

PELACAKAN DAYA MAKSIMUM PHOTOVOLTAIC DALAM KEADAAN TRANSISI BERBAYANG MENGGUNAKAN ALGORITMA MPPT QUEEN HONEY BEE MIGRATION (QHBM)

Erry Asnarindra, Muhammad Jazuli Shubhi, Langlang Gumilar, Muhammad Afnan Habibi dan Aripriharta^{*)}

Departement of Electrical Engineering and Informatics, Universitas Negeri Malang, Jalan Semarang 5 Malang 65145, Indonesia

^{*)} Penulis korespondensi, E-mail: aripriharta.ft@um.ac.id

Abstrak

Dalam sistem fotovoltaik, diperlukan teknik untuk memaksimalkan daya listrik output. Salah satu teknik yang digunakan adalah metode Maximum Power Point Tracking (MPPT) yang menemukan titik koordinat daya maksimum (MPP) pada kurva PV. Namun, ada masalah baru dalam MPPT terkait dengan bayangan parsial pada permukaan PV yang tidak merata iradiasinya. Masalah ini dapat mengubah posisi MPP pada kurva PV dan mengganggu kestabilan pencarian MPP selama periode transisi bayangan. Sebuah paper memperkenalkan metode heuristik baru yang disebut Queen Honeybee Migration Algorithm (QHBM) untuk mengatasi masalah ini. Metode ini meniru proses migrasi lebah madu Riau dalam mencari tempat terbaik untuk membangun sarang baru dengan menggunakan tegangan dan arus output panel surya sebagai inisialisasi posisi Queen dan Scouts. Bobot Scout disesuaikan dengan konstanta yang berubah sesuai posisinya dari MPP yang baru. Queen menentukan arah migrasi dengan memilih Scout dengan bobot terendah dan bermigrasi perlahan ke titik MPP sampai beberapa iterasi, kemudian menetap dan membangun sarang di MPP. Simulasi menunjukkan bahwa QHBM memiliki kecepatan komputasi yang cepat dan kestabilan yang baik dalam mencapai konvergensi, serta mampu melacak daya maksimal dalam kondisi iradiasi tertinggi, dibandingkan dengan metode heuristik lain seperti Particle Swarm Optimization (PSO), Perturb and Observe (P&O), Genetic Algorithm (GA).

Kata kunci: panel surya, Titik Koordinat Daya Maksimum (MPPT), bayangan parsial

Abstract

In photovoltaic systems, a technique is needed to maximize the electrical power output. One of the techniques used is the Maximum Power Point Tracking (MPPT) method which finds the maximum power point (MPP) coordinates on the PV curve. However, there is a new problem in MPPT related to partial shading on unevenly irradiated PV surfaces. This problem can change the MPP position on the PV curve and disturb the stability of MPP search during the shading transition period. A paper introduces a new heuristic method called Queen Honeybee Migration Algorithm (QHBM) to solve this problem. The method mimics the migration process of Riau honeybees in finding the best place to build a new hive by using voltage and current output of solar panels as initialization of Queen and Scouts positions. Scout weight is adjusted with a constant that varies according to its position from the new MPP. The Queen determines the migration direction by selecting the Scout with the lowest weight and migrates slowly to the MPP point until several iterations, then settles and builds a hive at the MPP. Simulation shows that QHBM has fast computational speed and good stability in achieving convergence, and is able to track maximum power in the highest irradiation conditions, compared to other heuristic methods such as Particle Swarm Optimization (PSO), Perturb and Observe (P&O), and Genetic Algorithm (GA).

Keywords: solar photovoltaic, maximum power point tracking (MPPT), partial shading

1. Pendahuluan

Penggunaan energi fosil sebagai bahan utama untuk menghasilkan energi listrik berdampak akan menipisnya bahan bakar. Atas hal tersebut maka diperlukan adanya diversifikasi energi dan meningkatkan penyediaan EBT sebagai salah satu cara untuk penyediaan energi.

Disersifikasi dilakukan untuk mencari energi alternatif baru untuk menggantikan energi fosil. Seperti halnya Panel Surya merupakan salah satu EBT yang terus dikembangkan dan menjadi perhatian yang serius karena memiliki penyaluran daya listrik dengan efisiensi tinggi, kehandalan tinggi, dan kualitas daya yang baik [1].

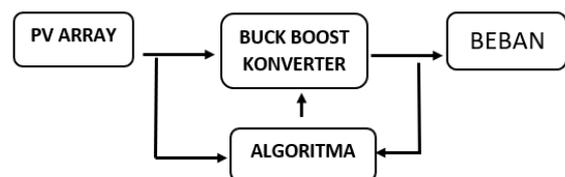
PV dapat digunakan sebagai sumber listrik di tempat tinggal yang terintegrasi atau tanpa terintegrasi dengan sumber listrik utama. Selain banyak kelebihan yang dimiliki, PV memiliki keterbatasan berupa efisiensi konversi sekitar 8-25% yang tergolong rendah [2]. Adapun letak pemasangan PV yang kebanyakan berada pada atap bangunan yang umumnya di lingkungan perkotaan sangat memungkinkan PV akan mudah terkena bayangan [3]. Perubahan lingkungan dan alam yang cepat seperti terkena awan, daun, dan benda lain yang menyebabkan keadaan berbayang menyebabkan kerugian yang signifikan pada kinerja PV [4]. Dikarenakan kejadian berbayang tersebut menimbulkan penurunan tegangan terbuka pada panel (Voc) sehingga daya yang dihasilkan lebih kecil dan mengurangi efisiensi PV yang menyebabkan kerugian secara signifikan pada kinerja PV. Panel surya memiliki beragam jenis dengan kelebihan yang berbeda-beda. Dalam hal bahan bakunya, sel surya umumnya mengandalkan penggunaan silikon dan berbagai jenis bahan semikonduktor [15]. Selain keadaan berbayang, jika permukaan panel surya mengalami pertambahan suhu yang besar, maka akan mengurangi efektifitas panel dan menurunkan daya yang dihasilkan sehingga hasilnya kurang maksimal. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan Teknik pelacakan titik daya maksimum (MPPT), yang bertujuan mengatur PV untuk selalu memperoleh titik daya maksimum (MPP) dengan baik [5]. Salah satu aspek menarik dari kebiasaan koloni lebah yang dapat diamati adalah ketika ratu lebah baru meninggalkan sarangnya bersama dengan kelompoknya dalam mencari sarang baru yang lebih optimal [12]. Mengadakan eksperimen dengan memodifikasi algoritma INC dan membandingkannya dengan algoritma INC konvensional untuk mendeteksi perubahan irradiansi secara lebih cepat [16].

Kebanyakan algoritma MPPT konvensional dianggap tidak bisa mencari nilai puncak global PV dalam kondisi berbayang [6]. MPPT yang paling sering digunakan pada produk komersial menurut [7] adalah Perturb & observe (P&O). Algoritma ini memiliki beberapa kelemahan dalam masalah konvergensi, osilasi ke titik maksimum (MPP) dan sering gagal melacak titik daya maksimal ketika keadaan lingkungan berubah secara drastis. Berdasarkan riset [8] dilakukan pengembangan berupa Improved PSO MPPT dan hanya mampu meningkatkan efisiensi sebesar 2,29% dari PSO konvensional. Sedangkan dalam risetnya [9] menganalisa tentang perbandingan antara GA dan PSO dalam tracking PV pada keadaan bayangan sebagian. Pada penelitiannya yang dikutip dalam [11], ia menggabungkan metode P&O dan Fuzzy Logic Control (FLC) MPPT dalam kondisi pencahayaan yang redup untuk mengidentifikasi titik daya maksimum. Namun, kelemahan FLC adalah membutuhkan komputasi yang rumit. Elektron dan hole yang dihasilkan adalah penyebab terjadinya perbedaan potensial dan akan menghasilkan aliran listrik jika ditempatkan dalam rangkaian yang lengkap [14].

Hasil dari penelitian ini disebutkan bahwa PSO dengan efisiensi 97.5% memiliki performa yang lebih baik dibandingkan GA dengan efisiensi 95.6%. Hal ini dikarenakan GA ketika proses trackingnya masih terdapat ripple sehingga hasilnya kurang maksimal. Berdasarkan kekurangan-kekurangan dari algoritma pendahulunya [10] maka dilakukan pembaruan dengan menggunakan algoritma QHBM yang dianggap lebih unggul pada pencapaian daya maksimal dan konvergensi yang cepat. QHBM sudah beberapa kali di aplikasikan dalam berbagai hal dan dalam prosesnya algoritma QHBM mampu melakukan pelacakan dengan baik dan kestabilan sistem yang bagus. Ketika lebah ratu menemukan lokasi yang cocok, mereka akan berhenti berpindah dan mulai membangun sarang di tempat tersebut [13]. Dalam penelitian ini akan dilakukan uji pelacakan daya, kestabilan sistem, kecepatan konvergensi, dan besar nilai error yang dihasilkan masing-masing MPPT dalam keadaan transisi berbayang. Ke empat hal tersebut akan diuji menggunakan data irradiansi selama 4 hari yang dimulai dari pukul 10 pagi hingga 2 siang. Konverter yang digunakan adalah tipe BuckBoost dengan mode boost dan beban resistor.

2. Metode

Desain sistem yang diusulkan terdiri dari panel surya, dc-dc konverter, MPPT dan beban seperti terlihat pada gambar blok diagram sistem berikut (Gambar 1). Sistem yang diusulkan dijalankan menggunakan simulasi dengan bantuan software Matlab/Simulink. Temperatur PV yang digunakan adalah nilai tetap sebesar 25°C yang merupakan kondisi normal PV.



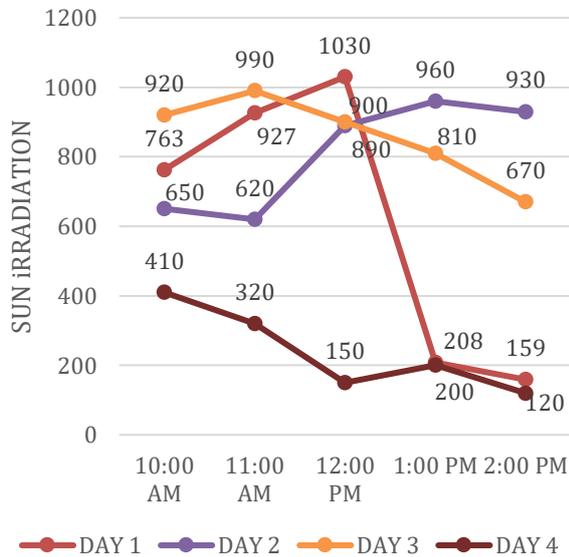
Gambar 1. Diagram Blok

2.1. Skenario Percobaan

Data Irradiansi matahari diambil selama 4 hari yang dimulai dari pukul 10 pagi hingga pukul 2 siang (Gambar 2). Data tersebut digunakan sebagai input PV untuk diproses oleh ke-6 algoritma yaitu; QHBM, GA, M-INC, GWO, P&O dan PSO untuk melihat besar daya output yang dihasilkan, kecepatan waktu konvergensi dan error yang pada saat transisi terjadi.

Menggunakan konverter tipe boost dan data irradiansi real yang diambil di atap gedung Teknik Elektro Universitas Negeri Malang yang dimulai pada pukul 08:00 AM hingga

03:00 PM. Sedangkan dalam penelitian menggunakan data irradiasi selama 4 hari dan berfokus dalam keadaan transisi berbayang untuk menentukan besar nilai error yang dihasilkan dan kestabilan daya keluaran dari algoritma QHBM.



Gambar 2. Grafik Iradiasi

2.2. Parameter Simulasi

Tabel 1. Spesifikasi PV

Parameter	Nilai
Power Maximum (Pmax)	180.3 Wp
Open Circuit Voltage	44.2 V
Short Circuit Current	5.35 A
Maximum Power Voltage (Vmp)	36.8 V
Maximum Power Current (Imp)	4.9 A

Tabel 1. Parameter Awal Konverter BuckBoost

Parameter	Nilai
P	360 W
Vin	73.66 V
f	5000 Hz
ΔiL	0.0097 A
ΔVc	0.65 V

Komponen konverter yang diperoleh dari parameter tersebut adalah induktor, kapasitor, dan duty cycle dengan rumus sebagai berikut [17] :

Induktor (L):

$$L = \frac{(V_{in}) * (V_{out} - V_{in})}{\Delta iL * f_s * V_{out}} \quad (1)$$

Kapasitor (C):

$$C = \frac{I_o * D}{f_s * \Delta V} \quad (2)$$

Duty Cycle (D):

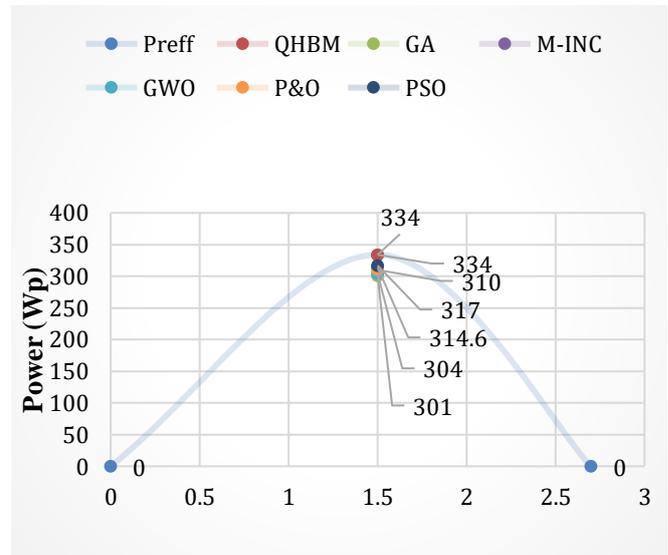
$$V_{out} = V_{in} \frac{1}{(1 - D)} \quad (3)$$

2.3. Teknik Analisis Data

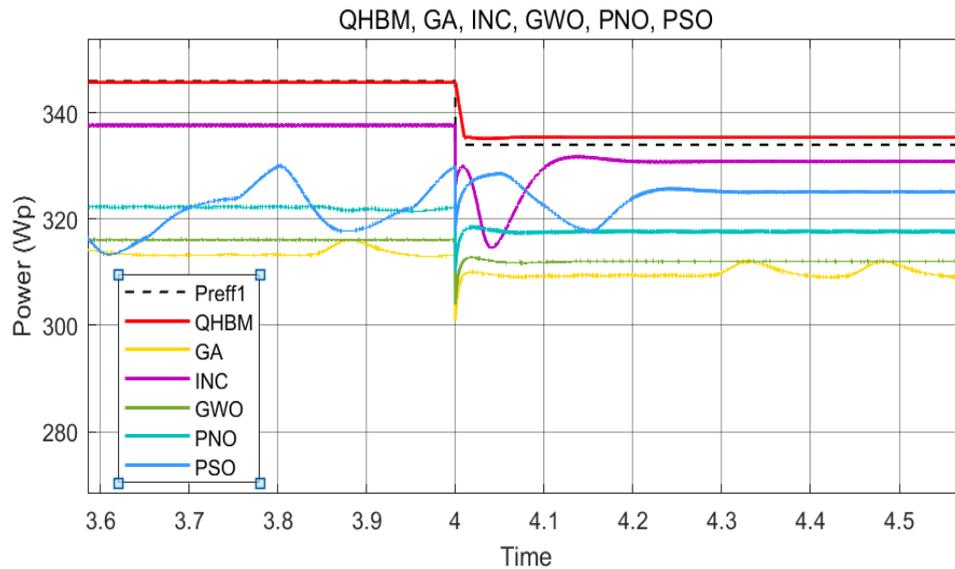
Analisa dilakukan terhadap besar daya output ketika mencapai kestabilan di titik MPP, kecepatan MPPT dalam menjangkau kestabilan, dan menghitung nilai error yang dihasilkan masing-masing MPPT ketika dalam keadaan transisi berbayang dengan menggunakan perhitungan berikut [11] :

$$error\% = \frac{P_{mppt} - P_{reff}}{P_{reff}} \quad (4)$$

Dimana Pmppt merupakan daya yang dihasilkan oleh himpunan PV dan Preff merupakan daya referensi maksimum himpunan PV.



Gambar 3. Kalkulasi Grafik Error



Gambar 4. Grafik Error

Gambar 3 merupakan keadaan saat terjadi transisi bayangan dan gambar 4 merupakan titik terendah yang dicapai MPPT pada saat transisi untuk dihitung persentase nilai error yang dihasilkan.

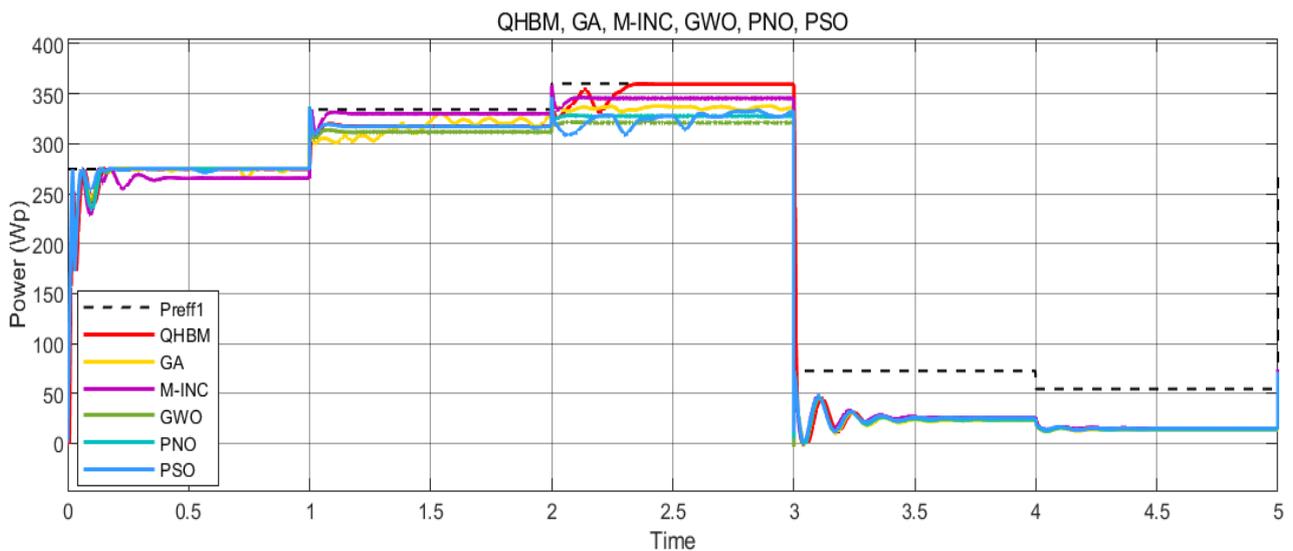
3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dihitung berdasarkan daya keluaran PV yang dihasilkan dari ragam irradiasi. MPPT menerima tegangan dan arus dari keluaran PV yang kemudian diteruskan menuju konverter dalam bentuk duty cycle. Duty cycle berfungsi untuk menentukan nilai daya terbaik yang telah diproses oleh MPPT dan diteruskan menuju beban DC dalam bentuk daya output (Watt).

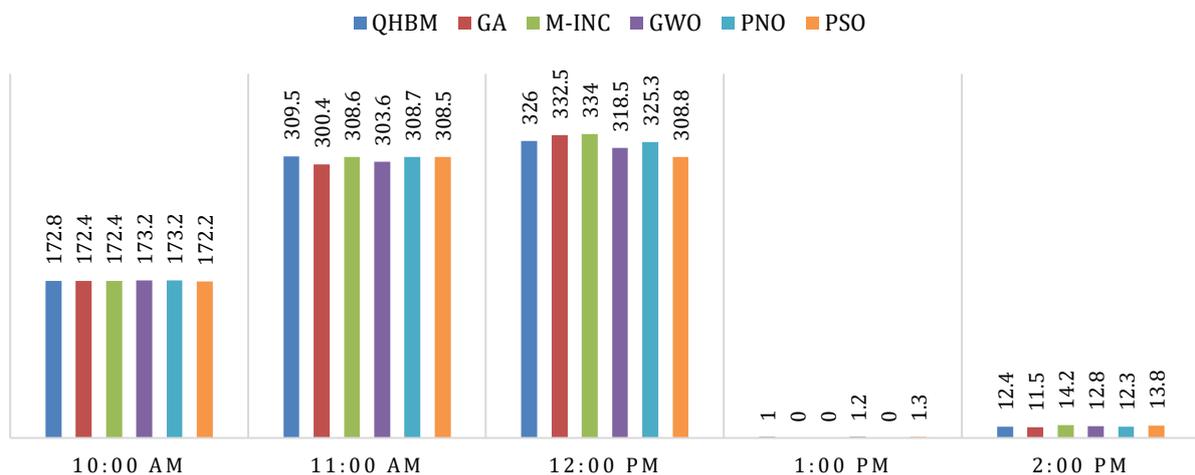
Setelah daya keluaran didapatkan maka terlihat hasil dari kinerja MPPT yang kemudian di-plot dalam bentuk grafik untuk menampilkan karakteristik pengaruh perubahan irradiasi terhadap daya keluaran sistem. Dalam beberapa percobaan diketahui bahwa terdapat beberapa algoritma yang kurang mampu dalam menemukan kestabilan. Sehingga untuk memperoleh nilai daya yang dihasilkan dilakukan menggunakan cara perhitungan rata-rata jika ripple yang terjadi tidak terlalu parah. Namun dalam kasus ripple daya yang sangat tidak menentu maka nilai konvergensinya sama dengan 0 atau tidak dapat menemukan titik kestabilan.

Tabel 2. Simulasi Hari 1

Method	Irradiation = 763 W/m2			Irradiation = 927 W/m2			Irradiation = 1000 W/m2			Irradiation = 208 W/m2			Irradiation = 159 W/m2		
	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)
QHBM	274.2	0.43	0.371	319	0.2	0.0739	360	0.28	0.0944	23.7	0.63	0.986	13.9	0.63	0.7721
GA	274.6	0.47	0.0722	320	0.53	0.1011	335	0.62	0.0764	22	0.64	1	12.9	0.7	0.7886
INC	271.2	0.6	0.3722	329	0.4	0.0764	345	0.16	0.0722	26	0.8	1	15.4	0.82	0.739
GWO	274.6	0.3	0.3693	311.7	0.46	0.0916	321	0.18	0.1153	24.2	0.8	0.98	14	0.73	0.764
P&O	274.6	0.42	0.3693	317	0.26	0.0763	328.5	0.2	0.0964	23.9	0.83	1	14.4	0.76	0.077
PSO	274.6	0.3	0.3729	317	0.26	0.0769	328	0.48	0.1422	25.5	0.87	0.982	14.9	0.88	0.746



Gambar 5. Data Hasil Hari 1



Gambar 6. Nilai Daya Ketika Transisi Hari 1

Dalam data (tabel 3) dan (gambar 5) yang telah disajikan dapat diketahui bahwa pada saat irradiasi mengalami titik puncaknya, algoritma QHBM mampu melacak hingga ke titik maksimal daya referensidan mengungguli para pembandingnya. Namun konvergensi yang didapatkan sedikit lebih lama dibandingkan algoritma M-INC, GWO,

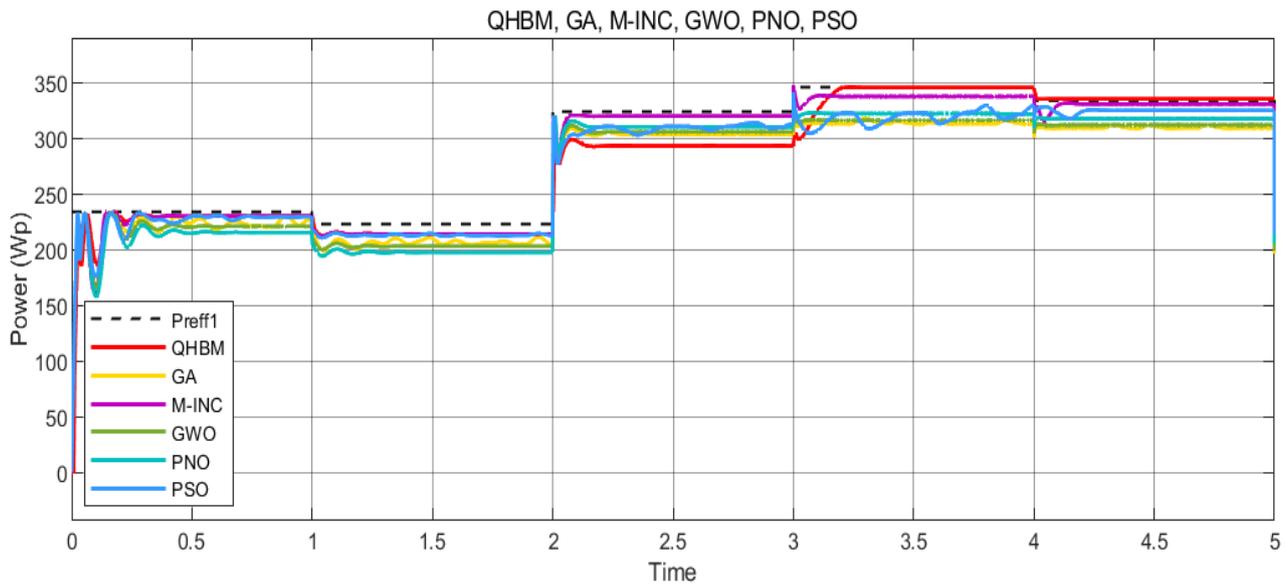
dan PNO yakni 0,28s. Gambar grafik diatas menunjukkan nilai daya yang terjadi saat keadaan transisi. Hal yang paling mencolok adalah ketika pukul 1 PM yang mana beberapa algoritma mencapai daya sebesar 0Wp sehingga dapat diartikan nilai error yang didapat mencapai 1% atau efeknya terhadap sistem ialah tidak ada daya yang mengalir

sama sekali. Hal ini sangat fatal karena jika daya mencapai 0 berarti sistem sama dengan mati. Jadi diperlukan

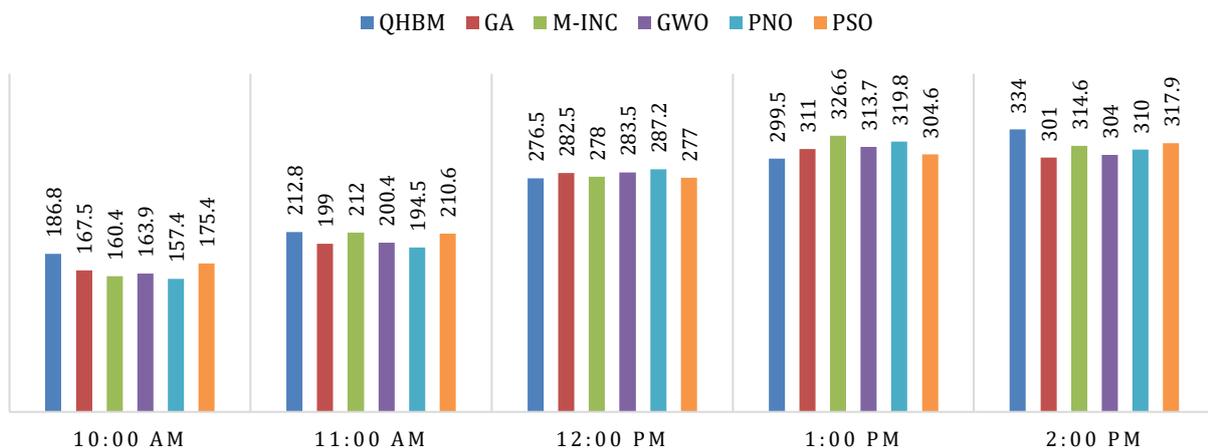
algorithm yang mampu melakukan pelacakan dengan baik untuk tetap menjaga kestabilan sistem.

Tabel 3. Simulasi Hari 2

Method	Irradiation = 650 W/m ²			Irradiation = 620 W/m ²			Irradiation = 890 W/m ²			Irradiation = 960 W/m ²			Irradiation = 930 W/m ²		
	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)
QHBM	230.9	0.51	0.2017	215	0.42	0.0457	292.5	0.32	0.1466	345	0.32	0.1344	334	0.01	0
GA	220	0.68	0.2842	208	0.59	0.1076	303	0.54	0.1281	315	0.58	0.1012	311	0.19	0.098
INC	228	0.6	0.3145	214	0.73	0.0493	309.7	0.62	0.142	344.8	0.32	0.0561	330.9	0.4	0.058
GWO	221	0.9	0.2996	203	0.48	0.1013	305.9	0.44	0.125	316	0.45	0.0934	312	0.15	0.089
P&O	215.8	0.81	0.3274	197.9	0.62	0.1278	310.4	0.23	0.1136	322.2	0.16	0.0757	317.8	0.14	0.071
PSO	229	0.9	0.2504	212.6	0.42	0.0556	310.5	0.45	0.1451	323		0.1197	325.4	0.38	0.048



Gambar 7. Data Hasil Hari 2



Gambar 8. Nilai Daya Ketika Transisi Hari 2

Berdasarkan data simulasi hari ke-2 diperoleh bahwa hampir keseluruhan algoritma dapat bekerja baik dalam perjalanannya menuju konvergensi. Namun pada percobaan irradiasi = 960W/m² diketahui algoritma PSO

kurang mampu dalam menemukan kestabilan dalam sistemnya. Dalam kasus seperti ini pengambilan nilai daya menggunakan perhitungan rata-rata. QHBM pada keadaan irradiasi = 890W/m² sedikit tertinggal dibandingkan algoritma pembandingnya. Namun saat irradiasi puncak

sebesar 960W/m² algoritma QHBM mampu melacak titik daya maksimal dengan sangat baik dan menyentuh titik referensi dengan nilai daya sebesar 345Wp kemudian disusul oleh algoritma M-INC dengan nilai daya sebesar 344.8Wp.

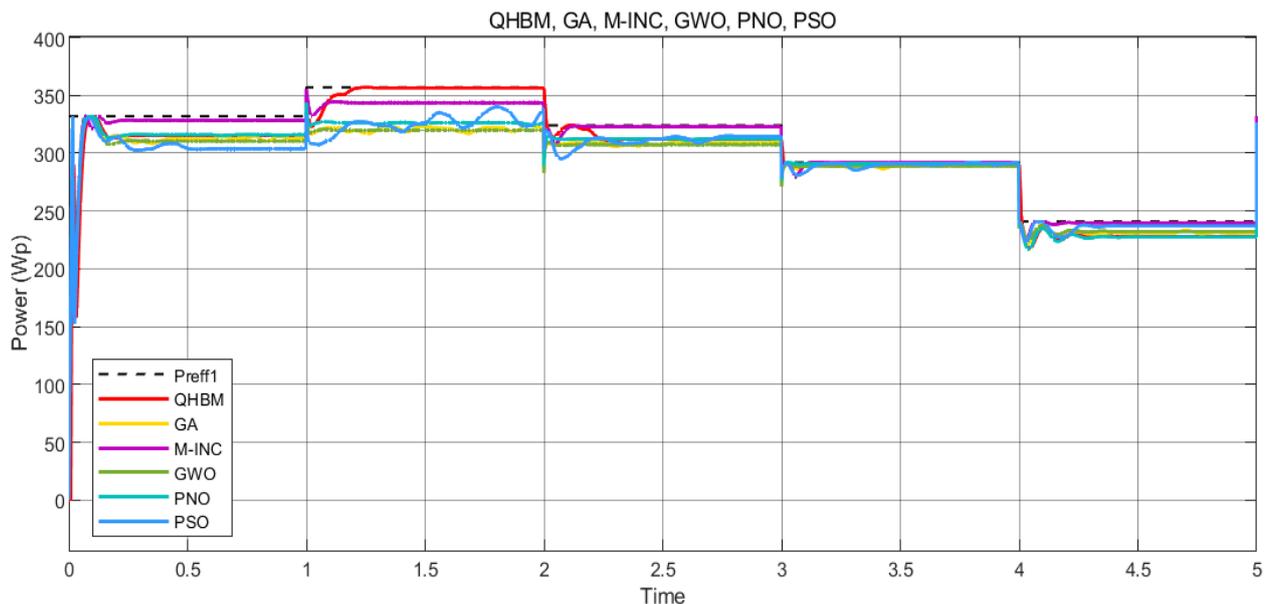
Secara keseluruhan QHBM unggul dalam hal konvergensi dan nilai error. Nilai konvergensi dan error terbaik yang didapatkan seperti tercantum pada (tabel 4) diperoleh kecepatan konvergensi = 0.01s dan nilai error = 0%. Nilai error sebesar 0% didapatkan karena pada saat transisi

terjadi pelacakan daya yang dilakukan oleh QHBM tidak lebih rendah dari titik referensi sehingga tidak terjadi ripple daya sehingga langsung bisa melacak daya referensi selanjutnya dengan sangat bagus.

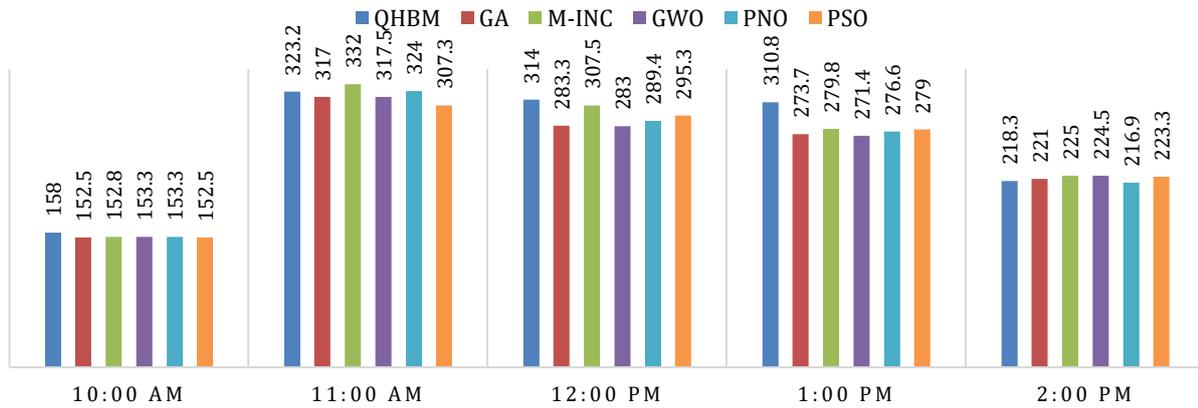
Pada (Gambar 8) merupakan grafik daya saat transisi bayangan berlangsung. besar atau kecilnya daya yang dihasilkan tergantung dari ripple yang terjadi saat transisi. Semakin besar daya yang dihasilkan maka semakin kecil pula error yang didapat.

Tabel 5. Simulasi hari 3

Method	Irradiation = 920 W/m ²			Irradiation = 990 W/m ²			Irradiation = 900 W/m ²			Irradiation = 810 W/m ²			Irradiation = 670 W/m ²		
	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)
QHBM	315.5	0.33	0.5241	357	0.22	0.0947	290.9	0.22	0.0309	228.3	0.5	0.0644	312	0.4	0.0942
GA	311	0.43	0.5407	320	0.53	0.112	289	0.73	0.1256	232	0.55	0.0627	307.8	0.54	0.083
INC	324	0.33	0.5398	337.4	0.23	0.07	291.8	0.3	0.0509	240.9	0.32	0.0418	319.8	0.3	0.0664
GWO	310.8	0.62	0.5383	320	0.2	0.1106	289	0.25	0.1265	233	0.65	0.0705	306.5	0.34	0.0685
P&O	326	0.33	0.5383	340	0.2	0.0924	291	0.3	0.1068	214.8	0.75	0.0527	321	0.2	0.1
PSO	312	0.6	0.5407	326		0.1392	292	0.44	0.0886	231	0.65	0.0445	319	0.72	0.0734



Gambar 9. Data Hasil Hari 3



Gambar 10. Nilai Daya Ketika Transisi Hari 3

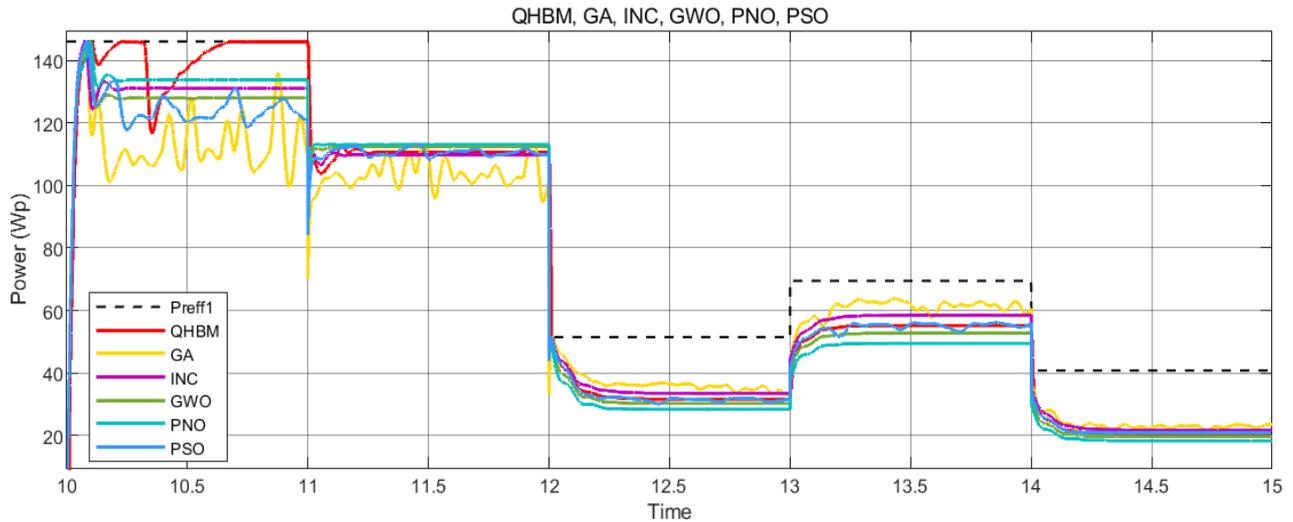
Dalam percobaan simulasi di hari ke 3 ini tidak terlalu jauh berbeda dengan percobaan hari ke 2 yakni pelacakan pada daya tinggi. Sedikit perbedaannya adalah data iradiasi yang digunakan cenderung semakin berkurang. Dari (tabel 5) yang tersedia dapat diperhatikan bahwa terdapat satu algoritma yang nilainya kosong yakni algoritma PSO. Hal ini disebabkan karena pada saat irradiasi sebesar 990W/m², PSO tidak mampu mencapai titik kestabilan sehingga terjadi ripple yang berkepanjangan. Sedangkan disaat yang sama algoritma QHBM dapat melacak daya yang diusulkan dengan sempurna yaitu sebesar 357Wp dengan nilai error sebesar 0.0947%. dan yang terendah

adalah GA dengan daya yang diperoleh sebesar 320Wp namun dalam hal kestabilan GA lebih unggul dibandingkan PSO.

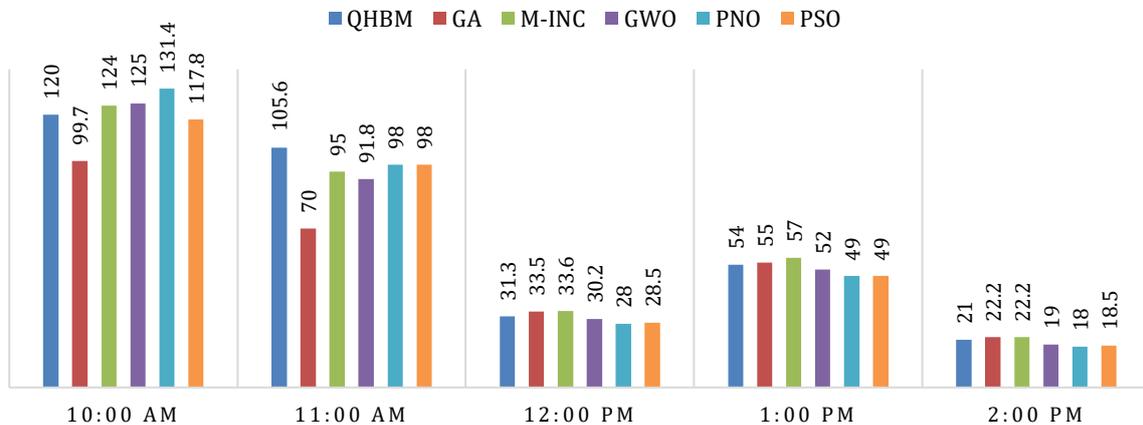
Berdasarkan (Gambar 10) data yang didapat terlihat bahwa hampir secara keseluruhan algoritma QHBM lebih unggul dalam besar nilai error yang didapat. Dengan memperoleh daya yang lebih besar menandakan QHBM memiliki nilai error yang lebih sedikit. Namun dalam kestabilan terlihat bahwa algoritma M-INC lebih unggul. Hal ini didapatkan dari nilai konvergensinya dimana M-INC dapat dengan cepat menstabilkan daya setelah transisi terjadi.

Tabel 5. Simulasi hari 4

Method	Irradiation = 410 W/m ²			Irradiation = 320 W/m ²			Irradiation = 150 W/m ²			Irradiation = 200 W/m ²			Irradiation = 120 W/m ²		
	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)	Power (Wp)	Kvg (s)	Error (%)
QHBM	143	0.62	0.1781	111	0.28	0.0655	32	0.32	0.3922	54	0.31	0.223	21	0.32	0.475
GA	114		0.3171	105		0.3805	36	0.39	0.3495	60		0.2086	23		0.445
INC	132	0.3	0.1507	110	0.23	0.1593	34	0.35	0.3476	57	0.36	0.1799	23	0.33	0.445
GWO	128	0.28	0.1438	112	0.18	0.1876	30	0.32	0.4136	53	0.32	0.2518	19	0.37	0.525
P&O	134	0.3	0.1	113	0.08	0.1327	28	0.33	0.4563	49	0.33	0.295	18	0.3	0.55
PSO	125		0.1932	110		0.1327	29	0.45	0.4466	50	0.33	0.295	22	0.32	0.5375



Gambar 11. Data Hasil Hari 4



Gambar 12. Nilai Daya Ketika Transisi Hari 4

Dari data penelitian yang dilakukan pada hari ke-4 diketahui bahwa terdapat banyak algoritma yang kurang bisa mencapai kestabilan sehingga nilai konvergensinya kosong. Terlihat jelas melalui (gambar 11) bahwa banyak algoritma yang mengalami ripple sangat besar seperti yang dialami algoritma GA dan PSO. Hampir keseluruhan pola irradiasi rendah ini algoritma GA kurang bisa untuk

menstabilkan daya yang dikeluarkan. Untuk nilai error yang dihasilkan saat transisi terdapat pada (gambar 11).

Pada kondisi irradiasi 410W/m² algoritma QHBM mengalami ripple yang lumayan besar namun dengan cepat dapat mengatasi masalah tersebut dan menuju ke titik daya puncak. Sedangkan pada keadaan irradiasi 320W/m² QHBM mendapatkan nilai error yang terkecil yaitu sebesar

0.0655% dan nilai error terbesar dimiliki algoritma GA dengan nilai 0.3805%. nilai error yang dimiliki algoritma GA tergolong cukup besar dikarenakan hampir keseluruhan algoritma hanya mencapai nilai error sebesar 0.1%.

Secara keseluruhan algoritma QHBM unggul dalam hal tracking ketika nilai iradiasinya berada di titik puncak. Secara kestabilan algoritma M-INC sedikit lebih unggul namun masih dapat diatasi dikarenakan QHBM juga memiliki kestabilan yang bagus dalam pelacakan dayanya. Untuk perolehan nilai error QHBM mampu mendapatkan hasil yang bagus dan mampu meredam ripple yang terjadi sekecil mungkin.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa algoritma QHBM mampu melacak daya output pada saat iradiasi tertinggi dengan optimal di keseluruhan simulasi. Dalam kasus daya rendah yang telah disimulasikan, hampir keseluruhan algoritma MPPT kurang mampu dalam melacak daya referensi yang diberikan sehingga jarak antara daya referensi dengan daya yang dihasilkan MPPT cukup jauh. Sedangkan untuk ripple yang dihasilkan oleh algoritma QHBM ini tergolong kecil sehingga mampu meredan besar ilai error yang terjadi saat transisi terjadi dan menjaga keseimbangan daya yang didapatkan. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh algoritma QHBM memiliki performa yang baik dan mampu melacak daya maksimal yang diberikan dengan sangat bagus sehingga QHBM dirasa cocok digunakan pada MPPT.

Pada paper ini penulis berharap bisa dijadikan sebagai rujukan untuk penulisan selanjutnya yang akan mengembangkan penelitian ini.

Referensi

- [1]. M. Dhimish, "70% Decrease of Hot-Spotted Photovoltaic Modules Output Power Loss Using Novel MPPT Algorithm," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 66, no. 12, hlm. 2027–2031, Des 2019, doi: 10.1109/TCSII.2019.2893533.
- [2]. M. Rezkallah, A. Chandra, M. Tremblay, dan H. Ibrahim, "Experimental Implementation of an APC With Enhanced MPPT for Standalone Solar Photovoltaic Based Water Pumping Station," *IEEE Trans Sustain Energy*, vol. 10, no. 1, hlm. 181–191, Jan 2019, doi: 10.1109/TSTE.2018.2829213.
- [3]. *2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)*. IEEE, 2018.
- [4]. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Kerala Section, IEEE Region 10, dan Institute of Electrical and Electronics Engineers, *Proceedings of the TENCON 2019: Technology, Knowledge, and Society: 17-20 October 2019, Grand Hyatt Kochi Bolgatti, Kerala, India*.

- [5]. Kurukshetra. D. of E. E. National Institute of Technology, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Delhi Section. PELS/IES Joint Chapter, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Delhi Section. PES/IAS Joint Chapter, dan Institute of Electrical and Electronics Engineers, *8th IEEE Power India International Conference: PIICON 2018: December 10-12, 2018*.
- [6]. J. P. Ram, D. S. Pillai, N. Rajasekar, dan S. M. Strachan, "Detection and Identification of Global Maximum Power Point Operation in Solar PV Applications Using a Hybrid ELPSO-PO Tracking Technique," *IEEE J Emerg Sel Top Power Electron*, vol. 8, no. 2, hlm. 1361–1374, Jun 2020, doi: 10.1109/JESTPE.2019.2900999.
- [7]. A. Alassi dan O. Ellabban, "Design of an Intelligent Energy Management System for Standalone PV/Battery DC Microgrids," 2019.
- [8]. M. Ben Yakhlef, Jāmi'at Sīdī Muḥammad ibn 'Abd Allāh. Polydisciplinary Faculty, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Morocco Section, dan Institute of Electrical and Electronics Engineers, *Proceedings, 2019 International Conference on Intelligent Systems and Advanced Computing Sciences (ISACS): December 26-27, 2019, Taza, Morocco*.
- [9]. A. Bintoro dan H. Berahim, "PENGARUH KERJA RECLOSER PADA DISTRIBUSI TEGANGAN TRANSIEN RUMAH TANGGA."
- [10]. C. C. C. Dos Santos, C. F. Moraes, J. P. Da Costa, C. M. O. Stein, E. G. Carati, dan R. Cardoso, "Photovoltaic Boost Converter Control Operating in the MPPT and LPPT Modes," 2019.
- [11]. Kumar, R., Kumar, B., Swaroop, D., 2018. Fuzzy Logic based Improved P&O MPPT Technique for Partial Shading Conditions. 2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON), 775-779.
- [12]. G.-J. Jong, Aripriharta, Hendrick, and G.-J. Horng, "A Novel Queen Honey Bee Migration (QHBM) Algorithm for Sink Repositioning in Wireless Sensor Network," *Wireless Personal Communications*, vol. 95, no. 3, pp. 3209–3232, Aug 2017.
- [13]. Wibowo, K.H., Aripriharta, Fadlika, I., Horng, G.J., Wibawanto, S., Saputra, F.W.Y., 2019. A New MPPT based on Queen Honey Bee Migration (QHBM) in Standalone Photovoltaic. IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS), 123-128.
- [14]. Suwito, Suhanto, K. (2017). Sistem Baterai Charging Pada Solar Energy System Dengan Buck Boost Converter Untuk Berbagai Tingkat Pencahayaan Di Bandar Udara.
- [15]. Imaduddin, I. R., Himawan, F., Hasan, F., & Susanto, F. (2020). Perancangan Desain Traffic Light Menggunakan Panel Surya. JEECAE (Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering), 5(1), 49-54.
- [16]. Pahlevi, R. (2015). Pengujian karakteristik panel surya berdasarkan intensitas tenaga surya (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- [17]. Mohanty, S., Subudhi, B., & Ray, P. K. (2015). A new MPPT design using grey wolf optimization technique for photovoltaic system under partial shading conditions. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 7(1), 181-188.