



TUGAS AKHIR - TF 141581

**EKSTRAKSI DAYA MAKSIMUM PADA
PHOTOVOLTAIC DENGAN *SUPERVISORY
CONTROL* BERBASIS ALGORITMA *EXTREMUM
SEEKING* UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA HIBRIDA *WIND TURBINE* DAN
*PHOTOVOLTAIC***

AKHMAD IBNU HIJA
NRP. 0231 14 4000 0067

Dosen Pembimbing :
Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - TF 141581

**MAXIMUM POWER EXTRACTION ON
PHOTOVOLTAIC WITH SUPERVISORY
CONTROL BASED ON EXTREMUM SEEKING
ALGORITHM FOR HYBRID POWER PLANT
WIND TURBINE AND PHOTOVOLTAIC**

**AKHMAD IBNU HIJA
NRP. 0231 14 4000 0067**

**Supervisors :
Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T**

**ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Akhmad Ibnu Hija
NRP : 02311440000067
Departemen : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Ekstraksi Daya Maksimum pada *Photovoltaic* Dengan *Supervisory Control* Berbasis Algoritma *Extremum Seeking* Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida *Wind Turbine* Dan *Photovoltaic*" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 08 Juni 2018
Yang membuat pernyataan,



Akhmad Ibnu Hija
NRP. 02311440000067

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

EKSTRAKSI DAYA MAKSIMUM PADA PHOTOVOLTAIC DENGAN *SUPERVISORY CONTROL* BERBASIS ALGORITMA *EXTREMUM SEEKING* UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRIDA *WIND* *TURBINE* DAN *PHOTOVOLTAIC*

Oleh:

Akhmad Ibnu Hija
NRP 0231144000067

Surabaya, 08 Juni 2018

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Dr. Katheria Indriawati, S.T., M.T
NIPN. 19760523 200012 2 001

Mengetahui,

Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS




Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D
NIPN. 19780902 200312 1 002

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN II
EKSTRAKSI DAYA MAKSIMUM PADA
PHOTOVOLTAIC DENGAN SUPERVISORY CONTROL
BERBASIS ALGORITMA EXTREMUM SEEKING UNTUK
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRIDA WIND
TURBINE DAN PHOTOVOLTAIC**





TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

AKHMAD IBNU HIJA
NRP. 0231144000067

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Katherin Indriawati S.T., M.T.,  (Pembimbing I)
2. Dr. Bambang Lelono Widjiantoro S.T., M.T.,  (Penguji I)
3. Ir. Ya'umar, M.T.,  (Penguji II)
4. Dr.rer.nat. Ir. Aulia M. T. Nasution M.Sc.,  (Penguji III)

**SURABAYA
JULI, 2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**EKSTRAKSI DAYA MAKSIMUM PADA *PHOTOVOLTAIC*
DENGAN *SUPERVISORY CONTROL* BERBASIS
ALGORITMA *EXTREMUM SEEKING* UNTUK
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRIDA *WIND*
TURBINE DAN *PHOTOVOLTAIC***

Nama : Akhmad Ibnu Hija
NRP : 0231144000067
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T

Abstrak

Pemanfaatan energi matahari dan energi angin di Indonesia masih belum optimal. Adanya pembangkit listrik tenaga hibrida (PLTH) menjadi solusinya. Namun *photovoltaic* dan *wind turbine* sebagai teknologi konversi energi matahari dan energi angin memiliki banyak kendala. Kebergantungan dengan iklim menjadikan keluaran daya yang tidak maksimal dan tidak stabil. Maka dibutuhkan mekanisme pemaksimalan daya keluaran dari *photovoltaic* menggunakan *supervisory control* berbasis Algoritma *Extremum Seeking* (ES) dengan *battery controller* sebagai penstabil keluaran tegangan sistem. Algoritma ES menghasilkan nilai sinyal referensi berupa arus (I_{ref}) sehingga pada setiap perubahan lingkungan nilai daya yang dihasilkan selalu pada titik maksimum. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan algoritma ES pada perubahan kondisi lingkungan, selisih daya antara algoritma ES dengan daya maksimal *photovoltaic openloop* rata-rata sebesar 58.98%, dibandingkan dengan metode P&O memiliki rata-rata selisih daya dengan *photovoltaic openloop* sebesar 41,45%, namun algoritma ES memiliki 6 kondisi dengan selisih dibawah 5%, 4 diantaranya dibawah 1%, sedangkan P&O hanya 4 kondisi dibawah 5%, diantaranya 1 titik dibawah 1 %. Sehingga algoritma ES memiliki performa lebih baik daripada metode P&O. *Battery controller* menggunakan aktuatur berupa *buck-boost* DC-DC konverter dan algoritma PID sebagai kontrolnya mampu menstabilkan keluaran sebesar 12 V dengan nilai *error* rata-rata sistem sebesar 4,73%

Kata kunci : PLTH, Algoritma ES, Kontrol PID, Battery Controller

**MAXIMUM POWER EXTRACTION ON PHOTOVOLTAIC
WITH SUPERVISORY CONTROL BASED ON EXTREMUM
SEEKING ALGORITHM FOR HYBRID POWER PLANT
WIND TURBINE AND PHOTOVOLTAIC**

Name : Akhmad Ibnu Hija
NRP : 0231144000067
Departement : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervysor : Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T

Abstract

Utilization of solar energy and wind energy in Indonesia are not optimal yet. The Hybrids Power Plant becomes the solution. But photovoltaic and wind turbine as a technology to convert solar energy and wind energy has many constraints. Reliance with climate makes the output power is not optimal and unstable. So we need the mechanism of maximizing the output power from photovoltaic using supervisory control based on Extremum Seeking (ES) Algorithm, with battery controller as the system voltage output stabilizer. The ES algorithm produces a reference signal value in the form of a current (I_{ref}) so that in each environmental change the value of power generated is always at its maximum point. Based on simulation result which have been done using ES algorithm on environmental condition change, the difference of power between ES algorithm with maximum power openloop condition average is 58.98%, compared with P & O method has average power difference with openloop photovoltaic equal to 41.45%, but ES algorithm has 6 conition with different value below 5%, 4 of them below 1%, whereas P & O only 4 condition with different value below 5% among them 1 point below 1%. So the ES algorithm performs better than the P & O method. Battery controller using actuator buck-boost DC-DC converter and PID algorithm as its control able to stabilize output equal to 12 V with system error average value equal to 4,73%

Keyword : Hybrids Power Plant, ES Algorithm, PID Control, Battery Controller,

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya Tugas Akhir beserta Laporan Tugas Akhir yang berjudul **EKSTRAKSI DAYA MAKSIMUM PADA PHOTOVOLTAIC DENGAN SUPERVISORY CONTROL BERBASIS ALGORITMA EXTREMUM SEEKING UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRIDA WIND TURBINE DAN PHOTOVOLTAIC.**

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian Tugas Akhir dan laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika dan dosen wali yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Kedua orang tua Drs. Dahlan Thohari dan Dra. Endang Sriwinarsih serta saudari saya Ary Fauziah Amini, S.Pn terimakasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
3. Ibu Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing serta Kepala Laboratorium Fisika Rekayasa yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, nasehat, serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
4. Bapak Ir. Heri Joestiono, M.T, selaku dosen wali penulis yang telah membimbing selama perkuliahan.
5. Seluruh teman penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir Juniar Diantika, Roni, Senko, Rifqi, Wenda, Naufal, Anis, Hito, Munir, Srestha dkk, Seluruh asisten Fisika Rekayasa, Seluruh angkatan TF 2014 dan Seluruh teman-teman Trainer Keilmiah ITS Integrator, terima kasih untuk semuanya.
6. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Fisika FTI-ITS, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.

7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Selain itu juga semoga dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan Tugas Akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 08 Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
<i>TITLE PAGE</i>	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASME.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
LEMBAR PENGESAHAN II.....	ix
Abstrak.....	xi
Abstract.....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR NOTASI.....	xxiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Laporan.....	4
BAB II.....	7
TEORI PENUNJANG.....	7
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida.....	7
2.1.1 Sel Surya (Photovoltaic).....	7
2.1.2 Turbin Angin (<i>Wind Turbine</i>).....	12
2.2 Supervisory Control.....	13
2.3 <i>Multiinput DC-DC Converter</i>	14
2.4 Extremum Seeking Control.....	16
BAB III.....	19
METODOLOGI PENELITIAN.....	19

3.1	Pemodelan <i>Photovoltaic</i> tipe MSX120.....	20
3.2	Pemodelan <i>Multiinput DC-DC Converter</i>	21
3.3	Perancangan kontrol PID.....	22
3.4	Perancangan Algoritma <i>Extremum Seeking</i>	22
3.5	Perancangan <i>Battery Controller</i> dan Sistem Kontrol PID	24
BAB IV	.....	27
ANALISA DAN PEMBAHASAN.....		27
4.1	Karakteristik <i>Photovoltaic</i> MSX120.....	27
4.2	Multiinput DC-DC Converter.....	30
4.3	Ekstraksi Daya Maksimum <i>Photovoltaic</i>	33
4.4	Daya Keluaran <i>Photovoltaic</i>	36
4.4.1	Perbandingan Keluaran Daya <i>Photovoltaic</i> Menggunakan ES dengan Teori.....	36
4.4.2	Perbandingan keluaran daya keluaran <i>photovoltaic</i> menggunakan algoritma ES dengan metode P&O.....	40
4.5	Analisa Penstabilan Keluaran Tegangan pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida.....	45
BAB V	.....	51
KESIMPULAN DAN SARAN	.....	51
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....		53
LAMPIRAN A SIMULASI SIMULINK	.....	57
LAMPIRAN B PENGOLAHAN DATA	.....	61
BIODATA PENULIS.....		67

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Struktur pembentuk sel surya cells	8
Gambar 2. 2 Rangkaian elektrik pada sel surya secara umum ..	10
Gambar 2. 3 Skema umum supervisory control pada proses produksi	13
Gambar 2. 4 konfigurasi sirkuit multiinput buck boost PCSC ..	15
Gambar 2. 5 Blok Diagram dari skema ESC.....	16
Gambar 3. 1 Diagram Alir	20
Gambar 3. 2 Rangkaian Ekuivalen Multiinput DC-DC Converter	21
Gambar 3. 3 Diagram blok sistem kontrol	22
Gambar 3. 4 Diagram Blok Algoritma Extremum Seeking.....	23
Gambar 3. 5 Diagram Blok Sistem Ekstraksi Daya Maksimum	24
Gambar 3. 6 Diagram Blok Sistem Penstabilan Tegangan Keluaran.....	24
Gambar 4. 1 Respon uji openloop photovoltaic kurva P-V.....	27
Gambar 4. 2 Respon uji openloop photovoltaic Kurva I-V	27
Gambar 4. 3 Respon Multiinput DC-DC BuckBoost Converter	31
Gambar 4. 4 Respon Arus Photovoltaic dan Arus Wind Turbine	31
Gambar 4. 5 Respon kontrol PID.....	34
Gambar 4. 6 Respon perubahan daya pada perubahan kondisi lingkungan.....	35
Gambar 4. 7 grafik perbandingan daya algoritma ES dengan teori	39
Gambar 4. 8 Respon kontrol PID Pestabil Tegangan	48

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Nilai parameter konstan pada sel surya.....	11
Tabel 2. 2 Nilai datasheet photovoltaic MSX120	11
Tabel 2. 3 Nilai parameter sirkuit photovoltaic tipe MSX120 ...	11
Tabel 4. 1 Karakteristik Photovoltaic	28
Tabel 4. 2 Nilai parameter pada algoritma ES	33
Tabel 4. 3 Perbandingan nilai optimum algoritma ES dengan Teori.....	36
Tabel 4. 4 Nilai Error Algoritma ES Dibandingkan Secara Teori	38
Tabel 4. 5 Hasil Keluaran MPPT metode P&O	40
Tabel 4. 6 Perbandingan daya keluaran photovoltaic metode P&O algoritma ES dan teori.....	41
Tabel 4. 7 Data keluaran Battery Controller	47

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR NOTASI

I	=	Arus Keluaran <i>Photovoltaic</i> (A)
I_{ph}	=	Arus disebabkan oleh besarnya intensitas cahaya (A)
I_{os}	=	Arus pada <i>open circuit</i> (A)
q	=	Muatan Elektron (C)
A	=	Dioda <i>ideality factor</i>
K	=	Ketetapan Bloztman (J/K)
T	=	Temperatur <i>photovoltaic</i> (K)
V	=	Tegangan keluaran <i>photovoltaic</i> (V)
R_s	=	Hambatan seri terhadap sumber arus (Ω)
R_{sh}	=	Hambatan paralel terhadap sumber arus (Ω)
I_{or}	=	Arus inverse dioda (A)
T_r	=	Temperatur Referensi (Ω)
E_{go}	=	<i>Band Gap</i> silikon (eV)
I_{SC}	=	Arus pada <i>short circuit</i> (A)
K_i	=	Koefisien perubahan arus terhadap perubahan temperatur (%/°C)
Σ	=	Irradiasi matahari (W/m ²)
ω_h	=	<i>Highpass</i> filter
ω_l	=	<i>Lowpass</i> filter
J	=	Fungsi objektif
k_{ESC}	=	<i>Gain</i> ESC
α	=	Amplitudo sinyal rangsangan
U	=	Perbandingan daya terukur dengan daya acuan
P_{base}	=	Daya Acuan (W)
$P_{measurement}$	=	Daya terukur (W)
V_o	=	Tegangan Keluaran konverter (V)
V_{wind}	=	Tegangan Keluaran <i>wind Turbine</i> (V)
d_1	=	<i>Duty cycle</i> pada gate 1
d_2	=	<i>Duty cycle</i> pada gate 2
V_{bat}	=	Tegangan baterai (V)
I_{bat}	=	Arus baterai (A)
R	=	Hambatan konverter (Ω)

ΔV_{bat}	=	<i>Margin error</i> tegangan baterai (V)
L_{min}	=	Induktor minimal pada konverter (μH)
D	=	<i>Duty cycle</i> pada <i>battery controller</i>
F	=	Frekuensi <i>switching</i> (Hz)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia menjadi salah satu negara dengan potensi sumber energi terbarukan yang melimpah. Berdasarkan *Outlook Energi Indonesia 2016* yang dikeluarkan oleh Dewan Energi Nasional (DEN) untuk sumber daya energi terbarukan surya dan angin sangat melimpah potensi yang belum dimaksimalkan, sumber daya sebesar 4,80 kWh/m²/day atau jika diakumulasikan sebesar 207,9 GW dibandingkan kapasitas terpasang hanya sebesar 78,5 MW. Energi angin di Indonesia memiliki kecepatan berkisar 3-6 m/s dan jika di konversi menjadi energi listrik maka energi listrik yang dihasilkan sebesar 60 GW, dibandingkan dengan kapasitas terpasang saat ini sebesar 3,1 MW saja (DEN, 2016). Maka penerapan pembangkit listrik tenaga hibrida menjadi solusi pemanfaatan energi surya dan energi angin di Indonesia.

Menurut Lazarov dalam Lee dkk Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) menggunakan *renewable energy* dengan sistem hibrida dimana tersusun dari dua atau lebih dari sumber *renewable energy* yang mampu memproduksi energi, dengan kata lain terdapat dua sistem dari konversi *renewable energy* menjadi energi listrik yang beroperasi secara bersamaan (Lee, dkk., 2017). Energi alternatif yang dimanfaatkan secara bersamaan (*multisource*) mempunyai potensi yang besar untuk meningkat ke kualitas pemanfaatan energi listrik yang lebih tinggi dan lebih dapat diandalkan untuk di masyarakat dalam pemanfaatannya daripada menggunakan satu sumber energi alternatif (*singlesource*) (Broujeni & Fathi, 2013).

Proses pemanfaatan energi alternatif secara bersama membutuhkan suatu alat yakni *multi input dc-dc converter* yang memiliki kemampuan mengkombinasikan kelebihan dari masing-

masing sumber energi. Dengan menggunakan *multi input* dc-dc *converter* mampu meningkatkan keandalan dan penggunaan dari sumber energi yang berkelanjutan. Selain itu *multi input* dc-dc *converter* mempunyai kelebihan juga dalam menghemat komponen yang digunakan, dan kontrol yang terpusat dari pada menggunakan *single input* dc-dc *converter* (Tao, dkk., 2006). *Multi input* dc-dc *converter* yang akan diteliti kali ini berjenis *buck-boost converter* karena mampu menaik-turunkan tegangan *output* sesuai dengan beban yang akan dialiri listrik (Bae & Kwasinski, 2009).

Permasalahan menggunakan *wind turbine* dan *photovoltaic* adalah banyaknya parameter yang mempengaruhi nilai *output* dari sistem, maka perlu adanya kontrol pemaksimalan konversi energi pada *wind turbine* dan *photovoltaic* salah satunya adalah *Supervisory Control*. Algoritma ES merupakan suatu metode algoritma optimisasi yang *real time*, dimana metode tersebut terdiri dari rangsangan sistem oleh sinyal periodik serta mengobservasi *output* dari sistem dalam mode statik untuk mengoptimisasi dan mengkontrol gradien dari fungsi objektif dinilai nol (Kebir, dkk., 2018). Gradien bernilai nol berarti nilai fungsi dari objektif tersebut berada pada titik maksimal.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Valenciaga dan Puleston menggunakan *supervisory control* untuk manajemen operasi daya yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga hibrida berupa *wind turbine* dan *photovoltaic*. manajemen daya dilakukan oleh masing-masing konverter DC-DC dari masing-masing sistem pembangkit yang diarahkan ke beban serta ke baterai jika daya beban sudah tercukupi (Valenciaga & Puleston, 2005). Penelitian tersebut hanya menggunakan *singleinput* dc-dc *converter* pada penerapannya. Hal ini menimbulkan banyaknya biaya serta kurang praktis pada pembangkit tersebut, serta belum adanya algoritma pemaksimalan daya pada masing-masing sumber daya. Metode

memaksimalkan ekstraksi daya menggunakan algoritma ES dengan cara memfilter besar nilai daya yang dihasilkan *photovoltaic* untuk menghasilkan nilai arus referensi yang akan menghasilkan besar daya maksimal pada setiap kondisi lingkungan. Lalu arus *photovoltaic* akan dikontrol menggunakan kontrol PID.

Bergantungnya *wind turbine* dan *photovoltaic* pada lingkungan memberikan dampak fluktuasinya nilai keluaran daya pada sistem PLTH yang mengakibatkan gampang rusaknya alat elektronik yang ada pada rumah tangga maupun industri ataupun pada sistem penyimpanan dalam hal ini adalah baterai, sehingga perlu adanya suatu mekanisme penstabilan *output* tegangan yang akan disalurkan pada baterai atau beban.

Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dirancang suatu *multi input dc-dc converter* yang dikombinasikan dengan ESC untuk kedua sumber energi yaitu *wind turbin* dan *photovoltaic*, dengan kondisi sumber daya energi *wind turbine* dianggap konstan. Tujuan yang diharapkan dengan rancangan *multi input dc-dc converter* ini adalah mampu lebih memaksimalkan potensi energi terbarukan yang ada di Indonesia dengan kontrol yang mampu untuk menghasilkan daya maksimal pada setiap sistem pembangkitnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka didapatkan permasalahan dalam tugas akhir ini, yaitu :

- Bagaimana merancang *Supervisory Control* berbasis Algoritma *Extremum Seeking* pada *multiinput dc-dc converter* untuk memaksimalkan ekstraksi daya *photovoltaic* di pembangkit listrik tenaga hibrida?
- Bagaimana menstabilkan output tegangan pembangkit listrik tenaga hibrida?

- Bagaimana performansi *supervisory control* berbasis algoritma ES dibandingkan dengan ekstraksi daya maksimum menggunakan algoritma P&O?

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini antara lain :

- Merancang *Supervisory Control* berbasis Algoritma *Extremum Seeking* pada *multiinput* dc-dc *converter* untuk memaksimalkan ekstraksi daya *photovoltaic* di pembangkit listrik tenaga hibrida
- Merancang sistem untuk menstabilkan output tegangan pembangkit listrik tenaga hibrida
- Mengetahui performansi *supervisory control* berbasis algoritma ES dibandingkan dengan ekstraksi daya maksimum menggunakan algoritma P&O

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Memaksimalkan ekstraksi daya hanya pada *photovoltaic*
- Kondisi *wind turbine generator* dianggap konstan
- Pada penelitian kali in berfokus untuk mengekstraksi daya,
- Beban/ Baterai yang digunakan berkapasitas 12 Volt , sehingga output *Battery Controller* sebesar 12 Volt

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

- a. BAB I Pendahuluan
Bab I ini terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika laporan.
- b. BAB II Teori Penunjang
Bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, seperti

pembangkit listrik tenaga hibrida kapal, sel surya, turbin angin, *supervisory control*, *Multiinput DC-DC Converter* dan *Extremum Seeking Control*

c. BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode, dan langkah-langkah dalam penelitian.

d. BAB IV Analisis Data dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang data hasil penelitian dari simulasi sistem pembangkit listrik tenaga hibrida dengan *multiinput DC-DC converter* serta menggunakan algoritma *extremum seeking*.

e. BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini diberikan kesimpulan tentang tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan data-data yang diperoleh, serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida

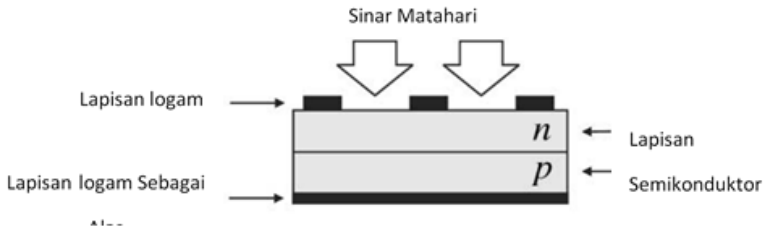
Pembangkit listrik Tenaga Hibrida (PLTH) merupakan suatu pembangkit yang mengkombinasikan beberapa penghasil sumber daya yang memiliki tipe sumber energi terbarukan yang berbeda. Hal ini bertujuan untuk mereduksi kemungkinan adanya kekurangan energi listrik (Valenciaga & Puleston, 2005). PLTH mempunyai potensi yang besar untuk memenuhi kebutuhan pelanggan yang semakin lama semakin tinggi. PLTH juga menjadi sumber energi yang *reliable* jika dibandingkan dengan pembangkit tunggal (Broujeni & Fathi, 2013). Banyaknya sumber yang berbeda membuat PLTH menjadi alternatif sebagai pembangkit tenaga listrik dengan energi terbarukan pada daerah terpencil dengan sumber daya alam yang melimpah. Keuntungan menggunakan PLTH daya yang dihasilkan disimpan dalam sistem penyimpanan dalam hal ini baterai, sehingga mengurangi adanya rugi-rugi daya yang dihasilkan oleh pembangkit (Nurrohim, 2012).

Pada pembangkit listrik tenaga hibrida sumber energi terbarukan yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah matahari dan angin, yang sangat melimpah keberadaannya terutama di Indonesia. Sistem konversi energi matahari menjadi listrik adalah dengan sel surya (*photovoltaic*), sedangkan sistem konversi energi angin menjadi listrik adalah dengan menggunakan turbin angin (*wind turbine*).

2.1.1 Sel Surya (Photovoltaic)

Sel Surya atau *Photovoltaic* adalah suatu sumber energi listrik yang berasal dari pemanfaatannya cahaya matahari sebagai sumber energi menjadi energi listrik (Dzulkarnain, et al., 2014). Sel surya salah satu sistem konversi energi terbarukan yang sangat berpotensi di Indonesia, mengingat Indonesia adalah negara tropis dengan energi surya atau panas matahari memiliki kapasitas sumber daya sebesar 4,80 kWh/m²/day atau jika diakumulasikan sebesar 207,9 GW dibandingkan kapasitas terpasang hanya sebesar

78,5 MW (DEN, 2016). Menurut Sedra dan Smith dalam Villalva dkk sel surya pada dasarnya merupakan sambungan dioda semikonduktor *p-n junction* yang terpaparakan sinar matahari secara langsung. sel surya terdiri dari cell yang terbuat dari beberapa jenis dari semikonduktor yang berbeda dalam proses pembuatannya. Semikonduktor yang pada umumnya dijadikan sebagai *cell* pada sel surya adalah silikon. Silikon (Si) pada sel surya terdiri layer tipis film Si yang terhubung dengan terminal elektrik. Salah satu sisi dari layar Si diolah untuk membentuk *p-n junction*. Lapisan logam tipis di tempatkan pada permukaan diatas sel surya yang berhadapan langsung dengan matahari (Villalva, dkk., 2009), maka bentuk lapisan-lapisan penyusun sel surya dapat dilihat pada gambar 1. berikut Kutub Magnet



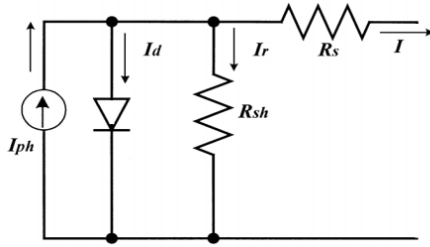
Gambar 2. 1 Struktur pembentuk sel surya cells (Villalva, dkk., 2009)

Cahaya matahari yang mengenai *cell* pada sel surya akan menghasilkan muatan yang berasal dari arus elektrik hal ini dapat terjadi jika *cell* mengalami arus pendek (Moller, 1993). Muatan dihasilkan ketika energi foton dari sinar matahari mampu untuk mengeluarkan elektron kovalen dari semikonduktor, hal ini bergantung dengan bahan semikonduktor dan juga panjang gelombang dari sinar matahari yang mengenai permukaan semikonduktor. Pada dasarnya, fenomena sel surya dapat dideskripsikan sebagai penyerapan radiasi panas matahari, menghasilkan arus, dan perpindahan pembawa muatan pada *p-n junction* serta mengoleksi muatan elektrik pada terminal dari sel surya (Fahrenbruch & Bube , 1983). Sel surya dalam menghasilkan

pembawa muatan elektrik bergantung pada *flux* dari cahaya matahari yang mengenai sel surya dan kapasitas penyerapan dari semikonduktor penyusunnya. kapasitas penyusun terutama bergantung dari besarnya nilai *bandgap* semikonduktor, yang terdapat pada permukaan cell, konsentrasi intrinsik dari pembawa muatan semikonduktor, dari mobilitas elektron, nilai rekomendasi, dari temperatur dan beberapa faktor lainnya (Villalva, dkk., 2009).

Radiasi sinar matahari tersusun dari energi-energi foton yang memiliki jumlah energi yang berbeda-beda. Energi foton yang memiliki besar energi kurang dari *bandgap* semikonduktor penyusun sel surya tidak dapat digunakan untuk mengkonversi energi dari radiasi sinar matahari menjadi tegangan maupun arus listrik. Energi foton yang besarnya melebihi energi *bandgap* semikonduktor mampu menghasilkan listrik baik tegangan maupun arus, namun hanya yang besarnya sesuai dengan besar *bandgap* tersebut, sisanya akan menjadi panas pada badan sel surya. Semikonduktor yang mempunyai besar bandgap rendah mempunyai keuntungan rentang spektrum dari radiasi sinar matahari yang mampu dikonversikan menjadi energi listrik lebih besar, namun tegangan yang dihasilkan lebih kecil. Si bukanlah satu-satunya semikonduktor yang digunakan untuk menyusul sel surya, bahkan bukanlah yang terbaik, namun Si mempunyai keuntungan proses fabrikasinya yang ekonomis dalam skala yang besar. Material lain mungkin memang lebih besar dalam efisiensi, namun memiliki biaya produksi yang besar dan biaya komersialisasi yang mahal.

Pada sel surya rangkaian elektrik juga mempengaruhi hasil dari keluaran daya sel surya. Macam-macam rangkaian komponen pada sel surya tergantung pada jumlah hambatannya serta letaknya. Hambatan yang letaknya seri terhadap sumber arus dan berjumlah satu, sedangkan jenis yang lain memiliki dua hambatan yang letaknya seri serta paralel terhadap sumber arus.



Gambar 2. 2 Rangkaian elektrik pada sel surya secara umum
(Broujeni & Fathi, 2013)

Berdasarkan pada gambar 2.2 maka persamaan karakteristik arus dan tegangan ($V - I$) dari sel surya adalah sebagai berikut (Moller, 1993).

$$I = I_{ph} - I_{os} \left(\exp \left(\frac{q}{AKT} (V + IR_s) - 1 \right) \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2.1)$$

$$I_{os} = I_{or} \left(\frac{T}{T_r} \right)^3 \exp \left[\frac{qE_{go}}{BK} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2.2)$$

$$I_{ph} = [I_{SC} + K_i(T - T_r)] \frac{\Sigma}{1000} \quad (2.3)$$

Pada persamaan diatas diketahui bahwa I adalah arus keluaran dari sel surya, V adalah tegangan keluaran dari sel surya. I_{ph} adalah besar arus yang disebabkan oleh besarnya intensitas cahaya, Σ adalah besar irradiansi matahari, q adalah muatan elektron. T_r adalah temperatur referensi, T adalah temperatur dari *cell*. E_{go} adalah besarnya *band gap* energi dari silikon, K adalah ketetapan Boltzman. R_s adalah besarnya hambatan pada rangkaian seri, R_{sh} adalah besarnya hambatan pada rangkaian parallel. A dan B adalah konstanta yang besarnya sama. I_{os} adalah besarnya arus pada *open circuit*, I_{or} adalah besarnya arus *inverse* pada dioda, dan K_i adalah temperatur koefisien. $\Sigma/1000$ dapat diganti dengan simbol λ untuk lebih meringkas persamaan diatas. Diantara parameter-parameter pada persamaan diatas nilai : A , I_{SC} , R_s , R_{sh} dan E_{go} memiliki peranan yang besar dalam menentukan karakteristik dari

elektrik keluaran sel surya, sedangkan lainnya yang memiliki nilai konstan hanya mempunyai sedikit pengaruh dalam menentukan karakteristik keluaran elektrik sel surya. berdasarkan wang dalam penelitiannya menyebutkan bahwa besaran-besaran konstan pada sel surya memiliki nilai pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Nilai parameter konstan pada sel surya (*Broujeni & Fathi, 2013*)

Parameter	Nilai
$K (J/K)$	$1.3806505 \times 10^{-23}$
$q (C)$	1.6×10^{-19}
$T_r (K)$	298.15
$I_{or} (A)$	0.2287×10^{-16}

Tugas akhir ini menggunakan spesifikasi dari *photovoltaic* bertipe MSX120 dengan spesifikasi seperti yang dipaparkan seperti Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 dibawah ini

Tabel 2. 2 Nilai datasheet photovoltaic MSX120 (Kitson, dkk., 2017)

Datasheet Parameter	Nilai	Datasheet Parameter	Nilai
Isc (A)	3.87	Ns	72
Voc (V)	42.1	Ki (%/°C)	0.065
Impp (A)	1.2	Kv(mv/°C)	-160
Vmpp (V)	18.6		

Tabel 2. 3 Nilai parameter sirkuit photovoltaic tipe MSX120 (Kitson, dkk., 2017)

Parameter	Nilai
Rsh (Ω)	940.9
Rs (Ω)	0.4539
A (<i>diode quality</i>)	1.4707
V _{tSRC} (V)	0.0378

Parameter-parameter diatas merupakan parameter yang terjadi ketika *photovoltaic* berada pada kondisi pengujian yang standar atau *Standar Tes Condition* (STC) yakni kondisi dimana irradiansi matahari sebesar 1000 W/m^2 , serta temperatur pada *photovoltaic* sebesar 25°C . Selain itu, parameter hasil perhitungan pada STC untuk *photovoltaic* tipe MSX120 ditunjukkan pada tabel 2.3

2.1.2 Turbin Angin (*Wind Turbine*)

Turbin angin merupakan sistem konversi energi angin (SKEA) yang penting dan sangat populer karena bersifat ramah lingkungan dan mentransformasi energi baru dan terbarukan secara mudah dan murah. Turbin Angin merupakan alat yang mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik. (Arsad & Hartono, 2009) Turbin angin juga dikenal dengan sebutan kincir angin yang merupakan sarana pengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik untuk memutar generator listrik. (Reksoatmodjo, 2005) SKEA mampu memproduksi daya listrik rata-rata lebih besar dari 5 MW tiap unit. Penerapan turbin angin telah meluas dan telah diinstalasi pada daerah yang memiliki kecepatan angin tinggi, kecepatan angin sedang dan kecepatan angin rendah, baik di darat maupun di laut. Jumlah kapasitas terpasang turbin angin dunia telah mencapai 196 GW pada akhir tahun 2010 dan diyakini akan terus tumbuh menjadi sistem transformasi energi primadona pada jangka panjang (Secretariat of WWINDEA, 2009). Penggunaan energi angin diramalkan dapat mencapai lima kali produksi energi global pada waktu yang akan datang atau 40 kali lipat permintaan energi listrik dunia saat ini (Anon., n.d.).

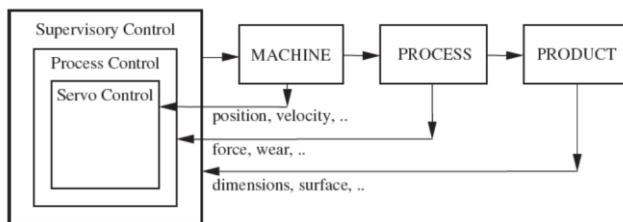
Konversi Energi pada Turbin Angin

Produksi daya angin yang ditangkap oleh sebuah *horizontal axis wind turbine* HAWT dapat diturunkan melalui persamaan energi kinetik angin yang bergerak dengan kecepatan tertentu ke arah sumbu x seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Untuk mengetahui seberapa besar daya yang dapat diekstrak oleh turbin angin dapat dilakukan dengan menghitung seberapa besar selisih

daya angin sebelum dan sesudah melintas turbin angin tersebut. Gambaran ekstraksi daya angin dapat dijelaskan melalui sebuah *conture tube* yang dilalui angin yang bergerak dengan kecepatan V melintas pada turbin angin. Pada keadaan tersebut kecepatan angin nilainya akan berkurang berbanding lurus dengan jarak blade turbin angin. Demikian pula tekanan angin yang melintas pada turbin akan naik akibat ruang gerak yang tersedia semakin sempit. Pada keadaan ini energi kinetik angin oleh turbin angin diubah menjadi energi rotasional atau daya angin. Ketika angin melintas sampai pada jarak tertentu pada turbin angin, maka kecepatan angin kembali pada kecepatan awal. Fenomena ini diakibatkan oleh ruang gerak yang melebar.

2.2 Supervisory Control

Supervisory Control merupakan istilah yang menggambarkan suatu sistem kontrol pengawasan yang mengacu pada peninjauan seluruh sistem operasi, perencanaan, koordinasi dan eksekusi yang bertujuan untuk memperbaiki performansi dari suatu sistem, nilai ekonomis, dan keandalan sistem tersebut. *Supervisory Control* memiliki beberapa fungsi antara lain, pemilihan strategi kontrol dari sistem, penggabungan sensor, memunculkan sinyal referensi, memonitoring adanya kerusakan, mendeteksi adanya gangguan, dan memonitoring performansi dari mesin (Wang & Gao, 2006). pada gambar berikut merupakan skema *supervisory control* pada proses produksi



Gambar 2. 3 Skema umum supervisory control pada proses produksi (Wang & Gao, 2006)

Berdasarkan gambar diatas maka dapat dilihat sebuah kontroler pada proses produksi yang terdiri atas tiga level kontrol yaitu pada level kontrol mesin, level kontrol proses, dan level kontrol pengawasan. Level pengawasan bekerja dengan cara mengkompensasi faktor-faktor yang belum diperhitungkan pada level kontrol sebelumnya secara eksplisit dalam desain kontrol nominal. Melalui level pengawasan juga dapat melakukan monitor terhadap kegagalan dan/atau kerusakan suatu komponen dalam proses produksi. Informasi didapatkan melalui sensor-sensor yang telah terpasang pada sistem yang digabungkan untuk meningkatkan keandalan dan informasi yang baik, dari informasi-informasi tersebut maka dapat digunakan untuk melakukan suatu optimisasi proses.

Tujuan utama adanya *supervisory control* adalah dengan mengoptimalkan produk, maka dari itu untuk melakukan hal tersebut *supervisory control* perlu melakukan dua hal berikut yaitu:

- Meningkatkan performansi dari sistem seperti mengurangi biaya
- menjaga parameter operasional (frekuensi dan tegangan, beban pada mesin, dan lain-lain) dalam batasannya

Berdasarkan tujuan diatas maka aksi yang dilakukan untuk melakukan tugas tersebut adalah sebagai berikut

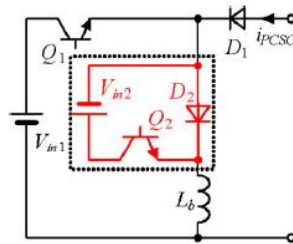
- Mengubah model operasi sistem (komponen *switching on/off*)
- mengubah *set point* operasi dari beberapa komponen

2.3 Multiinput DC-DC Converter

Multiinput DC-DC Converter adalah suatu perangkat elektronika yang telah dikembangkan teknologinya dimana mampu untuk masukan dari dua sumber daya atau lebih yang berbeda artinya penggabungan dari dua atau lebih konverter DC-DC baik seri maupun paralel untuk menyuplai beban yang sama dengan karakteristik masing-masing (Dzulkarnain, et al., 2014). *Multiinput DC-DC Converter* mempunyai kapabilitas untuk memiliki sumber daya masukan dari berbagai macam sumber daya

yang ada selain itu, *Multiinput DC-DC Converter* mampu untuk meningkatkan keandalan dari sistem (Dobbs & Chapman, 2003). *Multiinput DC-DC Converter* juga mampu untuk mengkombinasikan keuntungan-keuntungan dari masing-masing sumber daya yang menjadi masukan konverter, seperti sel surya, *fuel cells*, baterai dan berbagai sumber daya lainnya dengan perbedaan karakteristik tegangan serta arus pada masing-masing sumber daya untuk pengoptimalan penggunaan energi serta ekonomi (Khaligh, 2008). Secara umum DC-DC konverter memiliki fungsi sebagai berikut (Rashid, 2011):

- Untuk mengubah tegangan masukan sesuai dengan tegangan keluaran yang diinginkan
- Untuk mengatur besarnya keluaran tegangan sesuai dengan variasi beban
- Untuk mereduksi riak tegangan AC pada tegangan DC keluaran dari konverter dibawah tingkatan yang dibutuhkan
- Untuk memenuhi isolasi antara sumber masukan dan beban (hal ini tidak selalu dibutuhkan)
- Untuk melindungi sistem penyuplai dan tegangan masukan dari *electromagnetic interference* (EMI)
- Untuk memenuhi standar keamanan internasional dan nasional



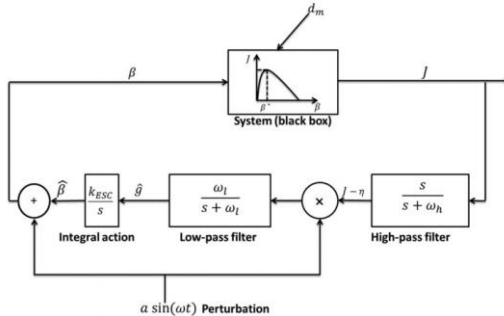
Gambar 2. 4 konfigurasi sirkuit multiinput buck boost PCSC (Li, dkk., 2010)

Pada gambar 2.4 merupakan konfigurasi sirkuit untuk tipe *multiinput DC-DC converter* yang dipakai pada tugas akhir ini yaitu *multi input buck boost PCSC (Pulsating Current Source Cell)* yaitu konverter yang menggunakan

induktor sebagai sumber penyimpanan arus. PCSC menggunakan sinyal *pulse* tegangan tinggi arus untuk mengatur daya keluaran

2.4 Extremum Seeking Control

Extremum seeking control adalah metoda control adaptif yang secara otomatis mengoptimalkan fungsi objektif yang tidak diketahui dari pengukuran performans dalam waktu nyata. Metode yang digunakan terdiri dari perangsangan sistem oleh sinyal periodik dan mengobservasi perilaku keluaran dari sistem pada kondisi statik untuk memperkirakan dan mengendalikan gradien pada fungsi objektif menjadi bernilai nol (Kebir, dkk., 2018). Ketika ESC diaplikasikan, tidak dibutuhkan diketahui secara detail relasi antara plant dinamik dengan objektif hanya yang diamati performans pengukuran plant. *Extremum seeking control* secara umum menggunakan sinyal perturbation, *low-pass filter*, *high-pass filter* dan integrator. ESC memiliki struktur yang dapat diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 2. 5 Blok Diagram dari skema ESC (Kebir, dkk., 2018)

berdasarkan gambar 2.6 maka didapatkan persamaan yang untuk ESC adalah sebagai berikut :

$$\beta = \hat{\beta} + a \sin(\omega t) \quad (2.8)$$

$$\dot{\hat{\beta}} = k_{ESC} \hat{g} \quad (2.9)$$

$$\dot{\hat{g}} = -\omega_l \hat{g} + \omega_l (J - \eta) a \sin(\omega t) \quad (2.10)$$

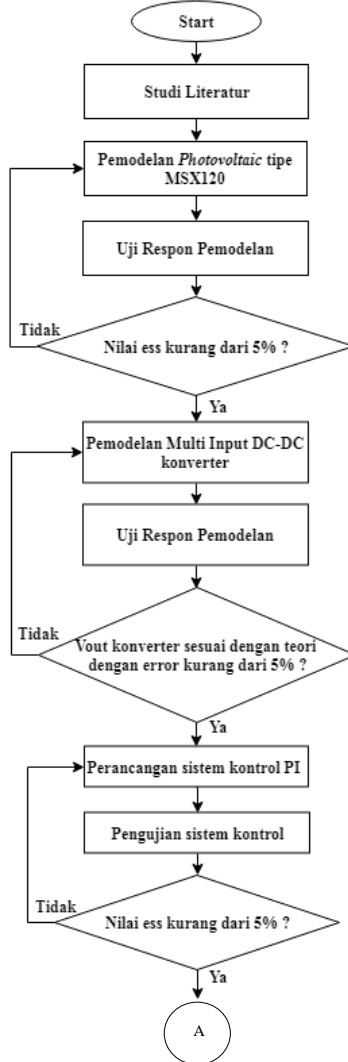
$$\eta = -\omega_h \eta + \omega_h J \quad (2.11)$$

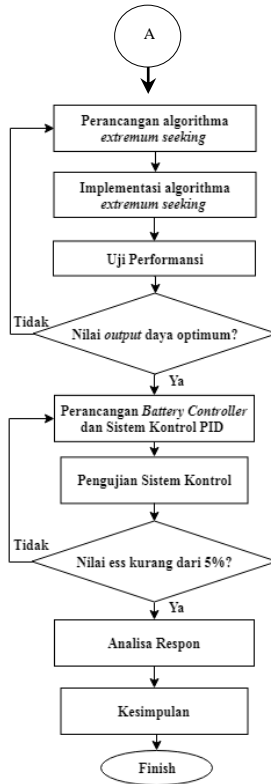
Dimana $a \in [a_{min} a_{max}]$ mewakili nilai dari amplitudo dari sinyal rangsangan, dimana bentuk sinyal umumnya berbentuk sinyal sinusoidal. ω adalah besarnya frekuensi dari sinyal rangsangan, a_{min} dan a_{max} adalah nilai positif kecil yang konstan dengan $a_{max} = \varepsilon a_{min}$, $\varepsilon \in R$, dan $\varepsilon > 1$, ω_h adalah nilai *cutoff* frekuensi dari *high-pass filter* digunakan untuk mengeliminasi nilai konstan dari η dari J , sedangkan J adalah fungsi objektif. ω_l adalah nilai *cutoff* dari *lowpass filter* yang digunakan untuk memperoleh nilai rata-rata dari hubungan fungsi objektif J dan sinyal rangsangan. k_{ESC} adalah *integral controller gain* yang digunakan untuk mendorong nilai gradien \hat{g} untuk mencapai nilai nol.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini ditampilkan dengan sebuah diagram alir (*flowchart*) pada Gambar 3.1





Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.1 Pemodelan *Photovoltaic* tipe MSX120

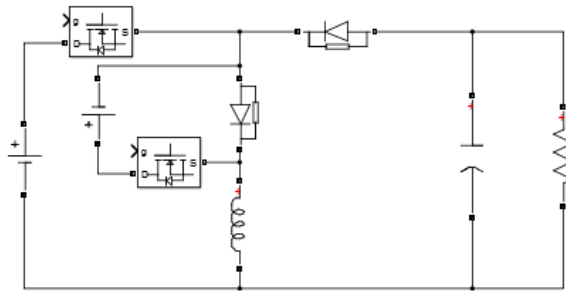
Pemodelan dilakukan berdasarkan rumus-rumus persamaan *photovoltaic* (2.1), (2.2), dan (2.3) yang telah tertulis diatas. *Photovoltaic* yang digunakan merupakan tipe MSX120 berdasarkan parameter-parameter pada Bab II

Pengujian pemodelan dilakukan dengan cara membandingkan nilai I_{mpp} dan V_{mpp} pada kondisi STC (*Standar Test Condition*) dari *datasheet* dengan hasil respon pemodelan yang telah dilakukan. Perhitungan nilai *error* pemodelan adalah sebagai berikut:

$$Error = \frac{Tegangan\ terukur - Tegangan\ secara\ teori}{Tegangan\ secara\ teori} \times 100\% \quad (3.1)$$

3.2 Pemodelan *Multiinput* DC-DC Converter

Pemodelan *Multiinput* DC-DC converter dilakukan dengan menggunakan rangkaian elektrik secara langsung dengan rangkaian *Buck Boost Converter* seperti yang dijelaskan oleh (Li Y, dkk., 2010). Rangkaian ekivalen *multiinput* dc-dc converter dapat dilihat pada Gambar 3.2



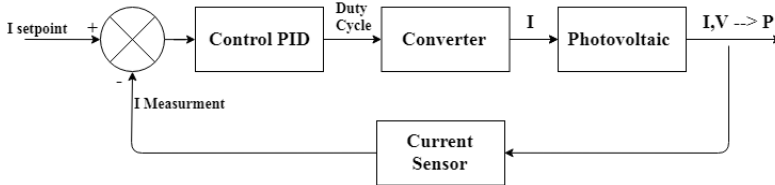
Gambar 3. 2 Rangkaian Ekivalen *Multiinput* DC-DC Converter

Berdasarkan gambar 3.2 terdapat beberapa komponen elektrik seperti resistor, kapasitor dan induktor mosfet dan dioda, yang akan mempengaruhi keefektivitasan dari konverter. Proses *switching* terjadi pada mosfet yang akan mempengaruhi besarnya arus yang akan dihasilkan oleh *photovoltaic*. Pengujian pemodelan *Multiinput* DC-DC converter dilakukan dengan cara uji *openloop* pemodelan dari simulink Matlab. Uji *openloop* dilakukan dengan melihat nilai *output* dari konverter dan respon *output* dari *buck boost converter*. Besarnya nilai *output* dari konverter dapat dihitung menggunakan rumus

$$V_o = \frac{d_1}{1-d_2} V + \frac{d_2}{1-d_2} V_{wind} \quad (3.2)$$

3.3 Perancangan kontrol PID

Sistem kontrol PID pada sistem ekstraksi daya maksimum untuk mengontrol besarnya arus yang terukur disesuaikan dengan *set point*. Keluaran dari kontrol PID nilai *duty cycle*. *Duty cycle* akan masuk pada PWM (*Pulse Width Modulation*) Generator untuk dijadikan sinyal PWM yang menjadi nilai masukan proses *switching* pada *gate* konverter untuk mengatur nilai arus agar sesuai dengan *set point*. Metode yang digunakan dalam *tracking* besarnya nilai proporsional (P), integral (I) dan derivatif (D) menggunakan *trial and error*.



Gambar 3. 3 Diagram blok sistem kontrol

3.4 Perancangan Algoritma *Extremum Seeking*

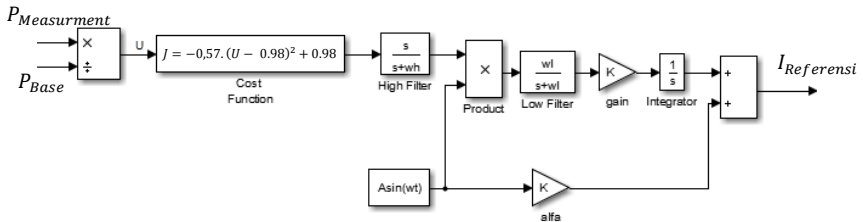
Algoritma ES mem-filter besaran fungsi objektif untuk menentukan nilai referensi, fungsi objektif pada sistem ekstraksi daya maksimum *photovoltaic* penelitian kali ini adalah besarnya perbandingan nilai daya keluaran *photovoltaic* yang dikalikan dengan *cost function*. Nilai dari *cost function* akan difilter melalui *high filter* (ω_h), setelah melalui tahapan ini maka hasil penyaringan *high filter* dikalikan dengan *perturbation* yaitu $\alpha \sin(\omega t)$. Hasil perkalian tersebut lalu di-filter dengan *low filter* (ω_l), hasil tahap ini akan dikalikan dengan nilai *gain* ES (K_{ESC}) kemudian akan di-integral-kan, hasil integral kemudian dijumlahkan dengan *perurbation* maka akan menjadi nilai referensi keluaran pada mekanisme kontrol algoritma ES. Nilai referensi pada mekanisme algoritma ES adalah arus referensi yaitu arus optimum dari *photovoltaic* pada kondisi lingkungan yang berbeda-beda. Parameter pada algoritma *Extremum Seeking* (ES) yaitu nilai *high filter* (ω_h), *low filter* (ω_l), α dan nilai *gain* ES (K_{ESC}) serta nilai *cost*

function merupakan hal mempengaruhi kesesuaian dari arus referensi yang dihasilkan. Persamaan pada *cost function* atau fungsi objektif yang dilakukan adalah sebagai berikut

$$J = -0,57 x (U - 0,98)^2 + 0,98 \quad (3.3)$$

Dengan U adalah perbandingan daya terukur ($P_{measurement}$) dengan daya acuan (P_{base}). P_{base} merupakan daya maksimal yang dihasilkan secara teori pada kondisi lingkungan dimana irradiasi matahari dan temperatur panel pada kondisi mampu menghasilkan daya yang paling tinggi dalam sehari.

Metode dalam menentukan nilai dari parameter-parameter diatas pada penelitian kali ini ditentukan dengan cara *trial and error*.

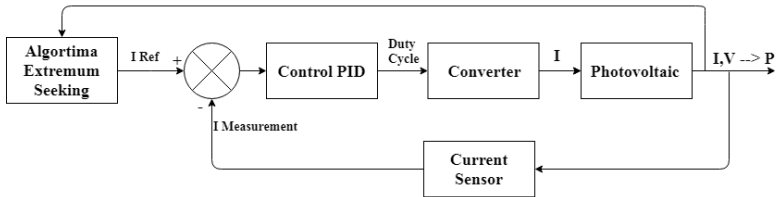


Gambar 3. 4 Diagram Blok Algoritma *Extremum Seeking*

Proses implementasi algoritma ES pada *photovoltaic* menyambungkan rancangan algoritma ES dengan keluaran daya *photovoltaic* untuk difilter sehingga output dari MPPT algoritma ES adalah I referensi yang akan menjadi *set point* pada sistem kontrol PID untuk mengoptimalkan *output* arus pada *photovoltaic* dengan optimalnya keluaran arus pada *photovoltaic* akan menjadikan besarnya daya keluaran pada *photovoltaic* maksimal pada kondisi lingkungan yang berubah-ubah.

Pada gambar 3.5 terlihat diagram blok dari sistem ekstraksi daya maksimum dengan menggunakan algoritma ES, dimana daya akan terukur memasuki algoritma ES untuk difilter menghasilkan arus referensi yang akan dibandingkan dengan arus terukur dari *photovoltaic* dan dikontrol dengan kontrol PID untuk

menghasilkan arus sesuai dengan arus referensi yang dihasilkan nilainya oleh algoritma ES.

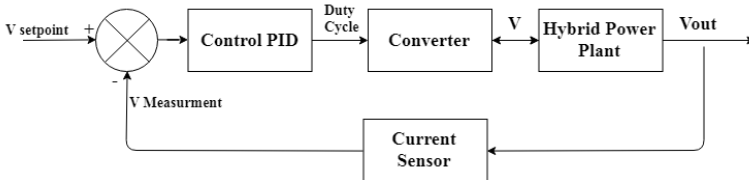


Gambar 3. 5 Diagram Blok Sistem Ekstraksi Daya Maksimum

Berdasarkan diagram blok diatas nilai arus yang mencapai titik optimum akan menjadikan nilai daya keluaran dari *photovoltaic* menjadi maksimum.

3.5 Perancangan *Battery Controller* dan Sistem Kontrol PID

Kontrol PID untuk tegangan keluaran dari sistem dirancang untuk menstabilkan tegangan yang akan disalurkan pada baterai sebesar 12 Volt. Berikut ini merupakan gambar diagram blok proses penstabilan tegangan keluaran dari pembangkit listrik tenaga hibrida



Gambar 3. 6 Diagram Blok Sistem Penstabilan Tegangan Keluaran

$V_{setpoint}$ pada diagram blok diatas adalah V pada spesifikasi baterai yang pada penelitian kali ini sebesar 12 V. Dalam proses penstabilan perlu adanya kontrol PID untuk melakukan kontrol menggunakan cara *men-tracking* V_o atau tegangan dari sistem ekstraksi daya maksimum yang telah dimaksimalkan menuju ke beban dalam hal ini baterai (*charging*). Dalam menentukan besarnya nilai Proporsional (P), Integral (I) dan Derivatif (D)

menggunakan *Trial and Error*. Pengujian sistem kontrol dilakukan dengan cara melihat respon dengan kondisi memasukkan nilai set point sebesar 12 V disesuaikan dengan baterai.

Pada *battery controller* konverter berperan sebagai aktuator yang didalamnya terdapat rangkaian-rangkaian elektronika resistor, dioda, mosfet, kapasitor dan induktor. Pada proses perancangan perlu adanya perhitungan – perhitungan komponen elektronika dengan rumus yang terdapat pada penelitian (Sidabutar, dkk., 2014) sebagai berikut

- Nilai *Duty Cycle*

$$\frac{V_{bat}}{V_o} = \frac{D}{1-D} \quad (3.3)$$

- Nilai Hambatan

$$R = \frac{V_{bat}}{I_{bat}} \quad (3.4)$$

- Nilai ΔV_o

$$\Delta V_o = \pm 1\% V_{bat} \quad (3.5)$$

- Nilai L_{min}

$$L_{min} = \frac{(1-D)^2 \times R}{2 \times F} \quad (3.6)$$

- Nilai C_{min}

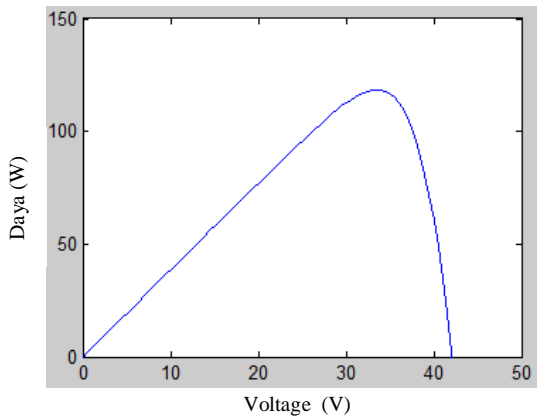
$$C_{min} = \frac{V_{bat} \times D}{R \times F \times \Delta V_{bat}} \quad (3.7)$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

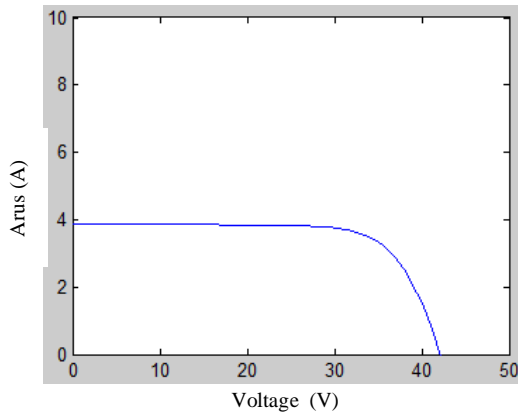
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik *Photovoltaic* MSX120

Karakteristik *photovoltaic* ditinjau dari kurva antara daya dengan tegangan serta kurva arus dengan tegangan, berdasarkan simulasi yang telah dilakukan pada penelitian kali ini didapatkan kedua kurva seperti Gambar 4.1 dan Gambar 4.2



Gambar 4. 1 Respon uji *openloop* photovoltaic kurva P-V



Gambar 4. 2 Respon uji *openloop* photovoltaic Kurva I-V

Berdasarkan Gambar 4.1 sumbu x merupakan tegangan dan sumbu y mewakili daya, berdasarkan kurva tersebut maka kondisi dimana P mengalami titik paling besar berada pada tegangan sebesar 33,5 Volt, yang berarti nilai daya paling besar pada *photovoltaic* MSX120 memiliki nilai optimal tegangan (V_{mpp}) sebesar 33,5 volt. Dibandingkan dengan tegangan optimum untuk mengeluarkan daya terbesar secara literatur sebesar 33,7 Volt (Kitson , dkk., 2017) sehingga nilai *error* sebesar 0.6%, berdasarkan perhitungan menggunakan Persamaan 3.1.

$$\frac{33,5-33,7}{33,7} \times 100\% = 0.6 \%$$

Pada Gambar 4.2 sumbu X mewakili tegangan dan sumbu Y mewakili arus. Pada kondisi arus optimal (I_{mpp}) berdasarkan literatur sebesar 3,52 A (Kitson , et al., 2017) sedangkan hasil 3,54 A sehingga nilai *error* dari arus yang dihasilkan oleh pemodelan *photovoltaic* tipe MSX120 sebesar 0,5% berdasar perhitungan menggunakan persamaan 3.1

$$\frac{3,54-3,52}{3,52} \times 100\% = 0.5 \%$$

Berdasarkan kedua perhitungan maka nilai *error* keduanya kurang dari 1%, yang berarti *error* pemodelan *photovoltaic* yang dilakukan sangat kecil.

Pada karakteristik *photovoltaic* dilakukan juga pengukuran terhadap keluaran dari *photovoltaic* baik itu arus optimum, tegangan optimum maupun daya maksimum pada kondisi lingkungan, pengukuran dilakukan pada setiap 30 menit sekali, didapatkan nilai dari keluaran *photovoltaic* pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Karakteristik Photovoltaic

Waktu	Kondisi Lingkungan		Keluaran <i>Photovoltaic</i>		
	Ir (W/m ²)	Temp (°C)	P (W)	I (A)	V (V)
06:00:00	31,5	26,9	2,158	0,088	24,500
06:30:00	59,4	27,7	4,862	0,187	26,000
07:00:00	194,9	31,8	18,746	0,658	28,500

Waktu	Kondisi Lingkungan		Keluaran <i>Photovoltaic</i>		
	Ir (W/m ²)	T (°C)	P (W)	I (A)	V (V)
07:30:00	343,7	50,7	28,289	1,179	24,000
08:00:00	419,5	41,2	39,604	1,440	27,500
08:30:00	263,0	41,5	23,492	0,904	26,000
09:00:00	703,9	47,6	64,643	2,439	26,500
09:30:00	277,5	41,6	24,929	0,941	26,500
10:00:00	923,9	55,0	79,223	3,169	25,000
10:30:00	946,4	57,3	79,010	3,225	24,500
11:00:00	1001,0	59,1	81,834	3,410	24,000
11:30:00	1011,3	61,7	80,116	3,409	23,500
12:00:00	990,3	58,3	81,860	3,411	24,000
12:30:00	938,9	59,5	76,076	3,170	24,000
13:00:00	912,2	55,9	77,271	3,091	25,000
13:30:00	793,8	57,5	65,157	2,715	24,000
14:00:00	706,9	58,2	56,678	2,412	23,500
14:30:00	518,8	48,2	46,052	1,771	26,000
15:00:00	74,1	36,4	5,762	0,235	24,500
15:30:00	67,5	33,5	5,324	0,213	25,000
16:00:00	56,3	33,8	4,249	0,173	24,500
16:30:00	33,9	32,7	2,238	0,097	23,000
17:00:00	13,0	30,4	0,542	0,029	18,500
17:30:00	0,4	30,7	0,000	0,001	0,500

Tabel 4.1 juga digunakan sebagai acuan validasi nilai keluaran arus optimum, tegangan optimum maupun daya maksimum pada *photovoltaic* yang menggunakan *supervisory control* berbasis algoritma *extremum seeking* (ES) dan *photovoltaic* menggunakan MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) metode P&O.

4.2 Multiinput DC-DC Converter

Multiinput DC-DC converter sebagai aktuator untuk pengoptimalan besarnya arus yang dikontrol sehingga *photovoltaic* mampu menghasilkan daya yang maksimal. Proses perancangan *multiinput DC-DC converter* disesuaikan dengan besarnya komponen-komponen yang terdapat pada *battery controller*. Besarnya komponen penyusun *multiinput DC-DC Converter* sebagai berikut resistor memiliki nilai sebesar 50 Ω , induktor 220 μH , dan kapasitor memiliki nilai sebesar 470 μF . Nilai pada masing-masing komponen elektrik didasarkan pada kondisi pasar besar masing-masing komponen pada umumnya.

Proses validasi rancangan *multiinput DC-DC converter* dilakukan dengan simulasi, jika V_{pv} diasumsikan sebesar 24 V, dan V_{wind} diasumsikan sama dengan $d_1 = d_2$ sebesar 0,5 maka besar nilai output dari konverter yaitu:

$$V_o = \frac{0,5}{1 - 0,5} 24 + \frac{0,5}{1 - 0,5} 24$$

$$V_o = 48 \text{ Volt}$$

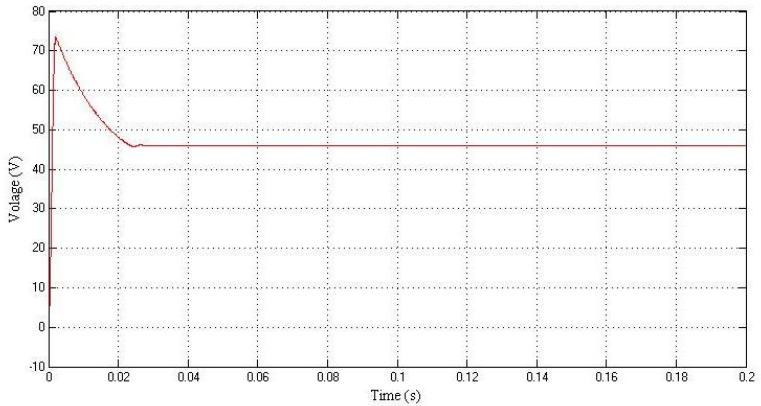
Berdasarkan perhitungan diatas maka nilai V_o sebesar 48 V. Sedangkan, hasil simulasi nilai V_o sebesar 46 V.

$$e = \frac{46 - 48}{48} \times 100\%$$

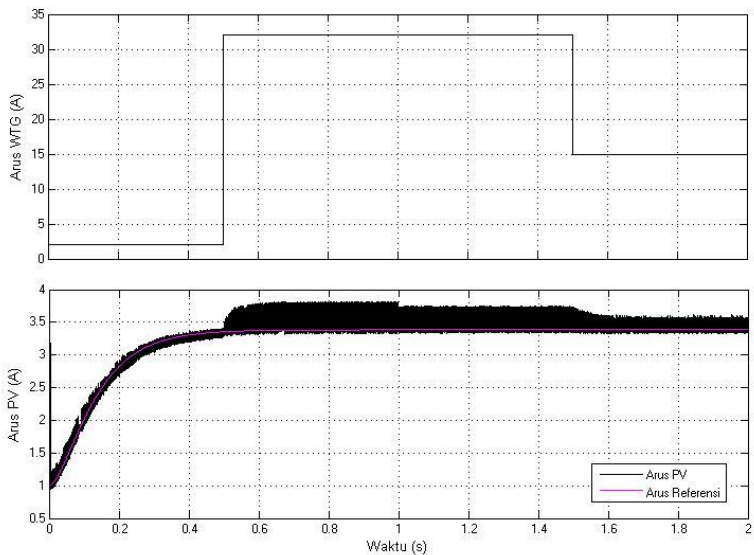
$$e = 4,167\%$$

Perhitungan diatas menunjukkan nilai *error* kurang dari 5% sehingga nilai tersebut masih dalam ambang batas yang bisa digunakan maka dari itu perancangan *Buck-Boost Converter* dapat digunakan.

Respon *BuckBoost Converter* dapat dilihat pada gambar 4.3 yang menunjukkan respon mampu mencapai kondisi *set point* diwaktu yang singkat yaitu 0,04 detik, sehingga respon *buck boost converter* ini dinilai baik.



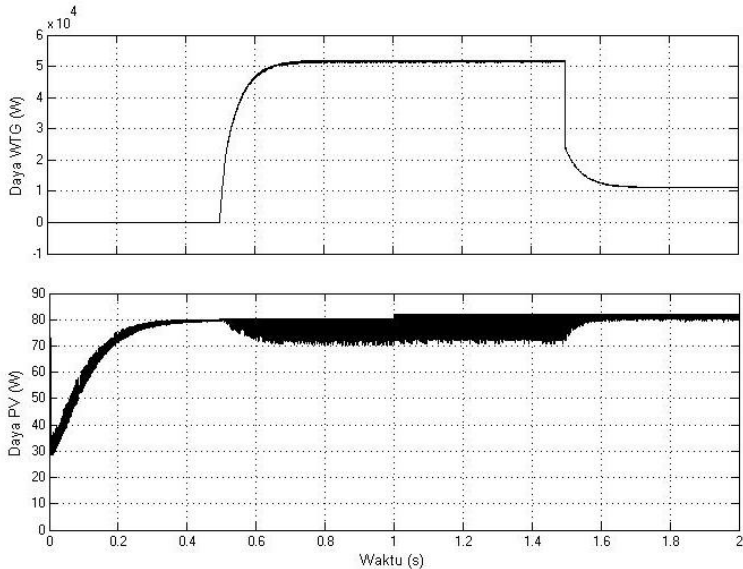
Gambar 4. 3 Respon *Multiinput DC-DC BuckBoost Converter*



Gambar 4. 4 Respon Arus *Photovoltaic* Terhadap Perubahan Arus *Wind Turbine*

Gambar 4.4 merupakan arus respon *photovoltaic* dan *wind turbine* yang diukur pada pukul 11.30-12.00 WIB dengan asumsi

angin pada pukul tersebut mendadak meningkat kecepatannya seperti pada respon yang bawah. Gambar 4.4 membuktikan *Multiinput DC-DC converter* mampu untuk mengoptimalkan keluaran dari sumber energi terbarukan dengan arus pada *photovoltaic* pada kondisi tersebut pada titik optimalnya dan tidak terpengaruh dengan arus keluaran *wind turbine* yang meningkat secara tiba-tiba, sehingga pemaksimalan keduanya dapat terjadi pada satu konverter.



Gambar 4. 5 Respon Daya *Photovoltaic* terhadap Perubahan Daya *Wind Turbine*

Gambar 4.5 merupakan respon daya *wind turbine* yang meningkat secara tiba-tiba diikuti oleh peningkatan arus seperti gambar 4.4. Gambar 4.5 bagian bawah dapat dilihat bahwa peningkatan daya yang terjadi pada *photovoltaic* yang tetap pada kondisi yang maksimal walaupun terdapat kenaikan daya yang mendadak pada *wind turbine*. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan *wind turbine* yang mendadak tidak mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic*, serta menunjukkan bahwa *multi input DC-DC*

converter mampu memaksimalkan keluaran daya pada beberapa sumber energi terbarukan.

4.3 Ekstraksi Daya Maksimum *Photovoltaic*

Proses Ekstraksi daya maksimum membutuhkan sinyal referensi yang dihasilkan oleh algoritma ES, lalu sistem kontrol PID untuk mengkondisikan arus keluaran dari *photovoltaic* seperti pada Gambar 3.5. Daya yang terukur akan dibandingkan dengan daya *base*, yaitu daya terbesar yang dihasilkan oleh *photovoltaic* pada kondisi STC (*Standar Test Condition*). Hasil perbandingan tersebut akan menjadi *cost function* (Fungsi Objektif) dengan persamaannya ditentukan oleh peneliti yaitu, $-0,57 x (U - 0,98)^2 + 0,98$ seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4. nilai fungsi objektif akan di filter pada *high filter* (ω_h) untuk mendapatkan sinyal sinusoidal fungsi objektif lalu dikalikan dengan sinyal gangguan (*perturbation signal*) $\alpha \sin(\omega t - \phi)$. Hasil kali kedua sinyal tersebut akan melalui *low filter* (ω_l) untuk menghilangkan *ripple* yang dihasilkan *high filter* lalu diintergralkan dan dikalikan dengan nilai *gain* (K) yang bertujuan untuk mempercepat proses *tracking* yang dilakukan oleh algoritma ES.

Metode yang digunakan untuk mendapatkan besarnya parameter-parameter yang terdapat pada algoritma ES adalah metode *trial and error*. Besarnya parameter-parameter yang terdapat pada algoritma ES tersaji pada Tabel 4.2

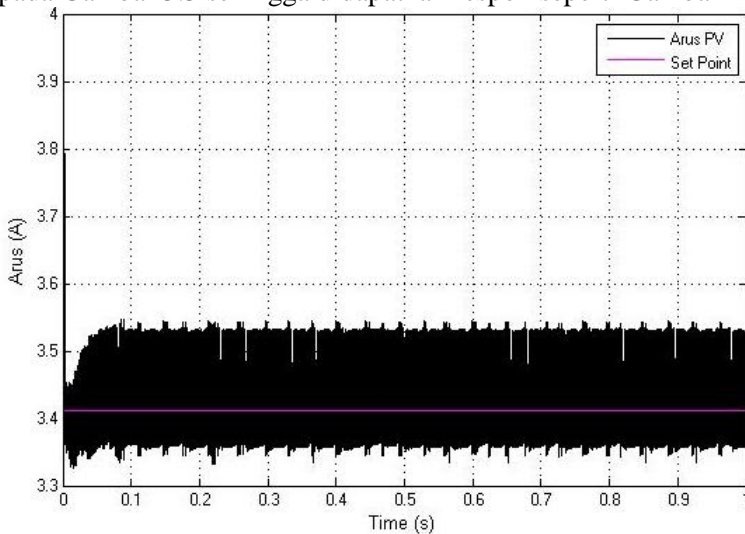
Tabel 4. 2 Nilai parameter pada algoritma ES

Parameter	Nilai
<i>High Filter</i> (ω_h)	34
<i>Low Filter</i> (ω_l)	10
α	1
K_{ESC}	165

Algoritma ES tidak dapat terlepas dari sistem kontrol PID untuk mengkondisikan keluaran *photovoltaic* agar sesuai dengan

sinyal referensi yang telah dilakukan. Sistem perancangan PID dilakukan dengan menggunakan metode *trial and error* yang didapatkan besarnya nilai P (Proporsional), I (Integrator) dan D (Derivatif) berturut-turut sebesar 18, 0,5 dan 0,001.

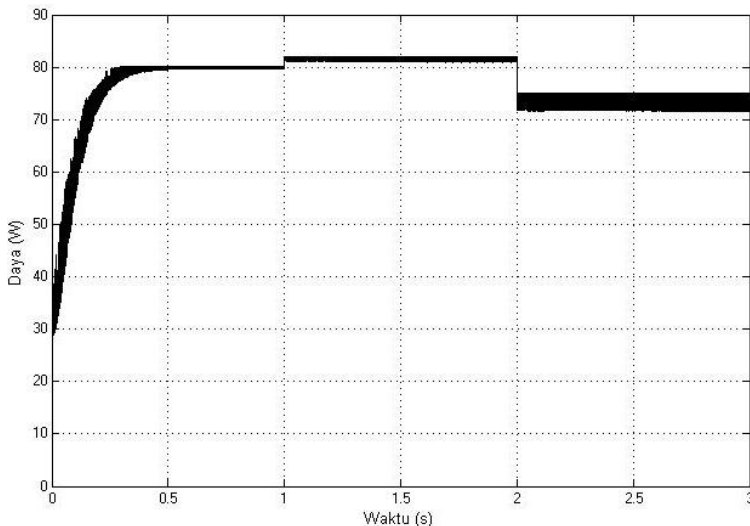
Pengujian sistem kontrol dilakukan dengan cara melihat respon kontrol PID pada kondisi lingkungan pukul 12.00 WIB, Berdasarkan Tabel 4.1 maka nilai arus optimal/arus referensi yang harus dihasilkan oleh *photovoltaic* sebesar 3,411 A. Arus referensi sebesar 3,411 A dijadikan *Set point* oleh sistem kontrol PID seperti pada Gambar 3.3 sehingga didapatkan respon seperti Gambar 4.5.



Gambar 4. 6 Respon kontrol PID

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa nilai *error steady state* (ess) sebesar 3.2 % *Maksimum Overshoot/Undershoot* (Mp) 19.25%, maka berdasarkan (Ogata, 2010) nilai ess kurang dari 5% maka respon kontrol PID dikatakan baik, serta nilai Mp kurang dari 25% maka respon juga dikatakan baik, dengan kedua parameter ess dan Mp yang baik maka menandakan bahwa sistem kontrol telah teruji dapat digunakan untuk mekanisme kontrol sistem ekstraksi daya maksimum pada *photovoltaic* menggunakan algoritma ES.

Proses ekstraksi daya maksimum pada *photovoltaic* dikondisikan untuk mampu menghasilkan daya maksimum pada setiap perubahan daya yang berubah berdasarkan perubahan lingkungan disetiap waktunya. Untuk menguji keberhasilan sistem ekstraksi daya maksimum yang berubah terhadap kondisi lingkungan, dapat ditinjau berdasarkan respon keluaran daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6



Gambar 4. 7 Respon perubahan daya pada perubahan kondisi lingkungan

Gambar 4.6 menunjukkan respon daya tiap perubahan lingkungan pada pukul 11.30 – 12.30 WIB. Didapatkan bahwa pada pukul 11.30 WIB daya yang dihasilkan sebesar 80,062 Watt, pada pukul 12.00 WIB daya yang dihasilkan sebesar 81,796 dan pada pukul 12.30 WIB besar daya keluaran *photovoltaic* sebesar 73,023 Watt. Perubahan daya yang dihasilkan *photovoltaic* terhadap perubahan iradiasi matahari dan temperatur panel disetiap waktu menunjukkan algoritma ES mampu untuk mengekstraksi daya pada *photovoltaic*.

4.4 Daya Keluaran *Photovoltaic*

4.4.1 Perbandingan Keluaran Daya *Photovoltaic* Menggunakan ES dengan Teori

Daya keluaran *photovoltaic* dengan menggunakan algoritma ES dibandingkan dengan daya keluaran *photovoltaic* yang telah tercatat pada Tabel 4.1. Analisa dilakukan berdasarkan hasil simulasi simulink Matlab pada setiap besar radiasi matahari dan temperatur pada setiap 30 menit. Pengaruh radiasi matahari dan temperatur diamati melalui perubahan nilai arus (I) dan tegangan (V) yang akan mempengaruhi besarnya daya (P) keluaran dari sistem. Data nilai perbandingan keluaran *photovoltaic* pada kondisi lingkungan dengan nilai teori dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut ini:

Tabel 4. 3 Perbandingan nilai optimum algoritma ES dengan Teori

Ir (W/m ²)	Temp (°C)	Teori			Algoritma ES		
		P (W)	I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)
31,5	26,9	2,2	0,1	24,5	0,1	0,1	0,8
59,4	27,7	4,9	0,2	26,0	0,2	0,2	0,8
194,9	31,8	18,7	0,7	28,5	0,7	0,8	0,9
343,7	50,7	28,3	1,2	24,0	1,2	1,3	0,9
419,5	41,2	39,6	1,4	27,5	1,8	1,6	1,1
263,0	41,5	23,5	0,9	26,0	0,9	1,0	0,9
703,9	47,6	64,6	2,4	26,5	31,3	2,7	11,5
277,5	41,6	24,9	0,9	26,5	1,0	1,1	0,9
923,9	55,0	79,2	3,2	25,0	75,4	3,3	22,9
946,4	57,3	79,0	3,2	24,5	76,0	3,5	21,9
1001,0	59,1	81,8	3,4	24,0	81,8	3,5	23,6
1011,3	61,7	80,1	3,4	23,5	80,1	3,5	23,1
990,3	58,3	81,9	3,4	24,0	81,8	3,4	23,8
938,9	59,5	76,1	3,2	24,0	73,0	3,4	21,2
912,2	55,9	77,3	3,1	25,0	70,2	3,4	20,5

Ir (W/m ²)	Temp (°C)	Teori			Algoritma ES		
		P (W)	I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)
793,8	57,5	65,2	2,7	24,0	45,5	3,0	14,9
706,9	58,2	56,7	2,4	23,5	32,6	2,7	11,9
518,8	48,2	46,1	1,8	26,0	16,8	2,0	8,4
74,1	36,4	5,8	0,2	24,5	0,2	0,3	0,8
67,5	33,5	5,3	0,2	25,0	0,2	0,3	0,8
56,3	33,8	4,2	0,2	24,5	0,2	0,2	0,8
33,9	32,7	2,2	0,1	23,0	0,1	0,1	0,8
13,0	30,4	0,5	0,0	18,5	0,0	0,0	0,8
0,4	30,7	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,8

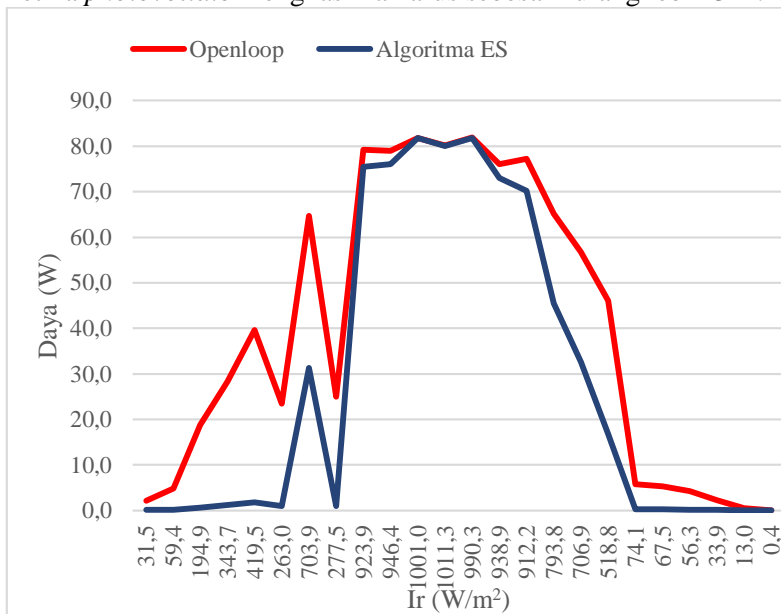
Berdasarkan Tabel 4.3 parameter yang memiliki pola perubahan pada setiap kondisi lingkungan adalah arus, semakin besar arus semakin besar pula nilai daya yang dihasilkan. Besarnya tegangan yang dihasilkan oleh *photovoltaic* dipengaruhi oleh arus yang dikontrol oleh kontrol PID. Pada karakteristik *photovoltaic* perubahan iradiasi matahari mempengaruhi besarnya arus yang dihasilkan sedangkan temperatur mempengaruhi tegangan yang dihasilkan. Pada Tabel 4.3 nilai radiasi 990,3 memiliki daya yang lebih besar daripada iradiasi matahari dinilai 1011,3 hal ini disebabkan temperatur panel pada radiasi matahari 1011,3 lebih besar daripada 990,3. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai iradiasi matahari yang mengenai *photovoltaic* menghasilkan arus yang semakin besar, namun temperatur yang semakin tinggi menyebabkan nilai tegangan turun, hal ini lah yang menyebabkan terdapat iradiasi matahari 1011,3 menghasilkan daya lebih rendah daripada 990,3. Karakteristik ini juga berpengaruh pada mekanisme ekstraksi daya maksimum menggunakan algoritma ES.

Sedangkan selisih daya yang dihasilkan *photovoltaic* secara teori dengan daya *photovoltaic* menggunakan algoritma ES dapat dilihat melalui tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Nilai *Error* Algoritma ES Dibandingkan Secara Teori

Ir (W/m ²)	Temp (°C)	P <i>openloop</i> (W)	P Algoritma ES (W)	Selisih P <i>openloop</i> dengan Algoritma ES (%)
31,500	26,867	2,158	0,098	95,45%
59,367	27,660	4,862	0,188	96,13%
194,900	31,800	18,746	0,660	96,48%
343,700	50,667	28,289	1,247	95,59%
419,500	41,200	39,604	1,781	95,50%
263,037	41,533	23,492	0,920	96,08%
703,933	47,600	64,643	31,274	51,62%
277,533	41,600	24,929	0,977	96,08%
923,933	55,000	79,223	75,447	4,77%
946,400	57,267	79,010	76,044	3,75%
1000,967	59,133	81,834	81,816	0,02%
1011,333	61,667	80,116	80,062	0,07%
990,333	58,267	81,860	81,796	0,08%
793,767	57,533	65,157	45,452	30,24%
706,933	58,200	56,678	32,616	42,45%
518,800	48,200	46,052	16,787	63,55%
74,100	36,400	5,762	0,237	95,88%
67,467	33,533	5,324	0,215	95,96%
56,333	33,800	4,249	0,179	95,80%
33,867	32,667	2,238	0,106	95,27%
13,000	30,400	0,542	0,040	92,65%
0,367	30,667	0,000	0,006	-1140,94%

Berdasarkan tabel diatas besarnya prosentase yang dihasilkan antara *photovoltiac* menggunakan algoritma ES dengan *photovoltaic* secara teori didapatkan dari selisih antara daya keluaran secara teori dengan daya keluaran menggunakan algoritma ES dibandingkan besarnya daya secara teori dan dikalikan 100%. Selisih daya pada keluaran algoritma ES paling kecil berada pada pukul 11.00 WIB dimana iradiasi sebesar $1000,96 \text{ W/m}^2$ dan temperatur sebesar $59,133^\circ\text{C}$ yaitu sebesar 0,02%. Selisih hasil daya menggunakan algoritma ES dibawah 5 % hanya terjadi pada pukul 10.00 WIB-12.30 WIB, hal ini disebabkan pada proses pengmaksimalan daya algoritma ES memiliki batas mampu memaksimalkan dengan kondisi arus yang besar atau berkisar 3 A. Fungsi objektif yang belum tepat menyebabkan terbatasnya kemampuan Algoritma ES untuk mengkondisikan keluaran daya mampu maksimal disetiap perubahan parameter *photovoltaic* yang disebabkan oleh perubahan iradiasi matahari dan temperatur serta hanya mampu memaksimalkan daya keluaran ketika *photovoltaic* menghasilkan arus sebesar kurang lebih 3 A.



Gambar 4. 8 grafik perbandingan daya algoritma ES dengan teori

Perbandingan daya keluaran *photovoltaic* secara teori dan menggunakan algoritma ES di plot pada Gambar 4.7. Gambar 4.7 menunjukkan adanya garis yang berisikan pada beberapa titik yaitu ditentang pukul 10.00 WIB-12.30 WIB dimana pada rentang pukul tersebut selisih daya yang dihasilkan kurang dari 5 %.

4.4.2 Perbandingan keluaran daya keluaran *photovoltaic* menggunakan algoritma ES dengan metode P&O.

Metode P&O (*Perturbation & Observation*) merupakan metode yang paling sederhana sebagai metode MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) *photovoltaic*. Prinsip kerja metode ini menggunakan pengaturan *feedback* yang sederhana dan parameter terukur yang sedikit (Atallah, dkk., 2004). Daya keluaran yang dihasilkan oleh MPPT metode P&O dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4. 5 Hasil Keluaran MPPT metode P&O

Time (WIB)	Ir (W/m ²)	Temp (°C)	Keluaran PV metode P&O		
			P (W)	I (A)	V (V)
06:00:00	31,5	26,9	0,17	0,12	1,45
06:30:00	59,4	27,7	0,55	0,23	2,42
07:00:00	194,9	31,8	5,59	0,75	7,49
07:30:00	343,7	50,7	17,22	1,32	13,07
08:00:00	419,5	41,2	25,54	1,61	15,89
08:30:00	263,0	41,5	10,14	1,01	10,05
09:00:00	703,9	47,6	63,69	2,54	25,06
09:30:00	277,5	41,6	11,28	1,06	10,60
10:00:00	923,9	55,0	75,19	2,75	27,34
10:30:00	946,4	57,3	73,59	2,72	27,07
11:00:00	1001,0	59,1	73,69	2,72	27,12
11:30:00	1011,3	61,7	70,87	2,66	26,62
12:00:00	990,3	58,3	74,35	2,73	27,23
12:30:00	938,9	59,5	70,88	2,67	26,57

Time (WIB)	Ir (W/m ²)	Temp (°C)	Keluaran PV metode P&O		
			P (W)	I (A)	V (V)
13:00:00	912,2	55,9	73,52	2,72	27,03
13:30:00	793,8	57,5	64,35	2,55	25,25
14:00:00	706,9	58,2	56,95	2,40	23,73
14:30:00	518,8	48,2	38,29	1,97	19,44
15:00:00	74,1	36,4	0,84	0,28	2,97
15:30:00	67,5	33,5	0,70	0,26	2,73
16:00:00	56,3	33,8	0,50	0,22	2,31
16:30:00	33,9	32,7	0,19	0,13	1,48
17:00:00	13,0	30,4	0,06	0,05	1,22
17:30:00	0,4	30,7	0,01	0,01	0,82

Perbandingan hasil keluaran *photovoltaic* metode P&O dengan metode algoritma ES serta dihitung selisih daya yang dihasilkan dengan membandingkan nilai daya keluaran kedua metode dengan nilai daya keluaran *photovoltaic* secara teori dapat dilihat pada tabel 4.6.

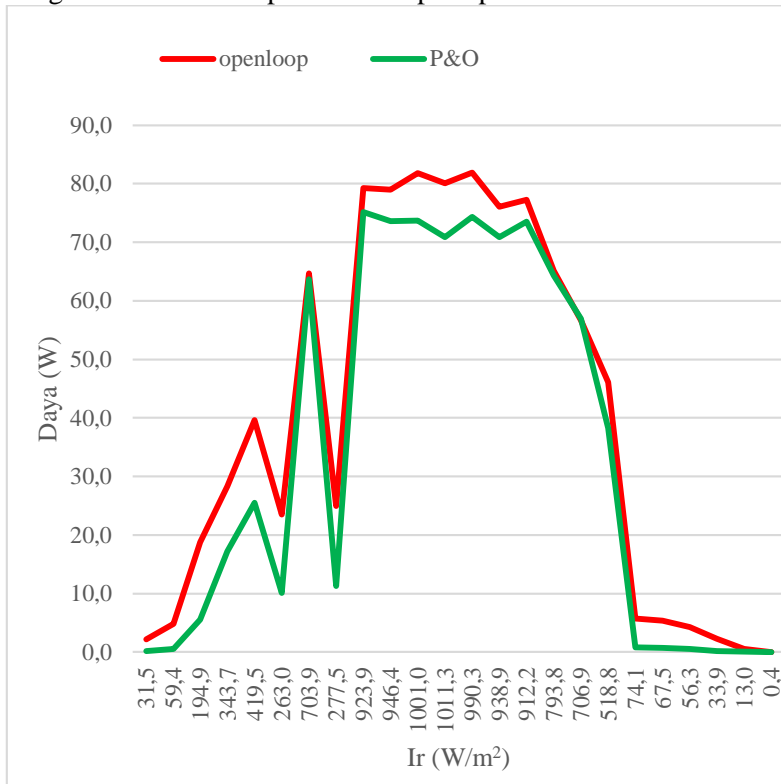
Tabel 4. 6 Perbandingan daya keluaran photovoltaic metode P&O algoritma ES dan teori

Waktu (WIB)	P <i>openloop</i> (W)	P ES (W)	P P&O (W)	Selisih P <i>openloop</i> dan P ES	Selisih P <i>openloop</i> dan P P&O
06:00:00	2,158	0,098	0,17	95,45%	91,91%
06:30:00	4,862	0,188	0,55	96,13%	88,68%
07:00:00	18,746	0,660	5,59	96,48%	70,17%
07:30:00	28,289	1,247	17,22	95,59%	39,12%
08:00:00	39,604	1,781	25,54	95,50%	35,50%
08:30:00	23,492	0,920	10,14	96,08%	56,83%
09:00:00	64,643	31,274	63,69	51,62%	1,48%

Waktu (WIB)	P <i>openloop</i> (W)	P ES (W)	P P&O (W)	Selisih P <i>openloop</i> dan P ES	Selisih P <i>openloop</i> dan P P&O
09:30:00	24,929	0,977	11,28	96,08%	54,74%
10:00:00	79,223	75,447	75,19	4,77%	5,09%
10:30:00	79,010	76,044	73,59	3,75%	6,86%
11:00:00	81,834	81,816	73,69	0,02%	9,95%
11:30:00	80,116	80,062	70,87	0,07%	11,54%
12:00:00	81,860	81,796	74,35	0,08%	9,18%
12:30:00	76,076	73,023	70,88	4,01%	6,83%
13:00:00	77,271	70,239	73,52	9,10%	4,86%
13:30:00	65,157	45,452	64,35	30,24%	1,23%
14:00:00	56,678	32,616	56,95	42,45%	-0,48%
14:30:00	46,052	16,787	38,29	63,55%	16,85%
15:00:00	5,762	0,237	0,84	95,88%	85,34%
15:30:00	5,324	0,215	0,70	95,96%	86,77%
16:00:00	4,249	0,179	0,50	95,80%	88,26%
16:30:00	2,238	0,106	0,19	95,27%	91,42%
17:00:00	0,542	0,040	0,06	92,65%	88,93%
17:30:00	0,000	0,006	0,01	-1140,9%	-1165,4%

Tabel 4.6 menunjukkan perbandingan kedua metode pemaksimalan ekstraksi daya pada *photovoltaic* dengan *Supervisory Control* berbasis algoritma ES dan MPPT metode P&O. Kedua metode tersebut dibandingkan dengan keluaran berdasarkan teori dan didapatkan nilai error untuk algoritma ES untuk dibawah 5% sebanyak 6 titik di kondisi lingkungan pada rentang 10.00WIB – 12.30 WIB. Metode P&O memiliki nilai error dibawah 5 % berada di 4 titik, yaitu pada pukul 09.00 WIB, 13.00 WIB, 13.30 dan 14.00 WIB. Pada metode P&O pukul 14.00 mempunyai nilai error negatif hal ini berarti nilai maksimum yang dihasilkan P&O lebih besar dari pada nilai teori yang dalam hal ini

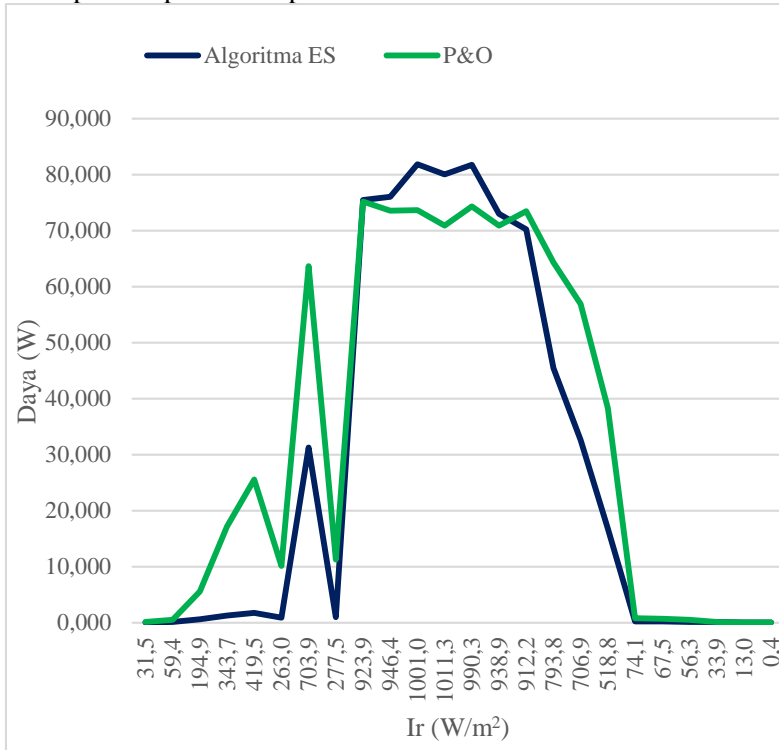
berarti pada pukul 14.00 metode P&O sangat baik digunakan. Hasil plot daya keluaran photovoltaic MPPT metode P&O dibandingkan dengan secara teori dapat dilihat seperti pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Plot perbandingan P&O dan Teori

Pada Gambar 4.9 terlihat daya yang dihasilkan dengan metode P&O memiliki irisan kurva dengan daya yang dihasilkan pada kondisi *openloop* dengan menguji *openloop photovoltaic* pada kondisi irradiansi matahari dibawah nilai 923,9 W/m². Hal ini menunjukkan bahwa pemaksimalan daya menggunakan metode P&O belum mampu menghasilkan daya yang maksimal pada kondisi puncak irradiansi matahari dan temperatur pada waktu sehari.

Sedangkan plot perbandingan daya keluaran *photovoltaic* menggunakan *supervisory control* berbasis algoritma ES dengan menggunakan daya keluaran *photovoltaic* berbasis MPPT metode P&O pada dapat dilihat pada Gambar 4.10



Gambar 4. 10 Plot Daya Keluaran Algoritma ES dengan metode P&O

Rata-rata error algoritma ES sebesar 58,98% dan metode P&O memiliki rata-rata sebesar 41,35%. Nilai error Algoritma ES memang lebih besar daripada P&O namun, titik error algoritma ES lebih banyak serta pada algoritma ES menunjukkan pada ke 6 titik yang mempunyai nilai error dibawah 5% 4 titik diantaranya memiliki nilai error dibawah 1% yang menandakan pada titik tersebut nilai maksimum daya keluaran *photovoltaic* sangat baik sesuai dengan teori. Hal inilah yang menunjukkan bahwa

menggunakan *supervisory control* berbasis algoritma ES lebih baik daripada MPPT metode P&O yang sederhana.

4.5 Analisa Penstabilan Keluaran Tegangan pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida

Proses penstabilan keluaran tegangan pada PLTH dilakukan dengan *Battery Controller* yang didalamnya terdapat aktuator berupa DC-DC konverter dengan kontrol PID sebagai metode kontrol *men-tracking* nilai tegangan sesuai dengan *set point* yaitu 12 Volt sesuai dengan tegangan pada baterai.

DC-DC konverter terdiri dari beberapa komponen elektronik yang spesifikasinya dapat ditentukan dengan cara berikut berdasarkan penelitian Sidabutar dkk pada tahun 2014 (Sidabutar, dkk., 2014)

Dalam merancang spesifikasi komponen berdasarkan perhitungan pertama adalah melakukan penentuan spesifikasi yang telah didapatkan berdasarkan simulasi simulink yaitu :

Tegangan masukan minimal (V_o)	= 27,21 volt
Tegangan keluaran <i>Battery Controller</i> (V_{bat})	= 12 volt
Arus Keluaran	= 2,4 Ampere
Frekuensi <i>Switching</i>	= 40.000 Hz

- Penentuan nilai *duty cycle*

$$\frac{V_{bat}}{V_o} = \frac{D}{1-D}$$

$$\frac{12}{27,12} = \frac{D}{1-D}$$

$$12 - 12D = 27,12D$$

$$12 = 39,12D$$

$$D = 0,306$$

- Penentuan nilai R

$$R = \frac{V_{bat}}{I_{bat}} = \frac{12}{2,4}$$

$$R = 5 \Omega$$

- Penentuan ΔV_{bat}

$$\Delta V_o = \pm 1\% V_{bat}$$

$$\Delta V_o = \pm 1\% \times 12 \text{ V}$$

$$\Delta V_o = \pm 0,12 \text{ V}$$

- Penentuan L_{min}

$$L_{min} = \frac{(1-D)^2 \times R}{2 \times F}$$

$$L_{min} = \frac{(1-0,306)^2 \times 5}{2 \times 40.000}$$

$$L_{min} = 6,019 \times 10^{-6}$$

$$L_{min} = 6,019 \mu\text{H}$$

- Penentuan C_{min}

$$C_{min} = \frac{V_{bat} \times D}{R \times F \times \Delta V_{bat}}$$

$$C_{min} = \frac{12 \times 0,306}{5 \times 40.000 \times 0,12}$$

$$C_{min} = 153,022 \times 10^{-6}$$

$$C_{min} = 153,022 \mu\text{F}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka spesifikasi untuk DC-DC konverter dapat ditentukan, hambatan atau beban pada konverter memiliki besar sebesar 5Ω , induktor minimum (L_{min}) berdasarkan perhitungan memiliki besar sebesar $6,019 \mu\text{H}$ pada simulasi konverter dipasang nilai sebesar $220 \mu\text{H}$ dikarenakan disesuaikan dengan induktor yang terdapat pada pasar, besar kapasitor minimum (C_{min}) berdasarkan perhitungan sebesar $153,022 \mu\text{F}$, pada simulasi nilai kapasitor dipasang sebesar $470 \mu\text{F}$ berdasarkan besarnya kapasitor yang ada pada pasar secara umumnya dan masih memenuhi parameter minimal dari hasil perhitungan.

Dengan besarnya nilai komponen yang telah didapatkan dari hasil perhitungan didapatkan berapapun tegangan keluaran

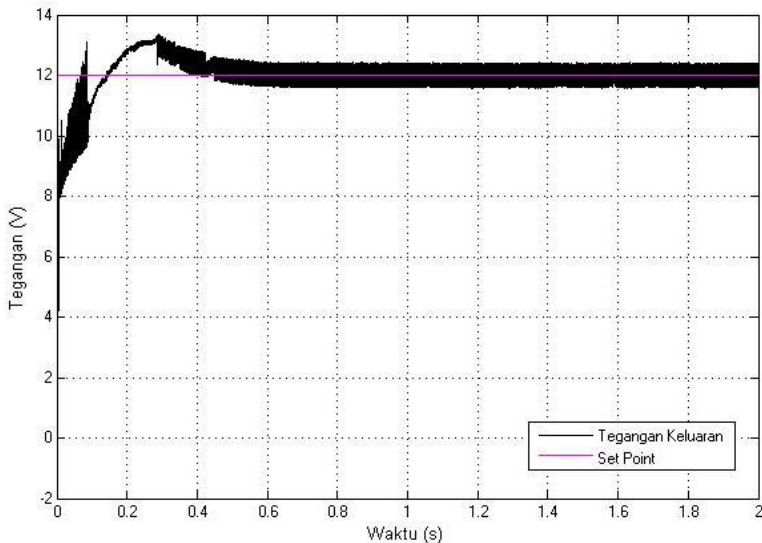
multiinout DC-DC converter akan dapat distabilkan sebesar 12 volt.

Tabel 4. 7 Data keluaran Battery Controller

Waktu (WIB)	Ir (W/m ²)	Temp (°C)	Vo (V)	Vbat (V)	Error
06:00:00	31,5	26,9	4,86	11,07	7,73%
06:30:00	59,4	27,7	5,07	10,98	8,47%
07:00:00	194,9	31,8	5,53	11,74	2,20%
07:30:00	343,7	50,7	5,23	11,12	7,32%
08:00:00	419,5	41,2	5,00	10,85	9,59%
08:30:00	263,0	41,5	5,39	12,05	0,40%
09:00:00	703,9	47,6	30,51	11,81	1,59%
09:30:00	277,5	41,6	5,83	12,28	2,33%
10:00:00	923,9	55,0	58,73	12,14	1,17%
10:30:00	946,4	57,3	58,77	12,27	2,21%
11:00:00	1001,0	59,1	59,05	12,32	2,69%
11:30:00	1011,3	61,7	58,51	12,23	1,90%
12:00:00	990,3	58,3	59,38	12,28	2,36%
12:30:00	938,9	59,5	57,43	12,19	1,55%
13:00:00	912,2	55,9	57,58	12,25	2,04%
13:30:00	793,8	57,5	44,60	11,62	3,18%
14:00:00	706,9	58,2	31,84	11,73	2,26%
14:30:00	518,8	48,2	9,65	11,99	0,05%
15:00:00	74,1	36,4	4,90	10,48	12,69%
15:30:00	67,5	33,5	4,87	10,59	11,71%
16:00:00	56,3	33,8	5,32	11,06	7,80%
16:30:00	33,9	32,7	4,82	11,10	7,50%
17:00:00	13,0	30,4	4,88	10,96	8,66%
17:30:00	0,4	30,7	5,31	11,27	6,06%

Berdasarkan Tabel 4.7 dapat dilihat nilai input keluaran dari MPPT yang memasuki *Battery Controller* semua terkontrol sebesar 12 volt dengan nilai *error* terbesar pada pukul 15.00 WIB sebesar 12,69% dan terkecil pada radiasi pukul 14.30 WIB dengan nilai 0,05%. Nilai *error* rata-rata sistem kontrol PID tegangan keluaran PLTH sebesar 4,73%.

Proses kontrol penstabilan tegangan tidak dapat terlepas dari peran kontrol PID didalamnya. Nilai besarnya parameter-parameter kontrol ditentukan dengan cara metode *trial and error* sehingga besarnya nilai parameter kontrol Proporsional (P) adalah 0,0465, kontrol Integral (I) adalah 0,5 dan kontrol Derivatif (D) adalah 0.000001. Respon kontrol yang telah dilakukan mengambil pukul 12.00 WIB dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4. 11 Respon kontrol PID Pestabil Tegangan

Gambar 4.8 merupakan hasil respon kontrol penstabil tegangan dengan *set point* sebesar 12 V. Nilai *ess* dan *Mp* pada respon tersebut adalah *ess* sebesar 3,4% dan *Mp* sebesar 17,3%

kedua parameter tersebut menjadi acuan respon kontrol dikatakan baik atau buruk. Melihat bahwa nilai ess kurang dari 5% dan nilai M_p kurang dari 25% maka respon kontrol pada kontrol PID penstabil tegangan keluaran PLTH ini dikatakan baik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Algoritma ES menghasilkan sinyal arus referensi optimum dengan parameter-parameter pada algoritma ES memiliki nilai High Filter (ω_h) sebesar 34 Low Filter (ω_l) sebesar 10, α sebesar 1, dan K_{ESC} sebesar 165.
- Selisih daya rata-rata algoritma ES dengan daya maksimum pada kondisi *openloop* sebesar 58,98% dan metode P&O memiliki selisih rata-rata sebesar 41,35%. Selisih daya Algoritma ES kurang dari 5% terdapat 6 kondisi dengan 4 diantaranya dibawah 1%. Selisih daya P&O dibawah 5% terdapat pada 4 kondisi dan tidak ada nilai error dibawah 1%.
- Performansi Supervisory Control menggunakan algoritma ES lebih baik daripada MPPT menggunakan metode P&O
- *Supervisory Control* mampu ES mengekstraksi daya maksimum pada photovoltaic dengan parameter kontrol P sebesar 18, I sebesar 0,5 dan D sebesar 0,001 menghasilkan Ess respon sebesar 3,2% dan Mp sebesar 19,25% pada kondisi Irradiasi maksimum.
- Besarnya nilai komponen hambatan, induktor dan kapasitor pada rangkaian *battery controller* berturut-turut sebesar 5 Ω , 220 μ H dan 470 μ F. Nilai parameter kontrol P sebesar 0,0465, I sebesar 0,5 dan D sebesar 0,000001 menghasilkan nilai ess 3,4% dan MP 17,3%. Nilai *error* rata-rata *battery controller* sebesar 4,73%.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah *photovoltaic* yang digunakan untuk validasi adalah alat yang nyata bukan dari literatur, dan simulasi dari MATLAB

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Arsad, A. M. & Hartono, F., 2009. Pembuatan Kode Desain dan Analisis Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe-H. *Jurnal Teknik Dirgantara*, Volume 7, pp. 93 - 100.

Bae, S. & Kwasinski, A., 2009. *Maximum Power Point Tracker for a Multiple-Input Cuk dc-dc Converter*. Texas, IEEE Conferenses, pp. 1-5.

Broujeni, S. T. & Fathi, S. H., 2013. *Hybrid PV/Wind Power System Control for Maximum Power Extraction and Output Voltage Regulation*. Tehran, 3rd international Conference on Control, Instrumentation, and Automation (ICCIA 2013).

DEN, S. J., 2016. *Outlook Energi Indonesia 2016*. Jakarta: Dewan Energi Nasional.

Dobbs, B. G. & Chapman, P. L., 2003. A multiple-input dc- dc converter. *IEEE Power Electronics Letters*, pp. 6-9.

Dzulkarnain , Y., Ashari, M. & Riawan, D. C., 2014. Desain dan Implementasi Multi-Input Konverter DC-DC pada Sistem Tenaga Listrik Hibrida. *POMITS*, pp. 1-6.

Fahrenbruch, A. L. & Bube , R. H., 1983. *Fundamentals of Solar Cells*. San Farnsisco: CA: Academic.

Kebir, A., Woodward , L. & Akhrif, O., 2018. Extremum Seeking Controk with Adaptive Excitation : Aplication to a Photovoltaic System. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, pp. 2507-2517.

Khaligh, A., 2008. *A Multiple-Input Dc-Dc Positive Buck-Boost Converter Topology*. Austin, IEEE, pp. 1522-1526.

Kitson, J. et al., 2017. *A Photovoltaic Panel Modelling Method for Flexible Implementation in Matlab/Simulink using Datasheet Quantities*. Edinburgh, UK, IEEE, pp. 946-951.

Laks, J. H., Pao, L. Y. & Wright, A. D., 2009. *Control of Wind Turbine: Past, Present, and Future*, s.l.: US National Science Foundation (NSF Grant CMMI-0700877) .

Lee, J. et al., 2017. Supervisory Control and Data Acquisition for Standalone Hybrid Power. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, pp. 1-14.

Li, Y., Ruan, X., Yang, D. & Liu, F., 2010. Synthesis of Multiple-Input DC/DC Converters. *IEEE Transactions on Power Electronics*, pp. 2372-2385.

Moller, H. J., 1993. *Semiconductors for Solar Cells*. Norwood: Artech House.

Ogata, K., 2010. *Modern Control Engineering Fifth Edition*. New Jersey: Prantice Hall.

Pintea, A., Pepescu, D. & Borne, P., 1-27 Aug 2010. *Modeling and control of wind turbines*. France, s.n.

Rashid, H. M., 2011. *Power Electronics Handbook : Devices, Circuits, And Applications Third Edition*. Pencasola : Elsevier.

Reksoatmodjo, T. N., 2005. Vertical-Axis Differential Drag Windmill. *Jurnal Teknik Mesin*, Volume 7, pp. 65 - 70.

Secretariat of WWINDEA, 2009. *World Energy Report 2009*, Bonn Germany: WWINDEA Organization.

Sidabutar, D. S., Musyafa, A. & Hantoro, R., 2014. *Rancang Bangun Buck-Boost Converter pada Panel Surya Menggunakan Metode Kontrol PI dan PID Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535*. Surabaya: Departemen Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember .

Tao, H., Katsopoulos , A., Duarte, J. L. & Hendrix, M. A. M., 2006. Family of Multiport Bidirectional DC-DC Converters. *IEE Proceedings - Electric Power Applications*, pp. 451-458.

Valenciaga, F. & Puleston, P. F., 2005. Supervisory Control for a Stand-Alone Hybrid Generation System Using Wind and Photovoltaic Energy. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, pp. 398-405.

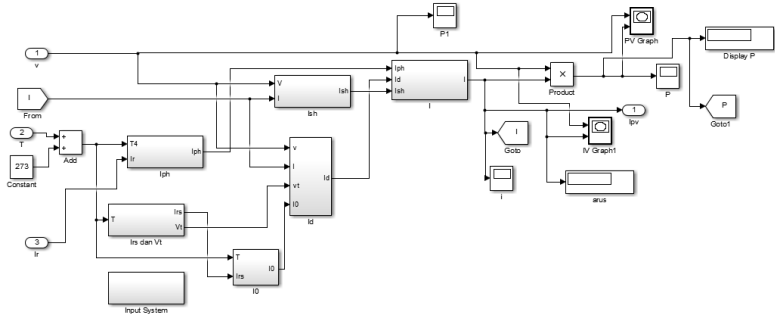
Villalva, M. G., Gazoli, J. R. & Filho, E. R., 2009. Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays. *IEEE Transactions on Power Electronics*, pp. 1198-1208.

Wang , L. & Gao, R. X., 2006. *Condition Monitoring and Control for Intelligent*. London: Springer-Verlag London Limited.

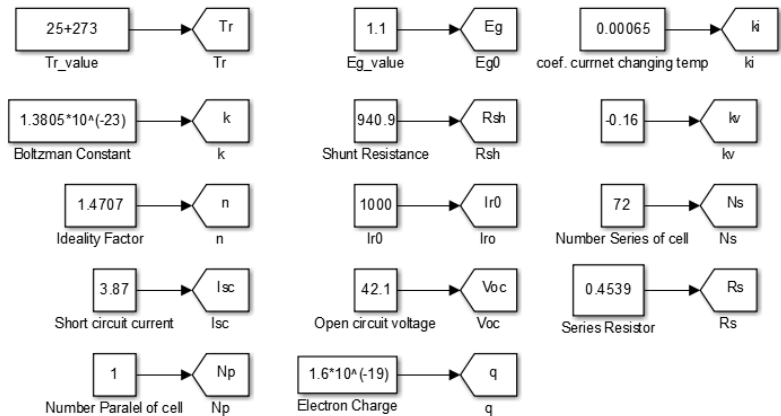
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A SIMULASI SIMULINK SISTEM PEMBANGKIT TENAGA HIBRIDA PADA MATLAB R2014a

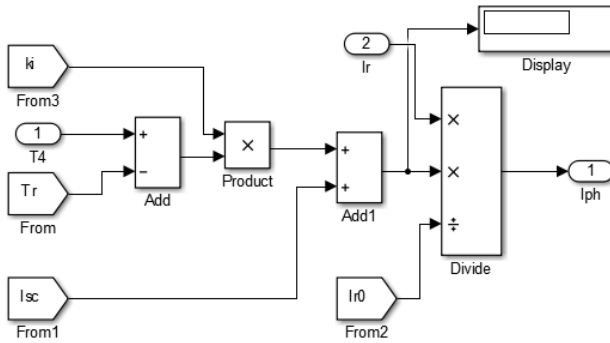
A.2 SIMULASI *PHOTOVOLTAIC*



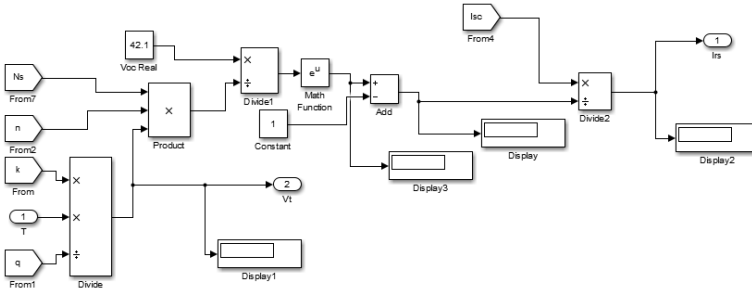
A.1 PARAMETER INPUT SIMULASI *PHOTOVOLTAIC*



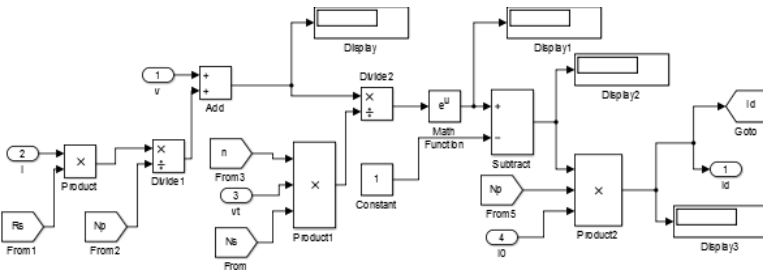
A.3 SIMULASI PERHITUNGAN I_{ph}



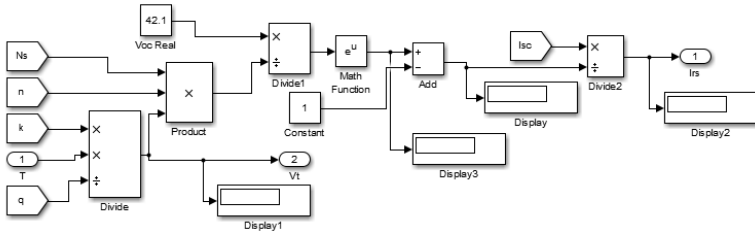
A.4 SIMULASI PERHITUNGAN I_{rs} & V_t



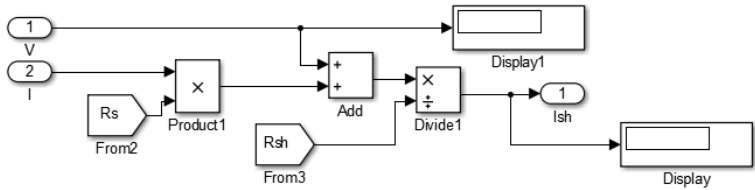
A.5 SIMULASI PERHITUNGAN I_d



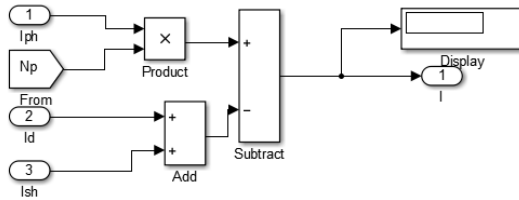
A.6 SIMULASI PERHITUNGAN I_{rs} & V_t



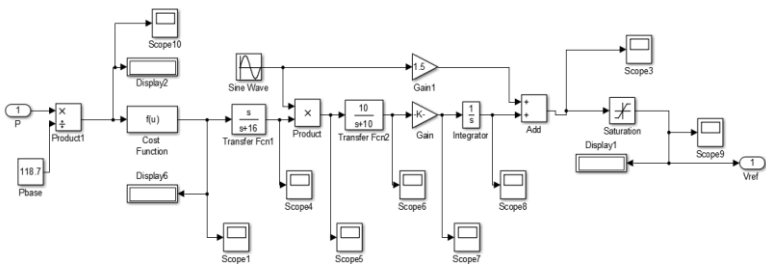
A.7 SIMULASI PERHITUNGAN I_{sh}



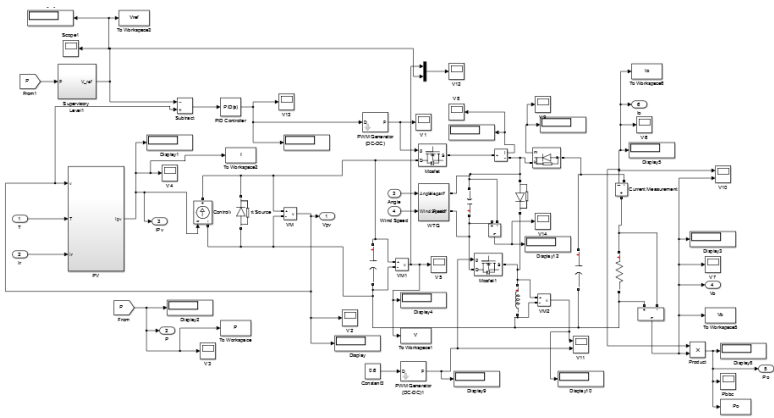
A.8 SIMULASI PERHITUNGAN I



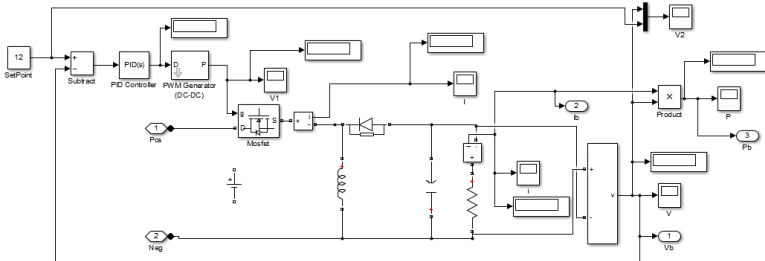
A.9 SIMULASI ALGORITMA *EXTREMUM SEEKING*



A.10 SIMULASI KESELURUHAN SISTEM SUPERVISORY CONTROL



A.11 SIMULASI BATTERY CONTROLLER



**LAMPIRAN B PENGOLAHAN DATA BERDASARKAN
UJICOBA SIMULASI MENGGUNAKAN SIMULINK
MATLAB R2014a**

**B.1 PENGOLAHAN DATA DAYA MAKSIMAL KONDISI
LINGKUNGAN (DIAMBIL CONTOH KONDISI
LINGKUNGAN DENGAN RADIASI DAN TEMPERATUR
TERTINGGI, PADA PUKUL 12.00-12.30 WIB)**

Ir = 1011,333 T = 61,667			Ir = 990,333 T = 58,267		
P	I	Vinput	P	I	Vinput
0,000	3,936	0,000	0,000	3,852	0,000
0,000	3,936	0,000	0,000	3,852	0,000
0,000	3,936	0,000	0,000	3,852	0,000
0,000	3,936	0,000	0,000	3,852	0,000
0,000	3,936	0,000	0,000	3,852	0,000
0,000	3,936	0,000	0,000	3,852	0,000
0,000	3,936	0,000	0,000	3,852	0,000
0,000	3,936	0,000	0,000	3,852	0,000
0,000	3,936	0,000	0,000	3,852	0,000
0,000	3,936	0,000	0,000	3,852	0,000
0,000	3,936	0,000	0,000	3,852	0,000
0,001	3,936	0,000	0,001	3,852	0,000
0,003	3,936	0,001	0,003	3,852	0,001
0,015	3,936	0,004	0,015	3,852	0,004
0,077	3,936	0,019	0,077	3,852	0,020
0,383	3,936	0,097	0,383	3,852	0,100
1,968	3,935	0,500	1,926	3,852	0,500
3,935	3,935	1,000	3,851	3,851	1,000
5,901	3,934	1,500	5,776	3,850	1,500
7,867	3,934	2,000	7,700	3,850	2,000
9,832	3,933	2,500	9,623	3,849	2,500

P	I	Vinput	P	I	Vinput
13,761	3,932	3,500	13,468	3,848	3,500
15,724	3,931	4,000	15,390	3,847	4,000
17,687	3,930	4,500	17,310	3,847	4,500
19,648	3,930	5,000	19,230	3,846	5,000
21,609	3,929	5,500	21,150	3,845	5,500
23,568	3,928	6,000	23,068	3,845	6,000
25,527	3,927	6,500	24,986	3,844	6,500
27,484	3,926	7,000	26,902	3,843	7,000
29,440	3,925	7,500	28,818	3,842	7,500
31,394	3,924	8,000	30,732	3,841	8,000
33,347	3,923	8,500	32,645	3,841	8,500
35,297	3,922	9,000	34,556	3,840	9,000
37,245	3,921	9,500	36,465	3,838	9,500
39,190	3,919	10,000	38,373	3,837	10,000
39,190	3,919	10,000	38,373	3,837	10,000
39,190	3,919	10,000	38,373	3,837	10,000
41,132	3,917	10,500	40,278	3,836	10,500
43,070	3,915	11,000	42,180	3,835	11,000
45,003	3,913	11,500	44,078	3,833	11,500
46,930	3,911	12,000	45,973	3,831	12,000
48,851	3,908	12,500	47,863	3,829	12,500
50,764	3,905	13,000	49,748	3,827	13,000
52,668	3,901	13,500	51,626	3,824	13,500
54,561	3,897	14,000	53,496	3,821	14,000
56,440	3,892	14,500	55,356	3,818	14,500
58,302	3,887	15,000	57,206	3,814	15,000
60,146	3,880	15,500	59,042	3,809	15,500
61,967	3,873	16,000	60,862	3,804	16,000
63,760	3,864	16,500	62,662	3,798	16,500

P	I	Vinput	P	I	Vinput
65,520	3,854	17,000	64,440	3,791	17,000
67,241	3,842	17,500	66,190	3,782	17,500
68,916	3,829	18,000	67,907	3,773	18,000
70,534	3,813	18,500	69,585	3,761	18,500
72,086	3,794	19,000	71,216	3,748	19,000
73,559	3,772	19,500	72,790	3,733	19,500
74,938	3,747	20,000	74,298	3,715	20,000
76,207	3,717	20,500	75,726	3,694	20,500
77,344	3,683	21,000	77,059	3,669	21,000
78,327	3,643	21,500	78,280	3,641	21,500
79,128	3,597	22,000	79,368	3,608	22,000
79,718	3,543	22,500	80,300	3,569	22,500
80,060	3,481	23,000	81,048	3,524	23,000
80,116	3,409	23,500	81,580	3,471	23,500
79,840	3,327	24,000	81,860	3,411	24,000
79,183	3,232	24,500	81,848	3,341	24,500
78,092	3,124	25,000	81,497	3,260	25,000
76,508	3,000	25,500	80,757	3,167	25,500
74,369	2,860	26,000	79,573	3,060	26,000
71,609	2,702	26,500	77,883	2,939	26,500
68,160	2,524	27,000	75,623	2,801	27,000
63,953	2,326	27,500	72,726	2,645	27,500
58,920	2,104	28,000	69,120	2,469	28,000
52,992	1,859	28,500	64,734	2,271	28,500
46,104	1,590	29,000	59,496	2,052	29,000
38,195	1,295	29,500	53,337	1,808	29,500
29,208	0,974	30,000	46,188	1,540	30,000
19,093	0,626	30,500	37,987	1,245	30,500
7,805	0,252	31,000	28,675	0,925	31,000

P	I	Vinput	P	I	Vinput
-4,696	-0,149	31,500	18,200	0,578	31,500
-18,439	-0,576	32,000	6,518	0,204	32,000
-33,453	-1,029	32,500	-6,412	-0,197	32,500
-49,756	-1,508	33,000	-20,621	-0,625	33,000
-67,362	-2,011	33,500	-36,134	-1,079	33,500
-86,283	-2,538	34,000	-52,971	-1,558	34,000

Pengujian *photovoltaic openloop* dilakukan dengan cara memberikan besaran input tegangan dari 0-34 volt. Tegangan dengan daya maksimum ditandai dengan blok warna biru menjadi daya maksimum yang mampu dihasilkan *photovoltaic* pada kondisi lingkungan tersebut. Arus serta tegangan yang optimal juga terdapat pada kondisi tersebut.

B.2 PENGOLAHAN DATA DAYA MAKSIMAL ALGORITMA EXTREMUM SEEKING (DIAMBIL CONTOH KONDISI LINGKUNGPADA PUKUL 12.00-12.30 WIB)

Ir = 1011,333 T = 61,667			Ir = 990,333 T = 58,267		
P	I	V	P	I	V
80,089	3,394	23,599	81,442	3,488	23,347
80,079	3,474	23,048	81,796	3,432	23,830
80,097	3,467	23,106	81,796	3,432	23,830
80,125	3,448	23,237	81,796	3,432	23,830
80,059	3,481	22,997	81,796	3,432	23,830
79,899	3,517	22,717	81,796	3,432	23,830
80,130	3,425	23,396	81,796	3,432	23,830
80,050	3,484	22,975	81,796	3,432	23,830
80,079	3,474	23,048	81,796	3,432	23,830
80,058	3,482	22,994	81,796	3,432	23,830

P	I	V	P	I	V
70,869	2,663	26,616	74,347	2,730	27,235
70,869	2,663	26,616	74,347	2,730	27,235
70,869	2,663	26,616	74,347	2,730	27,235
70,869	2,663	26,616	74,347	2,730	27,235

RATA-RATA KELUARAN <i>PHOTOVOLTAIC</i>					
P	I	V	P	I	V
70,870	2,663	26,616	74,347	2,730	27,235

Perolehan daya maksimum menggunakan MPPT metode P&O dengan menghitung rata-rata daya yang dihasilkan simulasi simulink MATLAB R2014a. Daya dirata-rata ketika nilai tegangan dan arus mulai mencapai nilai stabil hingga perubahan kondisi terjadi.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Akhmad Ibnu Hija yang dipanggil Hija. Penulis merupakan anak ke-dua dari dua bersaudara, lahir di kabupaten Blitar pada tanggal 15 Mei 1996 Penulis menempuh pendidikan di SDN Semen 01 dan lulus tahun 2008, SMPN 01 Wlingi lulus tahun 2011, dan SMAN 1 Talun, Blitar lulus tahun 2014. Pendidikan sarjana ditempuh di Jurusan Teknik Fisika ITS melalui jalur SBMPTN tahun 2014. Selama aktif menjadi mahasiswa, penulis bergabung dalam organisasi kemahasiswaan HMTF sebagai Staff Departemen Sosial Masyarakat HMTF ITS 2015-2016, menjadi Kepala Departemen dalam Departemen Sosial Profesi HMTF ITS 2016-2017 dan menjadi Ketua Trainer Keilmiahan “INTEGRATOR” ITS 2017-2018. Selain aktif dalam berorganisasi, penulis juga aktif dalam kegiatan akademik sebagai asisten Laboratorium Fisika Rekayasa 2016-2017 & 2017-2018. Pengalaman *internship program* selama 1 bulan di PT. Pertamina RU VI Balongan, Indramayu, Jawa Barat. Bidang minat penulis dalam mengerjakan tugas akhir adalah instrumentasi. Penulis dapat dihubungi di email hija.ibnu@gmail.com.