



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

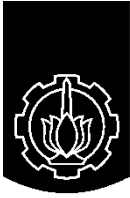
TUGAS AKHIR - EE 184801

DESAIN DAN IMPLEMENTASI MPPT BERBASIS *FUZZY LOGIC CONTROLLER* UNTUK SUPLAI INVERTER YANG TERHUBUNG POMPA AIR

Kurniawan Dwi Saputra
NRP 0711164000057

Dosen Pembimbing
Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.

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



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

DESAIN DAN IMPLEMENTASI MPPT BERBASIS *FUZZY LOGIC CONTROLLER* UNTUK SUPLAI INVERTER YANG TERHUBUNG POMPA AIR

Kurniawan Dwi Saputra
NRP 0711164000057

Dosen Pembimbing
Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.

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 MPPT *FUZZY*
LOGIC CONTROLLER FOR INVERTER SUPPLY
CONNECTED TO WATER PUMP**

Kurniawan Dwi Saputra
NRP 0711164000057

Supervisors

Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics 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 *MPPT* BERBASIS *FUZZY LOGIC CONTROLLER* UNTUK SUPLAI INVERTER YANG TERHUBUNG POMPA AIR**” 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, Juli 2020

Kurniawan Dwi Saputra
0711164000057

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI MPPT BERBASIS FUZZY
LOGIC CONTROLLER UNTUK SUPLAI INVERTER YANG
TERHUBUNG POMPA AIR**

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



**SURABAYA
JULI, 2020**

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI *MPPT BERBASIS FUZZY*
LOGIC CONTROLLER UNTUK SUPLAI INVERTER YANG
TERHUBUNG POMPA AIR**

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



Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198006032006041003

**SURABAYA
JULI, 2020**

DESAIN DAN IMPLEMENTASI MPPT BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROLLER UNTUK SUPLAJ INVERTER YANG TERHUBUNG POMPA AIR

Kurniawan Dwi Saputra
0711164000057

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

Dosen Pembimbing 2 : Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Pada masa kini penerapan sumber energi terbarukan seperti *Photovoltaic* (PV) sangat populer karena sumber energinya tidak terbatas dan bebas emisi. Salah satu contoh penerapannya adalah sebagai suplai bagi Pompa Air. Pada penerapannya nilai daya yang dihasilkan oleh PV sangat berpengaruh, dikarenakan semakin optimal daya yang dihasilkan oleh sel surya maka semakin optimal juga air yang dapat dipompa oleh Pompa Air. Namun PV adalah sumber energi non-linier yang daya *output*nya berubah bergantung irradiansi dan temperatur sekitar. Oleh karena itu diperlukan suatu metode untuk mengoptimalkan daya yang dikeluarkan oleh PV. Metode ini dinamakan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Penggunaan MPPT dengan algoritma konvensional seperti *Perturb and Observe* (P&O) memiliki respon yang lambat serta osilasi pada saat berada di daya maksimal. Pada penelitian ini akan dirancang sebuah MPPT dengan algoritma *Fuzzy Logic Controller* (FLC) sehingga dapat mempercepat respon sistem terhadap perubahan beban dan dapat mengurangi osilasi yang terjadi saat daya maksimal. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan sehingga mendapatkan hasil efisiensi energi MPPT FLC dengan perubahan iradiasi sebesar 98.9% (simulasi) atau 97.62% (implementasi) dan perubahan beban sebesar 98.8% (simulasi) atau 96.51% (implementasi). Penggunaan MPPT FLC ketika dihubungkan Pompa Air memiliki total debit air rata-rata lebih banyak dibandingkan tanpa MPPT dengan rasio perbandingan 1.58:1. Sehingga penggunaan MPPT dengan algoritma FLC menghasilkan respon dan efisiensi energi yang lebih baik.

Kata Kunci : *Photovoltaic*, Pompa Air, *MPPT*, *Fuzzy Logic Controller*

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF MPPT *FUZZY LOGIC* CONTROLLER FOR INVERTER SUPPLY CONNECTED TO WATER PUMP

Kurniawan Dwi Saputra
0711164000057

1st Advisor : Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.
2nd Advisor : Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

At present the application of renewable energy sources such as Photovoltaic (PV) is very popular because the energy sources are unlimited and free of emissions. One example of its application is as a supply for water pumps. In this application the value of the power produced by solar cells is very influential, because the more optimal the power produced by solar cells, the more optimal the water that can be pumped by this water pump. However PV is a non-linear energy source whose *output* power changes depending on irradiance and ambient temperature. Therefore we need a method to optimize the power released by the PV. This method is called MPPT (Maximum Power Point Tracking). The use of MPPT with conventional algorithms such as Perturb and Observe (P&O) has a slow response and oscillations when in maximum power. In this study an MPPT will be designed with the *Fuzzy Logic Controller* (FLC) algorithm so that it can accelerate the system's response to load changes and can reduce oscillations that occur when maximum power is available. From the results of research that has been done so as to get the MPPT FLC energy efficiency results with irradiation changes of 98.9% (simulation) or 97.62% (implementation) and load changes of 98.8% (simulation) or 96.51% (implementation). The use of MPPT FLC when connected to a Water Pump has an average total water flow more than without MPPT with a ratio of 1.58: 1. So that the use of MPPT with the FLC algorithm produces better response and energy efficiency.

Key Word: *Photovoltaic*, Water Pump, *MPPT*, *Fuzzy Logic Controller*

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, serta kelancaran dalam menyelesaikan buku penelitian yang berjudul : **Desain dan Implementasi MPPT berbasis *Fuzzy Logic Controller* untuk suplai inverter yang terhubung Pompa Air**. Buku ini penulis persembahkan khususnya untuk keluarga penulis dan umumnya untuk bahan referensi penelitian selanjutnya.

Selama penulisan penelitian ini tentunya penulis mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak yang telah mendukung dan membimbing penulis. Kasih yang tulus serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Orang tua yang senantiasa memberikan motivasi dan doa kepada penulis selama menempuh pendidikan.
2. Bapak Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan dan bimbingan sehingga buku penelitian ini dapat diselesaikan dengan sebaik mungkin.
3. Teman-teman asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik yang selalu memberikan dukungan dimanapun dan kapanpun berada.
4. Teman-teman e56 yang telah berjuang bersama semenjak awal masuk perkuliahan.
5. Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis mengucapkan terima kasih atas segala doa dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis selama ini. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan buku penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa Teknik Elektro ITS pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2020

Kurniawan Dwi Saputra

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan	5
1.7 Relevansi	6
BAB 2 TEKNOLOGI PHOTOVOLTAIC DENGAN MPPT YANG TERHUBUNG POMPA AIR	7
2.1 Photovoltaic	7
2.1.1 Pemodelan Panel Surya	7
2.1.2 Pengaruh Iradian dan Temperatur	10
2.2 MPPT (<i>Maximum Power Point Tracking</i>)	11
2.2.1 Algoritma <i>Perturb and Observe</i> (P&O)	12
2.2.2 Algoritma <i>Fuzzy Logic Controller</i> (FLC)	13
2.3 Konverter <i>Boost</i>	18

2.4	Inverter Satu Fasa.....	23
2.5	Pompa Air	24
BAB 3 DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI		27
3.1	Permodelan Blok Sistem	27
3.2	Diagram Alir	28
3.3	Desain Konverter <i>Boost</i>	28
3.3.1	Penentuan Nilai <i>Duty cycle</i>	30
3.3.2	Penentuan Nilai Resistansi Beban	30
3.3.3	Penentuan Nilai Induktor.....	31
3.3.4	Penentuan Nilai Kapasitor.....	33
3.3.5	Penentuan Nilai Dioda.....	34
3.3.6	Penentuan Nilai MOSFET.....	34
3.4	Parameter Inverter.....	35
3.5	Parameter Pompa Air	36
3.6	Parameter Algoritma <i>Fuzzy Logic Controller</i>	38
3.7	Simulasi Sistem.....	44
3.7.1	Simulasi Algoritma MPPT dengan Iradiasi Berubah dan Beban Konstan	46
3.7.2	Simulasi Algoritma MPPT dengan Iradiasi Konstan dan Beban Berubah.....	51
3.8	Simulasi Sistem MPPT Berbasis <i>Fuzzy Logic Controller</i> yang terhubung Inverter untuk Suplai Pompa Air.....	55
3.8.1	Simulasi Sistem dengan berbagai nilai Perubahan Iradiasi	62
3.9	Implementasi sistem MPPT <i>Fuzzy Logic Controller</i>	66
3.9.1	Komponen pada MPPT	67
3.9.2	Pengujian Alat.....	71
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		73
4.1	Pengujian Konverter <i>Boost</i>	73

4.1.1	Pengujian Sinyal MOSFET	73
4.1.2	Pengujian Sinyal Induktor	74
4.1.3	Pengujian Efisiensi Konverter	75
4.2	Pengujian Sensor Arus dan Tegangan.....	76
4.2.1	Sensor Arus	76
4.2.2	Sensor Tegangan	77
4.3	Kurva Karakteristik PV	78
4.4	Pengujian MPPT Dengan Iradiasi Konstan Dan Beban Konstan	79
4.5	Pengujian MPPT Dengan Iradiasi Berubah Dan Beban Konstan.....	82
4.6	Pengujian MPPT Dengan Iradiasi Konstan dan Beban Berubah	89
4.7	Perbandingan antara Simulasi dan Implementasi	97
BAB 5 PENUTUP		99
5.1	Kesimpulan	99
5.2	Saran	99
DAFTAR PUSTAKA		101
LAMPIRAN		103
BIODATA PENULIS		110

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian Ekuivalen PV.....	8
Gambar 2.2 Contoh Kurva Karakteristik PV	10
Gambar 2.3 Pengaruh Iradiasi dan Temperatur pada PV	10
Gambar 2.4 Kurva <i>Maximum Power Point</i> (MPP)	11
Gambar 2.5 Arsitektur dasar MPPT.....	12
Gambar 2.6 Flowchart Algoritma P&O	13
Gambar 2.7 Arsitektur dasar <i>Fuzzy Logic Controller</i>	15
Gambar 2.8 Fungsi Keanggotaan dari logika <i>Fuzzy</i>	15
Gambar 2.9 Zona pada aturan <i>fuzzy</i> [8].....	16
Gambar 2.10 Rangkaian Konverter <i>Boost</i>	18
Gambar 2.11 Rangkaian Konverter <i>Boost</i> saat Mode 1	19
Gambar 2.12 Rangkaian Konverter <i>Boost</i> saat mode 2.....	19
Gambar 2.13 Bentuk gelombang arus dan tegangan saat kondisi CCM	20
Gambar 2.14 Rangkaian Inverter Fullbridge satu fasa.....	23
Gambar 3.1 Blok Sistem MPPT yang terhubung Inverter untuk suplai Pompa Air	27
Gambar 3.2 Diagram Alir Metode Penelitian	28
Gambar 3.3 Prinsip Kerja MPPT FLC	39
Gambar 3.4 Grafik Plot nilai $E(k)$	39
Gambar 3.5 Grafik Plot nilai $CE(k)$	40
Gambar 3.6 Fungsi Keanggotaan Variabel $E(k)$	41
Gambar 3.7 Fungsi Keanggotaan Variabel $CE(k)$	41
Gambar 3.8 Fungsi Keanggotaan Variabel μ_B	42
Gambar 3.9 Simulasi <i>Rule Viewer Fuzzy</i> 1.....	43
Gambar 3.10 Simulasi <i>Rule Viewer Fuzzy</i> 2.....	44
Gambar 3.11 Skema MPPT pada <i>software</i> simulink	45
Gambar 3.12 Skema perhitungan $E(k)$ dan $CE(k)$ pada <i>software</i> simulink	45
Gambar 3.13 Blok <i>Fuzzy Logic Controller</i> pada <i>software</i> simulink	46
Gambar 3.14 Kurva karakteristik PV dengan iradiasi beragam	46
Gambar 3.15 Grafik daya Perubahan Iradian dengan algoritma P&O ..	47
Gambar 3.16 Grafik daya Perubahan Iradian dengan algoritma FLC ...	47
Gambar 3.17 Grafik <i>Duty cycle</i> perubahan iradian dengan algoritma P&O	48
Gambar 3.18 Grafik <i>Duty cycle</i> perubahan iradian dengan algoritma FLC	49

Gambar 3.19 Grafik Tegangan PV perubahan iradian dengan algoritma P&O	50
Gambar 3.20 Grafik Tegangan PV perubahan iradian dengan algoritma FLC	50
Gambar 3.21 Grafik daya perubahan beban dengan menggunakan algoritma P&O	51
Gambar 3.22 Grafik daya perubahan beban dengan menggunakan algoritma FLC	52
Gambar 3.23 <i>Duty cycle</i> Perubahan Beban dengan menggunakan algoritma P&O	53
Gambar 3.24 Tegangan PV Perubahan Beban dengan menggunakan algoritma P&O	53
Gambar 3.25 <i>Duty cycle</i> Perubahan Beban dengan menggunakan algoritma FLC	54
Gambar 3.26 Tegangan PV Perubahan Beban dengan menggunakan algoritma FLC	54
Gambar 3.27 Rangkaian sistem secara keseluruhan.....	56
Gambar 3.28 Daya PV yang terhubung dengan Pompa air Dengan MPPT FLC	57
Gambar 3.29 Daya PV yang terhubung dengan Pompa air Tanpa MPPT	57
Gambar 3.30 Total Debit air yang dihasilkan Pompa Air	58
Gambar 3.31 Kecepatan motor yang terhubung dengan Pompa air Dengan MPPT FLC	59
Gambar 3.32 Kecepatan motor yang terhubung dengan Pompa air Tanpa MPPT	59
Gambar 3.33 Tegangan PV yang terhubung dengan Pompa air Dengan MPPT FLC	60
Gambar 3.34 Tegangan PV yang terhubung dengan Pompa air Tanpa MPPT	60
Gambar 3.35 Arus PV yang terhubung dengan Pompa air Dengan MPPT	61
Gambar 3.36 Arus PV yang terhubung dengan Pompa air Tanpa MPPT	61
Gambar 3.37 Gelombang rangkaian secara keseluruhan. (a) Gelombang kecepatan motor (b) Gelombang debit air (c) Gelombang total debit air	62

Gambar 3.38 Gelombang rangkaian secara keseluruhan. (a) Gelombang daya maksimal dan daya PV (b) Gelombang duty cycle (c) Gelombang tegangan PV (d) Gelombang arus PV	64
Gambar 3.39 Grafik daya yang dihasilkan terhadap perubahan iradiasi	65
Gambar 3.40 Grafik kecepatan motor yang dihasilkan terhadap perubahan iradiasi.....	65
Gambar 3.41 Grafik debit air yang dihasilkan terhadap perubahan iradiasi	66
Gambar 3.42 Rangkaian konverter secara keseluruhan	66
Gambar 3.43 Rangkaian Konverter <i>Boost</i> dengan software Eagle	67
Gambar 3.44 Arduino Nano.....	68
Gambar 3.45 MOSFET IRFP 4227 (Kiri) dan IC TLP250 (Kanan)	68
Gambar 3.46 Dioda MUR1560	69
Gambar 3.47 Induktor jenis 0077548A7.....	69
Gambar 3.48 MULTITURN 10K(Kiri) dan ACS712 20A (Kanan)	70
Gambar 3.49 Implementasi rangkaian Konverter <i>Boost</i> (Kiri) dan Pengujian Efisiensi Konverter <i>Boost</i> (kanan)	71
Gambar 3.50 Tes Suhu Cell menggunakan Infrared (Kiri) dan Tes Iradiasi menggunakan PV 3WP dengan Amperemeter (Kanan).....	72
Gambar 4.1 Sinyal <i>switching</i> pada MOSFET	73
Gambar 4.2 Sinyal pada MOSFET V_{GS} dan arus Induktor I_L	74
Gambar 4.3 Pengujian Efisiensi <i>konverter boost</i>	75
Gambar 4.4 Kurva karakteristik arus dan tegangan PV	78
Gambar 4.5 Kurva karakteristik daya dan tegangan PV	79
Gambar 4.6 Grafik daya PV tanpa perubahan dengan Algoritma P&O	80
Gambar 4.7 Grafik daya PV tanpa perubahan dengan Algoritma FLC.	80
Gambar 4.8 Grafik tegangan <i>output</i> tanpa perubahan dengan Algoritma P&O	81
Gambar 4.9 Grafik tegangan <i>output</i> tanpa perubahan dengan Algoritma P&O	81
Gambar 4.10 Perubahan iradian terhadap waktu.....	82
Gambar 4.11 Grafik daya PV perubahan iradian dengan algoritma P&O	83
Gambar 4.12 Grafik <i>duty cycle</i> perubahan iradian dengan algoritma P&O	84
Gambar 4.13 Grafik tegangan PV perubahan iradian dengan algoritma P&O	84
Gambar 4.14 Grafik daya PV perubahan iradian dengan algoritma FLC	85

Gambar 4.15 Grafik <i>duty cycle</i> perubahan iradian dengan algoritma P&O	86
Gambar 4.16 Grafik <i>duty cycle</i> perubahan iradian dengan algoritma P&O	86
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan daya PV perubahan iradian dengan algoritma P&O dan FLC	87
Gambar 4.18 Grafik daya PV perubahan iradian dengan algoritma P&O dengan pergeseran sudut 45°	88
Gambar 4.19 Grafik daya PV perubahan iradian dengan algoritma FLC dengan pergeseran sudut 45°	89
Gambar 4.20 Perubahan nilai resistansi pada pengujian perubahan beban	90
Gambar 4.21 Grafik Daya PV perubahan beban dengan algoritma P&O	91
Gambar 4.22 Grafik <i>duty cycle</i> perubahan beban dengan algoritma P&O	92
Gambar 4.23 Grafik tegangan PV perubahan beban dengan algoritma P&O	92
Gambar 4.24 Grafik tegangan output perubahan beban dengan algoritma P&O	93
Gambar 4.25 Grafik daya PV perubahan beban dengan algoritma FLC	94
Gambar 4.26 Grafik <i>duty cycle</i> perubahan beban dengan algoritma FLC	95
Gambar 4.27 Grafik tegangan PV perubahan beban dengan algoritma FLC	95
Gambar 4.28 Grafik tegangan <i>output</i> perubahan beban dengan algoritma FLC	96
Gambar 4.29 Grafik Perbandingan daya PV perubahan beban dengan algoritma P&O dan FLC	96

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Contoh <i>Rule Table Fuzzy</i>	16
Tabel 2.2 Rasio tabulasi torsi dan kecepatan	25
Tabel 3.1 Spesifikasi PV	29
Tabel 3.2 Datasheet inverter satu fasa SDA-1000B	35
Tabel 3.3 Parameter Pompa Air	36
Tabel 3.4 Rasio Torsi dan Kecepatan Pompa.....	37
Tabel 3.5 <i>Rule Table Fuzzy</i>	41
Tabel 3.6 Data hasil sistem perubahan iradiasi secara keseluruhan	64
Tabel 3.7 Tabel Parameter Sistem	70
Tabel 4.1 Pengujian Sensor Arus	76
Tabel 4.2 Pengujian Sensor Tegangan	77
Tabel 4.3 Perbandingan nilai antara simulasi dan implementasi	97

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan teknologi dan semakin pesatnya pertumbuhan jumlah penduduk mengakibatkan kebutuhan energi dari tahun ke tahun semakin meningkat, namun berbanding terbalik dengan sumber daya fosil yang mulai menipis. Selain itu penggunaan energi dengan sumber daya fosil menghasilkan emisi karbon yang dapat memberikan dampak buruk terhadap lingkungan. Sehingga banyak penelitian yang bertujuan untuk menemukan dan memaksimalkan energi alternatif. Salah satu yang menjadi pusat perhatian khalayak umum adalah *Photovoltaic* (PV) , karena PV bisa mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik yang bersih tanpa polusi dan sumber dayanya tidak terbatas. Di masa depan energi cahaya matahari akan menjadi salah satu sumber energi yang sangat penting, lebih dari 45% penduduk di seluruh dunia akan mulai menggunakan PV sebagai penghasil energi listrik[1]. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah peralatan khusus untuk mengurangi biaya serta dapat meningkatkan daya yang dihasilkan oleh PV.

Pada dasarnya PV adalah sumber daya non-linier alami dimana memiliki kurva karakteristik I-V atau P-V sangat bergantung pada kondisi iradiansi dan temperatur yang selalu berubah. Jadi untuk meningkatkan daya *output* PV dan efisiensi dengan maksimal sehingga pada kurva karakteristik P-V harus bisa mencapai titik maksimal atau disebut *Maximum Power Point* (MPP). Salah satu cara supaya PV selalu pada titik MPP maka bisa menggunakan konverter yang dikontrol algoritma yang disebut *Maximum Power Point Tracking* (MPPT)[2]. Algoritma pada MPPT akan mengontrol agar konverter dapat mengondisikan tegangan kerja pada PV untuk selalu berada di titik daya maksimalnya. Jenis algoritma MPPT yang umum sering digunakan ialah metode *Perturb and Observe* (P&O), karena metode ini cukup sederhana dan kontrolnya mudah namun tidak efisien dari segi waktu dan memiliki rugi-rugi besar. Kekurangan metode ini ialah saat *steady state*, nilai daya *output* berosilasi di sekitar titik puncak daya sehingga memiliki rugi-rugi yang cukup besar. Metode P&O tidak bisa mengeluarkan daya secara maksimal ketika terjadi perubahan cuaca yang sangat cepat. Salah satu aplikasi yang bisa dimanfaatkan dari PV adalah *Solar Water Pump*[3]. Sistem ini sering

digunakan sebagai solusi untuk memenuhi kebutuhan air di daerah yang belum mendapatkan akses listrik dengan cara memanfaatkan pompa air yang terhubung dengan PV. *Solar Water Pump* sendiri bekerja berdasarkan daya yang dihasilkan dari PV, semakin maksimal daya yang dihasilkan PV maka semakin besar debit air yang dapat dipompa.

Oleh karena itu untuk memaksimalkan panel surya diperlukan kontrol MPPT berbasis *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dengan respon yang cepat dan dapat menyesuaikan dengan lingkungan sehingga daya luaran PV dapat dimanfaatkan dengan maksimal[4]. Pada penelitian ini akan dikaji tentang MPPT berbasis FLC pada benda yang memiliki iradiansi yang tidak konstan, beban yang berubah dan perbandingan antara algoritma yang digunakan dalam MPPT.

1.2 Rumusan Masalah

Pompa air adalah salah satu peralatan elektronika yang sangat sering digunakan sehari-hari, salah satu contohnya adalah *solar water pump*. Dalam penggunaannya yang terus menerus membutuhkan sebuah alat untuk menghemat biaya penggunaan listrik, yaitu *photovoltaic* (PV). Sehingga untuk memaksimalkan penggunaan pompa air diperlukan sebuah alat bantu yaitu *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Namun dalam penggunaannya masih menggunakan MPPT berbasis *Perturb And Observe* (P&O) yang mana masih memiliki rugi-rugi yang cukup besar.

Oleh karena itu dengan dengan penggunaan MPPT berbasis *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dengan respon yang cepat dan dapat menyesuaikan dengan lingkungan sehingga panel surya dapat dimanfaatkan dengan maksimal. Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah mendesain dan mengimplementasikan MPPT berbasis FLC untuk suplai inverter yang terhubung Pompa Air.

1.3 Tujuan

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Mendesain dan mengimplementasikan MPPT berbasis algoritma *Fuzzy Logic Controller*
2. Mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan MPPT berbasis algoritma *Fuzzy Logic Controller* untuk Suplai Inverter yang Terhubung Pompa Air.

3. Membandingkan dan menganalisa hasil dengan MPPT berbasis algoritma *Fuzzy Logic Controller* terhadap hasil desain simulasi pada perangkat lunak.

1.4 Batasan Masalah

1. Implementasi konverter *boost* untuk aplikasi MPPT menggunakan komponen – komponen yang terdapat di pasaran.
2. Pengujian Inverter dan Pompa air yang digunakan pada penelitian menggunakan simulasi *software* Matlab2015a.
3. Beban direpresentasikan dengan resistor variabel yang resistansinya bisa diubah untuk mendapatkan perubahan daya.
4. Analisa dan perhitungan dilakukan pada kondisi ideal.
5. Pengujian dilakukan di lingkungan Departemen Teknik Elektro dengan menggunakan peralatan yang terdapat di Laboratorium Konversi Energi Listrik B101.

1.5 Metodologi

Penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa langkah yaitu sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Mempelajari berbagai macam literatur yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini baik dengan sumber berupa buku teks, paper atau jurnal, prosiding, dan laman internet. Salah satunya adalah mempelajari prinsip kerja dari MPPT berbasis FLC. Pada proses ini juga mempelajari perhitungan secara matematis dari logika *fuzzy*. Sehingga untuk mengaplikasikan MPPT berbasis FLC juga perlu mempelajari rangkaian konverter *boost*.
2. Penentuan Spesifikasi Sistem
Tahap penelitian ini dilanjutkan dengan menentukan spesifikasi sistem berupa spesifikasi dari Modul *Photovoltaic* (Daya maksimum P_{MPP} , Arus Maksimum I_{MPP} , tegangan maksimum V_{MPP} , arus hubung singkat I_{SC} , dan tegangan terbuka V_{OC}), spesifikasi rangkaian konverter *boost*, dan spesifikasi dari Pompa Air.
3. Pemodelan Sistem
Tahap selanjutnya adalah memodelkan sistem berupa permodelan modul *Photovoltaic*, Konverter *Boost* dan

dihubungkan dengan inverter satu fasa untuk suplai Pompa Air. Dengan melakukan pemodelan dapat diketahui karakteristik modul *Photovoltaic* dan konverter *boost* sebagai dasar untuk merancang sistem MPPT berbasis FLC.

4. Perancangan *Fuzzy Logic Controller*

Tahap ini kita merancang MPPT berbasis *FLC* berdasarkan karakteristik yang diperoleh dari tahap sebelumnya. Perancangan *FLC* meliputi penentuan variabel *input* dan *output*, perolehan dan pemilahan pasangan data *input-output*, dan penentuan jumlah dan jenis fungsi keanggotaan (*membership function*).

5. Simulasi MPPT berbasis *FLC*

Pada tahap ini dilakukan simulasi dari sistem *Photovoltaic* berbasis *FLC* yang dihubungkan inverter satu fasa untuk suplai Pompa Air menggunakan bantuan *software* yaitu SIMULINK atau PSIM berdasarkan hasil studi literatur yang telah dilakukan. Dalam proses desain alat dan simulasi ini, nilai yang akan digunakan pertimbangan dari nilai komponen yang ada sehingga mendapatkan nilai tegangan *output* yang dihasilkan dapat sesuai dengan nilai yang diinginkan. Parameter nilai komponen yang digunakan dalam simulasi ini merupakan nilai komponen ideal tanpa memperhatikan rugi-rugi. Data hasil simulasi yang didapatkan akan dijadikan data pembandingan dari pengerjaan alat yang akan dikerjakan oleh Penulis.

6. Realisasi MPPT berbasis *FLC*

Selanjutnya adalah dilakukan tahap realisasi dari simulasi yang telah dibuat. Realisasi sistem MPPT berbasis *FLC* berupa perancangan dan pengujian sub-sistem berupa perangkat pengukuran tegangan dan arus, perancangan konverter *boost*, dan implementasi *FLC* pada mikrokontroler. Proses akhir dari tahap ini adalah integrasi dari sub-sistem menjadi perangkat purwarupa MPPT berbasis *FLC*.

7. Pengujian dan Implementasi Alat

Setelah realisasi dan implementasi sistem secara keseluruhan telah dilaksanakan, tahapan penelitian selanjutnya adalah melakukan pengujian sistem secara keseluruhan. Apabila untuk kerja sistem sudah sesuai dengan kriteria yang diharapkan maka proses akuisisi data mulai dilakukan.

8. Pengambilan dan Analisa Data
Hasil pengujian alat yang telah dilakukan akan dianalisa terhadap data yang didapatkan dari proses simulasi. Dan selanjutnya penulis akan menganalisa perbedaan hasil yang didapatkan dari proses simulasi dengan alat yang telah dibuat.
9. Penyusunan Laporan
Hasil data yang telah didapatkan dan melalui proses analisa data sehingga dapat menjadi dasar utama kita untuk melakukan sebuah penulisan dan pembuatan kesimpulan.

1.6 Sistematika Penulisan

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

Bab 1 : Pendahuluan

Berisi penjelasan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi terhadap Tugas Akhir ini.

Bab 2 : Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi teori penunjang yang membahas tentang MPPT, karakteristik panel surya, *Fuzzy Logic Controller*, konverter *boost*, inverter satu fasa, dan karakteristik Pompa Air.

Bab 3 : Desain, Simulasi dan Implementasi

Bab ini membahas mengenai perancangan sistem MPPT secara matematis, simulasi menggunakan perangkat lunak dan implementasi MPPT dengan panel surya.

Bab 4 : Pengujian dan Analisis Data

Bab ini berisi pengujian dan analisis data terhadap hasil pengujian rangkaian dari konverter *boost*, pengujian performa dari MPPT *Fuzzy Logic Controller*.

Bab 5 : Penutup

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

1.7 Relevansi

Penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

1. Dapat diaplikasikannya dalam pemanfaatan *Photovoltaic* untuk sumber energi masa depan dengan dihubungkan dengan inverter yang telah tersambung pompa air yang efisien dan hemat energi
2. Menjadi referensi bagi mahasiswa yang akan mengerjakan penelitian dengan topik energi terbarukan terutama *Photovoltaic*.

BAB 2

TEKNOLOGI *PHOTOVOLTAIC* DENGAN MPPT YANG TERHUBUNG POMPA AIR

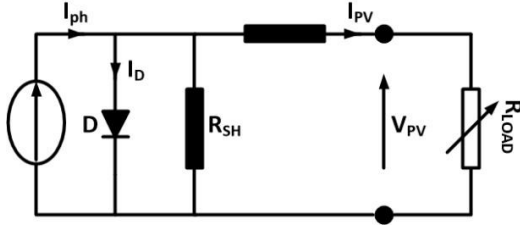
2.1 Photovoltaic

Photovoltaic (PV) merupakan sebuah alat yang dapat mengubah energi dari cahaya menjadi energi listrik berupa tegangan dan arus searah (DC). PV umumnya terbuat dari bahan semi-konduktor atau polimer. Teknologi yang digunakan sangat erat hubungannya dengan teknologi *solid-state* yang digunakan dalam pembuatan transistor, dioda dan peralatan semikonduktor yang lain. Material ini memiliki karakteristik yaitu dapat menghasilkan arus listrik dengan cara melepaskan elektron terluar dari sebuah atom dengan menggunakan energi yang diambil dari foton yang memiliki panjang gelombang tidak lebih dari 1,11 μm [5].

PV merupakan sebuah sumber arus, yang memiliki daya keluaran yang bergantung pada intensitas cahaya matahari serta temperatur lingkungan. Semakin besar intensitas cahaya matahari maka arus yang mengalir dari panel surya akan besar dan berbanding terbalik dengan temperatur. Pada aplikasinya PV tidak pernah bekerja hanya dengan menggunakan satu sel saja, sehingga dalam aplikasinya sel-sel PV disusun dan dikonfigurasi menjadi sebuah modul PV. Dalam sebuah modul PV terdapat 36 sel yang disusun secara seri, sehingga dapat menghasilkan energi yang lebih besar. Sistem PV dapat dibagi menjadi dua kategori, diantaranya sistem *stand-alone* dan terhubung pada grid. Untuk sistem *stand-alone*, PV langsung dihubungkan dengan beban tanpa terhubung dengan listrik dari PLN sehingga rangkaian lebih sederhana.

2.1.1 Pemodelan Panel Surya

Pemodelan sederhana dari sebuah PV yaitu rangkaian yang terdiri dari p-n junction diode yang dirangkai paralel dengan sumber arus dan dimana sumber arus sebanding dengan iradiasi matahari. Gambar rangkaian ekuivalen dapat dilihat di Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rangkaian Ekuivalen PV

Sumber arus menghasilkan keluaran listrik (I_{ph}) ketika disinari cahaya. Pada pemodelan PV yang tidak ideal, terdapat komponen resistif seri (R_s) dan paralel (R_{sh}). Resistansi seri menyebabkan drop tegangan dan resistansi paralel menggambarkan adanya arus bocor yang menuju ground.[6]

Dari gambar rangkaian ekuivalen tersebut dengan menggunakan hukum kirchoff 1, maka didapatkan persamaan :

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

Dimana,

I_{ph} = Arus yang dibangkitkan oleh sinar matahari

I_d = Arus yang melewati dioda

I_{sh} = Arus bocor

Nilai arus yang dibangkitkan oleh sinar matahari (I_{ph}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$I_{ph} = \frac{[I_{sc} + Ki(T - 298)]}{1000} \beta \quad (2.2)$$

Dimana,

I_{sh} = Arus short circuit (A)

Ki = Koefisien temperature

T = Temperatur lingkungan (K)

β = Iradiasi (W/m^2)

Nilai arus yang mengalir pada diode (I_d) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$I_d = I_s \left(e^{\frac{q(V+R_s I)}{A k T}} - 1 \right) \quad (2.3)$$

Dimana,

I_s = Arus saturasi dioda (A)

q = Muatan elektron ($1.602 \times 10^{-19}\text{C}$)

V = Tegangan panel surya (V)

R_s = Resistansi seri (Ω)

A = Faktor idealitas P-N junction

k = Konstanta Boltzman ($1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)

T = Temperatur (K)

Nilai arus bocor (I_{sh}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

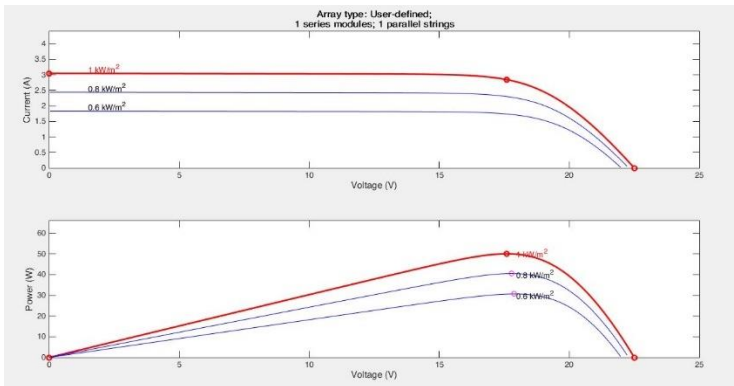
$$I_{sh} = \frac{V + I R_s}{R_{sh}} \quad (2.4)$$

Dari persamaan diatas sehingga didapatkan hubungan matematis untuk mencari persamaan arus *output* dari PV yaitu,

$$I = \frac{[I_{sc} + K_i(T - 298)]}{1000} \beta - I_s \left(e^{\frac{q(V+R_s I)}{A k T}} - 1 \right) - \frac{V + I R_s}{R_{sh}} \quad (2.5)$$

Dengan persamaan diatas, PV memiliki karakteristik hubungan arus dan tegangan tertentu. Hubungan karakteristik arus dan tegangan tersebut digambarkan dalam bentuk kurva. Selain itu terdapat juga hubungan antara daya dengan tegangan seperti pada Gambar 2.2.

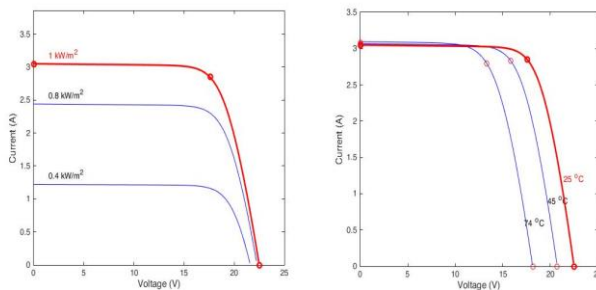
Berdasarkan kurva karakteristik yang dihasilkan, tampak nilai puncak maksimum dari PV dapat berubah-ubah mengikuti nilai iradiasi.



Gambar 2.2 Contoh Kurva Karakteristik PV

2.1.2 Pengaruh Iradian dan Temperatur

Perubahan iradiasi dan temperatur dapat berakibat bergesernya kurva I-V pada panel surya. Pergeseran Kurva I-V dapat dilihat pada Gambar 2.3. Berdasarkan persamaan arus *output* pada PV dapat dilihat bahwa arus sebanding dengan suhu, sehingga peningkatan suhu akan berakibat dengan meningkatnya arus dan menyebabkan tegangan *open circuit* berkurang. Sehingga untuk selalu mendapatkan nilai daya maksimum dari PV, harus diperhatikan nilai dari iradiansi dan suhu lingkungan.

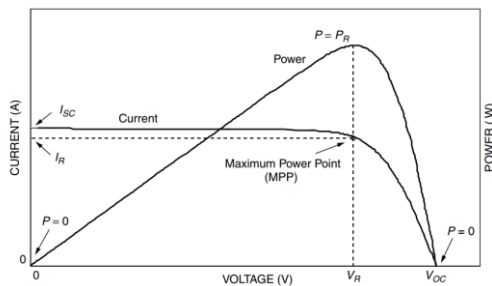


Gambar 2.3 Pengaruh Iradiansi dan Temperatur pada PV

2.2 MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

Pembuatan teknologi energi terbarukan meningkat pesat dalam beberapa tahun terakhir dimana untuk memenuhi kebutuhan listrik dunia yang semakin meningkat. Oleh karena itu hampir seluruh negara berupaya menerapkan program hemat energi yaitu dengan menggunakan energi terbarukan salah satu contohnya adalah pemanfaatan energi matahari. Untuk mengaplikasikannya menjadi sebuah energi listrik, energi matahari diolah menggunakan alat yaitu *photovoltaic* (PV).

Namun efisiensi yang dihasilkan dari PV masih sangat rendah sekali yaitu sebesar 18% - 20% dan sangat dipengaruhi oleh iradiasi dan suhu lingkungan. Hal ini dikarenakan PV adalah salah satu sumber energi *nonlinear*. Oleh karena itu dibutuhkan suatu metode supaya daya yang dihasilkan oleh PV selalu maksimal atau pada titik MPP (*Maximum Power Point*) [6].

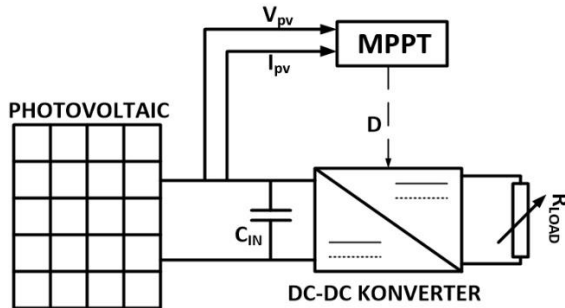


Gambar 2.4 Kurva *Maximum Power Point* (MPP)

Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah sebuah metode untuk mengetahui titik daya optimal atau MPP dengan menggunakan perhitungan atau algoritma *tracking*. MPPT digunakan untuk mendapatkan daya maksimum dari panel surya pada suhu dan iradiasi matahari yang berubah serta menjaga agar titik kerja PV pada titik MPP saat terjadi perubahan kondisi lingkungan. Kontrol tegangan MPPT menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) atau lebar pulsa (*duty cycle*) melalui rangkaian konverter DC-DC.

Prinsip kerja dari MPPT adalah dengan mengatur tegangan kerja pada PV. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah konverter DC-DC untuk

mengatur tegangan PV supaya dititik MPP. Arsitektur dasar dari sistem MPPT pada PV terdiri dari konverter DC-DC yang terletak diantara panel surya dan beban agar dapat mencapai pembebanan maksimal.



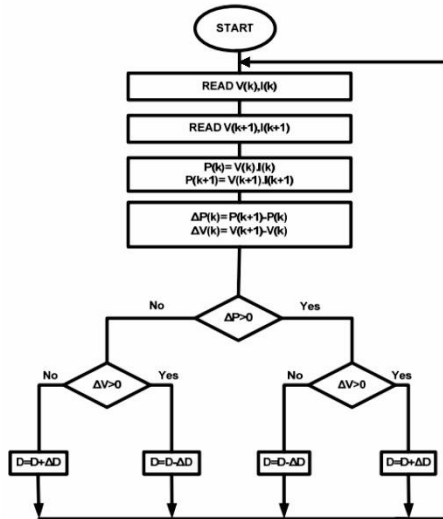
Gambar 2.5 Arsitektur dasar MPPT

Dalam penggunaannya MPPT dibagi menjadi dua jenis yaitu *Conventional* MPPT dan *Intelegent* MPPT. *Conventional* MPPT merupakan metode yang cocok digunakan ketika irradiansinya tidak berubah atau seragam. Metode ini sederhana dan mudah untuk digunakan namun tidak bisa digunakan saat kondisi *partial shading*. Metode *Conventional* MPPT diantara lain adalah *Perturb and Observe* (P&O), *Hill Climbing*, *Incremental Conductance*, *short circuit current*, *open circuit voltage*, dan *ripple correlation control*. Selanjutnya *Intelegent* MPPT merupakan metode yang berbasis kecerdasan buatan yang mampu bekerja saat kondisi *partial shading*. Metode *Intelegent* MPPT diantara lain adalah *Fuzzy Logic Controller* (FLC), *Artificial Neural Network* (ANN), *Particle Swarm Optimization* (PSO), dan *Genetic Algorithm* [7].

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

Algoritma P&O adalah salah satu metode yang sering digunakan dalam penggunaan MPPT karena aplikasinya yang sederhana serta biaya implementasinya yang murah. Prinsip kerja dari algoritma P&O adalah dengan mengubah *duty cycle* dari konverter yang digunakan. Pengambilan keputusan didasarkan pada dua hal yaitu perubahan daya dan tegangan. Kemudian sistem membandingkan perhitungan daya saat ini dengan sebelumnya untuk menentukan pengaturan *duty cycle* selanjutnya[8]. Dengan merubah *duty cycle* dari konverter menyebabkan

peningkatan atau penurunan nilai tegangan dan daya sehingga dapat dicari titik MPP-nya dengan mengetahui sistem beroperasi pada daerah kiri atau kanan titik MPP. Flowchart dari algoritma P&O dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Flowchart Algoritma P&O

Sistem MPPT dengan menggunakan algoritma P&O masih memiliki kekurangan yaitu dalam kecepatan untuk melacak titik maksimalnya dan memiliki osilasi yang cukup besar ketika berada pada kondisi *steady state*. Hal tersebut sangat merugikan karena daya yang dihasilkan kurang halus dan efisien.

2.2.2 Algoritma Fuzzy Logic Controller (FLC)

Logika *Fuzzy* adalah bagian dari *Artificial Intelligence*, salah satu cabang dari pengembangan teknologi komputer terbaru dengan mempelajari kecerdasan serta kebiasaan yang telah dilakukan manusia. Pemahaman konsep logika *fuzzy* adalah dengan menggunakan variabel linguistik, yaitu variabel yang nilainya adalah kata-kata dan bukan angka (seperti besar dan kecil). Sehingga kontrol logika *fuzzy* lebih fleksibel daripada menggunakan metode perhitungan konvensional.

Logika *fuzzy* dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan nonlinier. Logika *fuzzy* merupakan suatu teori himpunan logika yang dikembangkan untuk mengatasi konsep nilai yang terdapat diantara nilai kebenaran (*true*) dan kesalahan (*false*). Logika *fuzzy* berbeda dengan logika digital biasa atau *Boolean*. Logika digital biasa hanya mengenal dua keadaan yang tegas (*crisp*), yaitu “ya” atau “tidak”, “0” atau “1”, dan “on” atau “off”. Berbeda dengan logika digital biasa, logika *fuzzy* meniru cara berfikir manusia dengan menggunakan konsep kesamaan suatu nilai. Dengan menggunakan logika *fuzzy*, nilai tidak lagi hanya bernilai “0” dan “1” tetapi seluruh kemungkinan diantara 0 dan 1.

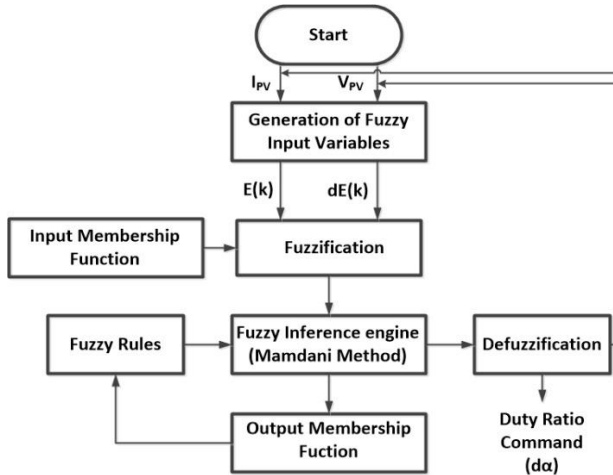
Kesederhanaan konsep membuat logika *fuzzy* mudah untuk dimengerti. Logika *fuzzy* tidak terpaku dengan satu keputusan, fleksibel, sehingga dapat memberi nilai toleransi pada ketidakpastian. Ada beberapa alasan mengapa memilih menggunakan logika *fuzzy* yaitu :

1. Konsep logika *fuzzy* mudah dimengerti. Konsep matematis dari logika yang sangat sederhana.
2. Sifat logika *fuzzy* yang fleksibel.
3. Logika *fuzzy* mampu menggambarkan fungsi-fungsi linier yang bersifat kompleks.

Logika *fuzzy* telah memiliki berbagai aplikasi terutama dalam pemanfaatan energi terbarukan. Salah satu aplikasi yang dapat digunakan logika *fuzzy* adalah sebagai pengontrol untuk mendapatkan hasil daya luaran yang maksimal yang dikeluarkan oleh PV dengan kondisi irradiansi yang berubah dan suhu yang beragam.

Pada penelitian ini digunakan MPPT menggunakan metode FLC dikarenakan metode ini memiliki kecepatan dalam mendekati titik maksimum dan osilasi yang lebih kecil ketika dalam keadaan *steady state*. Hal ini sangat mudah diimplementasikan karena logika *fuzzy* tidak membutuhkan permodelan matematika yang rumit namun nilai yang dihasilkan cukup kompeten dengan *input* yang bervariasi [9].

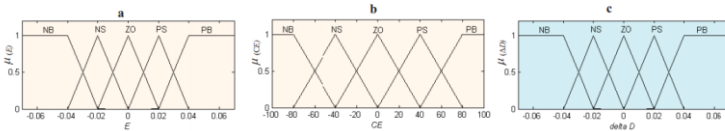
Algoritma *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dapat diklasifikasikan menjadi tiga tahap, yaitu *Fuzzification*, *Inference Engine*, dan *defuzzification*[10]. Komponen dan arsitektur umum FLC ditunjukkan seperti Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Arsitektur dasar *Fuzzy Logic Controller*

i. *Fuzzification*

Didalam proses *fuzzification* variabel masukan yang berupa nilai numerik (*crisp*) akan diubah menjadi variabel linguistic berdasarkan fungsi keanggotaan seperti Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Fungsi Keanggotaan dari logika *Fuzzy*

Pada tahapan ini dapat ditentukan dua kriteria nilai *input* yang digunakan sebagai kontroler yaitu *error* atau $E(k)$ dan perubahan *error* atau $CE(k)$. Nilai dari variabel $E(k)$ dan $CE(k)$ dapat dilihat dari persamaan dibawah ini,

$$E(k) = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \quad (2.6)$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \quad (2.7)$$

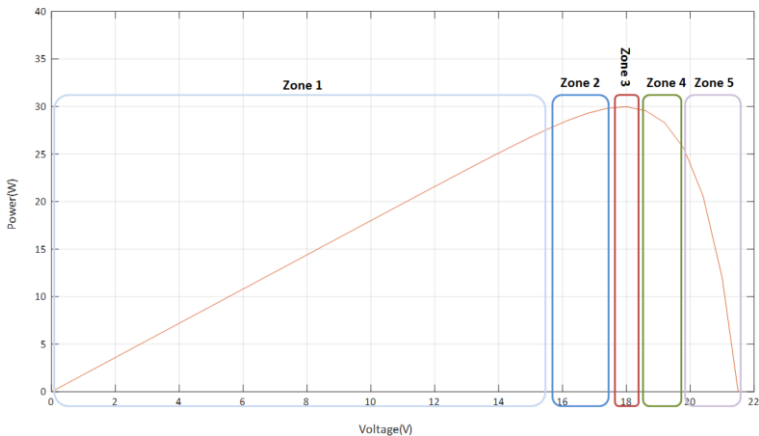
ii. *Inference Engine*

Inference Engine menerima hasil dari proses perhitungan didalam *fuzzification* dan menghasilkan sebuah nilai yang akan diolah menjadi sebuah variabel linguistik berdasarkan fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan (*membership function*) yang akan kita gunakan dalam proses MPPT terdiri dari lima anggota yaitu PB (*positive big*), PS (*positive small*), ZO (*zero*), NS (*negative small*), dan NB (*negative big*). Setelah dikonversi menjadi variabel linguistik, fungsi keanggotaan dari *output* akan ditentukan berdasarkan aturan *fuzzy* (*rule based fuzzy*). Metode yang digunakan untuk merumuskan aturan *fuzzy* dapat dihitung atau dicari berdasarkan keahlian dan pengalaman dari orang yang telah mendalami sistem ini. Dibawah akan ditunjukkan contoh aturan *fuzzy*.

Tabel 2.1 Contoh *Rule Table Fuzzy*

E(k)/CE(k)	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	ZO
NS	NB	NB	NS	ZO	PS
ZO	NB	NS	ZO	PS	PB
PS	NS	ZO	PS	PB	PB
PB	ZO	PS	PB	PB	PB

Analisa kurva P-V akan membentuk sebuah aturan *fuzzy* yang dimana dibagi menjadi lima zona seperti Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Zona pada aturan *fuzzy* [8]

Zona 1 : Kemiringan positif. Titik operasi berada disisi kiri jauh dari titik MPP. Oleh karena itu *duty cycle* harus dinaikkan secepat mungkin sehingga mencapai titik MPP.

Zona 2 : Kemiringan masih positif dan titik operasi terletak dikiri namun berdekatan dengan titik MPP. Pada posisi ini, nilai *output* akan sedikit dinaikkan untuk mengurangi osilasi dari sebuah sistem.

Zona 3 : Titik operasi berada di sekitar MPP. Sehingga pada dititik ini menjaga *duty cycle* dalam kondisi yang sama atau tidak berubah.

Zona 4 : Kemiringan negatif dan titik operasi terletak dikanan namun berdekatan dengan titik MPP. Pada posisi ini, *output* akan sedikit diturunkan untuk mengurangi osilasi dari sebuah sistem.

Zona 5 : Kemiringan masih negatif. Titik operasi berada disisi kanan jauh dari titik MPP. Oleh karena itu *duty cycle* harus diturunkan secepat mungkin sehingga bisa kembali mencapai titik MPP.

iii. Defuzzification

Pada proses *defuzzification* hasil luaran dari proses *Inference Engine* yang berbentuk variabel linguistik akan dikonversi kembali menjadi nilai numerik (*crisp*). Pada umumnya *defuzzification* terdiri dari dua algoritma yaitu *Center of Area* (COA) dan *Max Criterion Area* (MCA). Namun hampir kebanyakan metode yang digunakan pada proses *defuzzification* adalah COA yang merupakan gabungan dari total keseluruhan set *fuzzy*. Pusat gravitasi (ΔD) dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut,

$$\Delta D = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(\Delta D_j) \cdot \Delta D_j}{\sum_{j=1}^n \mu(\Delta D_j)} \quad (2.8)$$

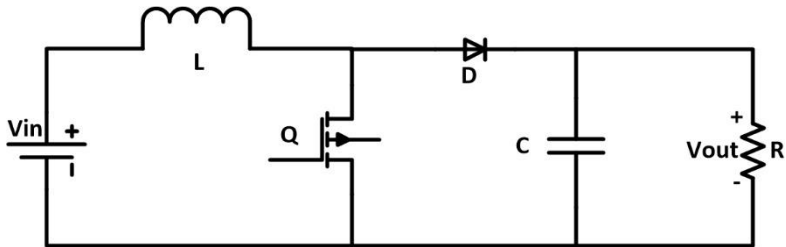
Hasil luaran logika *fuzzy* yangmana perubahan *duty cycle* $\Delta D(k)$ yang telah dihitung melalui persamaan diatas dan diskalakan dengan penambahan $S\Delta D$ sehingga menghasilkan nilai aktual dari *duty cycle* $D(k)$ melalui persamaan,

$$D(k) = D(k - 1) - S\Delta D \cdot \Delta D(k) \quad (2.9)$$

Sehingga *output* dari *crisp* inilah yang akan digunakan untuk pensaklaran mosfet pada MPPT.

2.3 Konverter Boost

MPPT memiliki dua komponen penting untuk mencapai titik maksimum, yaitu algoritma pengontrol dan konverter DC-DC. Dalam pemilihan konverter DC-DC harus mempertimbangkan beberapa faktor diantara lain adalah aliran daya *input* dan *output*, biaya, fleksibilitas, serta respon terhadap karakteristik PV. Pada MPPT ini akan menggunakan Konverter *Boost*. Konverter ini mampu menyediakan tegangan luaran yang lebih tinggi dibanding dengan tegangan masukannya[11]. Dalam penggunaannya konverter menggunakan sistem pensaklaran untuk mengatur *duty cycle* dengan memberikan sinyal PWM (*pulse width modulation*).



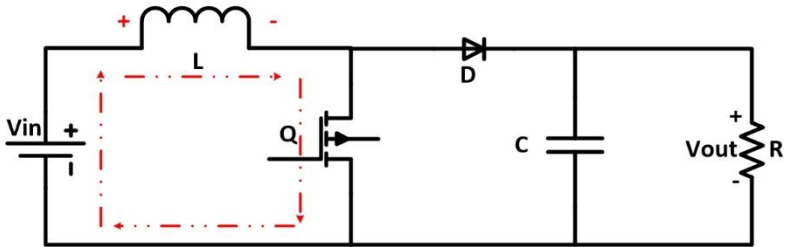
Gambar 2.10 Rangkaian Konverter Boost

Ketika saklar dalam kondisi ON, induktor akan dihubung singkat dengan tegangan sumber. Karena semua arus mengalir ke negatif melalui saklar sehingga arus yang mengalir ke beban Resistor dapat diabaikan. Dengan menggunakan hukum kirchoff maka didapatkan aliran arus yang mengalir dapat diturunkan menjadi persamaan yaitu:

$$V_S = L \frac{d_i}{d_t} \quad (2.10)$$

Karena saklar dalam kondisi ON selama t_{on} , dan penyebut d_t linier pada persamaan sedangkan $d_i = \Delta i_L$ sehingga diperoleh persamaan:

$$L \Delta i_L = V_S t_{on} \quad (2.11)$$

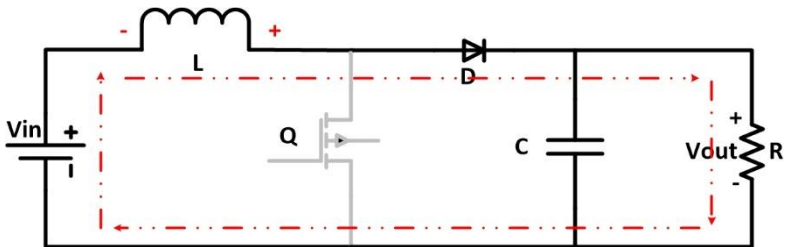


Gambar 2.11 Rangkaian Konverter *Boost* saat Mode 1

Berikutnya ketika saklar dalam kondisi OFF maka tegangan sumber akan terangkai seri dengan induktor dan beban. Saat dioda dalam mode *forward bias* maka arus dalam induktor akan mengalami mode pengosongan. Pada kondisi ini, induktor berfungsi sebagai sumber arus dan atau sumber tegangan sedangkan resistor berfungsi sebagai beban. Oleh karena itu resistor akan diisikan oleh 2 buah sumber yang seri, yaitu sumber V_S dan V_L . Sehingga pada kondisi ini dapat diturunkan persamaan :

$$V_S + V_L = V_O \quad (2.12)$$

$$V_S + L \frac{\Delta i_L}{t_{off}} = V_O \quad (2.13)$$



Gambar 2.12 Rangkaian Konverter *Boost* saat mode 2

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.12) dan (2.13) akan menghasilkan persamaan :

$$V_S = V_S \frac{t_{on}}{t_{off}} + V_O \quad (2.14)$$

Dimana,

$$t_{on} + t_{off} = T \quad (2.15)$$

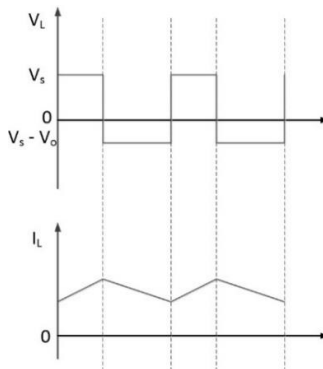
$$D = \left(\frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \right) \quad (2.16)$$

Maka, nilai tegangan keluaran konverter *boost* dapat dicari dengan persamaan :

$$V_o = V_s \left(\frac{1}{(1 - D)} \right) \quad (2.17)$$

Persamaan (2.17) menunjukkan bahwa jika saklar selalu terbuka maka D akan bernilai nol, sehingga tegangan *output* sama dengan tegangan *input*. Ketika rasio D diperbesar, maka nilai *denominator* menjadi lebih kecil sehingga menghasilkan tegangan *output* lebih besar. Oleh karena itu konverter *boost* pasti akan menghasilkan tegangan *output* lebih besar dan atau sama dengan tegangan *input*.

Konverter *boost* terdiri dari beberapa komponen diantara lain adalah induktor(L), kapasitor (C), dioda (D) dan beban(R). Analisis rangkaian saat berada kondisi *steady state* pada kondisi CCM (*Continuous Conduction Mode*) terdapat dua mode yaitu ketika saklar dalam kondisi ON dimana induktor berada pada fase *charging* dan saklar saat kondisi OFF dimana induktor berada pada fase *discharging*. Bentuk gelombang saat operasi CCM dari konverter *boost* ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Bentuk gelombang arus dan tegangan saat kondisi CCM

Arus induktor rata-rata bisa ditentukan dengan mengenali daya luaran yang diserap oleh beban (resistansi). Dimana daya luaran :

$$P_o = \frac{V_o^2}{R} = V_o I_o \quad (2.18)$$

Dan daya masukan adalah $V_s I_s = V_s I_L$, dari persamaan (2.18) bisa disubstitusi menjadi,

$$V_s I_L = \frac{V_o^2}{R} = \frac{\left(\frac{V_s}{1-D}\right)^2}{R} = \frac{V_s^2}{(1-D)^2} R \quad (2.19)$$

Atau I_L dapat dinyatakan sebagai persamaan :

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{V_o^2}{V_s R} = \frac{V_o I_o}{V_s} \quad (2.20)$$

Arus maksimum dan minimum induktor dapat ditentukan dengan menggunakan nilai rata-rata dan perubahan arus dari persamaan

$$I_{max} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{V_s D T}{2L} \quad (2.21)$$

$$I_{min} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s D T}{2L} \quad (2.22)$$

Dari persamaan (2.22) bisa dicari batas antara arus induktor kontinyu dan tidak kontinyu. Dimana ketika arus induktor kontinyu maka memiliki nilai arus positif. Sehingga dapat ditentukan melalui persamaan,

$$I_{min} = 0 = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s D T}{2L} \quad (2.23)$$

Atau

$$\frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{V_s D T}{2L} = \frac{V_s D}{2L f} \quad (2.24)$$

Kombinasi minimum induktansi dan frekuensi pensaklaran melalui mosfet pada arus kontinyu konverter *boost* didapatkan persamaan sebagai berikut,

$$(Lf)_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2} \quad (2.25)$$

Atau

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.26)$$

Dalam pembuatan desain konverter *boost* pada arus kontinyu maka nilai induktor harus lebih besar dari L_{min} . Oleh karena itu dengan menyatakan nilai L sesuai dengan nilai ΔI_L yang diinginkan maka didapatkan persamaan,

$$L = \frac{V_s DT}{\Delta I_L} = \frac{V_s D}{\Delta I_L f} \quad (2.27)$$

Dalam prakteknya kapasitansi kapasitor yang sangat besar akan menghasilkan fluktuasi pada tegangan luaran atau biasa disebut *ripple*. *Ripple* tegangan luaran *peak-to-peak* dapat dihitung melalui bentuk gelombang arus kapasitor sesuai yang ditunjukkan pada persamaan,

$$|\Delta Q| = \left(\frac{V_o}{R}\right) DT = C \Delta V_o \quad (2.28)$$

Selanjutnya untuk persamaan ripple tegangan luaran adalah,

$$\Delta V_o = \frac{V_o DT}{RC} = \frac{V_o D}{RCf} \quad (2.29)$$

Atau

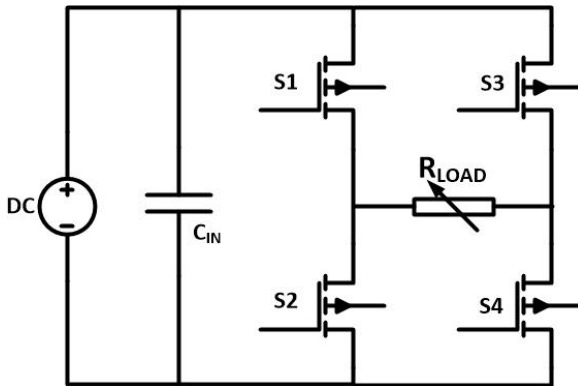
$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2.30)$$

Dari persamaan (2.30) kita bisa mendapatkan nilai kapasitansi sesuai desain yang diinginkan dimana f merupakan frekuensi *switching*.

$$C = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right) f} \quad (2.31)$$

2.4 Inverter Satu Fasa

Inverter adalah rangkaian yang mengubah sinyal tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Sumber tegangan inverter dapat berupa baterai, solar panel, aki kering dan atau sumber tegangan DC lainnya. Sedangkan keluaran dari inverter adalah tegangan AC 220 V atau 110 V dengan frekuensi output 50Hz atau 60Hz. Pada dasarnya inverter adalah alat yang membuat tegangan bolak-balik dari tegangan searah dengan cara pembentukan gelombang tegangan. Namun gelombang tegangan yang terbentuk dari inverter tidak berbentuk gelombang sinusoida, melainkan gelombang persegi. Pembentukan tegangan AC tersebut dilakukan dengan menggunakan dua buah pasang saklar. Untuk konfigurasi inverter yang biasa digunakan adalah jenis *halfbridge* inverter dan *fullbridge* inverter[12].



Gambar 2.14 Rangkaian Inverter Fullbridge satu fasa

Rangkaian dasar *fullbridge* inverter dan bentuk gelombang *output* dengan beban resistif ditunjukkan pada Gambar 2.14. Terdapat beberapa cara untuk mengendalikan 4 buah saklar yang ada pada inverter. Cara yang biasa digunakan adalah menyalakan 2 buah saklar secara bersama-sama, sedangkan 2 buah saklar yang lain dipadamkan. Ketika saklar Q1 dan Q4 dinyalakan maka arus positif akan mengalir menuju beban. Berbanding terbalik dengan saklar Q2 dan Q3 dinyalakan sehingga menghasilkan arus negatif pada beban. Hasil akhir dari kombinasi penyalan ini berupa tegangan atau arus keluaran inverter yang berupa gelombang persegi AC dengan frekuensi 50Hz.

2.5 Pompa Air

Pompa air adalah sebuah peralatan elektronik yang digerakkan oleh Motor Induksi satu fasa dan motor DC. Motor induksi satu fasa merupakan salah satu jenis motor yang bekerja dengan menggunakan tegangan bolak-balik (AC) satu fasa sebagai sumber kumparan statornya. Motor Induksi satu fasa memiliki prinsip kerja yang berbeda dengan Motor Induksi tiga fasa, dimana motor AC tiga fasa memiliki tiga belitan pada stator yang berfungsi menghasilkan medan putar dan pada rotor terjadi induksi dan interaksi torsi yang menghasilkan putaran. Sedangkan pada motor induksi satu fasa memiliki dua belitan stator, yaitu belitan fasa utama dan belitan fasa bantu.

Dalam penelitian ini jenis motor yang digunakan adalah motor induksi satu fasa dengan *permanent split phase capacitor* (PSC). Pada jenis motor ini kapasitor dipasang secara seri dengan kumparan bantu (*auxiliary winding*) motor sehingga menciptakan medan magnet yang besarnya sama dengan medan magnet pada kumparan utama atau arus *leading* sebesar 90^0 terhadap arus dari kumparan utama.

Kemampuan pompa air dalam mengeluarkan debit air dapat dijelaskan menggunakan hukum afinitas yang menunjukkan hubungan matematika antara variabel pada pompa air [13]. Dengan nilai dari diameter impeller dianggap konstan, maka persamaan dari hukum afinitas dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.32)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \quad (2.33)$$

Dengan ,

Q = Debit (gpm)

H = Total head (ft)

N = Kecepatan pompa (RPM)

Sedangkan besarnya nilai torsi akan sebanding dengan kuadrat dari kecepatan seperti pada persamaan berikut,

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \quad (2.34)$$

Karakteristik torsi-kecepatan merupakan analisa yang menggambarkan titik operasi pada saat motor induksi satu fasa dihubungkan dengan pompa air. Dengan menggunakan persamaan (2.34) , maka dapat dibuat rasio tabulasi antara torsi dan kecepatan pada pompa air sebagai berikut :

Tabel 2.2 Rasio tabulasi torsi dan kecepatan

Speed	Torque
100%	1
75%	0.5625
50%	0.25
25%	0.0625
10%	0.015
0%	0.05

Setiap titik yang didapatkan akan digunakan untuk membentuk kurva karakteristik torsi-kecepatan pada pompa sentrifugal dengan menggunakan polinomial orde ke-3.

Dalam penentuan desain pompa, perlu mempertimbangkan parameter diantara lain :

- i. *Water Horse Power* (WHP), besarnya daya yang dibutuhkan untuk memindahkan fluida dengan debit dan tinggi tertentu dengan massa jenis air. Persamaan WHP sebagai berikut,

$$WHP = \frac{\rho Q H g}{1000} \quad (2.35)$$

- ii. *Shaft Horse Power* (SHP), besarnya daya yang dituhkan poros pompa dengan mempertimbangkan efisiensi pada motor. Persamaan SHP sebagai berikut,

$$SHP = \frac{WHP}{efisiensi} \quad (2.36)$$

Dengan,

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

Q = debit fluida (l/s)

H = total head (m)

g = gravitasi bumi (9.8 m/s^2)

Efisiensi = 0.7

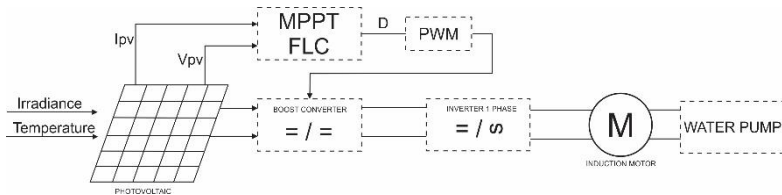
BAB 3

DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI

Pada bab ini akan dibahas mengenai desain dari sistem MPPT *boost* converter dengan menggunakan algoritma *Fuzzy Logic Controller* yang terhubung inverter untuk suplai pompa air. Metode penelitian meliputi simulasi sistem MPPT dengan software MATLAB 2015a, desain dan implementasi konverter *boost*, dan pengujian MPPT dengan algoritma *Fuzzy Logic Controller* (FLC).

3.1 Permodelan Blok Sistem

Pada penelitian ini, simulasi dari sistem *MPPT* dengan algoritma *Fuzzy Logic Controller* (FLC) secara keseluruhan menggunakan aplikasi SIMULINK yang ada pada *software* MATLAB 2015a. Simulasi sistem secara keseluruhan meliputi panel surya, konverter *boost*, inverter satu fasa dan pompa air seperti ditunjukkan pada gambar Gambar 3.1.



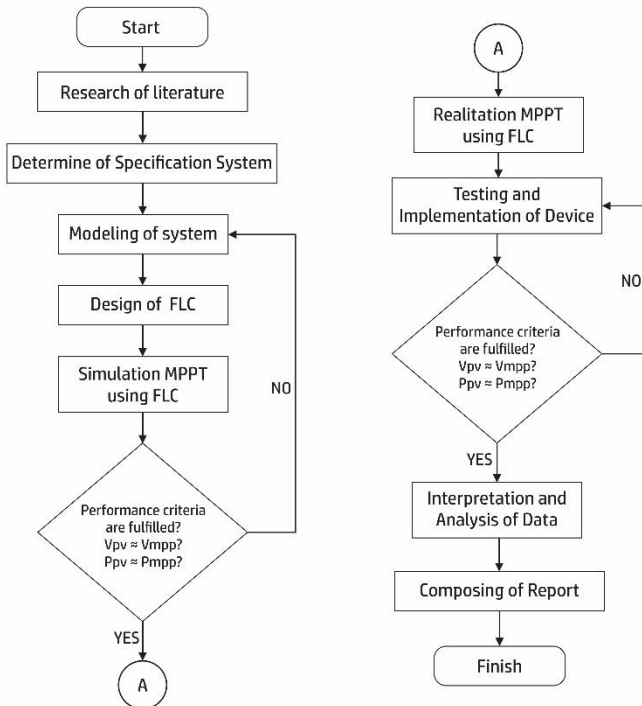
Gambar 3.1 Blok Sistem MPPT yang terhubung Inverter untuk suplai Pompa Air

Konverter *boost* disini akan dioperasikan sebagai pengontrol tegangan untuk menghasilkan daya yang maksimum dari sistem MPPT dengan menggunakan algoritma *Fuzzy Logic Controller*.

Permodelan blok sistem diatas menunjukkan sistem secara keseluruhan dari konverter sampai dihubungkan dengan inverter untuk suplai pompa air. Tujuan dengan dibuatnya blok diagram ini adalah mempermudah pembacaan sebuah sistem dalam menjalankan fungsinya.

3.2 Diagram Alir

Pada bab ini akan dibahas mengenai langkah-langkah dan alur penelitian dalam pembuatan MPPT berbasis algoritma *Fuzzy Logic Controller*. Berikut adalah diagram alir penelitian dalam mengerjakan tugas akhir ini,



Gambar 3.2 Diagram Alir Metode Penelitian

3.3 Desain Konverter Boost

Desain konverter dimulai dengan penentuan batas tegangan kerja dari sistem yang akan digunakan sehingga mendapatkan parameter dalam penentuan nilai induktor, kapasitor dan komponen-komponen

lainnya. Desain sistem juga sangat mempertimbangkan kondisi dan peralatan yang ada di laboratorium Konversi Energi Teknik Elektro ITS.

Sistem dari MPPT yang akan diujikan adalah dengan menggunakan PV 50 WP. Dengan rating V_{mpp} adalah sebesar 17.6 V dan I_{mpp} adalah sebesar 2.85 A. Karena sistem akan dihubungkan dengan inverter yang mempunyai rating tegangan *inputan* sebesar 24 V maka memerlukan tegangan *output* yang lebih besar dari *input*. Sesuai kebutuhan dari sistem yang akan diuji maka memerlukan konverter DC-DC guna menaikkan tegangan *output* yaitu Konverter *Boost*.

Tabel 3.1 Spesifikasi PV

Parameter	Value
Model	SP-50-M36
Rated Max. Power (Pmax)	50 W
Current at Pmax (Imax)	2.85 A
Voltage at Pmax (Vmax)	17.6 V
Short Circuit Current (Isc)	3.04 V
Open Circuit Voltage (Voc)	22.5 V
Dimension (mm)	700*510*30
Number of cells	36
Temperature range	-45°C to + 80°C

Pada penelitian tugas akhir ini akan membandingkan penggunaan MPPT dengan algoritma *Perturb and Observe* (P&O) dengan algoritma *Fuzzy Logic Controller* (FLC). Berdasarkan spesifikasi pada PV maka dapat dihitung parameter untuk desain konverter *boost*.

Konverter didesain dengan kapasitas daya 50 Watt dengan mempertimbangkan sumber daya dari Panel Surya yang dapat mencapai 50 Watt di titik maksimumnya dan daya masukan dari pompa air yaitu sebesar 50 W. Sedangkan untuk tegangan *output* sebesar 30V dengan mempertimbangkan rating maksimal dari inverter dan mempertimbangkan penurunan tegangan *output* terhadap penurunan irradiansi pada PV disaat implementasi.

Dengan tegangan *output* sebesar 30V dan daya rating 50W, maka dapat diperoleh arus yang mengalir pada sisi *output*,

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

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

$$I = \frac{50}{30} \quad (3.3)$$

$$I = 1.667 \text{ A} \quad (3.4)$$

Nilai arus ini akan berpengaruh pada pemilihan belitan pada induktor. Frekuensi *switching* ditentukan sebesar 20 kHz agar nilai induktor relatif lebih rendah dan mempertimbangkan komponen yang ada di pasaran.

3.3.1 Penentuan Nilai *Duty cycle*

Penentuan nilai *duty cycle* dapat ditentukan dari hubungan tegangan *input* dan tegangan *output*. Berdasarkan persamaan (2.17) pada saat analisis mode *steady state*, besar nilai *duty cycle* adalah:

$$V_o = \frac{V_s}{(1 - D)} \quad (3.5)$$

$$30 = \frac{17.6}{(1 - D)} \quad (3.6)$$

$$30 - 30D = 17.6 \quad (3.7)$$

$$30D = 12.4 \quad (3.8)$$

$$D = 0.413 \quad (3.9)$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai *duty cycle* sebesar 0.413 dengan frekuensi *switching* sebesar 20kHz.

3.3.2 Penentuan Nilai Resistansi Beban

Penentuan resistansi beban pada konverter dengan mempertimbangkan nilai daya maksimal yang dapat dioperasikan oleh konverter, yaitu sebesar 50 Watt dengan tegangan 30 Volt. Dengan menggunakan persamaan (2.18), nilai resistansi beban dapat dihitung sebesar :

$$R = \frac{Vo^2}{Po} \quad (3.10)$$

$$R = \frac{30^2}{50} \quad (3.11)$$

$$R = 17.9\Omega \quad (3.12)$$

3.3.3 Penentuan Nilai Induktor

Penentuan nilai induktor pada saat desain dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.27) saat konverter dalam operasi CCM (*Continous Conduction Mode*) atau saat kondisi arus yang mengalir pada induktor tidak pernah bernilai nol. Nilai ripple arus yang digunakan dalam sistem adalah sebesar 30% supaya sistem dapat bekerja secara CCM.

Arus yang melewati induktor setara dengan arus I_{out} . Sehingga besarnya arus yang melewati induktor dapat dicari berdasarkan persamaan (2.20). Dengan nilai arus yang didapat, bisa dihitung nilai ripple arus yang mengalir pada induktor

$$\Delta IL = I \times 30\% \quad (3.13)$$

$$\Delta IL = 1.667 \times 30\% \quad (3.14)$$

$$\Delta IL = 0.5 A \quad (3.15)$$

Nilai arus yang melewati induktor dipengaruhi oleh besarnya *duty cycle* dan arus *output*. Penentuan nilai induktor dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$L = \frac{Vs D}{\Delta IL f} \quad (3.16)$$

$$L = \frac{17.6 \times 0.413}{0.5 \times 20000} \quad (3.17)$$

$$L = \frac{7.2688}{10000} \quad (3.18)$$

$$L = 726.88\mu H \quad (3.19)$$

Perancangan dan implementasi induktor dimulai dengan penentuan kawat email yang digunakan sebagai belitan induktor. Penentuan jenis kawat email berdasarkan dua parameter, yaitu frekuensi *switching* sebesar 20kHz dan arus yang melalui induktor sebesar 1.667 A. Dengan menganggap konverter dalam kondisi ideal atau efisiensi konverter sebesar 100% maka daya *input* PV sama dengan daya *Output*.

Kawat email yang digunakan untuk induktor harus bekerja pada frekuensi 20kHz sehingga dipilih kawat email jenis AWG25 yang memiliki diameter 0.45466mm dengan resistansi 0.162 Ω/m [14]. Dengan menggunakan kawat email jenis AWG25 maka dapat menahan kapasitas hantar arus maksimum sebesar 0.457A dan frekuensi maksimal sebesar 85kHz. Dengan mempertimbangkan desain, maka kawat email harus mampu menahan arus sebesar 2.85 A. Nilai tersebut merupakan nilai arus yang mengalir pada induktor dengan mempertimbangkan ΔI . Untuk faktor keamanan karena dalam implementasi nilai induktor mungkin lebih besar dari desain maka dipilih kawat email yang memiliki kapasitas arus lebih besar yaitu jenis AWG 12 yang memiliki diameter 2.05232 dengan resistansi 3.31 Ω/m , daya hantar arus maksimal sebesar 9.3 A.

Dengan mempertimbangkan kawat email yang ada dipasaran oleh karena itu dilakukan pemilihan untuk menambah kapasitas daya hantar arus tersebut. Penentuan jumlah pilinan didapatkan dari hasil pembagian antara diameter kawat kapasitas arus besar dengan kawat kapasitas arus kecil. Perhitungan jumlah pilinan pada induktor dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$n_{kawat} = \frac{d_{AWG\ 12}}{d_{AWG\ 25}} = \frac{2,05232}{0,45466} = 4,5139 \approx 5 \quad (3.20)$$

Sehingga kawat email yang dipilin pada induktor sejumlah 5 kawat email dengan jenis AWG25.

Pada tahap kedua adalah mendesain induktor yang digunakan. Inti induktor yang digunakan berjenis inti toroid dengan tipe *Magnetics* 0077548A7. Inti tipe ini mempunyai nilai *flux density* yang tinggi sehingga inti tipe ini tidak cepat mengalami saturasi. Inti ini juga memiliki nilai $A_l = 127 \text{ nH/T}^2$, sehingga kita dapat menentukan banyaknya jumlah belitan yang dibutuhkan melalui rumus :

$$N = \sqrt{\frac{L}{Al}} \quad (3.21)$$

$$N = \sqrt{\frac{726.88}{127}} \quad (3.22)$$

$$N = 74 \quad (3.23)$$

Keterangan

N = jumlah belitan

L = nilai induktansi induktor (nH)

AL = faktor induktansi (nH/T²)

3.3.4 Penentuan Nilai Kapasitor

Penentuan nilai kapasitor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.31) dengan ripple tegangan sebesar 5%. Nilai ripple tegangan dapat dihitung sebagai berikut

$$\Delta V = 5\% \times V_{out} \quad (3.24)$$

$$\Delta V = 5\% \times 30 \quad (3.25)$$

$$\Delta V = 1.5 \text{ V} \quad (3.26)$$

Selanjutnya besar nilai kapasitansi kapasitor adalah sebagai berikut :

$$C = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_o}{V_o} \right) f} \quad (3.27)$$

$$C = \frac{0.413}{17.9 \left(\frac{1.5}{30} \right) 20000} \quad (3.28)$$

$$C = \frac{0.413}{18000} \quad (3.29)$$

$$C = 22.9 \mu F \quad (3.30)$$

Dari perhitungan diatas maka nilai kapasitor yang digunakan pada rangkaian konverter sebesar 100uf/50V mengikuti yang ada dipasaran.

3.3.5 Penentuan Nilai Dioda

Dioda pada konverter *boost* berfungsi sebagai penentu arah aliran arus ketika mode saklar terbuka dan saklar tertutup. Penentuan dioda dapat dicari berdasarkan parameter tegangan, arus dan frekuensi *switching*. Untuk arus yang melewati dioda dapat diketahui besarnya dengan menggunakan persamaan :

$$I_d = \left(\frac{1}{1-D} \right) I_{out} \quad (3.31)$$

$$I_d = \left(\frac{1}{1-0.413} \right) 1.667 \quad (3.32)$$

$$I_d = 2.783 A \quad (3.33)$$

Selanjutnya parameter frekuensi *switching* mengikuti desain yaitu sebesar 20kHz. Sehingga dengan mempertimbangkan parameter diatas, maka dipilih dioda MUR1560. Dioda ini memiliki kapasitas arus maksimum sebesar 15A dengan DC *blocking voltage* sebesar 600V serta frekuensi *switching* sebesar 16.7 MHz.

3.3.6 Penentuan Nilai MOSFET

Rangkaian konverter *boost* pada sistem MPPT berbasis *Fuzzy Logic Controller* menggunakan MOSFET sebagai sakelar elektronik. Penentuan MOSFET yang digunakan berdasarkan parameter tegangan yang dapat dicari ketika kondisi sakelar terbuka. Sehingga tegangan V_{ds} sama dengan V_c , yaitu :

$$V_{ds} = V_c = 30V \quad (3.34)$$

Untuk arus yang melewati saklar MOSFET setara dengan arus pada Induktor saat mode *charge*, sehingga dapat ditentukan sebagai berikut :

$$I_{ds} = IL = \frac{V_o \times I_o}{V_s} \quad (3.35)$$

$$I_{ds} = \frac{30 \times 1.667}{17.6} \quad (3.36)$$

$$I_{ds} = 2.862 \text{ A} \quad (3.37)$$

Parameter terakhir dalam penentuan mosfet adalah frekuensi *switching* dengan besar 20kHz. Sehingga dipilih MOSFET tipe IRFP4227 dengan tegangan *gate-source* (V_{gs}) sebesar 30 V. Dan mampu menahan tegangan *drain-source* (V_{ds}) sebesar 200 V. Sedangkan arus maksimum yang mengalir pada drain-sorce(I_{ds}) sebesar 65 A . MOSFET ini memiliki frekuensi maksimum yang dapat mencapai sebesar 3.45MHz.

3.4 Parameter Inverter

Pada penelitian ini digunakan inverter satu fasa untuk merubah tegangan DC hasil luaran dari konverter menjadi tegangan AC untuk suplai Pompa Air. Jenis inverter yang digunakan yaitu dengan merk SDA-1000B dengan kriteria luaran tegangan *Modified Sine Wafe*. Pada tabel Tabel 3.2 Datasheet inverter satu fasamenunjukkan datasheet dari inverter satu fasa yang digunakan.

Tabel 3.2 Datasheet inverter satu fasa SDA-1000B

Parameter	Value
Output Voltage	AC 230 V
Ouput Power	1000 W
Peak Power	2000 W
Frequency	50 Hz
No-load current	<0.3 A
Working Volt	DC 24 V
Voltage range	21 V – 30 V
Efficiency	>90%

3.5 Parameter Pompa Air

Pada penelitian ini akan dihubungkan dengan pompa air dengan merk “Yamano WP3700”. Penggunaan pompa air digunakan untuk memompa pada sistem *Solar Water Pump*. Pada tabel Tabel 3.3 Parameter Pompa Air akan ditunjukkan parameter dari pompa air yang digunakan.

Tabel 3.3 Parameter Pompa Air

Parameter	Value
Power	30 W
Speed	1400-1500 rpm
Maximum of Head	2 m
Maximum of Debit	1500 L/H

Berdasarkan parameter yang telah ada, langkah selanjutnya adalah memodelkan pompa ini dengan menentukan torsi saat beban penuh (*full load*) dari pompa dengan menggunakan persamaan

$$T = 9549 \frac{P}{N} \quad (3.38)$$

$$T = 9549 \frac{0.03}{1400} \quad (3.39)$$

$$T = 0.204 Nm \quad (3.40)$$

Dengan

P = Daya Pompa Air (kW)

N = Kecepatan Pompa Air (rpm)

Parameter pompa air dapat diketahui dengan cara memasukkan nilai torsi saat beban penuh dan kecepatan maksimal dari pompa air pada persamaan(2.34). Sehingga dari persamaan tersebut didapatkan nilai perbandingan torsi dan kecepatan pada setiap titiknya dengan menggunakan rasio kecepatan pada Tabel 3.4 Rasio Torsi dan Kecepatan Pompa, sehingga didapatkan variasi nilai torsi terhadap kecepatan tertentu sebagai berikut :

Tabel 3.4 Rasio Torsi dan Kecepatan Pompa

Speed (rad/s)	Torque (Nm)
146.6667	0.204
110	0.11475
73.33333	0.051
36.66667	0.01275
14.66667	0.00304
0	0.01018

Dari tabel Tabel 3.4 Rasio Torsi dan Kecepatan Pompa dapat ditentukan persamaan pompa air dengan menggunakan polynomial orde 3 menggunakan microsoft excell. Sehingga persamaan polynomial orde 3 yang didapat sebagai berikut :

$$y = -1E - 20x^3 + 9E - 06x^2 + 3E - 15 \quad (3.41)$$

Dengan,

$$y = \text{Torsi (Nm)}$$

$$x = \text{Kecepatan Pompa Air (rad/s)}$$

Setelah diketahui parameter pompa air yang digunakan, dapat dicari parameter WHP dan SHP sesuai dengan persamaan (2.35) dan (2.36) . Nilai debit dan head pompa ketika motor bekerja dalam keadaan rating dengan menggunakan persamaan affinity :

$$Q = \frac{1400}{1400} \times 0.416 \quad (3.42)$$

$$Q = 0.416 \text{ l/s} \quad (3.43)$$

$$H = \left(\frac{1400}{1400} \right)^2 \times 2 \quad (3.44)$$

$$H = 2 \text{ m} \quad (3.45)$$

Dengan asumsi efisiensi motor adalah sebesar 0,7, maka parameter WHP dan SHP pada pompa dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\text{WHP} = \frac{1000 \times 0.416 \times 3.4 \times 9.8}{1000} \quad (3.46)$$

$$\text{WHP} = 13.86 \text{ W} = 0.0185 \text{ HP} \quad (3.47)$$

$$\text{SHP} = \frac{0.0185}{0.7} \quad (3.48)$$

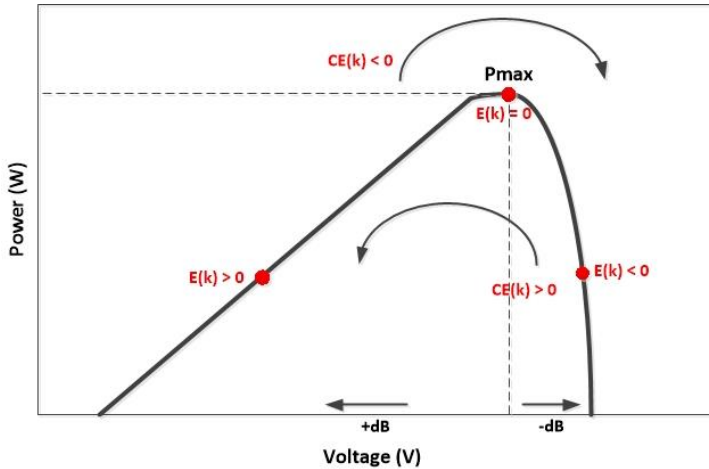
$$\text{SHP} = 0.0264 \quad (3.49)$$

3.6 Parameter Algoritma *Fuzzy Logic Controller*

MPPT digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus yang optimal sehingga didapatkan daya luaran yang maksimum dari suatu sistem PV. Prinsip dari MPPT adalah menaikkan dan atau menurunkan tegangan kerja PV. MPPT controller didasarkan pada penerapan logika *fuzzy* yang terdiri dari tiga bagian yaitu *fuzzyfication*, *inference engine* dan *defuzzyfication*. *Fuzzy Logic Controller* (FLC) pada MPPT dapat digunakan untuk mengatasi ketidaktentuan dan ketidakteelitian nilai yang dihasilkan oleh PV.

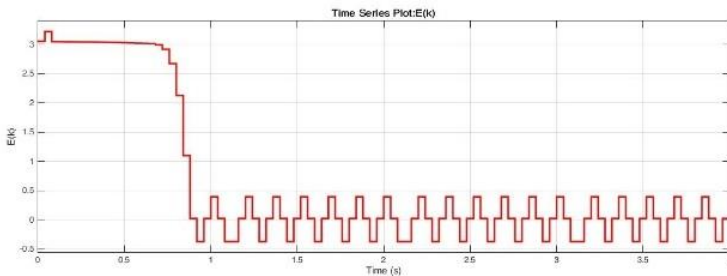
Sistem MPPT dengan algoritma FLC memiliki dua *input* yaitu *Error* atau E(k) dan Delta *Error* atau CE(k). E(k) adalah nilai perbandingan perubahan nilai daya luaran PV dengan perubahan tegangan luaran PV pada tiap waktunya. Sedangkan CE(k) adalah perubahan dari *Error* setiap waktu.

Nilai *input* E(k) menunjukkan perubahan titik dimana terletak di kiri atau kanan MPP pada kurva karakteristik P-V. Nilai E(k) akan menjadi besar pada saat titik operasi berada jauh dari titik operasi maksimum dan nilainya akan semakin kecil jika sudah mendekati titik operasi maksimum atau nilai E(k) harus mendekati 0. Sedangkan CE(k) menunjukkan pergeseran arah tracking daya menuju titik maksimum, dimana jika nilainya negatif maka tracking daya mengarah ke arah kanan dan jika nilainya positif maka tracking daya mengarah ke arah kiri.

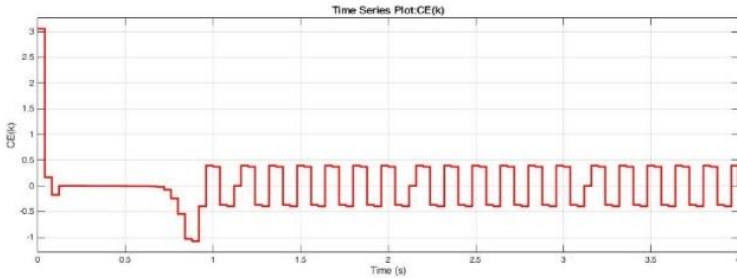


Gambar 3.3 Prinsip Kerja MPPT FLC

Untuk mengetahui besar nilai $E(k)$ dan $CE(k)$, pertama kali bisa disimulasikan dengan menggunakan algoritma P&O. Sebelumnya dipersamaan (2.6) dan (2.7) dapat diketahui nilai $E(k)$ dan $CE(k)$ dapat dicari dengan parameter Daya dan Tegangan. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, didapatkan nilai $E(k)$ rata-rata sebesar 5. Dan untuk $CE(k)$ mendapatkan nilai yang relatif lebih kecil dari nilai $E(k)$. Oleh karena itu untuk membentuk sebuah interval dari *fuzzyfication*, digunakan nilai $E(k)$ dengan interval $[-5,5]$ dan nilai $CE(k)$ dengan interval $[-5, 5]$.



Gambar 3.4 Grafik Plot nilai $E(k)$



Gambar 3.5 Grafik Plot nilai CE(k)

Fungsi keanggotaan (*membership function*) terdiri dari lima kondisi yaitu *Positive Big* (PB), *Positive Small* (PS), *Zero* (ZO), *Negative Small* (NS), dan *Negative Big* (NB). Tampak pada gambar Gambar 3.4 Grafik Plot nilai E(k) dan Gambar 3.5 Grafik Plot nilai CE(k) nilai E(k) dan CE(k) yang dihasilkan kurang dari 5 sehingga dapat dipilih dengan interval yang sama pada kedua fungsi keanggotaan tersebut yaitu [-5,5].

Fungsi keanggotaan E(k) dan CE(k) pada proses fuzzification adalah sebagai berikut :

$$PB \text{ (Positive Big)} : [2 \ 4 \ 5 \ 8]$$

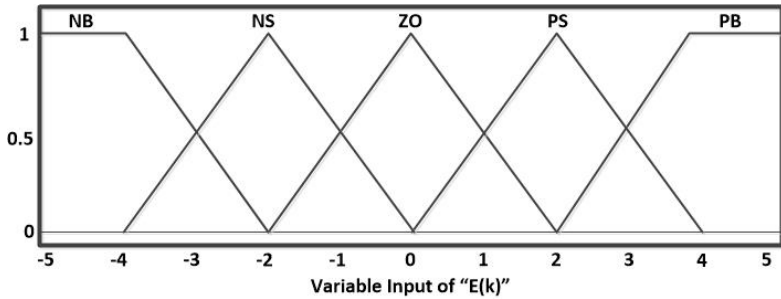
$$PS \text{ (Positive Small)} : [0 \ 2 \ 4]$$

$$ZO \text{ (Zero)} : [-2 \ 0 \ 2]$$

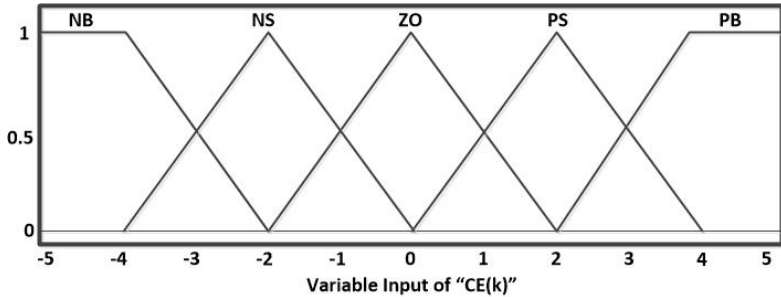
$$NS \text{ (Negative Small)} : [-4 \ -2 \ 0]$$

$$NB \text{ (Negative Big)} : [8 \ -5 \ -4 \ -2]$$

Pemilihan bentuk fungsi keanggotaan tergantung dari pengalaman dan keahlian dari pengguna dalam mempelajari dan menggunakan sistem ini. Bentuk segitiga dan trapesium (bahu) adalah bentuk umum yang sering digunakan dalam pemodelan *fuzzy* karena dapat menghasilkan nilai yang terbaik dan mudah untuk diimplementasikan. Selain itu pemilihan bentuk segitiga dan trapesium (bahu) dikarenakan lebih mudah dalam perhitungan matematis dibandingkan dengan menggunakan bentuk lain seperti kurva “s” atau bentuk “lonceng”.



Gambar 3.6 Fungsi Keanggotaan Variabel E(k)



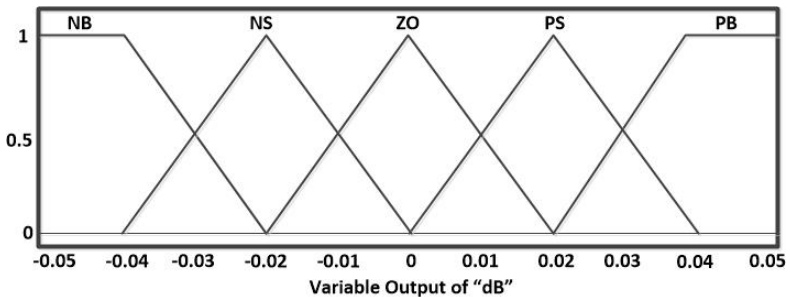
Gambar 3.7 Fungsi Keanggotaan Variabel CE(k)

Setelah proses *Fuzzyfication* selesai, nilai *fuzzy* tersebut akan dikaitkan melalui sebuah aturan *fuzzy* (*rule based system*). Metode *fuzzy* yang digunakan adalah metode Mamdani karena keluaran dari proses *fuzzy* berupa sebuah angka bukan dalam bentuk persamaan. *Rule* ini berisi sebuah aturan yang menjelaskan kondisi dari *input*.

Tabel 3.5 Rule Table Fuzzy

E(k)/CE(k)	PB	PS	ZO	NS	NB
PB	PB	PB	PB	PB	PB
PS	PB	PS	PS	ZO	ZO
ZO	PS	PS	ZO	NS	NS
NS	ZO	ZO	NS	NS	NB
NB	NB	NB	NB	NB	NB

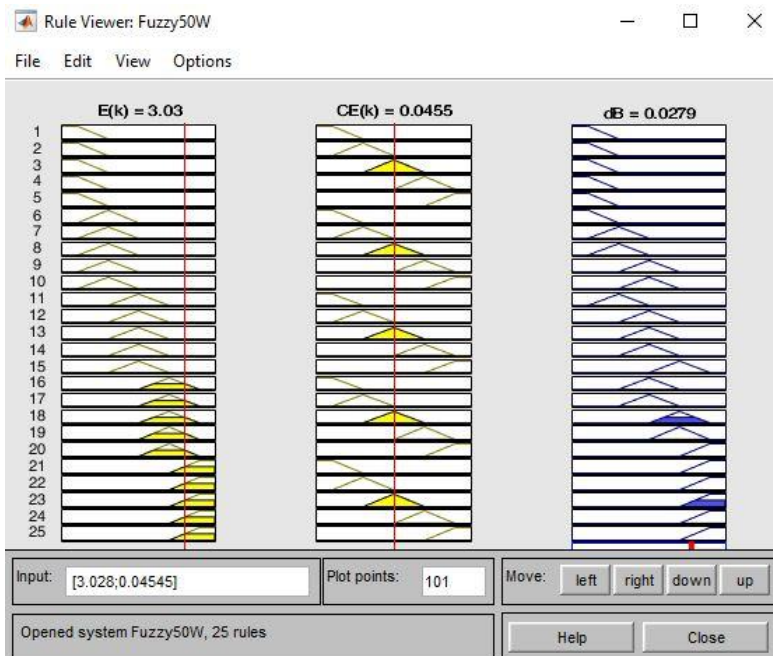
Sistem MPPT FLC menggunakan 25 aturan *Fuzzy* yang telah didesain sesuai Tabel 3.5 *Rule Table*, dimana pembuatan aturan *fuzzy* mempertimbangkan dua nilai masukan yaitu $E(k)$ dan $CE(k)$. Aturan *Fuzzy* ini diperhitungkan supaya kondisi dari sistem selalu berada dititik maksimal. Sehingga disaat nilai $E(k)$ semakin besar maka perubahan *duty cycle* juga akan semakin besar ataupun ketika nilai $E(k)$ semakin kecil (mendekati nilai 0) maka perubahan *duty cycle* akan semakin kecil dan berupaya dititik maksimum sehingga mengurangi osilasi pada saat *steady state*.



Gambar 3.8 Fungsi Keanggotaan Variabel dB

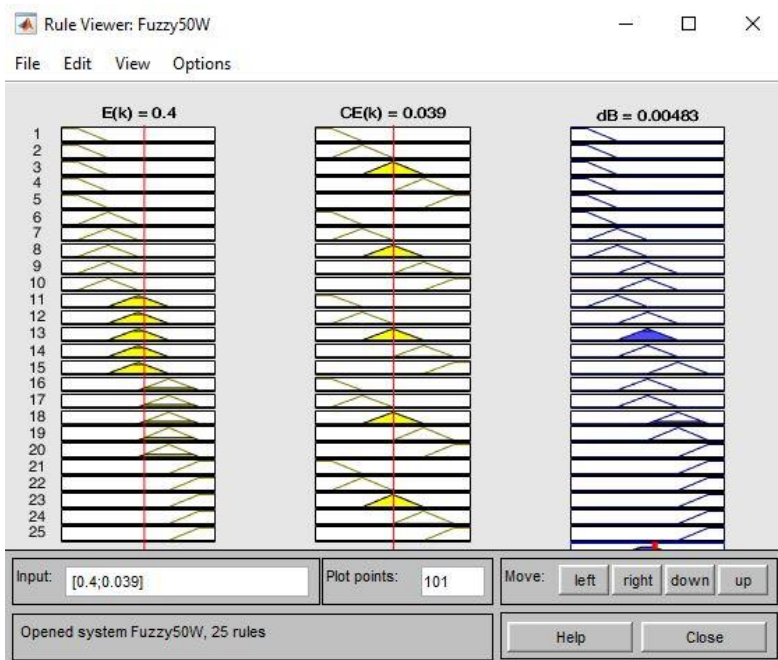
Hasil yang didapat dari aturan *fuzzy* ini adalah nilai perubahan rasio *duty cycle* dimana sebagai masukan kedalam DC-DC konverter. Perubahan rasio *duty cycle* diatur sebesar 0.05 untuk menghasilkan osilasi yang kecil. Perubahan rasio *duty cycle* dalam fungsi keanggotaan bisa dilihat pada gambar Gambar 3.8 Fungsi Keanggotaan Variabel dB

Proses dengan menggunakan logika *fuzzy* dapat disimulasikan dengan simulink seperti gambar Gambar 3.9 Simulasi *Rule Viewer Fuzzy* 1. Pada detik ke 0 sampai dengan detik ke 1 nilai $E(k)$ pada Gambar 3.4 Grafik Plot nilai $E(k)$ yaitu sebesar 3 dan nilai $CE(k)$ pada Gambar 3.5 Grafik Plot nilai $CE(k)$ yaitu sebesar 0. Dengan dikaitkan pada *rule* tabel persamaan diatas maka didapatkan nilai rasio *duty cycle* sebesar 0.0279. Dengan nilai tersebut membuat tracking daya menjadi lebih cepat untuk mencapai titik maksimumnya.



Gambar 3.9 Simulasi *Rule Viewer Fuzzy 1*

Selanjutnya ketika kondisi *steady state* yaitu pada detik ke 1 sampai dengan detik ke 4 nilai $E(k)$ pada Gambar 3.4 yaitu sebesar (-0,5 dan atau 0,5) sedangkan nilai $CE(k)$ pada Gambar 3.5 Grafik Plot nilai $CE(k)$ juga relatif sama yaitu sebesar (-0,5 dan atau 0,5). Dengan dikalikan pada tulle table persamaan diatas maka didapatkan nilai rasio *duty cycle* sebesar 0.00483. Sehingga dengan nilai ini membuat *duty cycle* tidak terjadi perubahan nilai yang sangat besar dan dapat mengurangi osilasi ketika kondisi *steady state*.



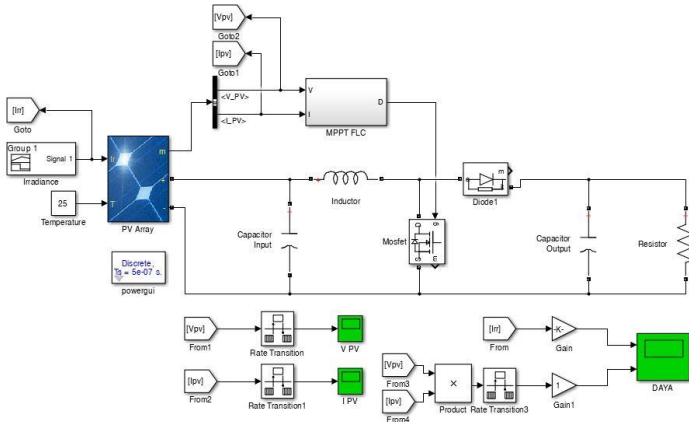
Gambar 3.10 Simulasi *Rule Viewer Fuzzy 2*

3.7 Simulasi Sistem

Dari desain rangkaian yang sudah dibahas pada sub bab sebelumnya, dilakukan simulasi dengan *software* Simulink (Matlab 2015a) untuk menguji rangkaian dan algoritma apakah sudah sesuai yang diinginkan. Terdapat tiga komponen utama yang digunakan dalam pembuatan MPPT yaitu konverter, PV, dan algoritma MPPT.

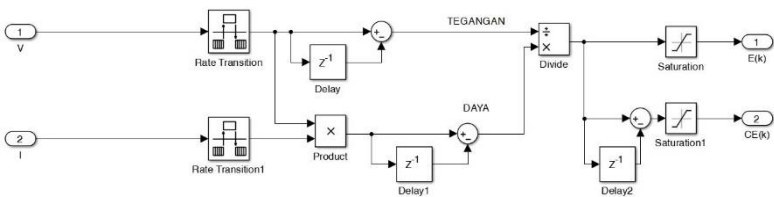
PV yang digunakan menggunakan block PV Array yang sudah disediakan oleh matlab. Parameter pada blok PV Array dapat kita atur sesuai spesifikasi yang digunakan. Dari parameter yang dapat diatur, kurva karakteristik PV bisa di plot dengan berbagai macam iradiasi. Pada algoritma MPPT menggunakan block *Fuzzy* yang ada pada matlab dimana blok ini akan mempresentasikan mikrokontroler yang digunakan saat implementasi.

Dengan *rule* dan parameter yang telah dihitung, sistem MPPT *fuzzy* disimulasikan. Untuk perbandingan akan disimulasikan dua buah algoritma yaitu Perturb and Observe (P&O) dengan *Fuzzy Logic Controller* (FLC). Rangkaian simulasi dari sistem dapat dilihat pada Gambar 3.11 Skema MPPT pada *software* simulink

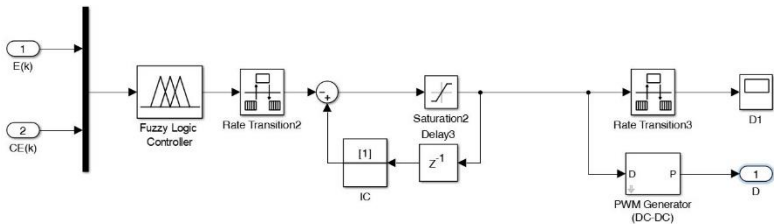


Gambar 3.11 Skema MPPT pada *software* simulink

Rangkaian kontrol dari MPPT *Fuzzy Logic Controller* dapat dilihat pada Gambar 3.12 Skema perhitungan $E(k)$ dan $CE(k)$ pada *software* simulink dan Gambar 3.13 Blok *Fuzzy Logic Controller* pada *software* simulink



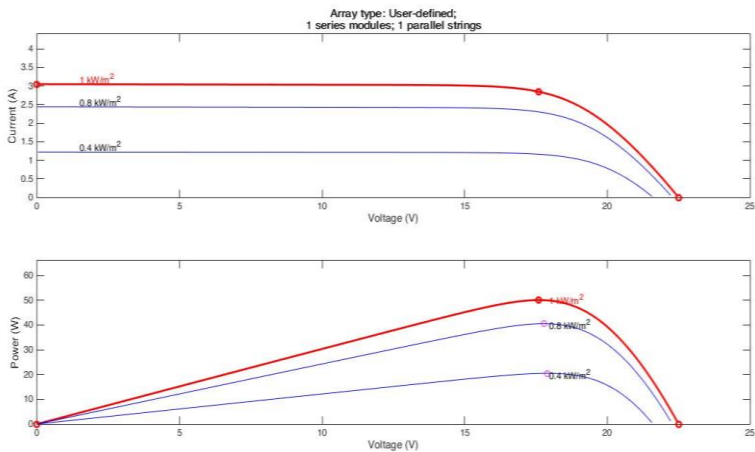
Gambar 3.12 Skema perhitungan $E(k)$ dan $CE(k)$ pada *software* simulink



Gambar 3.13 Blok *Fuzzy Logic Controller* pada software simulink

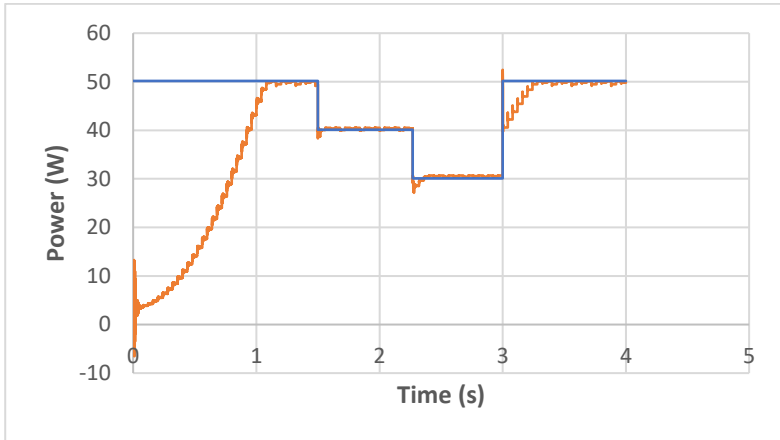
3.7.1 Simulasi Algoritma MPPT dengan Iradiasi Berubah dan Beban Konstan

Simulasi digunakan dua modul PV yang dirangkai secara parallel dengan iradiasi yang berbeda beda dan dengan beban tetap. Pemilihan modul PV mempertimbangkan implementasi yang ada di laboratorium Konversi Energi Elektro ITS. Suhu pada PV diasumsikan konstan yaitu sebesar 25°C. Pada simulasi ini dilakukan perbandingan penggunaan algoritma *Perturb and Observe* (P&O) dengan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) MPPT dengan parameter yang dibandingkan adalah jumlah daya dan efisiensi energi yang didapatkan.

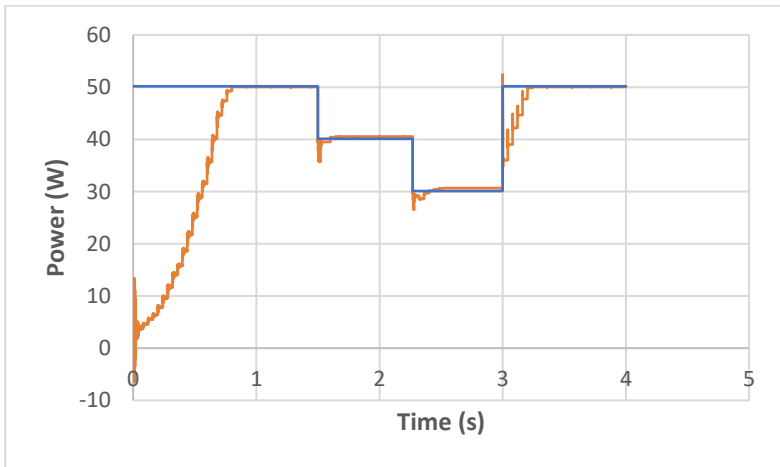


Gambar 3.14 Kurva karakteristik PV dengan iradiasi beragam

Iradiasi diubah dari 1000 W/m^2 menjadi 800 W/m^2 pada detik ke 1.5 lalu iradiasi diturunkan kembali menjadi 600 W/m^2 pada detik ke 2.25 dan terakhir dinaikkan menjadi 1000 W/m^2 pada detik ke 3. Perubahan iradiasi ini dilakukan untuk menguji algoritma MPPT dapat berjalan baik pada kondisi turun ataupun naik.



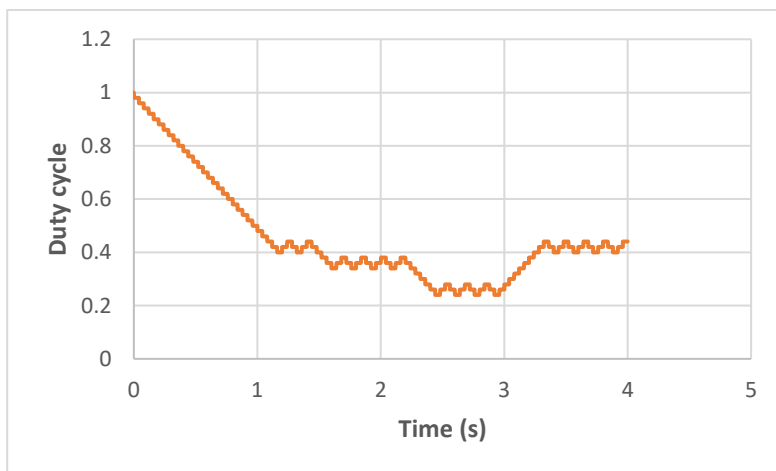
Gambar 3.15 Grafik daya Perubahan Iradian dengan algoritma P&O



Gambar 3.16 Grafik daya Perubahan Iradian dengan algoritma FLC

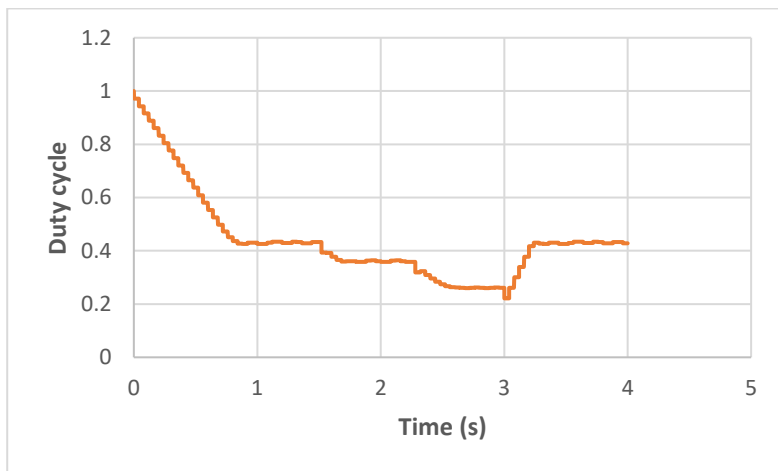
Berdasarkan grafik pada Gambar 3.15 Grafik daya Perubahan Iradian dengan algoritma P&O Gambar 3.16 Grafik daya Perubahan Iradian dengan algoritma FLC kedua algoritma dapat mencapai titik MPP. Dengan menggunakan MPPT algoritma FLC memiliki tracking lebih cepat dibandingkan dengan P&O. Pada MPPT P&O terdapat osilasi daya yang cukup signifikan pada saat *steady state*, sehingga mengakibatkan adanya daya yang hilang. Semakin besar ripple daya, maka semakin besar juga rugi-rugi dayanya. Pada MPPT dengan algoritma P&O total energi yang dihasilkan sebesar 148.856 Joule sedangkan pada MPPT dengan algoritma FLC total energi yang dihasilkan sebesar 151.867 Joule. Jika dilihat dari kurva karakteristik PV, total keseluruhan energi yang mampu dihasilkan oleh PV yaitu sebesar 153.545 Joule. Sehingga jika menggunakan MPPT algoritma P&O efisiensi energinya sebesar 96.94% atau mengalami hilangnya energi sebesar 3.06%. Dan jika menggunakan MPPT algoritma FLC efisiensi energinya sebesar 98.9% atau mengalami hilangnya energi sebesar 1.1%.

Pada Gambar 3.17 grafik *duty cycle* juga terdapat perbedaan osilasinya. Pada MPPT P&O nilai *duty cycle* selalu naik dan turun sebesar nilai step yang telah ditentukan yaitu 0.02. Dengan nilai step yang konstan tersebut, maka nilai operasi akan selalu berosilasi dititik puncak dan membutuhkan tracking daya yang cukup lama.



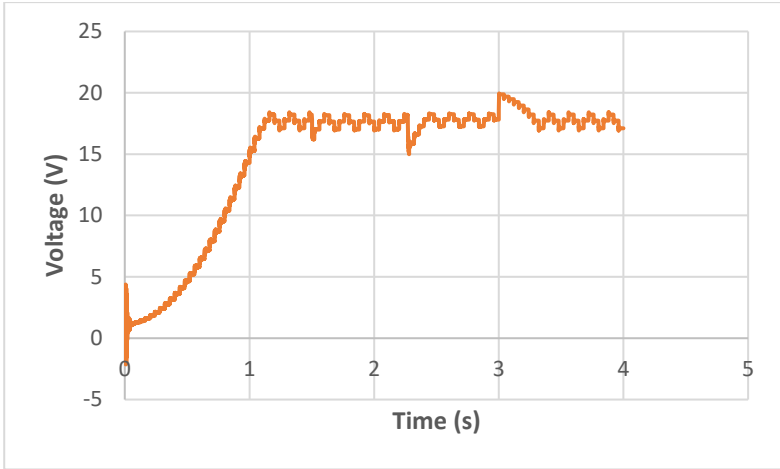
Gambar 3.17 Grafik *Duty cycle* perubahan iradian dengan algoritma P&O

Berbeda dengan menggunakan MPPT FLC dimana nilai *duty cycle* sangat dipengaruhi dari proses *fuzzyfication*, *inference engine* dan *defuzzyfication*. Dimana ketika nilai $E(k)$ masih cukup besar maka step *duty cycle* yang dihasilkan juga besar, namun ketika nilai *error* mendekati nol atau $e(k) \approx 0$ maka nilai step *duty cycle* akan mengecil sehingga terjadi pengurangan osilasi disaat *steady state*. Perubahan *duty cycle* MPPT FLC bisa dilihat pada Gambar 3.18.

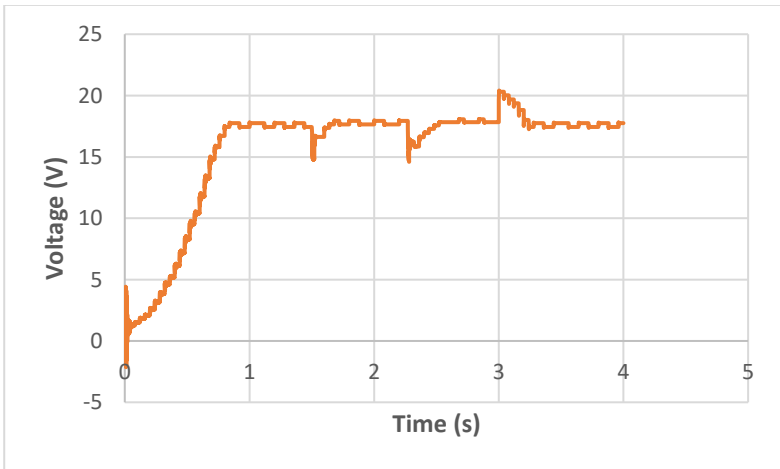


Gambar 3.18 Grafik *Duty cycle* perubahan iradian dengan algoritma FLC

Perbedaan perubahan *duty cycle* mempengaruhi nilai tegangan operasi dari PV. Namun dengan perubahan iradiasi, tegangan akan selalu berupaya di titik maksimumnya (V_{maks} PV). Tampak pada Gambar 3.19 dan Gambar 3.20 tegangan operasi PV dengan menggunakan algoritma P&O terdapat osilasi yang cukup besar dibandingkan dengan menggunakan algoritma FLC.



Gambar 3.19 Grafik Tegangan PV perubahan iradian dengan algoritma P&O

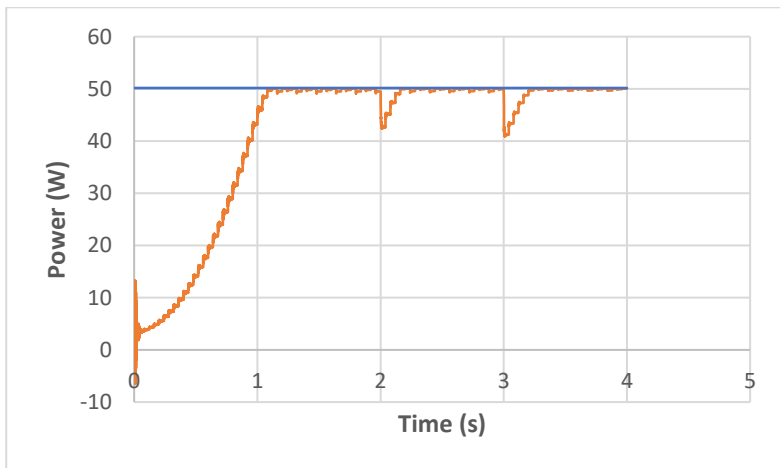


Gambar 3.20 Grafik Tegangan PV perubahan iradian dengan algoritma FLC

3.7.2 Simulasi Algoritma MPPT dengan Iradiasi Konstan dan Beban Berubah

Pada simulasi berikutnya dilakukan perubahan beban dengan kondisi test PV (Iradiasi W/m² dan suhu 25°C) sehingga daya *output* PV maksimal sebesar 100.3W. Beban yang digunakan untuk pengujian beban berubah adalah menggunakan Resistor yang diubah nilai resistansinya. Beban mula-mula bernilai 17.9 Ω lalu pada saat detik ke 2 beban diturunkan menjadi bernilai 13 Ω, dan yang terakhir beban diturunkan menjadi bernilai 9 Ω pada detik ke 3.

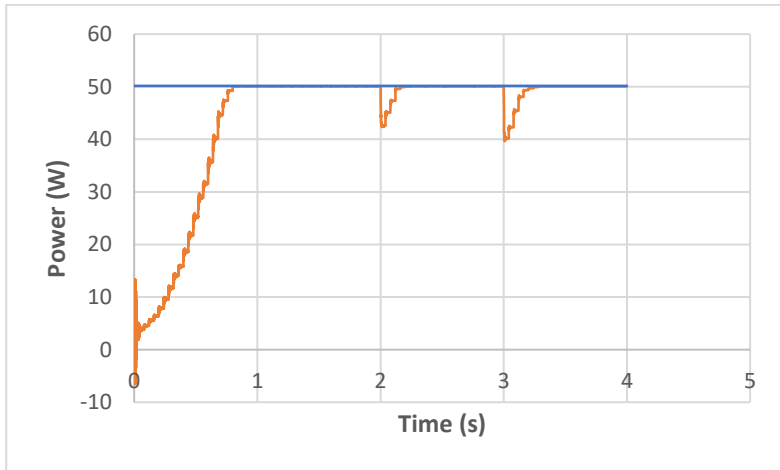
Pada saat perubahan beban, tampak pada gambar Gambar 3.21 dan Gambar 3.22 MPPT dengan algoritma P&O dan FLC mampu mencapai titik MPP meskipun saat terjadi perubahan beban. Pada kondisi ini energi maksimum yang dapat dihasilkan oleh PV adalah sebesar 178.402 Joule.



Gambar 3.21 Grafik daya perubahan beban dengan menggunakan algoritma P&O

Dengan menggunakan MPPT algoritma P&O, titik MPP dapat tercapai namun membutuhkan tracking yang cukup lama dan masih terdapat isolasi pada keadaan *steady state*. Energi yang dihasilkan dengan menggunakan algoritma P&O adalah sebesar 172.5487 Joule. Sehingga

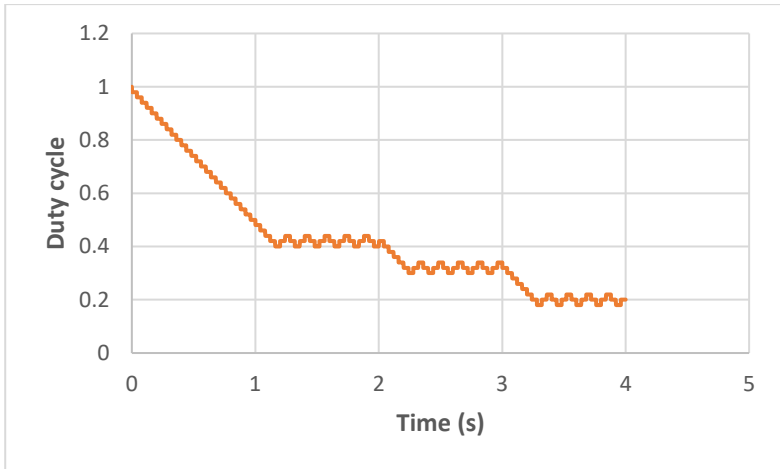
efisiensi energi yang bisa dicapai dari algoritma ini yaitu sebesar 96.71% dan jumlah energi yang hilang yaitu sebesar 3.29%.



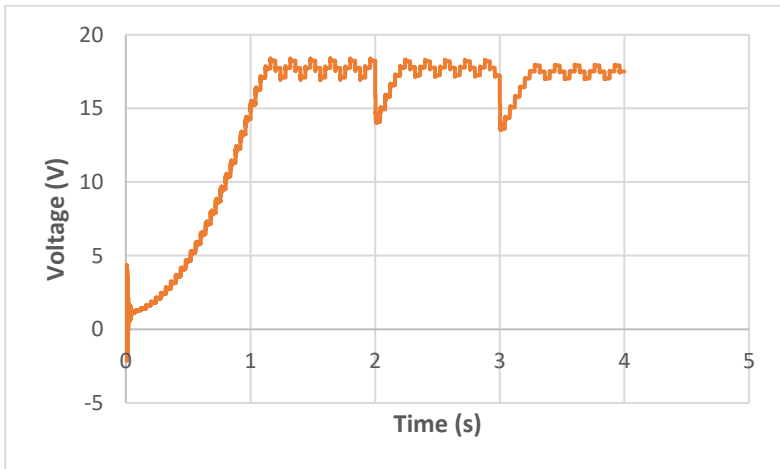
Gambar 3.22 Grafik daya perubahan beban dengan menggunakan algoritma FLC

Selanjutnya pengujian dengan menggunakan MPPT algoritma FLC, titik MPP dapat tercapai dengan waktu tracking yang lebih cepat dibandingkan P&O. Dan daya yang dihasilkan oleh PV ketika dalam keadaan *steady state* dengan isolasi yang lebih kecil. Energi yang dihasilkan dengan menggunakan algoritma FLC adalah sebesar 176.274 Joule. Sehingga efisiensi energi yang bisa dicapai dari algoritma ini yaitu sebesar 98.8% dan jumlah energi yang hilang hanya sebesar 1.2%.

Ketika nilai resistansi diturunkan, maka arus beban juga akan naik sehingga nilai *duty cycle* akan turun. Tampak pada Gambar 3.23 dan Gambar 3.25 *duty cycle* mengalami penurunan nilai untuk menjaga daya pada PV selalu maksimal. Hal ini juga juga menyebabkan nilai tegangan operasi dari PV baik dengan menggunakan algoritma P&O ataupun FLC mengalami penyesuaian dengan cara menurunkan tegangan secara cepat dan kembali lagi ke tegangan maksimal, seperti yang ditunjukkan pada gambar Gambar 3.24 dan Gambar 3.26



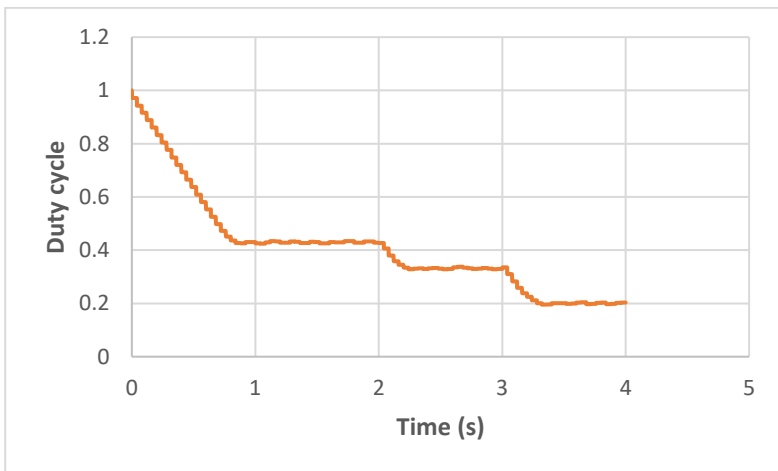
Gambar 3.23 *Duty cycle* Perubahan Beban dengan menggunakan algoritma P&O



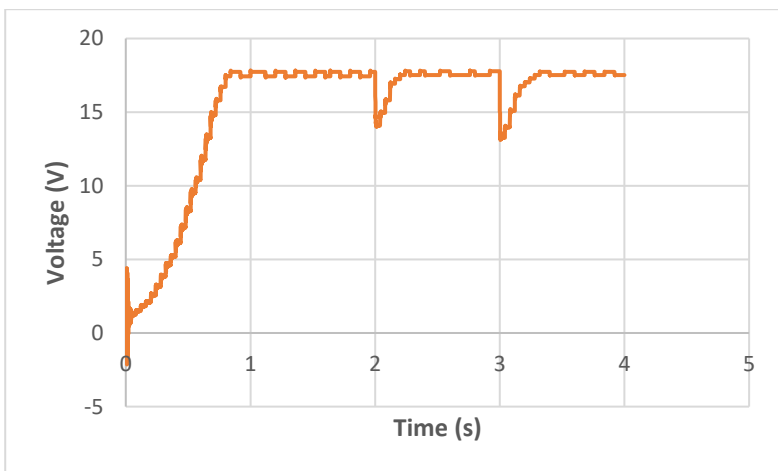
Gambar 3.24 Tegangan PV Perubahan Beban dengan menggunakan algoritma P&O

Perbedaan perubahan *duty cycle* pada algoritma FLC hampir sama dengan algoritma P&O, namun perubahan respon yang terjadi lebih

cepat sehingga algoritma FLC lebih cepat mencapai kondisi *steady state* dan dengan osilasi yang lebih kecil.



Gambar 3.25 Duty cycle Perubahan Beban dengan menggunakan algoritma FLC



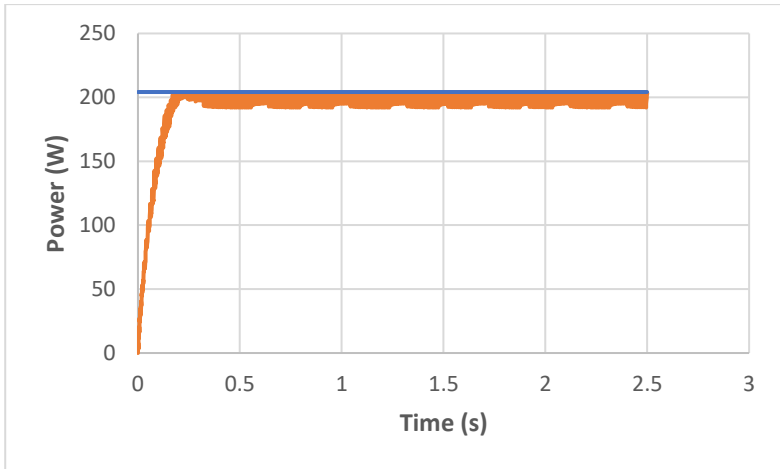
Gambar 3.26 Tegangan PV Perubahan Beban dengan menggunakan algoritma FLC

3.8 Simulasi Sistem MPPT Berbasis *Fuzzy Logic Controller* yang terhubung Inverter untuk Suplai Pompa Air

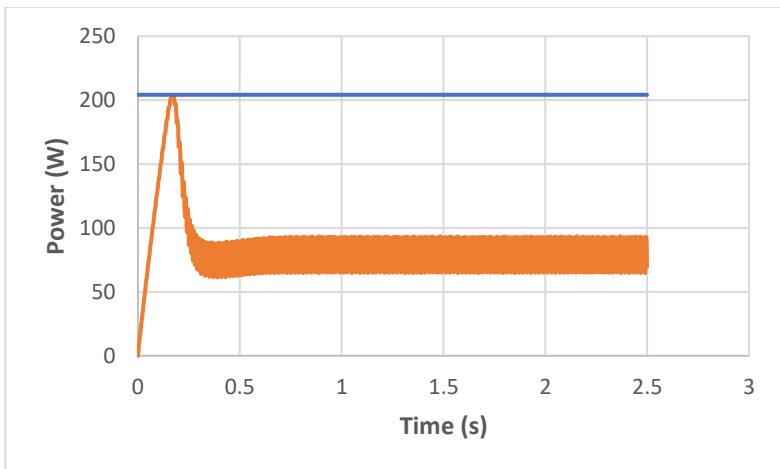
Pada sub bab ini dilakukan simulasi sistem secara keseluruhan dengan pemodelan sistem yang telah ditunjukkan. Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan software simulink pada MATLAB 2015a. Sistem yang disimulasikan terdiri dari: Photovoltaic (PV), konverter *boost* (aktuator MPPT), algoritma MPPT (*Fuzzy Logic Controller*), *fullbridge* inverter untuk merubah tegangan DC menjadi AC, motor induksi satu fasa yang terhubung pompa air. Simulasi ini bertujuan untuk melihat respon sistem dari sumber hingga ke beban secara keseluruhan. Rangkaian sistem simulasi ditunjukkan pada gambar Gambar 3.27.

Pengujian pada proses simulasi dilakukan pengamatan bentuk gelombang tegan *output* PV, arus *output* PV, daya *output* PV, kecepatan motor dan total aliran air yang dihasilkan. Pada proses simulasi ini, nilai iradiasi pada PV diatur sebesar 1000 W/m^2 dimana bertujuan untuk mengetahui total debit maksimal yang bisa dihasilkan dari sistem baik menggunakan MPPT ataupun tidak menggunakan MPPT.

Pada saat sistem menggunakan MPPT bisa dilihat daya luaran dari PV mampu mencapai titik MPP meskipun dibebani oleh pompa air. Tampak pada Gambar 3.28 dan Gambar 3.29 adalah daya luaran PV saat dihubungkan MPPT dan tanpa MPP. Ketika menggunakan MPPT, total debit air yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan tanpa menggunakan MPPT yaitu sebanyak 1.3 liter atau tanpa pada Gambar 3.30. Hal ini dikarenakan daya yang masuk ke Pompa air lebih besar disaat menggunakan MPPT. Pada kondisi ini energi maksimum yang bisa dihasilkan oleh PV yaitu sebesar 354.51 Joule. Penggunaan MPPT dengan Algoritma FLC dapat menghasilkan energi yaitu sebesar 337.26 Joule, sehingga efisiensi energi yang didapatkan adalah 95.13% dan energi yang hilang dari sistem sebesar 4.87%.



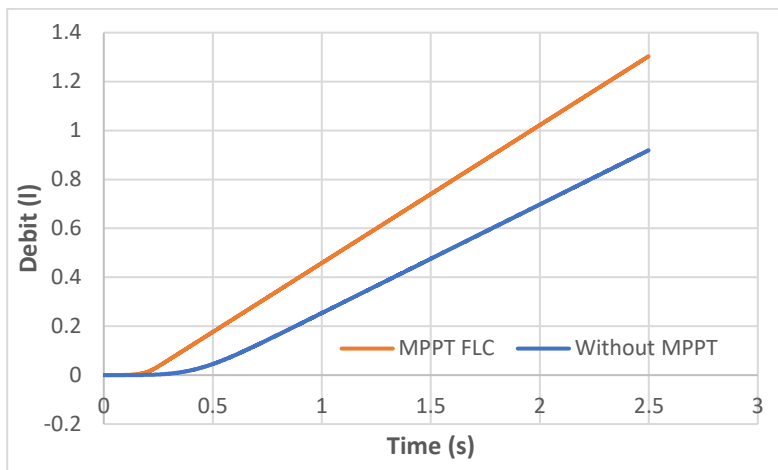
Gambar 3.28 Daya PV yang terhubung dengan Pompa air Dengan MPPT FLC



Gambar 3.29 Daya PV yang terhubung dengan Pompa air Tanpa MPPT

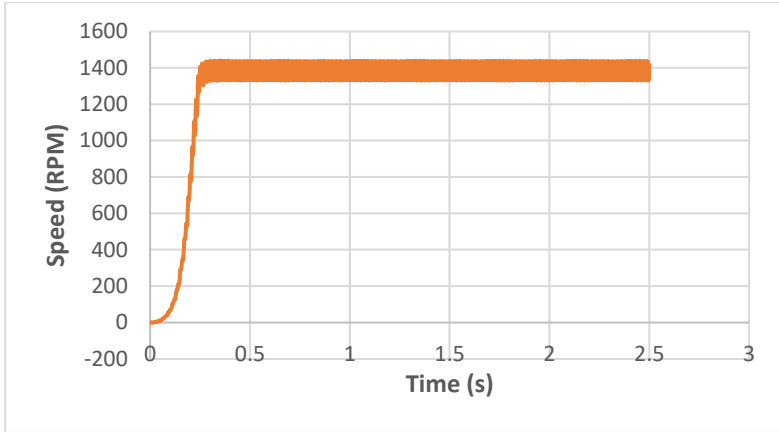
Sedangkan pada saat sistem tidak menggunakan MPPT atau tampak pada Gambar 3.29 daya tidak mampu mencapai titik MPP sehingga terdapat energi yang hilang cukup banyak. Dengan

menggunakan sistem tanpa MPPT maka total debit air yang dihasilkan dari pompa yaitu sebanyak 0.9 liter. Pada kondisi penggunaan tanpa energi yang bisa dihasilkan oleh sistem yaitu sebesar 146.98 Joule, sehingga efisiensi energi yang didapatkan adalah 41.46% dan energi yang hilang dari sistem sebesar 58.54%.

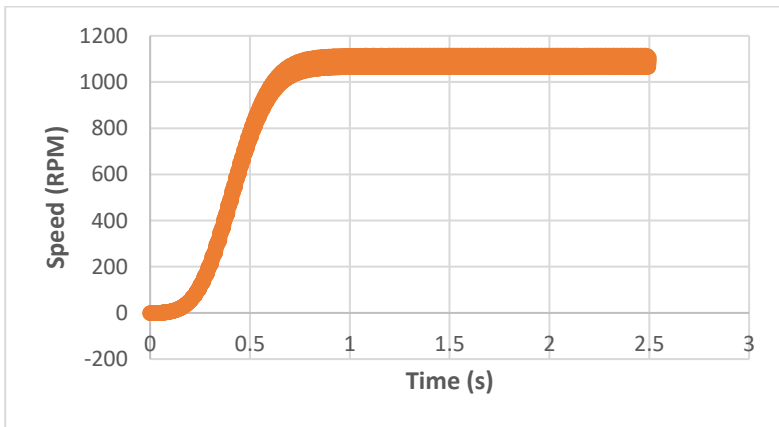


Gambar 3.30 Total Debit air yang dihasilkan Pompa Air

Perubahan total debit air yang mengalir juga dipengaruhi kecepatan pompa air. Dimana saat menggunakan MPPT kecepatan Pompa Air bisa mendekati kecepatan rating yaitu sebesar 1400rpm dan dengan respon yang lebih cepat, sedangkan disaat tanpa menggunakan MPPT kecepatan Pompa Air hanya sebesar 1100rpm.



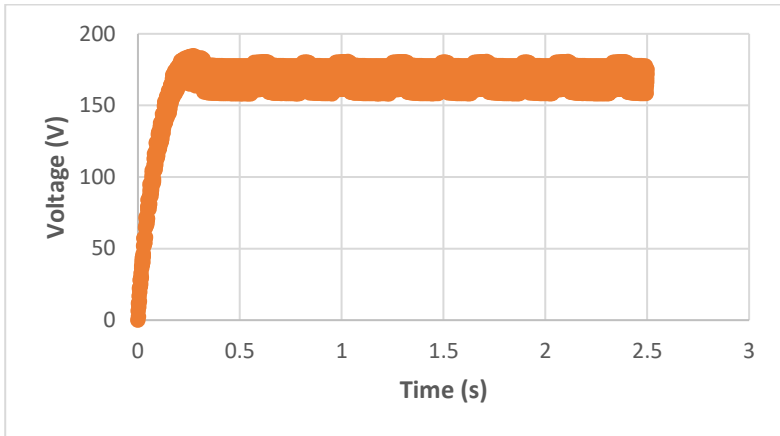
Gambar 3.31 Kecepatan motor yang terhubung dengan Pompa air Dengan MPPT FLC



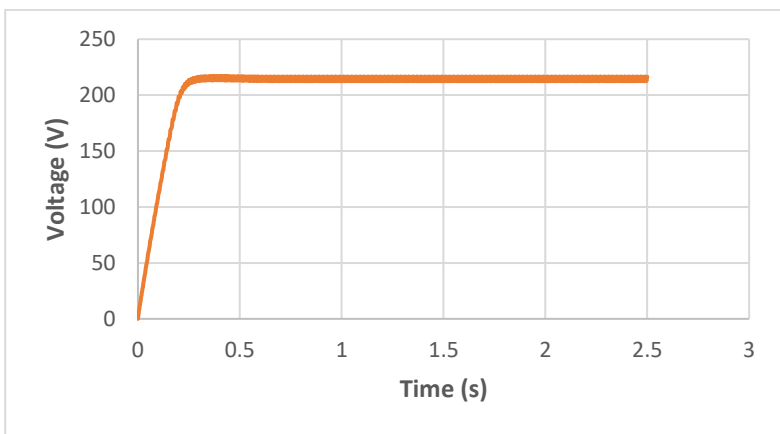
Gambar 3.32 Kecepatan motor yang terhubung dengan Pompa air Tanpa MPPT

Perbedaan daya yang dihasilkan PV ini terjadi karena PV beroperasi pada tegangan yang berbeda ketika menggunakan MPPT dan tanpa menggunakan MPPT. Oleh karena itu ketika dihubungkan dengan MPPT maka tegangan akan dikontrol pada daya maksimum dengan mengontrol *duty cycle* dari konverter. Namun ketika PV langsung

dihubungkan dengan beban, tegangan operasi PV akan sama dengan beban yaitu sebesar 220V sehingga membuat PV tidak akan mencapai titik MPP dan mengakibatkan drop daya yang besar.

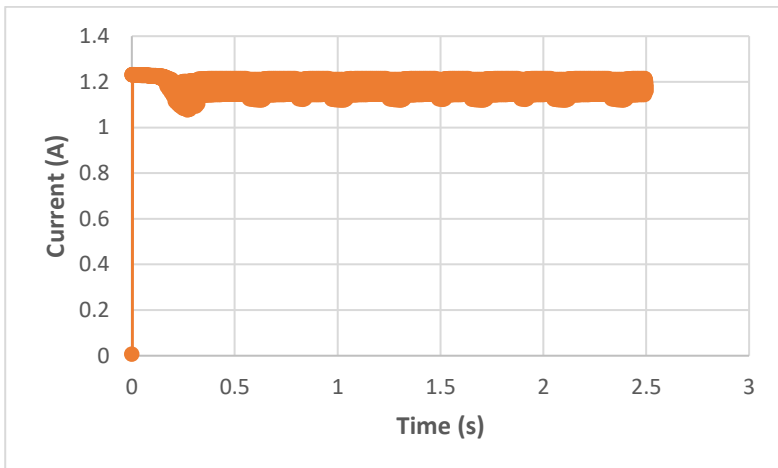


Gambar 3.33 Tegangan PV yang terhubung dengan Pompa air Dengan MPPT FLC

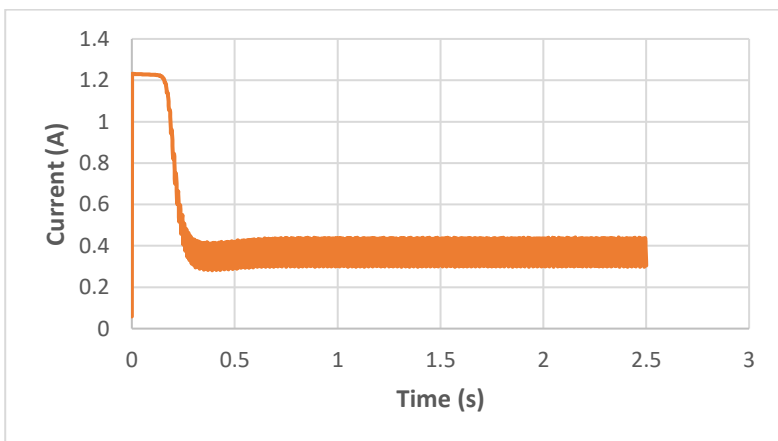


Gambar 3.34 Tegangan PV yang terhubung dengan Pompa air Tanpa MPPT

Berdasarkan Gambar 3.35 ketika sistem dihubungkan dengan MPPT maka arus PV juga berada dititik maksimumnya. Sedangkan tanpa dihubungkan dengan MPPT tampak pada Gambar 3.36, maka arus PV akan mengalami drop yang sangat besar dibandingkan rating dari arus maksimal PV itu sendiri.

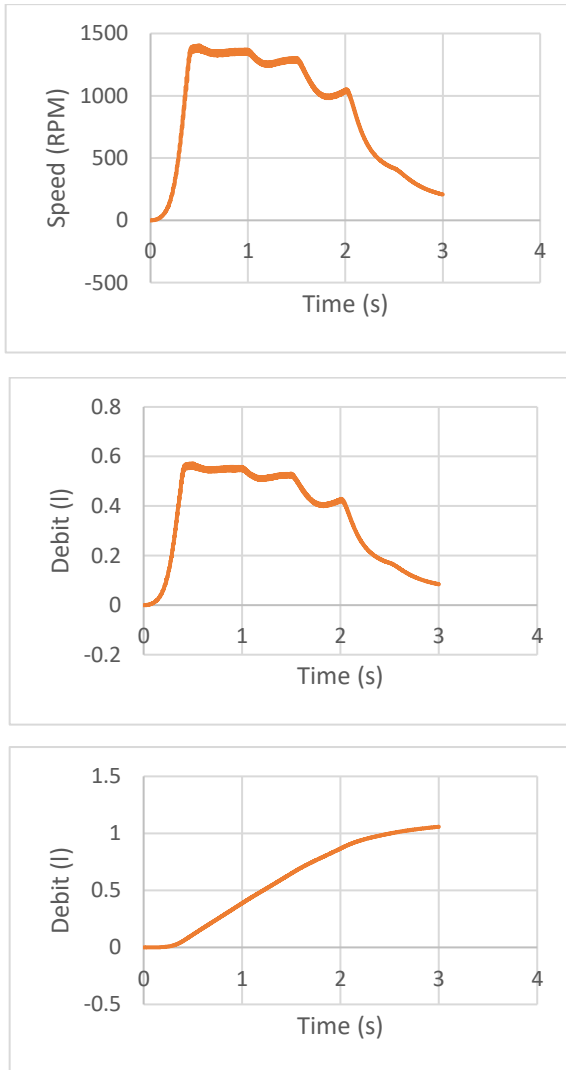


Gambar 3.35 Arus PV yang terhubung dengan Pompa air Dengan MPPT

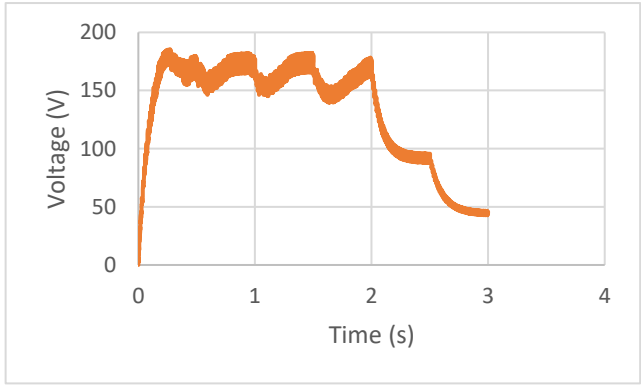
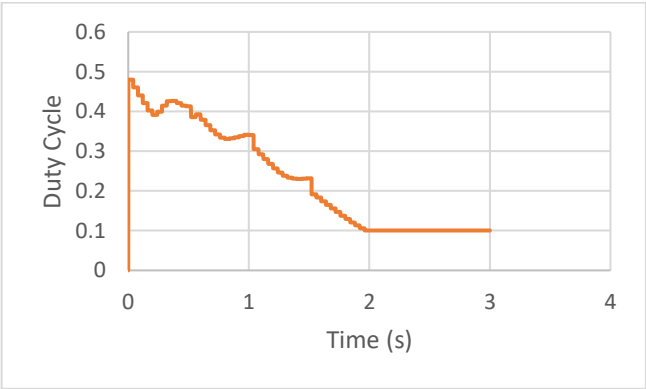
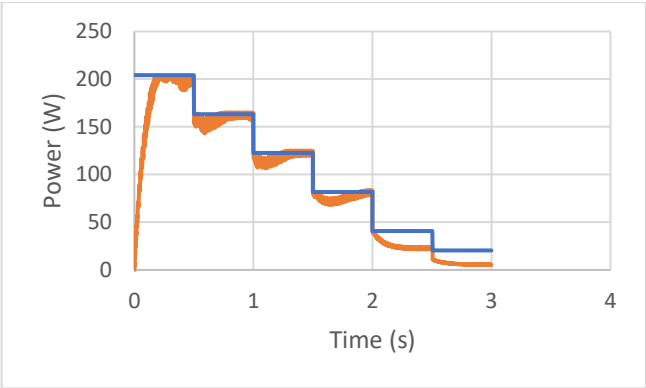


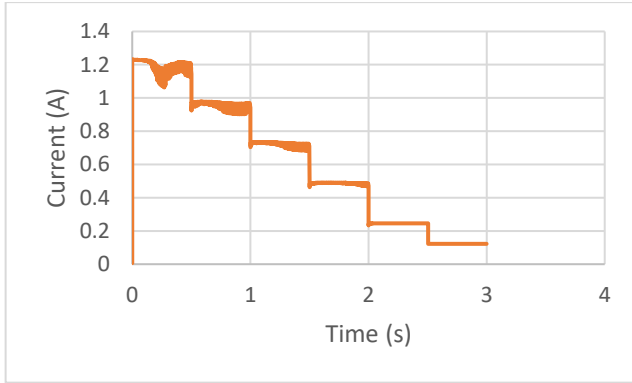
Gambar 3.36 Arus PV yang terhubung dengan Pompa air Tanpa MPPT

3.8.1 Simulasi Sistem dengan berbagai nilai Perubahan Iradiasi



Gambar 3.37 Gelombang rangkaian secara keseluruhan. (a) Gelombang kecepatan motor (b) Gelombang debit air (c) Gelombang total debit air





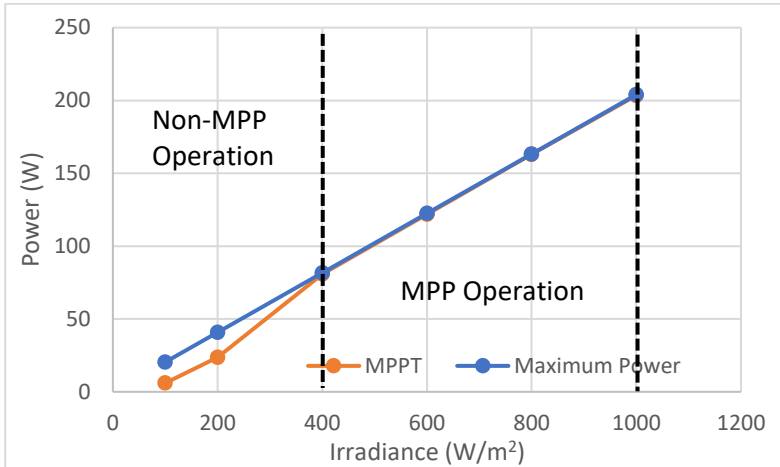
Gambar 3.38 Gelombang rangkaian secara keseluruhan. (a) Gelombang daya maksimal dan daya PV (b) Gelombang duty cycle (c) Gelombang tegangan PV (d) Gelombang arus PV

Tabel 3.6 Data hasil sistem perubahan iradiasi secara keseluruhan

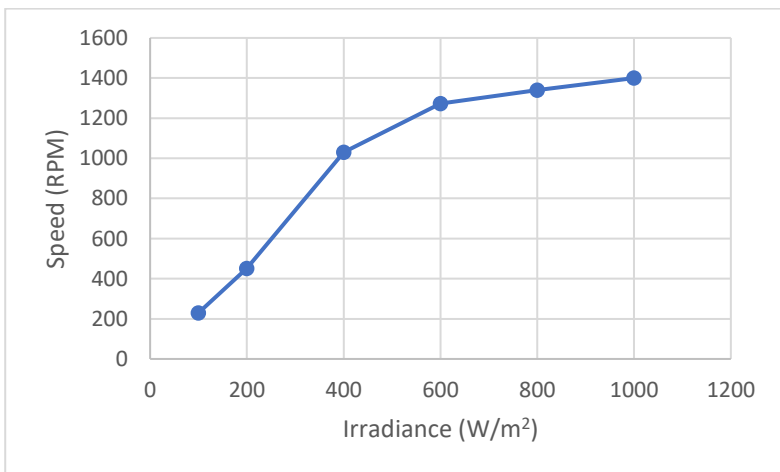
Irradiance (W/m ²)	Power Max PV (W)	Power Output PV (W)	Duty Cycle	Speen (RPM)	Water of Debit (l/s)
1000	204	203.4	0.42	1400	0.57
800	163.3	162.9	0.33	1340	0.55
600	122.5	121.9	0.23	1273	0.53
400	81.7	80.9	0.12	1030	0.43
200	40.8	23.6	0.1	452	0.18
100	20.4	6	0.1	230	0.09

Pada Tabel 3.6 Data hasil sistem perubahan iradiasi secara keseluruhan menunjukkan data dari hasil perubahan iradiasi sistem secara keseluruhan. Bisa dilihat bahwa sistem akan bekerja secara maksimal ketika rentang iradiasi sebesar 400 W/m² – 1000 W/m². Sehingga ketika iradiasi turun dibawah 400 W/m² maka daya yang mampu dihasilkan dari PV tidak akan maksimal, hal ini disebabkan karena pengaturan nilai *duty cycle* diatur minimal sebesar 0.1. Selanjutnya pada Gambar 3.37 Gelombang rangkaian secara keseluruhan. (a) Gelombang kecepatan motor (b) Gelombang debit air (c) Gelombang total debit air dan Gambar 3.38 Gelombang rangkaian secara keseluruhan. (a) Gelombang daya maksimal dan daya PV (b) Gelombang duty cycle (c) Gelombang

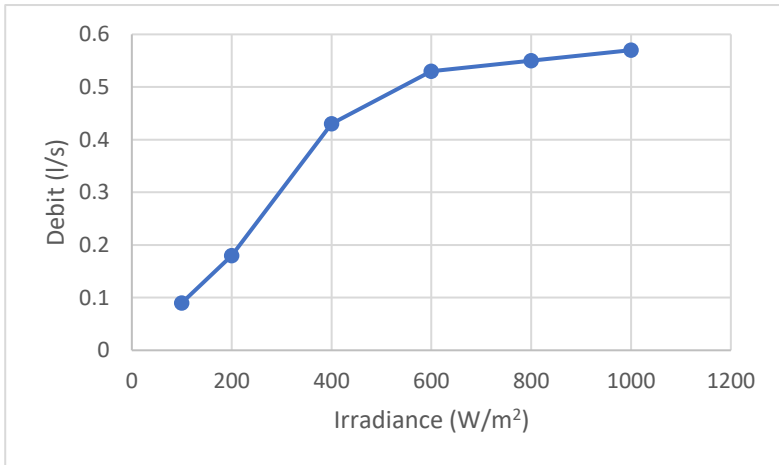
tegangan PV (d) Gelombang arus PV ditampilkan grafik sistem disaat terjadi perubahan iradiasi. Bisa disimpulkan bahwa ketika terjadi perubahan iradiasi maka kecepatan pada motor akan turun sehingga membuat debit air yang dihasilkan akan ikut turun. Hal ini sesuai hukum afinitas yang telah dijelaskan pada persamaan (2.32).



Gambar 3.39 Grafik daya yang dihasilkan terhadap perubahan iradiasi



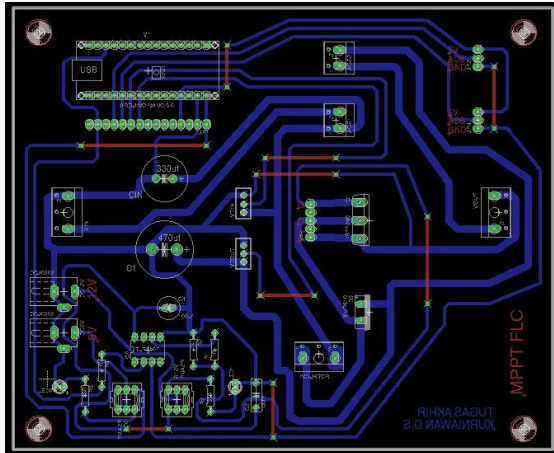
Gambar 3.40 Grafik kecepatan motor yang dihasilkan terhadap perubahan iradiasi



Gambar 3.41 Grafik debit air yang dihasilkan terhadap perubahan iradiasi

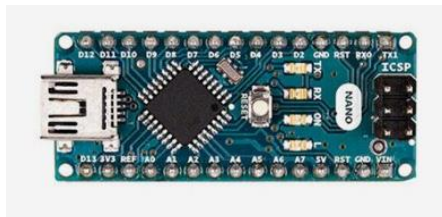
3.9 Implementasi sistem MPPT *Fuzzy Logic Controller*

Tahap implementasi merupakan tahap pembuatan alat dengan menggunakan acuan dari proses desain yang telah dilakukan. Proses implementasi ini dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem secara riil.



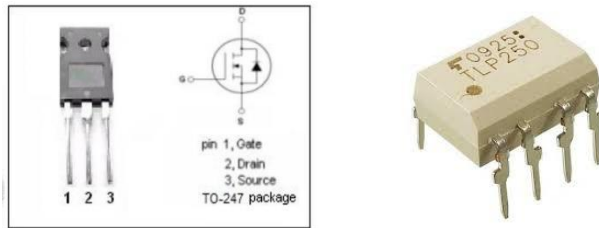
Gambar 3.43 Rangkaian Konverter *Boost* dengan software Eagle

Pada tahap ketiga adalah pemilihan komponen pada penggunaan konverter *boost*. Pada bab sebelumnya sudah dibahas mengenai perhitungan konverter *boost* sehingga menghasilkan sebuah parameter dalam pemilihan komponen. Komponen paling utama dari MPPT adalah sebuah kontrol yang mengendalikan *switching* pada MOSFET yaitu menggunakan Mikrokontroler. Pada penelitian ini dipilih mikrokontroler Arduino Nano karena selain ukurannya lebih kecil dibanding Arduino lain terdapat berbagai kelebihan diantara lain memiliki kecepatan clock hingga 16 Mhz, terdapat fitur ADC (*analog to Digital Converter*) sebesar 10 bit dan dilengkapi dengan prosesor ATMEGA 328.



Gambar 3.44 Arduino Nano

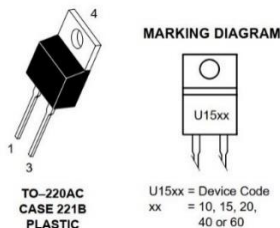
Komponen lain yang berfungsi sebagai pensaklaran (*switching*) pada konverter yaitu MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*). Berdasarkan perhitungan dan parameter pada sub bab (3.36) dan pertimbangan komponen yang ada di pasaran maka pada penelitian ini menggunakan IRFP 4227.



Gambar 3.45 MOSFET IRFP 4227 (Kiri) dan IC TLP250 (Kanan)

Karena tegangan *switching* pada MOSFET (12V) lebih besar daripada arduino nano (5V) maka digunakan rangkaian driver MOSFET. Rangkaian driver MOSFET berfungsi untuk mengoperasikan MOSFET baik dari keadaan ON ke OFF ataupun sebaliknya. Rangkaian driver MOSFET menggunakan Optocoupler karena terdapat isolasi elektrik yaitu kondisi yang terisolasi antara masukan dan kelaurannya. Sehingga pada penelitian ini menggunakan IC TLP250.

Komponen berikutnya adalah dioda. Berdasarkan perhitungan dan parameter pada sub bab (3.35) dan dengan pertimbangan komponen yang ada dipasaran maka tipe dioda yang digunakan yaitu MUR1560.



Gambar 3.46 Dioda MUR1560

Komponen selanjutnya adalah Induktor. Pemilihan induktor sangat mempengaruhi *switching* arus pada rangkain konverter *boost*. Pada penelitian ini, induktor yang digunakan adalah berjenis toroid. Pemilihan induktor toroid dikarenakan memiliki rugi-rugi magnetisasi yang kecil karena medan magnet cenderung mengisi bagian tengah dari induktor. Tipe induktor yang dipilih yaitu 0077548A7 dengan nilai A_L yaitu sebesar 127 nH/T^2 .



Gambar 3.47 Induktor jenis 0077548A7

Komponen terakhir adalah sensor yang merupakan bagian terpenting dalam pengolahan algoritma pada MPPT supaya dapat bekerja dengan baik. Algoritma MPPT FLC memerlukan pembacaan arus dan tegangan sehingga dibutuhkan komponen yang dapat membaca arus dan tegangan yang akurat dan tepat. Sensor arus yang digunakan adalah tipe ACS712 dengan rating arus sebesar 20A. Sensor ini bekerja dengan mengkonversi arus yang lewat menjadi nilai tegangan yang dimasukkan pada bagan ADC mikrocontroller. Selanjutnya pada sensor tegangan menggunakan multiturn dengan nilai $100\text{k}\Omega$. Sensor ini berkerja seperti menggunakan konsep pembagi tegangan. Rasio resistansi yang digunakan yaitu 1:10 karena mempertimbangkan nilai ADC maksimal pada arduino sebesar 5V sehingga setiap nilai 5V akan terbaca 0.5V. Kedua sensor tersebut akan membaca nilai arus dan tegangan masukan kemudian diolah oleh mikrocontroller dan akan diproses melalui program MPPT.



Gambar 3.48 MULTITURN 10K(Kiri) dan ACS712 20A (Kanan)

Tabel 3.7 Tabel Parameter Sistem

Parameter of PV	Value
Solar Panel	Solar Module SP-50-M36
Maximum Power MPP	50 WP
Voltage V_{MPP}	17,6 V
Current I_{MPP}	2,85 A
Component and Parameter of Converter	Value
<i>Micro Controller</i>	Arduino Mega Nano
Frekuensi <i>switching</i>	20kHz
Induktor L	720uH
Capasitor C_{in} dan C_o	100 μ F / 50 V
Diode	MUR 1560
MOSFET	IRFP4227
<i>Driver MOSFET</i>	IC TLP150
<i>Supply Driver MOSFET</i>	12 Vdc

Seluruh komponen yang digunakan diatas adalah dengan mempertimbangkan ketersediaannya komponen dipasaran. Pemilihan komponen dilakukan dengan memilih nilai yang lebih besar dari perhitungan untuk faktor keamanan dan menghindari konverter bekerja dalam mode DCM (*Discontinuous Conduction Mode*).

3.9.2 Pengujian Alat

Sebelum pengujian sistem MPPT, konverter *boost* akan diuji efisiensinya untuk melihat karakteristik dari konverter ketika terbebani penuh atau tidak. Dalam pengujian konverter menggunakan beban resistif yaitu rheostat. Rheostat yang digunakan yaitu dengan rating 25Ω dan 330Ω . Selanjutnya pengujian menggunakan bantuan amperemeter dan voltmeter supaya mendapatkan hasil yang akurat dan presisi. Pengujian MPPT langsung dihubungkan dengan rheostat 25Ω atau ketika beban *full load*.



Gambar 3.49 Implementasi rangkaian Konverter *Boost* (Kiri) dan Pengujian Efisiensi Konverter *Boost* (kanan)

Penggunaan PV sangat erat dengan perubahan iradiasi dan suhu sel. Oleh karena itu untuk mengetahui pembacaan iradiasi yang diterima oleh PV, digunakan PV 3WP yang dihubungkan dengan amperemeter selanjutnya nilai arus yang terbaca dibagi dengan rating arus hubung singkat pada PV dan dikali dengan 1000. Selanjutnya untuk mengetahui kondisi suhu sel pada PV dengan menggunakan *infrared* thermometer.



Gambar 3.50 Tes Suhu Cell menggunakan Infrared (Kiri) dan Tes Iradiasi menggunakan PV 3WP dengan Amperemeter (Kanan)

Pengujian MPPT dilaksanakan ketika PV mendapatkan iradiasi yang tinggi yaitu rentang waktu jam 11.00-14.00 WIB. Dalam pengujian perubahan iradiasi dilakukan dengan dua cara yaitu menutupi lapisan PV menggunakan plastik dan merubah sudut hadap dari PV sebesar 45°C menjauhi matahari. Untuk perubahan beban menggunakan rheostat sebesar 25Ω dan digeser sampai resistansi sebesar 13Ω dan 9Ω .

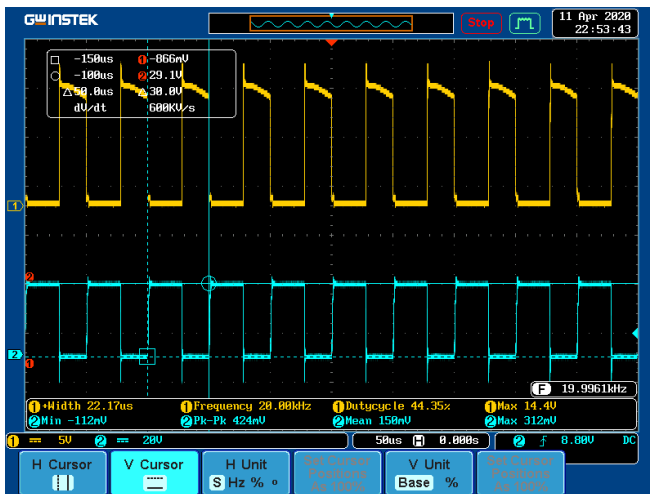
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Konverter *Boost*

Pada pengujian alat ini bertujuan untuk memastikan konverter saat implementasi sudah sesuai dengan desain yang diinginkan. Rangkaian *boost* konverter yang akan digunakan pada MPPT diuji terlebih dahulu, meliputi sinyal MOSFET, tes arus induktor dan pengujian efisiensi. Pengujian ini dilakukan dengan peralatan yang tersedia pada Laboratorim Konversi Energi B-101 Elektro ITS yang meliputi DC Regulated Power Supply, Osiloskop , multimeter sanwa CD800a, Ampermeter Konvensional, LCR meter sanwa LCR700, dan Rheostat.

4.1.1 Pengujian Sinyal MOSFET

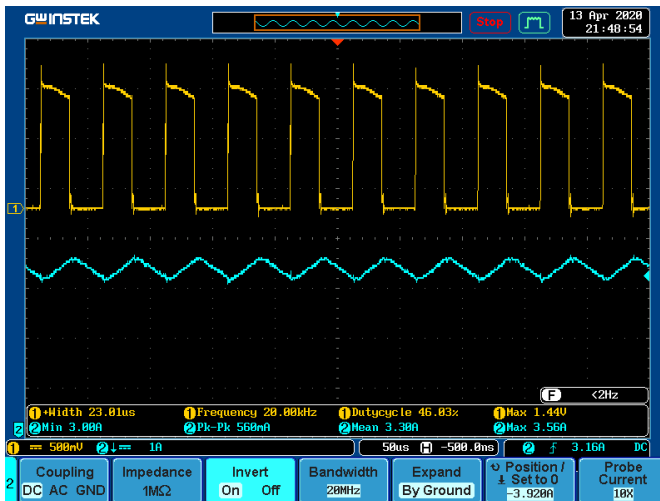


Gambar 4.1 Sinyal *switching* pada MOSFET

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sinyal PWM yang dibangkitkan sudah sesuai dengan frekuensi dan nilai tegangan yang diinginkan. Pada saat tegangan VGS memiliki nilai tertentu, maka MOSFET akan konduksi dan berbanding terbalik dengan VGS akan bernilai nol.

Dapat dilihat pada Gambar 4.1, konverter sudah beroperasi sesuai desain yang diinginkan. Frekuensi *switching* yaitu sebesar 20 kHz dan *duty cycle* sebesar 0.44. Untuk *duty cycle* memiliki selisih *error* 0.02 dibandingkan dengan desain, hal ini bertujuan untuk menghasilkan tegangan drain-source sesuai desain yaitu sebesar 30 V. Kenaikan *duty cycle* terjadi karena terdapat rugi-rugi didalam komponen MOSFET sehingga tegangan drain-source lebih kecil daripada desain.

4.1.2 Pengujian Sinyal Induktor



Gambar 4.2 Sinyal pada MOSFET V_{GS} dan arus Induktor I_L

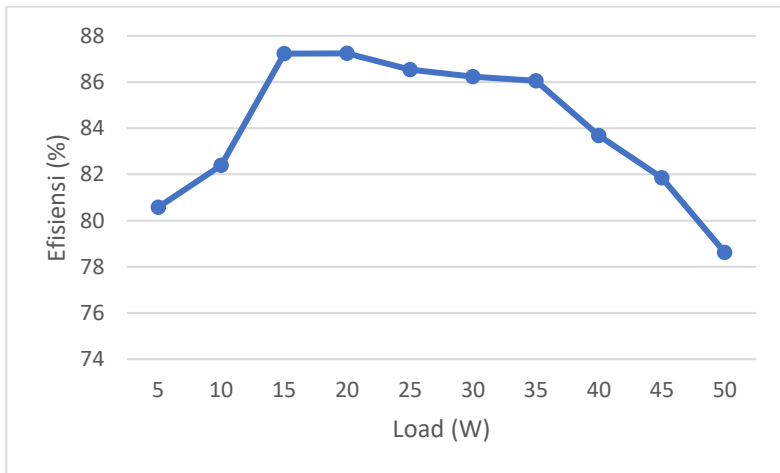
Pengujian sinyal Induktor bertujuan untuk mengamati apakah arus yang melewati induktor bersifat CCM (*Continuous Current Mode*) pada frekuensi yang sudah ditetapkan. CCM adalah kondisi dimana arus yang melewati induktor tidak pernah nol selama siklus *switching*.

Pada saat V_{GS} bernilai high (saklar tertutup), maka induktor akan mengalami fase *charging*. Sedangkan saat V_{GS} bernilai low (saklar terbuka), maka induktor akan mengalami fase *discharging*. Nilai arus induktor (I_L mean) sebesar 3.3A yangmana nilai ini lebih besar dari desain yaitu sebesar 2.8A. Ripple arus induktor ΔI_L yaitu sebesar 550mA. Nilai ini lebih besar dari desain yang telah ditetapkan yaitu sebesar 500mA.

Perbedaan nilai antara desain dengan implementasi terjadi karena ketidakidealan komponen dan alat yang digunakan seperti current probe sudah tidak presisi lagi.

4.1.3 Pengujian Efisiensi Konverter

Pengujian efisiensi pada konverter bertujuan untuk mengetahui seberapa efisien konverter yang sudah diimplementasikan. Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan rangkaian dengan pembebanan 10% hingga daya rating-nya 100%. Pengujian efisiensi ini dilakukan dengan cara penambahan beban dengan V_I dan V_O nilainya tetap konstan. Gambar 4.3 Pengujian Efisiensi *konverter boost* adalah hasil pengujian efisiensi konverter



Gambar 4.3 Pengujian Efisiensi *konverter boost*

Dari kurva diatas terlihat efisiensi tertinggi dari konverter dapat dicapai ketika terbebani 15 Watt yaitu sebesar 87.2%. Sedangkan efisiensi terendah dari konverter dicapai saat terbebani penuh atau 50Watt dengan nilai efisiensi sebesar 78.6%. Sehingga efisiensi rata-rata dari konverter *boost* yaitu sebesar 84.2%. Penurunan efisiensi ketika beban penuh disebabkan karena arus yang mengalir di konverter semakin besar sehingga terdapat rugi-rugi pada komponen di konverter seperti MOSFET dan Induktor.

4.2 Pengujian Sensor Arus dan Tegangan

Dalam pengoperasian MPPT sangat bergantung terhadap keakuratan dari sensor itu sendiri, hal ini disebabkan algoritma MPPT akan menerima sensing arus dan tegangan dari PV yang selanjutnya diolah dalam mikrokontroler. Oleh karena itu keakuratan dalam sensor sangat mempengaruhi hasil dari algoritma pada MPPT.

4.2.1 Sensor Arus

Pada komponen yang digunakan untuk sensor arus pada penelitian ini adalah ACS712 (20A). Nilai pembacaan pada sensor akan dibandingkan akurasi dengan menggunakan amperemeter analog xx. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan konverter dengan beban selanjutnya diberi sumber tegangan pada *inputnya*. Sensor akan diuji ketika bernilai 0A sampai dengan 5A.

Tabel 4.1 Pengujian Sensor Arus

No	Actual Current (A)	Censor Current (A)	Error of Censor (%)
1	0.51	0.536	5.098039
2	1.01	1.0465	3.613861
3	1.51	1.5616	3.417219
4	2.01	2.06429	2.700995
5	2.53	2.51624	0.543874
6	3.01	3.058351	1.606346
7	3.51	3.456	1.538462
8	3.99	4.04668	1.420551
9	4.49	4.5481	1.293987
10	5.01	5.0654	1.105788
		Average Error	2.233912

4.2.2 Sensor Tegangan

Pada komponen yang digunakan untuk sensor tegangan pada penelitian ini adalah MULTITURN (100k Ω). Nilai pembacaan pada sensor akan dibandingkan akurasinya dengan menggunakan voltmeter SANWA CD800A. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan konverter dengan power supply yang selanjutnya akan diberi nilai tegangan sebesar 0V – 24V. Perubahan nilai tegangan ini mengacu pada rating tegangan pada PV yaitu 17.6 V.

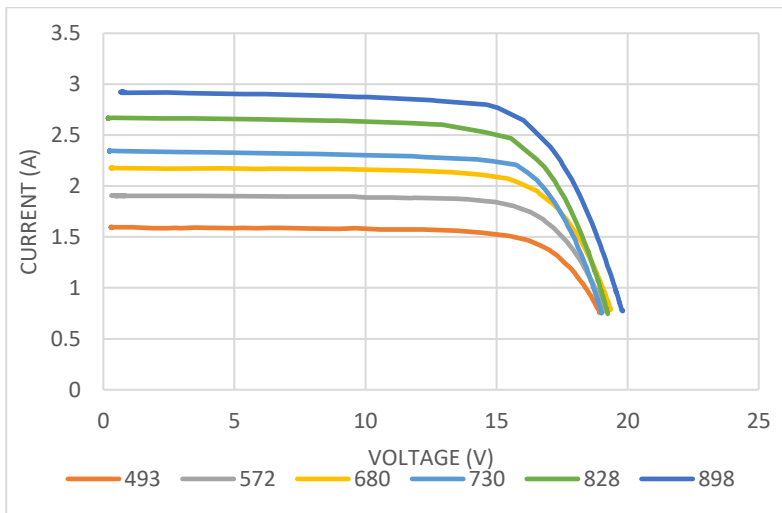
Tabel 4.2 Pengujian Sensor Tegangan

No	Actual Voltage (V)	Censor Voltage (V)	<i>Error of Censor (%)</i>
1	2	1.9507	2.465
2	4	4.04	1
3	6	6.1679	2.798333
4	8	8.1379	1.72375
5	10	10.2867	2.867
6	12	12.3965	3.304167
7	14	14.4363	3.116429
8	16	16.4845	3.028125
9	18	18.5782	3.212222
10	20	20.7509	3.7545
11	22	22.8716	3.961818
12	24	25	4.166667
		<i>Average Error</i>	2.949834

Berdasarkan hasil pengujian sensor arus dan tegangan, didapatkan nilai *error* rata-rata untuk sensor arus yaitu sebesar 2.23% dan untuk sensor tegangan yaitu sebesar 2.94%. Dari kedua sensor tersebut, ACS 712 memiliki keakuratan sebesar 97.76% dan MULTITURN memiliki keakuratan 97.16%. Maka dapat disimpulkan kedua sensor ini layak digunakan dalam penggunaan algoritma MPPT.

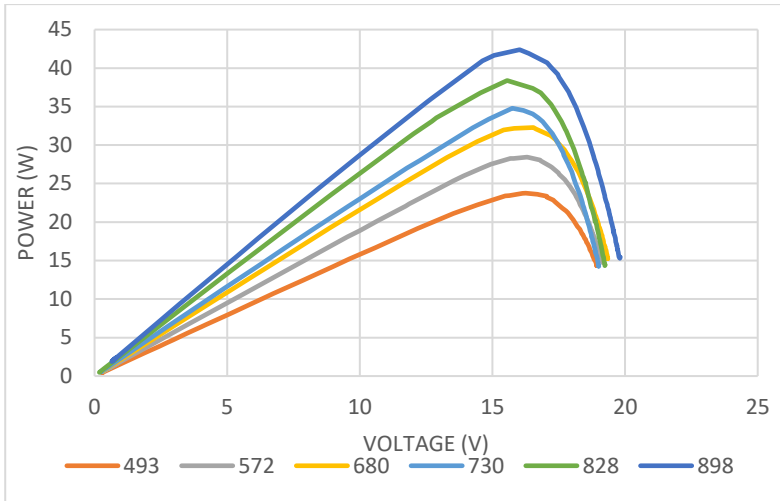
4.3 Kurva Karakteristik PV

Setiap sebelum pengujian perlu didapatkan kurva karakteristik PV untuk mengetahui besar daya maksimal PV pada saat itu. Bertujuan mengetahui V_{mpp} , P_{mpp} , dan I_{mpp} . Cara mendapatkan kurva karakteristik PV adalah dengan menghubungkan PV dengan resistor variabel dimana pada tugas akhir ini menggunakan rheostat 25Ω . Rheostat digeser dari nilai R maksimal hingga R minimal. Selama perubahan nilai R nilai arus dan tegangan yang terbaca oleh sensor disimpan ke logger. Kurva karakteristik PV didapatkan pada berbagai macam iradiasi dan dengan suhu lingkungan 30°C dengan suhu sel mencapai 60°C . Hal ini yang menyebabkan PV tidak dapat bekerja sesuai dengan nameplate.



Gambar 4.4 Kurva karakteristik arus dan tegangan PV

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara arus dengan tegangan yang dihasilkan dari PV. Dapat dilihat dari kurva tersebut bahwa nilai I_{sc} dan V_{oc} yang dihasilkan berbanding lurus dengan perubahan iradiasi.



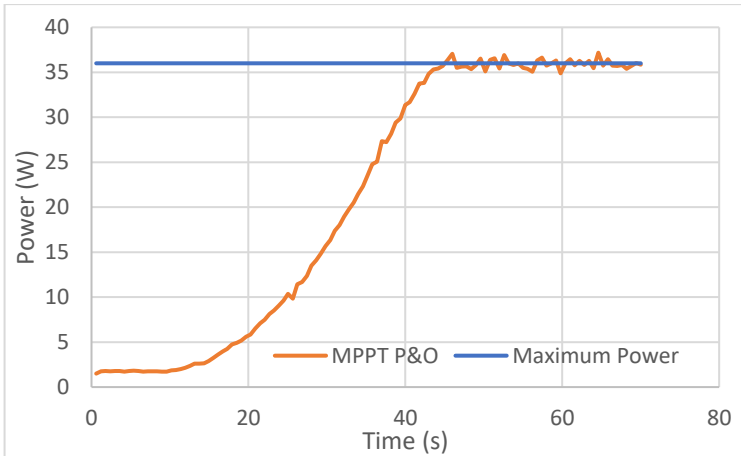
Gambar 4.5 Kurva karakteristik daya dan tegangan PV

Gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara daya dan tegangan yang dihasilkan dari PV. Dapat dilihat nilai daya berbanding lurus dengan perubahan iradiasi, yangmana ketika iradiasi lebih rendah maka daya dari PV juga akan turun.

4.4 Pengujian MPPT Dengan Iradiasi Konstan Dan Beban Konstan

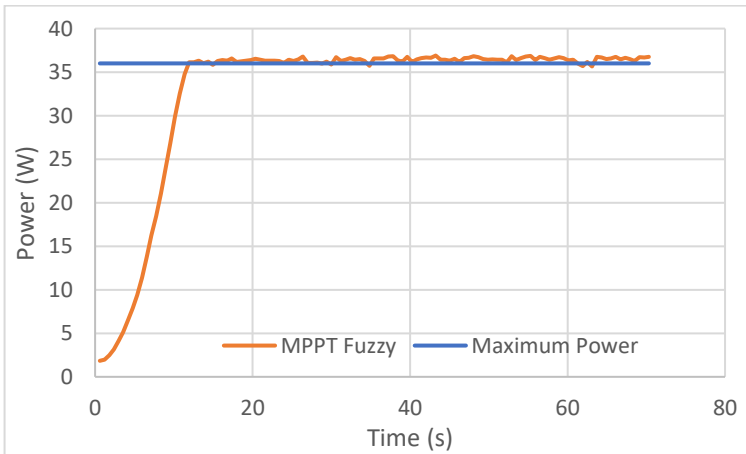
Pengujian awal ini untuk melihat apakah MPPT dengan algoritma FLC dan P&O sudah bisa mencapai titik MPP. Pengujian dilakukan saat pukul 13.30 – 14.00 WIB sehingga iradiasi matahari yang didapat sebesar 769.72 W/m². Pengujian dilakukan secepat mungkin untuk mendapatkan hasil daya yang sama diantara kedua algoritma.

Sesuai dengan simulasi dari kedua algoritma sudah bisa mencapai titik MPP. Energi total yang bisa dihasilkan dari PV yaitu sebesar 1.08 Joule. Dengan menggunakan MPPT P&O energi yang dapat dihasilkan yaitu sebesar 0.6746 Joule atau efisiensi energinya sebesar 62.467%. Efisiensi energi yang rendah dikarenakan tracking daya MPPT P&O membutuhkan waktu yang lebih lama dan ketika saat *steady state* terjadi isolasi sehingga energi banyak yang hilang.



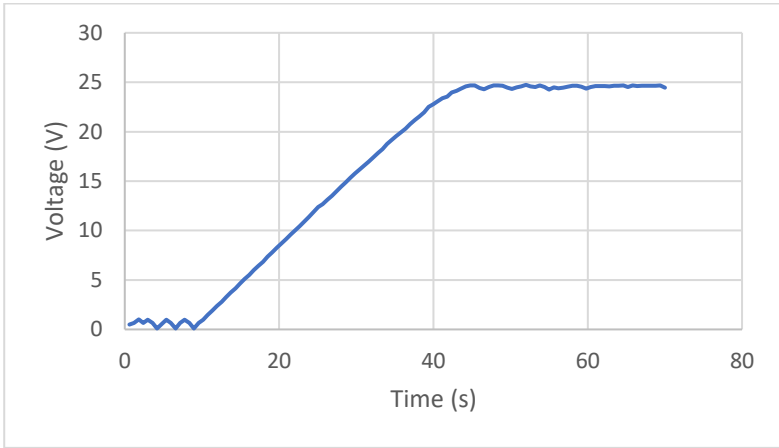
Gambar 4.6 Grafik daya PV tanpa perubahan dengan Algoritma P&O

Dengan menggunakan MPPT FLC energi yang dapat dihasilkan yaitu sebesar 1.055 Joule atau efisiensinya sebesar 97.69%. Bisa dilihat tracking daya MPPT FLC lebih cepat mencapai titik MPP dan ketika *steady state* isolasinya cukup rendah sehingga menjaga energi tetap maksimal.

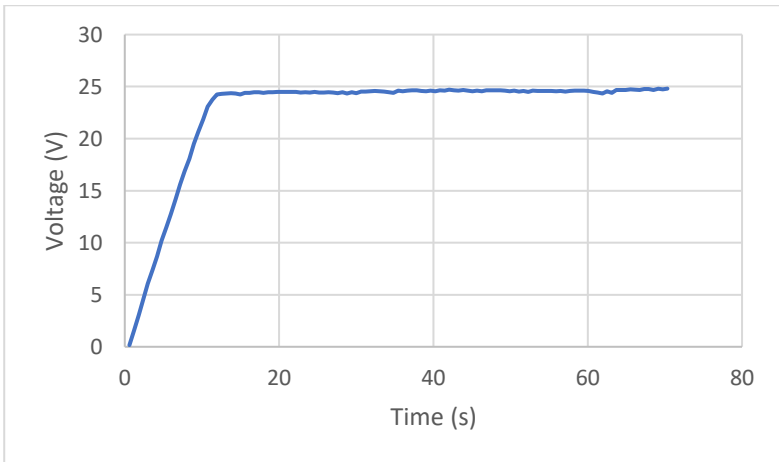


Gambar 4.7 Grafik daya PV tanpa perubahan dengan Algoritma FLC

Berdasarkan desain yang diinginkan, tegangan *output* untuk suplai inverter adalah 24 Volt. Gambar tegangan ouput dari kedua MPPT bisa dilihat sesuai Gambar 4.8 dan Gambar 4.9



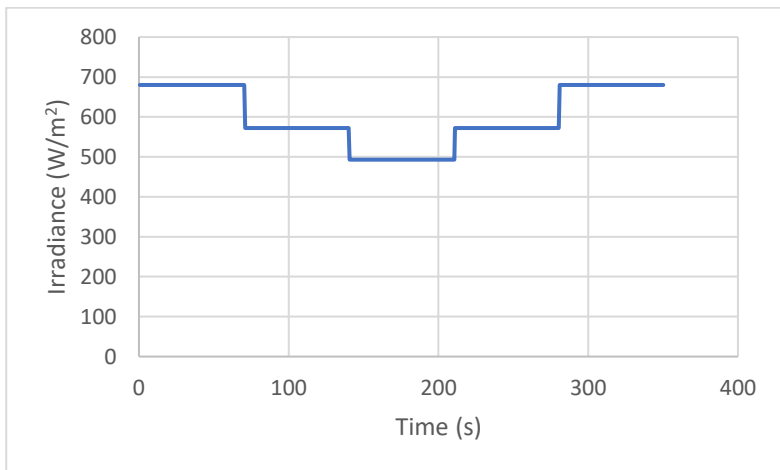
Gambar 4.8 Grafik tegangan *output* tanpa perubahan dengan Algoritma P&O



Gambar 4.9 Grafik tegangan *output* tanpa perubahan dengan Algoritma P&O

4.5 Pengujian MPPT Dengan Iradiasi Berubah Dan Beban Konstan

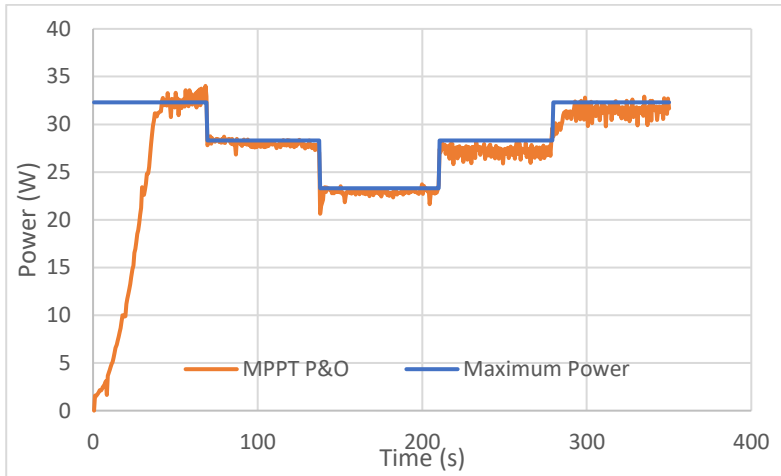
Selanjutnya pengujian MPPT dengan iradiasi berubah untuk menguji keakuratan dari masing-masing algoritma. Pengujian iradiasi berubah dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menutupi plastik dan menggeser sudut PV. Yang pertama adalah pengujian iradiasi berubah dengan menutupi plastik. Pengujian dilakukan dengan mengukur daya PV saat kondisi normal, lalu PV ditutupi dengan dua lapisan plastik secara merata untuk mengurangi iradiasi pada detik 70 selanjutnya PV ditutupi kembali dengan menambah tiga lapisan plastik secara merata pada detik 140. Setelah itu pada detik 210 lapisan plastik yang menutupi PV diangkat dengan sisa dua lapisan plastik dan pada detik 280 seluruh lapisan plastik diangkat. Pengujian ini dilakukan saat jam 13.00 WIB.



Gambar 4.10 Perubahan iradian terhadap waktu

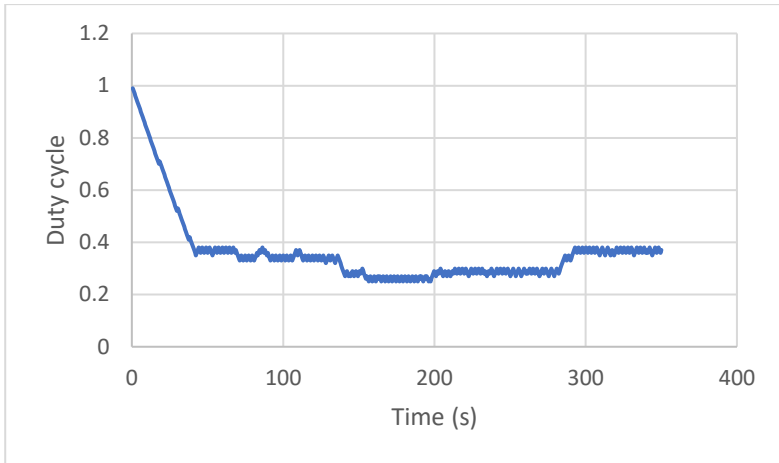
Pada grafik tersebut tampak bahwa nilai iradiasi bermula dari 680 W/m² dengan daya sesuai kurva karakteristik sebesar 32.3 W, selanjutnya diturunkan iradiasinya menjadi 572 W/m² dengan daya sebesar 28.3 W kemudian diturunkan kembali iradiasinya menjadi 492 W/m² dengan daya sebesar 23.3 W dan kemudian dinaikkan kembali iradiasinya menjadi 572 W/m² dan terakhir dinaikkan kembali menjadi 680 W/m². Pengujian ini dilakukan untuk mengamati respon MPPT

ketika iradiasi naik maupun turun. Energi total yang bisa dihasilkan dari sistem adalah 1642.287 Joule.

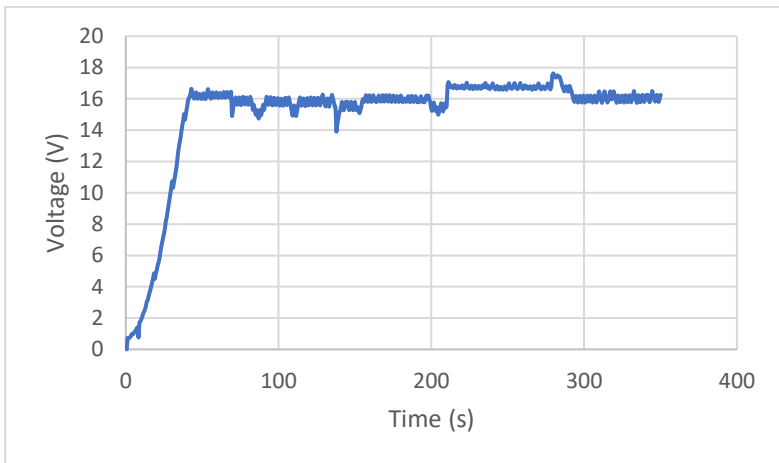


Gambar 4.11 Grafik daya PV perubahan iradian dengan algoritma P&O

Pengujian pertama dilakukan dengan menggunakan algoritma P&O. Algoritma ini dapat merespon penurunan dan kenaikan iradiasi yang beragam. Namun terlihat pada Gambar 4.11 Grafik daya PV perubahan iradian dengan algoritma P&O bahwa tracking awal untuk mencapai titik MPP membutuhkan waktu yang lama dan terdapat osilasi ketika daya maksimum sudah tercapai. Selain itu disaat penggunaan MPPT P&O dalam jangka waktu yang lama membuat isolasi dari MPPT ini semakin besar dan mengakibatkan kehilangan energi yang cukup banyak. Hal ini disebabkan karena MPPT P&O tidak bisa merespon baik ketika terjadi perubahan iradiasi yang beragam dan *duty cycle* yang dihasilkan juga mengalami kenaikan atau penurunan yang signifikan. Pada pengujian menggunakan algoritma MPPT P&O total energi yaitu sebesar 1483.61 Joule atau efisiensi energi yang dihasilkan yaitu 90.69%.



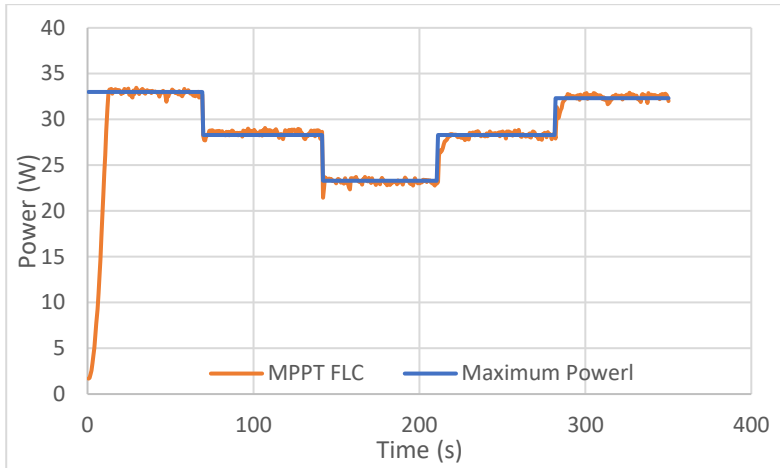
Gambar 4.12 Grafik *duty cycle* perubahan iradian dengan algoritma P&O



Gambar 4.13 Grafik tegangan PV perubahan iradian dengan algoritma P&O

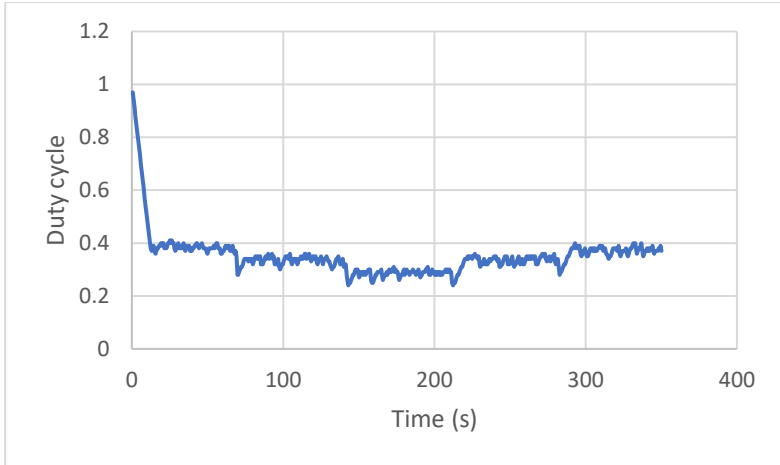
Duty cycle sangat mempengaruhi respon dari MPPT untuk selalu berada di titik MPP. Jadi ketika iradiasi turun maka *duty cycle* akan ikut turun ataupun saat iradiasi naik maka *duty cycle* juga akan naik. Respon *duty cycle* sangat mempengaruhi tracking daya dari MPPT. Pada MPPT

P&O respon *duty cycle* cukup lambat karena mempunyai nilai step yang konstan, selain itu ketika *steady state duty cycle* akan selalu berubah yang mengakibatkan terjadinya osilasi pada daya. Respon *duty cycle* membuat tegangan selalu di tegangan maksimumnya. Berdasarkan kurva karakteristik titik maksimal tegangan PV di sekitar 16 V. Sesuai simulasi tegangan PV tidak mengalami perubahan yang signifikan atau cenderung konstan.

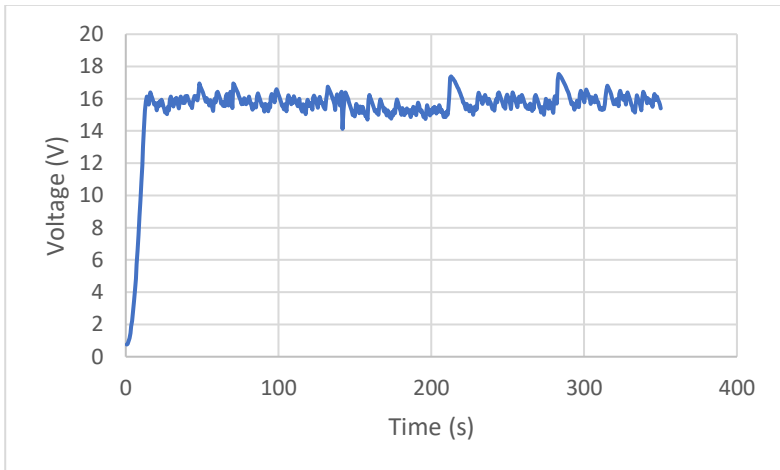


Gambar 4.14 Grafik daya PV perubahan iradian dengan algoritma FLC

Pengujian selanjutnya menggunakan algoritma FLC. Algoritma ini dapat merespon penurunan dan kenaikan iradiasi yang beragam. Tampak pada Gambar 4.14 bahwa tracking awal untuk mencapai titik MPP memiliki respon yang sangat cepat dibandingkan dengan menggunakan algoritma P&O dan osilasi ketika kondisi *steady state* jauh lebih berkurang. Pada pengujian menggunakan algoritma MPPT FLC total energi yaitu sebesar 1603.234 Joule atau efisiensi energi yang dihasilkan yaitu 97.62%.



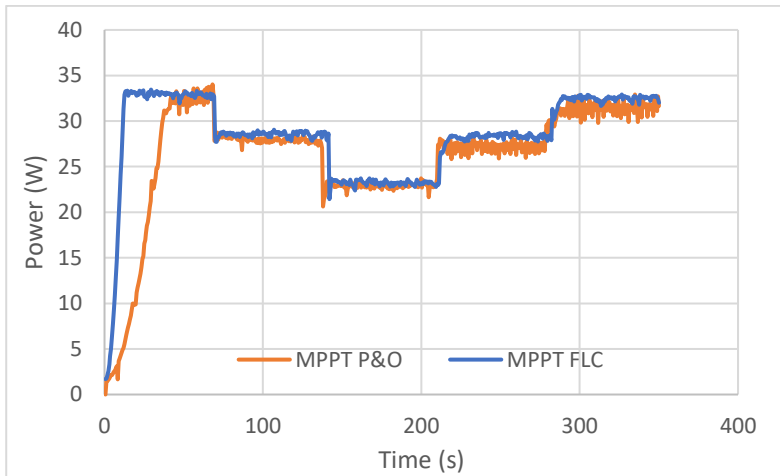
Gambar 4.15 Grafik *duty cycle* perubahan iradian dengan algoritma P&O



Gambar 4.16 Grafik *duty cycle* perubahan iradian dengan algoritma P&O

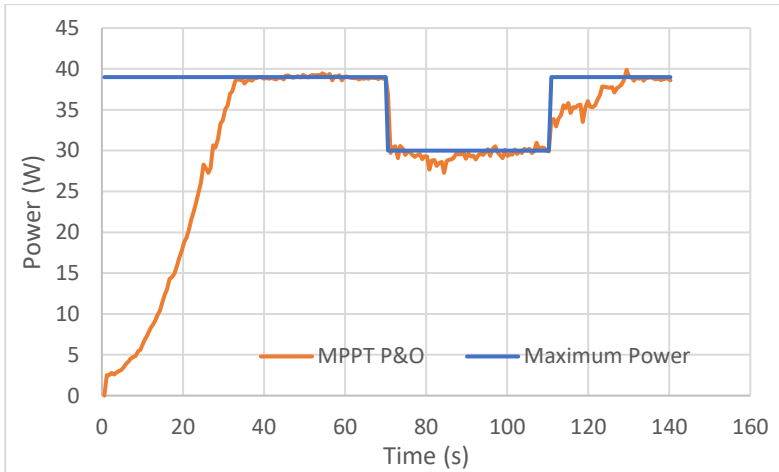
Pada MPPT FLC perubahan *duty cycle* juga mengalami pola yang sama dengan MPPT P&O, hanya saja MPPT FLC memiliki respon *duty cycle* yang cepat sehingga tracking daya lebih cepat mencapai titik

MPP. *Duty cycle* yang dihasilkan mendekati sama dengan simulasi namun karena algoritma ini sangat dipengaruhi dari keakuratan sensor arus dan tegangan serta kecepatan *clock* dari mikrokontroller yang digunakan. Tetapi dengan kontrol yang baik dari algoritma membuat daya tetap maksimum dengan baik. Jika dilihat dari kurva karakteristik nilai tegangan maksimal PV yaitu sekitar 16V, sehingga dengan algoritma FLC hasil yang didapat cenderung lebih maksimal karena tegangan PV dijaga konstan ketika terjadi perubahan iradiasi.



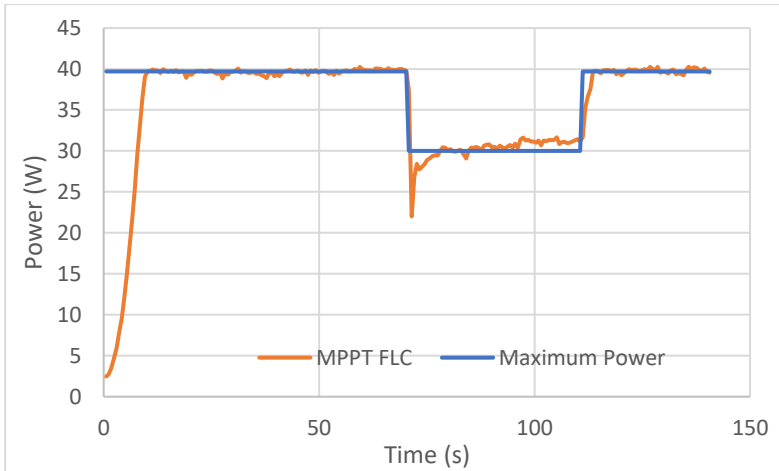
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan daya PV perubahan iradian dengan algoritma P&O dan FLC

Percobaan perubahan iradiasi juga dilakukan dengan menggeser sudut PV terhadap matahari. Pergeseran sudut dilakukan dengan cara mengubah posisi PV menjauhi matahari dengan sudut 45°. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, maka pengujian dilaksanakan saat pukul 12.00-12.30 WIB. Iradiasi yang didapat saat itu adalah sebesar 878 W/m² kemudian turun menjadi 610 W/m² saat posisi PV diubah dengan sudut 45° selanjutnya posisi kembali semula dengan iradiasi sebesar 878 W/m².



Gambar 4.18 Grafik daya PV perubahan iradian dengan algoritma P&O dengan pergeseran sudut 45°

Pengujian ini bertujuan untuk melihat respon dari MPPT ketika terjadi perubahan iradiasi dengan perubahan sudut matahari. Pengujian yang pertama adalah menggunakan algoritma P&O. Dengan menggunakan algoritma P&O maka energi yang dihasilkan yaitu sebesar 277.62 Joule. Sehingga dengan menggunakan algoritma P&O efisiensi energi yang dihasilkan yaitu sebesar 83.75% atau mengalami kehilangan energi sebesar 16.25%. Pengurangan energi yang sangat besar ini dikarenakan tracking algoritma P&O yang lama karena step yang diatur selalu tetap. Disaat terjadi perubahan iradiasi dengan rentang yang besar maka tracking daya yang dihasilkan juga lama. Dan disaat kondisi *steady state* juga mengalami osilasi yang cukup besar.



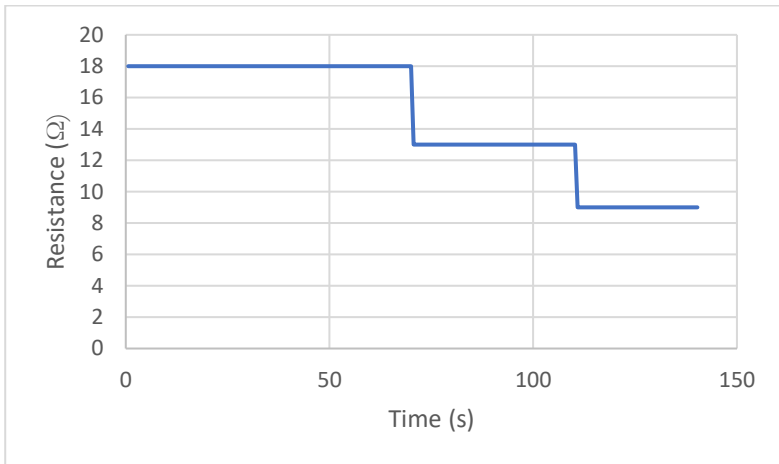
Gambar 4.19 Grafik daya PV perubahan iradian dengan algoritma FLC dengan pergeseran sudut 45°

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan kedua Algoritma bisa mencapai titik MPP. Pada pengujian ini energi yang dapat dihasilkan oleh PV yaitu sebesar 335.99 Joule. Dengan menggunakan algoritma MPPT FLC energi yang bisa dihasilkan yaitu sebesar 321.9 Joule. Sehingga pada algoritma ini efisiensi energi yang dihasilkan yaitu sebesar 95.8% atau mengalami kehilangan energi yaitu sebesar 4.2%. Respon yang dihasilkan MPPT FLC juga lebih cepat dibandingkan dengan algoritma P&O. Dengan perubahan iradiasi yang rentangnya berbeda jauh maka algoritma FLC bisa melakukan tracking daya yang sangat cepat karena algoritma ini memiliki nilai step besar ketika terjadi perubahan iradiasi. Namun disaat *steady state* step yang dihasilkan cenderung lebih kecil dan mengurangi osilasi pada sistem.

4.6 Pengujian MPPT Dengan Iradiasi Konstan dan Beban Berubah

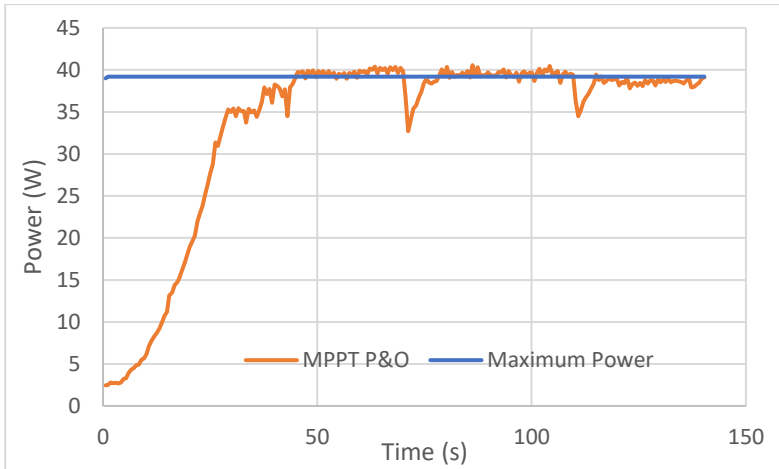
Pada pengujian ini dilakukan dengan merubah beban untuk memastikan apakah algoritma MPPT masih bisa berada pada kondisi MPP. Perubahan beban dilakukan dengan merubah resistansi dari beban yaitu dengan menggunakan rheostat. Perubahan beban dimulai dari resistansi besar ke resistansi kecil. Untuk beban awal resistansi dibuat

dengan kondisi full load yaitu sebesar 18Ω , lalu pada detik ke 70 turun menjadi 13Ω dan perubahan terakhir pada detik ke 110 diturunkan menjadi 9Ω . Pola perubahan beban dapat dilihat pada Gambar 4.20. Nilai perubahan resistansi dipilih berdasarkan rentang nilai *duty cycle* supaya tetap bisa menjaga daya di titik maksimalnya. Percobaan dilakukan saat pukul 11.00 WIB dengan iradiasi sebesar 830 W/m^2 .



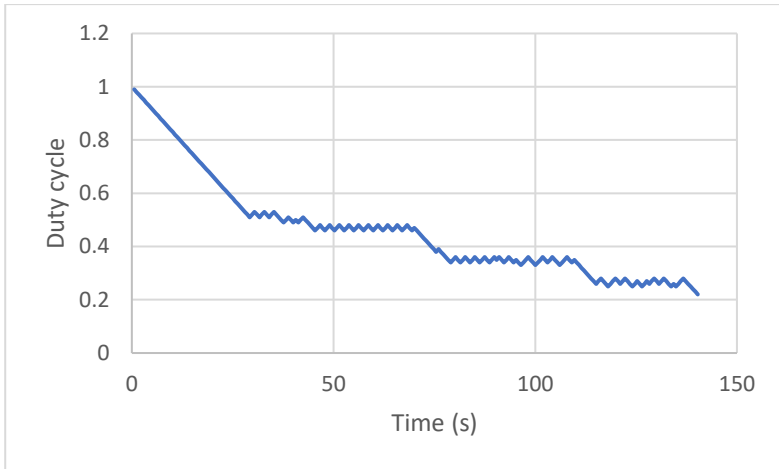
Gambar 4.20 Perubahan nilai resistansi pada pengujian perubahan beban

Pengujian pertama MPPT adalah dengan menggunakan algoritma P&O. Jika berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, daya yang dihasilkan cenderung akan konstan dan akan selalu di titik MPP dan terdapat perubahan nilai *duty cycle* supaya menjaga daya berada di titik maksimalnya. Daya yang bisa dihasilkan PV pada kondisi ini adalah sebesar 39.2 W atau energi total yang bisa dihasilkan PV yaitu sebesar 356.712 Joule .

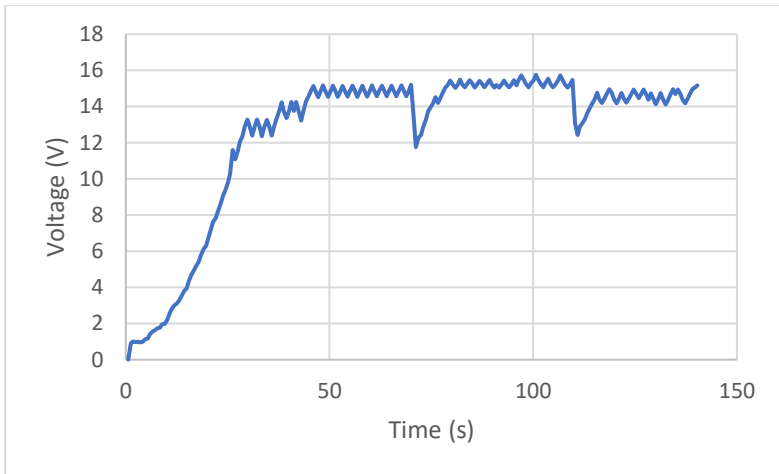


Gambar 4.21 Grafik Daya PV perubahan beban dengan algoritma P&O

Berdasarkan Gambar 4.21, hasil menunjukkan daya cenderung konstan sehingga menandakan algoritma P&O bekerja dengan baik, namun isolasi yang cukup besar terjadi ketika kondisi *steady state*. Respon MPPT dengan algoritma P&O ketika terjadi perubahan dengan penurunan beban menjadi 13Ω membutuhkan waktu 9.9 detik, sedangkan ketika penurunan beban menjadi 9Ω membutuhkan waktu 6 detik untuk mencapai titik MPP. Berdasarkan dari hasil data yang didapat energi total yang dihasilkan dari MPPT P&O yaitu sebesar 304.606 Joule atau memiliki efisiensi energi sebesar 85.392% atau terdapat 14.618% energi yang hilang.



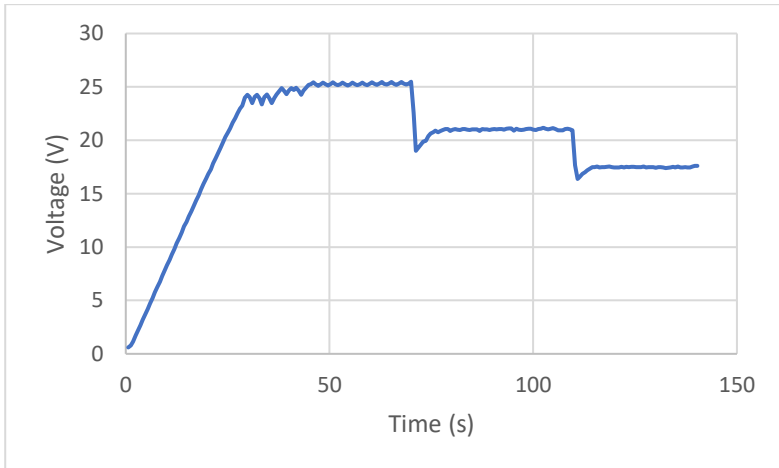
Gambar 4.22 Grafik *duty cycle* perubahan beban dengan algoritma P&O



Gambar 4.23 Grafik tegangan PV perubahan beban dengan algoritma P&O

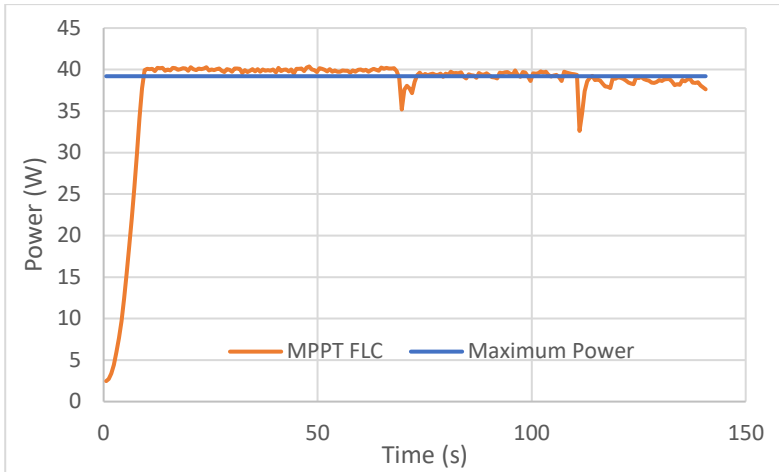
Pada saat terjadi perubahan beban, MPPT dengan algoritma P&O dapat bekerja di titik MPP. Hal ini terjadi karena saat terjadi perubahan beban, MPPT segera merespon cepat dengan cara menurunkan

duty cycle sehingga tegangan PV tetap bekerja di titik MPP. Tampak pada Gambar 4.22 *duty cycle* turun untuk menjaga tegangan operasi PV tetap maksimal sesuai pada Gambar 4.23 . Hal ini juga sebanding dengan simulasi dimana tegangan tetap konstan untuk selalu di titik MPP.



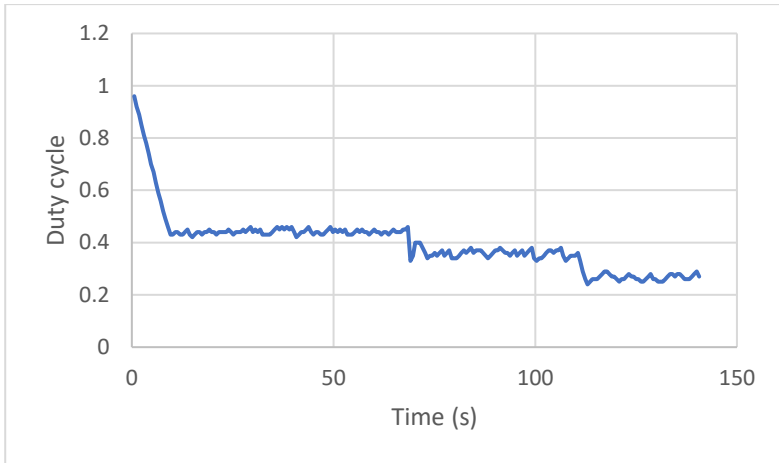
Gambar 4.24 Grafik tegangan output perubahan beban dengan algoritma P&O

Sementara itu disisi tegangan output akan mengalami penurunan nilai mengikuti penurunan *duty cycle* karena untuk mencapai daya yang sama dengan daya *input* maka disaat terjadi penurunan resistansi maka tegangan akan ikut turun.

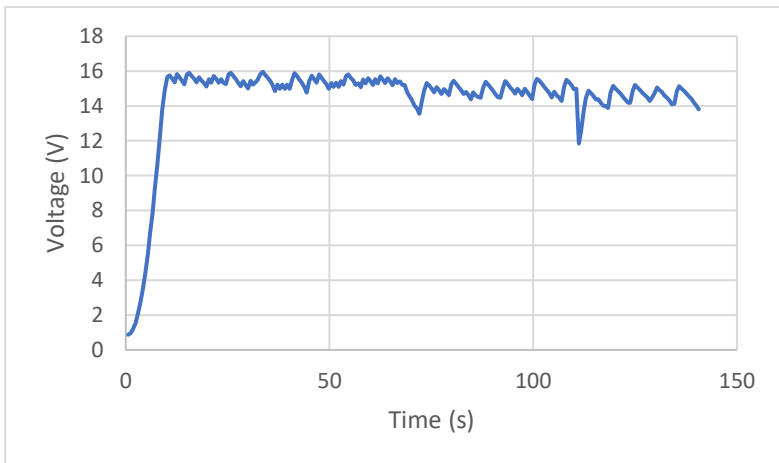


Gambar 4.25 Grafik daya PV perubahan beban dengan algoritma FLC

Pengujian selanjutnya adalah MPPT dengan algoritma FLC. Bisa dilihat pada Gambar 4.25 , dengan menggunakan algoritma FLC tracking daya ketika terjadi perubahan beban lebih cepat dan osilasi pada saat kondisi *steady state* lebih kecil daripada dengan menggunakan algoritma P&O. Respon MPPT dengan algoritma FLC ketika terjadi perubahan dengan penurunan beban menjadi 13Ω membutuhkan waktu 7.22 detik, sedangkan ketika penurunan beban menjadi 9Ω membutuhkan waktu 3 detik untuk mencapai titik MPP .Total Energi yang dihasilkan dengan menggunakan algoritma FLC yaitu sebesar 344.295 Joule atau memiliki efisiensi energi yaitu 96.517%. Sehingga pada perubahan beban algoritma FLC berjalan lebih baik dan cepat dibandingkan dengan algoritma P&O.



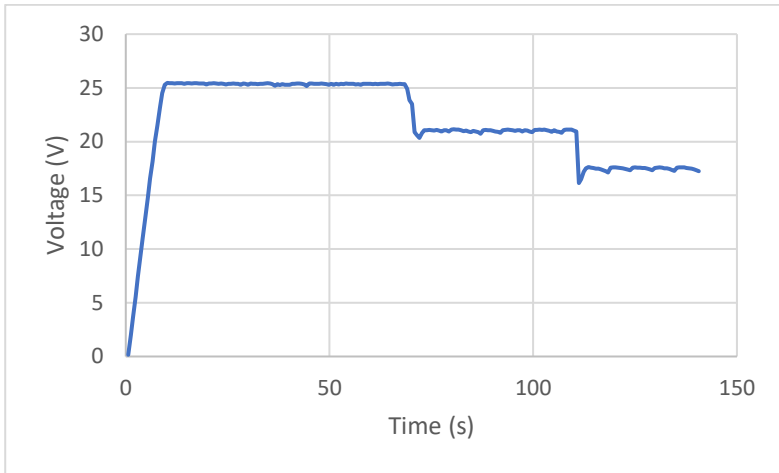
Gambar 4.26 Grafik duty cycle perubahan beban dengan algoritma FLC



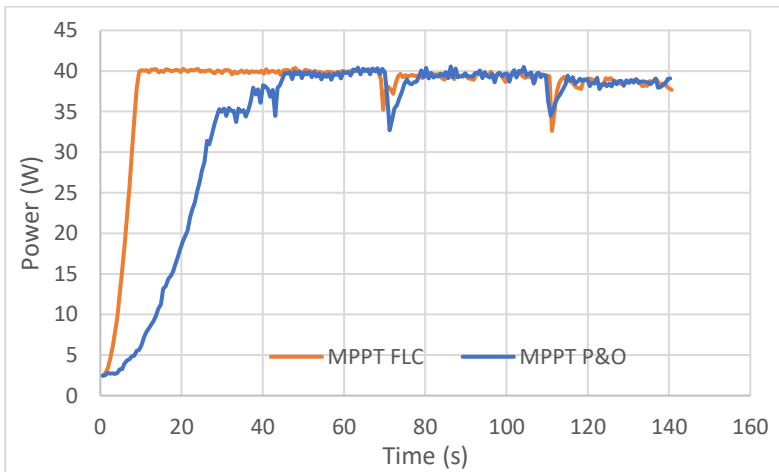
Gambar 4.27 Grafik tegangan PV perubahan beban dengan algoritma FLC

Pada saat terjadi perubahan beban, MPPT dengan algoritma FLC dapat bekerja di titik MPP. Hal ini terjadi karena saat terjadi perubahan beban, MPPT segera merespon cepat dengan cara menurunkan *duty cycle* sehingga tegangan PV tetap bekerja di titik MPP. Respon *duty cycle* pada

MPPT FLC juga lebih cepat untuk mencapai titik MPP. Sementara itu juga terjadi perubahan tegangan pada sisi *output*.



Gambar 4.28 Grafik tegangan *output* perubahan beban dengan algoritma FLC



Gambar 4.29 Grafik Perbandingan daya PV perubahan beban dengan algoritma P&O dan FLC

4.7 Perbandingan antara Simulasi dan Implementasi

Hasil yang telah didapat pada implementasi akan dibandingkan dengan hasil pada simulasi. Pada implementasi terdapat perbedaan hasil dibanding dengan simulasi, hal ini disebabkan karena ketidakidealan komponen, kondisi lingkungan seperti iradiasi dan temperatur yang berubah setiap saat. Perbedaan cukup terlihat terutama efisiensi energi yang dihasilkan dari kedua algoritma.

Tabel 4.3 Perbandingan nilai antara simulasi dan implementasi

Efficiency of Energy	Change of Irradiance		Change of Load	
	P&O	FLC	P&O	FLC
Simulation	96.94%	98.9%	96.71%	98.8%
Implementation	90.69%	97.62%	85.39%	96.51%

Namun berdasarkan hasil simulasi dan implementasi, algoritma FLC mempunyai tracking daya yang lebih cepat dan efisiensi energi yang lebih besar dibandingkan dengan algoritma P&O. Hasil perbandingan simulasi dengan implementasi dapat dilihat pada Tabel 4.3 Perbandingan nilai antara simulasi dan implementasi

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Konverter *Boost* memiliki rata-rata efisiensi yaitu sebesar 84.2%
2. Algoritma FLC memiliki efisiensi energi yang lebih baik dibanding algoritma P&O disaat terjadi perubahan iradiasi yaitu sebesar 98.9% (simulasi) dan 97.62% (implementasi)
3. Algoritma FLC memiliki respon yang cepat dan efisiensi energi yang lebih baik dibanding algoritma P&O disaat terjadi perubahan beban yaitu sebesar 98.8% (simulasi) dan 96.51% (implementasi)
4. Penggunaan MPPT FLC ketika dihubungkan Pompa Air memiliki efisiensi energi yang lebih baik dibanding tanpa MPPT yaitu sebesar 95.13%
5. Penggunaan MPPT FLC ketika dihubungkan Pompa Air memiliki total debit air rata-rata lebih banyak dibandingkan tanpa MPPT dengan rasio perbandingan 1.58:1
6. Perbandingan hasil yang didapatkan oleh simulasi dan implementasi menunjukkan nilai simulasi lebih baik dibanding dengan implementasi, hal ini disebabkan karena penggunaan komponen yang tidak ideal dalam implementasi

5.2 Saran

1. Pengujian MPPT dapat menggunakan PV simulator sehingga hasil yang didapat lebih maksimal
2. Pemilihan sensor arus dan sensor tegangan yang lebih baik pada konverter sehingga mendapatkan nilai yang lebih akurat dan presisi
3. Mikrokontroler yang digunakan harus memiliki clock yang lebih tinggi sehingga perhitungan program dapat lebih cepat.
4. Dapat melakukan pengujian Pompa Air dengan sistem DC (PMDC)

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Faranda, S. Leva, and V. Maugeri, "MPPT techniques for PV Systems: Energetic and cost comparison," in *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, Pittsburgh, PA, USA, Jul. 2008, pp. 1–6, doi: 10.1109/PES.2008.4596156.
- [2] A. D. Karlis, T. L. Kottas, and Y. S. Boutalis, "A novel maximum power point tracking method for PV systems using *fuzzy* cognitive networks (FCN)," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 77, no. 3–4, pp. 315–327, Mar. 2007, doi: 10.1016/j.epsr.2006.03.008.
- [3] P. Choudhary, R. K. Srivatava, and S. De, "Solar powered induction motor based water pumping system: A review of components, parameters and control methodologies," in *2017 4th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Computer and Electronics (UPCON)*, Mathura, Oct. 2017, pp. 666–678, doi: 10.1109/UPCON.2017.8251129.
- [4] H. Rezk and A. M. Eltamaly, "A comprehensive comparison of different MPPT techniques for photovoltaic systems," *Sol. Energy*, vol. 112, pp. 1–11, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.solener.2014.11.010.
- [5] G. M. Masters, "Renewable and Efficient Electric Power Systems," p. 676.
- [6] A. Lazizi, M. Kesraoui, and A. Chaib, "Fuzzy logic MPPT control for a solar PV module applied to water pumping," *Int. J. Ind. Electron. Drives*, vol. 3, no. 1, p. 1, 2016, doi: 10.1504/IJIED.2016.077676.
- [7] T. Logeswaran and A. SenthilKumar, "A Review of Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Systems under Uniform and Non-uniform Irradiances," *Energy Procedia*, vol. 54, pp. 228–235, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.07.266.
- [8] M. Fannakh, M. L. Elhafyani, and S. Zouggar, "Hardware implementation of the *fuzzy* logic MPPT in an Arduino card using a Simulink support package for PV application," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 13, no. 3, pp. 510–518, Feb. 2019, doi: 10.1049/iet-rpg.2018.5667.
- [9] R. Sankarganesh and S. Thangavel, "Maximum power point tracking in PV system using intelligence based P&O technique and hybrid cuk converter," in *2012 International Conference on Emerging Trends in Science, Engineering and Technology*

- (*INCOSET*), Tiruchirappalli, Tamilnadu, India, Dec. 2012, pp. 429–436, doi: 10.1109/INCOSET.2012.6513945.
- [10] B. Bendib, F. Krim, H. Belmili, M. F. Almi, and S. Boulouma, “Advanced *Fuzzy* MPPT Controller for a Stand-alone PV System,” *Energy Procedia*, vol. 50, pp. 383–392, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.06.046.
- [11] M. Ashari, *Desain Konverter Elektronika Daya*. 2017.
- [12] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook*, Third. 2011.
- [13] P. J. Pritchard, *Fox and McDonald’s Introduction to Fluid Mechanics*, Eighth. 2011.
- [14] “American Wire Gauge Conductor Size Table,” vol. 0000, pp. 53–55.

LAMPIRAN

1. Program MPPT P&O

```
const int Vinsense=A2,Voutsense=A3,Iinsense=A1,Ioutsense=A0;
double Vsampin=0,Vsampout=0,Isampin=0,Isampout=0;
double VavgIn,VavgOut,IavgIn,IavgOut,Iinvamps,Iovamps;
double Vin,Vout,Iin,Iout,Pin;
double v0=0,p0=0,dv=0,dp=0;
int Vrawin,Vrawout,Irawin,Irawout;
int ACSoffset = 2510;
int ACSoffset2 = 2490;
int mVperAmp=100;
int iterasi=1000;
float D=1,delD=0.01;
float runtime=0.0, deltime=0.0;
void sensing()
{
    Vsampin=0;
    Vsampout=0;
    Isampin=0;
    Isampout=0;

    for(int i=0;i<iterasi;i++)
    {
        Vrawin = analogRead(Vinsense);
        Vrawout = analogRead(Voutsense);
        Irawin = analogRead(Iinsense);
        Irawout = analogRead(Ioutsense);

        Vsampin += Vrawin;
        Vsampout+= Vrawout;
        Isampin += Irawin;
        Isampout+= Irawout;
        delayMicroseconds(100);
    }

    VavgIn = Vsampin/iterasi;
    VavgOut = Vsampout/iterasi;
    IavgIn = Isampin/iterasi;
    IavgOut = Isampout/iterasi;

    Vin = VavgIn*49/1023.0;
    Vout = VavgOut*50/1023.0;
    Iinvamps = (IavgIn/1023.0)*5000;
    Iovamps = (IavgOut/1023.0)*5000;
    Iin = (Iinvamps - ACSoffset) / mVperAmp;
    Iout = (Iovamps - ACSoffset2) / mVperAmp;
    Pin = Vin*Iin;
```

```

}
void pno()
{
  unsigned long waktu_mulai = micros();
  sensing();
  dv=Vin-v0;
  dp=Pin-p0;

  if(dp>0)
  {
    if(dv>=0) D-=delD;
    else D+=delD;
  }
  else if(dp<0)
  {
    if(dv>=0) D+=delD;
    else D-=delD;
  }

  v0=Vin;
  p0=Pin;

  if (D<=0.02)D=0.02;
  else if (D>=1)D=1;
  OCR1B=D*400; // 20khz = 400 ; 10khz = 800
  unsigned long waktu_berhenti = micros();
  deltime=(waktu_berhenti-waktu_mulai)/1000000.0;
  runtime= runtime+deltime;
}
void disp()
{
  Serial.print(runtime);
  Serial.print("\t ");
  Serial.print("Vin PV =");
  Serial.print(Vin,3);
  Serial.print("\t ");
  Serial.print("Iin PV =");
  Serial.print(Iin,3);
  Serial.print("\t ");
  Serial.print("Pin PV =");
  Serial.print(Pin,3);
  Serial.print("\t ");
  Serial.print("Vout PV =");
  Serial.print(Vout,3);
  Serial.print("\t ");
  Serial.print("Iout PV =");
  Serial.print(Iout,3);
  Serial.print("\t ");
  //Serial.print(dv,3);
  // Serial.print("\t ");
}

```

```

    Serial.println(D,2);
    //Serial.println(dp,3);
}
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(9600);           // bound untuk serial
    monitor
    pinMode(10, OUTPUT);
    pinMode(A1, INPUT);
    pinMode(A0, INPUT);
    pinMode(A2, INPUT);
    pinMode(A3, INPUT);
    TCCR1A = _BV(COM1B1) ;
    TCCR1B = _BV(WGM13) | _BV(CS10);
}
void loop() {
    sensing();
    pno();
    ICR1=400;           //400=20kHz    160=50kHz  800=10kHz
    disp();
}

```

2. Program MPPT FLC

```

const int Vinsense=A2,Voutsense=A3,Iinsense=A1,Ioutsense=A0;
double Vsampin=0,Vsampout=0,Isampin=0,Isampout=0;
double VavgIn,VavgOut,IavgIn,IavgOut,Iinvamps,Iovamps;
double Vin,Vout,Iin,Iout;
int Vrawin,Vrawout,Irawin,Irawout;
int ACSoffset = 2510;
int ACSoffset2 = 2490;
int mVperAmp=100;
int iterasi = 1000, x=0;
float D=100;
float B1=25.0; //BatasError
float B2=25.0; //BatasDeltaError
float Z=25.0;
float Pin =0.0,
E=0.0,CE=0.0,Pb=0.0,Vb=0.0,Eb=0.0,def=0.0,vn=0;
float runtime=0.0, deltime=0.0;

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(9600);
    pinMode(10, OUTPUT);
    pinMode(A1, INPUT);
    pinMode(A0, INPUT);
    pinMode(A2, INPUT);
    pinMode(A3, INPUT);
    //phase and Frequency Correct PWM

```

```

TCCR1A = _BV(COM1B1);
TCCR1B = _BV(WGM13) | _BV(CS10);
ICR1 = 267; //400=20kHz 160=50kHz 800=10khz 267=30khz
320=25khz
OCR1B=ICR1*D/100;
}
void sensing()
{
  Vsampin=0;
  Vsampout=0;
  Isampin=0;
  Isampout=0;
  for(int i=0;i<iterasi;i++)
  {
    Vrawin = analogRead(Vinsense);
    Vrawout = analogRead(Voutsense);
    Irawin = analogRead(Iinsense);
    Irawout = analogRead(Ioutsense);

    Vsampin += Vrawin;
    Vsampout+= Vrawout;
    Isampin += Irawin;
    Isampout+= Irawout;
    delayMicroseconds(100);
  }
  VavgIn = Vsampin/iterasi;
  VavgOut = Vsampout/iterasi;
  IavgIn = Isampin/iterasi;
  IavgOut = Isampout/iterasi;

  Vin = VavgIn*49/1023.0;
  Vout = VavgOut*50/1023.0;
  Iinvamps = (IavgIn/1023.0)*5000;
  Iovamps = (IavgOut/1023.0)*5000;
  Iin = (Iinvamps - ACSoffset) / mVperAmp;
  Iout = (Iovamps - ACSoffset2) / mVperAmp;
}
void loop() {
  // input sensing
  unsigned long waktu_mulai = micros();
  sensing();
  Pin= Vin*Iin;
  vn=Vin-Vb;
  E=(Pin-Pb)/(Vin-Vb);
  CE= E-Eb;
  //Fuzzification
  float E1=0.0,E2=0.0,E3=0.0,E4=0.0,E5=0.0;
  float CE1=0.0,CE2=0.0,CE3=0.0,CE4=0.0,CE5=0.0;
  W1=0.0,W2=0.0,W3=0.0,W4=0.0,W5=0.0,W6=0.0,W7=0.0,W8=0.0,W9=0.0,
  W10=0.0,W11=0.0,W12=0.0,W13=0.0,W14=0.0,W15=0.0,W16=0.0,W

```



```

17=0.0,W18=0.0,W19=0.0,W20=0.0,W21=0.0,W22=0.0,W23=0.0,W24=0
.0,W25=0.0;
//BatasMasukan
if (E>B1){
    E=B1;
}
if (E<-B1){
    E=-B1;
}
if (CE>B2){
    CE=B2;
}
if (CE<-B2){
    CE=-B2;
}

//inputE(K)
if (E>=-B1 && E<-B1/1.25){
    E1=1;
    E2=0;
}
if (E>=-B1/1.25 && E<-B1/2.5){
    E1=-2.5*E/B1-1;
    E2=2.5*E/B1+2;
}
if (E>=-B1/2.5 && E<0){
    E2=-2.5*E/B1;
    E3=2.5*E/B1+1;
}
if (E>=0 && E<B1/2.5){
    E3=-2.5*E/B1+1;
    E4=2.5*E/B1;
}
if (E>=B1/2.5 && E<=B1/1.25){
    E4=-2.5*E/B1+2;
    E5=2.5*E/B1-1;
}
if (E>B1/1.25 && dE<=B1){
    E4=0;
    E5=1;
}

//inputCE(K)
if (CE>=-B2 && CE<-B2/1.25){
    CE1=1;
    CE2=0;
}
if (CE>=-B2/1.25 && CE<-B2/2.5){
    CE1=-2.5*CE/B2-1;
    CE2=2.5*CE/B2+2;
}

```

```

}
if (CE>=-B2/2.5 && CE<0){
    CE2=-2.5*CE/B2;
    CE3=2.5*CE/B2+1;
}
if (CE>=0 && CE<B2/2.5){
    CE3=-2.5*CE/B2+1;
    CE4=2.5*CE/B2;
}
if (CE>=B2/2.5 && CE<=B2/1.25){
    CE4=-2.5*CE/B2+2;
    CE5=2.5*CE/B2-1;
}
if (CE>B2/1.25 && CE<=B2){
    CE4=0;
    CE5=1;
}
//ProsesRuleTable
//NegativeBig
W1= E5*CE5;
W2= E5*CE4;
W3= E5*CE3;
W4= E5*CE2;
W5= E5*CE1;
W6= E4*CE5;
//NegativeSmall
W7= E4*CE4;
W8= E4*CE3;
W11= E3*CE5;
W12= E3*CE4;
//Zero
W9= E4*CE2;
W10= E4*CE1;
W13= E3*CE3;
W16= E2*CE5;
W17= E3*CE2;
//PositiveSmall
W14= E3*CE2;
W15= E3*CE1;
W18= E2*CE3;
W19= E2*CE2;
//PositiveBig
W20= E2*CE1;
W21= E1*CE5;
W22= E1*CE4;
W23= E1*CE3;
W24= E1*CE2;
W25= E1*CE1;

//Defuzzification

```

```

def= (-Z* (W1+W2+W3+W4+W5+W6) -
Z/2* (W7+W8+W11+W12) +Z/2* (W14+W15+W18+W19) +Z* (W20+W21+W22+W23
+W24+W25)) / (W1+W2+W3+W4+W5+W6+W7+W8+W9+W10+W11+W12+W13+W14+W
15+W16+W17+W18+W19+W20+W21+W22+W23+W24+W25);
if (def>=10 && vn<0.5 && vn>-0.15 && x>20){
    def= -1;
}
if (def<=10 && vn<0.5 && vn>-0.15 && x>20){
    def= +1;
}
OCR1B= OCR1B-def/100*ICR1;
if (OCR1B>ICR1){
    OCR1B=ICR1;
}
if (OCR1B<1){
    OCR1B=1;
}
x=x+1;
unsigned long waktu_berhenti = micros();
deltime=(waktu_berhenti-waktu_mulai)/1000000.0;
runtime= runtime+deltime;
Serial.print(runtime);
Serial.print("\t ");
Serial.print(" Vin PV = ");
Serial.print(Vin,3);
Serial.print("\t ");
Serial.print("Iin PV = ");
Serial.print(Iin,3);
Serial.print("\t ");
Serial.print("Pin PV = ");
Serial.print(Pin,3);
Serial.print("\t ");
Serial.print("Vout PV =");
Serial.print(Vout,3);
Serial.print("\t ");
Serial.print("Iout PV =");
Serial.print(Iout,3);
Serial.print("\t ");
Serial.print(E);
Serial.print("\t");
Serial.print(CE);
Serial.print("\t");
Serial.print(OCR1B*100/ICR1);
Serial.print("\t");
Serial.println(def);

Eb= Pin;
Vb= Vin;
Eb= E;
}

```

BIODATA PENULIS



Kurniawan Dwi Saputra atau akrab dipanggil “Wawan” merupakan anak kedua dari tiga bersaudara yang lahir di Sragen, 16 Desember 1997. Sejak kecil bertempat tinggal di Saradan RT 08 RW 03 Karangmalang Sragen. Selama ini penulis sudah mengenyam pendidikan di SD Negeri 3 Sragen dan lulus pada tahun 2010 selanjutnya di SMP Negeri 1 Sragen pada tahun 2010-2013 serta SMA Negeri 4 Surakarta pada tahun 2013-2016. Selanjutnya penulis memilih untuk melanjutkan studi S1 di Departemen Teknik Elektro ITS pada tahun 2016. Selama menjalani perkuliahan di ITS, penulis aktif dalam berbagai kegiatan baik kegiatan intrakampus seperti BEM FTE, BEM ITS dan kepanitiaan seperti Gerigi ITS dan ITS Expo serta kegiatan ekstrakampus seperti komunitas FLAC Surabaya dan Young On Top Surabaya. Selain itu penulis juga mendapatkan amanah untuk menjadi bagian Asisten Laboratorium Konversi Energi pada semester 6. Penulis juga memiliki hobi yaitu Fotografi, Travelling dan Futsal. Perihal lain yang ingin diketahui lebih lanjut tentang penulis dapat menghubungi via email : kurniawands97@gmail.com.