

ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA ALGORITME *PERTURB AND OBSERVE* (P&O) DAN *INCREMENTAL CONDUCTANCE* (IC) PADA SISTEM KENDALI *MAXIMUM POWER POINT TRACKER* (MPPT) UNTUK SISTEM *PHOTOVOLTAIC* (PV) PARALEL

Muhammad Ihsan Fadriantama¹, R.M. Sisdarmanto Adinandra²

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia
Jl Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia

¹14524074@students.uii.ac.id

²s.adinandra@uui.ac.id

Abstrak—Perubahan intensitas radiasi matahari dan suhu permukaan panel yang tidak linier menjadi permasalahan utama sistem PV untuk memefisienkan konversi energi. Pengendalian dengan menggunakan metode *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) diterapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut. MPPT menerapkan algoritme optimasi *Perturb and Observe* (P&O) dan *Incremental Conductance* (IC). Tujuan digunakannya kedua algoritme optimasi populer tersebut adalah menganalisis kelebihan dan kekurangan masing-masing algoritme dalam mengoptimalkan *output* sistem PV. Metode yang digunakan adalah melakukan simulasi pengendalian MPPT pada sistem PV yang dirangkai secara paralel. *Output* dari sistem PV akan yang digunakan sebagai pengisi baterai diatur dengan *buck-boost converter*. Tingkat *switching* dari *buck-boost converter* diaktifkan oleh *Pulse Width Modulation* (PWM) yang berasal dari *duty cycle* hasil produk dari MPPT. Hasil dari penelitian ini adalah sistem kendali MPPT dapat mengoptimalkan daya keluaran sistem PV paralel hingga 91,2 % dari daya yang dihasilkan tanpa MPPT. Kelebihan Sistem kendali MPPT berbasis algoritme P&O mampu menghasilkan daya yang lebih tinggi namun kekurangannya memiliki osilasi yang besar. Sedangkan sistem kendali MPPT berbasis algoritme IC lebih tidak membahayakan baterai karena osilasi *output* rendah namun kekurangannya memiliki *rise time* yang lambat dan hasil daya lebih kecil dibandingkan algoritme P&O.

Kata kunci—P&O; IC; MPPT; *Buck-Boost Converter*.

I. PENDAHULUAN

Dalam satu dekade terakhir pembangkit listrik yang banyak dikembangkan adalah PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) menggunakan alat konversi energi listrik dengan nama “Panel Surya”. Panel Surya adalah alat yang terdiri dari sel surya (*Photovoltaic*), aki, dan baterai yang mengubah cahaya menjadi listrik. Panel surya menghasilkan arus searah atau DC dan melakukan penyimpanan tegangan dan arus pada baterai [1].

Energi cahaya matahari yang tidak akan habis menjadikan alasan pembangunan PLTS semakin meningkat. Daya yang di

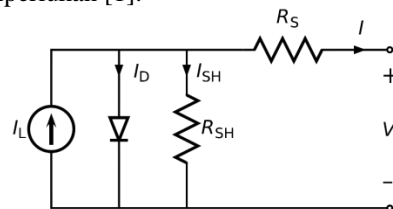
produksi dan di simpan oleh panel surya atau sering di sebut dengan sistem PV (*Photovoltaic*) dipengaruhi oleh faktor suhu dan intensitas radiasi cahaya matahari. Perubahan kedua faktor non-linier ini menjadi penyebab utama sistem PV sulit memaksimalkan konversi energi listrik dan penyimpanan daya.

Sistem kendali MPPT akan mengatur produksi dan penyimpanan daya sistem PV memanfaatkan DC-DC *buck-boost converter*. *Buck-Boost Converter* dikendalikan oleh sinyal PWM yang berasal dari *duty cycle* hasil operasi algoritme MPPT. Pada penelitian ini, diterapkan dua buah algoritme pengendalian yaitu *Perturb and Observe* (P&O) dan *Incremental Conductance* (IC) ke dalam sistem kendali MPPT. Tujuannya adalah untuk analisa kelebihan dan kekurangan setiap algoritme terhadap sistem PV besar yang dihubungkan secara paralel.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Panel Surya

Panel Surya adalah alat yang terdiri dari sel surya (*Photovoltaic*), aki, dan baterai yang mengubah energi cahaya menjadi listrik. Panel surya sering kali dikenal sebagai sel *Photovoltaic* yang diartikan “cahaya-listrik”. PV mengubah energi sinar matahari menjadi listrik melalui proses aliran-aliran elektron negatif dan positif didalam sel modul tersebut karena ada perbedaan elektron. Hasil dari aliran elektron-elektron akan menjadi listrik DC yang dapat langsung dimanfaatkan untuk mengisi baterai / aki sesuai tegangan dan arus yang diperlukan [1].



GAMBAR 1. RANGKAIAN LISTRIK EKUIVALEN DENGAN PANEL SURYA

Gambar 1 merupakan rangkaian listrik yang ekuivalen dengan sistem panel surya atau PV. Dari rangkaian tersebut diperoleh rumus untuk sistem PV sebagai berikut.

$$I = I_L - I_D - I_{sh} \quad (1)$$

$$I_L = [I_{sc} + k_i (T - T_{ref})] \times \frac{\beta}{1000} \quad (2)$$

$$I_D = I_{rs} \left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^3 \times e^{\left(\frac{T}{T_{ref}} - 1\right)} \times \frac{qE_{g0}}{N_s K_A T} \times \left(e^{\frac{q(V+IR)}{N_s K_A}}\right) \quad (3)$$

$$I_{sh} = \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{R.C.f} \quad (6)$$

$$L = \frac{(1 - D)^2 \cdot R}{2.f} \quad (7)$$

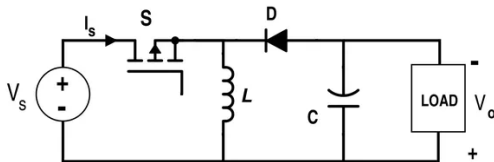
TABEL 1 PARAMETER SISTEM PV

Simbol	Keterangan	Nilai
T_{ref}	Suhu Referensi	298 Kelvin
I_{sc}	Arus Hubung Singkat	*)
k_i	Konstanta koefisien suhu Arus Hubung singkat	0.0032 W/m ²
q	Muatan elektron	1.6 × 10 ⁻¹⁹ Coulomb
R_s	Hambatan Seri	*)
N_s	Jumlah Sel Seri	*)
K	Konstanta Boltzman	1.38 × 10 ⁻²³ J/K
A	Faktor Ideal Dioda	*)
E_{g0}	Band Gap Energy	1.1 eV
V_{oc}	Tegangan Sirkuit terbuka	*)
R_{sh}	Hambatan Shunt	*)

Tabel 2.1 menjelaskan tentang ketentuan nilai parameter yang digunakan dalam persamaan (1.2) sampai (1.6). Tanda “*”) merupakan nilai yang ditentukan sesuai spesifikasi modul PV yang digunakan pada simulasi.

B. Buck-Boost Converter

Buck-Boost Converter sebagai salah satu saklar *regulator mode* yang menghasilkan tegangan keluaran lebih kecil atau lebih besar dibandingkan dengan tegangan masukannya. Keluaran dari *converter* ini yang akan dikendalikan oleh algoritme MPPT. *Buck-Boost Converter* ini membutuhkan pulsa PWM untuk menjadikan kondisi saturasi dan *cut-off* dari komponen MOSFET pada rangkaian *converter* hingga fungsi switching bisa aktif [2][3].



GAMBAR 2 RANGKAIAN ELEKTRIK BUCK-BOOST CONVERTER

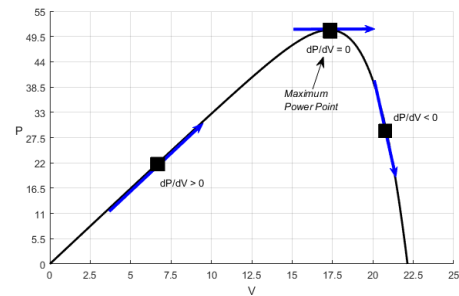
Dari Gambar 2, pada frekuensi *switching* tertentu, dapat diperoleh persamaan hubungan antara tegangan dengan *duty cycle*, nilai kapasitor, dan nilai induktor sebagai berikut:

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{I_s}{I_o} = \frac{D}{1 - D} \quad (5)$$

Tegangan keluaran konverter merupakan tegangan yang akan disimpan kedalam baterai sistem PV. Target dari sistem pengendalian yang terhubung dengan dengan *buck-boost converter* adalah untuk selalu memaksimalkan tegangan dan arus keluaran PV agar selalu menghasilkan daya pada titik maksimal sehingga daya yang akan disimpan ke baterai semakin besar.

C. MPPT (Maximum Power Point Tracker)

MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) merupakan teknik pelacakan titik daya keluaran sistem PV maksimal. Prinsip kerja MPPT adalah membaca setiap titik keluaran di kurva karakteristik P – V pada panel surya. Sistem kendali MPPT akan mengubah titik kerja sehingga *converter* memaksakan kerja panel surya sesuai kemampuan untuk selalu mencapai titik daya maksimum. MPPT bukan merupakan sebuah sistem mekanik yang membuat sistem panel surya bergerak mengikuti sesuai arah datang intensitas matahari, melainkan sistem elektronis yang bekerja untuk mengoptimalkan keluaran daya dari panel surya [1]. Kebanyakan MPPT modern sekitar 93-97% efisien dalam konversi. Yang biasa didapatkan, keuntungan 20 sampai 45% listrik di musim dingin dan 10-15% di musim panas. Keuntungan yang sebenarnya dapat bervariasi tergantung dengan kondisi cuaca, suhu, keadaan baterai biaya, dan faktor lainnya [4].



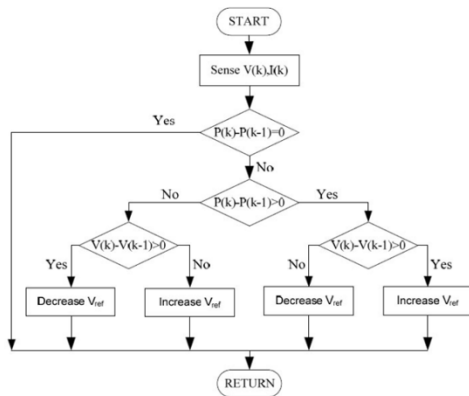
GAMBAR 3 KARAKTERISTIK MPPT PADA KURVA P - V

Dalam penelitian ini, diimplementasikan beberapa algoritme kendali untuk MPPT yang bertujuan sebagai perbandingan dari kelebihan dan kekurangan masing-masing algoritme. Algoritme-algoritme yang digunakan adalah *Perturb dan Observe* (P&O) dan *Incremental Conductance* (IC).

1) Algoritme P&O

Algoritme *Perturb and Observe* (P&O) beroperasi mendeteksi gangguan pada tegangan PV secara berkala dengan memvariasikan *duty cycle*-nya, dan mengamati daya PV untuk meningkatkan atau menurunkan tegangan PV pada

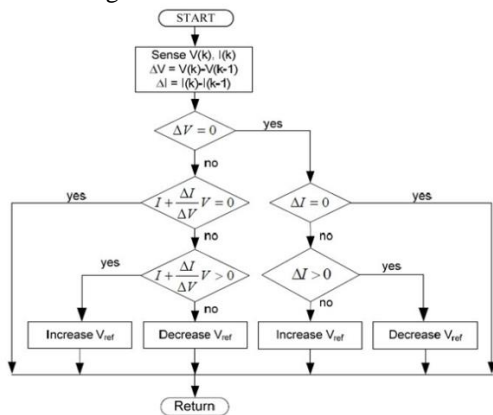
siklus berikutnya Algoritme ini bekerja untuk memindahkan titik kerja kemiringan positif maupun negatif seperti Gambar 2.3 untuk selalu berada pada titik maksimum [2]. Algoritme P&O di definisikan menjadi diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 4.



GAMBAR 4 DIAGRAM ALIR ALGORITME P&O [3]

2) Algoritme IC

Incremental Conductance (IC) dirancang berdasarkan pengamatan dari PV kurva karakteristik. Algoritme ini dikembangkan pada tahun 1993 dan dimaksudkan untuk mengatasi beberapa kelemahan dari algoritme P&O. Algoritme IC mencoba untuk meningkatkan waktu pelacakan dan untuk menghasilkan lebih banyak energi pada lingkungan perubahan radiasi besar [4]. Algoritme ini di susun dalam diagram alir sebagai berikut.



GAMBAR 5 DIAGRAM ALIR ALGORITME IC [4]

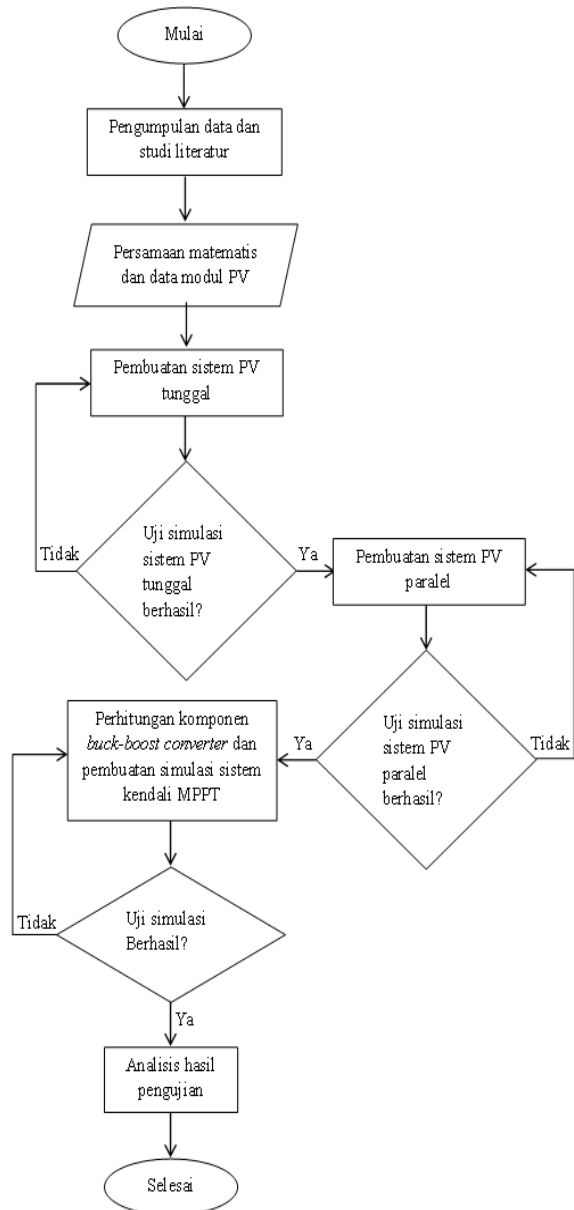
III. METODE PENELITIAN

Penelitian tentang Analisis Sistem Kendali MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) Pada Sistem PV (*Photovoltaic*) Paralel dilaksanakan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut ini :

1. Pengumpulan data, mulai dari observasi hingga studi literatur hingga mendapatkan sebuah model matematis yang sempurna untuk digunakan dalam simulasi kemudian. Serta mencari metode-metode pengendalian

untuk diterapkan di MPPT sehingga dapat memperoleh hasil yang dapat dibandingkan.

2. Perancangan simulasi yang merepresentasikan sistem PV yang asli dengan menggunakan data-data dan model matematis yang telah dikumpulkan sebelumnya. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan fungsi *simulink* dari *software* MATLAB R2015a.
3. Pengujian dan analisis hasil simulasi dengan melakukan uji coba dan evaluasi dari simulasi yang dibuat. Data hasil uji coba kemudian akan direkam dan dijadikan acuan untuk analisis.



GAMBAR 6 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

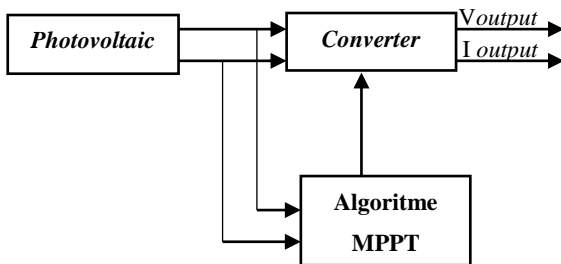
Sistem PV pada penelitian ini dibuat sesuai dengan persamaan model matematis (1) sampai (4). Modul PV yang digunakan pada simulasi ini adalah modul GS SOLAR GS-60

dengan spesifikasi sesuai dengan *datasheet* ditunjukkan pada Tabel 2 [5].

TABEL 2 SPESIFIKASI *DATASHEET* MODUL GS SOLAR GS-60

Parameter	Nilai
Tested at	1000 W/m ²
Suhu Permukaan	25°C
P _{max}	60,03 watt
V _{mpp}	69 volt
I _{mpp}	0,87 ampere
V _{oc}	88 volt
R _s	8,6292 Ω
R _{sh}	460,2205 Ω
I _{sc}	1,06 ampere
N _s	39
A	3,8
Toleransi error	± 5%

Uji coba untuk kedua simulasi sistem akan melalui uji coba dengan menyusun rangkaian sistem PV secara paralel hingga membentuk daya maksimum ±2100 Watt dan tingkat *error* ±0,54%. Langkah utama untuk mengevaluasi hasilnya adalah dengan melihat hasil uji coba output dari keseluruhan sistem dengan setiap algoritme pengendali.



GAMBAR 7 DIAGRAM BLOK PENGENDALIAN PV

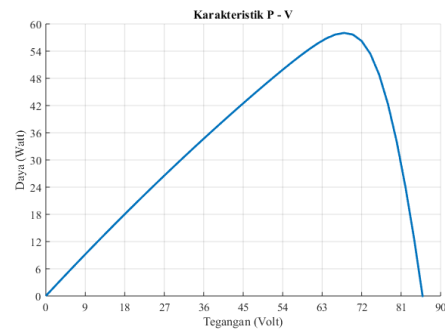
Setelah itu dengan membandingkan keseluruhan hasil maka akan dituliskan analisa serta menarik kesimpulan kelebihan serta kekurangan setiap algoritme pengendalian yang digunakan pada sistem PV paralel beserta analisa.

Gambar 7 merupakan diagram blok pengendalian yang dilakukan pada simulasi sistem PV paralel ini. Hasil pengendalian algoritme MPPT akan dibaca melalui tegangan dan arus keluaran dari *converter*.

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Pengujian Sistem PV Tunggal

Hasil pengujian simulasi sistem PV tunggal yang dibuat dengan persamaan matematis (1) sampai (4) dan menggunakan modul GS SOLAR GS-60 ditunjukkan pada Gambar 4.



GAMBAR 8 GRAFIK KARAKTERISTIK P – V

Gambar 4 merupakan hasil pengujian sistem PV tunggal pada temperatur 25°C dengan tingkat intensitas matahari 1000 W/m². Hasil daya maksimum yang diperoleh adalah 58,0115 Watt dan arus sebesar 0,8532 Ampere.

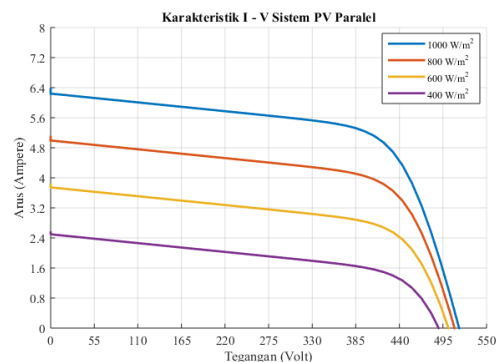
TABEL 3 PERBANDINGAN PARAMETER HASIL UJI COBA SIMULASI DENGAN SPESIFIKASI *DATASHEET*

Parameter	Datasheet	Hasil Simulasi	Error
P _{max} (Watt)	60,03	58,0115	3,36 %
V _{mpp} (Volt)	69	67,993	1,46 %
I _{mpp} (Ampere)	0,87	0,8532	1,93 %

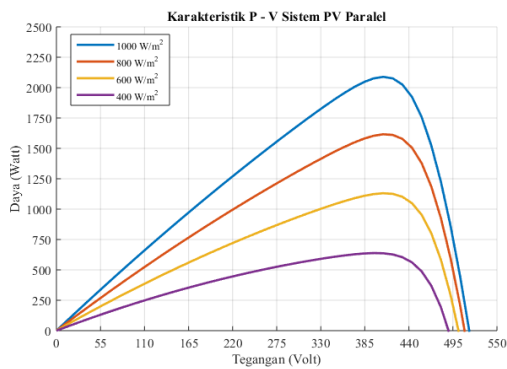
Tabel 3 menunjukkan adanya *error* antara hasil pengujian dari pada *datasheet*. Nilai *error* tertinggi terdapat pada daya senilai ±3 %. Nilai *error* yang diperoleh masih dalam batas toleransi yang ada pada *datasheet* yang mengacu pada Tabel 2. Hal ini menjelaskan bahwa model matematis dan simulasi sudah baik dan dapat digunakan.

B. Pengujian Sistem PV Paralel

Sistem PV Skala besar yang di rancang terdiri dari 6 buah modul PV GS-60 yang dihubung paralel. Pengujian Sistem PV paralel tersebut dilakukan secara kalang terbuka. Intensitas cahaya yang digunakan adalah 1000 W/m², 800 W/m², 600 W/m², 400 W/m² dengan suhu 25°C, 30 °C, 35 °C.



GAMBAR 9 KARAKTERISTIK I – V SISTEM PV PARALEL



GAMBAR 10 KARAKTERISTIK P – V SISTEM PV PARALEL

Pada intensitas 1000 W/m^2 nilai arus menurun konstan sebesar $6,2 - 0$ ampere ketika nilai tegangan naik dari $0 - 500$ volt. Nilai daya yang dihasilkan tergantung pada nilai tegangan dan arus tertentu. Dari hasil pengujian, nilai daya naik dari $0 - 2088,6$ watt saat tegangan meningkat dari $0 - 408$ volt dan arus menurun dari $6,2 - 5,119$ ampere. Di atas tegangan 408 volt, nilai daya mulai menurun hingga 0 watt. Grafik hubungan daya dengan tegangan dapat diamati pada Gambar 10.

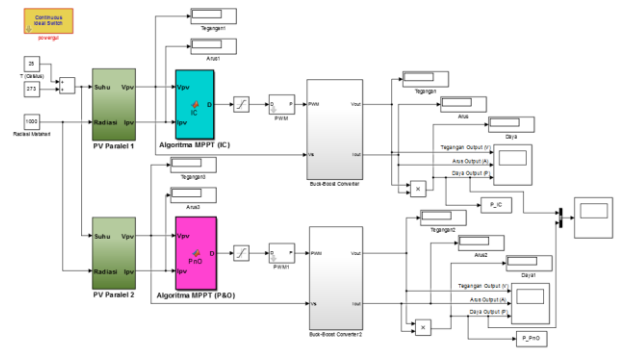
Hubungan arus, tegangan dan daya yang sama terjadi pada setiap pengujian intensitas dan suhu. Namun, nilai daya maksimum, tegangan saat daya maksimum dan arus saat daya maksimum berbeda-beda ditunjukkan pada TABEL 4.

TABEL 4 HASIL PENGUJIAN SISTEM PV PARALEL 6-MODUL

Suhu Permukaan (°C)	Intensitas (W/m^2)	P_{\max} (Watt)	V_{mpp} (Volt)	I_{mpp} (Ampere)
25	1000	2088,6	408	5,119
	800	1616,1	408	3,96
	600	1130,7	408	2,77
	400	638,4	396	1,61
30	1000	2091,1	408	5,125
	800	1623	408	3,98
	600	1138,2	408	2,79
	400	647,22	396	1,634
35	1000	2097,9	396	5,298
	800	1629,05	396	4,114
	600	1146,2	396	2,894
	400	655,2	384	1,706

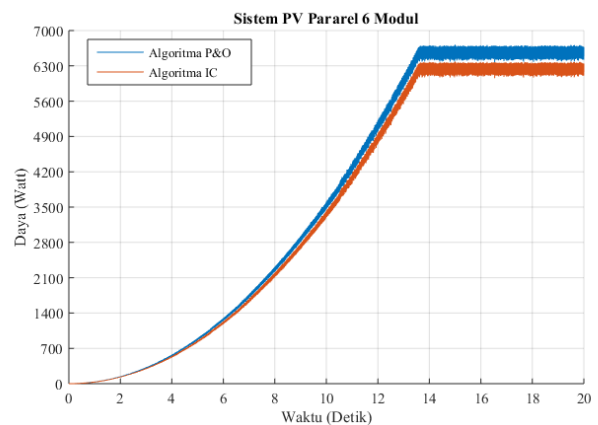
C. Pengujian Sistem Kendali MPPT

Pengujian sistem kendali ini menggunakan blok simulasi sistem PV yang terhubung langsung ke *converter* dan Sistem Kendali MPPT. Pengujian yang dilakukan ditunjukkan pada blok simulasi pada Gambar 11. Pengujian dilakukan dengan asumsi nilai intensitas cahaya dan suhu permukaan panel konstan sebesar 1000 W/m^2 dan 25°C , serta frekuensi dari *buck-boost converter* adalah 5 kHz .



GAMBAR 11 BLOK SIMULASI PENGUJIAN SISTEM KENDALI MPPT

Gambar 11 menjelaskan bahwa algoritme MPPT dibuat dalam bentuk program dan mendapatkan nilai masukan berupa tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sistem PV. Keluaran dari kedua algoritme yang digunakan adalah nilai *duty cycle* yang bervariasi sesuai dengan perhitungan dalam algoritme antara $0,15 - 0,85$. Pada sisi *buck-boost converter* resistansi yang digunakan sebagai pengganti beban bernilai $79,31 \Omega$ sesuai dengan perhitungan persamaan (5).



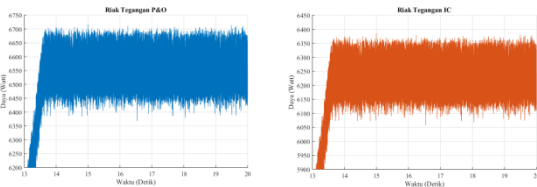
GAMBAR 12 HASIL PENGUJIAN DENGAN SISTEM KENDALI MPPT

TABEL 5 HASIL PENGUJIAN SISTEM KENDALI MPPT

Parameter	Tanpa MPPT	Dengan MPPT	
		Algoritme P&O	Algoritme IC
P (Watt)	3472,7	6640	6310
V_o (Volt)	678,4	719,2	701,2
I_o (Ampere)	5,119	9,068	8,841

D. Analisis Hasil Simulasi

Daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh 6 modul GS SOLAR GS-60 adalah sekitar $2088 - 2097$ watt ditunjukkan pada Tabel 4. Semakin tinggi suhu permukaan panel menyebabkan sistem PV paralel menghasilkan daya yang lebih tinggi. Tabel 5 menunjukkan sistem kendali MPPT dengan algoritme P&O yang terhubung dengan *buck-boost converter* mampu menghasilkan hingga 218% dari daya maksimum yang terlacak pada simulasi PV paralel.



GAMBAR 13 GRAFIK OSILASI OUTPUT SISTEM KENDALI MPPT

Saat keadaan steady-state, tegangan dan arus yang dihasilkan converter tetap berosilasi. Dari kedua algoritme, P&O memiliki osilasi lebih besar dibandingkan dengan IC. Osilasi ini terjadi disebabkan oleh *switching* pada *converter*.

Pada sistem PV yang sebenarnya, nilai osilasi ini berbahaya untuk baterai, maka semakin kecil nilai osilasi maka lebih tidak membahayakan bagi baterai sistem PV. Dari Gambar 12, dapat diamati bahwa settling time kedua algoritme sama besar namun, nilai rising time dari algoritme P&O lebih rendah dari algoritme IC. Kelebihan dan kekurangan masing-masing algoritme lebih detail pada Tabel 6.

TABEL 6 KELEBIHAN DAN KEKURANGAN ALGORITME MPPT

Algoritme P&O		Algoritme IC	
Kelebihan	Kekurangan	Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> • Daya output (P) lebih besar • Memiliki rise time yang cepat 	<ul style="list-style-type: none"> • Osilasi besar 	<ul style="list-style-type: none"> • Osilasi kecil 	<ul style="list-style-type: none"> • Memiliki rise time yang lebih lambat • Daya output (P) lebih kecil

V. KESIMPULAN

Penelitian yang telah dilakukan tentang sistem kendali MPPT pada sistem PV paralel dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem kendali MPPT berbasis algoritme P&O yang dihubungkan dengan *buck-boost converter* dapat mengoptimalkan daya keluaran sistem PV sebesar 91,2%. Sistem kendali MPPT dengan algoritme P&O mampu menghasilkan tegangan dan arus yang besar untuk menghasilkan daya yang besar namun memiliki osilasi yang besar. Algoritme ini baik digunakan untuk mencapai target daya yang besar.
2. Sistem kendali MPPT berbasis algoritme IC yang dihubungkan dengan *buck-boost converter* dapat mengoptimalkan daya keluaran sistem PV sebesar 81,7%. Sistem kendali MPPT algoritme IC memiliki osilasi yang kecil namun memiliki *rise time* yang lambat dan hasil daya yang disimpan lebih kecil dibandingkan dengan algoritme P&O. Algoritme ini baik untuk keamanan dan ketahanan baterai yang lama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, "Optimal control of photovoltaic arrays," *Math. Comput. Simul.*, vol. 91, pp. 1–15, Mei 2013.
- [2] M. Otono and R. M. Bajuri, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan *Buck-Boost Converter*," vol. 5, no. 2, 2016.
- [3] M. F. Salam and S. I. Haryudo, "Simulasi *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) Panel Surya Menggunakan *Perturb And Observe* Sebagai Kontrol *Buck-Boost Converter*," *J. Tek. Elektro*, vol. 06, no. 2010, pp. 57–64, 2017.
- [4] R. I. Putri, S. Wibowo, and M. Rifa'i, "Maximum power point tracking for photovoltaic using incremental conductance method," in *Energy Procedia*, 2015, vol. 68, pp. 22–30.
- [5] R. Tang, "Large-scale photovoltaic system on green ship and its MPPT controlling," *Sol. Energy*, vol. 157, pp. 614–628, Nov. 2017.