

DESAIN SISTEM PENGISIAN BATERAI BERBASIS SOLAR SEL MENGGUNAKAN REGULATOR MPPT

Ridho Syahrul Insani¹⁾, Azriyenni Azhari Zakri²⁾

Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, Riau

email:ridho.syahrul@student.unri.ac.id; azriyenni@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

One alternative energy source that can be used is energy derived from sunlight. One important aspect that aims to improve the efficiency of solar cells is the Maximum Power Point Tracker (MPPT) on solar cells. The MPPT system aims to find a solar cell working point where solar cells are able to produce maximum power and detect solar cells work at that optimal point. The MPPT algorithm is the main part of the MPPT system, one of the MPPT algorithm is the Incremental Conductance Method (ICM). The ICM algorithm in this study is the MPPT method used by solar cells that detect the optimum conditions in various conditions the input values change in of solar cells. The ICM algorithm on a 100 Watt solar cell system is used for battery charging, the battery used is a lead-acid type with a nominal voltage of 12 Volts, a capacity of 6.5 Ah produces a maximum output power of 87.37 Watts. The increase in battery State of Charge (SOC) of 10% and 90%. Setting a battery SOC of 10% with 0.1% increase in battery SOC occurs at 2.7 seconds in simulation time or 27 minutes of real test time and battery SOC with a setting of 90% SOC increase in 0, 1% battery SOC occurred at 1.8 seconds at simulation time or 18 minutes real test time.

Keywords: ICM Algorithm, Battery, Buck boost converter, MPPT, Solar cell

I. PENDAHULUAN

Permasalahan utama yang terdapat pada solar sel adalah efisiensi yang cukup kecil, dibandingkan dengan sumber pembangkit listrik lainnya. Salah satu aspek penting yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dari solar sel adalah adanya sistem pencari daya maksimum MPPT pada solar sel. Sesuai dengan namanya, sistem MPPT bertujuan untuk mencari titik kerja solar sel dimana solar sel mampu menghasilkan daya maksimum dan membuat solar sel bekerja di titik optimal tersebut. Penelitian ini memiliki referensi dari penelitian sebelumnya yang berguna sebagai masukan dan ide untuk membuat skripsi ini.

Bayu Prima dkk, telah menjelaskan untuk menghasilkan daya keluaran panel

yang maksimal, maka diperlukan suatu algoritma yang biasa disebut MPPT. MPPT yang diterapkan pada sistem solar sel berfungsi untuk mengatur nilai tegangan keluaran panel sehingga titik kerjanya beroperasi pada kondisi maksimal. Algoritma MPPT pada panel ini telah dilakukan dengan menggunakan logika *fuzzy* melalui mikrokontroler Arduino Uno sebagai pembangkit sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) yang akan dikirimkan menuju *buck boost* konverter (Prima, 2014).

Azmi Saleh dkk, telah menjelaskan MPPT adalah metode yang menjamin daya yang dihasilkan dalam sistem solar sel dioptimalkan dalam berbagai kondisi. Desain kontrol MPPT digunakan untuk mencari titik

daya maksimum dengan menaikkan dan menurunkan tegangan menggunakan konverter SEPIC. Pada penelitian ini kontrol MPPT menggunakan ICM dengan melihat perubahan tegangan dan daya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa performa konverter sangat dipengaruhi oleh *duty cycle*. Kontrol MPPT yang ditambahkan pada konverter SEPIC dapat meningkatkan daya yang ditransfer ke beban. Efisiensi terbesar terjadi pada saat beban 61 ohm yaitu yaitu sebesar 48% (Saleh, 2017).

Selanjutnya Mochamad Firman dkk, telah menjelaskan bahwa pemanfaatan energi surya dapat merusak beban jika digunakan tanpa kontroler karena daya yang dihasilkan sel surya tergantung pada nilai suhu dan iradiasi matahari. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah merancang sebuah sistem MPPT panel surya yang mampu untuk mengisi baterai. Hasil simulasi menunjukkan kinerja MPPT algoritma P&O dan *buck boost* konverter yang mampu mencapai nilai yang diinginkan yaitu rata-rata tegangan 14.726 V dengan error 1.88% , arus 4.573 A dengan error 1.77%, dan daya 67.356 W dengan error 3.84% (Firman, 2017).

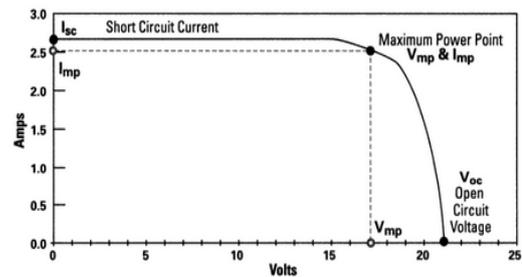
Berdasarkan penjelasan di atas, maka pada skripsi ini penyusun melakukan penelitian mengenai sistem pengisian baterai dengan sumber daya solar sel dengan pengendali MPPT menggunakan algoritma ICM. Sistem MPPT dalam penelitian ini adalah menganalisa algoritma ICM dari berbagai jenis algoritma MPPT yang dikenal secara teoritis. Algoritma ICM dengan rangkaian *buck boost* konverter bertujuan untuk mengoptimalkan pengisian baterai dan meningkatkan efisiensi baterai sebagai energi alternatif.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Solar Sel didefinisikan sebagai teknologi yang menghasilkan listrik DC dari suatu bahan semikonduktor ketika bahan tersebut dipaparkan oleh iradiasi matahari. Selama iradiasi matahari mengenai bahan semikonduktor tersebut maka solar sel ini

akan selalu menghasilkan energi listrik, dan ketika solar sel tidak dipaparkan iradiasi matahari, solar sel ini berhenti menghasilkan energi listrik. Bahkan beberapa solar sel mampu tetap menghasilkan energi listrik (Luque & Hegedus, 2003).

Karakteristik kurva I-V dari solar sel diperlihatkan pada Gambar 1 (Dohardo P. H, 2017). Gambar 1 menunjukkan tipikal kurva I-V. Voltase (V) adalah sumbu horizontal Arus (I) adalah sumbu vertikal. Kebanyakan kurva I-V diberikan dalam *Standard Test Conditions* (STC) 1000 watt per meter persegi iradiasi (atau disebut satu matahari puncak/ *one peak sun hour*) dan 25 derajat Celcius/ 77 derajat Fahrenheit suhu panel solar sel. Kurva I-V terdiri dari 3 hal yang penting yaitu: *Maximum Power Point* (V_{mp} dan I_{mp}), *Open Circuit Voltage* (V_{oc}), *Short Circuit Current* (I_{sc}).



Gambar 1. Kurva Karakteristik I-V MPPT

Sistem solar sel memiliki keluaran dengan karakteristik yang berubah-ubah atau dikatakan nonlinear seperti pada kurva P-V dan I-V dimana titik puncaknya berubah seiring dengan berubahnya iradiasi dan suhu. Agar solar sel memiliki efisiensi yang tinggi, maka solar sel diharuskan memiliki keluaran yang stabil pada titik maksimumnya. solar sel tidak akan secara otomatis bekerja pada titik kerja maksimumnya, melainkan harus dikendalikan. Letak dari titik maksimum ini tidak diketahui, melainkan harus dicari. Maka, peran dari MPPT dibutuhkan untuk melacak keberadaan titik kerja maksimum yang dapat dihasilkan dari solar sel dan menjaga agar selalu berada pada titik tersebut.

Saat ini sudah ada banyak algoritma MPPT yang dirancang untuk menemukan

titik kerja optimal dari solar sel (Schmid & Schmidt, 2003) mengelompokkan algoritma MPPT yang ada dalam dua kelompok, yang pertama MPPT langsung dan MPPT tidak langsung.

Kualitas sistem MPPT tentu perlu diukur agar performa dari sistem MPPT tersebut dapat diketahui. Pengukuran kualitas sistem MPPT juga berguna untuk proses pengembangan sistem MPPT (Yi&Fa, 2009).

$$\eta = \frac{P}{P_{maks}} \times 100\% \quad (1)$$

dimana:

η = Efisiensi

P = Daya keluaran aktual

P_{maks} = Daya maksimum

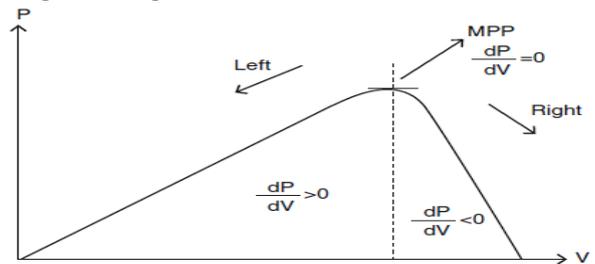
Semakin besar nilai rasio ini, maka algoritma MPPT tersebut semakin baik. MPPT merupakan sebuah sistem elektronik yang dioperasikan pada sebuah solar sel sehingga bisa menghasilkan tenaga maksimum. Perlu diperhatikan MPPT bukanlah sebuah sistem *tracking* mekanik yang digunakan untuk mengubah posisi modul terhadap posisi matahari sehingga mendapatkan energi maksimum iradiasi matahari. MPPT benar-benar sebuah sistem elektronik yang bisa menelusuri titik daya maksimum yang bisa dikeluarkan oleh sebuah solar sel.

Algoritma ICM

Algoritma ICM merupakan salah satu metode pelacakan *Maximum Power Point* (MPP). Algoritma ini menggunakan pengukuran inkremental pada perubahan konduktansi yang terjadi pada solar sel. Dengan membandingkan pengukuran inkremental dapat diketahui perubahan daya, tegangan dan arus yang disebabkan perubahan suhu dan iradiasi matahari pada solar sel. ICM merupakan MPPT jenis langsung karena menentukan tegangan operasi optimal berdasarkan pengukuran arus, tegangan, daya keluaran secara langsung (Schmid & Schmidt, 2003).

Gambar 2 menunjukkan kondisi kerja algoritma ICM untuk mencari nilai titik MPP pada tiap kondisi. Ketika nilai konduktansi bernilai nol maka algoritma akan

mempertahankan kondisi pada titik MPP. Namun ketika bernilai lebih dari nol maka algoritma akan mendeteksi nilai menjauhi ke kiri MPP, begitu juga ketika nilai konduktansi bernilai kurang dari nol maka algoritma akan mendeteksi nilai menjauhi ke kanan MPP. Sehingga sistem akan mengontrol tegangan referensi agar dapat menjaga daya pada titik maksimum yaitu dengan mengatur besar PWM.



Gambar 2. Kurva algoritma ICM (Sumathi,2015).

dimana:

P = Daya

I = Arus

V = Tegangan

dP = Beda Daya

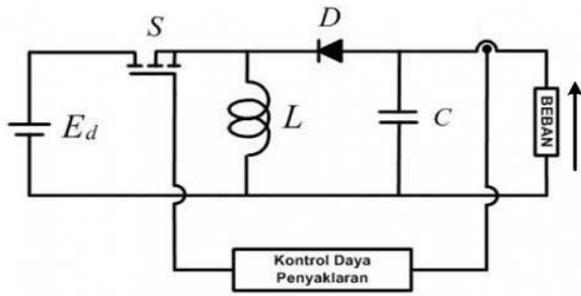
dI = Beda Arus

dV = Beda Tegangan

Buck Boost Konverter

Buck boost konverter dapat mengubah tegangan DC-DC menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukannya. Sehingga pengguna dapat memilih sendiri tegangan yang akan diaplikasikan ke beban yaitu lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan keluaran solar sel. *Buck boost* konverter memiliki kelebihan yaitu tegangan keluaran dapat diatur lebih besar atau lebih kecil dari masukannya.

Pada Gambar 3 merupakan rangkaian dasar *buck boost* konverter yang terdiri dari MOSFET sebagai *switching* komponen, induktor(L), dioda (D), kapasitor, filter(C), dan resistor sebagai beban (R1).

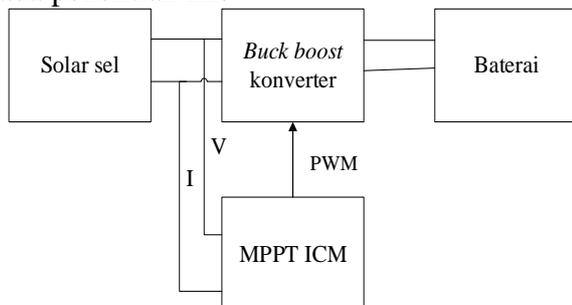


Gambar 3. buck boost konverter

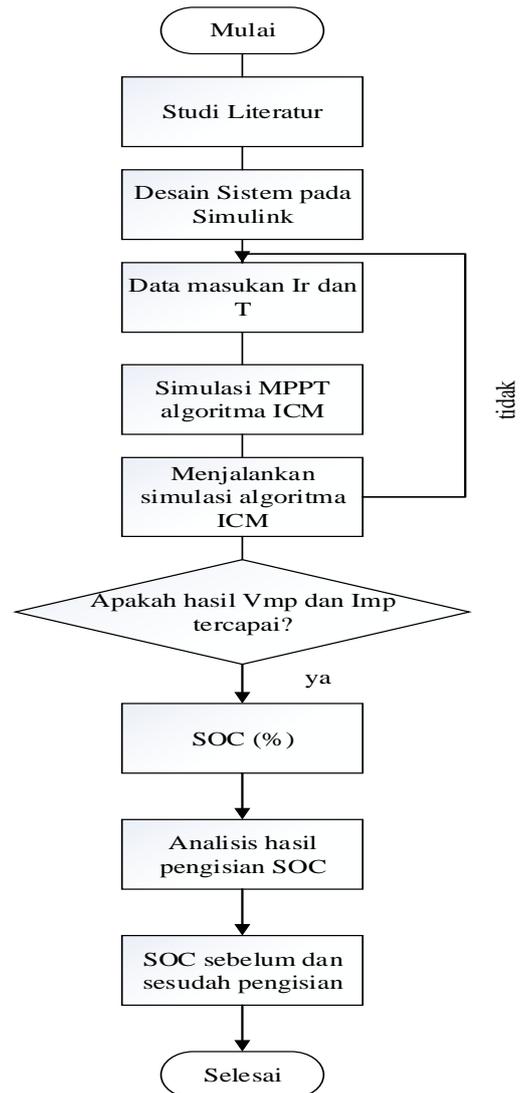
III. METODE PENELITIAN

Komponen Sistem Solar Sel

Pada Gambar 4 terdapat blok diagram alir penelitian dari sistem solar sel yang mana solar sel nantinya memiliki nilai masukan yaitu iradiasi matahari dan suhu solar sel. menghasilkan nilai keluaran berupa arus (I) dan tegangan (V). Setelah didapatkan nilai arus dan tegangan keluaran dari solar sel tidak dapat langsung mengisi baterai sebagai beban atau sumber energi listrik cadangan, dibutuhkan suatu alat untuk mengontrol dan mengoptimalkan nilai arus dan tegangan untuk mengefisiensikan proses pengisian baterai yaitu sistem MPPT algoritma ICM dan konverter jenis *buck boost* yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 4. Blok Diagram Sistem Solar Sel
Flowchart Penelitian



Gambar 5. Flowchart Penelitian Desain MPPT Algoritma ICM

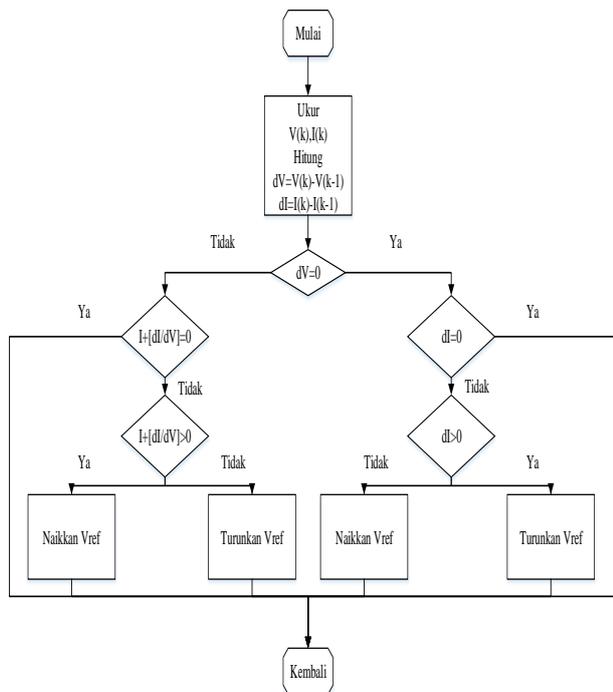
Pada penelitian ini digunakan satu buah solar sel dengan merek Global Solar Energi F-2BTM100 100 Wp dengan keluaran daya nominal 100 W. Spesifikasi dari solar sel yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi solar sel dari MATLAB/Simulasi

Daya Maksimum Rata-rata	100 W
Tegangan rangkaian terbuka (Voc)	23,3 V
Arus Hubung Singkat (Isc)	6,4 A
Tegangan pada Daya Maksimum (Vmaks)	17,8 V

Arus pada Daya Maksimum (Imaks)	5,6 A
Modul Terhubung Seri	1
Modul Terhubung Paralel	1

Pada Gambar 6 Nilai masukan dari algoritma ICM adalah keluaran dari solar sel, yang mana juga merupakan masukan bagi *buck boost* konverter. Oleh karena itu, tegangan optimal yang telah didapat oleh MPPT algoritma ICM akan dijadikan referensi kepada *buck boost* konverter sehingga solar sel akan dipaksa untuk bekerja pada kondisi optimal. Dengan demikian, MPP dapat dilacak dengan membandingkan perhitungan sesaat (I / V) dengan konduktansi inkremental (dI / dV).



Gambar 6. Diagram Alir Algoritma ICM

Empat komponen utama dari *buck boost* konverter yaitu dioda, induktor, kapasitor, MOSFET sebagai saklar dan resistor bisa dianggap sebagai beban. MOSFET digunakan sebagai power komponen dan kontrol switching yang menggunakan PWM, dimana switching diaplikasikan dengan perbandingan T_{on} (waktu saat *switch* tertutup) dan T (waktu satu periode pulsa = $T_{on}+T_{off}$), atau diketahui dengan nama *duty*

cycle (D). Besar kecilnya tegangan keluaran diatur berdasarkan D PWM pada *switch*. Bila $D>0.5$, maka tegangan keluaran akan lebih besar dari masukan. Sedangkan bila $D<0.5$ maka tegangan keluaran akan lebih kecil dari tegangan masukan.

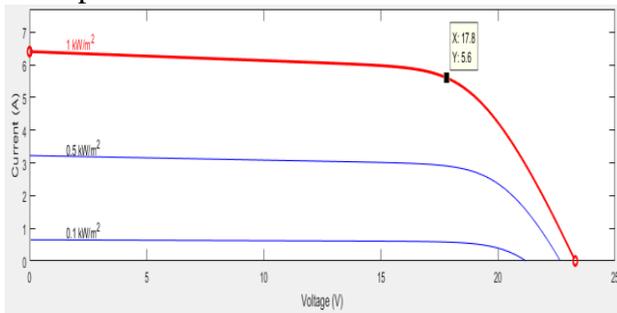
Maka setelah didapatkan nilai-nilai komponen dari *buck boost* konverter dapat dilakukan pengujian simulasi Matlab/Simulink R2016a dengan mengatur nilai D . Besar kecilnya tegangan keluaran diatur berdasarkan D PWM pada *switch*. Bila $D>0.5$, maka tegangan keluaran akan lebih besar dari masukan Sedangkan bila $D<0.5$ maka tegangan keluaran akan lebih kecil dari tegangan masukan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

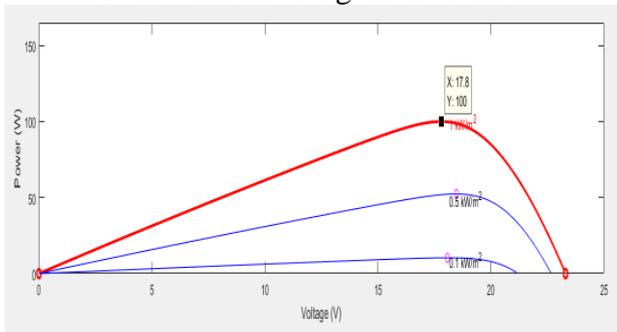
Solar sel Global Solar Energi F-2BTM100 tentu memiliki karakteristik arus dan tegangan yang sesuai seperti solar sel pada umumnya. Karakteristik ini dapat dilihat melalui kurva $I-V$ dan $P-V$ dari model. Kurva $I-V$ dan $P-V$ dibentuk untuk melihat perubahan arus dan daya dari solar sel jika tegangan bertambah secara linear terus-menerus hingga mencapai titik tegangan V_{oc} . Nilai iradiasi dan suhu yang akan menjadi masukan pada modul solar sel ini adalah 1000 W/m^2 dan 25°C , sesuai dengan kondisi pengukuran standar.

Melalui kedua kurva ini, dapat dilihat karakteristik dari model solar sel Global Solar Energi F-2BTM100. Pada kurva $I-V$ terlihat bahwa pada saat tegangan 17,8 Volt, arus yang dihasilkan adalah sebesar 5,6 Ampere. Sedangkan pada kurva $P-V$ dapat dilihat daya maksimal yang dihasilkan oleh modul sebesar 100 Watt ketika bekerja pada tegangan 17,8 Volt. Nilai-nilai yang telah didapat dari kurva solar sel ini sesuai dengan data Tabel 1. Pada Gambar 7 Dan 8 menunjukkan bahwa model solar sel yang telah dibangun mampu menghasilkan kurva karakteristik $I-V$ dan $P-V$ yang serupa dengan kurva $I-V$ dan $P-V$ pada umumnya. Kurva $I-V$ ditandai dengan penurunan nilai arus yang lambat seiring

dengan bertambahnya tegangan hingga di titik $V=17,8$ Volt yang merupakan daerah lutut (*knee*) dari grafik. Setelah titik tersebut, arus mengalami penurunan yang sangat drastis dan tegangan bertambah sedikit saja. Pada kurva P-V kurva yang terbentuk menyerupai gunung dimana terdapat titik puncak nilai daya yang dapat dicapai oleh model ini..



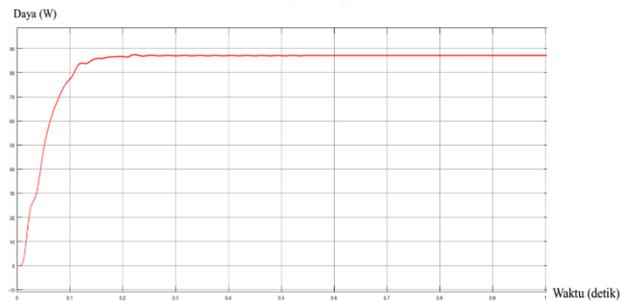
Gambar 7. Hubungan antara I-V



Gambar 8. Hubungan antara P-V
Simulasi Sistem dengan Data Masukan Tetap

Pada bagian ini sistem akan disimulasikan pada kondisi *Standard Test Conditions* (STC), yaitu iradiasi $1000\text{W}/\text{m}^2$ dan suhu solar panel 25°C . Gambar 8 menunjukkan kurva karakteristik dari solar sel saat kondisi iradiasi $1000\text{W}/\text{m}^2$ dan suhu 25°C . Dimana daya maksimum yang dapat dicapai oleh solar sel adalah 100 Watt. Pada Gambar 9 dengan keadaan menggunakan algoritma ICM solar sel mampu menghasilkan daya sebesar 88,37 Watt. Maka terlihat bahwa daya yang dihasilkan oleh sistem dengan algoritma ini mampu mendekati nilai daya maksimum solar sel. Nilai ini tidak sesuai karena daya solar sel berisolasi, maka data daya solar sel memiliki penyebaran nilai rata-rata tersebut. Pembulatan yang dilakukan pada perhitungan juga membuat munculnya

ketidakseimbangan tersebut. Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa osilasi terjadi ketika sistem MPPT sudah menemukan titik kerja optimalnya.



Gambar 9. Hasil Simulasi Daya menggunakan Algoritma ICM

Simulasi Sistem dengan Data Masukan bervariasi.

Pada bagian ini, sistem MPPT akan disimulasikan pada kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Agar mampu melakukan analisa yang mendalam dan melihat performansi dari algoritma ini maka dilakukan dua simulasi yang berbeda. Pada simulasi pertama kondisi iradiasi matahari bervariasi sedangkan suhu dijaga konstan sedangkan simulasi kedua kondisi suhu bervariasi sedangkan iradiasi matahari dijaga konstan. Perhitungan untuk mencari nilai efisiensi dari data masukan yang bervariasi berdasarkan persamaan 1.

Tabel 1. Variasi Kondisi Iradiasi

NO	Iradiasi (W/m^2)	Suhu ($^\circ\text{C}$)	P (W)	Pmaks	Efisiensi
				MPPT ICM (W)	MPPT ICM (%)
1	100	25	10	8,58	85,80
2	200	25	20	16,74	83,7
3	300	25	30	25,79	85,96
4	400	25	40	34,84	87,1
5	500	25	50	43,82	87,64
6	600	25	60	52,86	86,7
7	700	25	70	59,93	85,63
8	800	25	80	70,33	87,91
9	900	25	90	79,48	88,31
10	1000	25	100	88,37	88,37

Tabel 2. Variasi Kondisi Suhu Solar Sel

NO	Iradiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	P (W)	Pmaks	Efisiensi
				MPPT ICM (W)	MPPT ICM (%)
1	1000	25	100	88,37	88,37
2	1000	30	97,49	85,74	87,94
3	1000	35	95,31	84,11	88,24
4	1000	40	93,12	82,23	88,03
5	1000	45	90,92	80,31	88,33

Pengujian Simulasi Sistem Pengisian Baterai dengan Data Ril

Pada hasil simulasi pengisian baterai masukan solar sel menggunakan data ril lingkungan pada sudut kemiringan solar sel bervariasi dengan parameter yang diukur adalah SOC baterai sebelum pengujian juga dibuat bervariasi mulai dari 10% sampai 90%. SOC baterai setelah pengujian adalah SOC dalam simulasi dan waktu lama pengisian dalam keadaan ril.

Pada hasil pengujian menggunakan data masukan ril dan SOC baterai konstan 10% sebelum pengisian pada Tabel 3 pertambahan SOC baterai sangat dipengaruhi data masukan solar sel. Data masukan solar sel terdiri dari dua yaitu, iradiasi matahari dan suhu solar sel semakin besar nilai data masukan solar sel maka semakin besar pertambahan nilai SOC baterai. Pada Tabel 3 terdapat data masukan ril yang bervariasi, pada Tabel 3 nilai data masukan paling besar adalah 900,6 W/m² nilai iradiasi matahari dan 42 °C suhu solar sel. Dengan nilai SOC baterai 10% sebelum pengisian dibuat konstan dan sesudah pengisian menjadi 10,2% pertambahan SOC baterai sebesar 0,2% dengan waktu simulasi dalam keadaan ril 100 menit.

Tabel 3. Hasil pengujian menggunakan data ril SOC baterai 10%

NO	Data Masukan		SOC baterai (%)		Durasi pengujian (menit)
	Iradiasi (W/m ²)	Suhu (C°)	Sebelum	Sesudah	
1	172,22	31	10	10	100
2	192,76	31	10	10	100
3	379,2	34	10	10	100
4	799,48	43	10	10,2	100
5	948	41	10	10,2	100
6	145,36	42	10	10	100
7	900,6	42	10	10,2	100
8	761,56	39	10	10,2	100
9	773,41	44	10	10,2	100
10	122,45	37	10	10	100
11	373,67	33	10	10	100
12	74,102	32	10	10	100
13	107,76	32	10	10	100

Pada hasil pengujian menggunakan data masukan ril dan SOC baterai konstan 90% sebelum pengisian pada Tabel 4 pertambahan SOC baterai sangat dipengaruhi data masukan solar sel. Data masukan solar sel terdiri dari dua yaitu, iradiasi matahari dan suhu solar sel semakin besar nilai data masukan solar sel maka semakin besar pertambahan nilai SOC baterai. Pada Tabel 4 terdapat data masukan ril yang bervariasi, pada Tabel 4 nilai data masukan paling besar adalah 900,6 W/m² nilai iradiasi matahari dan 42 °C suhu solar sel. Dengan nilai SOC baterai 90% sebelum pengisian dibuat konstan dan sesudah pengisian menjadi 90,2% pertambahan SOC baterai sebesar 0,2% dengan waktu simulasi dalam keadaan ril 100 menit.

Perbedaan hasil simulasi pengisian baterai dengan SOC baterai 10% dan 90% adalah dengan pengaturan besar SOC 10% kenaikan 0,1% SOC baterai terjadi pada 2,7 detik pada waktu simulasi atau 27 menit waktu ril pengujian dan SOC baterainya dengan pengaturan besar SOC 90% kenaikan 0,1%

SOC baterai terjadi pada 1,8 detik pada waktu simulasi atau 18 menit waktu ril pengujian.

Tabel 4. Hasil pengujian menggunakan data ril SOC baterai 90%

No	Data Masukan		SOC baterai (%)		Durasi pengujian (menit)
	Iradiasi (W/m ²)	Suhu (C°)	Sebelum	Sesudah	
1	172,22	31	90	90	100
2	192,76	31	90	90	100
3	379,2	34	90	90	100
4	799,48	43	90	90,2	100
5	948	41	90	90,2	100
6	145,36	42	90	90	100
7	900,6	42	90	90,2	100
8	761,56	39	90	90,2	100
9	773,41	44	90	90,2	100
10	122,45	37	90	90	100
11	373,67	33	90	90	100
12	74,102	32	90	90	100
13	107,76	32	90	90	100

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang didapat dari Matlab/Simulasi daya keluaran maksimum yang dapat dihasilkan sistem solar sel 100 W menggunakan MPPT algoritma ICM sebesar 88,37 W dan analisis dari penggunaan Algoritma ICM pada proses pengisian baterai menggunakan data ril masukan solar sel mampu meningkatkan efisiensi pengisian baterai.

Dengan memvariasikan besar SOC (%) baterai dalam hasil pengujian simulasi dapat dilihat baterai dengan SOC baterai 10% dan 90% adalah dengan pengaturan besar SOC 10% kenaikan 0,1% SOC baterai terjadi pada 2,7 detik pada waktu simulasi atau 27 menit waktu ril pengujian dan SOC baterainya dengan pengaturan besar SOC 90% kenaikan 0,1% SOC baterai terjadi pada 1,8 detik pada waktu simulasi atau 18 menit waktu ril pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Azmi Saleh, Dkk. 2017. "Desain Kontrol Maximum Power Point Tracking (MPPT) Menggunakan Incremental Conductance (INC) pada DC/DC tipe SEPIC". Universitas Jember. Jember.
- Bayu Prima, Dkk. 2014. "Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking Pada Panel Photovoltaic Berbasis Logika Fuzzy di Buoy Weather Station". Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Dohardo P.H ' ' 2017. Perancangan Prototipe Fotovoltaik untuk Aplikasi Alat Rumah Tangga Berkapasitas 150 Watt dan Analisis Harmonisa Inverter". Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Riau.
- Luque A dan Hegedus S. 2003. " ' Status, Trends, Challenges, and Bright Future of Solar Electricity From Photovoltaic". In Handbook of Photovoltaic Science and Engineering (pp 1-41). John Wiley & Sons, LTD.
- Mochammad Firman dan Subuh Isnur. 2017. "Simulasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) Panel Surya Menggunakan Perturb and Observe sebagai Kontrol BuckBoost Converter". Universitas Negeri Surabaya. Surabaya.
- Schmid, J., & Schmidt, H. 2003. Power Conditioning for Photovoltaic PowerSystems. In Handbook of Photovoltaic Science and Engineering (pp. 863-903). John Wiley & Sons, LTD.
- Sumathi, S ; Ashok Kumar, L; Surekha, P 2015. "Solar PV and Wind Energy Conversion Systems An Introduction to Theory. Modeling with Matlab/Simulink".
- Yi, K. & Lu fa, Y. 2009. The Perturbation and Observation method based on the P-V rate of curve. IEEE.