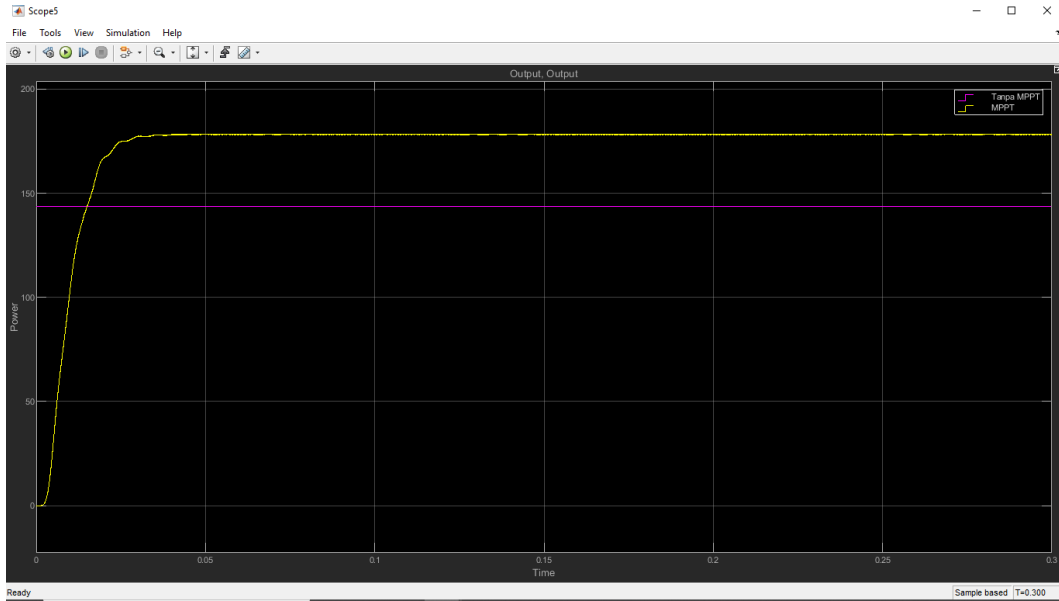
Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 900 W/m^2 Suhu 25°C Pada $R=9 \Omega$



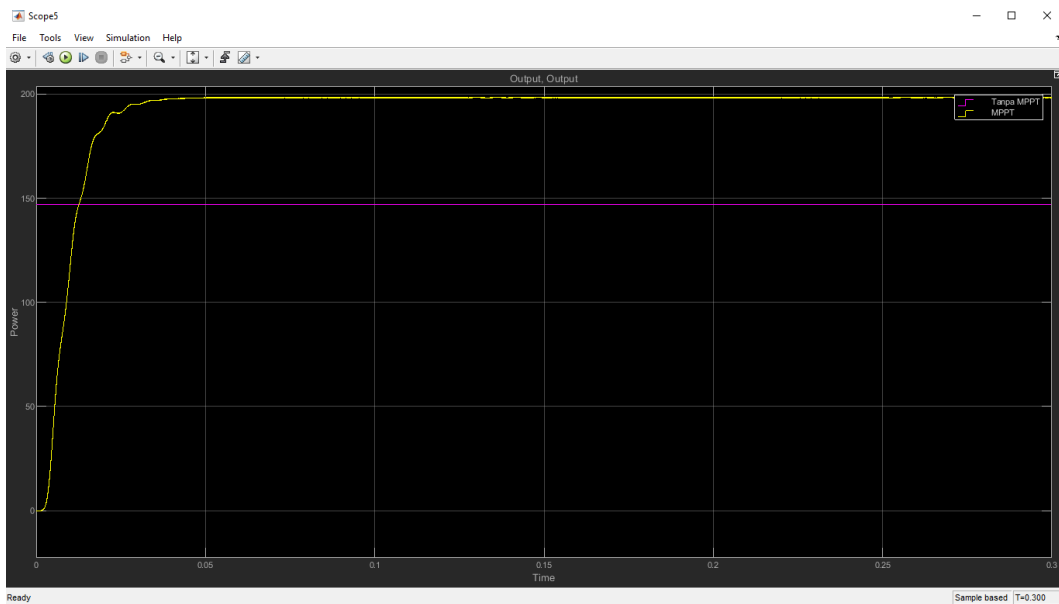
Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 1000 W/m^2 Suhu 25°C Pada $R=9 \Omega$



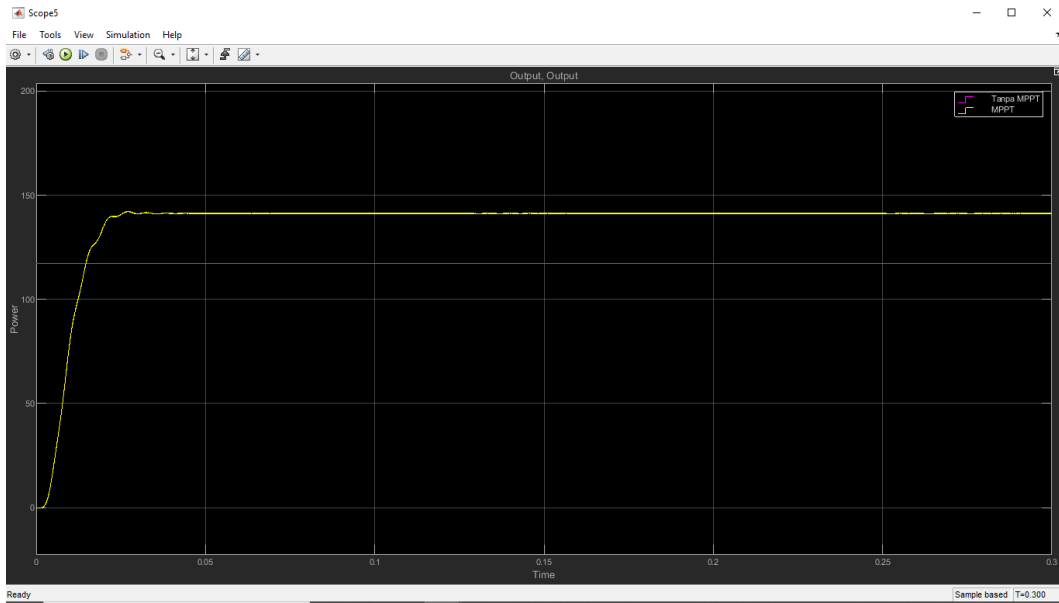
Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 800 W/m^2 Suhu 25°C Pada $R=12 \Omega$



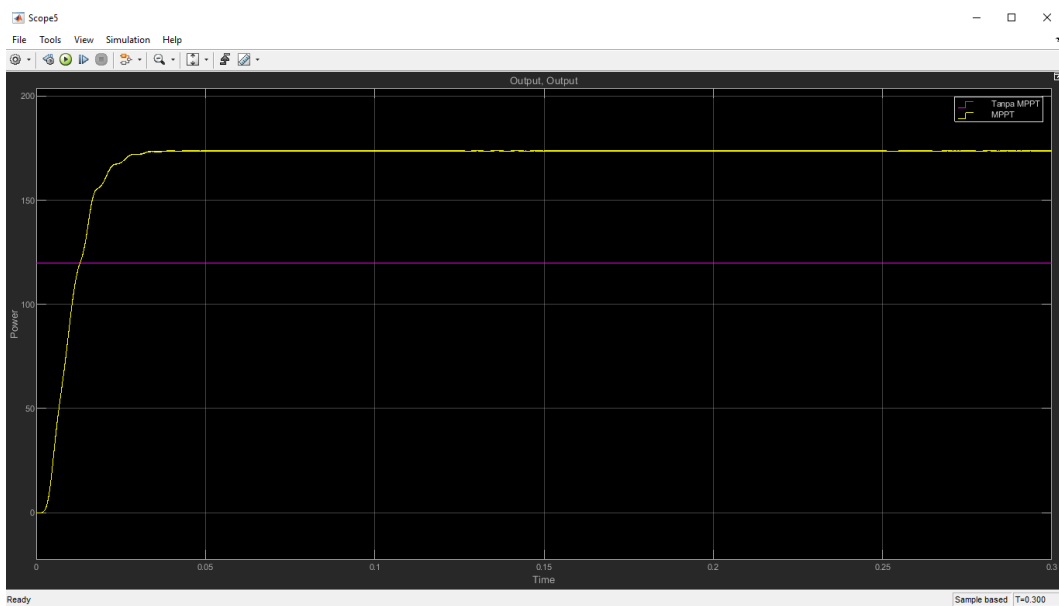
Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 900 W/m^2 Suhu 25°C Pada $R=12 \Omega$



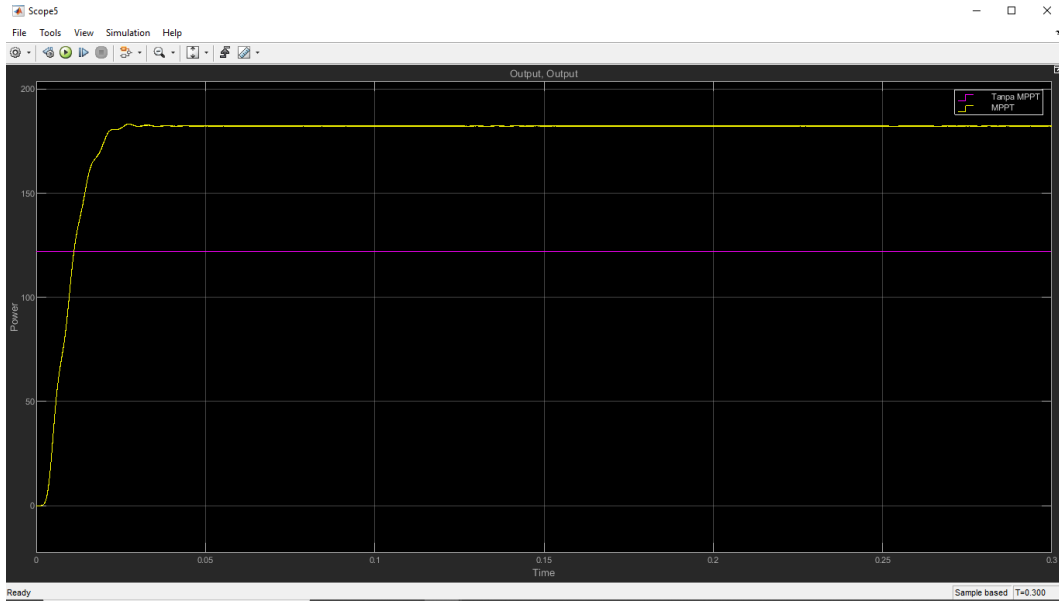
Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 1000 W/m^2 Suhu 25°C Pada $R=12 \Omega$



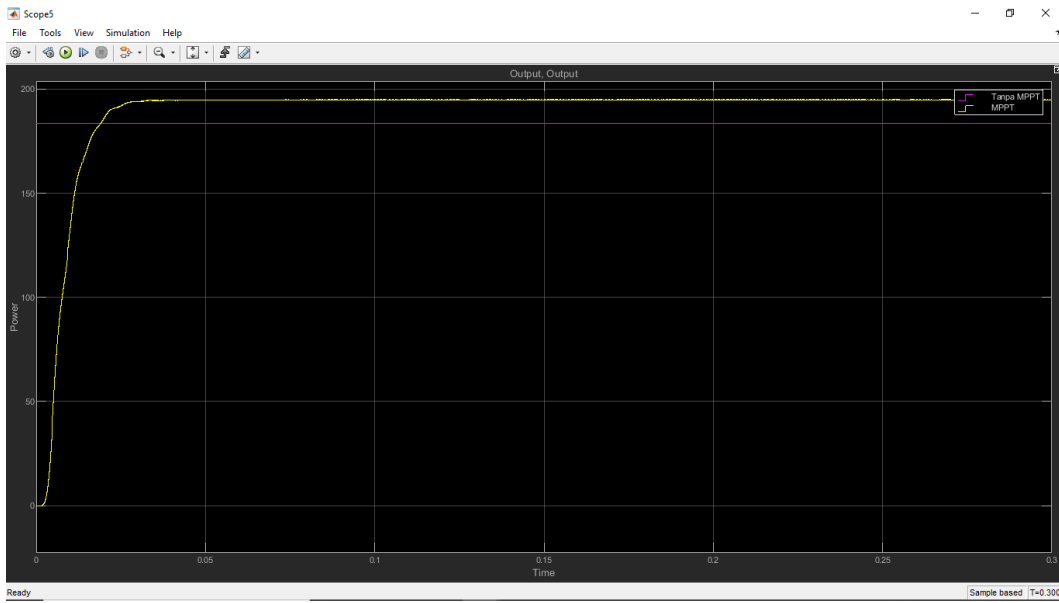
Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 800W/m^2 Suhu 25°C Pada $R=15\ \Omega$



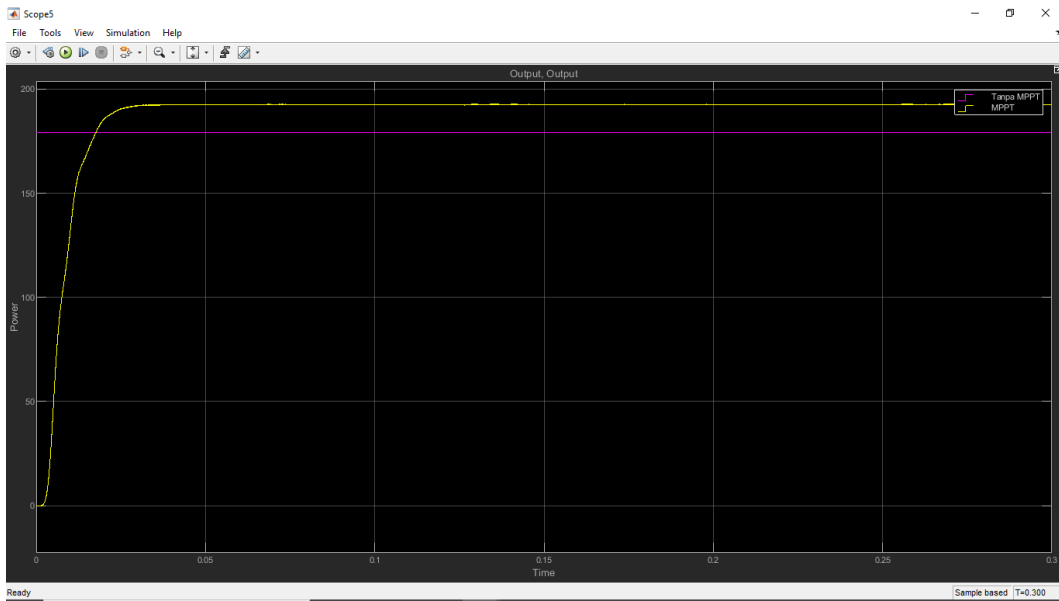
Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 900W/m^2 Suhu 25°C Pada $R=15\ \Omega$



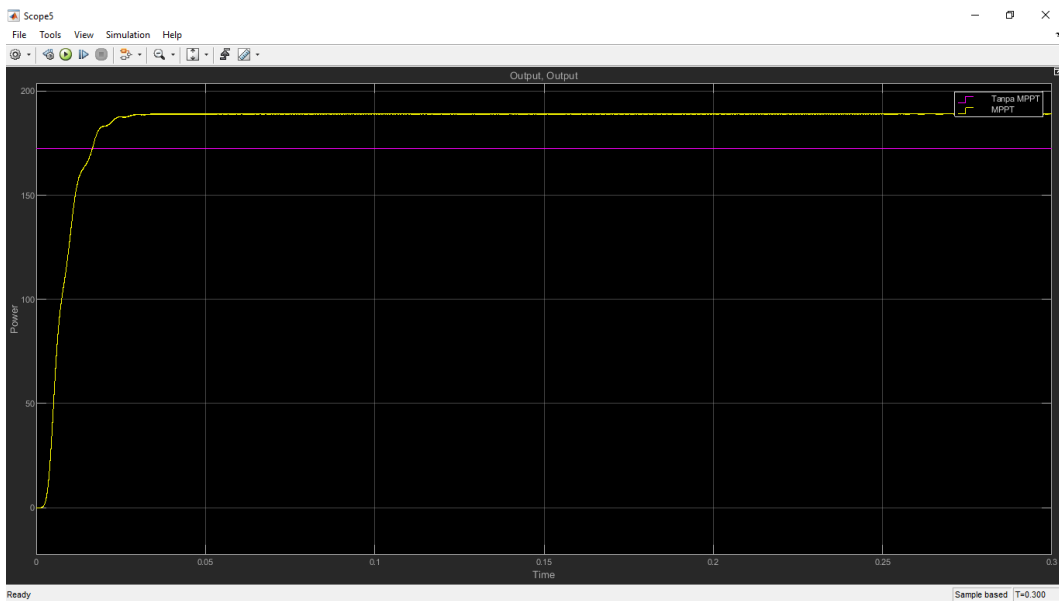
Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 1000W/m^2 Suhu 25°C Pada $R=15\ \Omega$



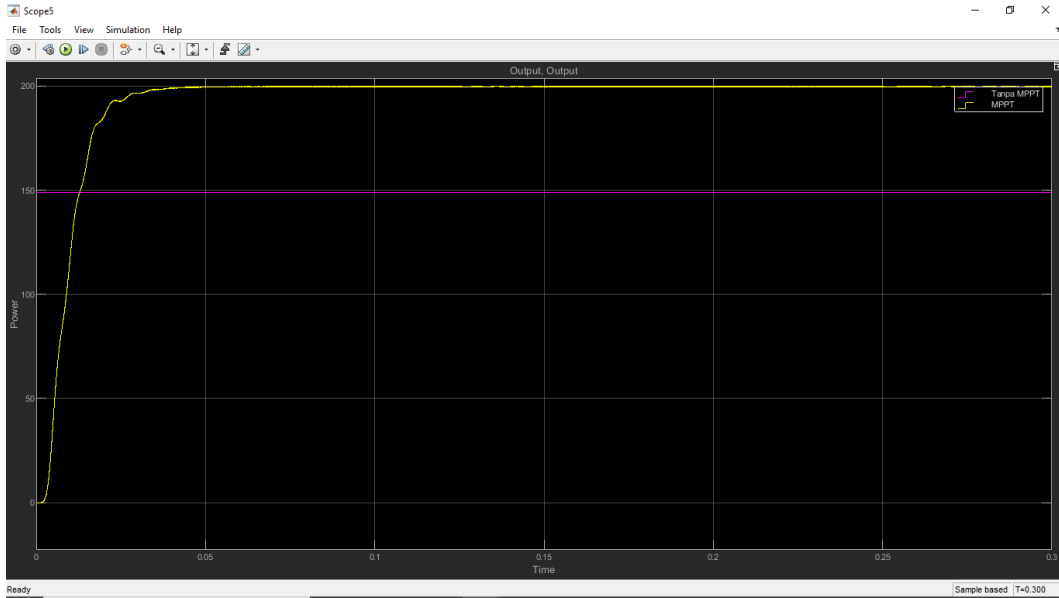
Gambar Hasil Pengujian Iradiasi $1000\ \text{W/m}^2$ Suhu 23°C Pada $R=9\ \Omega$



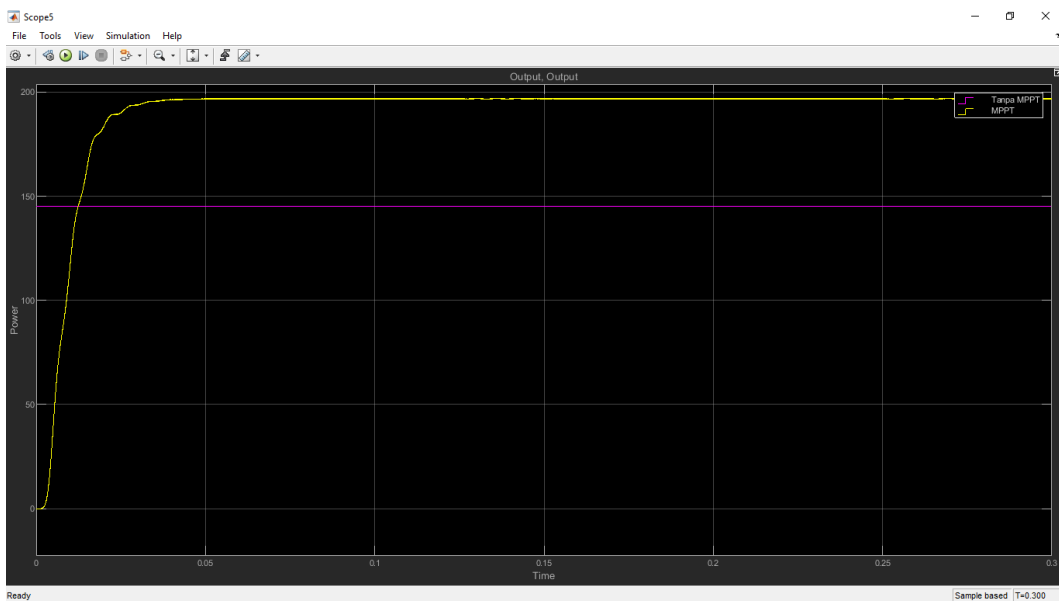
Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 1000 W/m^2 Suhu 27°C Pada $R=9 \Omega$



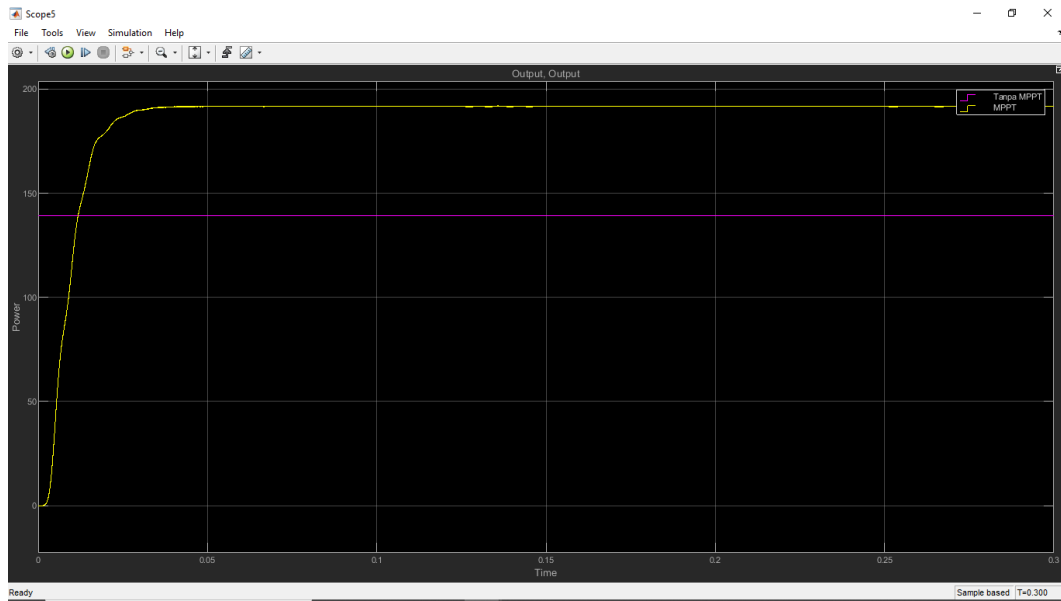
Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 1000 W/m^2 Suhu 33°C Pada $R=9 \Omega$



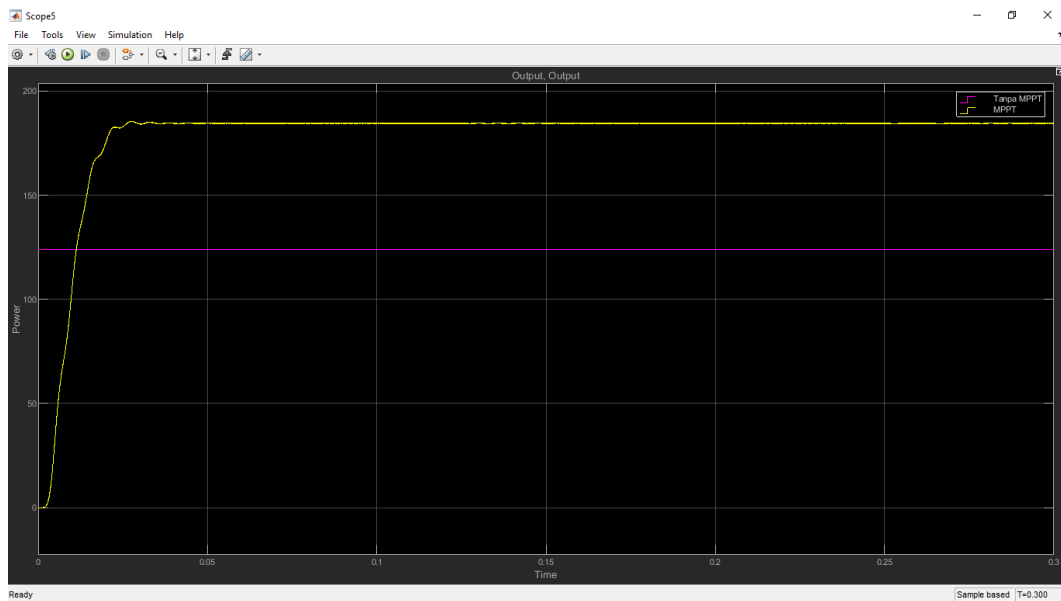
Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 1000 W/m² Suhu 23°C Pada R=12 Ω



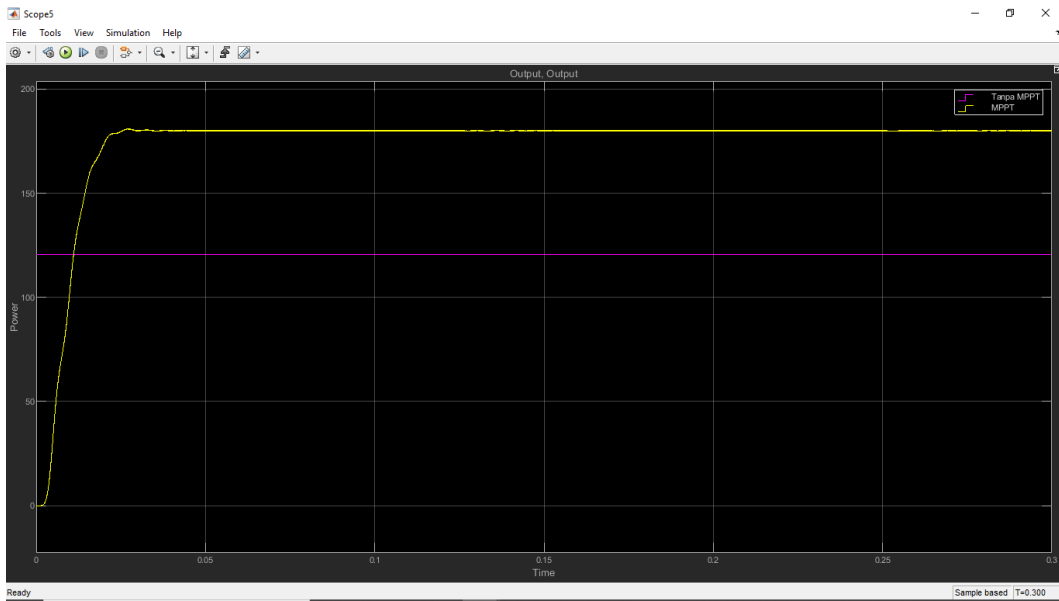
Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 1000 W/m² Suhu 27°C Pada R=12 Ω



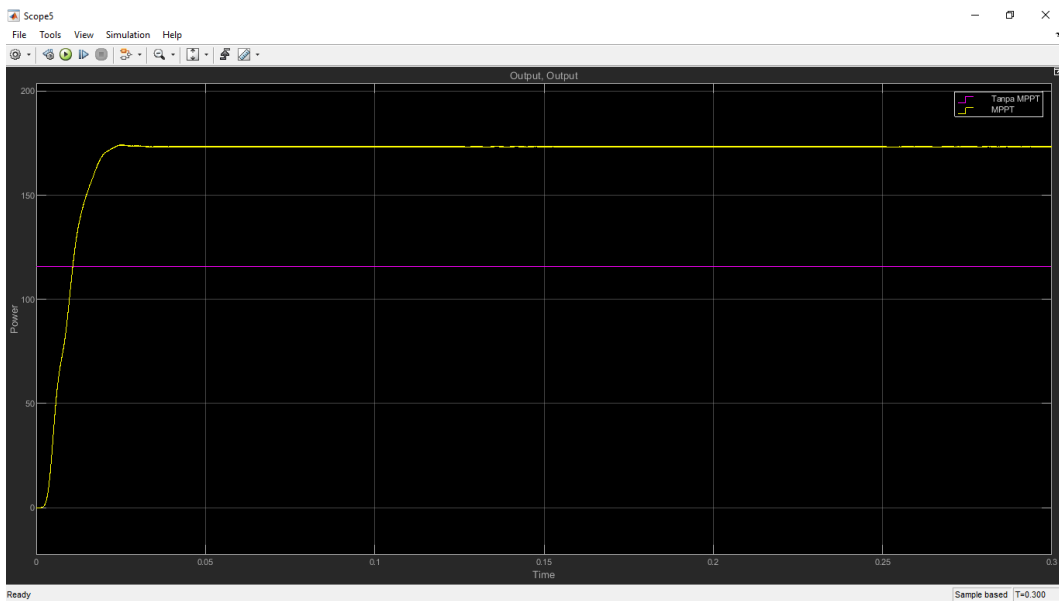
Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 1000 W/m^2 Suhu 33°C Pada $R=12 \Omega$



Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 1000 W/m^2 Suhu 23°C Pada $R=15 \Omega$



Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 1000 W/m^2 Suhu 27°C Pada $R= 15 \Omega$



Gambar Hasil Pengujian Iradiasi 1000 W/m^2 Suhu 33°C Pada $R= 15 \Omega$