



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE184801

DESAIN DAN IMPLEMENTASI *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* BERBASIS ALGORITMA *PETURB AND OBSERVE* UNTUK SISTEM *HYBRID PHOTOVOLTAIC/TURBIN ANGIN*

Hilman Ridho
NRP 07111640000051

Dosen Pembimbing
Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE184801

DESAIN DAN IMPLEMENTASI *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* BERBASIS ALGORITMA *PETURB AND OBSERVE* UNTUK SISTEM *HYBRID PHOTOVOLTAIC/TURBIN ANGIN*

Hilman Ridho
NRP 0711164000051

Dosen Pembimbing
Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - EE184801

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* BASED ON *PETURB AND OBSERVE* ALGORITHM FOR *HYBRID PHOTOVOLTAIC/WIND* TURBINE SYSTEM

Hilman Ridho
NRP 07111640000051

Supervisors
Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyو, M.MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Intelligence Electrical and Informatic Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

**PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**DESAIN DAN IMPLEMENTASI *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* BERBASIS ALGORITMA *PETURB AND OBSERVE* UNTUK SISTEM *HYBRID PHOTOVOLTAIC/ TURBIN ANGIN*” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.**

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2020

Hilman Ridho
0711164000051

DESAIN DAN IMPLEMENTASI *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* BERBASIS ALGORITMA *PETURB AND OBSERVE* UNTUK SISTEM *HYBRID PHOTOVOLTAIC/TURBIN ANGIN*

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Febby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.
NIP: 198702062012121002

**SURABAYA
JUNI, 2020**

DESAIN DAN IMPLEMENTASI *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* BERBASIS ALGORITMA *PETURB AND OBSERVE* UNTUK SISTEM *HYBRID PHOTOVOLTAIC/TURBIN ANGIN*

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Soediby, M.MT.
NIP. 195512071980031004

**SURABAYA
JUNI, 2020**

DESAIN DAN IMPLEMENTASI *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* BERBASIS ALGORITMA *PETURB AND OBSERVE* UNTUK SISTEM *HYBRID PHOTOVOLTAIC/TURBIN ANGIN*

Hilman Ridho

0711164000051

Dosen Pembimbing 1 : Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

Dosen Pembimbing 2 : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRAK

Photovoltaic dan turbin angin dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan energi terbarukan. Energi yang dihasilkan bersifat bersih, aman, dan jumlahnya melimpah. *Hybrid photovoltaic/turbin* angin merupakan suatu sistem yang dapat menggabungkan dua sumber energi yang dapat diubah menjadi energi listrik. Sehingga keandalan dari sistem *hybrid photovoltaic/turbin* angin menjadi tinggi dan energi yang dihasilkan menjadi lebih besar. Namun, daya keluaran yang dihasilkan masih belum maksimal, sehingga dibutuhkan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) yang digunakan untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan sistem *hybrid photovoltaic/turbin* angin. MPPT akan menempatkan arus dan tegangan input pada titik MPP (*Maximum Power Point*) sehingga daya keluaran menjadi maksimal. Metode yang digunakan pada MPPT dalam sistem ini yaitu *Peturb and Observe* (P&O). Metode ini melakukan *tracking* tegangan referensi yang menghasilkan daya input paling maksimal. Metode P&O dapat digunakan untuk berbagai tipe karakteristik dari PV dan tidak memerlukan informasi karakteristik turbin angin. Pada penelitian ini dirancang MPPT dengan metode *Peturb and Observe* (P&O) pada sistem *hybrid photovoltaic/turbin* angin. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan perbedaan daya hingga 38,85% antara sistem dengan metode P&O dan sistem tanpa metode tersebut.

Kata kunci : *Photovoltaic* (PV), Turbin Angin, *Multi-input* DC/DC Konverter, *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), Metode *Peturb and Observe Algorithm* (P&O).

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* BASED ON *PETURB AND OBSERVE* ALGORITHM FOR *HYBRID PHOTOVOLTAIC/WIND* TURBINE SYSTEM

Hilman Ridho
0711164000051

1st Advisor : Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.
2nd Advisor : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRACT

Photovoltaic and wind turbine can produce electrical energy by utilizing renewable energy. This energy are clean, safe, and unlimited. Hybrid photovoltaic / wind turbine is a system that can combine two energy sources, then converted it to be electrical energy. Hybrid photovoltaic / wind turbine system have high reliability and can produced more energy. However, output power still not maximal, so we need MPPT (Maximum Power Point Tracking) to maximize the input power of hybrid photovoltaic / wind turbine system. MPPT put input current and voltage at MPP (Maximum Power Point) and output power becomes maximal. MPPT in this system use Peturb and Observe (P&O) method. It can track the reference voltage which produces the maximum power. The P&O method can be used for various characteristics of PV and does not require information of wind turbine characteristics. In this final project, MPPT will designed with Peturb and Observe (P&O) method on a hybrid photovoltaic / wind turbine system. Based on the results, power difference is up to 38.85% between the system with the P&O method and the system without this method..

Key Word : Photovoltaic (PV), Wind Turbine, Multi-input DC/DC Converter, Maximum Power Point Tracking (MPPT), Peturb and Observe Algorithm (P&O) Method.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “Desain dan Implementasi *Maximum Power Point Tracking* Berbasis Algoritma *Peturb and Observe* Untuk Sistem *Hybrid Photovoltaic/Turbin Angin*”. Harapan penulis, penelitian ini dapat dijadikan referensi penelitian selanjutnya.

Penyusunan penelitian ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan dan motivasi berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Orang tua yang senantiasa memberikan doa dan motivasi kepada penulis selama menempuh proses perkuliahan.
2. Bapak Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D. dan Dr. Ir. Soedibyo, M.MT. selaku dosen pembimbing yang telah membantu penulis dengan bimbingan serta saran-saran yang berguna sehingga buku penelitian ini dapat diselesaikan.
3. Teman-teman asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik yang senantiasa bekerja sama dan memberikan bantuan serta dukungannya kepada penulis.
4. Teman-teman e56 yang telah berjuang bersama penulis dari awal perkuliahan.
5. Dan semua pihak yang telah membantu penulis dan tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari penyusunan penelitian ini belum sempurna, sehingga kritik dan saran diharapkan demi kesempurnaan penelitian. Semoga penelitian yang disusun dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Surabaya, Juni 2020

Hilman Ridho

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi.....	5
BAB 2 MAXIMUM POWER POINT TRACKING BERBASIS ALGORITMA PERTURB AND OBSERVE UNTUK SISTEM HYBRID PHOTOVOLTAIC/TURBIN	7
2.1 Turbin angin	7
2.2 <i>Photovoltaic</i>	8
2.2.1 Pengaruh Iradian dan Suhu Sel	10
2.2.2 Kurva I-V	10
2.3 MPPT (<i>Maximum Power Point Tracking</i>).....	11
2.3.1 Skema Konverter Menggunakan MPPT	12
2.3.2 Algoritma <i>Perturb and Observe</i> (P&O)	13
2.4 <i>Multi-Input</i> DC/DC Konverter.....	14
2.5 <i>Hybrid Photovoltaic</i> /Turbin Angin Menggunakan Algoritma P&O	15
BAB 3 DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI.....	17
3.1 Desain Multi-Input DC/DC Konverter	17
3.1.1 Penentuan Arus Output/Penentuan <i>Duty Cycle</i>	19
3.1.2 Nilai Resistansi Beban.....	19
3.1.3 Nilai Induktor	20
3.1.4 Nilai Kapasitor.....	22
3.1.5 Penentuan MOSFET	23
3.1.6 Penentuan Dioda.....	24
3.2 Diagram Alir	25
3.3 Simulasi Sistem	27

3.3.1	Simulasi Konverter dalam Keadaan <i>Steady State</i>	27
3.3.2	Simulasi Sistem Multi-input DC/DC Konverter dengan <i>MPPT</i>	31
3.3.3	Simulasi Sistem Multi-input DC/DC Konverter dengan <i>MPPT</i>	38
3.4	Implementasi	51
3.4.1	Komponen Sistem Multi-Input DC/DC Konverter.....	51
BAB 4	PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA.....	55
4.1	Kurva Karakteristik Panel Surya	55
4.2	Kurva Karakteristik Turbin Angin.....	56
4.3	Pengujian Rangkaian Multi-input DC/DC Konverter.....	57
4.3.1	Pengujian Sinyal Komponen	58
4.4	Pengujian Efisiensi Konverter	61
4.5	Pengujian Sensor Konverter	64
4.6	Pengujian MPPT pada Multi-input DC/DC Konverter.....	68
4.6.1	Pengujian MPPT Multi-input DC/DC Konverter dengan Input PV	68
4.6.2	Pengujian MPPT Multi-input DC/DC Konverter dengan Input Turbin Angin.....	79
4.6.3	Pengujian MPPT Multi-input DC/DC Konverter dengan Input PV dan Turbin Angin.....	91
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	107
5.1	Kesimpulan	107
5.2	Saran	107
DAFTAR PUSTAKA		109
LAMPIRAN		111
BIODATA PENULIS		119

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Daerah operasi turbin angin	8
Gambar 2.2 Rangkaian ekuivalaen <i>photovoltaic</i>	9
Gambar 2.3 Kurva karakteristik <i>photovoltaic</i>	11
Gambar 2.4 Titik MPP dan Titik Kerja Tegangan PV akibat Pembebanan	12
Gambar 2.5 Skema MPPT pada konverter	12
Gambar 2.6 Algoritma <i>Perturb and Observe</i> (P&O)	13
Gambar 2.7 Rangkaian Multi-input DC/DC Konverter	14
Gambar 2.8 Mode-Mode akibat Penyalaan Switching	15
Gambar 2.9 Blok Diagram Multi-input DC/DC Konverter	16
Gambar 3. 1 Inti Induktor Magnetics 0077548A7	22
Gambar 3. 2 MOSFET IRFP4227	24
Gambar 3. 3 Dioda MUR1560	25
Gambar 3. 4 Diagram Alir Metode Penelitian	26
Gambar 3. 5 Simulasi Multi-input DC/DC Konverter Kondisi Steady State	28
Gambar 3. 6 Grafik Tegangan Output Simulasi Konverter Kondisi Steady State.....	28
Gambar 3. 7 Grafik Tegangan Output (Ripple) Simulasi Konverter Kondisi Steady State	29
Gambar 3. 8 Grafik Arus Output Simulasi Konverter Kondisi Steady State	29
Gambar 3. 9 Grafik Arus Output (Ripple) Simulasi Konverter Kondisi Steady State.....	30
Gambar 3. 10 Grafik Arus Output Simulasi Konverter Kondisi Steady State	30
Gambar 3. 11 Grafik Arus Output (Ripple) Simulasi Konverter Kondisi Steady State	31
Gambar 3. 12 Simulasi <i>multi-input</i> DC/DC konverter dengan <i>MPPT</i> 32	
Gambar 3. 13 Daya input konverter pada kondisi input iradian PV 1000 W/ m ² dan Kecepatan Angin 8 m/s.....	33
Gambar 3. 14 Gelombang tegangan output, arus output, dan daya output konverter pada kondisi input iradian PV 1000 W/ m ² dan Kecepatan Angin 8 m/s	34

Gambar 3. 15 Daya input konverter pada kondisi input iradian PV 750 W/m ² dan Kecepatan Angin 6 m/s	35
Gambar 3. 16 Gelombang tegangan output, arus output, dan daya output konverter pada kondisi input iradian PV 750 W/m ² dan Kecepatan Angin 6 m/s	35
Gambar 3. 17 Daya input konverter pada kondisi input iradian PV 500 W/m ² dan Kecepatan Angin 4 m/s	36
Gambar 3. 18 Gelombang tegangan output, arus output, dan daya output konverter pada kondisi input iradian PV 500 W/m ² dan Kecepatan Angin 4 m/s	37
Gambar 3. 19 Grafik Daya Output Konverter dengan Inputan Berubah	38
Gambar 3. 20 Grafik Tegangan Input dan Arus Input Konverter dengan kecepatan angin 4 m/s.....	39
Gambar 3. 21 Grafik Tegangan Output dan Arus Output Konverter dengan kecepatan angin 4 m/s.....	40
Gambar 3. 22 Grafik Tegangan Input dan Arus Input Konverter dengan kecepatan angin 6 m/s.....	40
Gambar 3. 23 Grafik Tegangan Output dan Arus Output Konverter dengan kecepatan angin 6 m/s.....	41
Gambar 3. 24 Grafik Tegangan Input dan Arus Input Konverter dengan kecepatan angin 8 m/s.....	42
Gambar 3. 25 Grafik Tegangan Output dan Arus Output Konverter dengan kecepatan angin 8 m/s.....	43
Gambar 3. 26 Grafik Tegangan Input Sisi PV dan Arus Input Sisi PV dengan iradian 300 W/m ² dan Kecepatan Angin 4 m/s	44
Gambar 3. 27 Grafik Tegangan Input dan Arus Input Sisi Turbin Angin dengan iradian 300 W/m ² dan Kecepatan Angin 4 m/s	44
Gambar 3. 28 Grafik Tegangan Output dan Arus Output Konverter dengan iradian 300 W/m ² dan Kecepatan Angin 4 m/s.	45
Gambar 3. 29 Grafik Tegangan Input Sisi PV dan Arus Input Sisi PV dengan iradian 600 W/m ² dan Kecepatan Angin 6 m/s.	46
Gambar 3. 30 Grafik Tegangan Input dan Arus Input Sisi Turbin Angin dengan iradian 600 W/m ² dan Kecepatan Angin 6 m/s.	47
Gambar 3. 31 Grafik Tegangan Output dan Arus Output Konverter dengan iradian 600 W/m ² dan Kecepatan Angin 6 m/s.	48

Gambar 3. 32 Grafik Tegangan Input Sisi PV dan Arus Input Sisi PV dengan iradian 1000 W/m ² dan Kecepatan Angin 8 m/s.	49
Gambar 3. 33 Grafik Tegangan Input dan Arus Input Sisi Turbin Angin dengan iradian 1000 W/m ² dan Kecepatan Angin 8 m/s.	50
Gambar 3. 34 Grafik Tegangan Output dan Arus Output Konverter dengan iradian 1000 W/m ² dan Kecepatan Angin 8 m/s.	51
Gambar 3. 35 Pengukuran Iradian Matahari dan Suhu Sel	53
Gambar 3. 36 Pengukuran Kecepatan Putar Generator DC	53
Gambar 4. 1 Kurva Karakteristik Arus dan Tegangan PV dengan Variasi Iradian.....	55
Gambar 4. 2 Kurva Karakteristik Daya dan Tegangan PV dengan Variasi Iradian.....	56
Gambar 4. 3 Kurva Karakteristik Turbin Angin dengan Variasi Kecepatan Angin.....	57
Gambar 4. 4 Pengujian Multi-Input DC/DC Konverter	58
Gambar 4. 5 Gelombang VGS dan VDS pada MOSFET1	58
Gambar 4. 6 Gelombang VGS dan VDS pada MOSFET2	59
Gambar 4. 7 Gelombang Arus Induktor Multi-Input DC/DC Konverter	60
Gambar 4. 8 Gelombang Tegangan Output Multi-Input DC/DC Konverter	60
Gambar 4. 9 Hasil Pengujian Efisiensi Konverter dengan Input Sisi PV	62
Gambar 4. 10 Hasil Pengujian Efisiensi Konverter dengan Input Sisi Turbin Angin.....	63
Gambar 4. 11 Hasil Pengujian Efisiensi Konverter dengan Dua Input	64
Gambar 4. 12 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter	69
Gambar 4. 13 Grafik Tegangan Input Konverter	69
Gambar 4. 14 Grafik Arus Input Konverter	70
Gambar 4. 15 Grafik <i>Duty Cycle</i> Konverter	70
Gambar 4. 16 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O Dan Tanpa MPPT P&O.....	71
Gambar 4. 17 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter	72
Gambar 4. 18 Grafik Tegangan Input Konverter	72

Gambar 4. 19 Grafik Arus Input Konverter	73
Gambar 4. 20 Grafik <i>Duty Cycle</i> Konverter	73
Gambar 4. 21 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O dan Tanpa MPPT P&O.....	74
Gambar 4. 22 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter	74
Gambar 4. 23 Grafik Tegangan Input Konverter	75
Gambar 4. 24 Grafik Arus Input Konverter	75
Gambar 4. 25 Grafik <i>Duty Cycle</i> Konverter	76
Gambar 4. 26 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O dan Tanpa MPPT P&O.....	77
Gambar 4. 27 Perbandingan Daya Input Konverter Menggunakan MPPT P&O (Type 1 = 954 W/m ² , Type 2 = 708 W/m ² , Type 3 = 327 W/m ²)	77
Gambar 4. 28 Tegangan Output Konverter dengan Variasi Iradian ...	78
Gambar 4. 29 Daya Output Konverter dengan Variasi Iradian	79
Gambar 4. 30 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter	80
Gambar 4. 31 Grafik Tegangan Input Konverter	81
Gambar 4. 32 Grafik Arus Input Konverter	81
Gambar 4. 33 Grafik <i>Duty Cycle</i> Konverter	82
Gambar 4. 34 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O dan Tanpa MPPT P&O.....	83
Gambar 4. 35 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter	83
Gambar 4. 36 Grafik Tegangan Input Konverter	84
Gambar 4. 37 Grafik Arus Input Konverter	84
Gambar 4. 38 Grafik <i>Duty Cycle</i> Konverter	85
Gambar 4. 39 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O dan Tanpa MPPT P&O.....	85
Gambar 4. 40 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter	86
Gambar 4. 41 Grafik Tegangan Input Konverter	86
Gambar 4. 42 Grafik Arus Input Konverter	87
Gambar 4. 43 Grafik <i>Duty Cycle</i> Konverter	87
Gambar 4. 44 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O dan Tanpa MPPT P&O.....	88
Gambar 4. 45 Perbandingan Daya Input Konverter Menggunakan MPPT P&O (Type 1 = 4 m/s, Type 2 = 6 m/s, Type 3 = 8 m/s)	89

Gambar 4. 46 Tegangan Output Konverter dengan Variasi Kecepatan Angin	90
Gambar 4. 47 Daya Output Konverter dengan Variasi Kecepatan Angin	91
Gambar 4. 48 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter	92
Gambar 4. 49 Grafik Tegangan Input Konverter	93
Gambar 4. 50 Grafik Arus Input Konverter	94
Gambar 4. 51 Grafik <i>Duty Cycle</i> Konverter	94
Gambar 4. 52 Grafik Daya Input Konverter Tanpa MPPT P&O	95
Gambar 4. 53 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O dan Tanpa MPPT P&O.....	95
Gambar 4. 54 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter	96
Gambar 4. 55 Grafik Tegangan Input Konverter	97
Gambar 4. 56 Grafik Arus Input Konverter	97
Gambar 4. 57 Grafik <i>Duty Cycle</i> Konverter	98
Gambar 4. 58 Grafik Daya Input Konverter Tanpa MPPT P&O	98
Gambar 4. 59 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O dan Tanpa MPPT P&O.....	99
Gambar 4. 60 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter	100
Gambar 4. 61 Grafik Tegangan Input Konverter	100
Gambar 4. 62 Grafik Arus Input Konverter	101
Gambar 4. 63 Grafik <i>Duty Cycle</i> Konverter	101
Gambar 4. 64 Grafik Daya Input Konverter Tanpa MPPT P&O	102
Gambar 4. 65 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O dan Tanpa MPPT P&O.....	103
Gambar 4. 66 Perbandingan Daya Input Konverter Menggunakan MPPT P&O (Type 1 = 327 W/ m^2 and 4 m/s, Type 2 = 545 W/ m^2 and 6 m/s, Type 3 = 954 W/ m^2 and 8 m/s).....	104
Gambar 4. 67 Tegangan Output Konverter dengan Variasi Iradian dan Kecepatan Angin.....	105
Gambar 4. 68 Daya Output Konverter dengan Variasi Iradian dan Kecepatan Angin.....	106

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Datasheet Solar Panel Gama Solar	17
Tabel 3. 2 Nameplate Generator DC Langlois	18
Tabel 3. 3 Parameter komponen pada multi-input DC/DC konverter	25
Tabel 3. 4 Parameter Konverter Tahap Implementasi	52
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sensor Tegangan Sisi PV	65
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sensor Arus Sisi PV	65
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sensor Tegangan Sisi Turbin Angin	66
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Sensor Arus Sisi Turbin Angin	66
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Sensor Tegangan Sisi Output Konverter.	67
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Sensor Arus Sisi Turbin Angin	67

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi mengalami kenaikan yang signifikan setiap tahunnya. Namun, tidak diimbangi dengan meningkatnya jumlah energi fosil yang terkandung di dalam bumi. Penggunaan bahan bakar fosil dapat menyebabkan berbagai macam dampak buruk bagi lingkungan, seperti meningkatnya emisi karbon yang dapat menyebabkan efek rumah kaca. Oleh karena itu, dibutuhkan energi yang dapat menggantikan energi fosil sebagai energi utama dalam memenuhi kebutuhan kelistrikan di Indonesia. Energi terbarukan dapat dijadikan sebagai energi alternatif untuk menggantikan energi fosil dan memiliki peluang besar untuk dikembangkan. Energi ini bersifat bersih dan tidak terbatas jumlahnya.[1] Di Indonesia, energi terbarukan yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan adalah energi surya dan angin. Kedua energi tersebut akan dimanfaatkan untuk diubah menjadi energi listrik melalui *photovoltaic* (PV) dan turbin angin.

Photovoltaic dan turbin angin mengkonversi energi yang bersifat non-linear.[2] PV mempunyai kurva karakteristik daya dan tegangan yang nilainya berubah-ubah sesuai dengan suhu sel dan sinar matahari[3]. Sedangkan turbin angin mempunyai kurva karakteristik daya dan kecepatan angin yang nilainya berubah-ubah sesuai dengan keadaan kecepatan angin yang terjadi pada waktu tersebut. Kedua energi ini memiliki kekurangan jika dibandingkan dengan energi lain, yaitu efisiensi yang rendah. Sehingga diperlukan suatu sistem dan metode yang dapat meningkatkan efisiensi daya yang dapat dihasilkan. *Hybrid* PV dan turbin angin menjadikan sistem ini lebih handal, sederhana, dan dapat mengurangi biaya pengoperasian.[4] Selain itu, dibutuhkan suatu metode yang berfungsi memaksimalkan daya keluaran yang dihasilkan dari sistem ini.[5] Metode yang digunakan adalah MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). MPPT akan menempatkan arus dan tegangan operasi berada pada titik MPP (*Maximum Power Point*) sehingga dihasilkan daya keluaran yang maksimal.

Pada sebuah MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) terdapat suatu algoritma yang akan mengatur kerja dari sistem tersebut. Algoritma yang digunakan pada penelitian ini adalah *Perturb and Observe* Algorithm (P&O). Metode ini mudah diimplementasikan pada sistem *hybrid* PV/turbin angin karena memiliki algoritma yang sederhana. Namun, metode P&O memiliki kekurangan yaitu pada kondisi steady state terdapat osilasi yang disebabkan perubahan duty cycle yang konstan.[6] [7]

Pada penelitian ini digunakan algoritma MPPT dengan metode *Perturb and Observe* Algorithm (P&O) pada sistem *hybrid photovoltaic*/turbin angin yang mampu meningkatkan daya keluaran pada sistem ini.

1.2 Perumusan Masalah

Potensi energi angin dan cahaya matahari sangat besar apabila dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik. Namun, proses konversi energi tersebut memiliki efisiensi yang kecil. Hal ini disebabkan daya keluaran yang dihasilkan oleh PV dipengaruhi oleh suhu sel dan iradiasi. Besar daya keluaran yang dihasilkan oleh turbin angin berubah-ubah sesuai dengan kecepatan angin pada waktu tersebut. *Hybrid* PV/turbin angin mempunyai keandalan yang tinggi. Sistem ini menghasilkan daya yang kontinyu jika dibandingkan dengan sistem yang hanya memiliki satu input sumber.[4] Namun, efisiensi daya keluaran yang dihasilkan oleh sistem *hybrid* PV/turbin angin masih buruk. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu metode yang dapat memaksimalkan daya keluaran yang dihasilkan.

Daya maksimal berada pada titik MPP (*Maximum Power Point*). MPPT akan menempatkan arus dan tegangan operasi berada pada titik MPP (*Maximum Power Point*) sehingga dihasilkan daya keluaran yang maksimal. Metode *Perturb and Observe* (P&O) sering digunakan dalam pencarian titik *Maximum Power Point* (MPP) pada PV dan turbin angin. Metode ini dapat digunakan untuk berbagai macam karakteristik PV dan tidak memerlukan informasi mengenai parameter turbin angin dan kecepatan angin.

1.3 Tujuan

Tujuan dari Penelitian ini diharapkan sebagai berikut:

1. Mendesain dan mengimplementasikan MPPT dengan metode *Perturb and Observe* Algorithm (P&O) pada multi-input DC-DC konverter.
2. Mendapatkan perbandingan daya output pada multi-input DC-DC konverter menggunakan MPPT dan tanpa menggunakan MPPT.

1.4 Batasan Masalah

1. Kapasitas *multi-input* DC/DC konverter 200 W dan digunakan untuk aplikasi stand alone.
2. Implementasi *multi-input* DC/DC konverter menggunakan komponen – komponen yang terdapat di pasaran.
3. Perbandingan antara konverter yang menggunakan MPPT dan tidak menggunakan MPPT berdasarkan jumlah daya yang dihasilkan.
4. Dilaksanakan di lingkungan Departemen Teknik Elektro dengan menggunakan peralatan yang terdapat di Laboratorium Konversi Energi Listrik.
5. Pengujian menggunakan resistor variabel untuk merepresentasikan perubahan beban.

1.5 Metodologi

Penelitian ini akan dilaksanakan dalam beberapa tahap yaitu sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur dengan mengumpulkan sumber, fakta, dan teori pendukung yang berkaitan dengan *photovoltaic*, turbin angin, *hybrid photovoltaic*/turbin angin, *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), Metode *Perturb and Observe* (P&O), dan referensi lain yang terkait.

2. Desain dan Simulasi

Mendesain konverter pada MPPT dan melakukan perhitungan nilai komponen yang menyusun konverter tersebut. Setelah itu, desain

tersebut disimulasikan beserta metode MPPT P&O menggunakan software PSIM. Hasil dari simulasi dibandingkan dengan perhitungan secara teori.

3. Implementasi

Dilakukan realisasi pembuatan alat yang telah didesain dan disimulasikan. Desain PCB dibuat dengan software Eagle dan komponen-komponen penyusun konverter dirangkai pada PCB. Untuk implemetasi metode MPPT P&O digunakan mikrokontroler arduino uno. Kemudian metode tersebut diintegrasikan dengan konverter *hybrid* PV dan turbin angin.

4. Pengujian Alat

Setelah konverter dan MPPT sudah terealisasi, maka akan diuji menggunakan beban resistif. Dalam tahap ini didapatkan data-data hasil pengujian alat. Dari data tersebut dapat diketahui apakah MPPT dapat menghasilkan daya yang maksimum atau mampu menuju titik MPP. Pengujian ini dilakukan dalam tiga tahap, yaitu pada saat tahap input PV, tahap input turbin angin, dan tahap input PV/turbin angin.

5. Penulisan Buku Penelitian

Tahapan terakhir adalah membuat analisa dan kesimpulan mengenai data yang telah didapatkan saat proses pengujian alat. Kemudian, semua kegiatan dan hasil yang telah diperoleh ditulis dalam bentuk buku Penelitian.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi pembahasan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi penelitian ini.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi pembahasan mengenai tinjauan pustaka yang digunakan sebagai dasar penelitian penelitian ini seperti Turbin Angin, *Photovoltaic*, *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), *Metode Perturb and Observe* (P&O), dan *Multi-input DC/DC Konverter*

BAB III Desain, Simulasi, dan Implementasi

Bab ini berisi pembahasan mengenai desain sistem multi-input DC/DC konverter beserta spesifikasinya, hasil simulasi menggunakan perangkat lunak, dan implementasi

BAB IV Pengujian dan Analisis Data

Bab ini berisi pembahasan mengenai analisis data dari hasil pengujian konverter yang diimplementasikan dan pengujian performa dari MPPT P&O.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari analisis yang dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

1.7 Relevansi

Hasil dari Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Membantu untuk memperoleh titik MPP pada sistem *hybrid photovoltaic*/turbin angin.
2. Digunakan sebagai referensi mahasiswa untuk mengerjakan penelitian (Tugas Akhir) di bidang energi terbarukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

MAXIMUM POWER POINT TRACKING BERBASIS ALGORITMA PETURB AND OBSERVE UNTUK SISTEM HYBRID PHOTOVOLTAIC/TURBIN

2.1 Turbin angin

Turbin angin merupakan sebuah alat yang dapat mengkonversi energi angin menjadi energi mekanik yang digunakan untuk memutar rotor turbin angin. Turbin tersebut dihubungkan dengan generator untuk menghasilkan energi listrik. Prinsip kerja dari turbin angin adalah angin akan menuju sudu turbin sehingga akan timbul udara bertekanan rendah pada bagian bawah sudu. Tekanan udara rendah akan mengakibatkan sudu bergerak ke atas. Gaya yang ditimbulkan disebut gaya angkat. Besar gaya angkat biasanya lebih besar daripada tekanan sisi depan sudu, yang biasa disebut dengan gaya tarik. Kombinasi antara gaya angkat dan gaya tarik mengakibatkan rotor berputar sehingga generator akan menghasilkan listrik.[6]

Daya mekanik yang dihasilkan angin untuk memutar rotor dapat dinyatakan dengan rumus berikut:

$$P_m = \frac{1}{2} \pi \rho C_p(\lambda, \beta) R^2 v^3$$

P_m = Daya mekanik (W)

R = Jari-jari turbin angin (m)

ρ = Massa jenis udara (kg/m³)

v = Kecepatan angin (m/s)

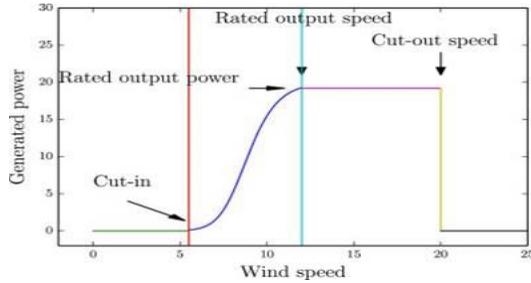
C_p = Koefisien daya

λ = *Tip Speed Ratio* (TSR)

β = Sudut baling-baling turbin terhadap arah angin

Turbin angin memiliki tiga daerah operasi yaitu *cut-in* speed, kecepatan nominal, dan *cut-out* speed.[8] Secara ideal, turbin angin dirancang dengan kecepatan cut-in yang seminimal mungkin, kecepatan nominal yang sesuai dengan potensi angin lokal, dan kecepatan cut-out yang semaksimal mungkin. Namun secara mekanik kondisi ini sulit

diwujudkan karena kompensasi dari perancangan turbin angin dengan nilai kecepatan maksimal (V_{cutoff}) yang besar adalah V_{cut} dan V_{rated} yang relatif akan besar pula.

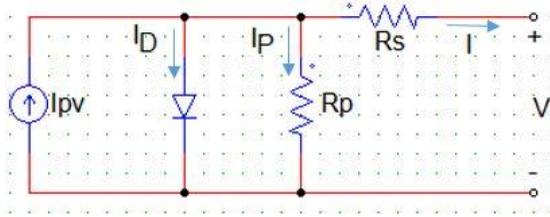


Gambar 2.1 Daerah operasi turbin angin

Untuk keperluan pengujian alat, turbin angin dikontrol dengan motor DC untuk menyimulasikan keadaan angin. Motor DC akan menerima input tegangan DC dan beroperasi sesuai dengan besar input yang diberikan. Motor DC dan turbin angin digabungkan secara langsung untuk mengoperasikan generator sebagai penghasil daya listrik. Semakin besar daya keluaran turbin angin maka daya input yang dibutuhkan motor DC juga semakin besar. [4]

2.2 Photovoltaic

Photovoltaic (PV) merupakan komponen semi konduktor yang dapat mengubah energi radiasi surya menjadi arus listrik searah. Bahan semi konduktor yang paling sering digunakan saat ini sebagai bahan pembuatan PV adalah silicon. *Photovoltaic* dapat dinyatakan dalam bentuk rangkaian ekuivalen untuk mempermudah proses analisa. Rangkaian ekuivalennya berupa sumber arus searah (I_{pv}), dioda dan resistansi (R_p dan R_s). Hambatan seri (R_s) memodelkan rugi-rugi tegangan dan hambatan paralel (R_p) memodelkan rugi-rugi arus bocor.[9]



Gambar 2.2 Rangkaian ekuivalaen *photovoltaic*

Sesuai dengan hukum Kirchof I, didapatkan analisa sebagai berikut:

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad (2.1)$$

$$I_{ph} = \frac{(I_{sc} + K_i(T - 298)) \times G}{1000} \quad (2.2)$$

Dimana,

I_{sc} = Arus hubung singkat saat $G=1\text{kW/m}^2$, $T=298\text{K}$

K_i = Koefisien *temperature*

T = Suhu (K)

G = Iradiasi matahari (W/m^2)

$$I_d = I_o \left(e^{\frac{V_d}{nV_t}} - 1 \right) \quad (2.3)$$

$$I_{sh} = V_d / R_{sh} \quad (2.4)$$

$$V_d = V + IR_s \quad (2.5)$$

$$V_t = kT/q \quad (2.6)$$

Dimana,

I_o = Arus saturasi dioda

V_d = Tegangan pada dioda

V_t = *Thermal voltage*

R_{sh} = Resistansi paralel

R_s = Resistansi seri

k = Konstanta boltzman (1.38×10^{-23} J/K)

q = Muatan electron (1.6×10^{-19} C)

Maka:

$$I_d = I_o \left[\exp \left(\frac{q(V+IR_s)}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

Sehingga bisa didapatkan persamaan arus output dari PV, yaitu:

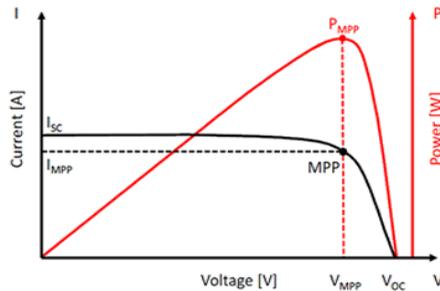
$$I = \frac{(I_{sc} + Ki(T-298)) \times G}{1000} - I_o \left[\exp \left(\frac{q(V+IR_s)}{nkT} \right) - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (2.8)$$

2.2.1 Pengaruh Iradian dan Suhu Sel

Faktor yang mempengaruhi besar daya yang didapatkan dari PV adalah iradian dan suhu sel. Dalam kondisi iradian dan suhu sel yang berbeda, maka didapatkan nilai *Maximum Power Point* (MPP) yang bervariasi dan dapat menggeser kurva I-V. Semakin besar intensitas cahaya yang didapatkan oleh sel surya, maka akan didapatkan daya yang semakin besar. Namun, semakin besar suhu sel dari PV maka akan mengakibatkan daya yang dihasilkan menjadi semakin kecil. Sehingga kita memerlukan metode yang tepat untuk memperoleh daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh PV.

2.2.2 Kurva I-V

Kurva karakteristik *Photovoltaic* (PV) dapat dinyatakan dalam hubungan daya-tegangan dan arus-tegangan. Kurva ini terdiri atas dua bagian yaitu sumbu horizontal merupakan daerah sumber tegangan, dimana di titik akhir terdapat nilai V_{oc} atau tegangan pada saat *open circuit*. Kemudian, pada sumbu vertikal merupakan daerah sumber arus, dimana di titik akhir terdapat nilai I_{sc} atau nilai arus pada saat *short circuit*. Pada kurva I-V, tegangan operasi pada PV dapat mempengaruhi daya yang dihasilkan. Letak titik yang menghasilkan daya keluaran maksimal PV berubah-ubah sesuai dengan nilai iradiasi dan suhu sel.[3]

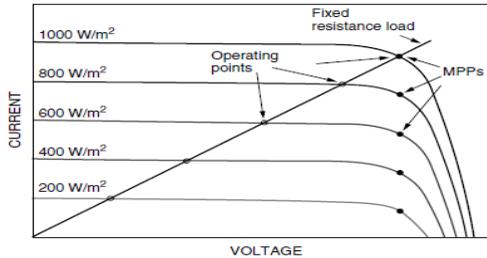


Gambar 2.3 Kurva karakteristik *photovoltaic*

2.3 MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

MPPT merupakan suatu metode yang didalamnya terdapat suatu algoritma untuk menentukan titik yang menghasilkan nilai daya maksimum. Titik yang menghasilkan daya maksimum disebut *Maximum Power Point* (MPP). Untuk mencapai titik ini, dibutuhkan metode perhitungan dan algoritma *tracking*. MPPT bekerja dengan menaikkan atau menurunkan tegangan kerja sehingga didapatkan daya yang maksimal. [6] *Duty cycle* konverter diatur sampai didapatkan daya pada titik MPP. Apabila tegangan kerja pada PV dan turbin angin lebih kecil daripada tegangan yang dapat menghasilkan daya maksimal (V_{mpp}), maka tegangan kerja akan dinaikkan sampai mendekati V_{mpp} . Sebaliknya, saat tegangan kerja PV dan turbin angin lebih besar dari V_{mpp} , maka tegangan kerja diturunkan hingga mendekati V_{mpp} . [11][12] Pengoperasian MPPT membutuhkan beberapa komponen yang akan digunakan dalam algoritma didalamnya, yaitu arus input (I_{pv} dan I_{wind}) dan tegangan input (V_{pv} dan V_{wind}). Komponen-komponen tersebut dikombinasikan untuk mendapatkan nilai daya (P).

MPPT di turbin angin akan memaksimalkan daya keluaran generator. Parameter yang mempengaruhi daya yang dihasilkan turbin angin adalah kecepatan angin dan karakteristik turbin angin tersebut. [6] Pada PV hal yang mempengaruhi besar daya yang dihasilkan adalah kondisi suhu sel dan iradiasi. Dengan adanya parameter tersebut, MPPT akan bekerja sesuai dengan algoritma yang digunakan untuk menghasilkan daya keluaran paling maksimal.

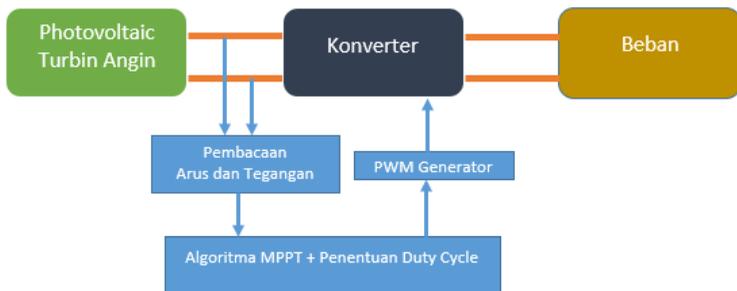


Gambar 2.4 Titik MPP dan Titik Kerja Tegangan PV akibat Pembebanan

2.3.1 Skema Konverter Menggunakan MPPT

Keadaan iradian dan suhu sel yang berubah-ubah mengakibatkan daya yang dihasilkan daya yang nilainya berbeda-beda. MPPT akan bekerja memosisikan tegangan kerja (V_{ref}) pada titik MPP dan akan menjaga operasi sistem agar tetap dapat dapat menghasilkan daya paling maksimal meskipun iradian dan suhu sel dalam kondisi yang berbeda-beda.

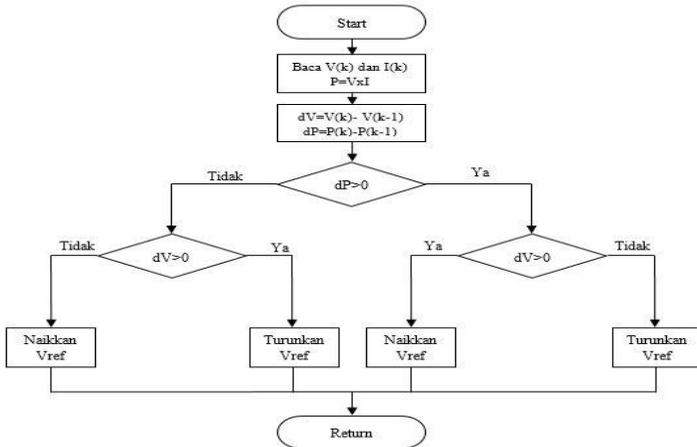
Dalam langkah operasi atau skema kerja dari MPPT, akan dilakukan pengukuran arus dan tegangan dari *photovoltaic* dan turbin angin. Arus dan tegangan ini akan diolah pada algoritma MPPT dan akan dihasilkan suatu *duty cycle* yang dapat menghasilkan daya pada titik MPP. Duty Cycle akan mengatur penyaklaran pada multi-input konverter.



Gambar 2.5 Skema MPPT pada konverter

2.3.2 Algoritma *Perturb and Observe* (P&O)

Algoritma *Perturb and Observe* (P&O) sering digunakan dalam pencarian titik *Maximum Power Point* (MPP) pada PV dan turbin angin. Metode ini dapat digunakan untuk berbagai tipe karakteristik dari PV [3] dan tidak memerlukan informasi mengenai karakteristik sistem turbin angin.[6] Namun, metode P&O memiliki kekurangan yaitu pada kondisi steady state terdapat osilasi yang disebabkan karena tidak ada perubahan pada *duty cycle*.

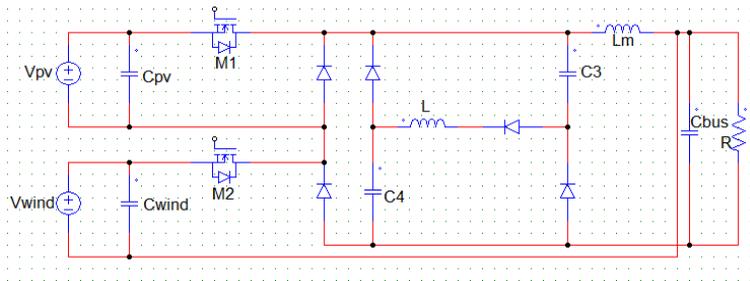


Gambar 2.6 Algoritma *Perturb and Observe* (P&O)

Algoritma *Perturb and Observe* (P&O), diawali dengan pembacaan data awal oleh sensor berupa tegangan $V(k)$ dan arus $I(k)$. Didapatkan besaran daya yang dihitung melalui perkalian data awal tersebut. Kemudian algoritma selanjutnya adalah *perturb* pada sisi tegangan output PV/turbin angin dan *observe* nilai perubahan daya (dP). Jika nilai tegangan dinaikkan didapatkan daya yang semakin naik, maka *perturb* akan dilanjutkan dengan menaikkan nilai V_{ref} . Sebaliknya, apabila pada saat nilai tegangan dinaikkan dan didapatkan daya yang semakin turun, maka nilai V_{ref} akan diturunkan. Algoritma ini berlanjut sampai didapatkan nilai daya paling tinggi.[13]

2.4 Multi-Input DC/DC Konverter

Multi-input DC/DC Konverter merupakan perpaduan dari konverter *buck-boost* dan *buck*. Input tegangan dapat diperoleh dari tegangan PV (V_{pv}) dan turbin angin (V_{wind}). Switching dapat diatur melalui M1 dan M2. Pada pengoperasian konverter multi-input DC/DC terdapat empat macam mode operasi. Mode-mode tersebut disebabkan oleh perbedaan waktu kerja pada M1 dan M2. Mode I, Mode III, dan Mode IV akan terjadi secara berurutan apabila waktu kerja M1 lebih lama daripada M2. Urutan Mode II, Mode III, dan Mode IV terjadi pada saat waktu kerja M2 lebih lama daripada M2.[4] Pada saat switch M₁ dan M₂ dimatikan, arus akan mengalir melalui dioda D₁ dan D₂ kemudian menuju induktor. Apabila salah satu input tegangan tidak dapat memberikan tegangan, maka input tegangan lain masih dapat memberikan sumber tegangan untuk mengoperasikan konverter. Oleh karena itu, konverter multi- input DC/DC konverter cocok untuk aplikasi energi terbarukan. [4]



Tegangan output, arus input, dan arus output dapat dinyatakan sebagai:

$$V_{DC} = \frac{d_1}{1-d_2} V_{PV} + \frac{d_2}{1-d_2} V_{Wind} \quad (2.9)$$

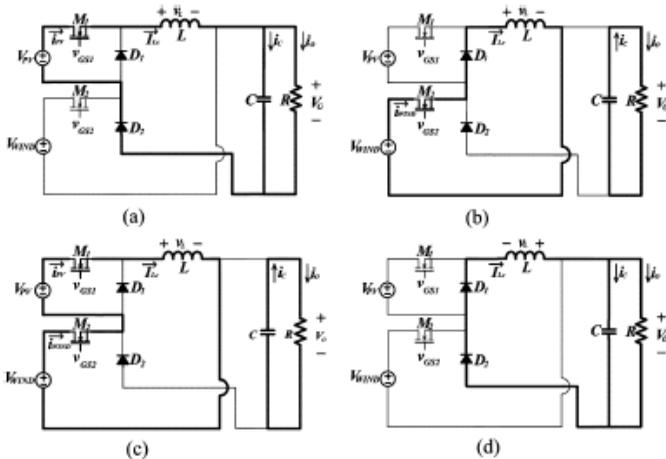
$$I_{PV} = \frac{d_1}{1-d_2} I_0 \quad (2.10)$$

$$I_{Wind} = \frac{d_2}{1-d_2} I_0 \quad (2.11)$$

dimana

V_{DC} = Tegangan output

- d_1 = Duty cycle dari switch M_1
- d_2 = Duty cycle dari switch M_2
- I_o = Arus output



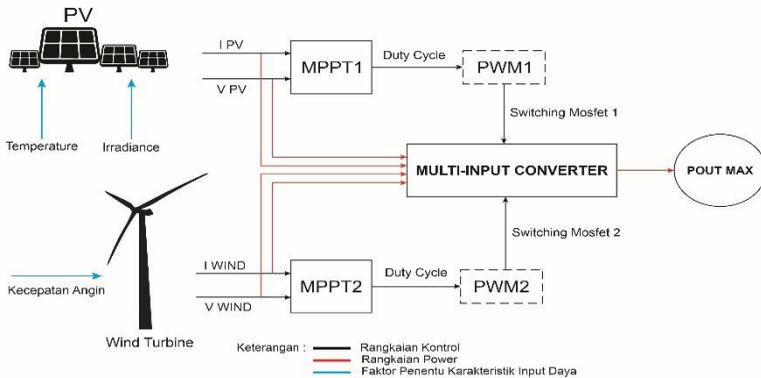
Gambar 2.8 Mode-Mode akibat Penyalan Switching

2.5 Hybrid Photovoltaic/Turbin Angin Menggunakan Algoritma P&O

Input daya diperoleh melalui konversi energi matahari dan angin menggunakan *photovoltaic* dan turbin angin. Daya yang dihasilkan dari *photovoltaic* dipengaruhi oleh dua faktor yaitu iradian matahari dan suhu sel. Sedangkan, daya yang dihasilkan oleh turbin angin dipengaruhi oleh kecepatan angin. Kemudian, akan dilakukan pembacaan tegangan dan arus pada masing-masing *photovoltaic* dan turbin angin dan didapatkan besaran daya yang dihitung melalui perkalian data arus dan tegangan tersebut. MPPT akan melakukan *perturb* pada sisi tegangan output pada masing-masing PV dan turbin angin. Kemudian algoritma berlanjut dengan *observe* nilai perubahan daya (dP). Jika nilai tegangan dinaikkan didapatkan daya yang semakin naik, maka *perturb* akan dilanjutkan dengan menaikkan nilai V_{ref} . Sebaliknya, apabila pada saat nilai tegangan dinaikkan dan didapatkan daya yang semakin turun, maka nilai

Vref akan diturunkan. Algoritma ini berlanjut sampai didapatkan nilai daya paling tinggi. Dalam algoritma MPPT tersebut akan dihasilkan suatu *duty cycle* yang akan mengatur penyaklaran pada multi-input konverter.

Dalam pengoperasiannya, sistem *hybrid* ini akan tetap dapat beroperasi dalam keadaan salah satu input tegangan tidak dapat memberikan tegangan dikarenakan input tegangan lain masih dapat memberikan sumber tegangan untuk mengoperasikan konverter. Oleh karena itu, sistem *hybrid* dengan menggunakan MPPT algoritma P&O ini diharapkan akan meningkatkan efisiensi daya yang dihasilkan sehingga daya output pada sistem ini menjadi lebih maksimal.



Gambar 2.9 Blok Diagram Multi-input DC/DC Konverter

BAB 3

DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI

Pada bab tiga ini akan dilakukan pembahasan mengenai proses desain, simulasi, dan implementasi dari multi-input DC/DC Konverter berbasis algoritma *Perturb and Observe* (P&O). Pada pembahasan desain konverter akan dibahas mengenai perhitungan nilai-nilai komponen yang digunakan dalam implementasi konverter. Kemudian akan dilanjutkan proses simulasi menggunakan software PSIM.

3.1 Desain Multi-Input DC/DC Konverter

Pada proses mendesain konverter, perlu diperhatikan besar nilai dari parameter-parameter yang akan digunakan. Diantara parameter penyusun konverter adalah *duty cycle*, besar nilai resistansi beban, besar nilai kapasitor, besar nilai induktor, mosfet, dan dioda. Parameter tersebut harus sesuai dengan output yang akan dicapai oleh konverter dan sesuai dengan kemampuan atau rating dari komponennya.

Multi-input DC/DC Konverter berbasis algoritma *Perturb and Observe* (P&O) akan diuji dengan menggunakan PV dan generator DC sebagai inputan konverter. Masing-masing input akan menghasilkan daya 100 Watt. PV yang digunakan adalah dua buah PV 50 Wp yang dirangkai paralel sehingga akan didapatkan daya input yang sesuai dengan desain. Generator DC akan diatur sehingga mempunyai karakteristik seperti turbin angin dalam hal karakteristik daya dan kecepatan anginnya.

Tabel 3. 1 Datasheet Solar Panel Gama Solar

Parameter	Nilai
Model	Gama Solar 50P-36
Peak Power	50 Watt
Production Tolerance	$\pm 3\%$
Maximum Power Voltage(Vmp)	17,5 Volt
Maximum Power Current (Imp)	2,86 Ampere
Open Circuit Voltage(Voc)	21,6 Volt
Short Circuit Current (Isc)	3,23 Ampere

Normal Operating Cell Temperature (NOCT)	47±2°C
Maximum System Voltage	600VDC
Maximum Series Fuse Rating	10A
Operating Temperature	-40°Cto+85°C
<i>Application Class</i>	Class A
<i>Cell Technology</i>	Poly-si
Weight	5,5 kg
Dimensions	670*650*30mm

Tabel 3. 2 Nameplate Generator DC Langlois

Parameter	Nilai	
Armature	220 V	2 A
Field	220 V	0,18 A
Speed	1500 rpm	
Power	0,3 kW	

Multi-input DC/DC konverter ini didesain dengan daya output sebesar 200 W dan tegangan output sebesar 40 V. Sehingga nilai arus output dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$P = V \cdot I \quad (3.1)$$

$$I = \frac{P}{V} \quad (3.2)$$

$$I = \frac{200W}{40V} \quad (3.3)$$

$$I = 5 A \quad (3.4)$$

Dari persamaan diatas didapatkan nilai arus pada sisi output konverter. Nilai arus akan disesuaikan dengan belitan dan jenis inti induktor yang digunakan. Multi-input DC/DC konverter ini didesain memiliki nilai ripple arus sebesar 5% dari arus pada sisi output.

3.1.1 Penentuan Arus Output Penentuan Duty Cycle

Pada persamaan (2.9) didapatkan hasil analisa pada mode *steady state* dari multi-input DC/DC konverter. Dari persamaan tersebut dapat ditentukan nilai dari duty cycle pada masing-masing saklar. Hasil dari perhitungan duty cycle 1 (d_1) dan duty cycle 2 (d_2) adalah:

$$\begin{aligned}V_{DC} = V_O &= \frac{d_1}{1-d_2} V_{PV} + \frac{d_2}{1-d_2} V_{Wind} \\40 &= \frac{d_1}{1-d_2} 20 + \frac{d_2}{1-d_2} 20 \\1 &= \frac{d_1}{1-d_2} \cdot \frac{1}{2} + \frac{d_2}{1-d_2} \cdot \frac{1}{2} \\1 &= \frac{d_1}{2-2d_2} + \frac{d_2}{2-2d_2} \\1 &= \frac{d_1 + d_2}{2-2d_2} \\2 - 2d_2 &= d_1 + d_2 \\2 &= d_1 + 3d_2 \\d_1 &= 0,5 \\d_2 &= 0,5\end{aligned}$$

Didapatkan duty cycle pada sisi input PV adalah 50% dan duty cycle pada sisi input turbin angin adalah 50%. Duty cycle ini digunakan membangkitkan sinyal PWM untuk proses pensaklaran pada mosfet.

3.1.2 Nilai Resistansi Beban

Nilai resistensi beban harus disesuaikan dengan tegangan output dan daya output konverter. Pada multi-input DC/DC konverter ini didesain dengan daya output sebesar 200 Watt dan tegangan output sebesar 40 Volt. Penentuan kedua parameter tersebut dapat digunakan untuk menentukan besar nilai resistensi beban, yaitu:

$$P_o = \frac{V_o^2}{R}$$

$$R = \frac{V_o^2}{P_o}$$

$$R = \frac{40^2}{200}$$

$$R = 8 \Omega$$

3.1.3 Nilai Induktor

Multi-input DC/DC konverter didesain dengan arus induktor 5 A dengan nilai ripple arus sebesar 2,5% atau 0,125 A. Nilai induktor dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya besar ripple arus, frekuensi switching, dan duty cycle. Proses perhitungan nilai induktor dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$L = \frac{V_s D T}{\Delta I_L}$$

$$L = \frac{V_s D}{\Delta I_L f}$$

$$L = \frac{20 \times 0,5}{0,125 \times 20000}$$

$$L = 4 \text{ mH}$$

Dalam desain dan implementasi induktor sesuai dengan kapasitas komponen.

- Frekuensi *switching* ditentukan sebesar 20 kHz, sehingga dipilih kawat AWG25 dengan diameter 0,45 mm, resistansi 0,106 Ω /m, kapasitas hantar arus maksimum 0,457 A, dan frekuensi switching maksimum 85 kHz.
- Arus yang harus ditahan oleh induktor sebesar 5 A dengan ripple arus sebesar 2,5%. Sehingga untuk faktor keamanan dipilih kawat dengan kapasitas arus lebih besar. Kawat AWG11 memiliki diameter 2,303 mm dan resistansi 0,004 Ω /m, kapasitas arus maksimum 12 A dan frekuensi maksimal 3,2 kHz.
- Untuk menyesuaikan dengan kebutuhan konverter harus dilakukan proses pemilinan. Jumlah pilinan dapat dihitung

melalui perbandingan antara diameter kawat dengan kapasitas arus besar dan diameter kawat dengan kapasitas arus lebih kecil. Perhitungan jumlah pilinan adalah sebagai berikut:

$$n_{kawat} = \frac{d_{AWG\ 11}}{d_{AWG\ 25}} = \frac{2,303}{0,45} = 5,1177$$

Melalui perhitungan tersebut didapatkan hasil kawat AWG 25 dipilin sebanyak 6 pilinan.

- Inti induktor disesuaikan dengan frekuensi pada inti induktor, sehingga dipilih inti toroid tipe Magnetics 0077548A7 dengan nilai AL sebesar $127 \text{ nH}/T^2$.
- Jumlah lilitan diperlukan untuk mendapatkan nilai induktansi yang sesuai dengan desain konverter. Perhitungan jumlah lilitan sesuai dengan rumus berikut:

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

$$N = \sqrt{\frac{4000 \text{ nH}}{127 \text{ nH}}} = 31,493 \approx 32$$

Keterangan :

N : jumlah belitan

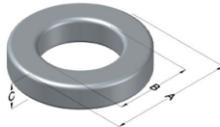
L : nilai induktansi induktor (dalam nH)

AL : faktor induktansi



0077548A7

110 Delta Drive
Pittsburgh, PA 15238
NAFTA Sales: (1)800-245-3984
HK Sales : (852)3102-9337
magnetics@spang.com
www.mag-inc.com



Kool Mu Permeability (μ)	A _L (nH/T ²)	Core Marking			Coating Color
		Lot Number	Part Number	Inductance Grade	
125	127 ± 8%	XXXXXX	77548A7	N/A	Black

Dimensions	Uncoated		Coated Limits			Packaging
	(mm)	(in)	(mm)	(in)		
OD (A)	32.80	1.291	33.66	1.325	max	Cardboard cut-outs Box Qty= 250 pcs
ID (B)	20.1	0.791	19.4	0.766	min	
HT (C)	10.7	0.420	11.5	0.450	max	

Gambar 3. 1 Inti Induktor Magnetics 0077548A7

3.1.4 Nilai Kapasitor

Pada proses penentuan nilai kapasitor harus mengetahui nilai tegangan pada kapasitor. Pada proses desain konverter, terdapat *ripple* tegangan sebesar 10%. Besar tegangan dari kapasitor dapat dihitung melalui persamaan (2.9):

$$V_{DC} = V_o = \frac{d_1}{1 - d_2} V_{PV} + \frac{d_2}{1 - d_2} V_{Wind}$$

$$V_{C_o} = V_o = 40$$

$$V_{C_o} = 40V$$

Selain menentukan besar tegangan pada kapasitor, diperlukan penentuan nilai dari kapasitor. Besar nilai dari kapasitor dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_o}{V_o} \right) f}$$

$$C = \frac{0,5}{8 \times \left(\frac{0,4}{40} \right) \times 20000}$$

$$C = 31,25 \cdot 10^{-5}$$

$$C = 312,5 \mu F$$

Dalam proses pengimplementasian konverter, besar nilai kapasitor harus disesuaikan dengan nilai kapasitor yang dijual di pasaran. Untuk faktor keamanan, digunakan tegangan kapaitor 100 V karena terdapat lonjakan tegangan. Sehingga kapasitor yang digunakan dalam implementasi kapasitor adalah 470 μF 100 Volt.

$$C = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_o}{V_o} \right) f}$$

$$\Delta V_o = \frac{D}{R \left(\frac{C}{V_o} \right) f}$$

$$\Delta V_o = \frac{0,5}{8 \times \left(\frac{470 \times 0,000001}{40} \right) \times 20000}$$

$$\Delta V_o = 0,26 = 0,65\%$$

3.1.5 Penentuan MOSFET

Pada proses pensakalaran multi-input DC/DC konverter membutuhkan komponen mosfet. Penentuan kapasitas mosfet didasarkan pada arus yang mengalir pada Drain ke Source (I_{ds}), tegangan Drain ke Source (V_{ds}), dan frekuensi switching MOSFET. Tegangan Drain ke Source (V_{ds}) sesuai dengan perhitungan analisis pada saat saklar terbuka sehingga nilai V_{ds} sama dengan teganga output konverter.

$$V_{ds} = V_o = 40V$$

Arus yang mengalir pada Drain ke Source (I_{ds}) atau arus yang melewati mosfet bernilai sama dengan arus pada induktor, sehingga dapat dihitung:

$$I_{ds} = I_L = \frac{V_o I_o}{V_s}$$

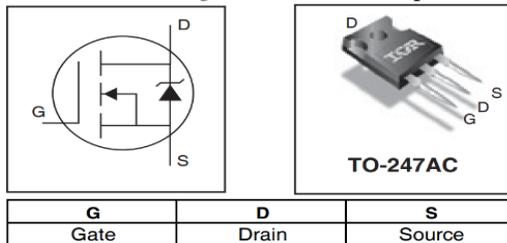
$$I_{ds} = \frac{40 \times 2,5}{20}$$

$$I_{ds} = 5A$$

Frekuensi switching MOSFET ditentukan sebesar 20kHz.

Sesuai dengan perhitungan kapasitas MOSFET diatas maka dipilih MOSFET IRFP4227. Sesuai dengan datasheet, MOSFET IRFP4227 memiliki kapasitas sebagai berikut:

- Tegangan *gate-source* sebesar $\pm 30V$.
- Tegangan V_{ds} sebesar 200V,
- Arus maksimum pada *drain-source* I_{DS} sebesar 65A.
- frekuensi *switching* maksimum mencapai 3,45MHz.



Gambar 3. 2 MOSFET IRFP4227

3.1.6 Penentuan Dioda

Fungsi dioda pada rangkaian multi-input DC/DC konverter untuk menentukan arah arus sehingga sesuai dengan mode pensaklaran. Untuk menentukan dioda adalah sesuai dengan parameter tegangan, arus, dan frekuensi switching. Nilai kapasitas dioda dapat dihitung dengan perhitungan:

$$I_D = \left(\frac{1}{1-D}\right) I_{out}$$

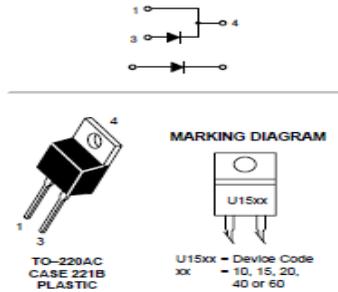
$$I_D = \left(\frac{1}{1-0,5}\right) \times 5$$

$$I_D = 10 A$$

Frekuensi switching sesuai dengan desain konverter yaitu sebesar 20kHz.

Sesuai dengan perhitungan kapasitas dioda diatas maka dipilih dioda MUR1560. Sesuai dengan datasheet, dioda MUR1560 memiliki kapasitas sebagai berikut:

- Arus maksimum sebesar 15A
- DC *blocking voltage* sebesar 600V.
- *Switching* sebesar 16,7MHz.



Gambar 3. 3 Dioda MUR1560

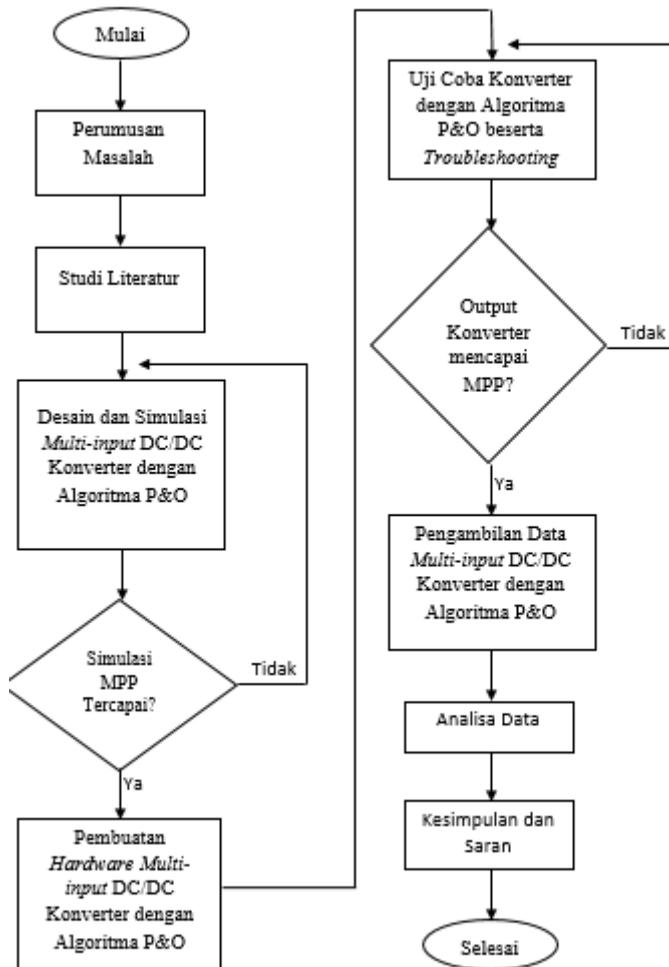
Berdasarkan perhitungan desain yang telah dilakukan dengan memperhatikan ketersediaan nilai dari komponen dipasaran, maka komponen yang dibutuhkan dalam implementasi multi-input DC/DC konverter dapat dilihat pada tabel 3.3 sebagai berikut :

Tabel 3. 3 Parameter Komponen Multi-input DC/DC Konverter

Komponen	Nilai
Resistansi beban R_O	8 Ω
Induktor	4 mH
Kapasitor	312,5 μ F/100V
MOSFET	IRFP 4227
Dioda	MUR 1560

3.2 Diagram Alir

Pada penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan. Dimulai dari studi literatur, simulasi sistem, implementasi sistem, pengolahan data, dan kesimpulan. Tahapan yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir berikut :



Gambar 3. 4 Diagram Alir Metode Penelitian

Berikut merupakan penjelasan mengenai metodologi penelitian sesuai dengan gambar 3.4:

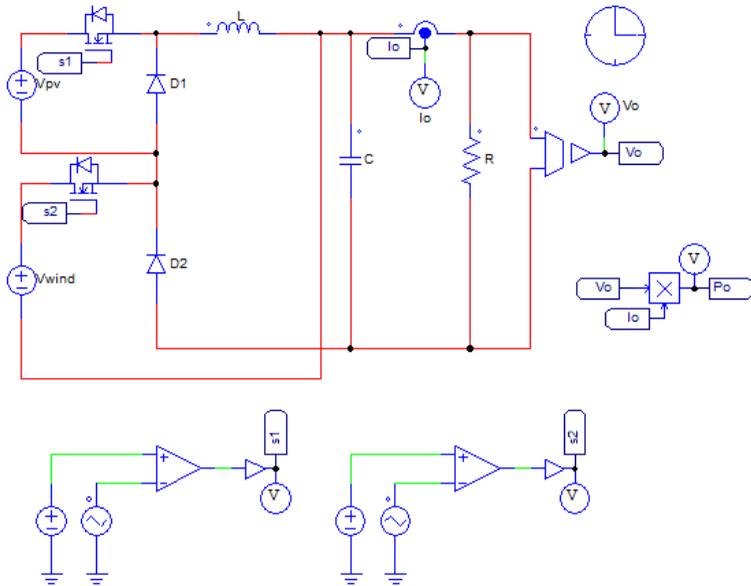
- a. Perumusan masalah mengenai cakupan bahasan penelitian yang sudah dijabarkan pada bab I.
- b. Studi literatur dengan mengumpulkan sumber, fakta, dan teori mengenai *photovoltaic*, turbin angin, *hybrid photovoltaic*/turbin angin, *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), dan Metode *Perturb and Observe* (P&O) yang telah dijabarkan pada bab II.
- c. Desain dan Simulasi *Multi-input* DC/DC Konverter dengan Algoritma P&O menggunakan software PSIM. Hasil dari simulasi dibandingkan dengan perhitungan secara teori.
- d. Pembuatan *Hardware Multi-input* DC/DC Konverter dengan Algoritma P&O
- e. Uji Coba Konverter dengan Algoritma P&O beserta *Troubleshooting* yang dilakukan dalam tiga tahap, yaitu pada saat tahap input PV, tahap input turbin angin, dan tahap input PV/turbin angin.
- f. Pengambilan Data *Multi-input* DC/DC Konverter dengan Algoritma P&O
- g. Analisis data dan membuat kesimpulan dari data yang didapatkan.

3.3 Simulasi Sistem

Tahap simulasi berfungsi untuk mendapatkan respon sistem secara menyeluruh sehingga dapat dijadikan gambaran hasil untuk tahap implementasi multi-input DC/DC konverter.

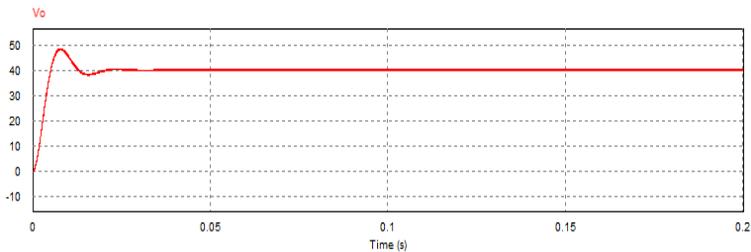
3.3.1 Simulasi Konverter dalam Keadaan *Steady State*

Pada tahap ini digunakan untuk memastikan desain konverter didapatkan hasil sesuai dengan teori pada kondisi *steady state*. Rangkaian simulasi multi-input DC/DC konverter dapat dilihat pada Gambar 3.6.

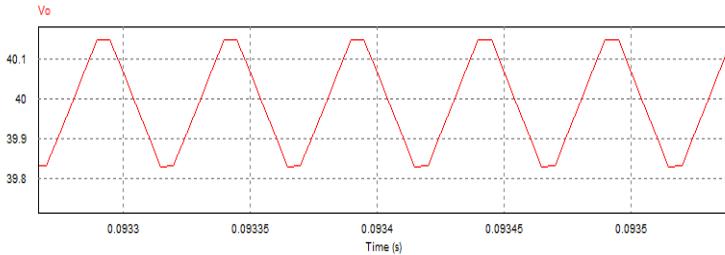


Gambar 3. 5 Simulasi Multi-input DC/DC Konverter Kondisi Steady State

Terdapat dua input tegangan DC yang digunakan pada multi-input DC/DC konverter. Pada simulasi dalam keadaan steady state ini, masing-masing input bernilai 20 V. Dengan menggunakan persamaan 2.9 dan duty cycle 1 dan duty cycle 2 bernilai 50% didapatkan tegangan output (V_o) sebesar 40 V. Frekuensi switching yang digunakan adalah 20 kHz.

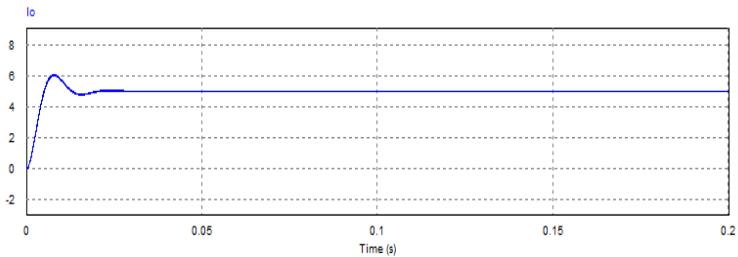


Gambar 3. 6 Grafik Tegangan Output Simulasi Konverter Kondisi Steady State

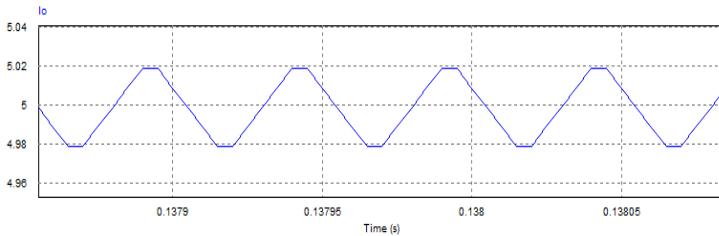


Gambar 3. 7 Grafik Tegangan Output (Ripple) Simulasi Konverter Kondisi Steady State

Dalam desain multi-input DC/DC konverter, ditentukan bahwa ripple tegangan bernilai 0,4 V. Pada hasil simulasi, tegangan output konverter mempunyai ripple tegangan sehingga gelombang tidak tepat menunjukkan nilai 40 V. Bentuk karakteristik gelombang pada sisi output sesuai dengan Gambar 3.8 didapatkan hasil simulasi yaitu pada saat ton, maka kapasitor akan discharging sehingga energi di dalam kapasitor akan disalurkan rangkaian konverter. Sedangkan pada saat toff, maka kapasitor akan charging. Tegangan output pada hasil simulasi yaitu tegangan maksimalnya sebesar 40,15 V dan tegangan minimal sebesar 39,829 V sehingga ripple tegangannya sebesar 0,321 V.

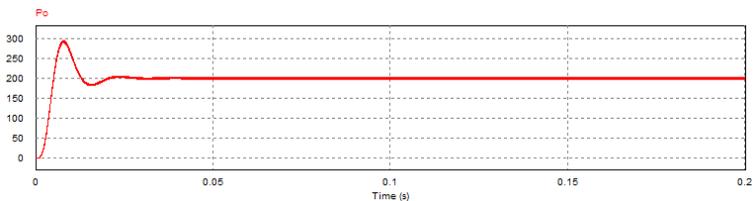


Gambar 3. 8 Grafik Arus Output Simulasi Konverter Kondisi Steady State

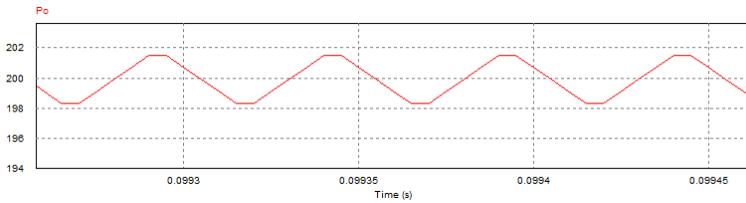


Gambar 3. 9 Grafik Arus Output (Ripple) Simulasi Konverter Kondisi Steady State

Gambar 3.10 merupakan bentuk gelombang arus pada induktor. Terdapat dua kondisi induktor berdasarkan sakelar, yaitu pada saat sakelar tertutup maka induktor dalam kondisi charging, dan pada saat sakelar terbuka maka induktor dalam kondisi discharging. Dalam proses mendesain konverter ripple arus sebesar 0,125 A telah ditentukan. Sesuai dengan hasil simulasi, Arus yang mengalir pada induktor tidak tepat bernilai 5 A karena terdapat ripple arus.. Didapatkan nilai arus maksimal pada induktor sebesar 5,019 A dan arus minimum sebesar 4,98 A sehingga ripple arusnya sebesar 0,039 A.



Gambar 3. 10 Grafik Arus Output Simulasi Konverter Kondisi Steady State



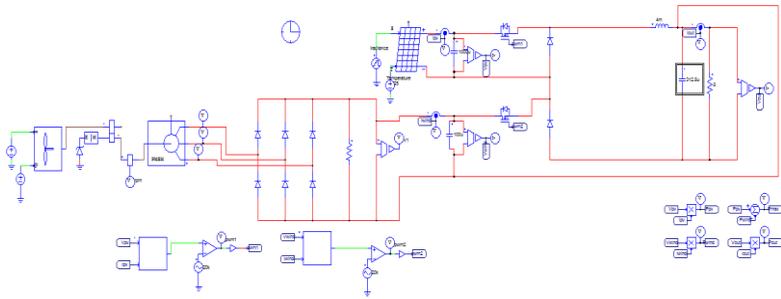
Gambar 3. 11 Grafik Arus Output (Ripple) Simulasi Konverter Kondisi Steady State

Pada Gambar 3.12 merupakan hasil simulasi berupa nilai daya output dari multi-input DC/DC konverter. Daya output (P_o) didapatkan dari perkalian antara tegangan output (V_o) dan arus output (I_o). Dikarenakan tegangan output (V_o) dan arus output (I_o) memiliki ripple, maka hasil daya output (P_o) juga memiliki ripple daya.

3.3.2 Simulasi Sistem Multi-input DC/DC Konverter dengan *MPPT*

Simulasi sistem multi-input DC/DC konverter secara menyeluruh menggunakan software PSIM. Pada Gambar 3.13 terlihat sistem terdiri dari sistem *photovoltaic*, sistem turbin angin, blok MPPT yang terletak pada PV dan turbin angin, multi-input konverter, dan pembebanan menggunakan resistor. Konverter dengan menggunakan blok MPPT yang terletak pada PV dan turbin angin digunakan untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan. Melalui simulasi ini, diharapkan dapat dilihat hasil analisa dan respon sistem secara menyeluruh apabila diberi sebuah pembebanan resistif.

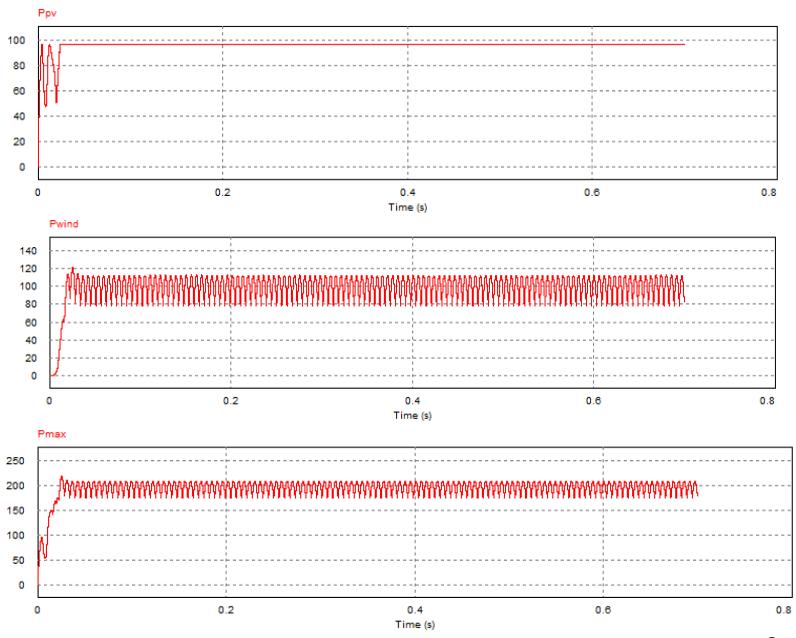
Sistem multi-input DC/DC konverter secara menyeluruh dapat dilihat pada Gambar 3.13.



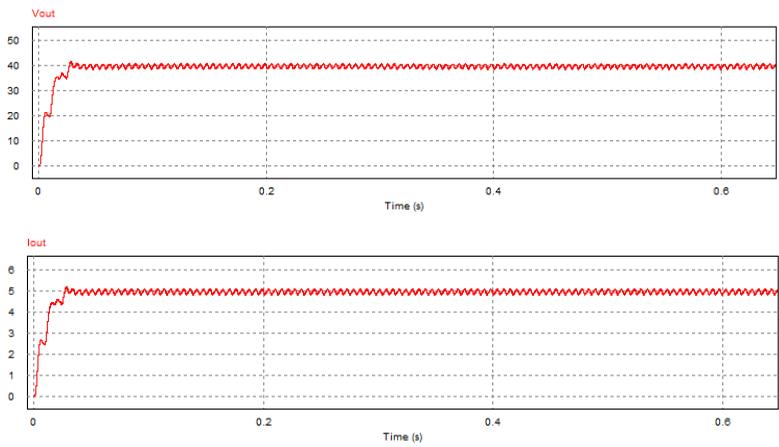
Gambar 3. 12 Simulasi *multi-input* DC/DC konverter dengan MPPT

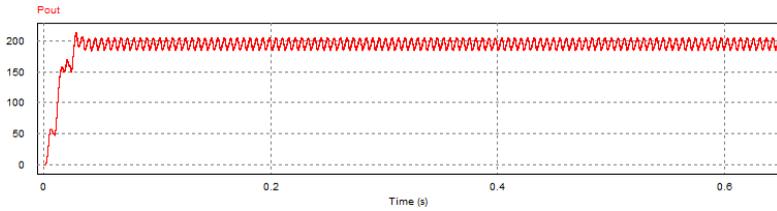
Parameter-parameter pada simulasi sistem multi-input DC/DC konverter ini menggunakan perhitungan yang telah dilakukan pada proses desain konverter. Melalui simulasi ini, dapat dilihat dan diamati bentuk gelombang arus *photovoltaic* (I_{pv}), tegangan *photovoltaic* (V_{pv}), daya *photovoltaic* (P_{pv}), arus turbin angin (I_{wind}), tegangan turbin angin (V_{wind}), daya turbin angin (P_{wind}), arus output konverter (I_{out}), tegangan output konverter (V_{out}), dan daya output konverter (P_{out}). Pada simulasi ini, komponen yang digunakan dalam keadaan ideal sehingga hasil simulasinya merupakan sistem dalam kondisi yang ideal.

Apabila diberikan suatu input berupa iradian PV 1000 W/m^2 dan kecepatan angin 8 m/s maka akan dihasilkan daya input sebesar 100 Watt untuk masing-masing inputan. Hal ini sesuai dengan Gambar 3.13 Yaitu pada sisi input PV akan dihasilkan daya sebesar 100 Watt dan sisi input turbin angin menghasilkan daya sebesar 100 Watt. Dari kedua hasil daya tersebut, maka akan dihasilkan daya input total sebesar 200 Watt. Pada tahap simulasi, tidak diperhitungkan rugi-rugi dayanya sehingga pada sisi output didapatkan hasil mendekati 200 Watt. Daya input konverter menggunakan algoritma MPPT P&O dapat dilihat pada Gambar 3.13 dan untuk grafik output konverter dapat dilihat pada Gambar 3. 14



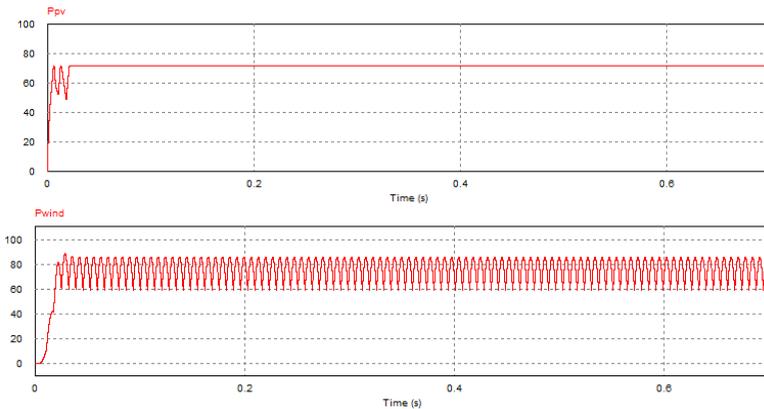
Gambar 3. 13 Daya input konverter pada kondisi input iradian PV 1000 W/m^2 dan Kecepatan Angin 8 m/s

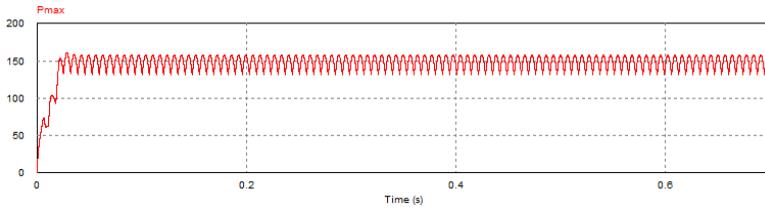




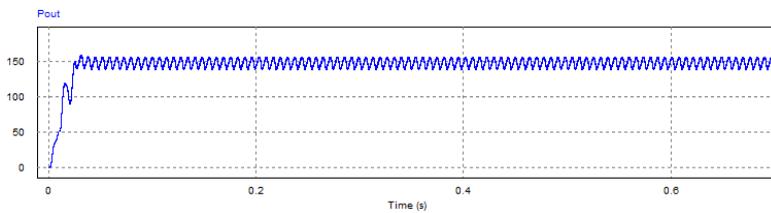
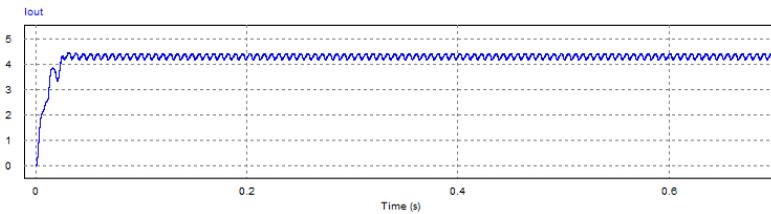
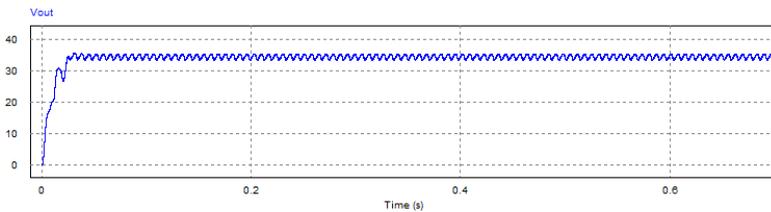
Gambar 3. 14 Gelombang tegangan output, arus output, dan daya output konverter pada kondisi input iradian PV 1000 W/m^2 dan Kecepatan Angin 8 m/s

Pada Gambar 3.15 merupakan hasil simulasi dengan kondisi dimana input PV diatur menjadi 750 W/m^2 dan kecepatan angin sebesar 6 m/s . Didapatkan hasil daya input multi-input DC/DC konverter sebesar 150 W . Daya input konverter dihasilkan melalui algoritma MPPT P&O sehingga didapatkan hasil daya yang maksimal pada kondisi inputan tersebut. Sesuai dengan Gambar 4.15, pada sisi PV dihasilkan daya input sebesar 75 Watt dan pada sisi turbin angin dihasilkan daya input sebesar 75 Watt . Dikarena pada tahap simulasi ini tidak diperhitungkan adanya rugi-rugi daya, maka akan didapatkan daya output yang besarnya sama dengan daya input. Grafik output konverter dapat dilihat pada Gambar 4.16.





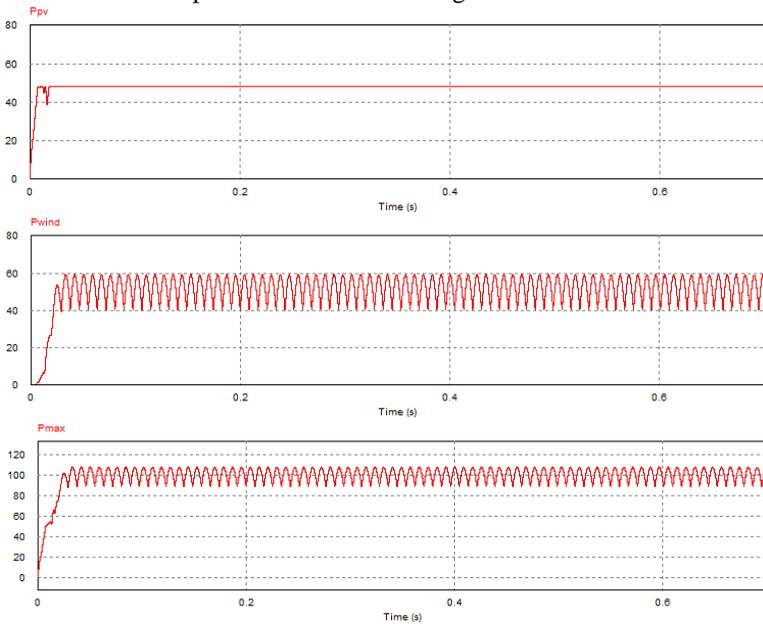
Gambar 3. 15 Daya input konverter pada kondisi input iradian PV 750 W/m^2 dan Kecepatan Angin 6 m/s



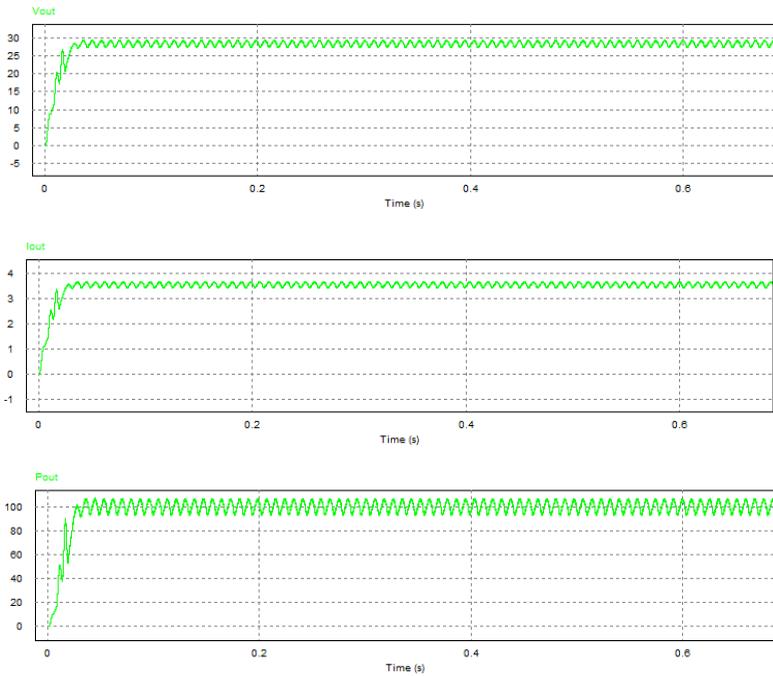
Gambar 3. 16 Gelombang tegangan output, arus output, dan daya output konverter pada kondisi input iradian PV 750 W/m^2 dan Kecepatan Angin 6 m/s

Pada Gambar 3.17 merupakan hasil simulasi daya input dengan kondisi dimana input PV diatur menjadi 500 W/m^2 dan kecepatan angin

sebesar 4 m/s. Didapatkan hasil daya input multi-input DC/DC konverter sebesar 100 W. Daya input konverter dihasilkan melalui algoritma MPPT P&O sehingga didapatkan hasil daya yang maksimal pada kondisi inputan tersebut. Daya tersebut merupakan penjumlahan dari daya input dengan sisi input PV dan turbin angin. Diporeoleh daya input PV sebesar 50 Watt dan daya input turbin angin sebesar 50 Watt. Dikarenakan simulasi ini dalam keadaan ideal maka daya input bernilai sama dengan daya output. Hasil simulasi output konverter sesuai dengan Gambar 3.18.

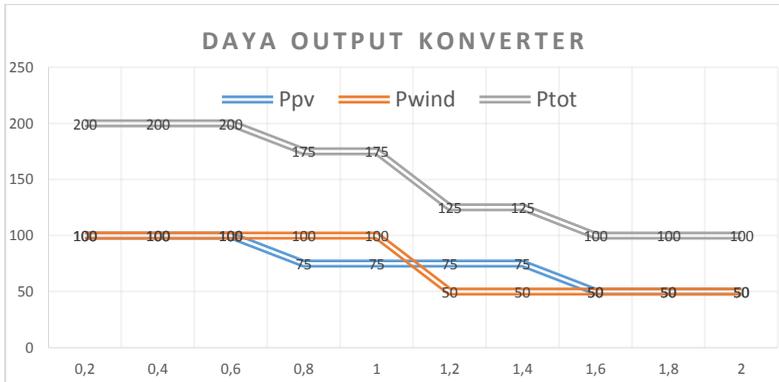


Gambar 3. 17 Daya input konverter pada kondisi input iradian PV 500 W/m^2 dan Kecepatan Angin 4 m/s



Gambar 3. 18 Gelombang tegangan output, arus output, dan daya output konverter pada kondisi input iradian PV 500 W/m^2 dan Kecepatan Angin 4 m/s

Apabila input pada PV dan turbin angin tidak konstan, maka hasil output multi-input DC/DC konverter akan menyesuaikan. Sesuai dengan grafik pada Gambar 3.19, apabila input iradian PV 1000 W/m^2 dan Kecepatan Angin 8 m/s kemudian dilanjutkan dengan input iradian PV 1000 W/m^2 dan Kecepatan Angin 6 m/s , input iradian PV 500 W/m^2 dan Kecepatan Angin 4 m/s , serta input iradian PV 500 W/m^2 dan Kecepatan Angin 4 m/s . Didapatkan hasil daya output konverter yang sesuai dengan perubahan input serta tetap berada pada titik MPP (*Maximum Power Point*) karena menggunakan algoritma MPPT P&O.



Gambar 3.19 Grafik Daya Output Konverter dengan Inputan Berubah

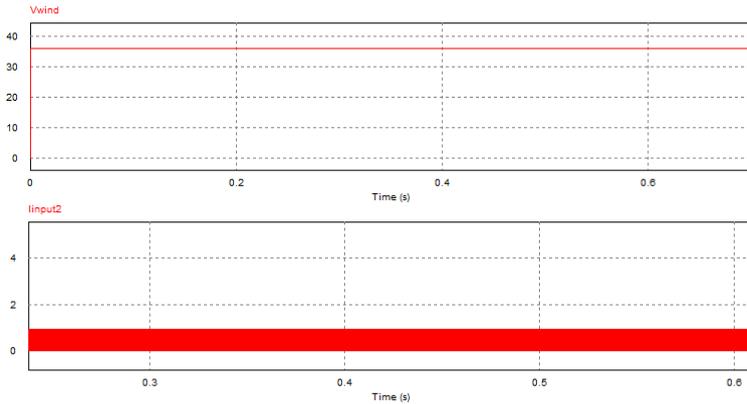
3.3.3 Simulasi Sistem Multi-input DC/DC Konverter dengan MPPT

Dalam simulasi ini, turbin angin digantikan dengan generator DC dengan rating arus output dari generator DC sebesar 2 A. Dikarenakan adanya penyesuaian dengan rating dari generator DC, maka nilai duty cycle pada sisi input turbin angin ditentukan maksimal sebesar 0,4 dan tidak menggunakan pembebanan penuh. Penyesuaian ini hanya untuk bagian input pada sisi turbin angin sehingga untuk sisi input PV tetap sesuai dengan desain awal. Simulasi tersebut dilakukan menggunakan software PSIM. Melalui simulasi ini, diharapkan dapat dilihat hasil analisa dan respon sistem secara menyeluruh akibat dari penyesuaian peralatan pengujian.

A. Input Turbin Angin

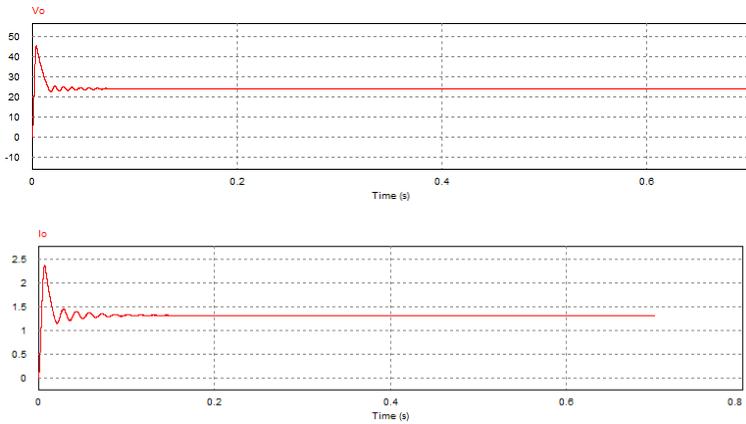
Simulasi pada input turbin angin dibagi menjadi tiga berdasarkan kecepatan angin. Tegangan yang mejadi input konverter disesuaikan dengan kelipatan tegangan baterai, agar memenuhi aspek yang berada di pasaran. Dalam hal ini, *duty cycle* ditentukan maksimal bernilai 0,4 untuk semua simulasi. Dengan input kecepatan angin 4 m/s, didapatkan tegangan input konverter sebesar 36 V dan arus input konverter sebesar 0,94 A. Nilai input tegangan dan arus konverter sesuai dengan grafik pada

gambar 3.20. Sehingga didapatkan daya input pada kondisi kecepatan angin 4 m/s ini sebesar 33,84 Watt.



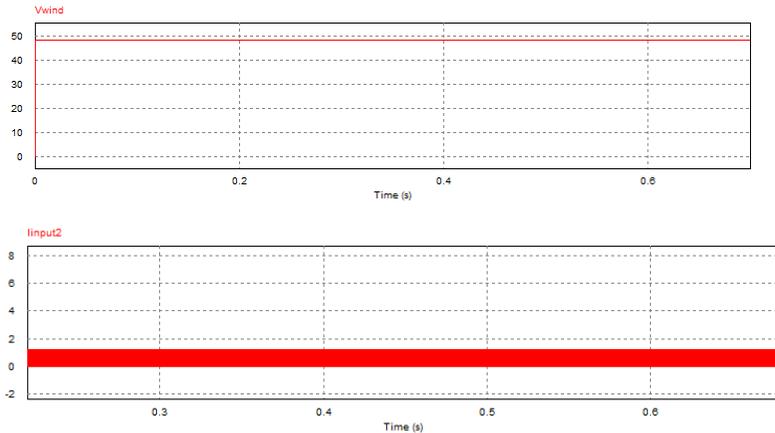
Gambar 3. 20 Grafik Tegangan Input dan Arus Input Konverter dengan kecepatan angin 4 m/s.

Pada tahap simulasi, tidak diperhitungkan adanya rugi-rugi daya maka nilai daya output sama dengan daya input. Nilai output dari konverter pada keadaan kecepatan angin 4 m/s ini sesuai dengan grafik pada gambar 3.21 yaitu didapatkan tegangan ouput konverter sebesar 24 V dan arus output konverter sebesar 1,41 A. dari kedua nilai tersebut diapatkan daya output konverter sebesar 33,84 Watt.



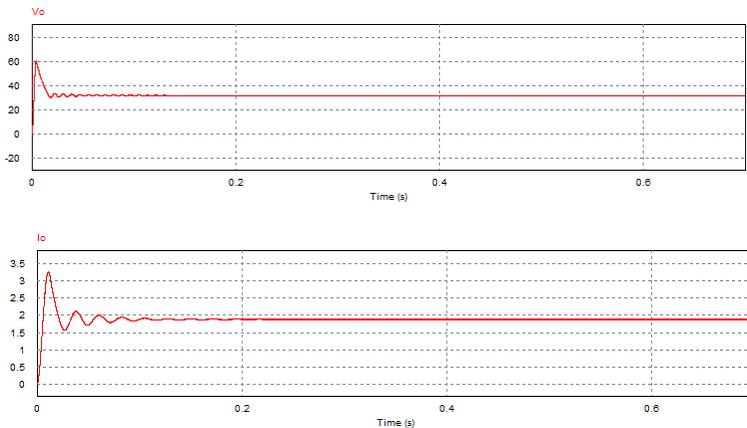
Gambar 3. 21 Grafik Tegangan Output dan Arus Output Konverter dengan kecepatan angin 4 m/s.

Simulasi berikutnya adalah input kecepatan angin sebesar 6 m/s. Sesuai dengan grafik pada gambar 3.22 didapatkan tegangan input konverter sebesar 48 V dan arus input koneverter sebesar 1,25 A. dari hasil perkalian kedua nilai tersebut didapatkan daya input pada kondisi kecepatan angin 6 m/s ini sebesar 60 Watt.



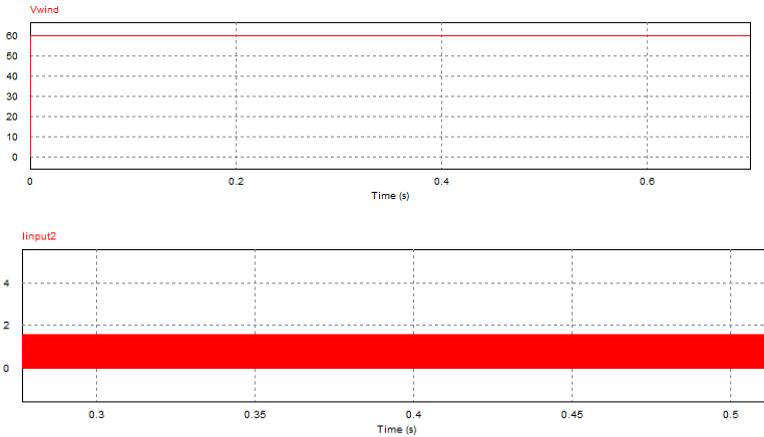
Gambar 3. 22 Grafik Tegangan Input dan Arus Input Konverter dengan kecepatan angin 6 m/s.

Gambar 3.23 merupakan hasil simulasi output konverter dengan keadaan kecepatan angin 6 m/s, didapatkan tegangan output konverter sebesar 32 V dan arus output konverter sebesar 1,875 A. Pada tahap simulasi ini, rugi-rugi daya tidak diperhitungkan sehingga nilai daya output sama dengan daya input yaitu sebesar 60 Watt.



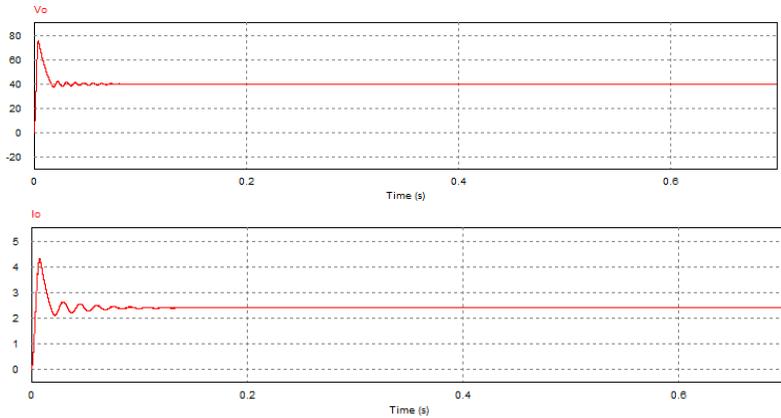
Gambar 3. 23 Grafik Tegangan Output dan Arus Output Konverter dengan kecepatan angin 6 m/s.

Pada gambar 3.24 merupakan grafik simulasi konverter dengan input kecepatan angin 8 m/s. Dengan input tersebut, didapatkan tegangan input konverter sebesar 60 V dan arus input koneveter sebesar 1,56 A. Dari kedua nilai tersebut didapatkan daya input sebesar 93,6 Watt.



Gambar 3. 24 Grafik Tegangan Input dan Arus Input Konverter dengan kecepatan angin 8 m/s.

Nilai output dari konverter pada keadaan kecepatan angin 8 m/s sesuai dengan grafik pada gambar 3.21 yaitu didapatkan tegangan output konverter sebesar 40 V dan arus output konverter sebesar 2,34 A. dari kedua nilai tersebut didapatkan daya output konverter sebesar 93,6 Watt. Nilai daya output sama dengan daya input dikarenakan pada tahap simulasi tidak diperhitungkan adanya rugi-rugi daya.

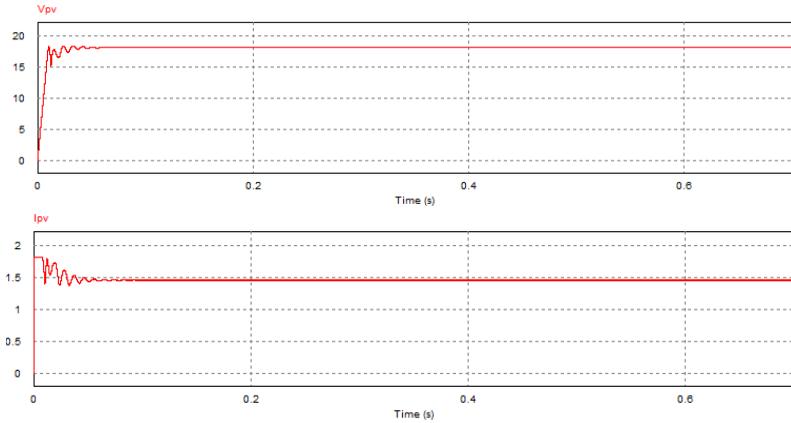


Gambar 3. 25 Grafik Tegangan Output dan Arus Output Konverter dengan kecepatan angin 8 m/s.

B. Input PV dan Turbin Angin

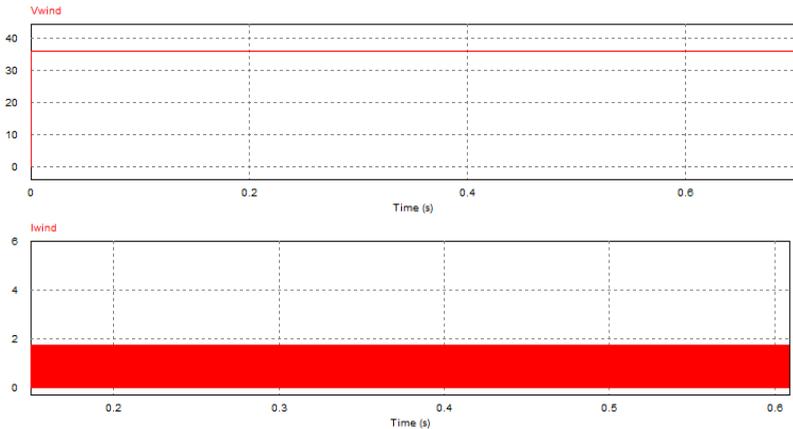
Pada simulasi dengan input PV dan turbin angin dibagi menjadi tiga berdasarkan variasi iradian dan kecepatan angin. Tegangan yang mejadi input konverter pada sisi turbin angin disesuaikan dengan kelipatan tegangan baterai, agar memenuhi aspek yang berada di pasaran. Sedangkan tegangan PV sesuai dengan *tracking* dari metode MPPT P&O. Duty cycle ditentukan maksimal bernilai 0,4 pada MOSFET sisi input turbin angin dan pembebanan tidak disimulasikan dengan beban penuh.

Grafik pada gambar 3.26 dan gambar 3.27 merupakan hasil simulasi tegangan dan arus input konverter apabila diberikan input iradian 300 W/m^2 dan kecepatan angin 4 m/s. Didapatkan tegangan input konverter pada sisi PV sebesar 18 V dan nilai arus input konverter pada sisi PV sebesar 1,46 A. Kedua nilai tersebut merupakan tegangan dan arus optimal yang didapatkan melalui metode *tracking* MPPT P&O. Daya input pada sisi PV merupakan perkalian dari nilai tegangan dan arus input PV yaitu sebesar 26,3 Watt.



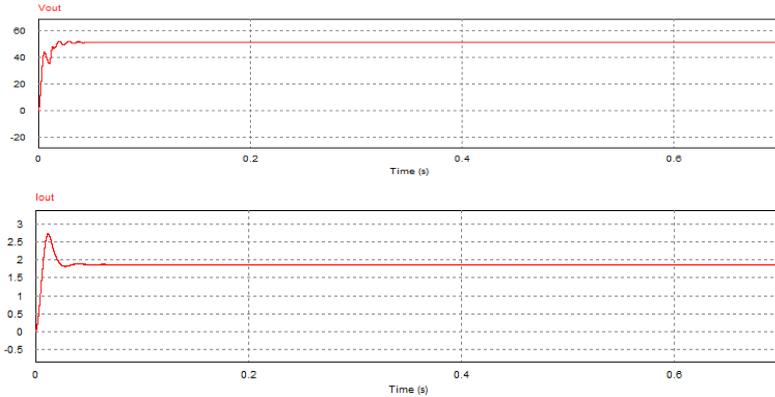
Gambar 3. 26 Grafik Tegangan Input Sisi PV dan Arus Input Sisi PV dengan iradian 300 W/m^2 dan Kecepatan Angin 4 m/s

Sedangkan pada sisi input turbin angin didapatkan tegangan input sebesar 36 V dan arus input sebesar $1,75 \text{ A}$. sehingga didapatkan daya input pada sisi turbin angin sebesar 63 Watt . Dari kedua hasil daya input pada sisi PV dan turbin angin, didapatkan total daya input konverter pada kondisi iradian 300 W/m^2 dan kecepatan angin 4 m/s sebesar $89,3 \text{ Watt}$.



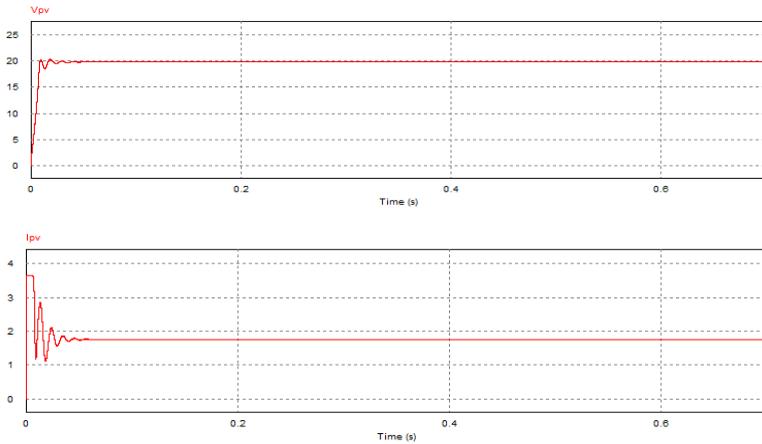
Gambar 3. 27 Grafik Tegangan Input dan Arus Input Sisi Turbin Angin dengan iradian 300 W/m^2 dan Kecepatan Angin 4 m/s

Sesuai dengan grafik pada gambar 3.28, didapatkan tegangan output konverter sebesar 51 V dan arus output konverter sebesar 1,75 A. Daya output konverter didapatkan melalui perkalian kedua nilai tersebut sehingga dihasilkan nilai daya output sebesar 89,3 Watt. Pada tahap simulasi, tidak diperhitungkan adanya rugi-rugi daya sehingga nilai daya output konverter sama dengan daya input total konverter.



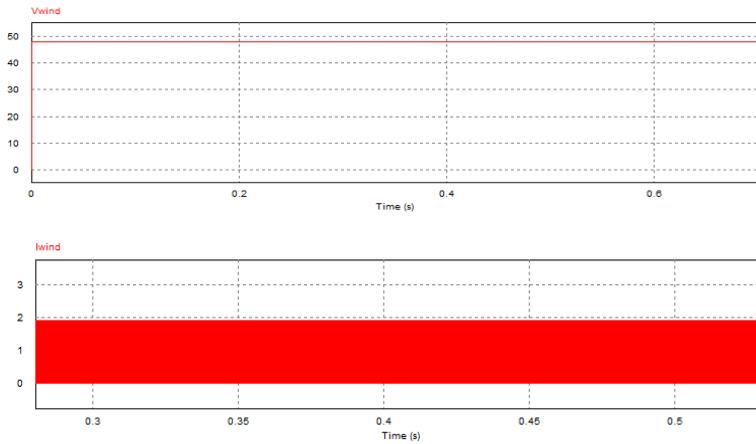
Gambar 3. 28 Grafik Tegangan Output dan Arus Output Konverter dengan iradian 300 W/m^2 dan Kecepatan Angin 4 m/s .

Simulasi berikutnya merupakan simulasi dengan keadaan input iradian 600 W/m^2 dan kecepatan angin 6 m/s . Sesuai dengan grafik pada gambar 3.29 didapatkan tegangan input konverter pada sisi PV sebesar $19,81 \text{ V}$ dan nilai arus input konverter pada sisi PV sebesar $1,75 \text{ A}$. Kedua nilai tersebut merupakan hasil dari metode *tracking* MPPT P&O dan merupakan nilai optimal untuk parameter tegangan dan arus input. Dari kedua nilai tersebut didapatkan daya input pada sisi PV sebesar $34,67 \text{ Watt}$.



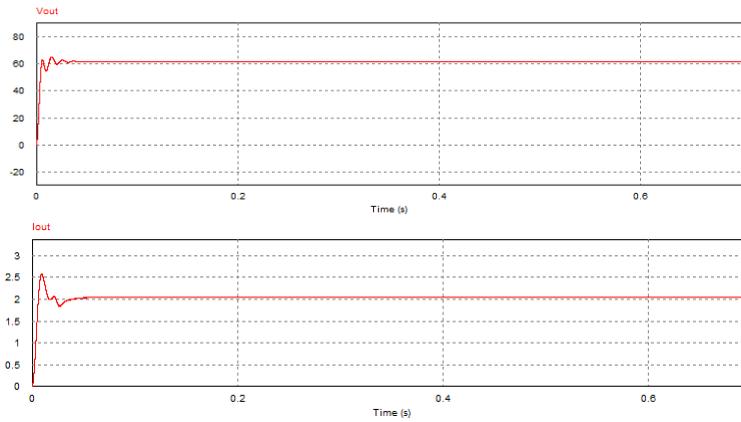
Gambar 3. 29 Grafik Tegangan Input Sisi PV dan Arus Input Sisi PV dengan iradian 600 W/m^2 dan Kecepatan Angin 6 m/s.

Grafik pada gambar 2.30 merupakan hasil simulasi input tegangan dan arus pada sisi input turbin angin. Sesuai dengan grafik tersebut didapatkan tegangan input sebesar 48 V dan arus input sebesar 1,88 A. sehingga didapatkan daya input pada sisi turbin angin sebesar 90,24 Watt. Dari kedua hasil daya input pada sisi PV dan turbin angin, didapatkan total daya input konverter pada kondisi iradian 600 W/m^2 dan kecepatan angin 6 m/s sebesar 124,91 Watt.



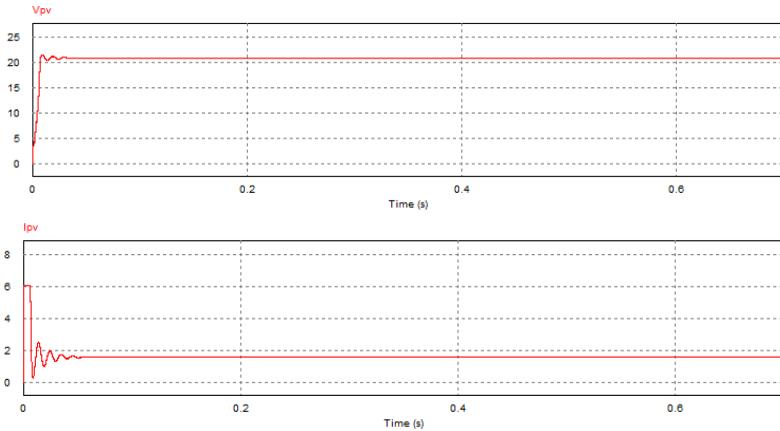
Gambar 3. 30 Grafik Tegangan Input dan Arus Input Sisi Turbin Angin dengan iradian 600 W/m^2 dan Kecepatan Angin 6 m/s .

Sesuai dengan grafik pada gambar 3.31, nilai tegangan output konverter adalah $61,68 \text{ V}$ dan arus output konverter $2,025 \text{ A}$. Didapatkan nilai daya output konverter dengan mengalikan nilai tegangan dan arus output sehingga dihasilkan nilai daya output sebesar $124,91 \text{ Watt}$. Nilai daya output konverter sama dengan daya input total konverter dikarenakan tidak diperhitungkan adanya rugi-rugi daya pada tahap simulasi.



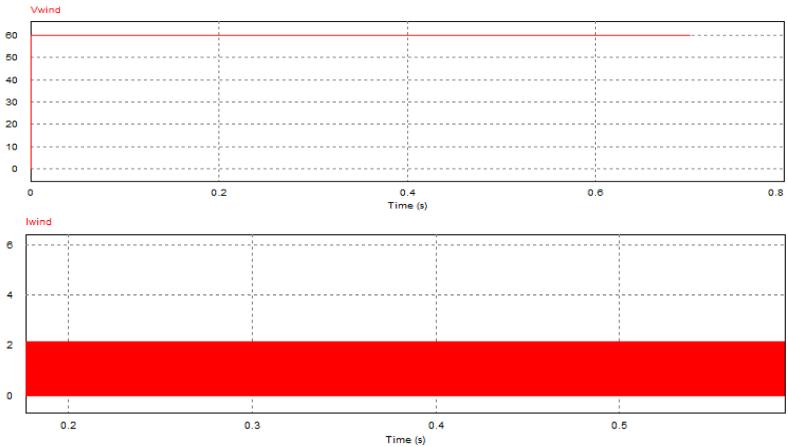
Gambar 3. 31 Grafik Tegangan Output dan Arus Output Konverter dengan iradian 600 W/m^2 dan Kecepatan Angin 6 m/s .

Grafik pada gambar 3.32 merupakan hasil simulasi tegangan dan arus input konverter apabila diberikan input iradian 1000 W/m^2 dan kecepatan angin 8 m/s . Melalui metode *tracking* MPPT P&O, didapatkan tegangan input konverter pada sisi PV sebesar $20,8 \text{ V}$ dan nilai arus input konverter pada sisi PV sebesar $1,6 \text{ A}$. Daya input pada sisi PV merupakan perkalian dari nilai tegangan dan arus input PV yaitu sebesar $33,6 \text{ Watt}$.



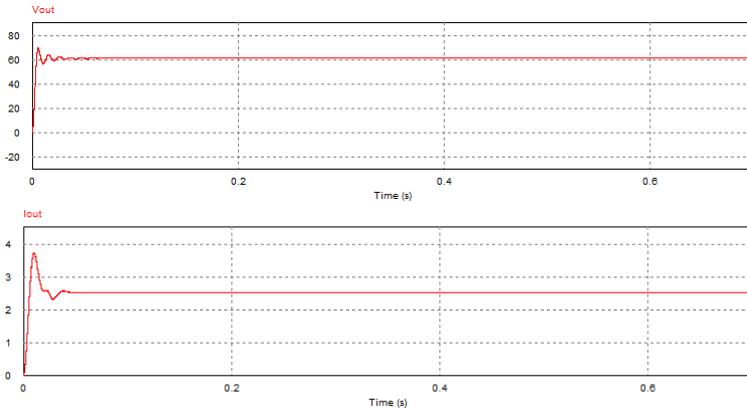
Gambar 3. 32 Grafik Tegangan Input Sisi PV dan Arus Input Sisi PV dengan iradian 1000 W/m^2 dan Kecepatan Angin 8 m/s .

Pada sisi input turbin angin didapatkan tegangan input sebesar 60 V dan arus input sebesar $2,0 \text{ A}$ sehingga didapatkan daya input pada sisi turbin angin sebesar 120 Watt . Hal ini sesuai dengan grafik pada gambar 3.33. Dari kedua hasil daya input pada sisi PV dan turbin angin, didapatkan total daya input konverter pada kondisi iradian 1000 W/m^2 dan kecepatan angin 8 m/s sebesar $153,6 \text{ Watt}$.



Gambar 3. 33 Grafik Tegangan Input dan Arus Input Sisi Turbin Angin dengan iradian 1000 W/m^2 dan Kecepatan Angin 8 m/s .

Pada tahap simulasi, tidak diperhitungkan adanya rugi-rugi daya sehingga nilai daya output konverter sama dengan daya input total konverter. Sesuai dengan grafik pada gambar 3.34, didapatkan tegangan output konverter sebesar $61,1 \text{ V}$ dan arus output konverter sebesar $2,51 \text{ A}$. Daya output konverter didapatkan melalui perkalian kedua nilai tersebut sehingga dihasilkan nilai daya output sebesar $153,6 \text{ Watt}$



Gambar 3. 34 Grafik Tegangan Output dan Arus Output Konverter dengan iradian 1000 W/m^2 dan Kecepatan Angin 8 m/s.

3.4 Implementasi

Dalam tahap implementasi ini dilakukan realisasi konverter didesain dan disimulasikan sehingga didapatkan hasil keluaran sistem secara riil. Dua buah PV dirangkai paralel digunakan sebagai input konverter. Turbin angin dalam implementasi ini digantikan dengan menggunakan generator DC. Sistem multi-input DC/DC konverter akan dibandingkan antara sistem dengan menggunakan algoritma MPPT P&O dan sistem tanpa menggunakan algoritma tersebut.

3.4.1 Komponen Sistem Multi-Input DC/DC Konverter

Komponen yang digunakan dalam implementasi sistem multi-input DC/DC konverter ini disesuaikan dengan yang ada di pasaran. Berikut merukan tabel implementasi sistem multi-input DC/DC konverter:

Tabel 3. 4 Parameter Konverter Tahap Implementasi

Parameter Solar Panel	Nilai	
Type	Gama Solar 50P-36	
Jumlah	Dua Buah Dirangkai Paralel	
Peak Power (W)	50 W	
V _{mpp} (V)	17,5 V	
I _{mpp} (A)	2,86 A	
V _{oc} (V)	21,6 V	
I _{sc} (A)	3,23 A	
Parameter Generator DC (Pengganti Turbin Angin)	Nilai Nameplate	
Armature	220 V	2 A
Field	220 V	0,18 A
Speed	1500 rpm	
Power	0,3 kW	
Parameter Multi-input DC/DC Konverter	Nilai	
Micro Controller	Arduino Nano	
Frekuensi Switching	20 kHz	
Induktor	4mH	
Kapasitor	470 μ F	
Dioda	MUR1560	
Mosfet 1	IRFP4227	
Mosfet 2	IRFP4227	
Driver Mosfet	TLP250	
Komponen Sensor	Nilai	
Sensor Arus	ACS712	
Sensor Tegangan	Multiturn 100k Ω	

3.4.2 Pengujian Alat

Proses pengujian sistem multi-input DC/DC konverter menggunakan rheostat sebagai beban resistif. Kedua buah input konverter akan disambungkan ke dalam multi-input DC/DC konverter yang kemudian menghasilkan daya output yang merupakan hasil dari

pengukuran sensor arus dan sensor tegangan output konverter. Pengujian dilakukan dalam tiga tahap yaitu multi-input DC/DC konverter dengan input PV, multi-input DC/DC konverter dengan input turbin angin, dan multi-input DC/DC konverter dengan input PV dan turbin angin. Masing-masing pengujian akan dibandingkan antara konverter yang diintegrasikan dengan algoritma MPPT P&O dan konverter tanpa algoritma MPPT P&O.



Gambar 3. 35 Pengukuran Iradian Matahari dan Suhu Sel

Untuk mengetahui nilai iradian pada tempat dilaksanakan pengujian, digunakan PV 3 Wp yang dihubungkan dengan amperemeter, kemudian nilai tersebut dibagi dengan I_{sc} pada nameplate PV dan dikalikan dengan 1000 W/m^2 . Suhu sel PV dapat diukur menggunakan *infrared thermometer*. Kedua nilai tersebut sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan PV. Sedangkan kecepatan putar dari generator DC yang diamsusikan sebagai kecepatan angin, dapat diukur menggunakan *tachometer*.



Gambar 3. 36 Pengukuran Kecepatan Putar Generator DC

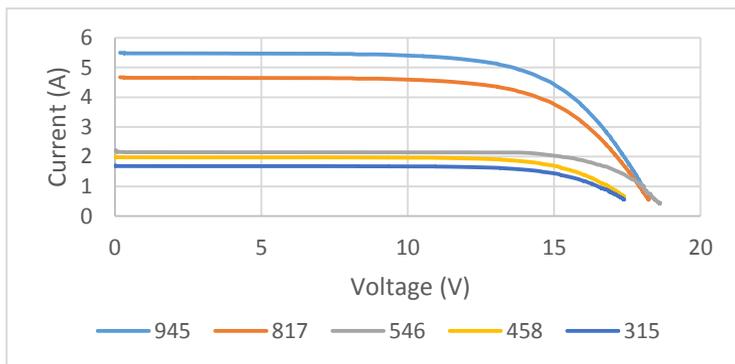
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

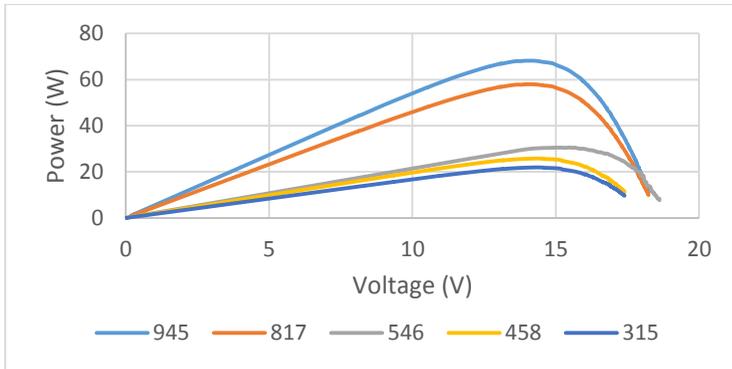
4.1 Kurva Karakteristik Panel Surya

Kurva ini didapatkan dengan menghubungkan panel surya dengan beban rheostat serta diberikan sensor arus dan sensor tegangan. Pada penelitian ini digunakan nilai rheostat sebesar 25Ω . Beban rheostat akan digeser dari nilai resistansi (R) terbesar hingga terkecil. Dalam pergeseran nilai resistansi tersebut akan dihasilkan parameter arus dan tegangan yang akan dibaca oleh sensor. Parameter-parameter yang terbaca inilah yang menjadi kurva karakteristik panel surya. Diantara parameter tersebut adalah tegangan optimal (V_{mpp}), arus optimal (I_{mpp}), dan daya maksimum (P_{mpp}). Pengujian kurva karakteristik panel surya ini dilakukan dengan iradian matahari yang berbeda-beda dengan diasumsikan tidak terjadi perubahan suhu untuk setiap nilai iradian.

Berikut ini merupakan hasil pengujian kurva karakteristik panel surya yaitu dalam kurva daya dan tegangan, serta kurva arus dan tegangan.



Gambar 4. 1 Kurva Karakteristik Arus dan Tegangan PV dengan Variasi Iradian



Gambar 4. 2 Kurva Karakteristik Daya dan Tegangan PV dengan Variasi Iradian

Pada Gambar 4.1 dan 4.2 dapat dilihat daya yang dihasilkan oleh panel surya berbanding lurus dengan besar iradian matahari. Besar tegangan optimal pada setiap iradian memiliki nilai yang berbeda-beda. Iradian yang rendah memiliki nilai tegangan optimal yang lebih tinggi dari pada nilai iradian yang lebih besar. Sedangkan nilai arus akan semakin tinggi seiring bertambahnya nilai iradian.

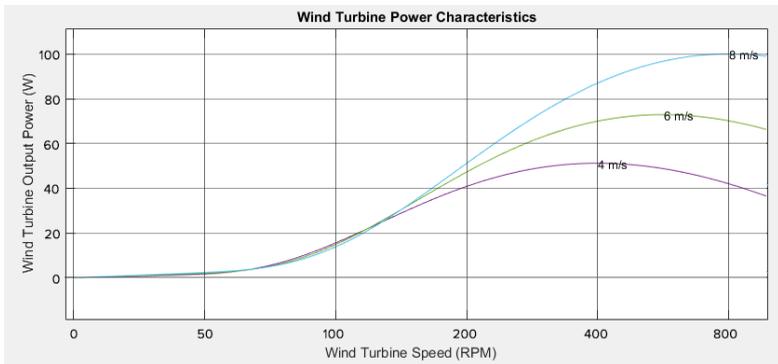
Pada kurva karakteristik tersebut menunjukkan panel surya tidak bekerja sesuai dengan *nameplate* yang disebabkan oleh suhu sel pada waktu operasi nilainya mencapai 53°C dan umur dari panel surya.

4.2 Kurva Karakteristik Turbin Angin

Kurva karakteristik ini didapatkan dengan menghubungkan generator DC (sebagai pengganti turbin angin) dengan beban rheostat. Arus medan disetting tetap, kemudian dilakukan pembebanan secara bertahap pada generator DC. Pembebanan dilakukan dari nilai pembebanan terkecil ke yang terbesar. Dalam pergeseran nilai pembebanan tersebut akan dihasilkan parameter arus, tegangan, dan RPM yang akan dibaca oleh sensor. Parameter-parameter yang terbaca inilah yang menjadi kurva karakteristik turbin angin. Pengujian kurva karakteristik turbin angin ini dilakukan dengan kecepatan angin (kecepatan sudut generator DC) yang berbeda-beda. Dalam pembentukan

kurva karakteristik ini, diasumsikan hanya terjadi perubahan kecepatan angin saja tanpa terjadi perubahan ketinggian turbin dan menggunakan turbin angin yang sama untuk masing-masing pengujian.

Berikut ini merupakan hasil pengujian kurva karakteristik turbin angin :



Gambar 4. 3 Kurva Karakteristik Turbin Angin dengan Variasi Kecepatan Angin

Kecepatan angin berpengaruh terhadap besar daya *output* turbin angin. Kecepatan angin berbanding lurus dengan daya *output* turbin angin. Namun kecepatan tersebut harus tetap berada dalam kecepatan nominal agar tidak merusak konstruksi turbin angin. Sesuai dengan Gambar 4.3 daya paling maksimal didapatkan pada saat kecepatan angin 8 m/s yang diasumsikan sama dengan kecepatan putar generator DC 800 RPM. Ketiga kecepatan angin yang tertera pada gambar 4.3 merupakan kecepatan nominal angin yang dapat dijadikan input turbin angin pada penelitian ini.

4.3 Pengujian Rangkaian Multi-input DC/DC Konverter

Pengujian ini dilaksanakan untuk memastikan rangkaian multi-input DC/DC konverter bekerja sesuai dengan desain. Dalam tahapan pengujian digunakan alat-alat yang tersedia di Laboratorium Konversi Energi diantaranya DC Power Supply Protek PL3005D, SANWA LCR700,

osiloskop, multimeter SANWA CD800a, clamp meter DCM-22AD, amperemeter dan beban rheostat LANGLOIS.

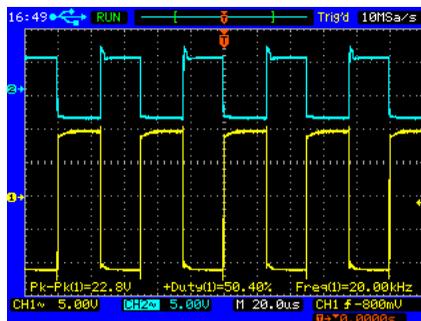


Gambar 4. 4 Pengujian Multi-Input DC/DC Konverter

4.3.1 Pengujian Sinyal Komponen

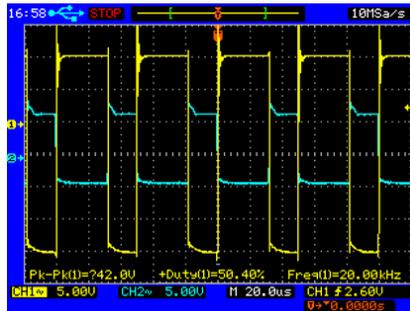
A. Pengujian Sinyal MOSFET

Dalam pengujian ini, diamati bentuk gelombang VGS dan VDS dari kedua buah mosfet dan frekuensi pensaklarannya. Pada saat MOSFET dalam kondisi konduksi, maka VGS memiliki nilai tertentu sehingga akan mengalir arus dari Drain ke Source. Sedangkan pada saat nilai VGS adalah nol maka MOSFET dalam keadaan tidak konduksi sehingga tidak terjadi aliran arus dari Drain ke Source.



Gambar 4. 5 Gelombang VGS dan VDS pada MOSFET1

Pada Gambar 4.5 terlihat dua bentuk gelombang VGS dan VDS pada MOSFET1 dengan *duty cycle* sebesar 0,5. Nilai dari VDS sama dengan tegangan input. Pada saat diberikan input sebesar 20 V maka pada VDS terbentuk gelombang dengan nilai 22,6 V. Sedangkan nilai VGS sesuai dengan keluaran dari rangkaian driver mosfet yaitu sebesar 10,8 V. Frekuensi switching bernilai 20 kHz. Dari hasil pengujian gelombang MOSFET1 tersebut telah sesuai dengan desain dan simulasi yang telah dilakukan.



Gambar 4. 6 Gelombang VGS dan VDS pada MOSFET2

Pada Gambar 4.6 terlihat dua bentuk gelombang VGS dan VDS pada MOSFET 2 dengan *duty cycle* 0,5. Pada saat diberikan input sebesar 20 V maka pada VDS terbentuk gelombang dengan nilai 42 V. Sedangkan nilai VGS sesuai dengan keluaran dari rangkaian driver mosfet yaitu sebesar 12,8 V. Nilai VDS dan VGS tersebut sudah sesuai dengan desain dan simulasi.

B. Pengujian Sinyal Induktor

Pengujian sinyal induktor dilakukan pada saat multi-input DC/DC konverter dibebani penuh. Pengujian ini untuk mengetahui mode charge-discharge pada waktu proses pensaklaran.



Gambar 4. 7 Gelombang Arus Induktor Multi-Input DC/DC Konverter

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa arus induktor telah berada pada kondisi CCM (Continuous Conduction Mode) pada frekuensi swithcing 20 kHz. Besar arus induktor (I_L) mean sebesar 5,28 A dengan ripple arus sebesar 1,04 A. Besar arus induktor dan ripple arus lebih besar dari desain namun masih dalam nilai yang dapat diterima. Perbedaan antara nilai arus induktor dalam tahap implementasi alat dan desain dapat disebabkan komponen induktor tidak ideal karena induktor dibuat secara manual.

C. Pengujian Sinyal Output

Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan nilai tegangan output multi-input DC/DC konverter dalam tahap implementasi dan desain.



Gambar 4. 8 Gelombang Tegangan Output Multi-Input DC/DC Konverter

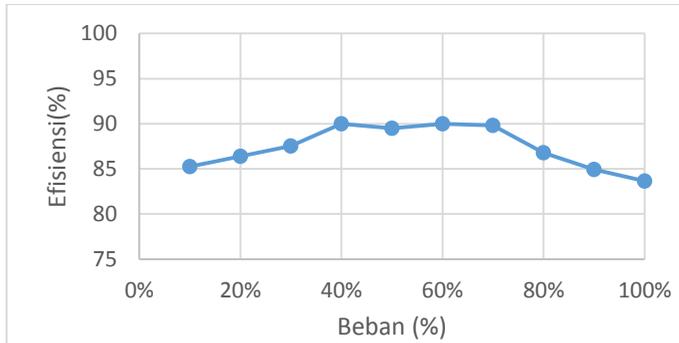
Pada Gambar 4.8 merupakan hasil tegangan output multi-input DC/DC konverter pada saat diberikan input tegangan 20 V untuk kedua input PV dan turbin angin. Sehingga dihasilkan besar tegangan output mean sebesar 40 V dengan ripple tegangan sebesar 800 mV. Hasil tegangan output ini sudah sesuai dengan desain dan simulasi.

4.4 Pengujian Efisiensi Konverter

Pengujian efisiensi multi-input DC/DC konverter dilaksanakan untuk mengetahui nilai efisiensi konverter apabila daya output konverter berubah-ubah. Dalam proses pengujian, tegangan input dan tegangan output nilainya konstan. Pembebanan konverter divariasikan dari 10% sampai 100% rating daya output konverter. Pengujian efisiensi dibagi menjadi tiga bagian, yaitu pada saat konverter diberikan input tegangan di sisi PV, input tegangan di sisi turbin angin, dan input tegangan pada kedua sisi (PV dan turbin angin). Pada saat daya output semakin besar maka akan terjadi drop tegangan sehingga diperlukan pengaturan *duty cycle* agar tegangan output tetap sesuai dengan nilainya. Efisiensi diperoleh dari perbandingan daya output dan daya input konverter dalam persen.

A. Pengujian Efisiensi Input Sisi PV

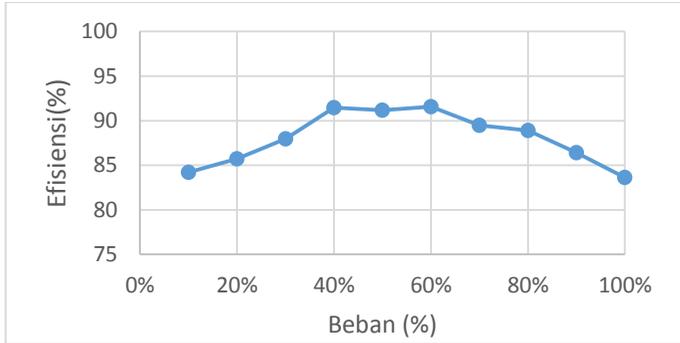
Pada pengujian ini tegangan input dijaga tetap konstan pada 30 V dan tegangan output dijaga konstan berada pada 27 V. Seiring dengan perubahan pembebanan, *duty cycle* akan diatur untuk memperoleh tegangan output tersebut. Efisiensi maksimum konverter sebesar 90% dicapai pada saat pembebanan 40% dan 60%. Sedangkan efisiensi minimum konverter sebesar 83,66 % diperoleh pada saat pembebanan penuh. yaitu Sesuai dengan hasil pengujian, pada presentasi pembebanan yang kecil didapatkan nilai efisiensi yang kecil. Nilai efisiensi akan terus naik seiring bertambahnya presentase pembebanan. Namun, mulai dari pembebanan 40% didapatkan nilai efisiensi semakin menurun seiring dengan meningkatnya pembebanan multi-input DC/DC konverter.



Gambar 4. 9 Hasil Pengujian Efisiensi Konverter dengan Input Sisi PV

B. Pengujian Efisiensi Input Sisi Turbin Angin

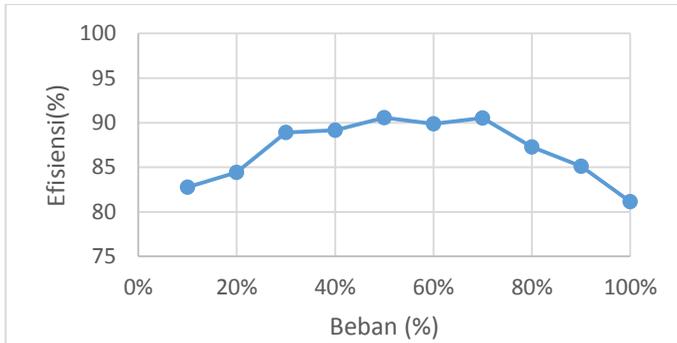
Pada pengujian efisiensi dengan input pada sisi turbin angin, tegangan input yang digunakan konstan 20 V dan tegangan output dijaga konstan 40 V. Perlu dilakukan pengaturan *duty cycle* untuk memperoleh tegangan output tersebut dengan adanya perubahan pembebanan. Konverter menghasilkan efisiensi terbesar pada saat pembebanan 60% dengan efisiensi sebesar 91,58%. Sedangkan efisiensi konverter terkecil terjadi pada saat pembebanan penuh yaitu didapatkan efisiensi sebesar 83,65%. Sesuai dengan hasil pengujian, didapatkan nilai efisiensi naik sampai dengan presentase pembebanan 40%. Kemudian kurva efisiensi mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya pembebanan multi-input DC/DC konverter.



Gambar 4. 10 Hasil Pengujian Efisiensi Konverter dengan Input Sisi Turbin Angin

C. Pengujian Efisiensi Input Sisi PV dan Turbin Angin

Pada pengujian efisiensi dengan dua input pada sisi PV dan turbin angin, tegangan input yang digunakan masing-masing inputan adalah 20 V sedangkan tegangan output ditentukan dijaga untuk tetap berada pada nilai 40 V. Seiring dengan perubahan pembebanan, *duty cycle* akan diatur untuk memperoleh tegangan output tersebut. Didapatkan efisiensi terbesar yaitu 90,55% pada saat pembebanan 50%. Sedangkan efisiensi terkecil yaitu 81,13% yang terjadi pada pembebanan penuh. Sesuai dengan hasil pengujian, didapatkan nilai efisiensi semakin naik sampai dengan presentase pembebanan 50%. Kemudian kurva akan mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya pembebanan multi-input DC/DC konverter.



Gambar 4. 11 Hasil Pengujian Efisiensi Konverter dengan Dua Input

Hasil ketiga pengujian efisiensi dalam tiga kondisi input tegangan yang berbeda dapat disimpulkan bahwa efisiensi multi-input DC/DC konverter dengan presentase pembebanan yang kecil menghasilkan efisiensi daya konverter dengan nilai yang kecil. Grafik akan naik seiring dengan pertambahan pembebanan. Namun pada saat nilai pembebanan tertentu terjadi penurunan grafik efisiensi sampai dengan presentase pembebanan penuh. Hal ini dikarenakan arus yang mengalir akan semakin besar sehingga timbul rugi-rugi panas pada komponen. Selain itu, rugi-rugi juga dapat disebabkan oleh proses switching pada MOSFET dan dioda. Namun, hasil efisiensi dari ketiga kondisi tersebut nilainya masih diatas 80% pada kondisi beban penuh.

4.5 Pengujian Sensor Konverter

Pada pengujian sensor multi-input DC/DC konverter akan dibandingkan antara sensor pada konverter dengan multimeter yang berada di Laboratorium Konversi Energi. Sensor tegangan yang digunakan pada konverter adalah multiturn 100K, sedangkan untuk sensor arus menggunakan ACS 712 20A. Pengujian hasil dari multiturn 100K akan dibandingkan dengan SANWA CD800a sedangkan ACS 712 20A akan dibandingkan dengan SANWA DCM22AD. Ketepatan pengukuran tegangan dan arus pada konverter ini sangat dibutuhkan karena nilai input MPPT didapatkan dari hasil pembacaan sensor.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sensor Tegangan Sisi PV

Tegangan Aktual (V)	Tegangan Sensor (V)	Error (%)
2	1,91	4,45
4	4,00	0,075
6	5,84	2,633
8	7,97	0,3
10	9,99	0,04
12	11,99	0,025
14	13,77	1,635
16	15,77	1,431
18	17,98	0,061
20	19,95	0,23
Rata-Rata Error		0,906

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sensor Arus Sisi PV

Arus Aktual (A)	Arus Sensor (A)	Error (%)
0,5	0,48	2,08
1	0,98	1,97
1,5	1,48	1,113
2	1,97	1,49
2,5	2,46	1,412
3	2,95	1,37
3,5	3,44	1,45
4	3,93	1,64
4,5	4,44	1,2
5	4,92	1,552
Rata-Rata Error		1,528

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sensor Tegangan Sisi Turbin Angin

Tegangan Aktual (V)	Tegangan Sensor (V)	Error (%)
5	5,5	10
10	10,33	3,3
15	15,5	3,333
20	19,87	0,65
25	25,86	3,44
30	29,76	0,8
35	35,08	0,228
40	40,14	0,35
45	45,1	0,222
50	49,9	0,2
55	56	1,818
60	62	3,333
Rata-Rata Error		2,306

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Sensor Arus Sisi Turbin Angin

Arus Aktual (A)	Arus Sensor (A)	Error (%)
0,5	0,48	2,02
1	0,98	1,93
1,5	1,48	1,193
2	1,96	1,55
2,5	2,46	1,44
3	2,95	1,353
3,5	3,44	1,514
4	3,93	1,675
4,5	4,44	1,253
5	4,92	1,55
Rata-Rata Error		1,547

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Sensor Tegangan Sisi Output Konverter

Tegangan Aktual (V)	Tegangan Sensor (V)	Error (%)
5	5,38	7,6
10	10,5	5
15	15,29	1,933
20	20,32	1,6
25	25,14	0,56
30	30,28	0,933
35	35,08	0,228
40	40,14	0,35
45	45,1	0,222
50	49,9	0,2
55	55,5	0,909
60	61	1,666
Rata-Rata Error		1,766

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Sensor Arus Sisi Turbin Angin

Arus Aktual (A)	Arus Sensor (A)	Error (%)
0,5	0,48	2,1
1	0,98	1,64
1,5	1,48	1,313
2	1,97	1,39
2,5	2,46	1,56
3	2,95	1,373
3,5	3,44	1,485
4	3,93	1,692
4,5	4,44	1,264
5	4,92	1,55
Rata-Rata Error		1,536

Hasil dari pengujian sensor tegangan dan arus pada multi-input DC/DC konverter didapatkan nilai error rata-rata untuk sensor tegangan sebesar 1,67 % dengan error tertinggi sebesar 10%. Sedangkan untuk nilai

error rata-rata untuk sensor arus sebesar 1,53 % dengan error tertinggi sebesar 2,1%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor tegangan multiturn 100k dan sensor arus ACS 712 20A dapat digunakan pada multi-input DC/DC konverter karena memiliki rata-rata error kecil.

4.6 Pengujian MPPT pada Multi-input DC/DC Konverter

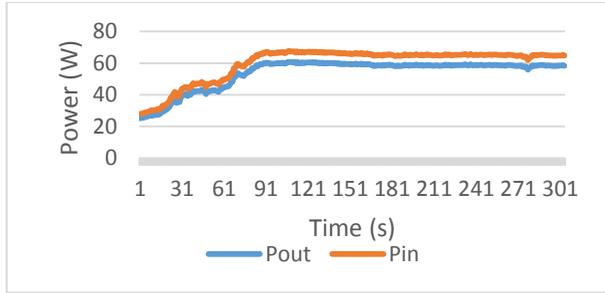
Pengujian ini dilakukan dengan tiga tahap, yaitu pengujian MPPT pada saat multi-input DC/DC konverter diberikan input PV, pengujian dengan input turbin angin, dan pengujian dengan kedua input PV dan turbin angin. Masing-masing pengujian akan dilakukan perbandingan antara multi-input DC/DC konverter menggunakan MPPT dan tanpa menggunakan MPPT. Pengujian konverter tanpa menggunakan MPPT akan dilakukan dengan *duty cycle* yang tetap. Sedangkan *duty cycle* untuk konverter dengan metode MPPT sesuai dengan hasil *tracking* P&O.

4.6.1 Pengujian MPPT Multi-input DC/DC Konverter dengan Input PV

Dalam pengujian ini, akan diambil data untuk tiga iradian yang berbeda. Untuk masing-masing iradian akan dibandingkan antara data konverter menggunakan MPPT P&O dan tanpa menggunakan MPPT P&O (*duty cycle* tetap). Beban yang digunakan merupakan beban rheostat yang ditentukan sesuai dengan beban penuhnya.

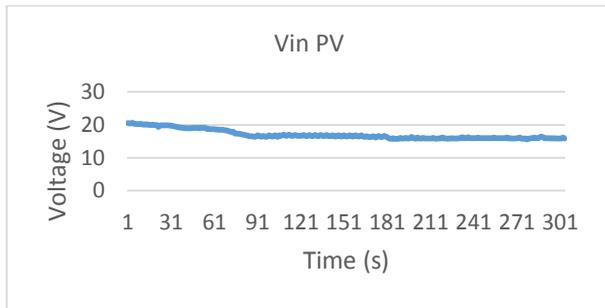
A. Input PV dengan Iradian 954 W/m^2

Pengujian dilakukan pada siang hari sekitar pukul 11.30, daya output PV dapat diukur melalui sensor tegangan dan arus yang berada di multi-input DC/DC konverter. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan hasil daya input rata-rata yang dihasilkan adalah 65,15 Watt. Kemudian diperoleh daya output rata-rata adalah sebesar 58,63 Watt. Sehingga efisiensi yang didapatkan adalah 89%.



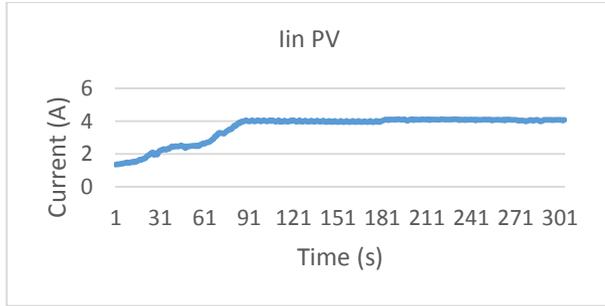
Gambar 4. 12 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter

Seiring dengan perubahan *duty cycle* yang disebabkan oleh metode *tracking* MPPT P&O menyebabkan tegangan input PV akan mengalami perubahan. Perubahan tegangan terus terjadi sampai dengan didapatkannya tegangan optimal. Terlihat dari Gambar 4.13 tegangan PV mengalami penurunan menuju sekitar 16,04 V. Dikarenakan metode P&O memiliki kekurangan yaitu terjadi osilasi pada saat *duty cycle* tertentu yang merupakan *tracking* daya maksimumnya, maka tegangan PV akan tetap beresolasi disekitar tegangan optimalnya.



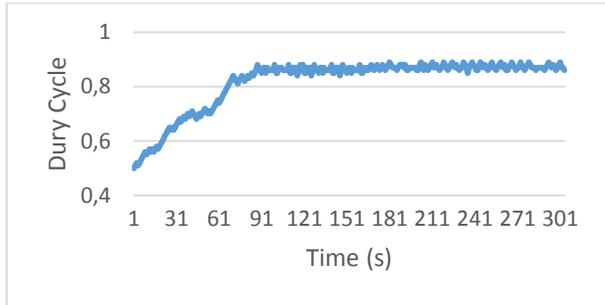
Gambar 4. 13 Grafik Tegangan Input Konverter

Pada Gambar 4.14 didapatkan grafik arus PV sesuai dengan hasil *tracking duty cycle* untuk menuju daya maksimumnya. Arus terus mengalami kenaikan dan beresolasi di sekitar arus optimalnya yaitu sekitar 4,06 A.



Gambar 4.14 Grafik Arus Input Konverter

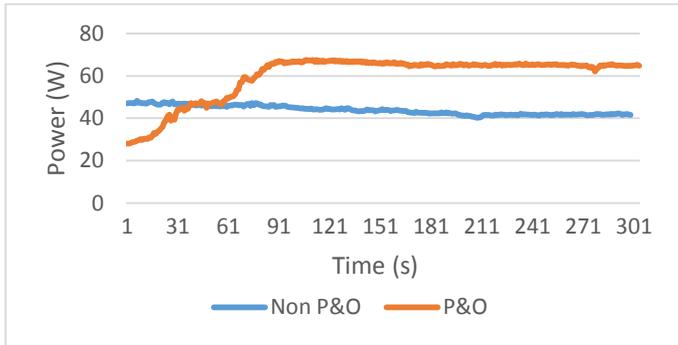
Duty cycle akan terus berubah-ubah nilainya seiring dengan metode *tracking* MPPT P&O. Terlihat pada Gambar 4.15 *duty cycle* naik secara perlahan menuju nilai 0,87. Namun akan mengalami osilasi di sekitar nilai dihasilkannya daya maksimum tersebut.



Gambar 4.15 Grafik *Duty Cycle* Konverter

Dalam pengujian ini juga dibandingkan antara multi-input DC/DC konverter dengan menggunakan metode MPPT P&O dan tanpa menggunakan metode tersebut. Multi-input DC/DC konverter tanpa metode MPPT, *duty cycle*-nya dibuat tetap yaitu sebesar 0,7. Sehingga didapatkan hasil perbandingan sesuai dengan Gambar 4.16. Metode MPPT P&O menghasilkan daya input konverter yang lebih tinggi nilainya daripada tanpa menggunakan metode MPPT P&O. Dengan metode P&O didapatkan hasil daya input konverter sebesar 65,15 Watt sedangkan pada

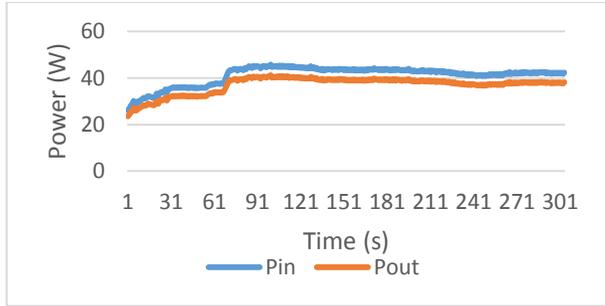
konverter tanpa MPPT hanya dihasilkan daya input konverter sebesar 42,05 Watt.



Gambar 4. 16 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O Dan Tanpa MPPT P&O

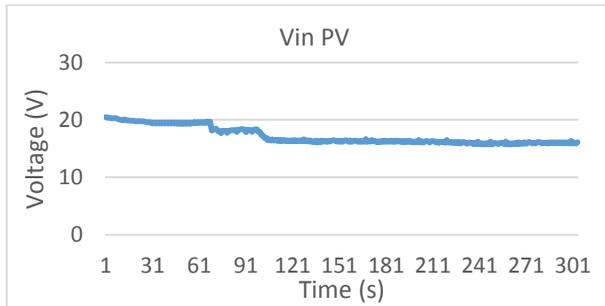
B. Input PV dengan Iradian 708 W/m^2

Pengujian yang sama dilakukan hanya pada waktu yang berbeda, yaitu pada pagi hari sekitar pukul 9.00 sehingga iradian berbeda. Dengan mengukur daya panel melalui sensor tegangan dan arus yang berada di multi-input DC/DC konverter dapat dilakukan analisa dari hasil pengukuran tersebut. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan hasil daya input rata-rata yang dihasilkan adalah 42,59 Watt. Kemudian diperoleh daya output rata-rata adalah sebesar 38,33 Watt. Sehingga efisiensi yang didapatkan adalah 90%. Kedua nilai tersebut diambil pada saat grafik berada disekitar daya maksimumnya.



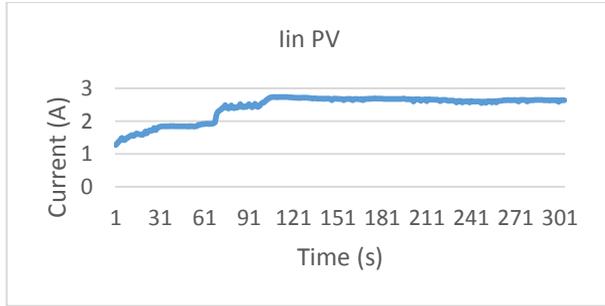
Gambar 4. 17 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter

Tegangan input PV akan mengalami perubahan dikarenakan perubahan *duty cycle* yang disebabkan oleh metode *tracking* MPPT P&O. Perubahan tegangan terus terjadi sampai dengan didapatkannya tegangan optimal. Terlihat dari Gambar 4.18 tegangan PV mengalami penurunan menuju sekitar 16,09 V. Tegangan optimal ini tidak dapat bernilai tetap atau bersifat osilasi dikarenakan metode P&O memiliki kekurangan yaitu terjadi osilasi pada saat *duty cycle* tertentu yang merupakan *tracking* daya maksimumnya.



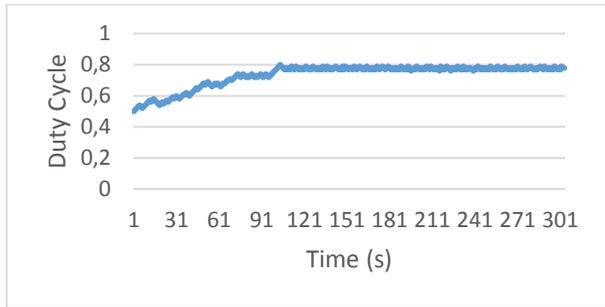
Gambar 4. 18 Grafik Tegangan Input Konverter

Pada Gambar 4.19 didapatkan grafik arus PV sesuai dengan hasil *tracking duty cycle* untuk menuju daya maksimumnya. Arus terus mengalami kenaikan dan berisilasi di sekitar arus optimalnya yaitu sekitar 2,645 A.



Gambar 4. 19 Grafik Arus Input Konverter

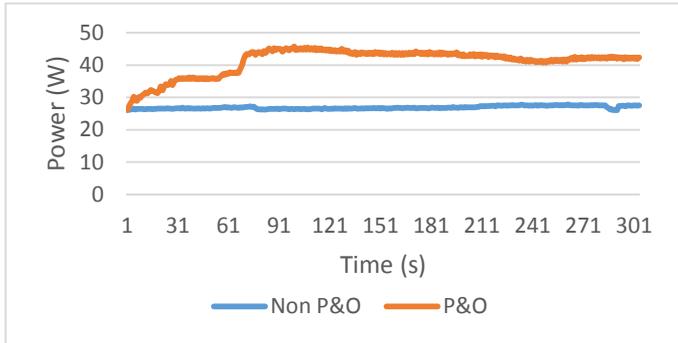
Duty cycle akan terus berubah-ubah nilainya seiring dengan metode *tracking* MPPT P&O. Terlihat pada Gambar 4.20 *duty cycle* naik secara perlahan menuju *duty cycle* dengan daya paling maksimumnya. Namun akan mengalami osilasi di sekitar nilai dihasilkannya daya maksimum tersebut. Dalam keadaan iradian ini, terjadi osilasi nilai *duty cycle* disekitar nilai 0,78.



Gambar 4. 20 Grafik *Duty Cycle* Konverter

Pada Gambar 4.21 terlihat perbandingan daya input antara multi-input DC/DC konverter dengan menggunakan metode MPPT P&O dan tanpa menggunakan metode tersebut. Multi-input DC/DC konverter tanpa metode MPPT, *duty cycle*-nya dibuat tetap yaitu sebesar 0,5. Metode MPPT P&O menghasilkan daya input konverter yang lebih tinggi nilainya daripada tanpa menggunakan metode MPPT P&O. Dengan metode P&O

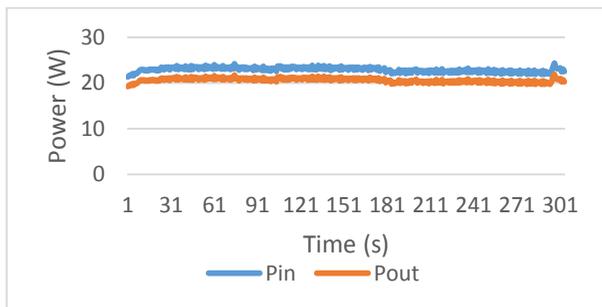
didapatkan hasil daya input konverter sebesar 42,59 Watt sedangkan pada konverter tanpa MPPT hanya dihasilkan daya input konverter sebesar 27,164 Watt.



Gambar 4. 21 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O dan Tanpa MPPT P&O

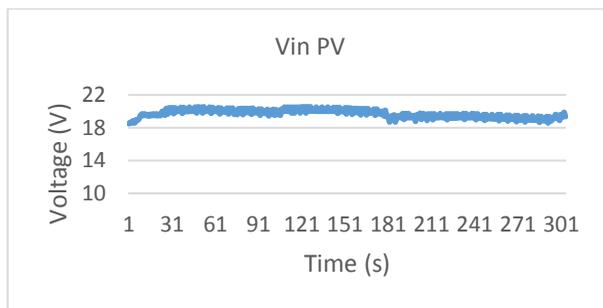
C. Input PV dengan Iradian 327 W/m^2

Pengujian dilakukan pada pukul 16.00 sore hari sehingga didapatkan iradian nilainya lebih kecil. Daya PV diukur melalui sensor tegangan dan arus yang berada di multi-input DC/DC konverter. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan hasil daya input rata-rata yang dihasilkan adalah 22,65 Watt. Kemudian diperoleh daya output rata-rata adalah sebesar 20,388 Watt. Sehingga efisiensi yang didapatkan adalah 90%.



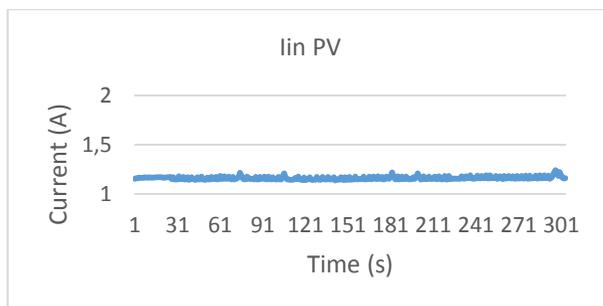
Gambar 4. 22 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter

Duty cycle akan mengalami perubahan sesuai dengan metode *tracking* MPPT P&O sehingga tegangan input konverter akan mengalami perubahan. Perubahan tegangan terus terjadi sampai dengan didapatkannya tegangan optimal. Terlihat dari Gambar 4.23 tegangan PV mengalami kenaikan dari 18,5 V menuju sekitar 19,44 V. Dikarenakan metode *P&O* memiliki kekurangan yaitu terjadi osilasi pada saat *duty cycle* tertentu yang merupakan *tracking* daya maksimumnya, maka tegangan PV akan tetap berosilasi disekitar tegangan optimalnya.



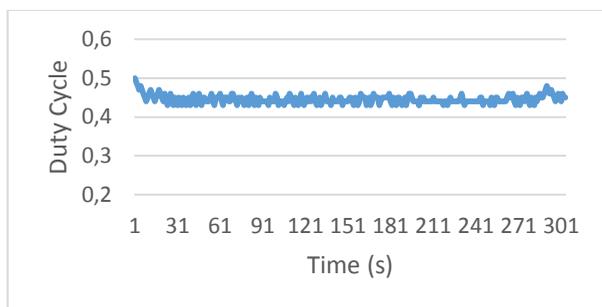
Gambar 4. 23 Grafik Tegangan Input Konverter

Pada Gambar 4.24 didapatkan grafik arus PV sesuai dengan hasil *tracking duty cycle* untuk menuju daya maksimumnya. Arus terus mengalami kenaikan dari 1,154 A dan berosilasi di sekitar arus optimalnya yaitu sekitar 1,165 A.



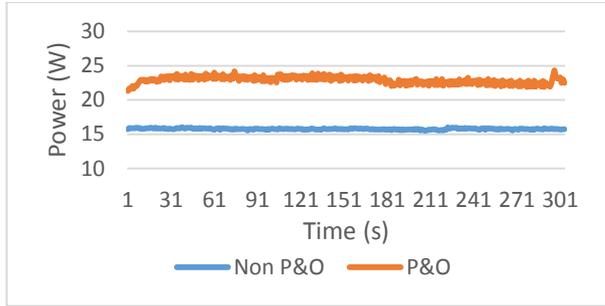
Gambar 4. 24 Grafik Arus Input Konverter

Duty cycle akan terus berubah-ubah nilainya seiring dengan metode *tracking* MPPT P&O. Terlihat pada Gambar 4.25 *duty cycle* turun secara perlahan menuju *duty cycle* dengan daya paling maksimumnya. Namun akan mengalami osilasi di sekitar nilai dihasilkannya daya maksimum. *Duty cycle* akan tetap berosilasi di sekitar 0,45.



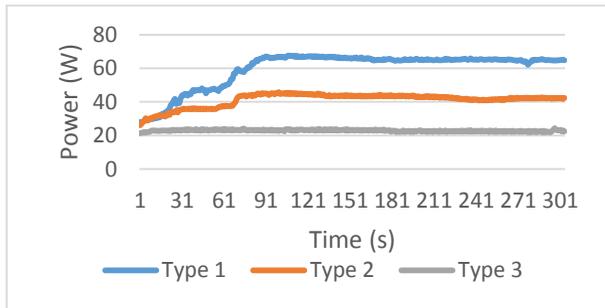
Gambar 4. 25 Grafik *Duty Cycle* Konverter

Dalam Gambar 4.26 dibandingkan daya input konverter antara multi-input DC/DC konverter dengan menggunakan metode MPPT P&O dan tanpa menggunakan metode tersebut. Multi-input DC/DC konverter tanpa metode MPPT, *duty cyclenya* dibuat tetap yaitu sebesar 0,4. Sehingga didapatkan hasil perbandingan yaitu metode MPPT P&O menghasilkan daya input konverter yang lebih tinggi nilainya daripada tanpa menggunakan metode MPPT P&O. Dengan metode P&O didapatkan hasil daya input konverter sebesar 22,65 Watt sedangkan pada konverter tanpa MPPT hanya dihasilkan daya input konverter sebesar 15,75 Watt.



Gambar 4. 26 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O dan Tanpa MPPT P&O

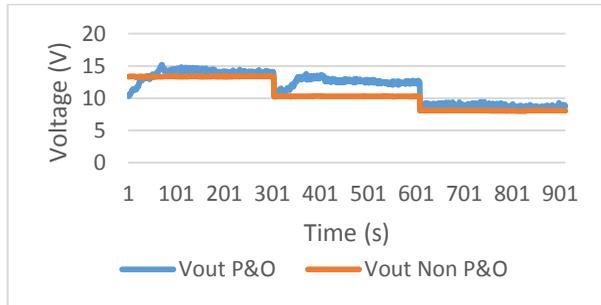
Apabila dilakukan perbandingan daya input konverter pada tiga kondisi iradian yang berbeda dan perbandingan tersebut dilakukan pada saat konverter menggunakan metode MPPT P&O maka didapatkan hasil sesuai dengan Gambar 4.27. Daya input terbesar didapatkan pada saat kondisi iradian sebesar 954 W/m^2 yaitu didapatkan daya input sebesar 65,15 Watt. Sedangkan daya input terkecil didapatkan pada kondisi iradian sebesar 327 W/m^2 yaitu didapatkan daya sebesar 22,65 Watt. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar iradian matahari maka daya yang dihasilkan akan semakin besar.



Gambar 4. 27 Perbandingan Daya Input Konverter Menggunakan MPPT P&O (Type 1 = 954 W/m^2 , Type 2 = 708 W/m^2 , Type 3 = 327 W/m^2)

Besar tegangan input dan tegangan output konverter dipengaruhi oleh *duty cycle*. Melalui metode tracking MPPT P&O, nilai tegangan input konverter akan mengalami perubahan hingga didapatkannya tegangan optimalnya. Sedangkan tegangan output konverter akan berubah-ubah sesuai dengan besar tegangan input konverter dan pengoperasian *duty cycle*. Algoritma P&O pada multi-input DC/DC konverter ini, menjadikan tegangan output konverter mendapatkan nilai optimalnya lebih cepat dan besar tegangan output relatif konstan apabila terjadi perubahan tegangan input konverter.

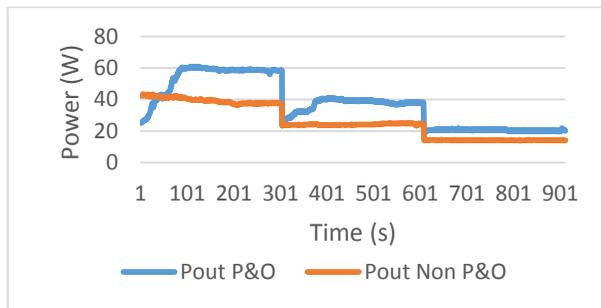
Dengan pengoperasian *duty cycle* yang tetap menyebabkan konverter tidak dapat menyesuaikan tegangan input dan tegangan output pada nilai optimalnya. Pada saat terjadi perubahan iradian, konverter akan tetap bekerja pada *duty cycle* tertentu saja. Hal ini menyebabkan tegangan input dan tegangan output konverter tidak berada pada tegangan optimalnya. Selain itu, menjadikan besar tegangan output tidak konstan apabila terjadi perubahan tegangan input konverter.



Gambar 4. 28 Tegangan Output Konverter dengan Variasi Iradian

Daya input akan mengalami perubahan apabila terjadi perubahan pada nilai iradiansi. Daya input mengalami penurunan pada nilai optimalnya yang diakibatkan oleh penurunan nilai iradiansi. Sedangkan besar daya output konverter dipengaruhi oleh besar daya input, *duty cycle*, dan efisiensi dari konverter sehingga grafiknya mengalami penurunan dikarenakan terjadi penurunan daya input.

Besar daya input dan output multi-input DC/DC konverter tanpa menggunakan algoritma P&O menghasilkan daya yang lebih kecil daripada konverter dengan algoritma P&O. Daya input mengalami penurunan pada nilai optimalnya yang diakibatkan oleh penurunan nilai iradiansi. Sedangkan besar daya output konverter dipengaruhi oleh besar daya input dan efisiensi dari konverter. Konverter tanpa menggunakan algoritma P&O tidak dapat menempatkan tegangan dan arus pada titik optimal dikarenakan *duty cycle* disetting tetap. Hal ini menyebabkan daya yang dihasilkan tidak maksimal.



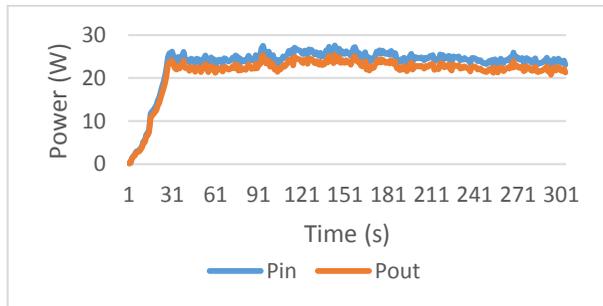
Gambar 4. 29 Daya Output Konverter dengan Variasi Iradian

4.6.2 Pengujian MPPT Multi-input DC/DC Konverter dengan Input Turbin Angin

Dalam pengujian ini, generator DC digunakan untuk menggantikan turbin angin. Kecepatan angin akan disesuaikan dengan putaran generator dalam RPM sehingga didapatkan daya output dari generator DC sebagai daya input konverter. Pengujian dilakukan dengan tiga kecepatan angin yang berbeda sehingga daya input konverter dapat divariasikan. Masing-masing kecepatan angin akan dilakukan perbandingan daya input yang diperoleh antara multi-input DC/DC konverter dengan menggunakan MPPT P&O dan tanpa menggunakan algoritma tersebut. Dikarenakan generator DC memiliki rating arus sebesar 2 A, maka *duty cycle* diatur agar tidak melebihi rating tersebut. Ketiga pengujian ini akan digunakan *duty cycle* maksimal sebesar 0,4. Beban yang digunakan berupa rheostat juga disesuaikan dengan rating generator DC.

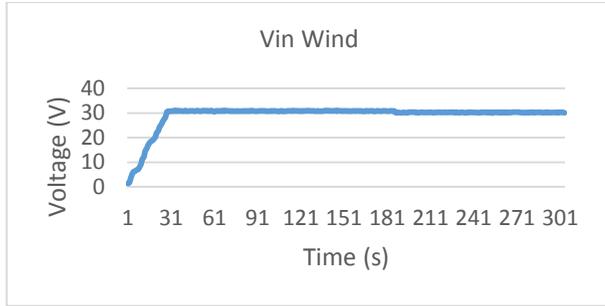
A. Input Turbin Angin dengan Kecepatan Angin 4 m/s

Diasumsikan bahwa kecepatan angin 4 m/s akan menghasilkan kecepatan putar generator DC sebesar 400 RPM. Dengan mengukur daya input konverter melalui sensor tegangan dan arus yang berada di multi-input DC/DC konverter dapat dilakukan analisa dari hasil pengukuran tersebut. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan hasil daya input rata-rata yang dihasilkan adalah 24,87 Watt. Kemudian diperoleh daya output rata-rata adalah sebesar 22,88 Watt. Sehingga efisiensi yang didapatkan adalah 92%. Kedua nilai tersebut diambil pada saat grafik berada disekitar daya maksimumnya.



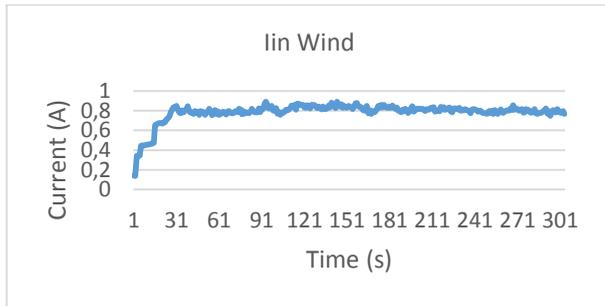
Gambar 4. 30 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter

Karena menggunakan generator DC maka tegangan yang didapatkan hampir konstan, terlihat dari Gambar 4.31 tegangan akan naik dari 0 Volt sampai dengan 30,5 V dan akan konstan di sekitar tegangan tersebut. Tegangan ini merupakan tegangan optimal yang dihasilkan dari kecepatan angin 4 m/s.



Gambar 4. 31 Grafik Tegangan Input Konverter

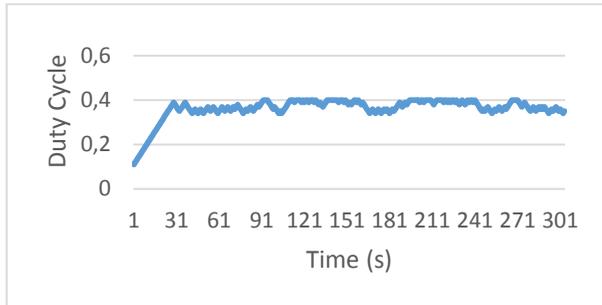
Arus input konverter akan mengalami perubahan seiring dengan perubahan *duty cycle* sesuai dengan metode *tracking* MPPT P&O. Perubahan arus terus terjadi sampai dengan didapatkannya arus optimal. Terlihat dari Gambar 4.32 arus input mengalami kenaikan menuju sekitar 0,815 A. Dikarenakan metode *P&O* memiliki kekurangan yaitu terjadi osilasi pada saat *duty cycle* tertentu yang merupakan *tracking* daya maksimumnya, maka arus input akan tetap beresilasi disekitar arus optimalnya.



Gambar 4. 32 Grafik Arus Input Konverter

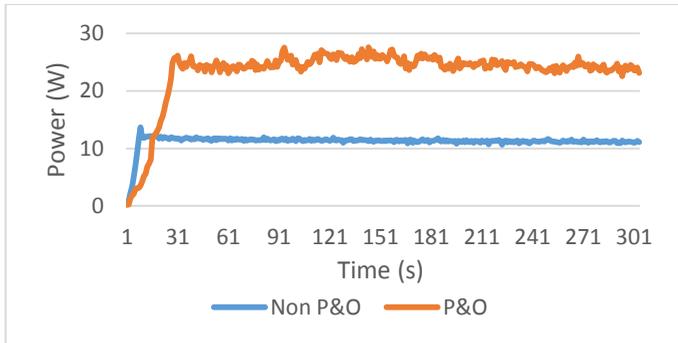
Duty cycle akan terus berubah-ubah nilainya seiring dengan metode *tracking* MPPT P&O. Terlihat pada Gambar 4.33 *duty cycle* naik secara perlahan menuju *duty cycle* dengan daya paling maksimumnya. Namun akan mengalami osilasi di sekitar nilai dihasilkannya daya maksimum.

Dalam keadaan kecepatan angin 4 m/s, terjadi osilasi nilai *duty cycle* disekitar nilai 0,38.



Gambar 4. 33 Grafik *Duty Cycle* Konverter

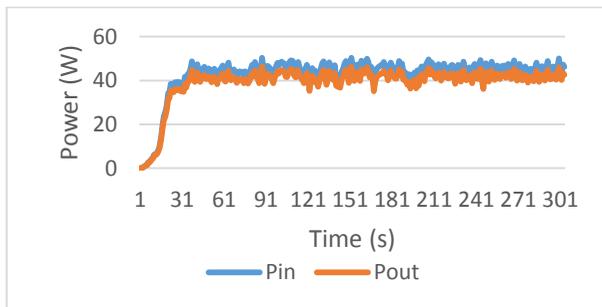
Dalam Gambar 4.34 dibandingkan daya input konverter antara multi-input DC/DC konverter dengan menggunakan metode MPPT P&O dan tanpa menggunakan metode tersebut. Multi-input DC/DC konverter tanpa metode MPPT, *duty cyclenya* dibuat tetap yaitu sebesar 0,3. Metode MPPT P&O menghasilkan daya input konverter yang lebih tinggi nilainya daripada tanpa menggunakan metode MPPT P&O. Dengan metode P&O didapatkan hasil daya input konverter sebesar 24,87 Watt sedangkan pada konverter tanpa MPPT hanya dihasilkan daya input konverter sebesar 11,29 Watt. Kedua nilai ini merupakan besar daya input rata-rata pada posisi *tracking* daya maksimumnya.



Gambar 4. 34 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O dan Tanpa MPPT P&O

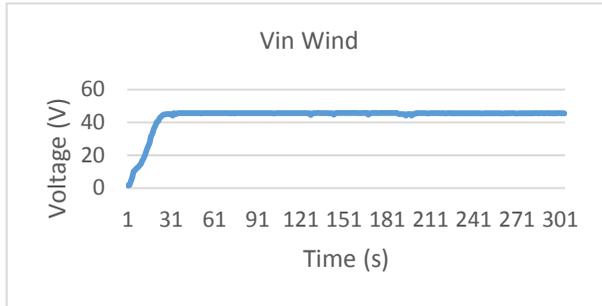
B. Input Turbin Angin dengan Kecepatan Angin 6 m/s

Diasumsikan bahwa kecepatan angin 6 m/s akan menghasilkan kecepatan putar generator DC sebesar 600 RPM. Daya input konverter merupakan hasil pengukuran sensor tegangan dan arus pada konverter. Daya input yang dihasilkan dari pengujian ini sebesar 45,37 Watt. Kemudian diperoleh daya output rata-rata adalah sebesar 41,74 Watt. Sehingga efisiensi yang didapatkan adalah 90,9%. Kedua nilai tersebut diambil pada saat grafik berada disekitar daya maksimumnya.



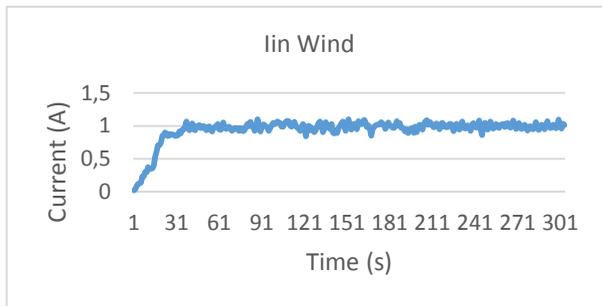
Gambar 4. 35 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter

Tegangan akan naik dari 0 Volt sampai dengan 45,62 V dan akan konstan di sekitar tegangan tersebut. Tegangan ini merupakan tegangan optimal yang dihasilkan pada kecepatan angin 6 m/s.



Gambar 4. 36 Grafik Tegangan Input Konverter

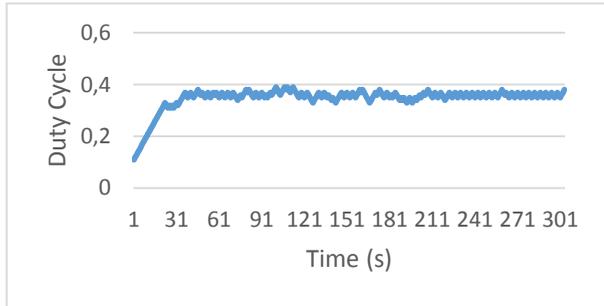
Terlihat dari Gambar 4.37 arus input mengalami kenaikan menuju arus optimal yaitu sekitar 0,99 A. Perubahan arus input konverter terjadi karena metode *tracking* MPPT sehingga *duty cycle* akan terus mengalami perubahan hingga didapatkan nilai daya maksimumnya. Dikarenakan metode P&O memiliki kekurangan yaitu terjadi osilasi pada saat *duty cycle* yang merupakan *tracking* daya maksimumnya, maka arus input akan tetap berosilasi disekitar arus optimalnya.



Gambar 4. 37 Grafik Arus Input Konverter

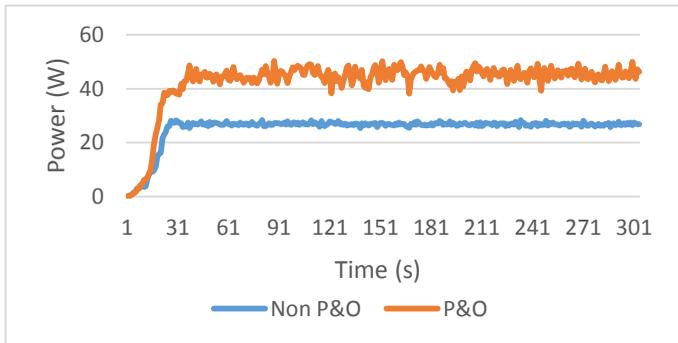
Terlihat pada Gambar 4.38 *tracking duty cycle* dimulai dari 0,1 dan naik secara perlahan menuju *duty cycle* dengan daya paling

maksimumnya. Namun akan mengalami osilasi di sekitar nilai dihasilkannya daya maksimum. Dalam keadaan kecepatan angin 6 m/s , terjadi osilasi nilai *duty cycle* disekitar nilai 0,36.



Gambar 4. 38 Grafik *Duty Cycle* Konverter

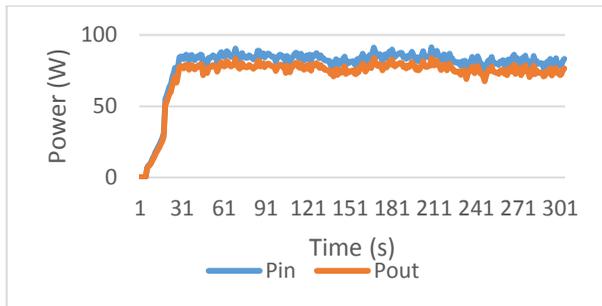
Duty cycle multi-input DC/DC konverter tanpa metode MPPT dibuat tetap yaitu sebesar 0,3. Sesuai dengan Gambar 4.39 didapatkan daya input konverter menggunakan metode MPPT P&O sebesar 45,37 Watt, dan daya input konverter tanpa MPPT adalah sebesar 26,45 Watt. Kedua nilai ini merupakan besar daya input rata-rata pada posisi *tracking* daya maksimumnya.



Gambar 4. 39 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O dan Tanpa MPPT P&O

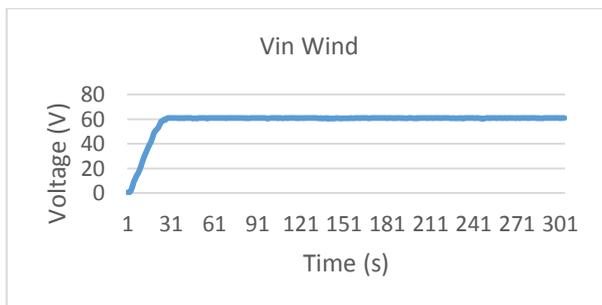
C. Input Turbin Angin dengan Kecepatan Angin 8 m/s

Diasumsikan kecepatan angin 8 m/s akan menghasilkan kecepatan putar generator DC sebesar 800 RPM. Daya input konverter didapatkan melalui pengukuran sensor tegangan dan arus yang berada di multi-input DC/DC konverter. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan hasil daya input rata-rata yang dihasilkan adalah 83,06 Watt dengan daya output rata-rata sebesar 76,41 Watt. Kedua nilai tersebut diambil pada saat grafik berada disekitar daya maksimumnya dan menghasilkan efisiensi konverter sebesar 92%.



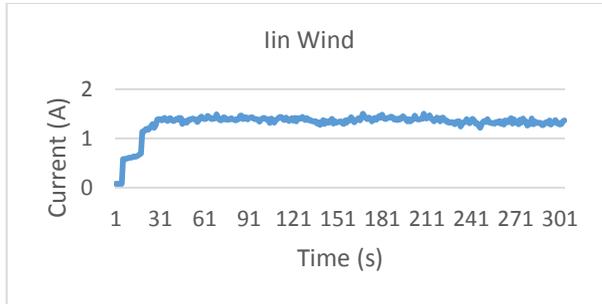
Gambar 4. 40 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter

Tegangan input konverter nilainya akan mengalami kenaikan hingga mencapai tegangan optimal sesuai dengan kecepatan angin sebesar 8 m/s. Pada Gambar 4.41 tegangan akan naik dari 0 Volt sampai dengan 60,89 V dan akan konstan di sekitar tegangan optimal tersebut.



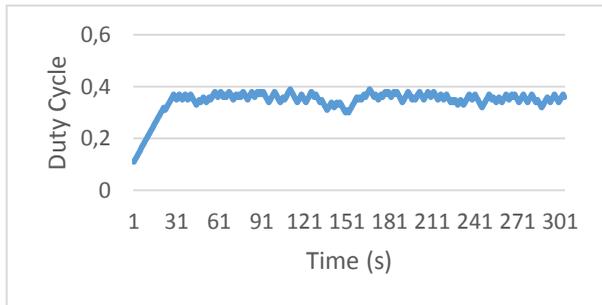
Gambar 4. 41 Grafik Tegangan Input Konverter

Arus input konverter akan mengalami perubahan seiring dengan berubahnya nilai *duty cycle* sesuai dengan metode *tracking* MPPT P&O. Perubahan arus terus terjadi sampai dengan didapatkannya arus optimal. Terlihat dari Gambar 4.42 arus input mengalami kenaikan dan mengalami osilasi pada arus optimalnya yaitu sekitar 1,36 A.



Gambar 4. 42 Grafik Arus Input Konverter

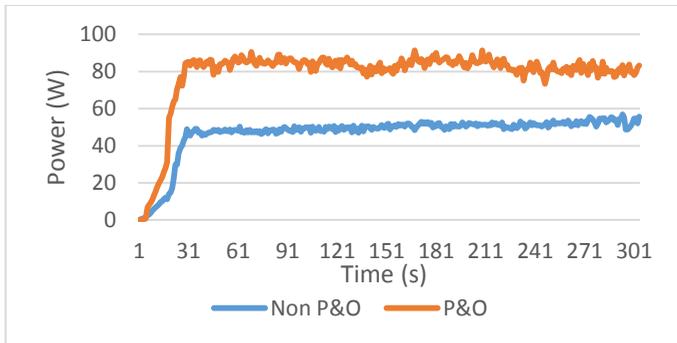
Metode *tracking* MPPT P&O menyebabkan *duty cycle* akan terus berubah-ubah hingga mencapai daya maksimum sesuai dengan kecepatan angin 8 m/s. Terlihat pada Gambar 4.43 *duty cycle* naik secara perlahan menuju *duty cycle* 0,35 dan terjadi osilasi disekitar nilai tersebut.



Gambar 4. 43 Grafik *Duty Cycle* Konverter

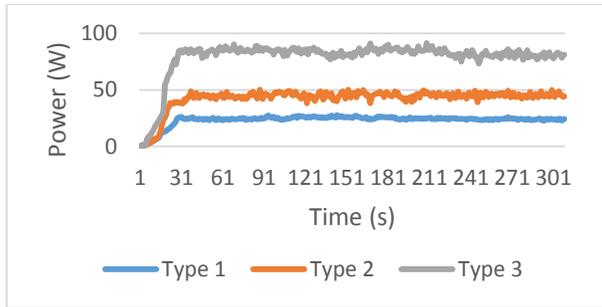
Dalam Gambar 4.44 terdapat perbandingan daya input konverter antara multi-input DC/DC konverter dengan menggunakan metode MPPT P&O dan tanpa menggunakan metode tersebut. Multi-input DC/DC

konverter tanpa metode MPPT, *duty cyclenya* dibuat tetap yaitu sebesar 0,3. Dengan metode P&O didapatkan hasil daya input konverter sebesar 83,06 Watt sedangkan pada konverter tanpa MPPT hanya dihasilkan daya input konverter sebesar 51,02 Watt. Kedua nilai ini merupakan besar daya input rata-rata pada posisi *tracking* daya maksimumnya.



Gambar 4. 44 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O dan Tanpa MPPT P&O

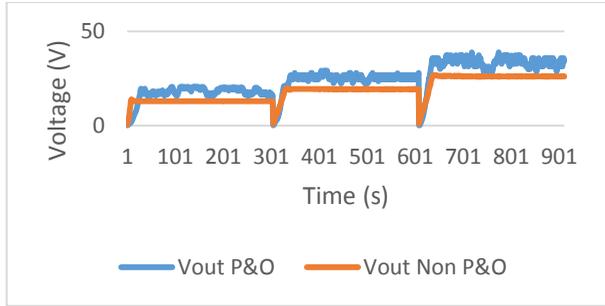
Gambar 4.45 merupakan grafik perbandingan daya input konverter pada tiga variasi kondisi kecepatan angin pada saat konverter menggunakan metode MPPT P&O. Didapatkan daya input terbesar yaitu 83,06 Watt pada kondisi kecepatan angin 8 m/s. Kemudian diikuti dengan daya input sebesar 45,37 Watt yang dihasilkan pada kondisi kecepatan angin 6 m/s. Sedangkan daya input terkecil 24,87 Watt yang didapatkan pada saat kecepatan angin sebesar 4 m/s. Dari hasil analisa ini dapat disimpulkan bahwa besar kecepatan angin berbanding lurus dengan besar daya yang dihasilkan.



Gambar 4.45 Perbandingan Daya Input Konverter Menggunakan MPPT P&O (Type 1 = 4 m/s, Type 2 = 6 m/s, Type 3 = 8 m/s)

Nilai tegangan input konverter akan mengalami perubahan hingga didapatkannya tegangan optimalnya yang disebabkan oleh metode tracking MPPT P&O. Sedangkan perubahan pada sisi tegangan output konverter terjadi karena dua faktor yaitu tegangan input konverter dan pengoperasian *duty cycle*. Tegangan output konverter dengan menggunakan algoritma P&O dapat menyesuaikan besar tegangannya agar tetap berada pada posisi optimal dengan cepat dan besar tegangan output relatif konstan apabila terjadi perubahan tegangan input konverter.

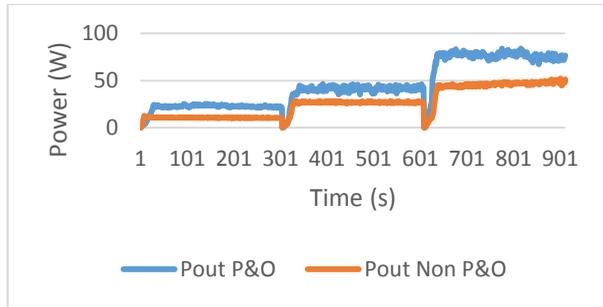
Pengoperasian *duty cycle* yang tetap menyebabkan konverter tidak dapat menyesuaikan tegangan input dan tegangan output pada nilai optimalnya. Pada saat terjadi perubahan kecepatan angin, konverter akan tetap bekerja pada *duty cycle* tertentu saja. Hal ini menyebabkan tegangan input dan tegangan output konverter tidak berada pada tegangan optimalnya. Selain itu, menjadikan besar tegangan output tidak konstan apabila terjadi perubahan tegangan input konverter.



Gambar 4. 46 Tegangan Output Konverter dengan Variasi Kecepatan Angin

Daya input akan mengalami perubahan apabila terjadi perubahan pada kecepatan angin. Daya input mengalami kenaikan pada nilai optimalnya yang diakibatkan oleh kenaikan kecepatan angin. Sedangkan besar daya output konverter dipengaruhi oleh besar daya input, *duty cycle*, dan efisiensi dari konverter sehingga grafiknya mengalami kenaikan dikarenakan terjadi kenaikan daya input.

Multi-input DC/DC konverter tanpa menggunakan algoritma P&O tidak dapat menempatkan tegangan dan arus pada titik optimal dikarenakan *duty cycle* disetting tetap. Sehingga konverter tanpa menggunakan algoritma P&O menghasilkan daya yang lebih kecil daripada konverter dengan algoritma P&O. Daya input mengalami kenaikan pada nilai optimalnya yang diakibatkan oleh kecepatan angin yang semakin besar. Besar daya output konverter dipengaruhi oleh besar daya input dan efisiensi dari konverter.



Gambar 4.47 Daya Output Konverter dengan Variasi Kecepatan Angin

4.6.3 Pengujian MPPT Multi-input DC/DC Konverter dengan Input PV dan Turbin Angin

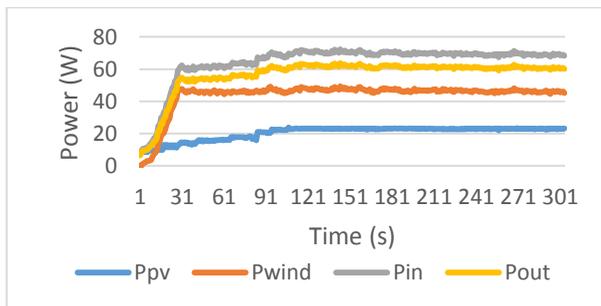
Pada proses pengujian dengan dua input daya, multi input DC/DC konverter akan beroperasi sesuai dengan mode kerja yang diakibatkan oleh penyalan *switching*. Mode tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.8. Kondisi dua input daya ini mengakibatkan konverter beroperasi sesuai dengan “Mode (c)”. Sumber tegangan dari kedua buah input PV dan turbin angin akan beroperasi secara seri. Kemudian dibutuhkan proses sinkronisasi dua buah arus dengan dilakukan pemisahan komponen kontrol MOSFET 1 dan MOSFET 2. Driver mosfet harus memiliki dua buah grounding arduino yang berbeda, dalam hal ini penulis menggunakan dua buah PC atau laptop. Dengan melakukan hal tersebut maka pengujian multi-input DC/DC konverter dengan dua buah input dapat dilakukan.

Pengujian ini dilakukan dengan menggabungkan input PV dengan tiga variasi iradian dan input turbin angin dengan tiga variasi kecepatan angin. Input turbin angin digantikan oleh generator DC sehingga kecepatan angin akan disesuaikan dengan putaran generator dalam RPM. Kecepatan putar generator DC akan menghasilkan daya output generator DC yang digunakan sebagai daya input konverter. Daya input konverter pada sisi PV tetap menggunakan modul PV yang akan berubah-ubah nilai

output dayanya sesuai dengan iradian pada proses pengujian. Beban yang digunakan pada saat pengujian adalah rheostat, namun tidak sesuai dengan beban penuh yang telah dilakukan perhitungan pada tahap desain. Hal ini dikarenakan generator DC memiliki rating arus sebesar 2 A, sehingga perlu dilakukan pembatasan pembebanan dan *duty cycle* agar tidak melebihi rating serta merusak generator DC yang digunakan. Ketiga pengujian ini menggunakan *duty cycle* pada kedua buah MOSFET maksimal sebesar 0,4. Masing-masing pengujian dilakukan perbandingan daya input yang diperoleh antara multi-input DC/DC konverter dengan menggunakan MPPT P&O dan tanpa menggunakan algoritma tersebut.

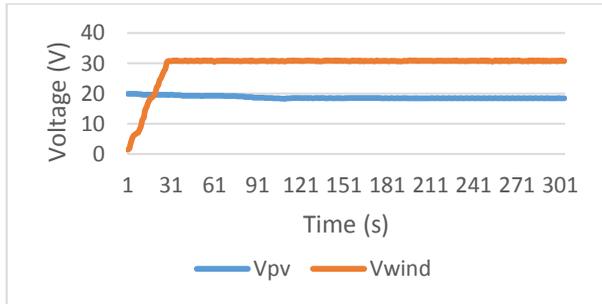
A. Input PV dengan iradian 327 W/m^2 dan Turbin Angin dengan Kecepatan Angin 4 m/s

Pengujian dilakukan pada sore hari sekitar pukul 16.00. Diasumsikan kecepatan angin 4 m/s akan menghasilkan kecepatan putar generator DC sebesar 400 RPM. Dari kedua input tersebut didapatkan daya input konverter yang diukur melalui sensor tegangan dan arus pada masing-masing sisi konverter. Pada Gambar 4.48 dapat dilihat daya input konverter pada masing-masing sisi inputan dan daya output konverter. Pada sisi input PV didapatkan daya input sebesar 22,93 Watt dan pada sisi input turbin angin didapatkan daya input sebesar 46,55. Dari kedua nilai tersebut dilakukan penjumlahan dan didapatkan daya input total sebesar 69,48 Watt. Kemudian didapatkan daya output konverter sebesar 61,14 Watt sehingga diperoleh efisiensi konverter sebesar 87%.



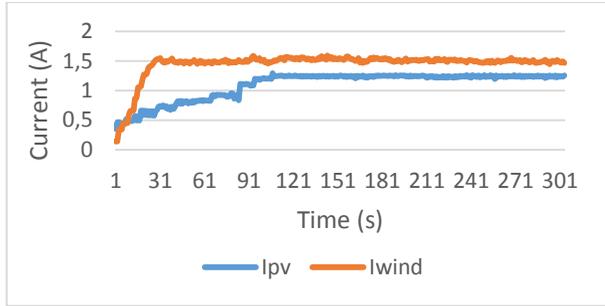
Gambar 4. 48 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter

Tegangan input konverter pada kedua sisi input akan mengalami perubahan nilai sesuai dengan perubahan *duty cycle* yang disebabkan oleh metode *tracking* MPPT P&O. Tegangan input pada sisi PV nilainya akan mengalami penurunan dari 19,94 V hingga mencapai tegangan optimalnya yaitu 18,47 V. Sedangkan tegangan input pada sisi turbin angin mengalami kenaikan hingga mencapai tegangan optimalnya yaitu 30,8V. Kedua tegangan tersebut akan mengalami osilasi di sekitar tegangan optimalnya.



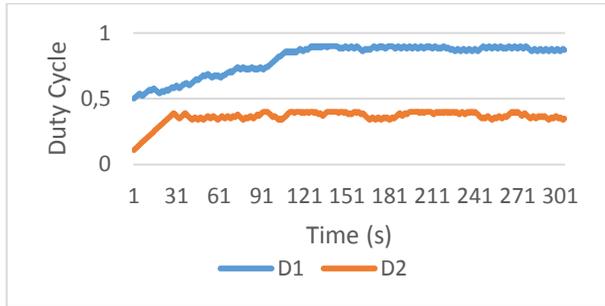
Gambar 4. 49 Grafik Tegangan Input Konverter

Arus input konverter akan mengalami perubahan sampai dengan didapatkannya arus optimal sesuai dengan metode *tracking* MPPT P&O. Terlihat dari Gambar 4.50 arus input pada sisi PV mengalami kenaikan dan akan mengalami osilasi pada arus optimalnya yaitu 1,24 A. Sedangkan pada sisi turbin angin arus juga naik dan berosilasi pada arus optimalnya yaitu sekitar 1,51 A.



Gambar 4. 50 Grafik Arus Input Konverter

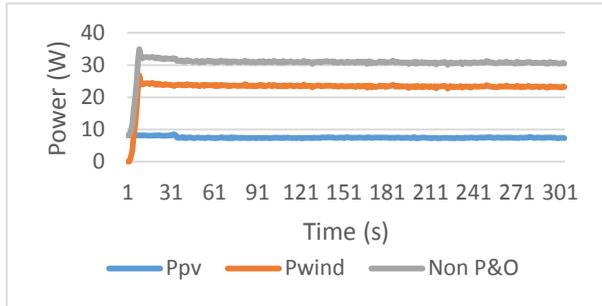
Metode *tracking* MPPT P&O menyebabkan *duty cycle* akan terus mengalami perubahan samapai didapatkannya daya maksimum sesuai inputannya. Terlihat pada Gambar 4.51 D1 atau *duty cycle* pada MOSFET1 naik secara perlahan menuju nilai 0,88. Sedangkan *duty cycle* pada MOSFET2 juga mengalami kenaikan dan mencapai *duty cycle* optimalnya yaitu sekitar 0,38. Kedua nilai *duty cycle* akan mengalami osilasi disekitar nilai didapatkannya *tracking* daya maksimum.



Gambar 4. 51 Grafik *Duty Cycle* Konverter

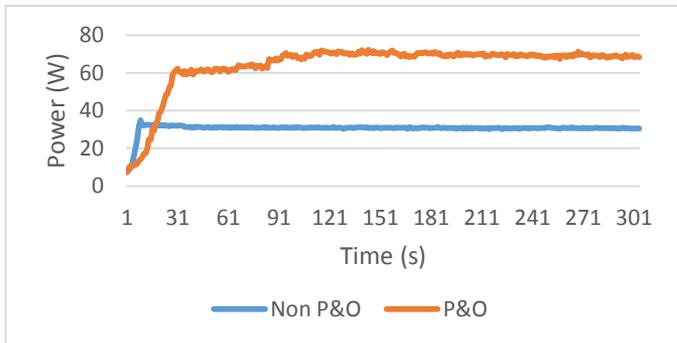
Gambar 4.52 merupakan grafik daya input pada saat multi-input DC/DC konverter beroperasi tanpa algoritma MPPT P&O. Dalam pengujian ini, *duty cycle* disetting tetap sehingga *duty cycle* pada MOSFET1 bernilai 0,5 dan pada MOSFET2 bernilai 0,3. Didapatkan hasil daya input pada sisi PV sebesar 7,43 Watt dan daya input pada sisi

turbin angin sebesar 23,32 Watt. Dari kedua nilai ini dijumlahkan untuk didapatkan nilai total daya input konverter tanpa menggunakan algoritma MPPT P&O sehingga didapatkan daya sebesar 30,76 Watt.



Gambar 4.52 Grafik Daya Input Konverter Tanpa MPPT P&O

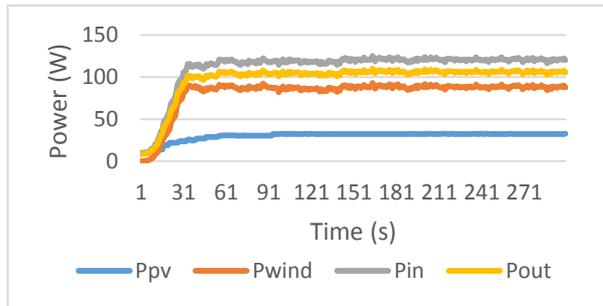
Gambar 4.53 merupakan grafik perbandingan daya input konverter antara multi-input DC/DC konverter dengan menggunakan metode MPPT P&O dan tanpa menggunakan metode tersebut. Dengan metode P&O didapatkan hasil daya input konverter sebesar 69,48 Watt sedangkan pada konverter tanpa MPPT hanya dihasilkan daya input konverter sebesar 30,76 Watt. Kedua nilai ini merupakan besar daya input rata-rata pada posisi *tracking* daya maksimumnya.



Gambar 4.53 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O dan Tanpa MPPT P&O

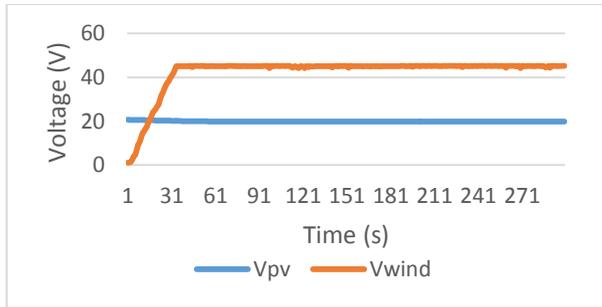
B. Input PV dengan iradian 545 W/m^2 dan Turbin Angin dengan Kecepatan Angin 6 m/s

Pengujian dilakukan pada pagi hari sekitar pukul 09.00. Kecepatan angin 6 m/s diasumsikan menghasilkan kecepatan putar generator DC sebesar 600 RPM . Daya input konverter yang didapatkan dari keadaan iradian matahari dan kecepatan angin diukur melalui sensor tegangan dan arus pada masing-masing sisi konverter. Pada Gambar 4.54 dapat dilihat daya input konverter pada masing-masing sisi inputan dan daya output konverter. Pada sisi input PV didapatkan daya input sebesar $32,35 \text{ Watt}$ dan pada sisi input turbin angin didapatkan daya input sebesar $88,46 \text{ Watt}$. Dari kedua nilai tersebut dilakukan penjumlahan dan didapatkan daya input total sebesar $120,81 \text{ Watt}$. Kemudian didapatkan daya output konverter sebesar $106,31 \text{ Watt}$ sehingga diperoleh efisiensi konverter sebesar 88% .



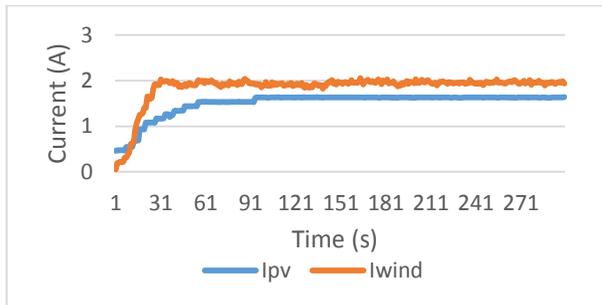
Gambar 4. 54 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter

Metode *tracking* MPPT P&O menyebabkan tegangan input konverter mengalami perubahan nilai sesuai dengan perubahan *duty cycle*-nya. Tegangan tersebut akan mengalami osilasi di sekitar tegangan optimalnya. Tegangan input pada sisi PV nilainya akan mengalami penurunan dari $20,76 \text{ V}$ hingga mencapai tegangan optimalnya yaitu $19,84 \text{ V}$. Sedangkan tegangan input pada sisi turbin angin mengalami kenaikan hingga mencapai tegangan optimalnya yaitu $45,14 \text{ V}$.



Gambar 4. 55 Grafik Tegangan Input Konverter

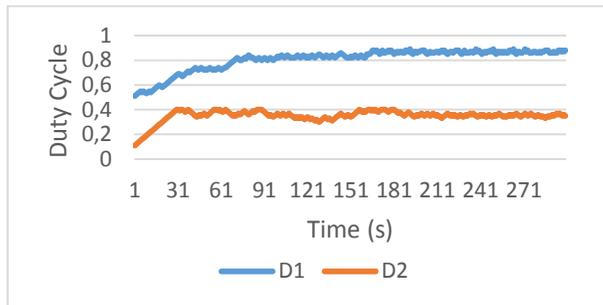
Perubahan pada arus input konverter karena metode *tracking* MPPT akan terus terjadi sampai didapatkannya arus optimal. Kemudian arus akan mengalami osilasi di sekitar nilai optimalnya. Hal ini sesuai dengan Gambar 4.56, arus input pada sisi PV mengalami kenaikan dan akan mengalami osilasi pada arus optimalnya yaitu 1,63 A. Sedangkan pada sisi turbin angin arus juga naik dan berosilasi pada arus optimalnya yaitu sekitar 1,96 A.



Gambar 4. 56 Grafik Arus Input Konverter

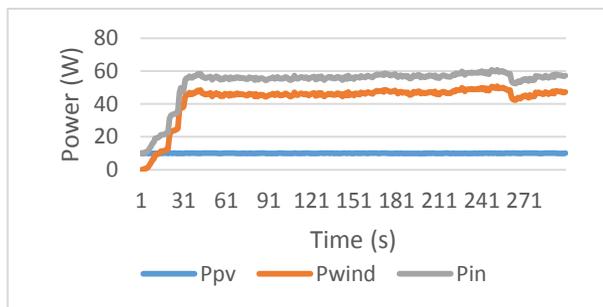
Duty cycle pada MOSFET1 dan MOSFET2 akan mengalami perubahan nilai sampai didapatkannya daya maksimum sesuai dengan inputannya. Setelah sampai pada nilai di sekitar *duty cycle* optimalnya, maka akan terjadi osilasi nilai *duty cycle*. Terlihat pada Gambar 4.57, D1 atau *duty cycle* pada MOSFET1 naik secara perlahan menuju nilai 0,86.

Sedangkan *duty cycle* pada MOSFET2 juga mengalami kenaikan dan mencapai *duty cycle* optimalnya yaitu sekitar 0,36.



Gambar 4.57 Grafik *Duty Cycle* Konverter

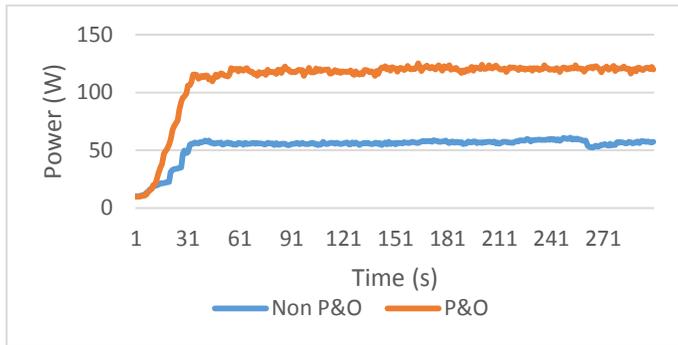
Pada Gambar 4.58 merupakan grafik daya input pada saat multi-input DC/DC konverter beroperasi tanpa algoritma MPPT P&O. Dalam pengujian ini, *duty cycle* disetting tetap sehingga *duty cycle* pada MOSFET1 bernilai 0,5 dan pada MOSFET2 bernilai 0,3. Didapatkan hasil daya input pada sisi PV sebesar 10,0 Watt dan daya input pada sisi turbin angin sebesar 47,17 Watt. Dari kedua nilai ini dijumlahkan untuk didapatkan nilai total daya input konverter tanpa menggunakan algoritma MPPT P&O sehingga didapatkan daya sebesar 57,17 Watt.



Gambar 4.58 Grafik Daya Input Konverter Tanpa MPPT P&O

Sesuai dengan Gambar 4.59, konverter dengan metode P&O mendapatkan hasil daya input konverter sebesar 120,81 Watt sedangkan

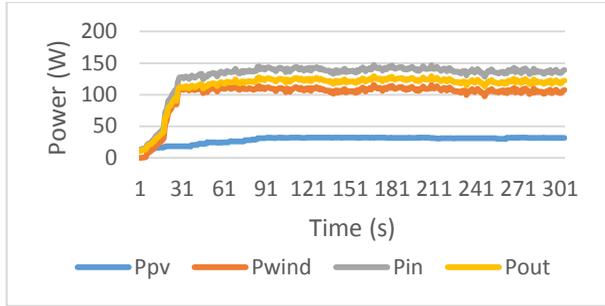
pada konverter tanpa MPPT hanya menghasilkan daya input konverter sebesar 57,17 Watt. Kedua nilai ini merupakan besar daya input rata-rata pada posisi *tracking* daya maksimumnya.



Gambar 4. 59 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O dan Tanpa MPPT P&O

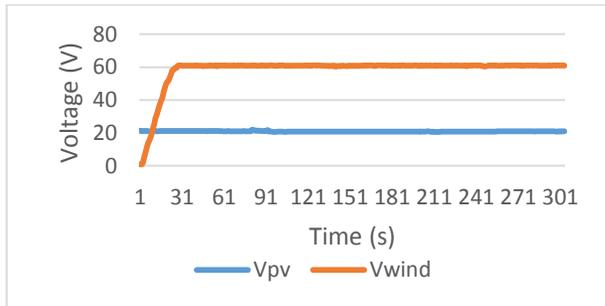
C. Input PV dengan iradian 954 W/m^2 dan Turbin Angin dengan Kecepatan Angin 8 m/s

Pengujian dilakukan pada pagi hari sekitar pukul 11.00. Diasumsikan kecepatan angin 8 m/s akan menghasilkan kecepatan putar generator DC sebesar 800 RPM . Dari kedua input tersebut didapatkan daya input konverter yang diukur melalui sensor tegangan dan arus pada masing-masing sisi konverter. Sesuai dengan Gambar 4.60, pada sisi input PV didapatkan daya input sebesar $31,37 \text{ Watt}$ dan pada sisi input turbin angin didapatkan daya input sebesar $107,27 \text{ Watt}$. Dari kedua nilai tersebut dilakukan penjumlahan dan didapatkan daya input total sebesar $138,64 \text{ Watt}$. Kemudian didapatkan daya output konverter sebesar $122,0 \text{ Watt}$ sehingga diperoleh efisiensi konverter sebesar 88% .



Gambar 4. 60 Grafik Daya Input dan Daya Output Konverter

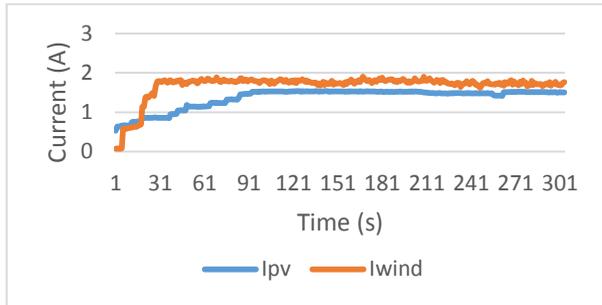
Tegangan input konverter pada kedua sisi input akan mengalami perubahan nilai sesuai dengan perubahan *duty cycle* yang disebabkan oleh metode *tracking* MPPT P&O. Tegangan input pada sisi PV nilainya akan mengalami penurunan yaitu mulai dari 21,35 V hingga mencapai tegangan optimalnya yaitu 20,84 V. Sedangkan tegangan input pada sisi turbin angin mengalami kenaikan hingga mencapai tegangan optimalnya yaitu 60,91 V. Kedua tegangan tersebut akan mengalami osilasi di sekitar tegangan optimalnya.



Gambar 4. 61 Grafik Tegangan Input Konverter

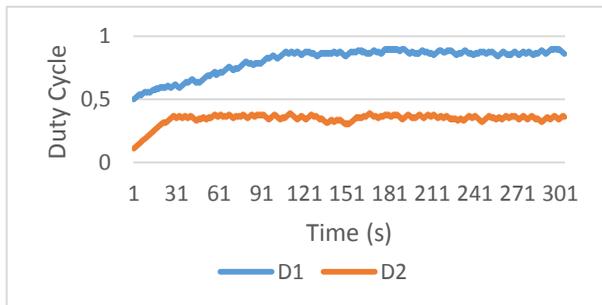
Metode *tracking* MPPT P&O menyebabkan arus input konverter akan mengalami perubahan sampai dengan didapatkannya arus optimal dan akan berosilasi di sekitar arus optimal tersebut. Terlihat dari Gambar 4.62 arus input pada sisi PV mengalami kenaikan dan akan mengalami

osilasi pada arus optimalnya yaitu 1,51 A. Sedangkan pada sisi turbin angin arus naik dan berosilasi pada arus optimalnya yaitu sekitar 1,76 A.



Gambar 4. 62 Grafik Arus Input Konverter

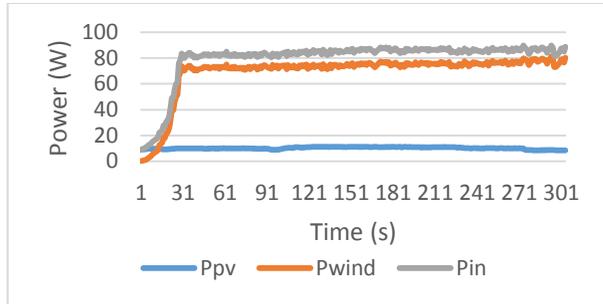
Dengan digunakannya metode *tracking* MPPT P&O maka akan terjadi perubahan nilai pada *duty cycle*. Perubahan tersebut terus terjadi sampai didapatkan nilai optimalnya. Sesuai dengan Gambar 4.63, D1 atau *duty cycle* pada MOSFET1 naik secara perlahan menuju nilai 0,87. Sedangkan *duty cycle* pada MOSFET2 juga mengalami kenaikan dan mencapai *duty cycle* optimalnya yaitu sekitar 0,35. Kedua nilai *duty cycle* akan mengalami osilasi disekitar nilai didapatkannya *tracking* daya maksimum.



Gambar 4. 63 Grafik *Duty Cycle* Konverter

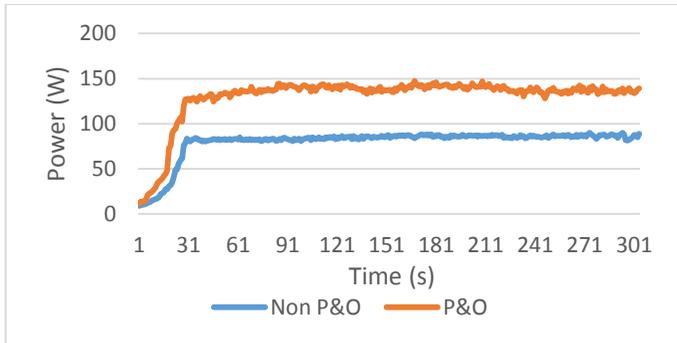
Dalam pengujian ini, *duty cycle* pada kedua MOSFET disetting tetap sehingga *duty cycle* pada MOSFET1 bernilai 0,5 dan pada MOSFET2

bernilai 0,3. Didapatkan hasil daya input pada sisi PV sebesar 10,31 Watt dan pada sisi turbin angin sebesar 75,95 Watt. Dari kedua nilai ini dijumlahkan untuk didapatkan nilai total daya input konverter tanpa menggunakan algoritma MPPT P&O sehingga didapatkan daya sebesar 86,25 Watt.



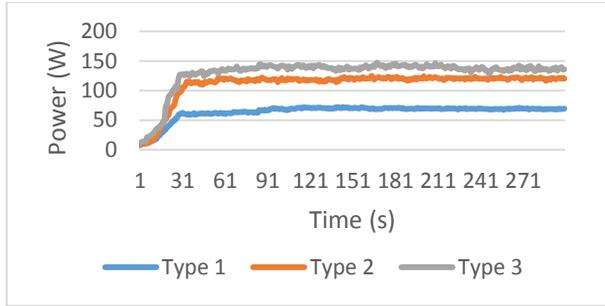
Gambar 4. 64 Grafik Daya Input Konverter Tanpa MPPT P&O

Sesuai dengan Gambar 4.65 maka terlihat bahwa multi-input DC/DC konverter dengan menggunakan metode MPPT P&O menghasilkan daya input lebih besar daripada multi-input DC/DC konverter tanpa metode tersebut. Didapatkan hasil daya input konverter dengan menggunakan MPPT sebesar 138,64 Watt sedangkan pada konverter tanpa MPPT hanya dihasilkan daya input konverter sebesar 86,25 Watt. Kedua nilai ini merupakan besar daya input rata-rata pada posisi *tracking* daya maksimumnya.



Gambar 4. 65 Grafik Perbandingan Daya Input Konverter dengan MPPT P&O dan Tanpa MPPT P&O

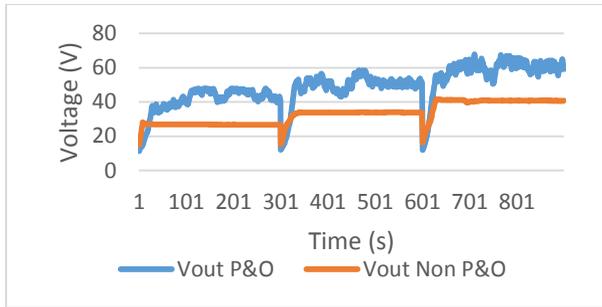
Grafik pada Gambar 4.66 merupakan perbandingan daya input konverter dengan tiga variasi kondisi iradian matahari dan kecepatan angin pada saat konverter beroperasi dengan algoritma MPPT P&O. Didapatkan daya input terbesar pada saat kondisi iradian 954 W/m^2 kecepatan angin 8 m/s yaitu sebesar $138,64 \text{ Watt}$. Kemudian diikuti dengan daya input dihasilkan pada kondisi iradian 545 W/m^2 dan kecepatan angin 6 m/s yaitu sebesar $120,81 \text{ Watt}$. Sedangkan daya input terkecil didapatkan pada saat kondisi iradian 327 W/m^2 dan kecepatan angin sebesar 4 m/s yaitu sebesar $69,48 \text{ Watt}$. Dari hasil analisa ini dapat disimpulkan bahwa besar iradian dan kecepatan angin berbanding lurus dengan besar daya yang dihasilkan.



Gambar 4. 66 Perbandingan Daya Input Konverter Menggunakan MPPT P&O (Type 1 = 327 W/m^2 and 4 m/s, Type 2 = 545 W/m^2 and 6 m/s, Type 3 = 954 W/m^2 and 8 m/s)

Masing-masing MOSFET bekerja dengan *duty cycle* yang sesuai dengan kondisi input konverter. Besar *duty cycle* pada MOSFET 1 sesuai dengan kondisi iradian, dan *duty cycle* pada MOSFET 2 sesuai dengan kondisi kecepatan angin. Melalui metode tracking MPPT P&O, *duty cycle* akan terus mengalami perubahan sampai didapatkan nilai tegangan input konverter yang optimal. Sedangkan tegangan output konverter akan berubah-ubah sesuai dengan besar tegangan input konverter dan pengoperasian *duty cycle*. Algoritma P&O pada multi-input DC/DC konverter menjadikan tegangan output konverter mendapatkan nilai optimalnya lebih cepat dan besar tegangan output relatif konstan apabila terjadi perubahan tegangan input konverter.

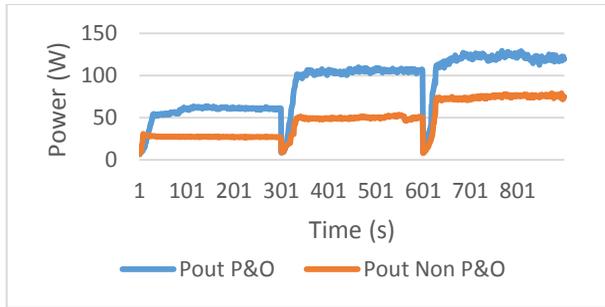
Pengoperasian *duty cycle* yang tetap menyebabkan konverter tidak dapat menyesuaikan tegangan input dan tegangan output pada nilai optimalnya. Pada saat terjadi perubahan iradian dan kecepatan angin, konverter akan tetap bekerja pada *duty cycle* tertentu saja. Hal ini menyebabkan tegangan input dan tegangan output konverter tidak berada pada tegangan optimalnya. Selain itu, menjadikan besar tegangan output tidak konstan apabila terjadi perubahan tegangan input konverter.



Gambar 4. 67 Tegangan Output Konverter dengan Variasi Iradian dan Kecepatan Angin

Daya input akan mengalami perubahan apabila terjadi perubahan pada nilai iradian dan kecepatan angin. Daya input mengalami kenaikan pada nilai optimalnya yang diakibatkan oleh kenaikan iradian dan kecepatan angin. Sedangkan besar daya output konverter dipengaruhi oleh besar daya input, *duty cycle*, dan efisiensi dari konverter sehingga grafiknya mengalami kenaikan dikarenakan terjadi kenaikan daya input.

Besar daya input dan daya output multi-input DC/DC konverter tanpa menggunakan algoritma P&O lebih kecil daripada konverter dengan algoritma P&O. Daya input mengalami kenaikan pada nilai optimalnya yang diakibatkan oleh penambahan nilai irradiansi dan kecepatan angin. Sedangkan besar daya output konverter dipengaruhi oleh besar daya input dan efisiensi dari konverter. Konverter tanpa menggunakan algoritma P&O tidak dapat menempatkan tegangan dan arus pada titik optimal dikarenakan *duty cycle* disetting tetap. Hal ini menyebabkan daya yang dihasilkan tidak maksimal.



Gambar 4. 68 Daya Output Konverter dengan Variasi Iradian dan Kecepatan Angin

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari proses desain, simulasi, dan implementasi maka dapat diperoleh kesimpulan untuk penelitian ini dengan topik *Maximum Power Point Tracking* berbasis algoritma *Peturb and Observe* untuk sistem *hybrid photovoltaic*/turbin angin sebagai berikut:

1. Penggunaan *Maximum Power Point Tracking* berbasis algoritma *Peturb and Observe* pada multi-input DC/DC konverter dapat memaksimalkan daya output panel surya dan turbin angin
2. Daya yang dihasilkan multi-input DC/DC konverter menggunakan metode MPPT P&O lebih besar daripada multi-input DC/DC konverter tanpa menggunakan metode tersebut.
3. Pada saat konverter diberikan input PV, daya yang dihasilkan multi-input DC/DC konverter menggunakan metode MPPT P&O lebih banyak 35,45% dibandingkan tanpa menggunakan metode tersebut
4. Pada saat konverter diberikan input turbin angin, daya yang dihasilkan multi-input DC/DC konverter menggunakan metode MPPT P&O lebih banyak 38,55% dibandingkan tanpa menggunakan metode tersebut
5. Pada saat konverter diberikan input PV dan turbin angin, daya yang dihasilkan multi-input DC/DC konverter menggunakan metode MPPT P&O lebih banyak 37,78% dibandingkan tanpa menggunakan metode tersebut

5.2 Saran

Saran yang diberikan penulis untuk penelitian ini yang diharapkan dapat memperbaiki dan mengembangkan penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Pengujian input turbin angin dilakukan sesuai dengan peralatan yang memenuhi sehingga hasil yang diperoleh lebih lengkap dan sesuai dengan tahap simulasi dan desain.
2. Pengaturan kalibrasi sensor arus dan tegangan lebih diperhatikan lagi karena sangat berpengaruh dalam proses *tracking* MPPT.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1]A. Yafaoui, B. Wu, dan R. Cheung, “IMPLEMENTATION OF *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* ALGORITHM FOR RESIDENTIAL *PHOTOVOLTAIC* SYSTEMS,” hlm. 6, 2007.
- [2]C. Liu, B. Wu, dan R. Cheung, “ADVANCED ALGORITHM FOR MPPT CONTROL OF *PHOTOVOLTAIC* SYSTEMS,” hlm. 7, 2004.
- [3]S. Utami, “Implementasi Algoritma Perturb and Observe untuk Mengoptimasi Daya Keluaran Solar Cell Menggunakan MPPT,” *J. INFOTEL*, vol. 9, no. 1, hlm. 92, Feb 2017.
- [4]Y.-M. Chen, Y.-C. Liu, S.-C. Hung, dan C.-S. Cheng, “Multi-Input Inverter for Grid-Connected *Hybrid PV/Wind Power System*,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 3, hlm. 1070–1077, Mei 2007.
- [5]J. Hui, A. Bakhshai, dan P. K. Jain, “A *hybrid* wind-solar energy system: A new rectifier stage topology,” dalam *2010 Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Palm Springs, CA, 2010, hlm. 155–161.
- [6]D. A. Ernadi dan M. Pujiantara, “Desain *Maximum Power Point Tracking* Untuk Turbin Angin Menggunakan Modified Perturb & Observe (P&O) Berdasarkan Prediksi Kecepatan Angin,” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, hlm. B265–B271, Sep 2016.
- [7]A. Haque, “*Maximum Power Point Tracking* (MPPT) Scheme for Solar *Photovoltaic* System,” *Energy Technol. Policy*, vol. 1, no. 1, hlm. 115–122, Jan 2014.
- [8]D. Kumar dan K. Chatterjee, “A review of conventional and advanced MPPT algorithms for wind energy systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 55, hlm. 957–970, Mar 2016.
- [9]G. J. Yu, Y. S. Jung, J. Y. Choi, dan G. S. Kim, “A novel two-mode MPPT control algorithm based on comparative study of existing algorithms,” *Sol. Energy*, vol. 76, no. 4, hlm. 455–463, Apr 2004.

- [10]A. Mohapatra, B. Nayak, P. Das, dan K. B. Mohanty, “A review on MPPT techniques of PV system under partial shading condition,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 80, hlm. 854–867, Des 2017.
- [11]C.-M. Hong, T.-C. Ou, dan K.-H. Lu, “Development of intelligent MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) control for a grid-connected hybrid power generation system,” *Energy*, vol. 50, hlm. 270–279, Feb 2013.
- [12]J.-A. Jiang, T.-L. Huang, Y.-T. Hsiao, dan C.-H. Chen, “Maximum Power Tracking for *Photovoltaic* Power Systems,” hlm. 7.
- [13]B. Lahfaoui, S. Zouggar, B. Mohammed, dan M. L. Elhafyani, “Real Time Study of P&O MPPT Control for Small Wind PMSG Turbine Systems Using Arduino Microcontroller,” *Energy Procedia*, vol. 111, hlm. 1000–1009, Mar 2017.

LAMPIRAN

1. Program MPPT P&O pada arduino

```
const int
Ioutsense=A0,Voutsense=A1,Iinpv=A2,Vinpv=A3,I
inwindsense=A4,Vinwindsense=A5;
double
Vsampinpv=0,Vsampinwind=0,Vsampout=0,Isampinpv=0,Isa
mpinwind=0,Isampout=0;
double
VavgInpv,VavgInwind,VavgOut,IavgInpv,IavgInwind,IavgOut
,Iinvampspv,Iinvampswind,Iovamps;
double
Vinpv,Vinwind,Vout,Iinpv,Iinwind,Iout,Pinpv,Pinwind,Pintot,
Pout;
double
v00=0,v01=0,p00=0,p01=0,dvA=0,dvB=0,dpA=0,dpB=0;
int
Vrawinpv,Vrawinwind,Vrawout,Irawinpv,Irawinwind,Irawout;
int ACSoffset=2500;
int mVperAmp=87;
int iterasi=1000;
float D1=0.5,delD1=0.01,D2=0.5,delD2=0.01;

void sensing()
{
  Vsampinpv =0;
  Vsampinwind =0;
  Vsampout =0;
  Isampinpv =0;
  Isampinwind =0;
  Isampout =0;

  for(int i=0;i<iterasi;i++)
```

```

{
  Vrawinpv  = analogRead(Vinpvsense);
  Vrawinwind = analogRead(Vinwindsense);
  Vrawout   = analogRead(Voutsense);
  Irawinpv  = analogRead(Iinpvsense);
  Irawinwind = analogRead(Iinwindsense);
  Irawout   = analogRead(Ioutsense);

  Vsampinpv += Vrawinpv;
  Vsampinwind += Vrawinwind;
  Vsampout  += Vrawout;
  Isampinpv += Irawinpv;
  Isampinwind += Irawinwind;
  Isampout  += Irawout;
  delayMicroseconds(100);
}

VavgInpv  = Vsampinpv/iterasi;
VavgInwind = Vsampinwind/iterasi;
VavgOut   = Vsampout/iterasi;
IavgInpv  = Isampinpv/iterasi;
IavgInwind = Isampinwind/iterasi;
IavgOut   = Isampout/iterasi;

Vinp      = VavgInpv*52/1023.0;
Vinwind   = VavgInwind*100/1023.0;
Vout      = VavgOut*43/1023.0;
Iinvampspv = (IavgInpv/1023.0)*5000;
Iinvampswind = (IavgInwind/1023.0)*5000;
Iovamps    = (IavgOut/1023.0)*5000;
Iinpv     = (Iinvampspv - ACSoffset) / mVperAmp;
Iinwind   = (Iinvampswind - ACSoffset) / mVperAmp;
Iout      = (Iovamps - ACSoffset) / mVperAmp;

Pinpv     = Vinpv*Iinpv;
Pinwind   = Vinwind*Iinwind;

```

```

    Pintot    = Pinwind+Pinpv;
    Pout      = Vout*Iout;
}

void pno()
{
    sensing();
    dvA = Vinpv-v00;
    dpA = Pinpv-p00;
    dvB = Vinwind-v01;
    dpB = Pinwind-p01;

    if(dpA>0)
    {
        if(dvA >= 0) D1 += delD1;
        else D1 -= delD1;
    }
    else if(dpA<0)
    {
        if(dvA >= 0) D1 -= delD1;
        else D1 += delD1;
    }

    v00=Vinpv;
    p00=Pinpv;

    if(dpB>0)
    {
        if(dvB >= 0) D2 += delD2;
        else D2 -= delD2;
    }
    else if(dpB<0)
    {
        if(dvB >= 0) D2 -= delD2;
        else D2 += delD2;
    }
}

```

```

}

v01=Vinwind;
p01=Pinwind;

if (D1<=0.1)D1=0.1;
else if (D1>=0.9)D1=0.9;
if (D2<=0.1)D2=0.1;
else if (D2>=0.9)D2=0.9;
OCR1A=D1*400;
OCR1B=D2*400;
}

void disp()
{
  Serial.print("Vin PV = ");
  Serial.print(Vinpv,3);
  Serial.print("\t");
  Serial.print("Vin Wind = ");
  Serial.print(Vinwind,3);
  Serial.print("\t");
  Serial.print("Vout = ");
  Serial.print(Vout,3);
  Serial.print("\t");
  Serial.print("Iin PV = ");
  Serial.print(Iinpv,3);
  Serial.print("\t");
  Serial.print("Iin Wind = ");
  Serial.print(Iinwind,3);
  Serial.print("\t");
  Serial.print("Iout = ");
  Serial.print(Iout,3);
  Serial.print("\t");
  Serial.print("Pin PV = ");
  Serial.print(Pinpv,3);
  Serial.print("\t");

```

```

Serial.print("Pin WIND = ");
Serial.print(Pinwind,3);
Serial.print("\t");
Serial.print("Pin TOT = ");
Serial.print(Pintot,3);
Serial.print("\t");
Serial.print("Pout TOT = ");
Serial.print(Pout,3);
Serial.print("\t ");
Serial.print("D1 = ");
Serial.print(D1,2);
Serial.print("\t");
Serial.print("D2 = ");
Serial.print(D2,2);
Serial.println(" ");
}

void setup() {
// put your setup code here, to run once:
Serial.begin(9600);
//Set pin 9 and 10 as output pwm signal
pinMode(9, OUTPUT);
pinMode(10, OUTPUT);
//Set phase/frequency correct mode non-inverting mode
TCCR1A = _BV(COM1A1) | _BV(COM1B1) ;
//Select mode 8 and select divide by 8 on main clock
TCCR1B = _BV(WGM13) | _BV(CS10);
ICR1 = 400; //50kHz freq calculation = 16M/(2*ICR1 or
TOP)
}

void loop(){
// Assign values to OCR Registers, which output the PWM
duty cycle. (max 255/1023 still dont know)
sensing();
pno();
}

```

```

OCR1A=200;
OCR1B=200;
disp();
}

```

2. Program MPPT P&O pada PSIM

a. *Block* MPPT pada input PV

```

static double Vpv,Ipv,Ppv,P0=0,v0=0,dp,dv,vref,vmod;
static int i;
Vpv=x1;
Ipv=x2;

void pno()
{
Ppv=Vpv*Ipv;
dp=Ppv-P0;
dv=Vpv-v0;

if(dp>0)
{
if(dv>0)vref=vref+0.01;
else vref=vref-0.01;
}

else if(dp<0)
{
if(dv>0) vref=vref-0.01;
else vref=vref+0.01;

}

vmod=Vpv-vref;
if(vmod >= 0.9) y1=0.9;
else if(vmod <= 0) y1 = 0;
else y1=vmod;
v0=Vpv;

```

```
P0=Ppv;  
}
```

```
pno());
```

b. *Block* MPPT pada input tutbin angin

```
static double
```

```
Vwind,Iwind,Pwind,P0=0,v0=0,dp,dv,vref,vmod;
```

```
static int i;
```

```
Vwind=x1;
```

```
Iwind=x2;
```

```
void pno()
```

```
{  
    Pwind=Vwind*Iwind;  
    dp=Pwind-P0;  
    dv=Vwind-v0;
```

```
    if(dp>0)
```

```
    {  
        if(dv>0)vref=vref+0.01;  
        else vref=vref-0.01;  
    }
```

```
    else if(dp<0)
```

```
    {  
        if(dv>0) vref=vref-0.01;  
        else vref=vref+0.01;
```

```
    }
```

```
    vmod=Vwind-vref;
```

```
    if(vmod >= 0.4) y1=0.4;
```

```
    else if(vmod <= 0) y1 = 0;
```

```
    else y1=vmod;
```

```
    v0=Vwind;
```

```
P0=Pwind;  
}  
  
pno();
```

BIODATA PENULIS



Hilman Ridho, dengan nama panggilan Hilman. Lahir di Kota Madiun pada tanggal 31 Oktober 1997. Tetapi besar di Kota Malang. Riwayat pendidikan penulis yaitu SD Negeri Sukun 3 Malang, SMP Negeri 3 Malang, SMA Negeri 1 Malang, dan berkuliah di Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis memiliki hobi futsal dan mendaki. Aktif di berbagai kegiatan akademik dan non akademik. Menjadi Asisten di Laboratorium Konversi Energi Listrik sejak memasuki perkuliahan semester ke lima. Penulis juga aktif menjadi bagian dari organisasi BEM ITS selama tiga tahun. Memiliki motto hidup “Urip Iku Urup” yaitu hidup untuk menghidupi orang lain. Perihal untuk diskusi lebih lanjut dapat menghubungi email : ridho.hlmn@gmail.com