

**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.

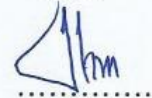
Dewan Penguji

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.

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.