

Algoritma Incremental Conductance dan Perturbation Observation Sebagai Kendali MPPT PLTS 1000Wp

Handoko Rusiana Iskandar¹, Yuda Bakti Zainal², Susanto Sambasri³ dan M. Haris Yogi Ernanda⁴

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani

¹handoko.rusiana@lecture.unjani.ac.id, ²yudazainal@gmail.com, ³santo.sambasri@gmail.com,

⁴muhammadhrs23@gmail.com

Abstrak

Konsumsi listrik di Indonesia terus meningkat, di saat cadangan energi konvensional terus menurun, hal ini mendorong manusia beralih ke energi baru dan terbarukan yang menjamin ketersediaan sumber listrik. Suatu sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) telah terpasang di Laboratorium Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani dengan kapasitas 1000 Wp. Sistem PLTS diusulkan sebagai sumber listrik baru untuk mendukung kebutuhan listrik laboratorium selain PLN. *Maximum power point tracking* (MPPT) merupakan suatu metode yang digunakan untuk memaksimalkan energi matahari terhadap performa keluaran tegangan, arus dan daya PLTS. Makalah ini membandingkan pemodelan yang telah dilakukan menggunakan algoritma MPPT yaitu *Incremental Conductance* (IC) dan *Perturbation & Observation* (P&O) dalam kondisi ideal pada *Standard Test Condition* (STC) 1000 W/m² dan temperatur 25°C. Algoritma disimulasikan menggunakan perangkat lunak PSIM 9.0. Pemodelan kendali MPPT *DC/DC Boost Converter* disesuaikan dengan karakteristik PLTS 1000 Wp dan dihitung untuk memenuhi jaringan PLN 220V/50 Hz. Hasil simulasi menunjukkan kendali MPPT dengan algoritma P&O memiliki *output* daya yaitu 960 W dan memiliki efisiensi 99,9% saat kondisi STC sedangkan menggunakan metode IC sebesar 944 W dan memiliki efisiensi 98,7%. Metode P&O dipilih mampu memberikan hasil yang maksimum dibandingkan dengan metode IC pada sistem PLTS 1000 Wp di Laboratorium Teknik Elektro.

Kata kunci: *DC/DC Boost converter*, PLTS, MPPT, *incremental conductance*, *perturbation & observation*.

Abstract

Nowadays, electricity consumption in Indonesia still rising the future, as fuel cell energy reserves continue to decline, this has pushed people to switch to new and renewable energy which guarantees the availability of new electricity sources. A Photovoltaic system has been installed in the Electrical Engineering Laboratory with a capacity of 1 kWp. The PV system is proposed as a new source of electricity to support the electricity needs of laboratories other than PLN. This paper compares the modeling that has been done using the Maximum power point tracking (MPPT) algorithm namely Incremental Conductance (IC) and Perturbation & Observation (P&O) in Standard Test Condition (STC) of 1000 W/m² and a temperature of 25°C. The control simulation of the MPPT DC / DC Boost Converter is calibrated to satisfy the 220V/50 Hz PLN grid. The simulation results the MPPT control with the P&O algorithm has output power of 960 W and an efficiency of 99,9 % when using the IC process has 944 W and an efficiency of 98,7%. The P&O was selected to have optimum performance relative to the IC approach in the 1000 Wp PLTS system in the Electrical Engineering Laboratory.

Keyword: *DC/DC Boost converter*, PV, MPPT, *incremental conductance*, *perturbation & observation*.

1. Pendahuluan

Laboratorium Teknik Elektro, Universitas Jenderal Achmad Yani memiliki sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 1000 *Watt peak* (Iskandar, Zainal, & Sambasri, 2018). Karakteristik panel *photovoltaic* (PV) dapat dilihat parameter dalam kurva I-V seperti arus hubung singkat (I_{SC}), rangkaian tegangan terbuka (V_{OC}), *fill factor* (FF) dan beberapa parameter lain akan berdampak pada performa PV (Iskandar & Fakhri, 2018). Energi yang diterima oleh panel PV bervariasi dan berfluktuasi bergantung kondisi lingkungan di sekitar PLTS. Faktor ini adalah iradiasi matahari dan temperatur *site* PLTS sehingga karakteristik dari arus dan tegangan yang dihasilkan PLTS berubah-ubah (Iskandar, Zainal, & Purwadi, 2017). Karena keunikan yang dimiliki oleh panel PV, panel PV tidak dirangkai ke beban secara langsung namun, menggunakan sebuah rangkaian konverter *DC/DC* sebagai penghubung antara panel PV dan beban (Nejabatkhah & Li, 2015). Panel PV memiliki titik daya maksimum atau disebut sebagai *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) yang terjadi ketika arus dan tegangan berada pada operasi maksimumnya (Abdourraziq,

Ouassaid, Maaroufi, & Abdourraziq, 2013). tetapi nilai karakteristik ini sangat bergantung pada tingkat iradiasi matahari dan temperatur permukaan sel PV. MPPT merupakan suatu metode yang digunakan untuk memaksimalkan perolehan energi matahari terhadap performa keluaran tegangan, arus dan daya yang khas pada PLTS (Anowar & Roy, 2019). MPPT juga berperan sebagai sebuah sistem elektronik yang dioperasikan oleh sebuah panel PV, sehingga panel PV dapat

Info Makalah:

Dikirim : 07-15-20;
Revisi 1 : 08-14-20;
Revisi 2 : 09-17-20;
Diterima : 09-17-20.

Penulis Korespondensi:

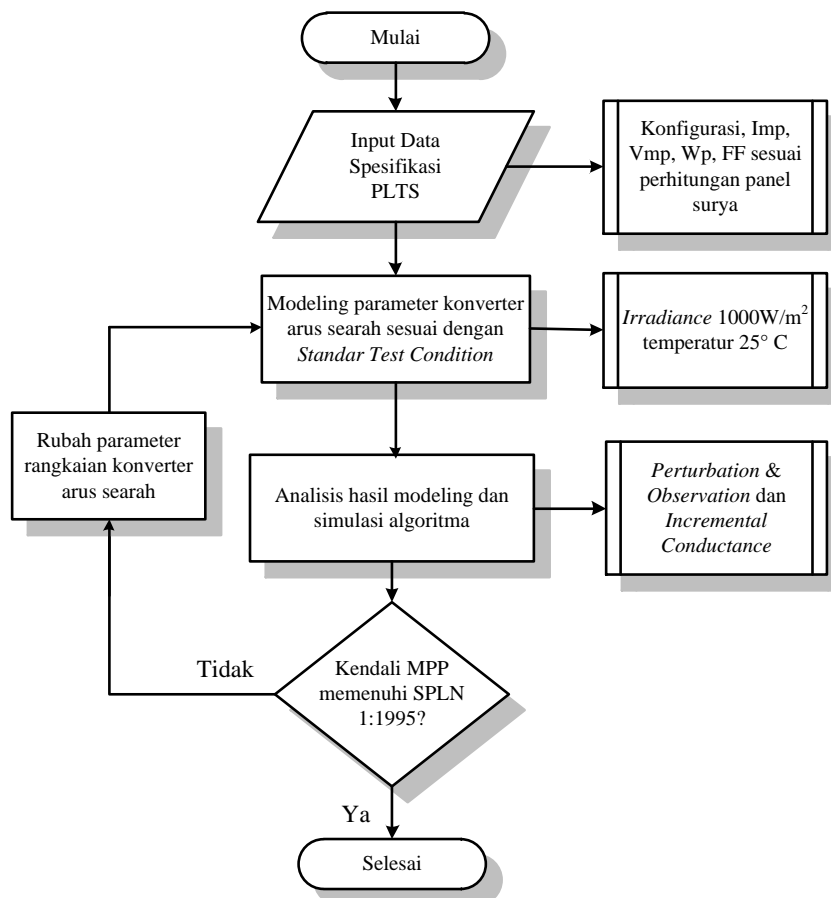
Telp : +62-811-125-551
e-mail : handoko.rusiana@lecture.unjani.ac.id

menghasilkan daya yang maksimal. Kemudian PLTS, dibutuhkan adanya komponen *grid connected inverter* agar modul PV dapat mengirim daya ke jaringan (Naick, Chatterjee, & Chatterjee, 2017). Hal yang harus dilakukan yaitu menginterkoeksi tegangan arus searah ke tegangan arus bolak – balik, salah satunya *converter* elektronika daya berfungsi untuk mengkonversi hal tersebut (Hossain Ismail, Ahmed Shakil, Shahifullah Md, 2011). Dari beberapa penelitian di atas paling banyak digunakan adalah metode P&O dan IC namun tidak dibandingkan efisiensi mana yang paling mendekati kriteria jaringan (Raharja, Eviningsih, Ferdiansyah, & Yanaratri, 2019).

Latar belakang tersebut mendorong peneliti untuk mengusulkan suatu model yang ideal untuk kendali MPPT yang memiliki efisiensi tinggi serta desain komponen konverter MPPT dilakukan dengan beberapa jenis algoritma kendali konverter. Tujuannya adalah mencari efisiensi kendali MPPT *control* menggunakan 2 algoritma *Perturbation and Observation* (P&O) dan algoritma *Incremental Conductance* (IC) untuk kapasitas eksisting PLTS 1000 Wp dengan minimum efisiensi 93% dan capaian target daya *output* 230 – 400 V_{DC} saat kondisi *Standard Test Condition* (STC). Sehingga, usulan kendali MPPT dapat bekerja sesuai karakteristik yang diinginkan dan memenuhi kriteria *Grid* PLN 220 V/50Hz. Penelitian ini dilakukan pada sistem PLTS 1 kWp Laboratorium Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani. Tujuan ini diawali dengan analisis karakteristik keluaran daya eksisting yang dihasilkan oleh PLTS, membuat simulasi *DC/DC Converter* dengan kendali MPPT dengan algoritma P&O dan algoritma IC. Kemudian membandingkan performa dan efisiensi daya *output* yang dihasilkan masing – masing algoritma MPPT.

2. Metode

Metode yang digunakan dalam simulasi dan pemodelan ini harus memenuhi beberapa tahapan pengujian, mulai dari studi karakteristik panel PV, desain *DC/DC boost converter* dan rangkaian kendali MPPT. Pengumpulan data eksisting diperlukan sebagai dasar untuk menentukan parameter desain *DC/DC boost converter* sesuai dengan kriteria yang diinginkan, setelah desain nilai dasar terpenuhi pada *boost converter*, tahap selanjutnya adalah dengan melakukan simulasi menggunakan bantuan perangkat lunak elektronika daya yaitu PSIM 9.0. Hasil simulasi tersebut digunakan sebagai referensi yang kemudian akan dianalisa. Diagram alir studi menggunakan algoritma MPPT ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Desain Model dan Simulasi

Karakteristik Sistem PV

Nilai I_{mp} adalah arus puncak maksimum dimana kondisi ini beriringan dengan nilai tegangan (V_{mp}). Apabila melakukan perkalian antara nilai I_{mp} dengan nilai V_{mp} maka daya maksimum akan terpenuhi dalam performa sel PV. Arus daya maksimum akan lebih kecil nilainya dibandingkan dengan nilai arus hubung singkat (I_{SC}). Parameter karakteristik ini ada dalam papan nama PV yang dibuat oleh manufaktur. Selain itu, Faktor pengisian disebut juga sebagai *fill factor* adalah nilai terdekat suatu sel fotovoltaik berdasarkan pada nilai konstanta tertentu. Faktor ini menjadi kunci untuk menentukan berapa besar efisiensi yang mampu panel surya serap menjadi energi listrik (Karina & Satwiko, 2015). Nilai *fill factor* pada panel surya yang baik adalah 0,7, langkah ini dilakukan sebelum instalasi sebagai verifikasi *nameplate* panel surya (White, 2015). Penting kita mengetahui tanda pengenal pada panel surya. Hasil studi yang sudah dilakukan PLTS Laboratorium Teknik Elektro memiliki tanda pengenal mekanis ditunjukkan pada tabel 1. Kemudian untuk menghitung nilai FF hingga mencari nilai efisiensi panel PV. Lihat persamaan (1) – (3) untuk mencari solusi nilai tersebut,

Tabel 1. Data Mekanik Panel PV

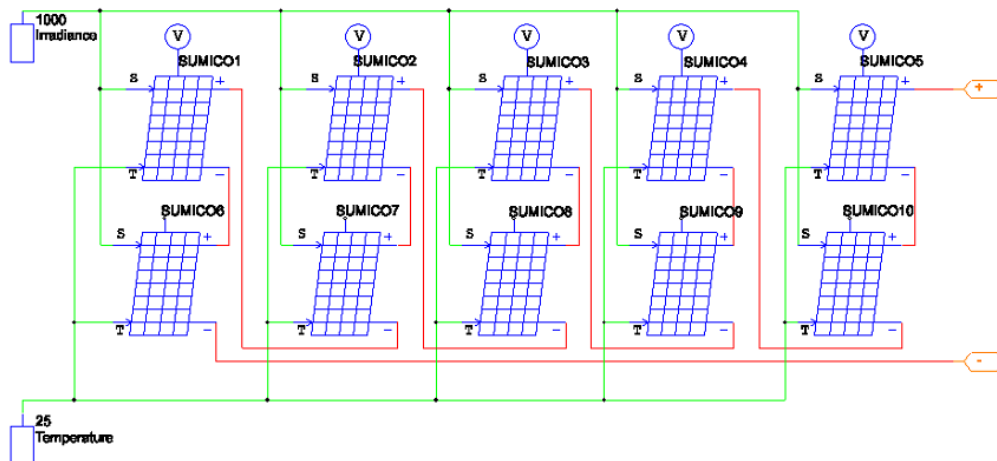
No	Data Mekanik	Keterangan
1	Modul Surya	
	a) Panjang	1,23 m
	b) Lebar	0,56 m
	c) Ketebalan	350 mm
	d) Berat	6,5 kg
2	Sel Surya	
	a) Jenis	<i>Si-mono Crystalline</i>
	b) Konfigurasi sel	1 sel paralel , 36 sel seri
	c) Area sel surya	191 cm ²

$$P_{max} = I_{SC} \times V_{OC} \times FF \tag{1}$$

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{OC} \times I_{SC}} \tag{2}$$

$$Eff (\eta) = \frac{I_{SC} \times V_{OC} \times FF}{Luas_{Area_{PV}}(m^2) \times Incident_{solar_irradiation}} \tag{3}$$

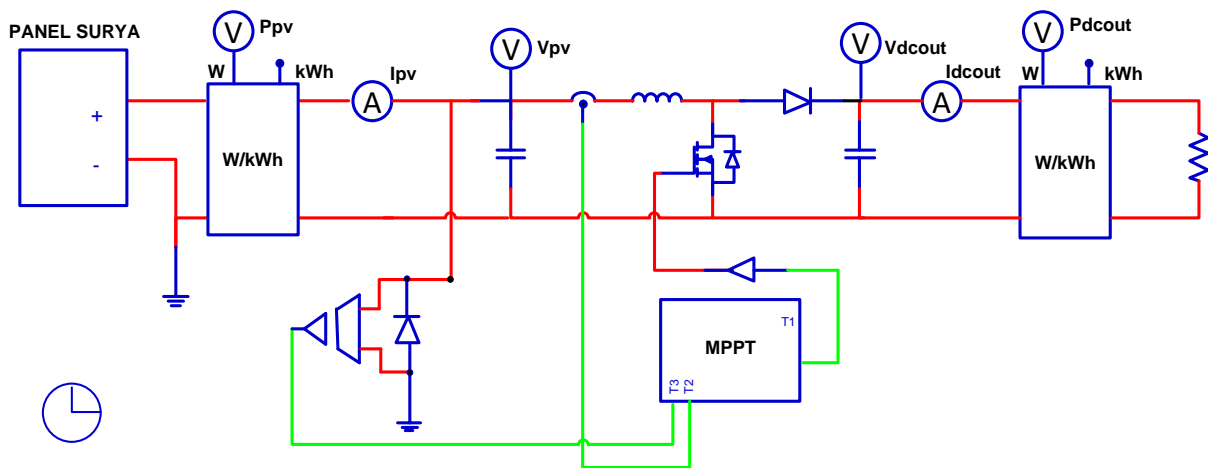
Daya keluaran yang besar pada panel PV diperoleh dari gabungan dari beberapa sel PV yang disebut dengan modul panel PV hingga terbentuk jaringan PV *Array*. Gambar 2 menunjukkan bahwa PV disimulasikan dihubungkan secara paralel untuk menghasilkan tegangan, arus atau daya yang tinggi. Konfigurasi system PLTS di Laboratorium Teknik Elektro UNJANI menggunakan konfigurasi seri 10 modul PV, seperti data pada (Iskandar et al., 2018) dimana masing–masing modul memiliki arus operasi maksimal sebesar 5.56 A dan tegangan maksimum kondisi operasi 18 V maka total tegangan yang dihasilkan 180 VDC. Daya puncak maksimum sistem PLTS menghasilkan 1.008 kWp, *DC/DC Boost Converter* dan kontrol MPPT dapat bekerja dengan performa yang baik dilihat dari simulasi keluaran untuk kriteria sistem PLTS terhubung jaringan PLN 220VAC/50Hz.



Gambar 2. Rangkaian Seri 10 Panel PV 1 kWp

Model DC/DC Boost Converter

Rangkaian konverter disimulasikan menggunakan beberapa komponen penting diantaranya sumber tegangan DC (V_s), MOSFET sebagai sakelar (S), induktor (L), dioda (D), tahanan beban (R_L) dan kapasitor (C). Di mana (I_o) arus keluaran, (V_o) adalah tegangan keluaran. Seperti yang ditunjukkan dalam simulasi pada Gambar 3 merupakan proses pensakelaran terjadi ketika saklar gerbang (S) terbuka, polarisasi pada komponen dioda akan terjadi secara bersamaan. Tegangan induktor (L) kemudian naik perlahan ke tegangan sumber utama (V_s), urutan ini diakhiri dengan menghasilkan jumlah tegangan keluaran (V_o) yang lebih besar dari (V_s) sumber utama dan mengalami penguatan dengan polaritas yang sama. Dengan demikian, beban (R_L) diumpankan melalui komponen induktor (L) dan sumber tegangan (V_s). Hasil dari simulasi rangkaian *DC/DC Converter* tersebut menunjukkan *input* tegangan minimal yang dibutuhkan untuk sistem PLTS yang mampu mengirim daya ke jaringan PLN adalah minimal 210-214 V. Tegangan yang dihasilkan panel PV adalah 180 VDC, maka tegangan normal harus dinaikkan minimal 220V atau beroperasi dengan penguatan tegangan 1,2 kali.



Gambar 3. Skematik Rangkaian *DC/DC Boost Converter* dengan Kontrol MPPT

Nilai dan parameter rangkaian *DC/DC Boost Converter* dikendalikan menggunakan algoritma MPPT. Kriteria ini MPPT memiliki 3 parameter utama yaitu, nilai kapasitansi filter keluaran panel (C_{pv}), Induktansi *boost converter* (L_{pv}) dan kapsitansi DC-link (C_{dc}). Untuk mengetahui nilai-nilai tersebut, perlu diketahui *duty cycle* maksimal dari induktor (Farhat, Barambones, & Sbita, 2017). Nilai D maksimum dihitung menggunakan persamaan berikut,

$$D = -1 \frac{V_{in}}{V_{out}} \tag{4}$$

$$L = \frac{V_{in} (V_{out} - V_{in})}{\Delta I L \cdot F \cdot V_{out}} \tag{5}$$

$$C_{pv} = \frac{D (V_{in})}{4F^2 \times \Delta p_v \times \Delta V} \tag{6}$$

$$C_{dc} = \frac{P}{2 \times \omega f \times V_{out} \times \Delta V} \tag{7}$$

$$L = \frac{V_{in} \times (V_{out} - V_{in})}{\Delta I L \times F \times V_{out}} \tag{8}$$

Persamaan (4) menunjukkan D sebagai *duty cycle*, nilai V_{in} adalah tegangan masukan minimal, dan V_{out} sebagai tegangan keluaran. Tegangan minimum dari sistem adalah 180 V, untuk menghasilkan pada sisi AC diatas 220 Vrms tegangan minimal yang diperlukan 300 V. Untuk menaikkan proses penguatan tersebut nilai D dihitung berdasarkan persamaan (4). Hasil perhitungan tersebut memiliki keluaran minimum sebesar 178 V dan pada spesifikasi panel PV nilai arus hubung singkat adalah 6.02 A (Iskandar et al., 2019). Nilai induktansi, kapasitansi dan parameter yang dibutuhkan dalam persamaan (4)–(8) ditunjukkan oleh tabel 2 berikut,

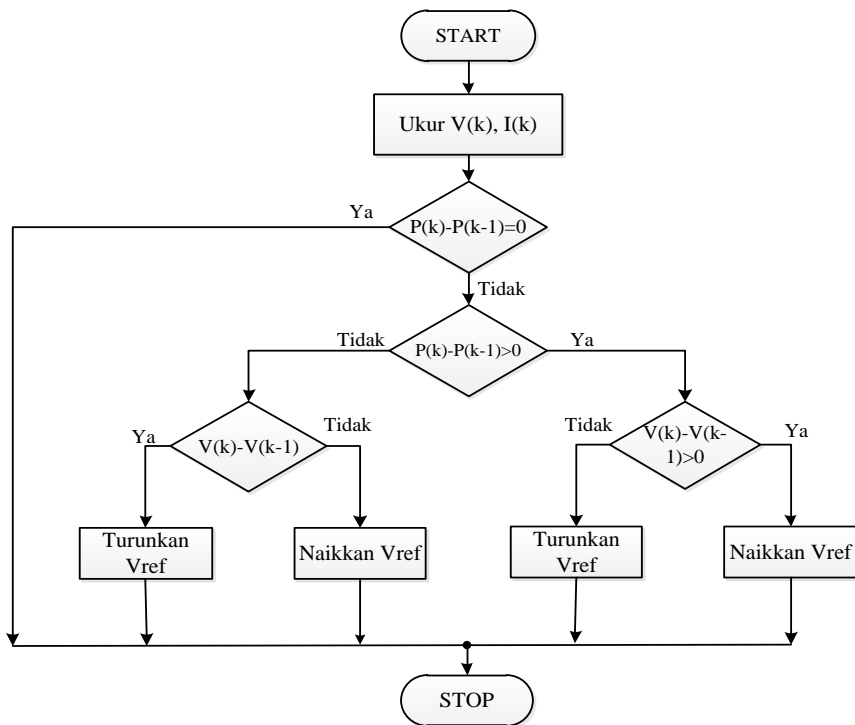
Tabel 2. Hasil Perhitungan Parameter Simulasi *DC/DC Converter*

No	Variable	Hasil Perhitungan	Nilai Simulasi yang digunakan	Simbol
1	Duty Cycle	0,55	0,55	(D)
2	Inductance	7,5	10	(L) mH
3	Photovoltaic Capacitance	18	100	(Cpv) μ F
4	DC Line Capacitance	145	250	(Cdc) μ F

Tabel 2 menunjukkan nilai induktansi *DC/DC boost converter* dapat menyimpan energi dan untuk model rangkaian ini nilai induktansi digenapkan menjadi 10 mH. Karena *DC/DC boost converter* didesain terhubung ke inverter maka tegangan *input* DC harus berisolas di sekitar operasi kerjanya maka apabila terdapat nilai riak tegangan konverter diminimalkan di bawah 5V. Harga arus dan tegangan *input* dari panel PV bergantung dari kondisi STC maka nilai Cpv dibuat lebih besar 100 uF. Kapasitansi pada panel PV dipengaruhi oleh *input* bervariasi, nilai riak maksimalnya diatur 0,1 Volt. Pemakaian kapasitor yang nilainya besar akan mengurangi riak dan memperbaiki kualitas dari tegangan DC. Maka pada simulasi ini nilainya dipilih menjadi 250 uF untuk mempresentasikan keandalan minimal. DC *output* PV dinaikkan oleh kendali MPPT bertugas secara optimal untuk mengambil daya dari PV. Arus searah dikendalikan untuk dinaikkan nilainya.

Perturbation & Observation (P&O) Method

Metode P&O sangat sederhana untuk diaplikasikan. Walaupun, dalam operasinya metode ini memiliki rugi-rugi daya terhadap kondisi naik turunnya nilai MPP secara konstan. Beberapa sumber referensi menjelaskan kekurangan menggunakan metode ini, diantaranya bahwa kinerja P&O tidak memberikan respon yang stabil seiring dengan pergantian tingkat *irradiance* (Selmi, Abdul-niby, & Davis, 2014). Berikut algoritma menggunakan metode P&O ditunjukkan oleh Gambar 4. Umumnya panel PV tidak secara otomatis dapat bekerja pada titik maksimalnya, melainkan di kontrol menggunakan MPPT yang berguna untuk mencari titik maksimal dari panel PV dan mempertahankan panel PV bekerja pada titik maksimalnya. Selain menggunakan metoda IC metoda *Perturbation & Observation* dalam algoritma MPPT juga dilakukan dalam menyusun sistem PV 1 kWp. Metode P&O bekerja dengan dua tahap, pertama adalah *perturb* yang berfungsi mengkonversi tegangan referensi (V_{ref}). Kedua tahap *observation* yaitu tahap yang berfungsi untuk menghitung kondisi perubahan daya akibat aksi yang ada oleh *perturb* sebelumnya. P&O disebut juga dengan metode *hill climbing*, yang mengacu pada karakteristik V-P dari sel PV (Farhat et al., 2017). Ada 3 jenis titik yang berada pada 3 posisi di sebelah kiri puncak $dP/dV > 0$, dipuncak kurva $dP/dV = 0$ dan di sebelah kanan puncak $dP/dV < 0$. Oleh karena itu daya, arus dan tegangan dari keluaran panel PV terhadap *irradiance* disimulasikan dalam kondisi yang bervariasi.



Gambar 4. Diagram Alir Algoritma P&O

Incremental Conductance (IC) Method

Metode MPPT *Incremental Conductance* (IC) beroperasi pada gradien kurva P-V atau kurva V-I sel PV. MPP sel PV berada pada harga tegangan yang bervariasi di setiap keadaan lingkungan yang berbeda, disebut V_{mp} . MPPT memberikan V_{ref} agar titik kerja sel PV terdapat dinilai V_{mp} tersebut (Shah & Joshi, 2013). Performa operasi dari P-V sel PV adalah fungsi daya dengan tegangan, keadaan ini akan berada pada titik maksimum saat gradien berharga nol (Tiong Meng Chung, Daniyal, Sulaiman, & Bakar, 2017). Pendekatan secara matematis dilihat berdasarkan persamaan (9)–(12).

$$\frac{d_p}{d_v} = 0 \tag{9}$$

$$\frac{d_{(v.i)}}{d_v} = \frac{V \cdot d_I + d_v + 1}{d_v} \tag{10}$$

$$V \frac{d_I}{d_v} + 1 = 0 \tag{11}$$

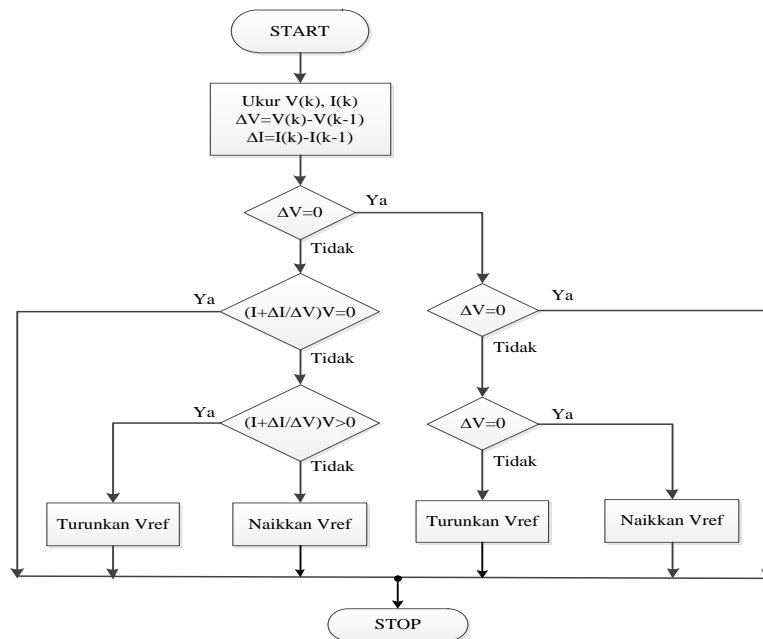
$$\frac{d_I}{d_v} = -\frac{I}{V} \tag{12}$$

Operasi Tegangan V_{ref} yang dihasilkan IC bernilai konstan per iterasi. Harga perubahan V_{ref} tersebut diperoleh berdasarkan waktu penjajakan ketika mendekati nilai puncak dan osilasi nilai puncak. Parameter-parameter ini memiliki hubungan terbalik, maka selalu ada kompensasi di setiap parameter yang ingin diperbaiki. Perubahan V_{ref} yang besar mempercepat waktu *tracking*, namun sulit mencapai V_{mp} dan menyebabkan osilasi disekitar MPP (Ananthi & Kannapiran, 2017). Oleh sebab itu, operasi kerja dari algoritma ini berfungsi menjadikan nilai V_{ref} yang berbeda, berikut kondisi titik operasi algoritma berdasarkan persamaan (13) - (15).

$$\frac{d_I}{d_v} = -\frac{I}{V}; \left(\frac{d_P}{d_v} = 0\right) \tag{13}$$

$$\frac{d_I}{d_v} > -\frac{I}{V}; \left(\frac{d_P}{d_v} > 0\right) \tag{14}$$

$$\frac{d_I}{d_v} < -\frac{I}{V}; \left(\frac{d_P}{d_v} < 0\right) \tag{15}$$

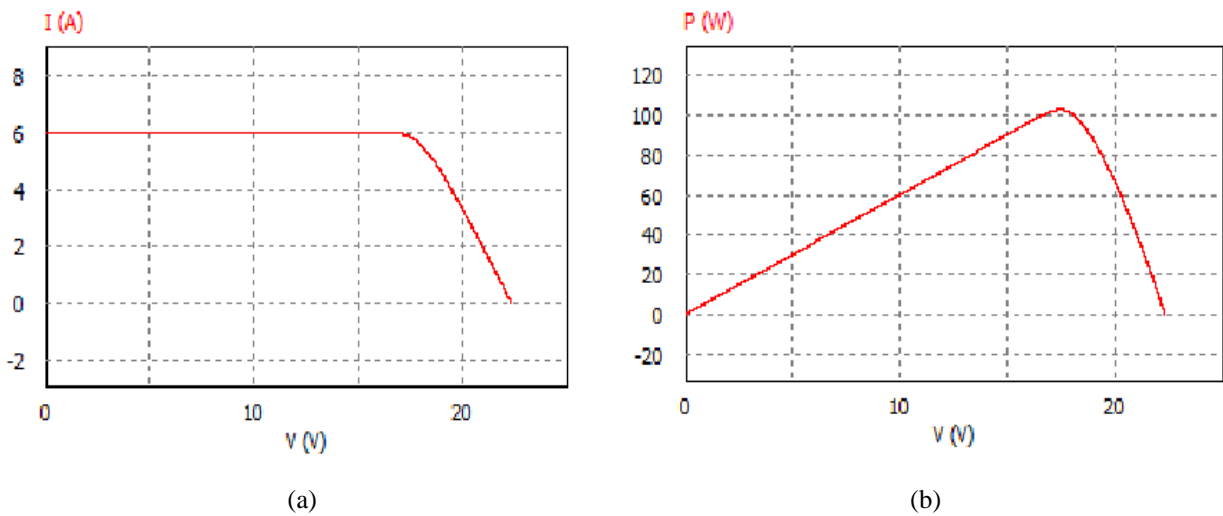


Gambar 5. Diagram Alir Algoritma IC

Algoritma IC yang ditunjukkan pada Gambar 5 di atas diimplementasikan dengan tujuan untuk menemukan rasio daya terhadap tegangan (dP/dV) dari *array* PV yang bernilai nol pada MPP. Algoritma IC ini diuji adalah untuk menghilangkan keadaan osilasi *steady-state* karena daya akan menurun seiring dengan tegangan menghilang di saat MPP (Ananthi & Kannapiran, 2017).

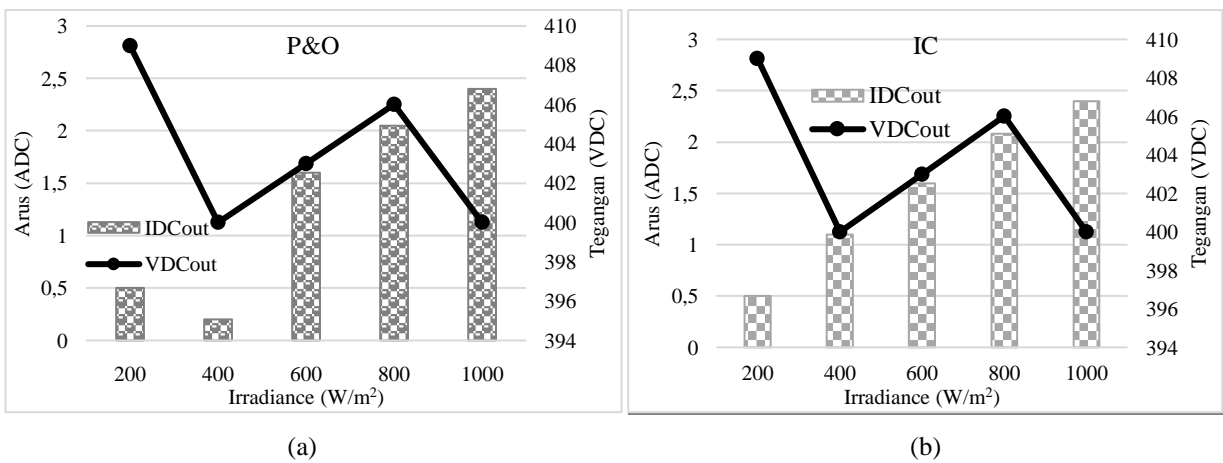
3. Hasil dan Pembahasan

Nilai I_{sc} dihasilkan pada arus listrik maksimum ketika menurun menuju nol. I_{sc} berbanding lurus selama *irradiance* matahari tersedia. Peran tegangan V_{oc} bernilai maksimum ketika arus dalam kondisi nol. Nilai V_{oc} didesain meningkat secara logaritma beriringan dengan kenaikan *irradiance* matahari, karakter ini yang memungkinkan panel PV terus berada dalam kondisi *peak* sesuai STC dan dalam kondisi mantap untuk mengisi baterai (lihat Gambar 6). Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (1)–(3) dan data dari tabel 1, karakteristik panel PV memiliki nilai *fill factor* sebesar 0,74 dengan asumsi dalam kondisi *standar test condition* (STC) $1000W/m^2$ maka efisiensi sel PV si-mono adalah 14,4%.



Gambar 6. Karakteristik Panel PV a) Kurva I-V, b) Kurva P-V

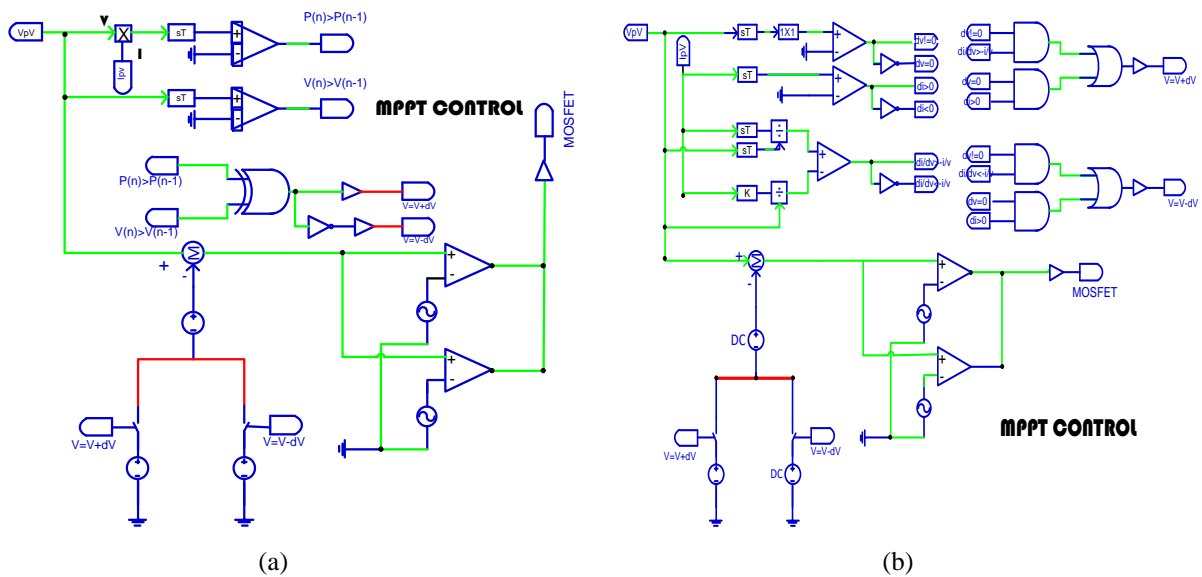
Dari hasil simulasi dengan menggunakan *irradiance* yang bervariasi dengan temperatur yang konstan $25^{\circ}C$, tegangan operasi panel PV berada di kisaran 180–190 V. Ini menunjukkan bahwa *irradiance* tidak memberikan efek signifikan pada tegangan, namun pada arus dapat dilihat nilai arus pada *irradiance* $1000 W/m^2$ adalah 5,2 A dan pada *irradiance* $200 W/m^2$ adalah 1,2 A. Harga tersebut menandakan bahwa dampak *irradiance* terhadap arus adalah berbanding lurus dimana semakin kecil *irradiance* semakin kecil juga arus yang dihasilkan panel PV. Kondisi ini menghasilkan karakteristik PV yang ideal. Model *DC/DC Boost Converter* dengan kontrol MPPT P&O disimulasikan menggunakan *irradiance* yang bervariasi yaitu $200W/m^2$, $400W/m^2$, $600W/m^2$, $800 W/m^2$ dan $1000W/m^2$.



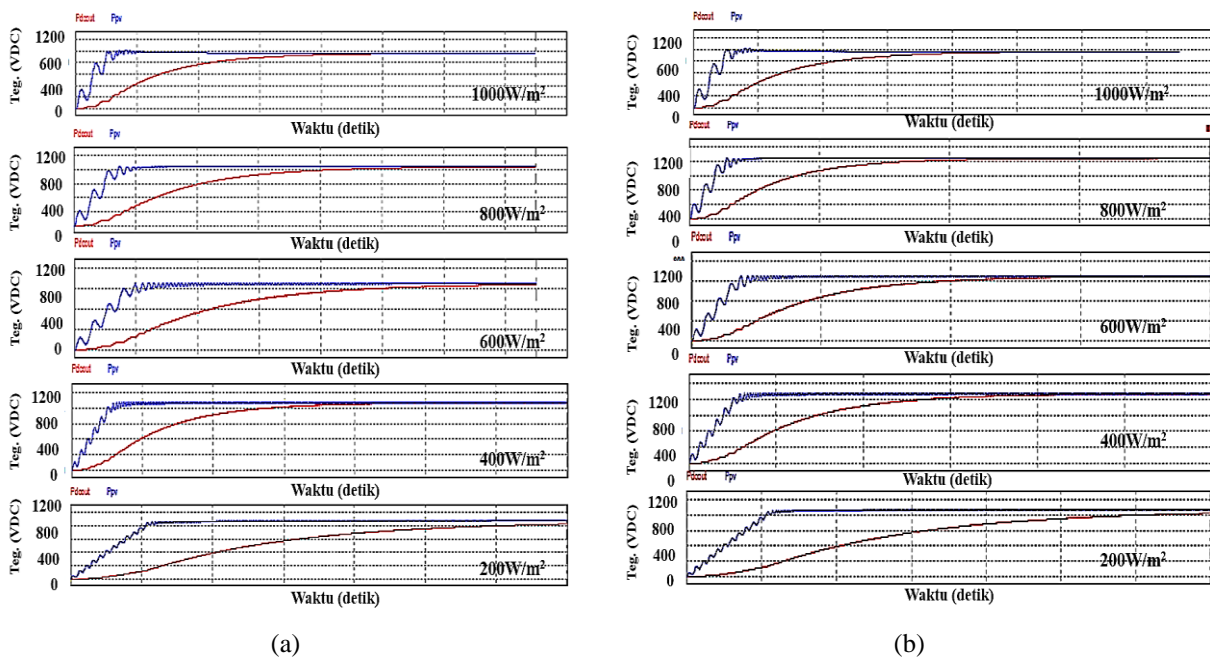
Gambar 7. Hasil Pengujian *Ouput* Tegangan dan Arus; a) P&O, b) IC

Sensor tegangan dan arus akan membaca parameter dari system yang selanjutnya memproses perubahan dari tegangan dan daya melalui *differentiator* (sT). Data yang dikumpulkan dari sistem menggunakan metode P&O

ditunjukkan oleh Gambar 7 a) dan metode IC pada Gambar 7 b). Penggunaan algoritma P&O digunakan untuk melihat bagaimana karakteristik penguatannya hingga mencapai titik daya maksimum (MPP). Kita dapat dengan mudah melihat dari Gambar 7 menunjukkan bahwa tegangan terus meningkat lebih banyak ketika bergerak ke arah MPP. Kemudian dari sini kita melihat bahwa arus juga berbanding lurus dengan level *irradiance* hingga meningkat mencapai MPP. Rangkaian pada Gambar 8 menunjukkan bahwa rangkaian kontrol MPPT P&O memiliki keadaan operasi saat perubahan kenaikan daya $P(n) > P(n-1)$ yang beriringan dengan harga tegangan di $V(n) > V(n-1)$ sehingga harga V_{ref} akan ditambahkan sesuai tahap tegangan 0,1 dan ketika kondisi turun $V(n) < V(n-1)$ maka harga V_{ref} dikurangi sebesar 0,1. Selanjutnya kondisi pada saat perubahan daya menurun $P(n) < P(n-1)$ dengan tegangan yang meningkat $V(n) > V(n-1)$ maka V_{ref} ditambah sebesar 0,1 dan ketika tegangan turun $V(n) < V(n-1)$ maka tegangan referensi dikurangi sebesar 0,1. Kemudian menghitung selisih dari tegangan yang terbaca dari panel surya dengan V_{ref} yang sudah terakumulasi dengan tahap tegangan dan hasil dari selisih tegangan akan dilanjutkan ke PWM. Semua aturan yang telah dibuat dalam diagram alir diimplementasikan dalam bentuk rangkaian kendali MPPT menggunakan PSIM 9.0.



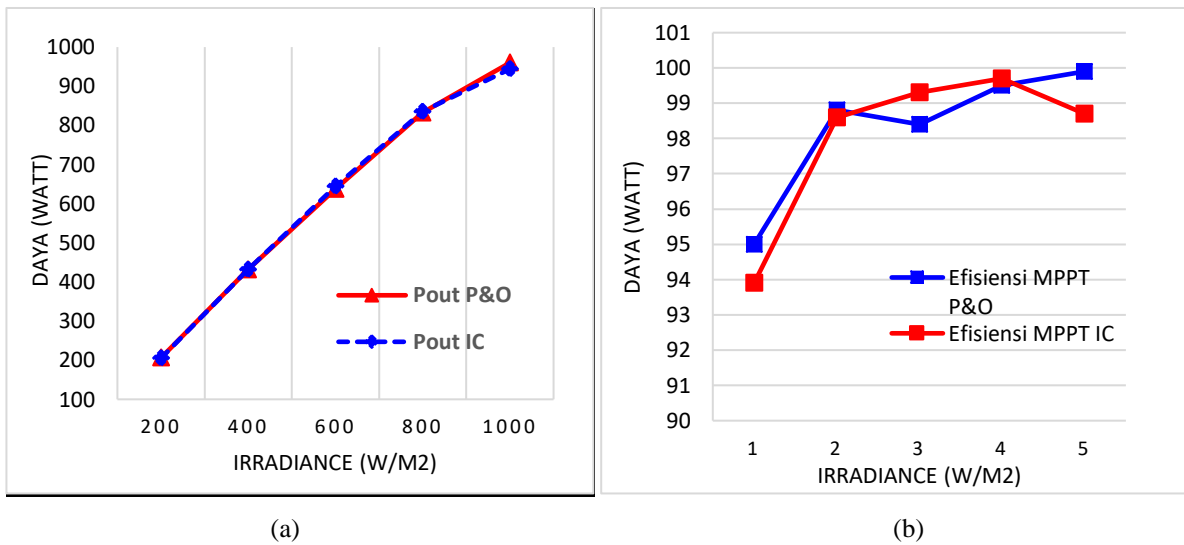
Gambar 8. Rangkaian Simulasi Kontrol MPPT a). Metode P&O, b) Metode IC



Gambar 9. Hasil Simulasi Kontrol MPPT a). Metode P&O, b) Metode IC

Hasil algoritma kendali MPPT IC beriterasi tetap, yang disimulasikan dengan menghasilkan lebih banyak osilasi. Metoda kendali MPPT IC yang dimodifikasi dengan karakteristik sel PV eksisting. Titik operasi dari kendali MPP

meningkat yang memungkinkan kemampuan pelacakan cepat. Jika titik operasi dekat dengan MPP, mengurangi siklus tugas sehingga osilasi berkurang dengan baik, itu meningkatkan efisiensi. Metode konduktansi tambahan menggunakan sensor tegangan dan arus untuk menandakan adanya tegangan *output* dan arus ada sel PV. Pada MPP, kemiringan kurva P-V sama dengan nol. Gambar 9 menunjukkan rangkaian kontrol MPPT IC yang disimulasikan menggunakan PSIM 9.0 dengan sistem yang dibuat menjadi kondisi pada saat perubahan nilai tegangan sama dengan nol ($dv=0$) dengan perubahan arus yang meningkat ($di>0$) maka tegangan referensi V_{ref} ditambah tahap tegangan (ΔV) sebesar 0,1 dan ketika kondisi arus menurun ($di<0$) maka tegangan referensi dikurangi sebesar 0,1. Kondisi lain adalah pada saat perubahan tegangan tidak sama dengan nol ($dv\neq 0$) dengan nilai *incremental conductance* (di/dv) lebih besar dari negative *instant conductance* (i/v) maka tegangan referensi ditambah dengan tahap tegangan sebesar 0,1 dan ketika nilai di/dv lebih kecil dari negative i/v maka tegangan referensi dikurangi tahap tegangan sebesar 0,1. Kemudian menghitung selisih dari tegangan yang terbaca dari panel PV dengan tegangan referensi yang sudah terakumulasi dengan tahap tegangan dan hasil dari selisih tegangan dilanjutkan ke PWM. Hasil simulasi tersebut menunjukkan hasil simulasi menggunakan PSIM 9.0 sesuai dengan karakteristik panel PV terhadap *irradiance* matahari yang telah dijelaskan sebelumnya dan juga MPPT algoritma P&O dan IC dapat bekerja dengan baik dalam menelusuri daya maksimal dari panels PV dari *irradiance* yang berbeda-beda.



Gambar 10. Hasil Pengujian *Output* Tegangan dan Arus; a) P&O, b) IC

Meskipun algoritma kendali MPPT P&O dan IC sama-sama memiliki kinerja yang baik, pemilihan variabel pada rangkaian sangat penting. Jika ukuran *irradiance* besar dipilih, pengendali MPPT akan terus meningkat hingga mencapai titik daya maksimum dengan sangat cepat, tetapi dengan akurasi yang berkurang dan peningkatan osilasi di sekitar titik operasi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 9 a) dan Gambar 9 b) di masing-masing metode. Harus ada modifikasi khusus untuk titik daya maksimum agar dapat dicapai lebih akurat, Dengan kata lain, karena ukuran setiap varian dianggap ideal dan konstan dalam kedua algoritma MPPT ini, efektivitas respon masing-masing berbeda hingga mendapatkan efisiensi yang berbeda pula.

Tabel 3. *Summary* Hasil Simulasi Kontrol MPPT Metode P&O, dan Metode IC

No	Irradiance (W/m ²)	MPPT Metode P&O				MPPT Metode IC			
		VDC _{out} (V)	IDC _{out} (A)	P _{out} (W)	Efisiensi MPPT ($\eta = \%$)	VDC _{out} (V)	IDC _{out} (A)	P _{out} (W)	Efisiensi MPPT ($\eta = \%$)
1	200	409	0,5	206	95	409	0,5	205	93,9
2	400	400	1,2	431	98,8	396	1,1	431	98,6
3	600	403	1,6	637	98,4	403	1,6	644	99,3
4	800	406	2,05	833	99,5	406	2,08	835	99,7
5	1000	400	2,4	960	99,9	400	2,4	944	98,7

Tabel 3 menunjukkan hasil komparasi efisiensi daya PV hasil pengujian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi di saat *irradiance* berada pada *irradiance* 600 – 1000 W/m². Nilai ini berada pada titik tertinggi puncak matahari atau *Peak Sun Hour* (PSH). Maka kendali MPPT yang digunakan pada saat 1000 W/m² dianggap nilai yang paling ideal. Tegangan operasi kerja di masing-masing algoritma menunjukkan kondisi optimum dan memenuhi standar PLN 1 Tahun 1995 yaitu untuk diteruskan ke dalam Blok inverter (*DC/AC Converter*) yang beroperasi minimum 230–400 V_{AC} dan 50Hz. Algoritma IC memiliki efisiensi >98,7%, sedangkan efisiensi menggunakan algoritma P&O adalah 99,9%. Dari hasil tabel perbandingan di atas, kendali MPPT dengan metode P&O memiliki *output* daya yang lebih tinggi yaitu 960 W sedangkan menggunakan metode IC sebesar 944 W. Dengan

selisih 16 W pada kondisi PSH maka metode P&O dianggap mampu memberikan hasil yang maksimum dibandingkan dengan metode IC pada sistem PLTS 1000 Wp di Laboratorium Teknik Elektro.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi pada masing–masing algoritma dan pemodelan rangkaian *DC/DC boost converter* dengan menggunakan kendali MPPT, algoritma P&O menghasilkan daya *output* yang lebih tinggi dibandingkan dengan algoritma IC. Rangkaian *DC/DC Boost Converter* yang telah dimodelkan, dianalisa berdasarkan kesesuaian desain awal yang diinginkan pada PLTS 1 kWp. Tegangan *output* yang dihasilkan 400VDC, nilai ideal ini digunakan sebagai rangkaian penguat untuk sistem PLTS terhubung jaringan PLN 220V/50 Hz atau *Grid Connected PV System*. Dimana tegangan operasi operasi pada rangkaian konverter adalah 230 V_{DC} untuk kemudian diubah ke tegangan arus bolak–balik minimum 230 V_{AC} menggunakan inverter terhubung jaringan dengan frekuensi kerja 50Hz. Pemodelan Kontrol MPPT pada *DC/DC boost converter* dapat diimplementasikan langsung ke sistem PLTS 1 kWp dengan efisiensi yang paling baik. Kendali MPPT *DC/DC boost converter* dengan menggunakan algoritma P&O menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma IC dengan selisih 1,2 %. Dimana efisiensi antara algoritma P&O 99,9% dan algoritma IC 98,7%. Kedua algoritma dapat diterapkan pada sistem PLTS 1000 Wp di Laboratorium Teknik Elektro.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Jenderal Achmad Yani atas hibah internal berdasarkan nomor: SKEP/129/UNJANI/V/2020 yang telah diberikan pada penulis dan kepada pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah banyak membantu atas terselenggaranya pengujian dalam studi ini.

Daftar Notasi

P_{max}	=	Maximum Power [Watt]
I_{sc}	=	Short Circuit Current [Ampere]
V_{oc}	=	Open Circuit Voltage [Volt]
FF	=	Fill factor
V_{mp}	=	Operation Voltage Maximum at Peak [Volt]
I_{mp}	=	Operation Current Maximum at Peak [Ampere]
V_{ref}	=	Reference Voltage [Volt]
Eff (η)	=	Output Efficiency [%]
D	=	Duty Cycle [second]
V_{in}	=	Input Voltage [Volt]
V_{out}	=	Output Voltage [Volt]
L	=	Inductor [mili-Henry (mH)]
F	=	Frequency [Hertz (Hz)]
C_{pv}	=	Photovoltaic Capacitance Filter [mikro-farad (μF)]
C_{dc}	=	DC-link Capacitance [mikro-farad (μF)]
IL	=	Inductor Current [Ampere]
V_{rms}	=	Root Mean Square Voltage [Volt]
d_p/d_v	=	Change Power with Respect to Voltage
d_i/d_v	=	Incremental Conductance
$\Delta I/\Delta V$	=	Variation Current to Voltage
$\Delta P/\Delta V$	=	Variation Power to Voltage
ΔIL	=	Total Inductor Current [Ampere]
ΔV	=	Total Output Voltage [Volt]
k	=	Constant for silicone [0.7 – 08]

Daftar Pustaka

- Abdourraziq, M. A., Ouassaid, M., Maaroufi, M., & Abdourraziq, S. (2013). Modified P&O MPPT technique for photovoltaic systems. In *Proceedings of 2013 International Conference on Renewable Energy Research and Applications, ICRERA 2013* (pp. 728–733). <http://doi.org/10.1109/ICRERA.2013.6749849>
- Ananthi, C., & Kannapiran, B. (2017). Improved design of sliding-mode controller based on the incremental conductance MPPT algorithm for PV applications. In *Proceedings - 2017 IEEE International Conference on Electrical, Instrumentation and Communication Engineering, ICEICE 2017* (Vol. 2017–Decem, pp. 1–6). <http://doi.org/10.1109/ICEICE.2017.8191848>

- Anowar, M. H., & Roy, P. (2019). A Modified Incremental Conductance Based Photovoltaic MPPT Charge Controller. In *2nd International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering, (ECCE)* (pp. 1–5). Cox's Bazar: IEEE. <http://doi.org/10.1109/ECACE.2019.8679308>
- Farhat, M., Barambones, O., & Sbita, L. (2017). A real-time implementation of MPPT-based on P&O method. In *International Conference on Electronic Devices, Systems, and Applications* (pp. 1–5). Ras Al Khaimah: IEEE. <http://doi.org/10.1109/ICEDSA.2016.7818463>
- Hossain Ismail, Ahamed Shakil, Shahifullah Md, H. J. (2011). Design and Implementation of MPPT Controlled Grid Connected Photovoltaic System. In *IEEE Symposium on Computers & Informatics* (pp. 284–289). Kuala Lumpur: IEEE. <http://doi.org/10.1109/ISCI.2011.5958928>
- Iskandar, H. R., & Fakhri, Z. (2018). Optimum Tilt Angle and Near Shading Analysis for 1000 Watt Peak Photovoltaic Application System. In *Seminar Nasional Sains dan Teknologi* (pp. 1–12). Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta. Retrieved from <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3425>
- Iskandar, H. R., Sambasri, S., Saputra, D. I., Heryana, N., Purwadi, A., & Marsudiono. (2019). IoT Application for On-line Monitoring of 1 kWp Photovoltaic System Based on NodeMCU ESP8266 and Android Application. In *2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)* (pp. 230–234). Bali: IEEE. <http://doi.org/10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011154>
- Iskandar, H. R., Zainal, Y. B., & Purwadi, A. (2017). Studi Karakteristik Kurva I-V dan P-V pada Sistem PLTS Terhubung Jaringan PLN Satu Fasa 220 VAC 50 HZ menggunakan Tracking DC Logger dan Low Cost Monitoring System. In *Seminar Nasional Penerapan Ipteks Menuju Industri Masa Depan (PIMIMD-4)* (pp. 174–183). <http://doi.org/10.21063/PIMIMD4.2017.174-182>
- Iskandar, H. R., Zainal, Y. B., & Sambasri, S. (2018). Study and Analysis of Shading Effects on Photovoltaic Application System. *1st International Conference on Industrial Electrical and Electronics (ICIEE) International Board and Program Committee, 218(2004), 1–8.* <http://doi.org/https://doi.org/10.1051/mateconf/201821802004>
- Karina, A., & Satwiko, S. (2015). Studi Karakteristik Arus-Tegangan (Kurva I-V) pada Sel Tunggal Polikristal Silikon serta Pemodelannya. In *Pertrmuan Ilmiah XXV HFI Jateng & DIY* (pp. 163–166).
- Naick, B. K., Chatterjee, T. K., & Chatterjee, K. (2017). Performance Analysis of Maximum Power Point Tracking Algorithms Under Varying Irradiation. *International Journal of Renewable Energy Development, 6(1), 65.* <http://doi.org/10.14710/ijred.6.1.65-74>
- Nejabatkhah, F., & Li, Y. W. (2015). Overview of Power Management Strategies of Hybrid AC/DC Microgrid. *IEEE Transactions on Power Electronics, 30(12), 7072–7089.* <http://doi.org/10.1109/TPEL.2014.2384999>
- Raharja, L. pradigta setiya, Eviningsih, R. P., Ferdiansyah, I., & Yanaratri, D. S. (2019). Perancangan Dan Implementasi DC-DC Bidirectional Converter Dengan Sumber Energi Listrik Dari Panel Surya Dan Baterai Untuk Pemenuhan Kebutuhan Daya Listrik Beban. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu), 7(2), 111–118.* <http://doi.org/10.32487/jtt.v7i2.709>
- Selmi, T., Abdul-niby, M., & Davis, A. (2014). P&O MPPT Implementation Using MATLAB/Simulink. In *Ninth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)* (pp. 1–4). Monte-Carlo: IEEE. <http://doi.org/10.1109/EVER.2014.6844065>
- Shah, K. B., & Joshi, L. P. (2013). Comparative Analysis of Incremental Conductance Base MPPT for Multi-String Photovoltaic System. In *Nirma University International Conference on Engineering (NUiCONE)* (pp. 1–6).
- Tiong Meng Chung, T. M. C., Daniyal, H., Sulaiman, M. H., & Bakar, M. S. (2017). Comparative study of P&O and modified incremental conductance algorithm in solar maximum power point tracking (Vol. 9, p. 43 (6 .)-43 (6 .)). <http://doi.org/10.1049/cp.2016.1300>
- White, S. (2015). *Solar Photovoltaic Basics: A Study Guide for the NABCEP Entry Level Exam*. New York: Routledge, ISBN No 978-1-315-77011-6