

**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**

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu persyaratan
mencapai derajat Sarjana S1



Disusun oleh:

Muhammad Ihsan Fadriantama

14524074

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta**

2018

LEMBAR PENGESAHAN

**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**

TUGAS AKHIR

ISLAM

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**

Disusun oleh:

**Muhammad Ihsan Fadriantama
14524074**

**الجامعة الإسلامية
الاستقلالية
الاندونيسية**
Yogyakarta, 08 Agustus 2018

Menyetujui,

Dosen Pembimbing



**R. M. Sisdarmanto Adinandra, S.T., M.Sc., Ph.D.
025240101**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**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**

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Muhammad Ihsan Fadriantama
14524074

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

Pada tanggal: 13 Agustus 2018

Susunan dewan penguji

Ketua Penguji:

R. M. Sisdarmanto Adinandra, S.T., M.Sc., Ph.D.

Anggota Penguji I:

Ida Nurcahyani, S.T., M.Eng.

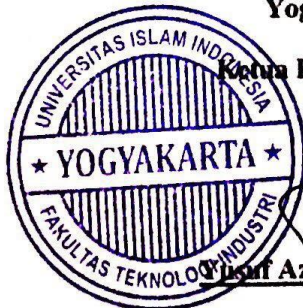
Anggota Penguji II:

Husein Mubarak, S.T., M.Eng.

**Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana**

Yogyakarta, 13 Agustus 2018

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Muhammad Aziz Amrullah, S.T., M.Sc., Ph.D.

045240101

PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta, 08 Agustus 2018



Muhammad Ihsan Fadriantama

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohiim,

Assalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkat rahmat dan hidayah-Nya program skripsi dan penyusunan laporan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Sholawat serta salam senantiasa penulis haturkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan para pengikutnya yang telah berjuang dan membimbing kita keluar dari kegelapan menuju jalan yang terang benderang untuk mendapat dan menggapai Ridho Allah SWT.

Dalam pelaksanaan skripsi dan penyusunan laporan, penulis senantiasa mendapatkan dukungan, bantuan, serta kesempatan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Yusuf Aziz Amrullah, ST., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak R. M. Sisdarmanto Adinandra, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing skripsi jurusan Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Orang tua, keluarga, Teknik Elektro UII angkatan 2014, dan teman-teman *Green Kost Solidarity* atas segala perhatian, dukungan dan semangat yang diberikan.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih belum sempurna sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pembaca demi melengkapi kekurangan dalam laporan ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 08 Agustus 2018

Muhammad Ihsan Fadriantama

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

PV	: <i>Photovoltaic</i>
MPPT	: <i>Maximum Power Point Tracker</i>
P&O	: <i>Perturb and Observe</i>
IC	: <i>Incremental Conductance</i>
PWM	: <i>Pulse Width Modulation</i>
PLN	: Perusahaan Listrik Negara
PLTS	: Pembangkit Listrik Tenaga Surya
DC	: <i>Direct Current</i> /Arus Searah
AC	: <i>Alternating Current</i> /Arus Bolak-Balik
STC	: <i>Standard Test Conditions</i>
P	: Daya
V	: Tegangan
I	: Arus
P_{\max}	: Daya maksimum
V_{mpp}	: Tegangan saat Daya Maksimum
I_{mpp}	: Arus saat Daya Maksimum
R	: Hambatan/Resistor
C	: Kapasitor
L	: Induktor
f	: Frekuensi
D	: <i>Duty Cycle</i>
I_L	: Arus Induktor
T	: Suhu
T_{ref}	: Suhu Referensi
I_{sc}	: Arus Hubung Singkat
k_i	: Koefisien Suhu Arus Hubung Singkat

β	: Intensitas Radiasi Matahari
I_D	: Arus Dioda
I_S	: Arus Saturasi
q	: Muatan Elektron
R_S	: Hambatan Seri
N_s	: Jumlah Sel Seri
K	: Konstanta <i>Boltzman</i>
A	: Faktor Ideal Dioda
E_{g0}	: <i>Band Gap Energy</i>
I_{rs}	: Arus Saturasi Balik
V_{oc}	: Tegangan <i>Open-Circuit</i> /Sirkuit Terbuka
I_{sh}	: Arus <i>Shunt</i>
R_{sh}	: Hambatan <i>Shunt</i>
I_o	: Arus Baterai
V_o	: Tegangan Baterai
ΔV_o	: <i>Ripple</i> Tegangan
W/m^2	: Watt per meter kuadrat
eV	: Elektronvolt
°C	: derajat Celcius
Ω	: Ohm
μF	: mikro Farad
μH	: mikro Henry
J/K	: Joule per Kelvin

ABSTRAK

Pembangkit listrik konvensional masih memanfaatkan konversi energi listrik dari energi fosil/energi minyak bumi. Energi fosil semakin menipis, maka dari itu banyak dilakukan penelitian tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS terdiri dari sistem panel surya atau sistem *photovoltaic* (PV) yang mengonversi energi radiasi cahaya matahari menjadi energi listrik. Perubahan intensitas radiasi matahari dan suhu permukaan panel yang tidak linier menjadi permasalahan utama sistem PV untuk mengefisienkan 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*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Studi Literatur	3
2.2. Tinjauan Teori	4
2.2.1. Pengertian Panel Surya.....	4
2.2.2. <i>Buck-Boost Converter</i>	6
2.2.3. MPPT	8
2.2.3.1. Algoritme P&O	9
2.2.3.2. Algoritme IC	9
BAB 3 METODOLOGI.....	11
3.1. Tahapan Penelitian	11
3.2. Pengumpulan Data	11

3.3. Pembuatan Simulasi	12
3.3.1. Pembuatan Simulasi Sistem PV Tunggal.....	13
3.3.2. Pembuatan Simulasi Sistem PV Paralel	13
3.3.3. Pembuatan Simulasi <i>Buck-Boost Converter</i>	14
3.3.4. Pembuatan Simulasi Algoritme Kendali MPPT.....	15
3.4. Pengujian dan Analisis Hasil Simulasi.....	15
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1. Pengujian Simulasi	17
4.1.1. Pengujian Sistem PV Tunggal.....	17
4.1.2. Pengujian Sistem PV Paralel.....	18
4.1.3. Pengujian Sistem Kendali MPPT	19
4.2. Analisis Hasil Simulasi	21
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	24
5.1. Kesimpulan.....	24
5.2. Saran.....	24
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN	26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sirkuit yang ekuivalen dengan PV	4
Gambar 2.2	Rangkaian elektrik <i>buck-boost converter</i>	7
Gambar 2.3	Karakteristik MPPT pada kurva P – V	8
Gambar 2.4	Diagram alir algoritme P&O.....	9
Gambar 2.5	Diagram alir algoritme IC	10
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	12
Gambar 3.2	Simulasi <i>buck boost converter</i> dengan pendekatan model rangkaian	15
Gambar 3.3	Diagram blok pengendalian PV	15
Gambar 4.1	Grafik karakteristik P – V	17
Gambar 4.2	Karakteristik I – V sistem PV paralel	18
Gambar 4.3	Karakteristik P – V sistem PV paralel	19
Gambar 4.4	Blok simulasi pengujian sistem kendali MPPT	20
Gambar 4.5	Hasil pengujian dengan sistem kendali MPPT	20
Gambar 4.6	Grafik osilasi <i>output</i> sistem kendali MPPT	22

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter komponen Sistem PV	6
Tabel 3.1 Spesifikasi <i>datasheet</i> modul GS SOLAR GS-60.....	13
Tabel 4.1 Perbandingan parameter hasil uji coba simulasi dengan spesifikasi <i>datasheet</i> ...	17
Tabel 4.2 Hasil pengujian sistem PV paralel 6-modul	19
Tabel 4.3 Hasil pengujian pengendalian sistem PV paralel.....	21
Tabel 4.4 Kelebihan dan kekurangan algoritme MPPT	23

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi listrik adalah sebuah energi yang sangat dibutuhkan di kehidupan sehari-hari pada era modern ini, segala benda yang digunakan sehari-hari hampir tidak terlepas dengan penggunaan energi listrik. Indonesia masih menggunakan energi listrik yang disediakan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Energi listrik yang digunakan ini cenderung menggunakan konversi energi fosil yang tidak dapat diperbaharui. Persediaan energi fosil sekarang sudah semakin menipis maka dari itu, disarankan untuk mulai menggunakan energi listrik secara hemat dan efisien tiap harinya [1].

Dalam satu dekade terakhir pembangkit listrik yang banyak dikembangkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 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. Energi cahaya matahari yang tidak akan habis menjadikan alasan pembangunan PLTS semakin meningkat [2]. Hal ini juga memicu pembangunan sistem panel surya lebih dari satu modul. Struktur yang lebih besar dapat meningkatkan pendapatan daya serta untuk memaksimalkan pemanfaatan energi cahaya tersebut. Struktur jaringan yang besar memerlukan sebuah sistem kendali untuk dapat menstabilkan dan mengoptimalkan setiap proses yang akan dilakukan oleh panel surya tersebut [2].

Daya yang diproduksi dan tersimpan oleh panel surya atau sering disebut dengan sistem *Photovoltaic* (PV) 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 [3]. Penelitian ini membahas tentang sebuah sistem kendali yang berfungsi agar sistem PV dapat dimaksimalkan kinerjanya. Sistem kendali ini memanfaatkan metode yang populer digunakan untuk sistem PV yaitu *Maximum Power Point Tracker* (MPPT).

MPPT merupakan sebuah metode pelepasan daya yang bekerja dengan melacak titik daya keluaran tertinggi dari sistem PV. Sistem kendali MPPT akan mengatur produksi dan penyimpanan daya sistem PV memanfaatkan DC-DC *buck-boost converter*. *Buck-Boost Converter* dikendalikan oleh sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) yang berasal dari *duty cycle* hasil operasi algoritme MPPT. Pada penelitian ini, diterapkan dua buah algoritme optimasi populer yaitu *Perturb and Observe* (P&O) dan *Incremental Conductance* (IC) ke dalam

pengendalian MPPT. Tujuan digunakannya kedua algoritme optimasi populer tersebut adalah menganalisis kelebihan dan kekurangan masing-masing algoritme dalam mengoptimalkan *output* sistem PV yang di rangkai secara paralel.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam penerapan struktur sistem PV yang dirangkai secara paralel, sistem ini memerlukan pengendalian agar daya yang dihasilkan selalu optimal pada intensitas dan suhu yang bervariasi. Maka dari itu, dirumuskan sebuah permasalahan yaitu: Apa saja kelebihan dan kekurangan dari algoritme optimasi P&O dan algoritme IC terhadap sistem kendali MPPT yang diterapkan pada sistem PV Paralel?

1.3. Batasan Masalah

Dari rumusan masalah tersebut, permasalahan dibatasi pada pengambilan data dari simulasi dengan menggunakan MATLAB R2015a, serta olah data dari referensi dan studi literatur. Simulasi pada MATLAB dibatasi dengan menggunakan fungsi SIMULINK dan menggunakan dua algoritme optimasi pada sistem PV paralel untuk bahan sebagai analisis.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan hasil analisis kelebihan dan keuntungan yang dihasilkan dari algoritme P&O dan algoritme IC kendali MPPT untuk sistem PV paralel.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

- 1) Memberikan pengetahuan tentang variasi algoritme kendali untuk sistem panel surya.
- 2) Membuatkan berbagai pilihan alternatif pengendalian yang dapat diterapkan pada sistem PV paralel.
- 3) Memberikan kontribusi berupa ilmu pengetahuan dan teknologi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Studi Literatur

Studi dari beberapa jurnal publikasi yang melakukan penelitian tentang simulasi sistem PV memiliki kesamaan metode yaitu implementasi pengendalian MPPT dan menganalisis jumlah keluaran sistem PV yang disimpan ke baterai dari *converter*. Perbedaan pada masing-masing jurnal adalah modul PV yang digunakan untuk simulasi, jenis *converter* untuk *charge controller* baterai, dan algoritme optimasi yang digunakan ke dalam MPPT. Perbedaan tersebut akan berdampak pada jumlah daya maksimal sistem PV dan daya total yang disimpan ke baterai. Perbedaan tersebut digunakan sebagai acuan untuk membuat simulasi dan analisis sistem kendali PV paralel.

Daya tertinggi yang terlacak untuk sebuah modul PV yang digunakan pada salah satu proyek B2TE adalah 50,6 Watt dan *error* 1,2% menggunakan simulasi dengan menggunakan model matematis. Simulasi dijalankan dengan asumsi nilai radiasi matahari konstan 1000 W/m² dan suhu permukaan panel 25 C. Algoritme P&O diterapkan pada MPPT dan *charge controller* yang digunakan adalah *buck-boost converter* dapat menyimpan daya hingga 84,43% dari daya maksimum yang terlacak [4].

Penelitian yang berbeda menggunakan algoritme dan *converter* yang sama namun modul PV yang berbeda untuk simulasi. Daya maksimal yang terlacak sebesar 70,55 Watt dan keluaran *converter* memiliki rugi daya cukup besar yaitu 14% sehingga menyebabkan daya yang tersimpan pada baterai hanya 60,9 Watt. Rugi daya yang diperoleh tersebut karena penggunaan hambatan pada *converter* yang kurang tepat [5].

Analisis dari sebuah implementasi metode *Incremental Conductance* (IC) ke dalam MPPT. *Incremental Conductance* didesain dalam bentuk simulasi model matematis dan diimplementasikan untuk mengamati output sistem PV yang terhubung dengan *buck-boost converter*. Blok simulasi sistem PV menggunakan blok simulasi yang tersedia pada MATLAB. Hasil yang didapatkan adalah IC dapat melacak daya maksimum dalam perubahan tingkat radiasi matahari yang berubah terhadap waktu secara optimal. Respon dari output *buck-boost converter* memiliki osilasi yang kecil [6].

Sistem PV berskala besar banyak diperkenalkan dalam sistem kelistrikan rumah, kantor, hingga sampai kini teknologi berkembang untuk menempatkannya ke dalam kelistrikan kapal. Jumlah sumber cahaya yang melimpah di lautan membuat gagasan untuk membangun sebuah pembangkit mandiri demi mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi polutan. Struktur

jaringan yang disimulasikan terdiri dari seri dan paralel. Pengendalian diterapkan kepada masing-masing sistem PV skala besar untuk memaksimalkan penangkapan cahaya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan penerapan struktur seri maupun paralel beserta metode pengendalian MPPT, kapal ini dapat memanfaatkan sepenuhnya sumber daya matahari dan mencapai keamanan operasional dan efisiensi dalam kondisi lingkungan yang kompleks [7].

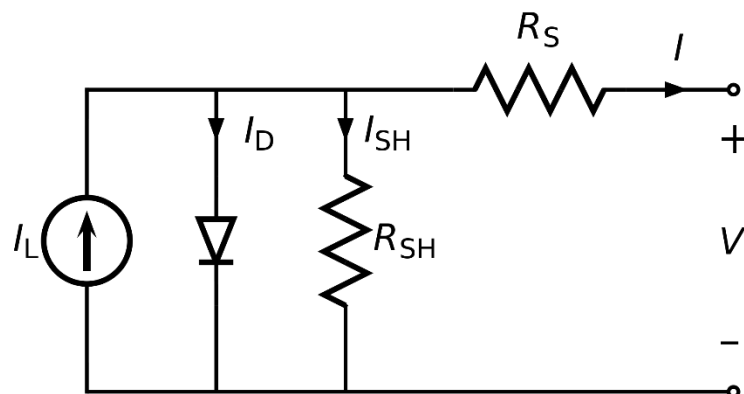
Perbedaan penelitian ini dengan jurnal publikasi yang telah dipelajari adalah penelitian ini menerapkan dua algoritme pengendalian untuk MPPT yaitu algoritme P&O dan algoritme IC dengan struktur rangkaian sistem PV disusun secara paralel. Pada penelitian ini dituliskan analisis tentang perbandingan kelebihan serta kekurangan algoritme P&O dan IC yang diimplementasikan ke dalam sistem MPPT terhadap sistem PV paralel. Analisis yang diberikan dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk dapat menyesuaikan pemilihan jenis algoritme pengendalian dengan target pencapaian yang diinginkan dari pembangunan sistem PV.

2.2. Tinjauan Teori

2.2.1. 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 [2].

Pembangkit listrik PV sistem yang berorientasi pada konteks perkotaan, salah satu tugas utama dari sistem pengendali adalah membuat daya listrik tersedia ke grid atau ke beban adalah kontrolnya dari generator PV [2]. Dari beberapa referensi yang di amati, sistem PV adalah sebuah sistem non linier yang ekuivalen dengan sebuah sirkuit pada Gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 2.1 Sirkuit yang ekuivalen dengan PV [6]

Dari Gambar 2.1, dapat diperoleh persamaan matematis sebagai berikut:

$$I = I_L - I_D - I_{sh} \quad (1.1)$$

I_L merupakan arus *photovoltaic* yang diperoleh dari sinar matahari yang diterima oleh panel. I_D adalah arus dioda, dan I_{sh} adalah arus *shunt* dari hambatan R_{sh} . Ketiga arus ini dirumuskan sebagai berikut:

$$I_L = [I_{sc} + k_i (T - T_{ref})] \times \frac{\beta}{1000} \quad (1.2)$$

$$I_D = I_S \times (e^{\frac{q(V+IR_S)}{N_s K A T}} - 1) \quad (1.3)$$

$$I_{sh} = \frac{V + IR_S}{R_{sh}} \quad (1.4)$$

Keterangan:

- V = Tegangan Keluaran PV (Volt)
- I = Arus Keluaran PV (Ampere)
- T = Suhu Permukaan Panel (°C)
- T_{ref} = Suhu Referensi (Kelvin)
- I_L = Arus *Photovoltaic* (Ampere)
- I_D = Arus Dioda (Ampere)
- I_{sh} = Arus *Shunt*
- I_S = Arus Saturasi (Ampere)
- I_{sc} = Arus Hubung Singkat (Ampere)
- R_S = Hambatan Seri (Ω)
- R_{sh} = Hambatan *Shunt* (Ω)
- β = Intensitas Radiasi Matahari (W/m^2)
- q = Muatan Elektron (Coloumb)
- K = Konstanta *Boltzman* (J/K)
- E_{g0} = *Band Gap Energy* (eV)
- N_s = Jumlah Sel Seri
- A = Faktor Ideal Dioda

Nilai intensitas radiasi matahari (β) dan Suhu permukaan panel (T) adalah nilai yang digunakan sebagai *input* untuk sistem PV. Komponen dioda memiliki nilai arus internal yang disebut sebagai arus saturasi (I_S). Arus saturasi ini menimbulkan arus saturasi balik (I_{rs}). Nilai arus saturasi dan arus saturasi balik dapat diperoleh melalui rumus persamaan sebagai berikut:

$$I_S = I_{rs} \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^3 \times e^{\left(\frac{T}{T_{ref}} - 1 \right)} \times \frac{qE_{g0}}{N_s K A T} \quad (1.5)$$

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{e^{\left(\frac{qV_{oc}}{N_s K A T} \right)} - 1} \quad (1.6)$$

Keterangan:

I_{rs} = Arus Saturasi Balik (Ampere)

V_{oc} = Tegangan *Open-Circuit*/Sirkuit Terbuka (Volt)

k_i = Koefisien Suhu Arus Hubung Singkat (W/m^2)

Tabel 2.1 Parameter komponen Sistem PV

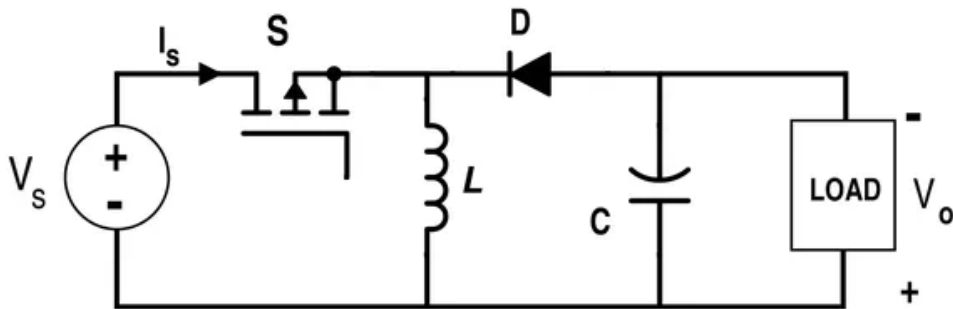
Simbol	Nilai
T_{ref}	298 Kelvin
I_{sc}	*)
k_i	0.0032 W/m^2
q	1.6×10^{-19} Coulomb
R_s	*)
N_s	*)
K	1.38×10^{-23} J/K
A	*)
E_{g0}	1.1 eV
V_{oc}	*)
R_{sh}	*)

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.

2.2.2. *Buck-Boost Converter*

Sistem PV pada penelitian ini menggunakan rangkaian DC-DC *converter* sebagai *charge controller* untuk mengisi baterai pengaktifan sinyal kendali algoritme MPPT. *Converter* yang digunakan adalah *Buck-Boost Converter* yang rangkaiannya ditampilkan pada Gambar 2.2. *Buck-Boost Converter* disimulasikan dengan simulink MATLAB dengan pendekatan model rangkaian.

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 [4][8].



Gambar 2.2 Rangkaian elektrik *buck-boost converter*

Gambar 2.2, pada frekuensi *switching* tertentu, dapat diperoleh persamaan hubungan antara tegangan dengan *duty cycle*, nilai kapasitor, dan nilai induktor [8]. Persamaan tersebut dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{V_o}{V} = \frac{I}{I_o} = \frac{D}{1-D} \quad (2.1)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{R \times C \times f} \quad (2.2)$$

$$L = \frac{(1-D)^2 \times R}{2 \times f} \quad (2.3)$$

Keterangan:

V_o = Tegangan Baterai (Volt)

ΔV_o = *Ripple* Tegangan (%)

I_o = Arus Baterai (Ampere)

D = *Duty Cycle* (%)

R = Hambatan pengganti beban (Ω)

L = Induktor (H)

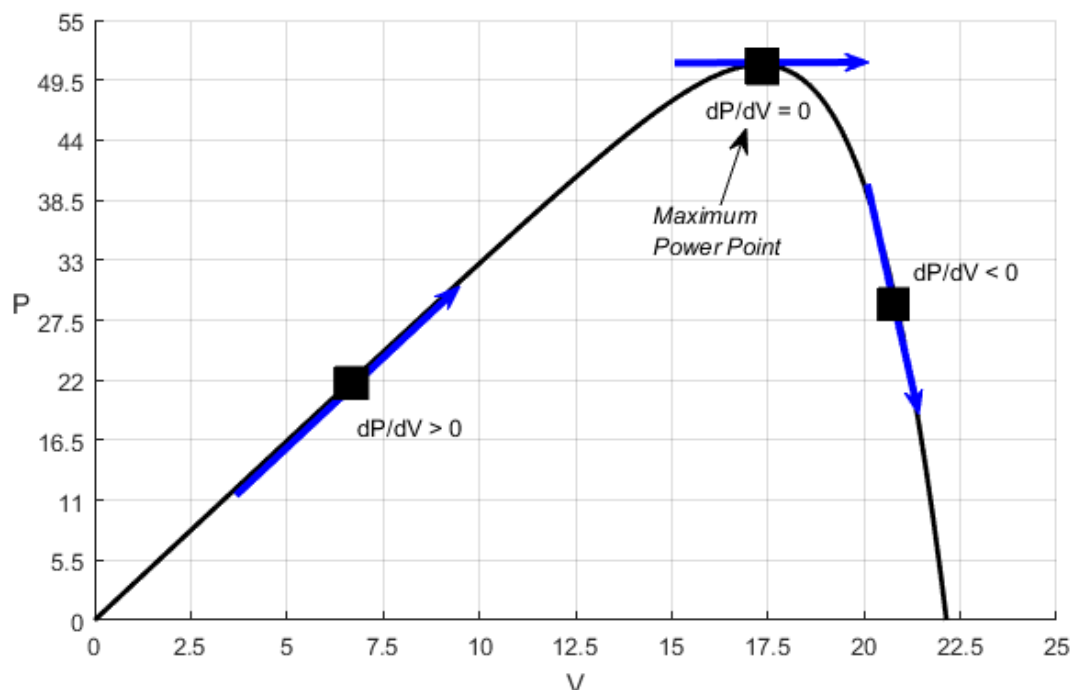
C = Kapasitor (F)

f = Frekuensi *Switching* (Hertz)

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.

2.2.3. MPPT

Maximum Power Point Tracker (MPPT) 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 [4][5]. Kebanyakan MPPT modern sekitar 93% sampai 97% efisien dalam konversi. Yang biasa didapatkan, keuntungan 20% sampai 45% listrik di musim dingin dan 10% sampai 15% di musim panas [7]. Keuntungan yang sebenarnya dapat bervariasi tergantung dengan kondisi cuaca, suhu, keadaan baterai biaya, dan faktor lainnya.



Gambar 2.3 Karakteristik MPPT pada kurva P – V

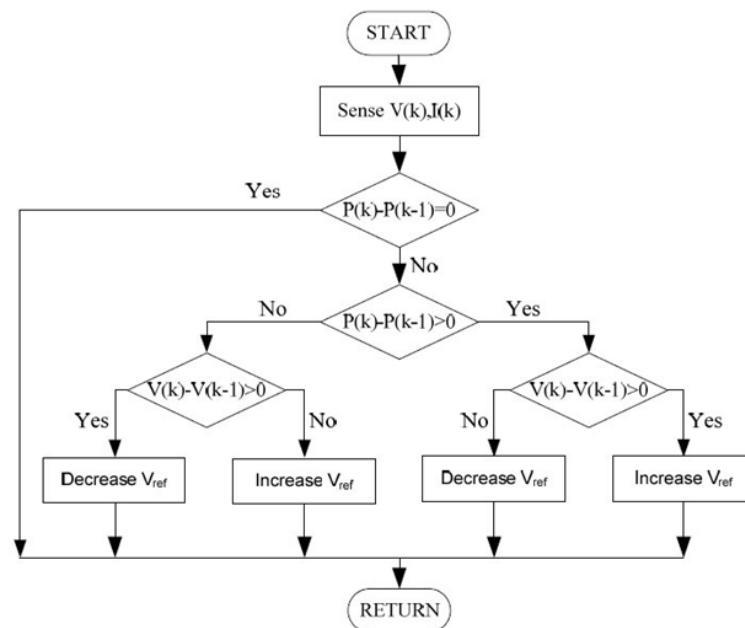
Dalam penelitian ini, diimplementasikan beberapa algoritme optimasi untuk MPPT yang bertujuan sebagai perbandingan dari kelebihan dan kekurangan masing-masing algoritme.

Algoritme-algoritme optimasi yang digunakan adalah *Perturb dan Observe* (P&O) dan *Incremental Conductance* (IC).

2.2.3.1. 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 [9].

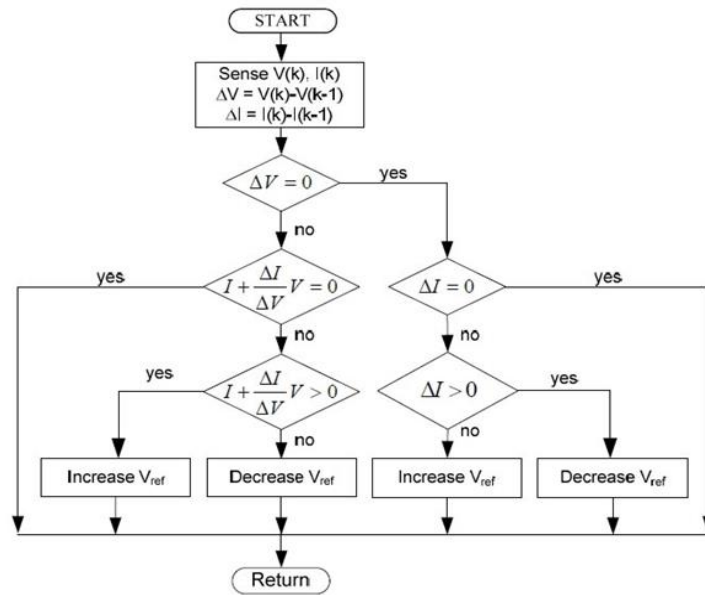
Algoritme ini membutuhkan nilai parameter daya, tegangan, dan arus dari sistem PV sebagai masukannya. Jika tegangan gangguan menghasilkan peningkatan daya, *duty cycle* sama dengan siklus sebelumnya. Sebaliknya, jika *duty cycle* menghasilkan penurunan daya maka kebalikan dari siklus sebelumnya [10][11]. Algoritme P&O dapat dibuat menjadi diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram alir algoritme P&O [5]

2.2.3.2. 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 [6]. Algoritme IC mencoba untuk meningkatkan waktu pelacakan dan untuk menghasilkan lebih banyak energi pada lingkungan perubahan radiasi besar. Algoritme ini disusun dalam diagram alir sebagai berikut.



Gambar 2.5 Diagram alir algoritme IC [6]

BAB 3

METODOLOGI

3.1. Tahapan Penelitian

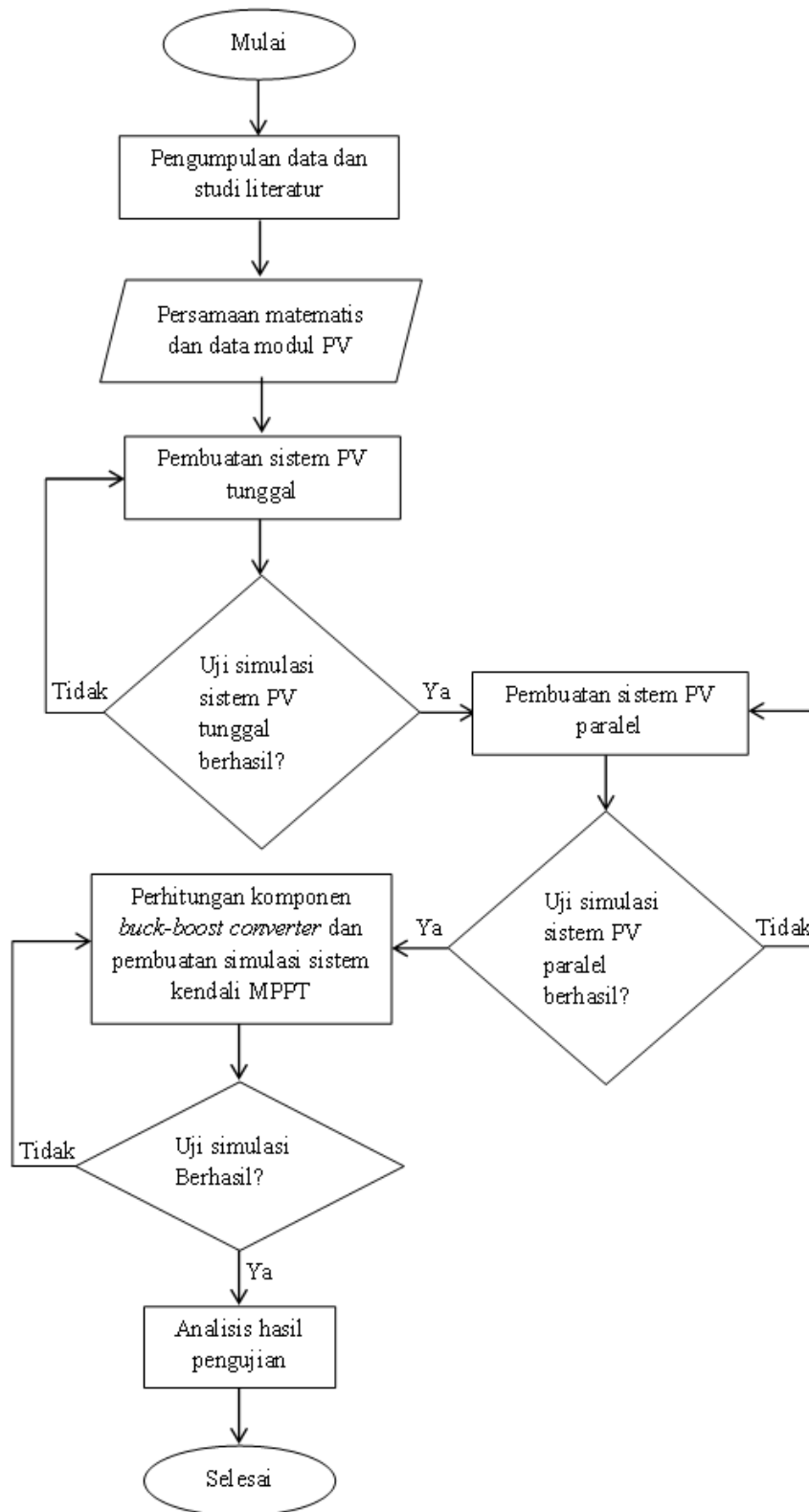
Penelitian tentang analisis perbandingan kinerja algoritme *Perturb And Observe* (P&O) dan *Incremental Conductance* (IC) pada sistem kendali *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) untuk Sistem *Photovoltaic* (PV) paralel dijelaskan pada Gambar 3.1. Penelitian ini dilaksanakan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

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 dibanddisusuingkan.
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.

3.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan olah data parameter modul dan parameter *input* dari beberapa jurnal, olah data radiasi matahari dan suhu dari *website* BMKG untuk simulasi, dan studi literatur. Seluruh rumus persamaan yang digunakan untuk membuat simulasi diperoleh dari jurnal terkait yang telah dicantumkan.

Observasi terhadap cara kerja sistem PV dilakukan dengan mengamati beberapa publikasi tentang penelitian yang menyangkut tentang simulasi sistem PV. Hasil observasi tersebut kemudian dijadikan sebagai acuan untuk membuat simulasi sistem PV paralel dan simulasi sistem kendali MPPT.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3. Pembuatan Simulasi

Pembuatan simulasi dilakukan dengan cara membuat sebuah simulasi dari sistem kendali yang akan di implementasikan ke model sistem PV yang telah di peroleh dari pengumpulan data.

Simulasi yang dibuat terdiri dari beberapa blok simulasi yaitu blok sistem PV tunggal, blok sistem PV paralel, blok *buck-boost converter*, dan blok algoritme kendali MPPT.

3.3.1. Pembuatan Simulasi Sistem PV Tunggal

Sistem PV pada penelitian ini dibuat sesuai dengan persamaan model matematis (1.1) sampai (1.6). Modul PV yang digunakan pada simulasi ini adalah modul GS SOLAR GS-60 dengan spesifikasi sesuai dengan *datasheet* ditunjukkan pada Tabel 3.1 [4].

Pengujian sistem ini menggunakan metode kalang terbuka dengan menggunakan *Standard Test Conditions* (STC) untuk modul sistem PV. STC merupakan standar industri untuk menguji kinerja modul PV dengan menentukan suhu permukaan sel 25°C dan radiasi 1000 W/m^2 . Hal ini merujuk kepada kondisi permukaan panel yang terkena radiasi dan spektrum sinar matahari dengan posisi kemiringan 37° menghadap matahari pada saat hari yang cerah [5].

Tabel 3.1 Spesifikasi *datasheet* modul GS SOLAR GS-60

Parameter	Nilai
<i>Tested at</i>	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	$8,6292\ \Omega$
R_{sh}	$460,2205\ \Omega$
I_{sc}	1,06 ampere
N_s	39
A	3,8
Toleransi <i>error</i>	$\pm 5\%$

3.3.2. Pembuatan Simulasi Sistem PV Paralel

Blok simulasi sistem PV paralel ini dibuat dengan menggabungkan 6 modul PV tunggal yang telah dibuat sebelumnya. Pengujian Sistem PV paralel tersebut dilakukan secara kalang terbuka dengan intensitas radiasi yang digunakan sesuai STC. Untuk melihat tingkat akurasi dari blok simulasi sistem PV paralel tersebut digunakan variasi intensitas radiasi 1000 W/m^2 , 800 W/m^2 , 600 W/m^2 , 400 W/m^2 dan variasi suhu sesuai perolehan data dari *website* BMKG. Perolehan data dari *website* BMKG menunjukkan suhu tertinggi selama bulan Januari sampai Mei tahun 2018 adalah 35°C , dengan rata-rata suhu harian 30°C , dan suhu terendah 25°C .

3.3.3. Pembuatan Simulasi *Buck-Boost Converter*

Untuk modul PV GS-60 dengan daya keluaran maksimum 60,03 watt dan tegangan output maksimum 69 volt, maka besar R pengganti beban adalah:

$$R = \frac{V^2}{P} \quad (3.1)$$

$$R = \frac{69^2}{60,03}$$

$$R = 79,31 \Omega$$

1. Nilai Duty Cycle

Jika tegangan sumber yang digunakan *converter* adalah tegangan *output* PV tegangan baterai atau beban yang digunakan adalah 12 Volt DC serta efisiensi atau nilai *duty cycle* maksimal yang diinginkan 85%, maka *duty cycle* minimal adalah :

$$\frac{12}{69} = \frac{D}{1 - D}$$

$$D = \frac{12}{80} = 0,15 = 15\%$$

2. Nilai Kapasitor

Dengan menggunakan persamaan (2.2) dan frekuensi *switching* 5 kHz, *ripple* tegangan yang diinginkan 3%, , maka diperoleh nilai kapasitor minimum sebagai berikut:

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{R \times C \times f}$$

$$\frac{0,03}{12} = \frac{0,15}{79,31 \times C \times 5000}$$

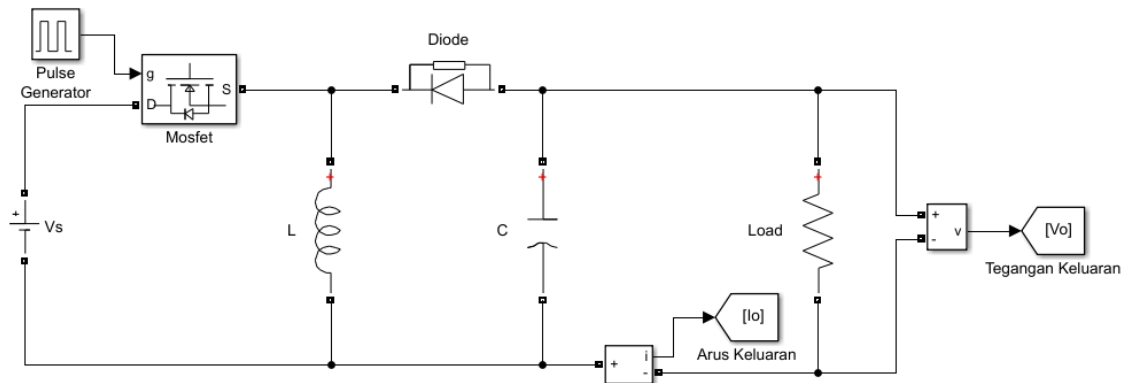
$$C = \frac{12 \times 0,15}{79,31 \times 0,03 \times 5000} = 151,2 \mu\text{F}$$

3. Nilai Induktor

Berdasarkan ketentuan yang sama dan menggunakan persamaan (2.3), maka nilai induktor minimum yang di peroleh adalah:

$$L = \frac{(1 - 0,15)^2}{2 \times 5000} \times 79,13$$

$$L = \frac{57,37}{10000} = 5,7 \text{ mH}$$



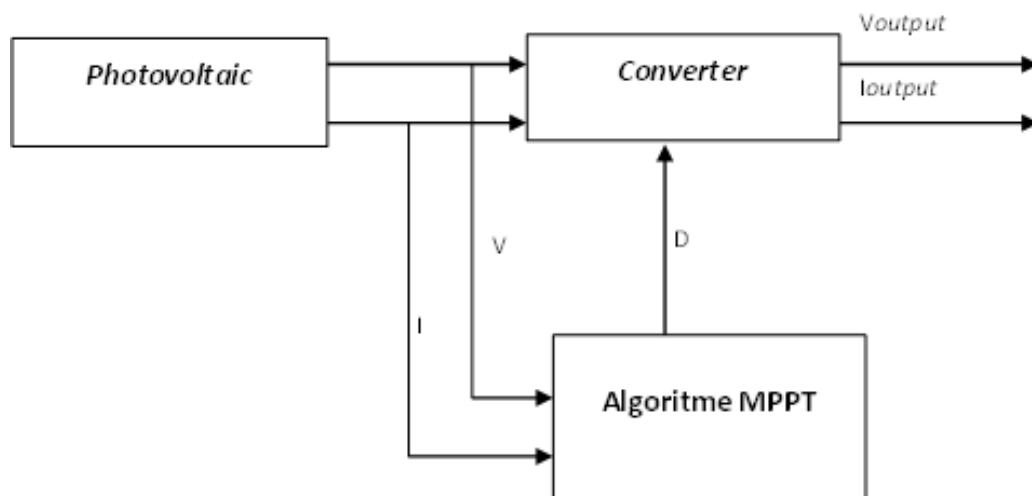
Gambar 3.2 Simulasi *buck boost converter* dengan pendekatan model rangkaian

3.3.4. Pembuatan Simulasi Algoritme Kendali MPPT

Pembuatan blok simulasi algoritme kendali MPPT ini menggunakan program *editor* pada MATLAB. Program algoritme dibuat berdasarkan diagram alir masing-masing algoritme pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5 .

3.4. Pengujian dan Analisis Hasil Simulasi

Uji coba untuk kedua simulasi sistem akan melalui uji coba dengan menyusun rangkaian sistem PV secara paralel hingga membentuk daya maksimum ± 2088 Watt dan tingkat *error* $\pm 0,54\%$. Langkah utama untuk mengevaluasi hasilnya adalah dengan melihat hasil uji coba *output* dari keseluruhan sistem dengan setiap algoritme pengendali.



Gambar 3.3 Diagram blok pengendalian PV

Gambar 3.3 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*. Setelah itu dengan membandingkan keseluruhan hasil pengujian sistem kendali MPPT maka akan dituliskan analisis tentang kelebihan dan kekurangan setiap algoritme pengendalian yang digunakan pada sistem PV paralel serta menarik kesimpulan.

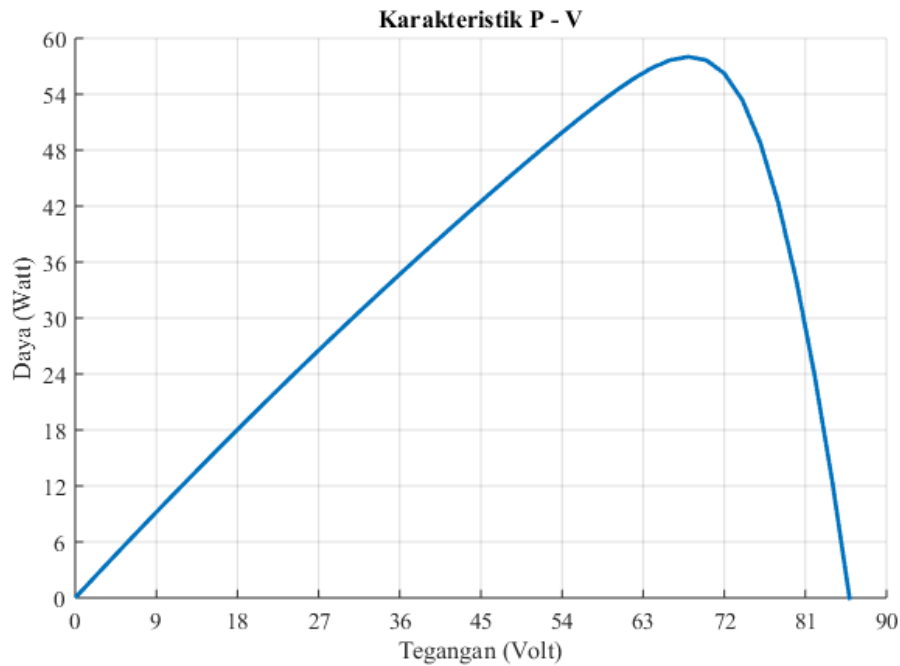
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Simulasi

4.1.1. Pengujian Sistem PV Tunggal

Hasil pengujian simulasi sistem PV tunggal yang dibuat dengan persamaan matematis (1.1) sampai (1.6) dan menggunakan modul GS SOLAR GS-60 ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik karakteristik P – V

Gambar 4.1 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 4.1 Perbandingan parameter hasil uji coba simulasi dengan spesifikasi *datasheet*

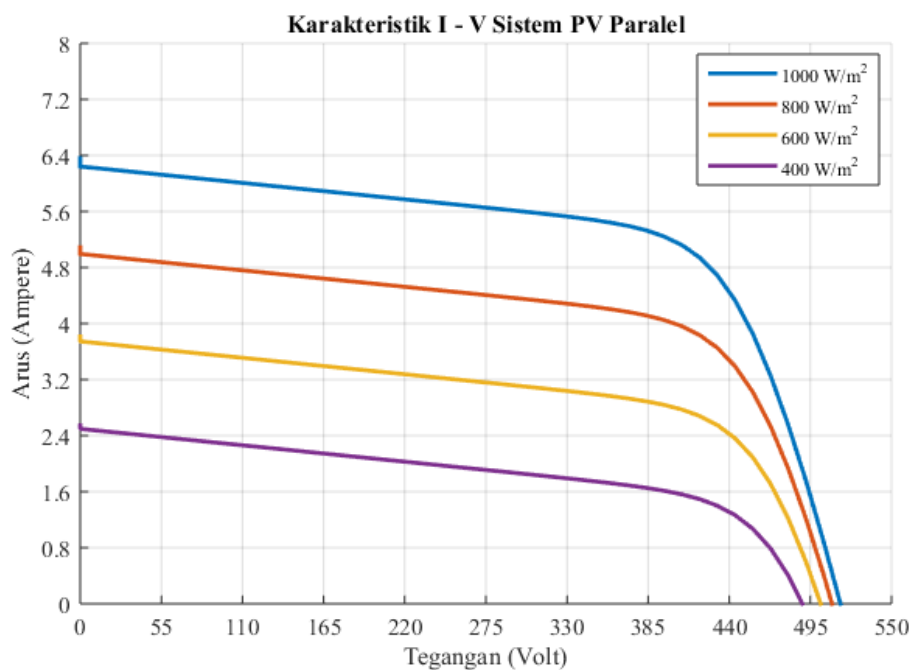
Parameter	Datasheet	Hasil Simulasi	Error
P _{max} (Watt)	60,03	58,0115	3,36 %
V _{mpp} (Volt)	69	67,993	1,46 %
I _{mpp} (Ampere)	0,87	0,8532	1,93 %

Tabel 4.1 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 3.1. Hal ini menjelaskan bahwa model matematis dan simulasi sudah baik dan dapat digunakan.

4.1.2. Pengujian Sistem PV Paralel

Sistem PV Skala besar yang di rancang terdiri dari 6 buah modul PV GS-60 yang dihubungkan paralel. Dari hasil pengujian dengan STC, diperoleh nilai daya maksimal 2088,6 Watt, tegangan maksimal 408 V, dan arus maksimal 5,119 A. Dengan melakukan beberapa kali percobaan dengan nilai memperpanjang nilai *variable step time* dan memperketat nilai *error tolerance*, *error* tertinggi pada SIMULINK.

Nilai *error* yang diperoleh pada setiap percobaan adalah daya maksimum sebesar 0,5%, perolehan nilai arus sebesar 0,3%, dan perolehan nilai tegangan sebesar 0,01%. Nilai *error* yang didapatkan kurang dari batas toleransi modul PV yang digunakan menunjukkan bahwa blok simulasi sistem PV ini masih baik dan dapat digunakan untuk implementasi sistem kendali.



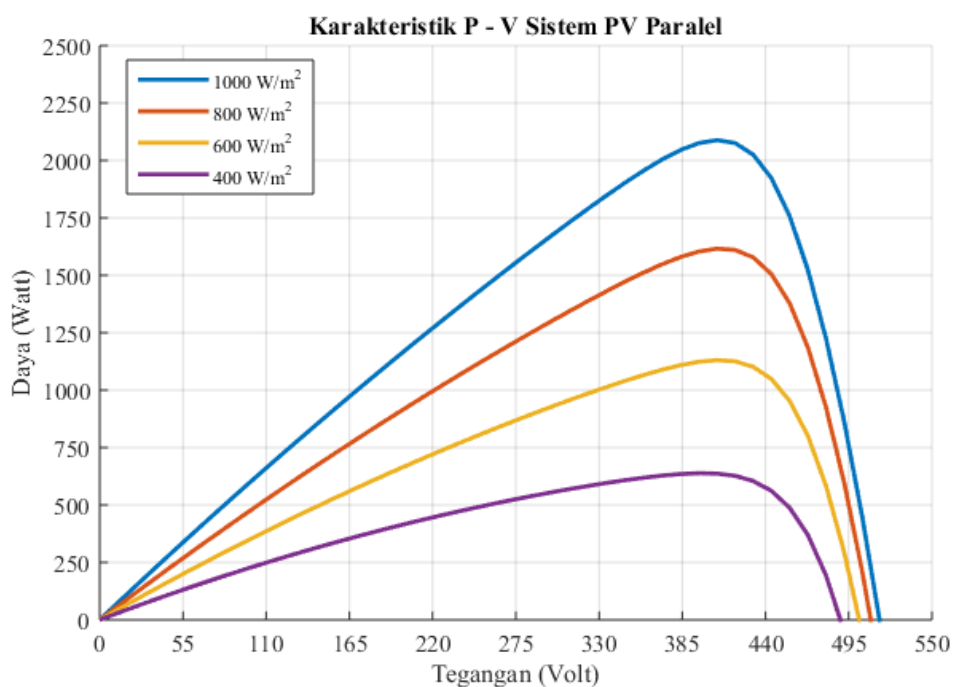
Gambar 4.2 Karakteristik I – V sistem PV paralel

Gambar 4.2 merupakan grafik hubungan antara arus dan tegangan pada suhu 25°C, pada intensitas 1000 W/m² 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 4.3.

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 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengujian sistem PV paralel 6-modul

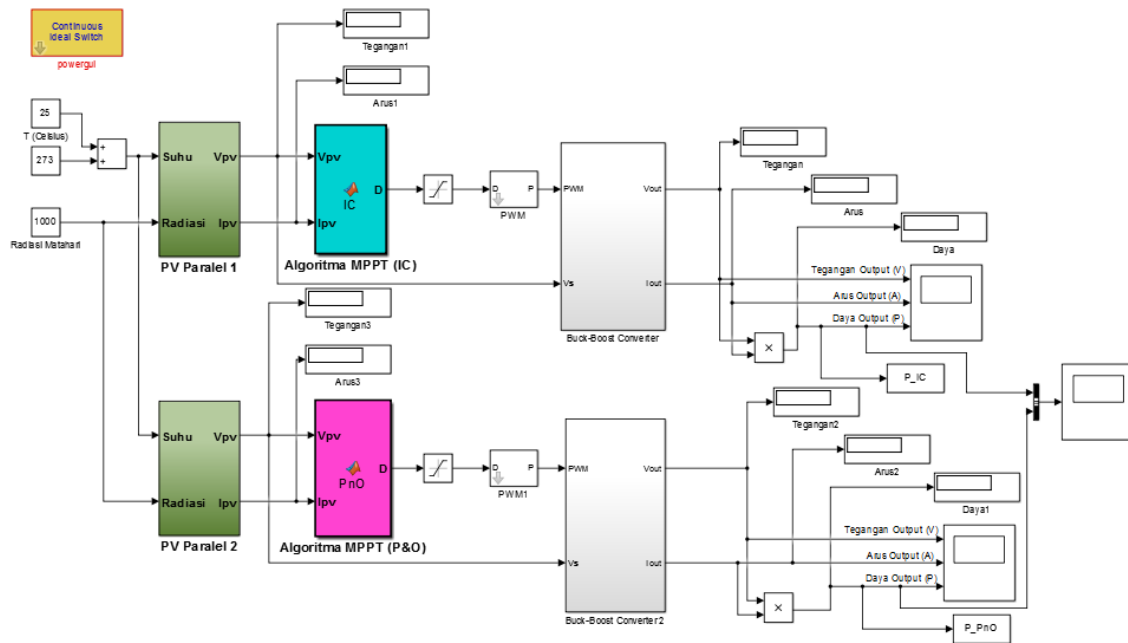
Suhu Permukaan (°C)	Intensitas (W/m ²)	P _{max} (Watt)	V _{mpp} (Volt)	I _{mpp} (Ampere)
25	1000	2088,6	408	5,119
	800	1616,1	408	3,96
	600	1130,7	408	2,77
	400	638,4	396	1,61
30	1000	2091,1	408	5,125
	800	1623	408	3,98
	600	1138,2	408	2,79
	400	647,22	396	1,634
35	1000	2097,9	396	5,298
	800	1629,05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



Gambar 4.3 Karakteristik P – V sistem PV paralel

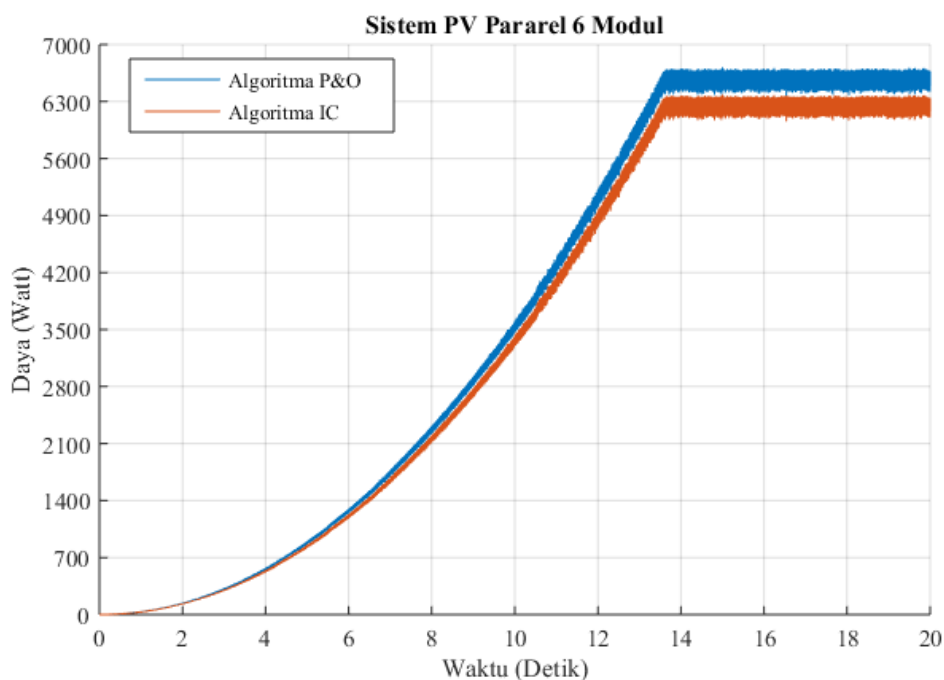
4.1.3. Pengujian Sistem Kendali MPPT

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 4.4. Pengujian dilakukan dengan menggunakan parameter STC, serta frekuensi dari *buck-boost converter* adalah 5 kHz.



Gambar 4.4 Blok simulasi pengujian sistem kendali MPPT

Gambar 4.4 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 dengan batas terendah sesuai dengan perhitungan rumus persamaan (2.1) yaitu 15%. Pada sisi *buck-boost converter* resistansi yang digunakan sebagai pengganti beban bernilai $79,31 \Omega$ sesuai dengan perhitungan persamaan (3.1).



Gambar 4.5 Hasil pengujian dengan sistem kendali MPPT

Grafik pada Gambar 4.5 menunjukkan peningkatan daya yang dihasilkan *converter*. Daya tertinggi yang dihasilkan mencapai 6640 watt dengan menggunakan MPPT algoritme P&O. Hasil pengujian simulasi kendali MPPT ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengujian pengendalian sistem PV paralel

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

4.2. Analisis Hasil Simulasi

Daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh 6 modul GS SOLAR GS-60 kondisi STC adalah sekitar 2088 Watt. Berdasarkan Tabel 4.2, semakin tinggi suhu permukaan panel menyebabkan sistem PV paralel menghasilkan daya yang lebih tinggi.

Tabel 4.3 menunjukkan sistem kendali MPPT dengan algoritme P&O mampu mengoptimalkan keluaran sistem PV untuk pengisian baterai. Persentase kenaikan parameter keluaran yang dihasilkan dapat dihitung sebagai berikut :

1. Algoritme P&O :

- Persentase kenaikan Daya :

$$\text{Persentase Kenaikan} = \frac{P(\text{Algoritme P\&O}) - P(\text{Tanpa MPPT})}{P(\text{Tanpa MPPT})} \times 100\%$$

$$\frac{6640 - 3472,7}{3472,7} \times 100\% = 91,2\%$$

- Persentase kenaikan Tegangan :

$$\text{Persentase Kenaikan} = \frac{V_o(\text{Algoritme P\&O}) - V_o(\text{Tanpa MPPT})}{V_o(\text{Tanpa MPPT})} \times 100\%$$

$$\frac{719,2 - 678,4}{678,4} \times 100\% = 6,01\%$$

- Persentase kenaikan Arus :

$$\text{Persentase Kenaikan} = \frac{I_o(\text{Algoritme P\&O}) - I_o(\text{Tanpa MPPT})}{I_o(\text{Tanpa MPPT})} \times 100\%$$

$$\frac{9,068 - 5,119}{5,119} \times 100\% = 77,14 \%$$

2. Algoritme IC :

- Persentase kenaikan Daya :

$$\text{Persentase Kenaikan} = \frac{P (\text{Algoritme IC}) - P (\text{Tanpa MPPT})}{P (\text{Tanpa MPPT})} \times 100\%$$

$$\frac{6310 - 3472,7}{3472,7} \times 100\% = 81,7 \%$$

- Persentase kenaikan Tegangan :

$$\text{Persentase Kenaikan} = \frac{V_o (\text{Algoritme IC}) - V_o (\text{Tanpa MPPT})}{V_o (\text{Tanpa MPPT})} \times 100\%$$

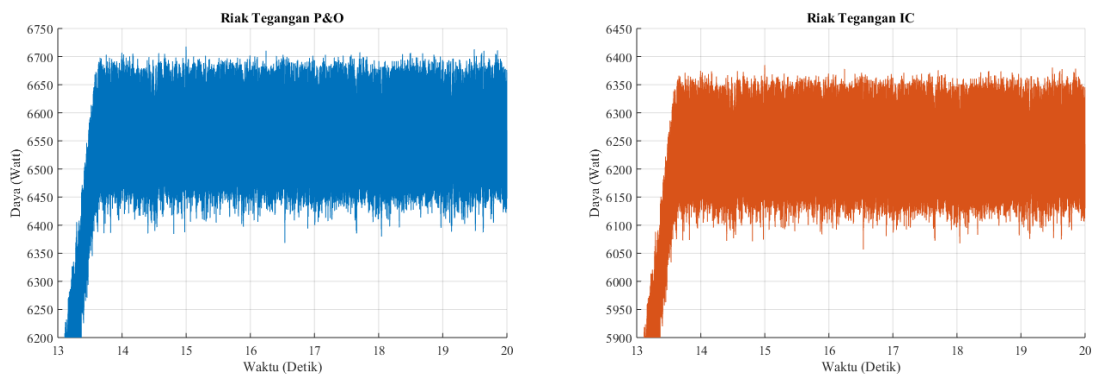
$$\frac{709,2 - 678,4}{678,4} \times 100\% = 4,54 \%$$

- Persentase kenaikan Arus :

$$\text{Persentase Kenaikan} = \frac{I_o (\text{Algoritme IC}) - I_o (\text{Tanpa MPPT})}{I_o (\text{Tanpa MPPT})} \times 100\%$$

$$\frac{8,841 - 5,119}{5,119} \times 100\% = 72,71 \%$$

Daya keluaran sistem PV dengan MPPT algoritme P&O dapat menaikkan penyimpanan daya hingga 91,2% dibandingkan sistem PV tanpa kendali MPPT. Persentase kenaikan tegangan kecil sementara kenaikan arus cukup tinggi. Peningkatan nilai arus yang di simpan ke baterai meningkat tinggi karena struktur rangkaian yang digunakan pada sistem PV adalah paralel, dimana arus dari setiap modul akan dijumlahkan.



Gambar 4.6 Grafik osilasi *output* sistem kendali MPPT

Saat keadaan *steady-state*, tegangan dan arus yang dihasilkan converter tetap beresilasi. 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 4.5, dapat diamati bahwa *settling time* kedua algoritme sama besar namun, nilai *rise time* dari algoritme P&O lebih rendah dari algoritme IC. Kelebihan dan kekurangan masing-masing algoritme lebih detail pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Kelebihan dan kekurangan algoritme MPPT

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

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. 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.

5.2. Saran

Dari analisis pada penelitian, terdapat saran untuk penggunaan sistem kendali MPPT untuk sistem PV paralel sebagai berikut:

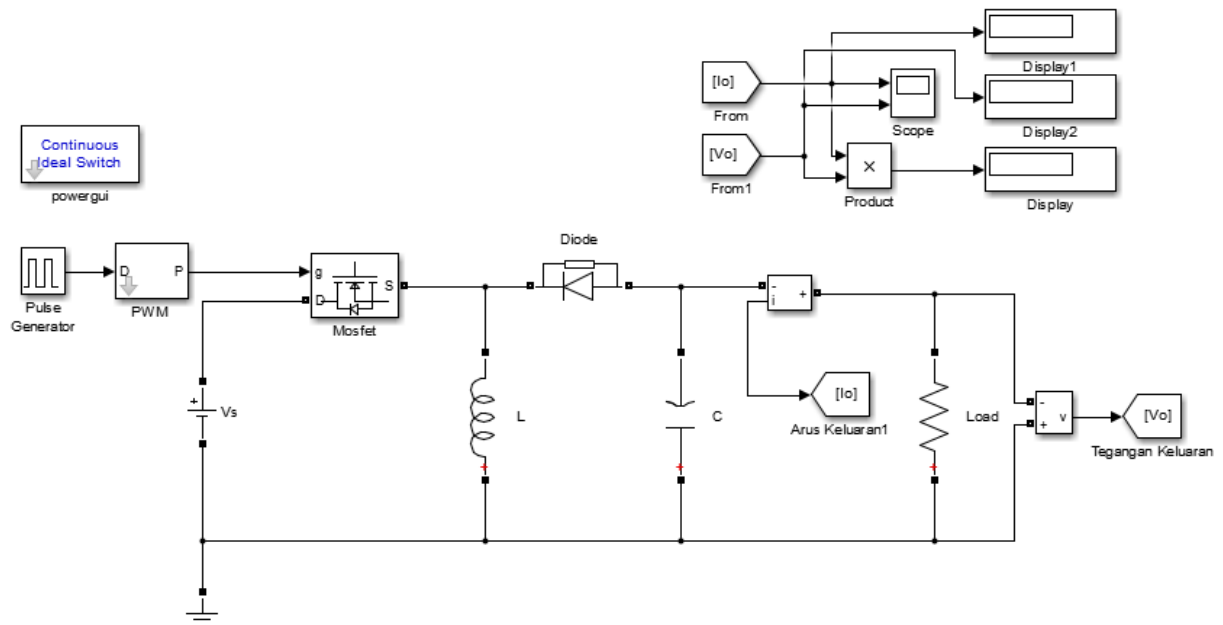
1. Pemilihan modul untuk membuat sistem PV paralel harus memiliki material dan komposisi parameter yang baik.
2. Penggunaan sistem kendali MPPT harus sesuai dengan target yang ingin dicapai, antara daya yang lebih atau ketahanan baterai yang lama.
3. Pemilihan resistor sebagai pengganti beban pada *buck-boost converter* lebih baik untuk dapat menghasilkan daya yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Bellia, R. Youcef, dan M. Fatima, “A Detailed Modeling Of Photovoltaic Module Using MATLAB,” *NRIAG J. Astron. Geophys.*, vol. 3, no. 1, pp. 53–61, Jun. 2014.
- [2] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo, dan M. Vitelli, “Optimal Control of Photovoltaic Arrays,” *Math. Comput. Simul.*, vol. 91, pp. 1–15, May 2013.
- [3] Y. Riesen, C. Ballif, dan N. Wyrsh, “Control Algorithm for A Residential Photovoltaic System With Storage,” *Appl. Energy*, vol. 202, pp. 78–87, Sep. 2017.
- [4] W. B. Pramono, D. A. R. Wati, dan M. V. T. Yadaka, “Simulasi Maximum Power Point Tracking pada Panel Surya Menggunakan Simulink MATLAB,” *Pros. Semin. Nas. ReTII ke-9*, vol. 1, pp. 176–183, 2015.
- [5] M. F. Salam dan 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.
- [6] R. I. Putri, S. Wibowo, dan M. Rifa’i, “Maximum Power Point Tracking For Photovoltaic Using Incremental Conductance Method,” *Energy Procedia*, 2015, vol. 68, pp. 22–30.
- [7] R. Tang, “Large-Scale Photovoltaic System On Green Ship And Its MPPT Controlling,” *Sol. Energy*, vol. 157, pp. 614–628, Nov. 2017.
- [8] M. Effendy, “Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking (MPPT) Solar Sel untuk Aplikasi Pada Sistem Grid Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTAg),” *J. Gamma*, no. September, pp. 170–178, 2013.
- [9] M. Otong dan R. M. Bajuri, “Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Buck-Boost Converter,” *J. Ilm. SETRUM*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [10] A. Soetedjo, A. Lomi, Y. I. Nakhoda, dan A. U. Krismanto, “Modeling of Maximum Power Point Tracking Controller for Solar Power System,” *TELKOMNIKA*, vol. 10, no. 3, pp. 419–430, 2012.
- [11] O. Deveci dan C. Kasnakoglu, “MIMO Nonlinear Modeling And Robust Control Of Standalone DC Photovoltaic Systems,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 28, pp. 18064–18080, Jul. 2017.

LAMPIRAN

1. Blok Simulasi *Buck-Boost Converter*



2. Kode ALGORITME P&O

```
function D = PnO(Vpv, Ipv)
%% Set Parameter
deltaD = 0.0025;      % Nilai Parameter naik dan turunnya Duty Cycle

%% Inisialisasi

% Mendefinisikan nilai internal Awal Tegangan, Daya, dan Duty Cycle
persistent Dprev Pprev Vprev

if isempty(Dprev)
    Dprev = 0.15;
    Vprev = 408;
    Pprev = 2089;
end

% Menghitung Daya
Ppv = Vpv*Ipv;

%% Main Loop of P&O
```

```

if (Ppv-Pprev) == 0
    if (Ppv-Pprev) > 0
        if (Vpv-Vprev) > 0
            D = Dprev + deltaD;
        else
            D = Dprev - deltaD;
        end
    else
        if (Vpv-Vprev) > 0
            D = Dprev - deltaD;
        else
            D = Dprev + deltaD;
        end
    end
end
else
    D = Dprev;
end

Dprev = D;      % Update Nilai internal Duty Cycle
Vprev = Vpv;    % Update Nilai internal Tegangan
Pprev = Ppv;    % Update Nilai internal Daya

```

3. Kode ALGORITME IC

```

function D = IC(Vpv, Ipv)
%% Set Parameter
deltaD = 0.0025;

%% Inisialisasi

% Mendefinisikan nilai internal Awal Tegangan, Arus, dan Duty Cycle
persistent Dprev Vprev Iprev

    if isempty(Vprev)
        Vprev=408;
        Iprev=5.1191;
        Dprev=0.15;
    end

% menghitung nilai selisih/error
dV=Vpv-Vprev;

```

```

dI=Ipv-Iprev;

%% Main Loop

if dV==0
    if dI==0
        D =Dprev;
        return
    else
        if dI>0
            D = Dprev - deltaD;
        else
            D = Dprev + deltaD;
        end
    end
end
else
    if Ipv+(dI/dV)==0
        D=Dprev;
        return
    else
        if Ipv+(dI/dV)>0
            D = Dprev + deltaD;
        else
            D = Dprev - deltaD;
        end
    end
end

Dmax=0.88;      % Batasan maksimal nilai Duty Cycle
Dmin=0.22;      % Batasan maksimal nilai Duty Cycle

% Membuat batasan untuk Duty Cycle
if D>=Dmax || D<=Dmin
    D=Dprev;
end

Dprev=D;        % Update Nilai internal Duty Cycle
Vprev=Vpv;      % Update Nilai internal Tegangan
Iprev=Ipv;      % Update Nilai internal Arus

```