



TUGAS AKHIR - TF181801

**RANCANG BANGUN SISTEM *CHARGING*
BATERAI MENGGUNAKAN *HYBRID SOLAR*
TRACKER DAN JALA-JALA LISTRIK BERBASIS
ALGORITMA *FLOWER POLLINATION*
*OPTIMIZATION - FUZZY CONTROL***

KEVIN GICA ERWANDHA
NRP. 0231154000031

Dosen Pembimbing:
Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF181801

***DESIGN OF BATTERY CHARGING SYSTEM
HYBRID SOLAR TRACKER AND ELECTRIC GRID
BASED OF FLOWER POLLINATION
ALGORITHM OPTIMIZATION - FUZZY
CONTROL***

KEVIN GICA ERWANDHA
NRP. 0231154000031

Supervisor:
Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institute Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kevin Gica Erwandha

NRP : 0231154000031

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul **“RANCANG BANGUN SISTEM CHARGING BATERAI MENGGUNAKAN HYBRID SOLAR TRACKER DAN JALAJALA LISTRIK BERBASIS ALGORITMA FLOWER POLLINATION OPTIMIZATION – FUZZY CONTROL”** adalah bebas plagiarisme. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 30 Juli 2019

Yang membuat pernyataan




Kevin Gica Erwandha

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**RANCANG BANGUN SISTEM *CHARGING* BATERAI
MENGUNAKAN *HYBRID SOLAR TRACKER* DAN JALA-
JALA LISTRIK BERBASIS ALGORITMA *FLOWER
POLLINATION OPTIMIZATION – FUZZY CONTROL***

Oleh:

**Kevin Gica Erwandha
NRP. 0231154000031**

Surabaya, 30 Juli 2019

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing**



**Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.
NIPN. 19761006 199903 1 002**

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Fisika FTI-ITS



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

Halaman ini sengaja dikosongkan

**RANCANG BANGUN SISTEM CHARGING BATERAI
MENGUNAKAN HYBRID SOLAR TRACKER DAN JALA-
JALA LISTRIK BERBASIS ALGORITMA FLOWER
POLLINATION OPTIMIZATION – FUZZY CONTROL**

TUGAS AKHIR



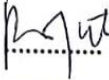

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Kevin Gica Erwandha
NRP. 0231154000031

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.  (Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc  (Ketua Penguji)
3. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.  (Penguji II)
4. Dr. Ir. Syamsul Arifin, M.T.  (Penguji III)

SURABAYA
JULI, 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

RANCANG BANGUN SISTEM *CHARGING* BATERAI MENGUNAKAN *HYBRID SOLAR TRACKER* DAN JALA- JALA LISTRIK BERBASIS ALGORITMA *FLOWER POLLINATION OPTIMIZATION – FUZZY CONTROL*

Nama : Kevin Gica Erwandha
NRP : 02311540000031
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Imam Abadi, ST., MT.

ABSTRAK

Sistem yang diusulkan adalah sistem *charging hybrid* antara *solar tracker* dan jala-jala listrik menggunakan dua tipe konverter yaitu konverter ZETA dan konverter SEPIC. PV berbasis *solar tracker* memiliki piranti canggih, namun kelemahan paling menonjol adalah ketika tidak adanya cahaya matahari. Dengan menggabungkan dua sumber daya ini, kelemahan tersebut dapat diatasi oleh *output* yang tidak terbatas. Sebagaimana dijelaskan di atas, dibutuhkannya kontrol yang bagus sehingga dapat menanggulangi kelemahan itu juga. Kontrol menggunakan FPAO-FLC memiliki nilai *rise time* 0,0123 detik, *settling time* 2,1099 detik, *maximum overshoot* 6,08 %, *peak time* 0,9246 detik dan *error steady state* 3,43 %. Efisiensi dari konverter ZETA menggunakan kontrol FPAO-FLC pada PV kondisi *tracking* dibandingkan dengan kondisi *fixed* mengalami peningkatan 43,24 % dan SOC baterai mencapai 39,08 %. Keuntungan dari sistem *hybrid* tersebut memiliki dua mode operasi yang otomatis meliputi mode operasi simultan dan individual. Hasil pengambilan data menunjukkan energi yang didapatkan oleh mode individual dari jala-jala listrik, mode individual *solar tracker* dan mode simultan dari kedua *input* berurutan-turut sebesar 92,62 Wh, 310,38 Wh, dan 76,8 Wh, sehingga total energi yang diperoleh adalah 479,81 Wh.

Kata kunci: *Solar Tracker, Konverter ZETA, Konverter SEPIC, Sistem Hybrid, Flower Pollination Algorithm Optimization - Fuzzy Control.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESIGN OF BATTERY CHARGING SYSTEM HYBRID
SOLAR TRACKER AND ELECTRIC GRID BASED OF
FLOWER POLLINATION ALGORITHM – FUZZY
CONTROL**

Name : Kevin Gica Erwandha
NRP : 02311540000031
Department : *Engineering Physics FTI-ITS*
Supervisor : **Dr. Imam Abadi, ST., MT.**

ABSTRACT

The proposed system is a hybrid charging system between solar tracker and electric grid using two types of converter namely ZETA converter and SEPIC converter. Solar-based PV tracker has high technology, but the most disadvantage is when there is no sunlight. By combining these two resources, that weaknesses can be overcome with unlimited output. As explained above, the need for good control can overcome those weaknesses as well. Control using FPAO-FLC has a rise time value of 0.0123 seconds, settling time of 2.1099 seconds, maximum overshoot of 6.08%, peak time of 0.9246 seconds and steady state error of 3.43%. Meanwhile, the efficiency of the ZETA converter using FPAO-FLC control on the PV tracking conditions compared to the fixed condition which has increased 43.24% and SOC battery reaches 39.08%. The advantage of the hybrid system has two automatic operating modes including simultaneous and individual operating modes. The results of data retrieval show that the energy obtained by the individual mode of the electricity grid, the individual solar tracker mode and the simultaneous mode of the two inputs, respectively 92.62 Wh, 310.38 Wh, and 76.8 Wh, so the total energy obtained is 479.81 Wh.

Keywords: *Solar Tracker, ZETA Converter, SEPIC Converter, Hybrid System, Flower Pollination Algorithm Optimization - Fuzzy Control.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya sehingga dapat terselesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika beserta dosen, karyawan dan civitas akademika Teknik Fisika FTI-ITS atas segala bantuan dan kerjasamanya.
2. Bapak Dr. Imam Abadi, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, petunjuk, nasihat serta masukkan.
3. Kepada Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc, Dr. Ir. Syamsul Arifin, M.T dan Ibu Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes. sebagai dosen penguji tugas akhir saya yang telah memberikan kritik dan saran yang menunjang tugas akhir ini.
4. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika-ITS.
5. Kedua orang tua yang senantiasa memberikan doa, perhatian dan dukungan yang telah diberikan.
6. Kepada semua rekan-rekan bimbingan TA, khususnya Muhammad Jaza'al Aufa, Wahyu Zulfikar Putra yang telah bekerja sama merancang proses pembuatan *hardware*.
7. Seluruh Asisten Laboratorium Pengukuran Fisis atas segala bantuannya.
8. Seluruh teman-teman angkatan 2015 yang telah menemani selama menempuh perkuliahan di Teknik Fisika.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidaklah sempurna, semoga laporan ini dapat memberikan wawasan yang bermanfaat bagi pembaca dan dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa lainnya.

Surabaya, 30 Juli 2019

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN AWAL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
DAFTAR NOTASI	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Lingkup Kerja	4
1.5 Manfaat	4
1.6 Sistematika Laporan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Photovoltaic	7
2.2 Solar Tracker	9
2.3 Jala-jala Listrik	10
2.4 Hybrid Power Plant	12
2.5 Konverter ZETA	13
2.6 Switched Mode Power Supply (SMPS) SEPIC Converter	15
2.7 Logika Fuzzy	16
2.8 Flower Pollination Algorithm Optimization	18
2.9 Flower Pollination Algorithm Optimization – Fuzzy Control	20
2.10 Baterai	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Studi Literatur	26
3.2 Pengambilan Data Primer dan Sekunder	26

3.3	Perancangan Spesifikasi Konverter ZETA	28
3.4	Perancangan Spesifikasi Konverter SEPIC.....	29
3.5	Perancangan Kontrol FPAO-FLC.....	31
3.6	Simulasi Hybrid System dan ZETA-FLC	40
3.7	Realisasi Hardware	44
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		53
4.1	Kalibrasi Sensor Arus ACS-712	53
4.2	Kalibrasi Sensor Tegangan	55
4.3	Perbandingan Simulasi dan Hardware Konverter ZETA dan SEPIC	57
4.4	Mode Operation Charging System.....	65
4.5	Simulasi Kontrol Fuzzy Algoritma Flower Pollination Optimization (Kontrol FPAO-FLC)	74
4.6	Pengujian Hardware Proses Charging dari Solar Tracker	79
4.7	Sistem Hybrid Dual Supply Sumber Listrik	89
BAB V PENUTUP		95
5.1	Kesimpulan.....	95
5.2	Saran.....	95
DAFTAR PUSTAKA		97
LAMPIRAN		101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Kurva I-V dan P-V Photovoltaic	8
Gambar 2. 2	Single Axis Solar Tracker	9
Gambar 2. 3	Two Axis Solar Tracker	9
Gambar 2. 4	Rangkaian Rectifier	11
Gambar 2. 5	Skema Hybrid Power Plant	12
Gambar 2. 6	Topologi Konverter ZETA.....	13
Gambar 2. 7	Diagram sirkuit SMPS Konverter SEPIC.....	15
Gambar 2. 8	Sistematika Logika Fuzzy	16
Gambar 2. 9	Flowchart Fuzzy Logic Controller	17
Gambar 2. 10	Flowchart Algoritma Flower Pollination.....	19
Gambar 2. 11	Flowchart Algoritma Flower Pollination Optimization - Fuzzy Control	20
Gambar 2. 12	Pseudocode Flower Pollination Algorithm.....	21
Gambar 2. 13	Ekuivalensi Siklus Pengisian Penuh	22
Gambar 3. 1	Flowchart Metodologi Penelitian	25
Gambar 3. 2	Rangkaian Konverter ZETA.....	28
Gambar 3. 3	Rangkaian Konverter SEPIC.....	30
Gambar 3. 4	Fungsi Keanggotaan Input Error FLC	31
Gambar 3. 5	Fungsi Keanggotaan Input Delta Error FLC.....	32
Gambar 3. 6	Fungsi Keanggotaan Output Duty Cycle FLC....	32
Gambar 3. 7	Flowchart Flower Pollination Algorithm Optimization - Fuzzy Control	34
Gambar 3. 8	Grafik Konvergensi Flower Pollination Algorithm	37
Gambar 3. 9	Fungsi Keanggotaan Input Error FPAO-FLC.....	38
Gambar 3. 10	Fungsi Keanggotaan Input Delta Error FPAO-FLC	38
Gambar 3. 11	Fungsi Keanggotaan Error sebelum dan sesudah dioptimisasi	39
Gambar 3. 12	Fungsi Keanggotaan Delta Error sebelum dan sesudah dioptimisasi	39

Gambar 3. 13	Hybrid Konverter pada Multisim 14.0.....	40
Gambar 3. 14	Simulasi FLC pada Konverter ZETA di SIMULINK	41
Gambar 3. 15	Respon FLC pada Konverter ZETA	42
Gambar 3. 16	Diagram Blok Kontrol FPAO-FLC	43
Gambar 3. 17	Hardware Konverter ZETA.....	44
Gambar 3. 18	Hardware Konverter SEPIC	45
Gambar 3. 19	Hardware Hybrid Konverter ZETA & SEPIC	45
Gambar 3. 20	Rangkaian Sistem Charging Hybrid	46
Gambar 3. 21	Skema Sistem Charging Hybrid	46
Gambar 3. 22	Prototype Uji Coba Konverter.....	47
Gambar 3. 23	Tampilan Oscilloscope dengan Duty cycle 25 %	48
Gambar 3. 24	Nilai Induktor Konverter ZETA	49
Gambar 3. 25	Nilai ukur Induktor Konverter SEPIC	49
Gambar 3. 26	STM32F103C8T6	50
Gambar 3. 27	Voltage Divider.....	50
Gambar 3. 28	Sensor Arus ACS-712	51
Gambar 3. 29	Software Keil STM32	51
Gambar 3. 30	Integrasi Dual input Konverter	52
Gambar 4. 1	Grafik Regresi Arus Sensor ACS-712.....	54
Gambar 4. 2	Grafik Uji Naik dan Turun sensor ACS-712	54
Gambar 4. 3	Grafik Regresi Sensor Tegangan.....	56
Gambar 4. 4	Grafik Uji Naik dan Turun Sensor Tegangan	56
Gambar 4. 5	Simulasi Konverter ZETA pada Multisim 14.0..	57
Gambar 4. 6	Set-up Hardware Konverter ZETA.....	58
Gambar 4. 7	Perbandingan Pengujian Duty Cycle Konverter ZETA.....	60
Gambar 4. 8	Simulasi Konverter SEPIC pada Multisim 14.0	61
Gambar 4. 9	Set-up Hardware Konverter SEPIC	62
Gambar 4. 10	Perbandingan Pengujian Duty Cycle Konverter SEPIC	64
Gambar 4. 11	(a) Solar Tracker (b) Monitoring LCD dari Solar Tracker	65

Gambar 4. 12	Tracking Set Point Mode Individual Solar Tracker	66
Gambar 4. 13	Output Ripple Tegangan Konverter ZETA	67
Gambar 4. 14	Arus Charging Konverter ZETA Input Solar Tracker	68
Gambar 4. 15	Output Ripple Arus Konverter ZETA	68
Gambar 4. 16	(a) Trafo Jala-jala Listrik (b) Monitoring LCD dari Jala-jala listrik.....	69
Gambar 4. 17	Tracking Set Point Mode Individual Jala-jala Listrik	70
Gambar 4. 18	Output Ripple Tegangan Konverter SEPIC	71
Gambar 4. 19	Arus Charging Konverter SEPIC Input Jala-jala Listrik	71
Gambar 4. 20	Output Ripple Arus Konverter SEPIC	72
Gambar 4. 21	Monitoring LCD dari Solar Tracker dan Jala-jala Listrik	73
Gambar 4. 22	Tracking Set point Mode Simultan Solar Tracker dan Jala-jala Listrik	73
Gambar 4. 23	Simulink Matlab Konverter ZETA dengan Fuzzy Logic Controller.....	74
Gambar 4. 24	Variasi Iradiasi Data Sekunder	75
Gambar 4. 25	Variasi Suhu Data Sekunder.....	76
Gambar 4. 26	Hasil Tracking Set Point dengan Kontroler Fuzzy dan FPAO-FLC.....	77
Gambar 4. 27	Set-up Pengujian Hardware Real-time	79
Gambar 4. 28	Daya Charging Track PV ZETA FPAO-FLC.....	80
Gambar 4. 29	Daya Charging Fixed PV ZETA FPAO-FLC.....	81
Gambar 4. 30	Daya Charging Track PV Solar Charge Controller	82
Gambar 4. 31	Daya Charging Fixed PV Solar Charge Controller	83
Gambar 4. 32	Motor DC Pitch	85
Gambar 4. 33	Motor DC yaw	85
Gambar 4. 34	Mikrokontroler dan Gate Driver.....	86
Gambar 4. 35	Sensor Arus ACS-712	87
Gambar 4. 36	Rata-rata Daya Konsumsi Energi	88

Gambar 4. 37	Arus Charging Baterai.....	88
Gambar 4. 38	Pengujian Sistem Hybrid.....	91
Gambar 4. 39	Daya Charging Baterai Mode Otomatis Dual Supply Tanggal 29/05/2019	92
Gambar 4. 40	Daya Charging Baterai Mode Dual Supply Tanggal 21/06/2019	93
Gambar 4. 41	Peningkatan SOC Baterai	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Perbandingan Jenis-jenis Konverter.....	14
Tabel 3. 1	Tabel Spesifikasi PV.....	26
Tabel 3. 2	Tabel Data Iradiasi, Suhu, Tegangan, Arus PV 250 Wp.....	27
Tabel 3. 3	Spesifikasi Konverter ZETA.....	29
Tabel 3. 4	Spesifikasi Konverter SEPIC.....	31
Tabel 3. 5	Tabel Parameter Input Sebelum Optimisasi.....	32
Tabel 3. 6	Tabel Parameter Output.....	33
Tabel 3. 7	Lookup Table Rule Base FLC.....	33
Tabel 3. 9	Tabel Parameter Input Setelah Optimisasi.....	39
Tabel 4. 1	Pengaruh Duty Cycle Simulasi dan Hardware.....	59
Tabel 4. 2	Pengaruh Duty Cycle Simulasi dan Hardware.....	63
Tabel 4. 3	Perbandingan Parameter Kontroler Fuzzy dan Fuzzy FPA.....	78
Tabel 4. 4	Data Pengujian Hardware kondisi Fix dan Tracking	84
Tabel 4. 5	Pengujian Sistem Hybrid Charging Baterai.....	90

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

V_{PV}	= Tegangan <i>Photovoltaic</i> (V)
V_{STC}	= Tegangan <i>Photovoltaic</i> saat <i>Standart Temperature Condition</i> (V)
I_r	= Iradiasi matahari pada kondisi uji (W/m^2)
I_{rSTC}	= Iradiasi matahari pada kondisi <i>Standart Temperature Condition</i> (W/m^2)
F_{temp}	= Faktor susut akibat pengaruh suhu (%)
α_p	= Koefisien temperatur tegangan ($\%/^{\circ}C$)
T_C	= Temperatur <i>Photovoltaic</i> pada kondisi uji ($^{\circ}C$)
T_{CSTC}	= Temperatur <i>Photovoltaic</i> pada <i>Standart Temperature Condition</i> ($^{\circ}C$)
I_{PV}	= Arus <i>Photovoltaic</i> (A)
I_{STC}	= Arus <i>Photovoltaic</i> pada kondisi <i>Standart Temperature Condition</i> (A)
K	= Konstanta boltzman ($1,38 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ Kg/s}^2\text{C}$)
Δ_T	= Perbedaan temperatur (C)
V_{in}	= Tegangan <i>Input</i> (V)
I_{in}	= Arus <i>Input</i> (A)
P_{out}	= Daya <i>Output</i> (W)
V_o	= Tegangan <i>Output</i> (V)
I_{out}	= Arus <i>Output</i>
D	= <i>Duty Cycle</i> (%)
D_{min}	= <i>Duty Cycle</i> Minimum (%)
D_{max}	= <i>Duty Cycle</i> Maksimum (%)
F_{sw}	= Frekuensi <i>Switching</i> (Hz)
L	= Induktor (μH)
C	= Kapasitor (μF)
ΔI_l	= <i>Ripple</i> Arus (A)
ΔR_p	= <i>Ripple</i> Tegangan (V)
X_i^t	= <i>Pollen</i> atau serbuk sari yang ke-i dengan iterasi t.
G_*	= Solusi terbaik pada saat sekarang.
λ	= Lambda dengan nilai 1,5
$\Gamma(\lambda)$	= Standar Fungsi Gamma dengan Lambda 1.5

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan energi berbasis fosil atau minyak, gas dan batu bara memegang peranan penting dalam kehidupan manusia. Permintaan energi tersebut dari tahun ke tahun mengalami peningkatan seiring bertambahnya populasi penduduk di suatu negara. Salah satu sumber energi yang saat ini banyak digunakan adalah energi listrik. Energi listrik merupakan sumber utama dari kehidupan manusia baik untuk kehidupan sehari-hari dan kebutuhan perusahaan atau industri. Menurut data yang diperoleh dari PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) tercatat bahwa konsumsi listrik pada paruh pertama 2018 sebesar 112,46 TeraWatt-hour (TWh) [1]. Dengan demikian, persediaan energi listrik diharapkan dapat memenuhi segala aspek kebutuhan masyarakat. Namun di sisi lain, kebutuhan energi listrik yang terus mengalami peningkatan mengakibatkan berkurangnya sumber energi yang tidak dapat diperbarui. Kondisi ini mengakibatkan tarif dasar listrik menjadi terus meningkat tajam. Sehingga, diperlukan adanya sumber alternatif yang ramah lingkungan dan juga dapat diandalkan.

Salah satu sumber alternatif untuk menghasilkan energi listrik paling potensial adalah tenaga surya. Keuntungan dari energi surya dari sekian banyak sumber energi terbarukan adalah tidak bersifat polutif dan tidak dapat habis. Indonesia merupakan negara tropis yang mempunyai potensi energi surya dengan insolasi rata-rata 4,5 – 4,8 kWh/m² per hari [2]. Inovasi yang berguna untuk memanfaatkan potensi energi tersebut menghadirkan teknologi yang sudah dikembangkan sebagai konversi energi surya menjadi energi listrik yaitu panel surya atau juga bisa disebut PV. Dalam pengoperasiannya, performansi dari PV bergantung pada suhu dan paparan iradiasi, sehingga kedua parameter tersebut menjadi faktor utama yang mempengaruhi hasil daya yang didapatkan [3]. Perkembangan selanjutnya, PV yang ditambahkan perangkat elektronik menghadirkan suatu teknologi yang lebih canggih yaitu

solar tracker. Konfigurasi sistem tersebut menggunakan sensor LDR dan aktuator berupa motor DC [4]. Efisiensi yang dihasilkan dapat mencapai 47 % untuk *single axis solar tracker* jika dibandingkan dengan PV berbasis *fixed* [5]. Sehingga, efisiensi tersebut menunjukkan tingginya energi listrik yang dihasilkan dari perangkat *solar tracker*.

Kemudian, energi listrik yang didapatkan akan disimpan pada baterai dan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik. Pada kenyataannya daya *output* yang diperoleh dari *solar tracker* mengalami fluktuasi sebelum disimpan di baterai. Kondisi tersebut membutuhkan sistem pengkondisian yang menangani kelemahan tersebut. Pada tahun 2017, Mohammad Musa Bachrowi merancang *stand alone PV charging system* berbasis *solar tracker* dengan peningkatan efisiensi sebesar 36,15 % dan lama waktu *charging* tersebut adalah 8,5 jam [6].

Penelitian yang sudah dilaksanakan untuk sistem *charging* baterai dengan sumber hanya dari PV *based tracking* masih belum cukup handal dikarenakan lama waktu *charging* yang dapat diberikan oleh sistem tersebut. Sehingga dibutuhkannya teknologi baru untuk memecahkan masalah itu dan dapat mendukung proses *charging* baterai dengan kapasitas yang tinggi. Teknologi tersebut salah satunya adalah teknologi *hybrid system*. Terdapat penelitian perancangan *hybrid power control* dari integrasi AC/DC-DC Converter. Sistem yang diusulkan pada AC-grid menggunakan SWISS PFC converter, sedangkan sumber PV yaitu konverter CUK. Integrasi *hybrid converter* tersebut dapat menyediakan tegangan dan daya yang tinggi [7]. Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Yunita Kholidaziah Arifiana meneliti sistem penjumlahan energi baterai 48 VDC antara PV dan jala-jala listrik menggunakan algoritma *non-inverting summing amplifier* [8].

Tak kalah pentingnya dengan sistem di atas, algoritma *flower pollination optimization* dapat digunakan untuk mengoptimisasi pengendali dari sistem *hybrid* tersebut. Algoritma ini menghasilkan respon *overshoot* yang rendah, dan *settling time* semakin cepat pada dua penelitian yaitu digunakan pada *permanent magnet synchronous* motor [9] dan pada turbin angin

untuk mengoptimisasi parameter PID sebagai pengendali sudut *pitch blade*. FPA menunjukkan hasil respon yang lebih bagus jika dibandingkan dengan PSO dan manual *tuning* untuk mengoptimalkan konversi daya listrik [10].

Penelitian tentang pengaplikasian pada konverter menggunakan algoritma *flower pollination optimization* telah banyak dilakukan. Pada tahun 2017, Farid Dwi Purwanto meneliti tentang perbandingan metode antara algoritma *modified particle swarm optimization*, *flower pollination algorithm*, dan *grey wolf optimization* dengan menggunakan MPPT SEPIC *converter*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa metode FPA mempunyai keuntungan yang lebih dibandingkan metode lain yaitu pencapaian respon untuk mencapai situasi konvergen lebih cepat. [11]. Pada tahun yang sama, Erdinc Shahin, meneliti tentang *tuning fuzzy logic controller* dengan FPA pada konverter *synchronous buck* untuk gelombang/SC *system* memperoleh nilai indeks performansi yang kecil, sehingga semakin kecil nilai tersebut, maka respon yang didapatkan semakin optimum [12].

Merujuk pada permasalahan di atas, dibutuhkan suatu inovasi baru yang dapat meminimalisir besarnya biaya listrik dan penggunaan PV yang terbatas oleh waktu serta kondisi cuaca. Pada kondisi berawan, pagi maupun malam hari membuat kekurangan dari sistem *charging* yang bersumber dari PV masih belum cukup handal. Sehingga, dalam penelitian ini dilakukan perancangan sistem *hybrid charging* baterai antara PV berbasis *tracker* dengan jala-jala listrik untuk dapat saling menutupi kekurangan satu dengan yang lain. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan efisiensi yang optimal dengan menggunakan algoritma *flower pollination algorithm optimization - fuzzy control* sebagai pengendali sistem tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka permasalahan yang didapatkan adalah

- a. Bagaimana perbandingan peningkatan efisiensi sistem *charging* baterai antara ZETA FPAO-FLC dengan *solar charge controller*?
- b. Bagaimana mode yang digunakan dalam sistem *charging hybrid solar tracker* dan jala-jala listrik?
- c. Bagaimana performansi kinerja kontrol *fuzzy logic controller* dan algoritma *flower pollination optimization - fuzzy control*?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam pengerjaan penelitian ini adalah

- a. Mengetahui perbandingan peningkatan efisiensi sistem *charging* baterai antara ZETA FPAO-FLC dengan *solar charge controller*.
- b. Mengetahui mode yang digunakan dalam sistem *charging hybrid solar tracker* dan jala-jala listrik.
- c. Mengetahui performansi kinerja kontrol *fuzzy logic controller* dan algoritma *flower pollination optimization - fuzzy controller*.

1.4 Lingkup Kerja

Adapun ruang lingkup yang dikaji adalah

- a. Spesifikasi *photovoltaic* yang digunakan adalah 250 Wp.
- b. Tipe dan kapasitas baterai yang digunakan adalah VRLA 12V 70Ah.
- c. *Input* untuk sistem penjumlahan ini diutamakan dari *output* baterai.
- d. Metode penalaran *fuzzy* menggunakan *fuzzy sugeno*.
- e. *Software* yang digunakan yaitu Matlab2017a, Multisim 14.0, Proteus 8.
- f. Optimisasi menggunakan algoritma *flower pollination optimization*.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah hadirnya teknologi baru pada sistem *charging* baterai dengan integrasi dua *input* konverter untuk menggabungkan dua *supply* energi. Diharapkan dari sistem

yang dirancang ini dapat mengantisipasi kondisi cuaca yang tidak menentu.

1.6 Sistematika Laporan

Pada penelitian ini memiliki sistematika penulisan laporan yaitu

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, lingkup kerja, manfaat penelitian, dan sistematika laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang teori dasar yang berkaitan dengan penelitian ini antara lain *photovoltaic*, *solar tracker*, jala-jala listrik, *hybrid power plant*, konverter ZETA, *switched mode power supply* SEPIC *converter*, logika *fuzzy*, *flower pollination algorithm*, *flower pollination algorithm optimization - fuzzy control*, dan baterai.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang langkah pengerjaan penelitian ini dari awal hingga selesai dilaksanakan.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil pengolahan data penelitian berupa perbandingan ZETA FPAO-FLC dengan *solar charge controller*, analisa mode yang digunakan dalam sistem *charging hybrid solar tracker* dan jala-jala listrik, performansi kinerja sistem *charging* dengan *flower pollination algorithm optimization - fuzzy control*.

BAB V PENUTUP

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan tugas akhir serta pemberian saran sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang teori dasar yang berkaitan dengan penelitian ini antara lain *photovoltaic*, *solar tracker*, jala-jala listrik, *hybrid power plant*, konverter ZETA, *switched mode power supply* SEPIC converter, logika *fuzzy*, *flower pollination algorithm*, *flower pollination algorithm optimization - fuzzy control*, dan baterai.

2.1 *Photovoltaic*

Photovoltaic (PV) merupakan suatu inovasi teknologi yang memiliki kemampuan mengkonversi energi foton yang berasal dari matahari menjadi energi listrik sehingga dapat digunakan untuk kebutuhan peralatan elektronik. PV disusun oleh bahan atau material yang terbuat dari semikonduktor seperti silikon titanium oksida. Semikonduktor yang terkena cahaya matahari membuat elektron-elektron yang terdapat pada pita energi mempunyai energi yang cukup untuk melepaskan ikatan, sehingga elektron akan mengalir ke dalam rangkaian untuk menuju beban. Kemudian, elektron yang lepas tersebut meninggalkan lubang yang akan diisi kembali oleh elektron lainnya. Tegangan pada PV dipengaruhi oleh suhu permukaan panel, sedangkan arus dipengaruhi oleh nilai intensitas matahari. Rumus yang digunakan untuk mengetahui pengaruh suhu permukaan panel terhadap tegangan adalah pada persamaan (2.1) dan (2.2). [13]

$$V_{Pv} = V_{stc} \times f_{temp} \times \left(\frac{I_r}{I_{rSTC}} \right) \quad (2.1)$$

Dimana, faktor susut akibat pengaruh suhu adalah

$$F_{temp} = 1 + \alpha_p (T_c - T_{cSTC}) \quad (2.2)$$

Dengan keterangan yaitu

$$V_{PV} = \text{Tegangan PV (V)}$$

V_{STC} = Tegangan PV saat *Standart Temperature Condition* (V)

I_r = Iradiasi matahari pada kondisi uji (W/m^2)

I_{STC} = Iradiasi matahari pada kondisi STC (W/m^2)

F_{temp} = Faktor susut akibat pengaruh suhu (%)

α_p = Koefisien temperatur tegangan ($\%/^{\circ}C$)

T_c = Temperatur PV pada kondisi uji ($^{\circ}C$)

T_{cSTC} = Temperatur PV pada *Standart Temperature Condition* ($^{\circ}C$)

Kemudian, arus yang dihasilkan oleh *photovoltaic* dari pengaruh paparan iradiasi yang mengenai permukaan panel ditunjukkan pada persamaan (2.3).

$$I_{PV} = (I_{STC} + K\Delta_T) \left(\frac{I_r}{I_{rSTC}} \right) \quad (2.3)$$

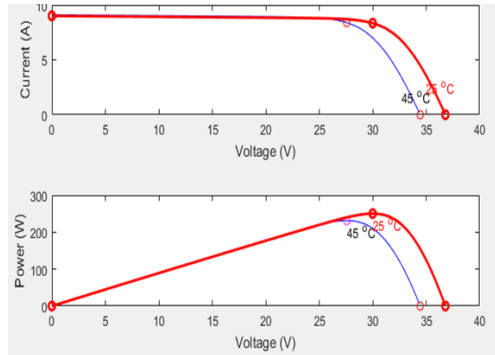
Keterangan dari persamaan di atas adalah

I_{PV} = Arus PV (A)

I_{STC} = Arus PV pada kondisi *standart Temperature Condition* (A)

K = Konstanta boltzman ($1,38 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ Kg/s}^2\text{C}$)

Δ_T = Perbedaan temperatur (C) [13]

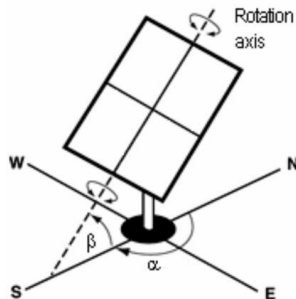


Gambar 2. 1 Kurva I-V dan P-V *Photovoltaic* [6]

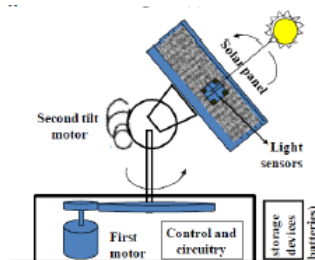
Gambar 2.1 menampilkan kurva arus dan tegangan serta daya dan tegangan dari PV. Pada kurva I-V terjadi kenaikan arus dan tegangan saat temperatur mengalami penurunan pada permukaan panel. Pada kurva P-V *output* daya semakin besar ketika terjadi penurunan temperatur. Tegangan dan arus bergantung pada beberapa parameter yaitu intensitas matahari, temperatur permukaan panel, posisi PV diletakkan terhadap matahari, lokasi pemasangannya, dan arah serta kecepatan angin [13].

2.2 Solar Tracker

Suatu sistem yang tertanam piranti elektronik untuk meningkatkan efisiensi dari *photovoltaic (fixed PV)* adalah sistem *solar tracker*. Kinerja dari *solar tracker* yaitu dengan mengendalikan orientasi PV mengikuti pergerakan matahari sehingga akan tegak lurus.



Gambar 2.2 *Single Axis Solar Tracker* [14]



Gambar 2.3 *Two Axis Solar Tracker* [15]

Pada Gambar 2.2 dan 2.3 menunjukkan bahwa berdasarkan jumlah sumbu rotasinya sistem *tracking* dibagi menjadi dua, yaitu *two axis* dan *single axis* [6]. *Solar tracker single axis* menggunakan satu sumbu putar, sedangkan *solar tracker two axis* memiliki dua sumbu putar untuk menjejak matahari, yaitu sumbu *pitch* dan *yaw*. Sumbu *pitch* berguna untuk melakukan rotasi dari utara ke selatan atau sebaliknya, sedangkan sumbu *yaw* berguna untuk melakukan rotasi dari timur ke barat atau sebaliknya. Motor DC akan menggerakkan PV dengan perintah dari mikrokontroler untuk berotasi ke sudut tertentu di dua *axis* tersebut (*horizontal* dan *vertical*). Selain itu, untuk mengetahui efisiensi dari sistem penjejakan matahari, tegangan dan arus dari PV harus diukur [16]. Sistem *solar tracker* berdasarkan metode penjejakannya dibagi menjadi dua, yaitu sistem penjejakan aktif dan sistem penjejakan pasif. Sistem penjejakan aktif yaitu salah satu sistem penjejakan matahari dengan melakukan pengukuran langsung terhadap besaran fisis contohnya iradiasi matahari. Berbeda dengan sistem penjejakan aktif, sistem penjejakan pasif dilakukan menurut perhitungan astronomi.

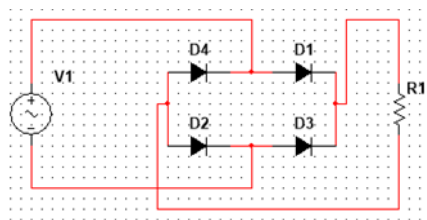
Pada *solar tracker* terdapat sensor yang akan mendeteksi sinar matahari, ketika PV tegak lurus terhadap matahari, intensitas yang diterima oleh sensor menghasilkan nilai *output* yang mendekati nol atau tidak ada, sehingga kontroler tidak memberikan perintah ke motor DC untuk bergerak. Panel PV yang posisinya tidak sepenuhnya paralel terhadap matahari mengakibatkan nilai *output* antara satu sensor dengan yang lain mengalami perbedaan, sehingga kontroler akan memberikan perintah untuk menggerakkan motor DC [17].

2.3 Jala-jala Listrik

Jaringan distribusi tenaga listrik atau jala-jala listrik berguna untuk menyalurkan tenaga listrik AC menuju konsumen. Jaringan distribusi dibedakan menjadi dua yaitu jaringan distribusi primer dan sekunder. Jaringan distribusi primer adalah jaringan yang menghubungkan antara distribusi trafo gardu induk ke gardu distribusi. Lain halnya dengan jaringan distribusi sekunder yang

menghubungkan trafo gradu distribusi menuju beban. Besarnya laju aliran energi listrik pada satu titik jaringan setiap satuan waktu adalah daya listrik. Daya listrik dibagi menjadi tiga jenis yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya semu. Pengertian daya aktif adalah daya yang digunakan untuk energi yang sebenarnya dan mengkonversi dari satu energi ke energi lainnya. Daya reaktif digunakan untuk pembangkitan fluks magnetik, biasanya disebut daya imajiner karena tidak digunakan untuk konversi energi. Daya semu adalah penjumlahan daya aktif dan reaktif. Penggunaan beban DC diperlukan suatu rangkaian tambahan yaitu rangkaian *rectifier*.

Rangkaian *rectifier*/penyearah berfungsi untuk mengubah sinyal AC(arus bolak-balik) menjadi sinyal DC(arus searah). Pada Gambar 2.4 *input* AC dihubungkan dengan dioda pada parameter D1-D4, sedangkan yang lainnya pada D3-D2. Katoda D1 dan D3 dihubungkan dengan *output* positif dan *ground* terhubung oleh anoda D2 dan D4. Sebagai contoh, *input* AC di antara D1-D4 berharga positif dan D3-D2 bernilai negatif, maka dioda D1 akan mengalami bias maju dan D2 akan bias mundur. Selanjutnya, bagian bawah D4 berpanjar maju dan D3 berpanjar mundur. Pada keadaan ini elektron mengalir dari bagian bawah melalui D4 ke beban menuju D1 dan kembali ke titik antara D2-D4. Sebagai catatan bahwa apapun polaritas bagian antara D1-D4 dan D2-D3, arus yang mengalir ke beban tetap pada arah yang sama [8].



Gambar 2. 4 Rangkaian *Rectifier* [18]

Gambar 2.4 menunjukkan rangkaian *rectifier full bridge* dengan menggunakan empat buah dioda. Respon yang dihasilkan

adalah gelombang penuh. Tegangan rata-rata dari penyearah gelombang penuh dirumuskan pada persamaan (2.4).

$$V_o = \frac{2 V_m}{\pi} \quad (2.4)$$

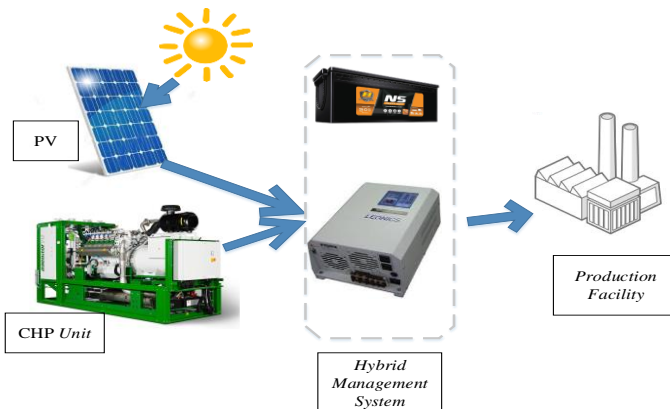
Tegangan rms yang dihasilkan, dirumuskan pada persamaan (2.5).

$$V_o = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 V_m \quad (2.5)$$

Dimana V_m adalah tegangan puncak dari sumber AC.

2.4 Hybrid Power Plant

Sistem *hybrid* merupakan salah satu alternatif sistem yang tepat diaplikasikan ketika daerah yang dituju belum mampu mendapatkan listrik dari pembangkit listrik negara. Inovasi ini banyak digunakan untuk menggabungkan dua sumber listrik. Dua sumber listrik ini dapat memanfaatkan *renewable energy* sebagai energi cadangan, sedangkan PLN menjadi energi utama. Skema *hybrid power plant* ditunjukkan pada Gambar 2.5.

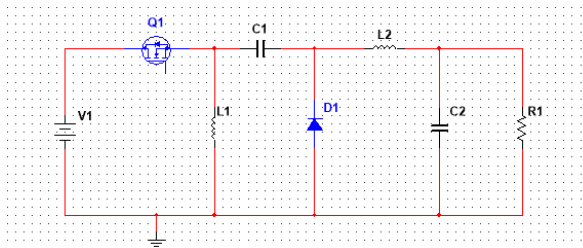


Gambar 2.5 Skema *Hybrid Power Plant* [8]

Pada Gambar 2.5 sistem *hybrid* ini, *renewable energy* yang digunakan dapat berasal dari PV untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan pada siang hari, sedangkan sumber energi lain menggunakan CHP unit yang beroperasi dengan menggunakan energi dari *natural gas*. Kedua *supply* dikondisikan pada *hybrid management system*. Sistem yang terdapat pada *management storage* tersebut terdapat rangkaian konverter penyimpanan baterai dan inverter untuk menyalurkan energi ke beban. Perpaduan ini menjadikan suatu pembangkit yang lebih efisien, efektif dan handal untuk dapat mensuplai kebutuhan energi listrik baik sebagai penerangan rumah atau kebutuhan peralatan listrik lainnya [8]. Kombinasi ini diharapkan dapat menyediakan *supply* daya listrik yang kontinyu dengan efisiensi yang tinggi.

2.5 Konverter ZETA

Konverter ZETA mempunyai dua mode yaitu mode saklar *ON* dan mode saklar *OFF*. Keuntungan dari konverter ZETA adalah memiliki polaritas *output* yang tidak terbalik dan mempunyai *output* tegangan *ripple* yang rendah [18]. Topologi dari konverter ZETA dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Topologi Konverter ZETA [19]

Sistem pensaklaran ini didapat dari persamaan *duty cycle*. Persamaan *duty cycle* dan tiap komponen dari konverter ZETA dapat dilihat dari persamaan (2.6) dan (2.7).

$$\left(\frac{D}{1-D}\right) = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{I_{in}}{I_o} \quad (2.6)$$

$$D = \frac{V_o}{V_o + V_{in}} \quad (2.7)$$

Rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai tiap komponen ditunjukkan pada persamaan (2.8), (2.9) dan (2.10) [19].

$$L1 = \frac{1}{2} \times \frac{V_{in(\min)} \cdot D_{max}}{1,3 \cdot f_{sw}} \quad (2.8)$$

$$L2 = \frac{1}{2} \times \frac{V_{in(\min)} \cdot D_{max}}{1,3 \cdot f_{sw}} \quad (2.9)$$

$$C2 = \frac{D_{max} \cdot I_{max}}{0,09 \times V_{out} \times f_{sw}} \quad (2.10)$$

Dimana V_{in} adalah tegangan yang diberikan, D_{max} adalah *duty cycle* maksimum, f_{sw} adalah frekuensi *switching* konverter. Persamaan kapasitor $C1$ ditunjukkan persamaan (2.11).

$$C1 = \frac{\Delta I_l}{8 \times 0,08 \times f_{sw}} \quad (2.11)$$

Dimana ΔI_l adalah *ripple* dari arus, f adalah frekuensi *switching* yang digunakan, dan V_o adalah tegangan *output* yang ditentukan [18]. *Power MOSFET* harus dipilih dengan cermat dan sesuai dengan implementasi yang digunakan untuk dapat menangani tegangan dan arus *peak* serta kerugian daya dipasi.

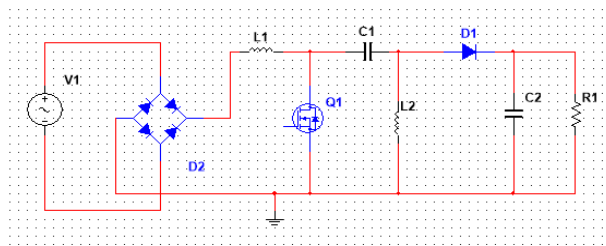
Tabel 2. 1 Perbandingan Jenis-Jenis Konverter

Feature	<i>Buck-Boost</i>	CUK	ZETA	SEPIC	<i>Flyback</i>
<i>Output Voltage polarity</i>	<i>Invert</i>	<i>Invert</i>	<i>Non-Invert</i>	<i>Non-Invert</i>	<i>Non-Invert</i>
<i>Input Current</i>	<i>Pulsating</i>	<i>Non-pulsating</i>	<i>Pulsating</i>	<i>Non-Pulsating</i>	<i>Pulsating</i>
<i>Switch Drive</i>	<i>Floated</i>	<i>Floated</i>	<i>Grounded</i>	<i>Grounded</i>	<i>Grounded</i>
<i>Efficiency</i>	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>	<i>Medium</i>	<i>Low</i>

Tabel 2.1 menunjukkan perbandingan beberapa konverter-konverter lainnya. Konverter *buck-boost*, CUK menghasilkan polaritas *output* tegangan yang *inverting* atau terbalik, sedangkan konverter ZETA, SEPIC dan *flyback* menghasilkan *non-inverting* atau tidak terbalik. Efisiensi yang tertinggi dari kelima konverter di atas adalah konverter ZETA.

2.6 Switched Mode Power Supply (SMPS) SEPIC Converter

Konverter SEPIC terdapat dua induktor ($L1$ dan $L2$), dua kapasitor ($C1$ dan $C2$) dan *switch* ($Q1$) yang merupakan MOSFET. Seperti halnya konverter ZETA, polaritas *output* yang dihasilkan SEPIC Konverter adalah *non-inverting*. Terdapat 2 mode yaitu Mode *ON* dan Mode *OFF*, Mode *ON* adalah ketika tegangan yang mengalir ke 2 induktor mempunyai nilai yang sama dengan tegangan *input*. Pada mode ini, kapasitor $C1$ dan induktor $L1$ terhubung secara paralel. Dioda akan mengalami *reverse bias* dan arus *load* disuplai oleh $C2$. Mode *OFF* ketika kapasitor $C1$ akan diisi oleh induktor $L1$ dan induktor $L2$ mensuplai *output* arus ke beban [20]. Topologi dari konverter SEPIC ditampilkan pada Gambar 2.7 tersebut.



Gambar 2. 7 Diagram sirkuit SMPS Konverter SEPIC [21]

Rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai tiap komponen ditunjukkan pada persamaan (2.12), (2.13), (2.14), dan (2.15) [20].

$$D = \frac{V_{out} + V_d}{V_{out} + V_{in(max)} + V_d} \quad (2.12)$$

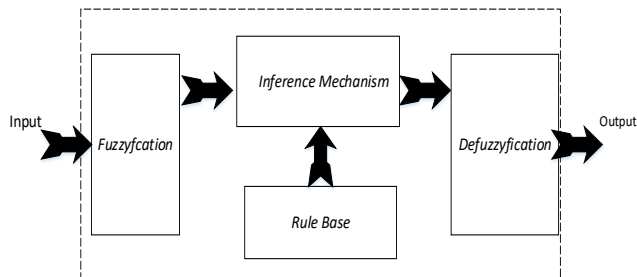
$$L1 = L2 = \frac{1}{2} \times \frac{Vin(min) \cdot Dmax}{\Delta Il \cdot fsw} \quad (2.13)$$

$$C1 = \frac{Iout \cdot D(max)}{\Delta VRpl \cdot fsw} \quad (2.14)$$

$$C2 = \frac{Iout \cdot D(max)}{\Delta VRpl \cdot fsw} \quad (2.15)$$

2.7 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* adalah salah satu cabang dari sistem kecerdasan buatan yang dikembangkan seperti proses penalaran manusia. Logika *fuzzy* memungkinkan pemodelan sistem yang kompleks dan berasal dari pengetahuan dan pengalaman dengan menggabungkan cara berfikir alternatif menggunakan tingkat abstraktif yang lebih tinggi. Kontroler logika *fuzzy* (FLC) adalah implementasi dari cara mengubah bahasa kontrol dengan melakukan aturan dasar yang mengatur perilaku sistem. Gambar 2.8 menunjukkan sistematika dasar dari logika *fuzzy*.



Gambar 2. 8 Sistematika Logika *Fuzzy* [16]

a. Input

Input logika *fuzzy* berupa bilangan *crisp* atau bilangan nyata.

b. Fuzzyfication

Fuzzifikasi berguna untuk mengkonversi bilangan *real* menjadi bilangan *fuzzy* (variable linguistik) menggunakan operator fuzzifikasi.

c. *Rule Base & Inference System*

Tahap ini berisikan aturan-aturan dasar logika *fuzzy* yang dimuat dalam aturan IF...THEN.

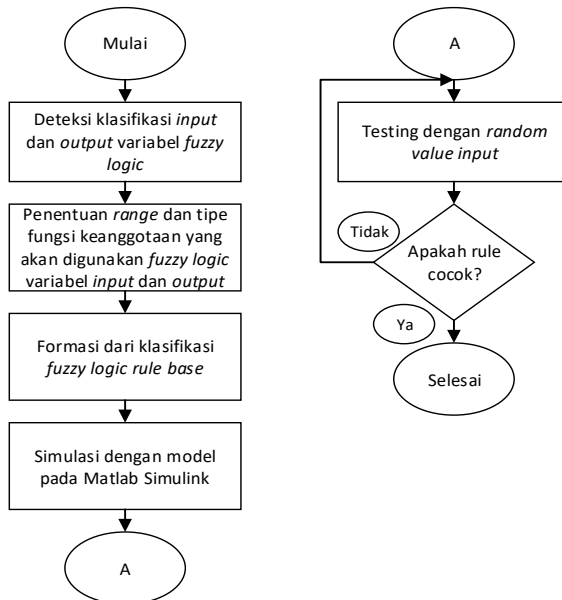
d. *Defuzzification*

Proses ini melakukan keputusan yang dihasilkan dari proses penalaran yang masih dalam bentuk *fuzzy*, yaitu berupa *output* derajat keanggotaan. Hasil ini harus diubah kembali menjadi bilangan nyata melalui proses defuzifikasi.

e. *Output*

Output pada logika *fuzzy* berupa bilangan nyata [17].

Proses logika *fuzzy* secara jelas dapat dilihat diagram alir yang terlihat pada Gambar (2.9).



Gambar 2. 9 *Flowchart Fuzzy Logic Controller* [4]

Pada Gambar 2.9 menunjukkan diagram alir dari *fuzzy logic controller* yaitu tahap yang dilakukan pertama adalah menentukan *input* dan *ouput* variable *fuzzy logic* berupa bilangan nyata dari

parameter pada *plant* yang digunakan. Selanjutnya adalah mendeteksi klasifikasi tipe fungsi keanggotaan. Tipe fungsi keanggotaan yang di representasikan berupa tipe segitiga, trapesium, *gaussian*, dan *generalized bell*. Kemudian, tipe fungsi keanggotaan yang disebut di atas lalu diproses fuzzifikasi untuk mengubah bilangan nyata menjadi bilangan *fuzzy*. Setelah itu dilakukan penentuan *range* di dalam fungsi keanggotaan. Semakin banyak jumlah dari fungsi keanggotaan, maka hasil yang diperoleh semakin bagus. Perancangan *rule base* dilakukan dengan *human expert*. Perubahan bilangan *fuzzy* menjadi bilangan nyata setelah dilakukan proses penalaran adalah defuzzifikasi. Setelah proses defuzzifikasi, *fuzzy logic* dapat diaplikasikan ke dalam *plant* [6].

2.8 Flower Pollination Algorithm Optimization

Optimisasi sangat penting dalam aplikasi di industri yang digunakan untuk mengoptimalkan sesuatu seperti meminimalkan harga, konsumsi energi atau memaksimalkan keuntungan, performansi dan efisiensi.

Algoritma *flower pollination optimization* (FPAO) adalah teknik optimisasi berbasis algoritma *nature-inspired* dan diperkenalkan oleh Xin-She Yang pada tahun 2012 dengan karakteristik kemampuan adaptasi sistem kehidupan pada perubahan di lingkungan. Teknik ini meniru tingkah laku dari penyerbukan bunga oleh serangga yang ada di alam semesta. Serangga akan mencari bunga yang berpenampilan lebih baik untuk dihindangi daripada bunga yang berpenampilan kurang baik. Proses dari algoritma *flower pollination* terdapat dua tipe penyerbukan yaitu *self pollination* dan *cross pollination*.

Self / local Pollination terjadi ketika bunga akan mengalami penyerbukan dengan bunga lain. Adapun rumus yang digunakan dari *local pollination* ditunjukkan pada persamaan (2.16).

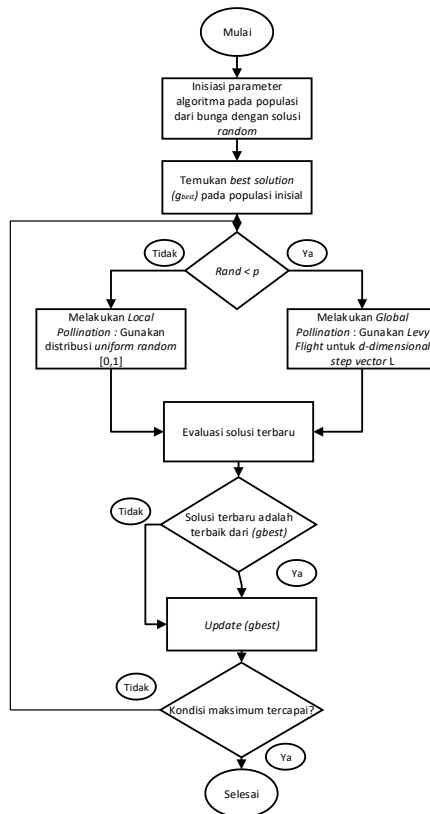
$$X_i^{t+1} = X_i^t + \Sigma(X_j^t - X_k^t) \quad (2.16)$$

Apabila *cross/ global pollination* terjadi ketika ada bantuan agen dari *abiotic* dan *biotic* seperti serangga, burung, dan binatang

lainnya sebagai *pollinator*. Adapun rumus yang digunakan dari *global pollination* ditampilkan pada persamaan (2.17).

$$X_i^{t+1} = X_i^t + L(\lambda)(G_* - X_i^t) \quad (2.17)$$

Dimana X_i^t adalah *pollen* atau serbuk sari yang ke- i dengan iterasi t , G_* yaitu solusi terbaik pada saat sekarang, $L(\lambda)$ merupakan kekuatan penyerbukan, dan X_j^t dan X_k^t adalah serbuk sari/*pollen* dari berbeda bunga tapi spesies sama [22].

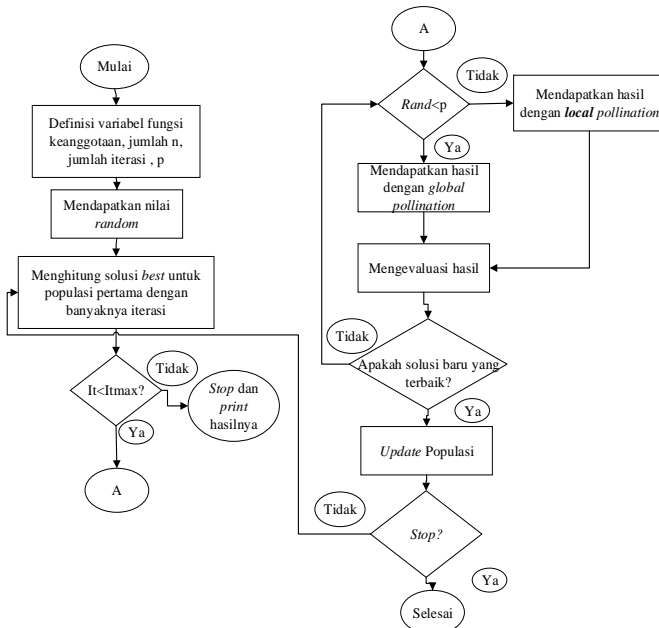


Gambar 2. 10 Flowchart Algoritma Flower Pollination [12]

Pada Gambar 2.10 tahap pertama yang dilakukan adalah menginisiasi parameter berupa ruang pencarian, besar populasi, jumlah iterasi, dan perpindahan *switching*. Tahap kedua adalah menemukan solusi terbaru pada populasi pertama. Selanjutnya, penentuan nilai *random* lebih kecil atau tidak. Tahap ketiga adalah mengevaluasi solusi terbaru dari perhitungan yang dilakukan salah satu tipe *pollination*. Kemudian, hasil dievaluasi dan jika solusi terbaru merupakan yang terbaik maka *gbest* diperbarui [12].

2.9 Flower Pollination Algorithm Optimization - Fuzzy Control

Pada metode ini, *flower pollination algorithm optimization* digunakan untuk mengoptimisasi parameter terbaik dari fungsi keanggotaan *fuzzy logic control* yang sudah dibuat sebelumnya. Dalam menggunakan kontrol dari FPAO-FLC ini digunakan software Matlab untuk mengimplementasikannya.



Gambar 2. 11 Flowchart Algoritma Flower Pollination Optimization - Fuzzy Control [22]

Pada Gambar 2.11 menunjukkan bahwa langkah pertama dalam melakukan proses optimisasi yaitu ditetapkan ruang pencarian, jumlah iterasi, pergantian *switching* dan jumlah serangga. Angka acak yang digunakan adalah 0,8 karena bekerja lebih baik untuk semua aplikasi [21]. Jika angka acak kurang dari perpindahan *switching*, maka akan dilakukan *global pollination* dibandingkan *local pollination* begitu sebaliknya. Pada *global pollination* mempunyai parameter yang dicari salah satunya adalah *levy-flight*. Parameter tersebut dicari dengan menggunakan persamaan (2.18).

$$L = \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\pi/2)}{\pi} \frac{1}{s^{1+\lambda}} \quad (2.18)$$

Dimana λ memakai nilai pasti sebesar 1,5, sedangkan $\Gamma(\lambda)$ = standar fungsi *gamma* dengan lambda 1,5. Solusi yang baru dievaluasi dan jika hasil tersebut adalah yang terbaik, maka populasi diperbarui. Kemudian, sistem *fuzzy logic control* ditambahkan setelah mengevaluasi semua populasi di tiap iterasi.

```

Define Objective function f(x), x = (x1, x2, ..., xd)
Initialize a population of n flowers/pollen gametes with random solutions Find the
best solution B in the initial population
Define a switch probability p ∈ [0, 1]
Define a stopping criterion (either a fixed number of generations/iterations or
accuracy)
while (t < MaxGeneration)
for i = 1; n (all n flowers in the population)
if rand < p,
Draw a (d-dimensional) step vector L which obeys a Lévy distribution
Global pollination via  $x_i^{t+1} = x_i^t + L(B - x_i^t)$ 
Else
Draw U from a uniform distribution in [0, 1]
Do local pollination via  $x_i^{t+1} = x_i^t + U(x_j^t - x_i^t)$ 
End if
Evaluate new solutions
If new solutions are better, update them in the population
End for
Find the current best solution B
End while
Output the best solution found

```

Gambar 2. 12 Pseudocode Flower Pollination Algorithm [22]

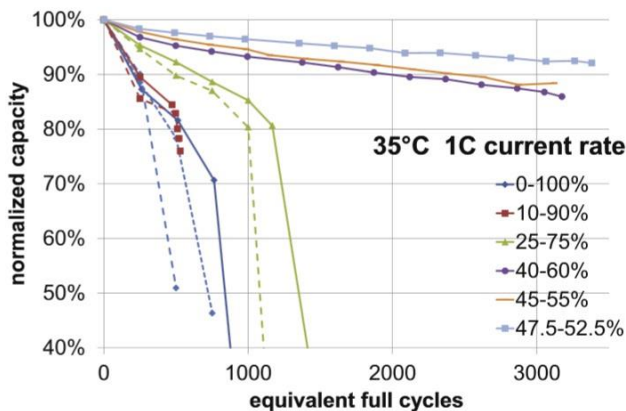
Pada gambar 2.12 menunjukkan *pseudocode* yang digunakan pada Matlab Dengan sistem *fuzzy logic control* sebagai *input*,

digunakan iterasi untuk merepresentasikan variabel *input*. *Output* variable untuk merepresentasikan perubahan dari parameter yang disesuaikan [22]. Dalam menentukan persentase dari iterasi dan akan menjadi *input* dari sistem *fuzzy logic control* adalah menggunakan persamaan (2.19).

$$\text{iterasi} = \frac{\text{iterasi sekarang}}{\text{iterasi maksimum}} \quad (2.19)$$

2.10 Baterai

Baterai merupakan sebuah piranti penyimpanan energi yang mempunyai sel elektrokimia sehingga dapat diubah menjadi energi listrik. Representasi kapasitas baterai 0-100 % dapat ditunjukkan dengan pengukuran tegangan baterai secara langsung tanpa ada beban maupun pada saat *charging*. Hal penting dalam menjaga penuaan baterai adalah dengan tidak melakukan *overcharge*. Pada Gambar 2.13 merupakan grafik ekuivalensi dari baterai.



Gambar 2. 13 Ekuivalensi Siklus Pengisian Penuh [24]

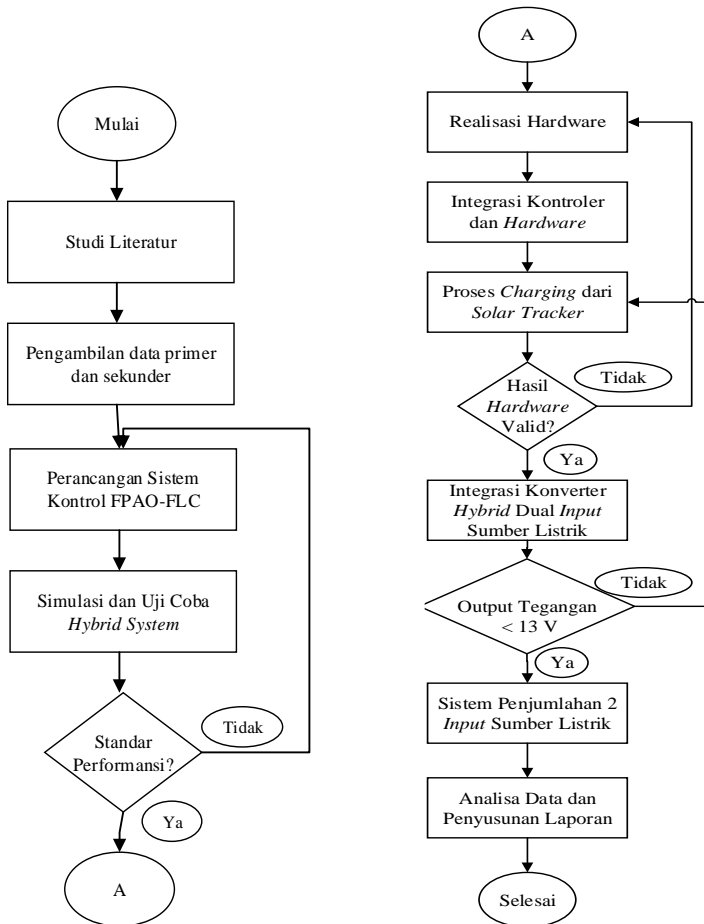
Gambar 2.13 menunjukkan grafik standar sel baterai energi tinggi dan biasanya memiliki 500-1000 siklus pengisian penuh. Pada karakteristik penuaan ini, berdasarkan fasanya dibagai

menjadi 3 antara lain fasa pertama siklus pengisiannya mencapai 50 kali, untuk fasa kedua siklus pengisiannya mencapai 500 kali dan fasa ketiga siklus pengisiannya adalah sisa dari jumlah kedua fasa sebelumnya. Dengan rentang 10-90 %, kapasitas baterai mengartikan bahwa baterai dihabiskan mencapai 10% dan diisi penuh sampai 100%. Sehingga, pengisian dan penghabisan baterai seperti hal tersebut akan ekuivalen dengan kurang lebih 700 siklus pengisian penuh. Ketika terjadi pengisian dan penghabisan baterai di rentang 47,5-52,5%, sehingga akan menghasilkan 3.000 lebih siklus pengisian penuh. Berdasarkan kurva yang ditampilkan di atas, semakin besar perbedaan kapasitas pengisian dan penghabisan baterai, semakin pendek umur baterai [24].

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada metodologi penelitian membahas mengenai prosedur penelitian yang telah dilakukan untuk mencapai tujuan dari tugas akhir ini. Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dapat digambarkan pada diagram alir seperti Gambar 3.1 yaitu



Gambar 3.1 Flowchart Metodologi Penelitian

3.1 Studi Literatur

Penelitian dilakukan dengan merumuskan perancangan topik penelitian seperti *flowchart* metodologi yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 di atas. Studi literatur diperlukan untuk meningkatkan pemahaman teori dasar maupun praktik dalam memecahkan masalah dan pengolahan data. Literatur yang digunakan dapat ditemukan pada *handbook* dan jurnal terkait dengan bidang-bidang mengenai *solar tracker*, konverter ZETA, konverter SEPIC, kontrol logika *fuzzy*, dan *flower pollination algorithm optimization*.

3.2 Pengambilan Data Primer dan Sekunder

Setelah melakukan studi literatur, pengambilan data primer yaitu suhu PV, iradiasi matahari dan *output* PV yaitu tegangan dan arusnya. Pengambilan data sekunder meliputi data spesifikasi PV dan baterai. Konverter yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe konverter ZETA dan konverter SEPIC dengan parameter yang dibutuhkan yaitu tegangan *input* (V_{in}), tegangan *output* (V_{out}), arus *input* (I_{in}), arus *output* (I_{out}), frekuensi *switching* (F_{sw}), nilai induktor (L_1 dan L_2), nilai kapasitor (C_1 dan C_2) dan beban.

PV yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe *poly crystalline* dengan daya maksimum sebesar 250 Wp. Adapun spesifikasi untuk PV yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Tabel Spesifikasi PV

Parameter Model PV ST Solar 250 Wp	Nilai Parameter
<i>Maximum Power at STC</i> (P_{MPP})	250 Wp
<i>Maximum Power Voltage at STC</i> (V_{MPP})	30 V
<i>Maximum Power Current at STC</i> (I_{MPP})	8.34 A
<i>Open Circuit Voltage at STC</i> (V_{OC})	36.8 V
<i>Short Circuit Current at STC</i> (I_{SC})	9 A
<i>Temperature Coefficient of V_{OC}</i>	-0.32 %/°C
<i>Temperature Coefficient of I_{SC}</i>	0.06 %/°C
<i>Series Connected Cell per Modul</i>	60

Baterai yang digunakan yaitu tipe baterai Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA) dengan kapasitas 12 V 70 Ah. Selain dibutuhkannya data sekunder, selanjutnya pengambilan data eksperimen untuk data primer dilakukan pada tanggal 24 April 2019. Pengukuran diambil secara diskrit terhadap PV untuk mendapatkan nilai iradiasi, suhu, tegangan, dan arus pada *rooftop* gedung pascasarjana Teknik Fisika ITS. Pengambilan data dilakukan mulai jam 07.00 WIB sampai 17.00 WIB dengan rentang waktu satu jam dengan kondisi cuaca sangat cerah. Alat ukur yang digunakan untuk mendapatkan data suhu dan iradiasi menggunakan termometer *infrared* dan piranometer. Lain halnya dengan pengambilan data tegangan dan arus memakai multimeter digital. Hasil data yang didapatkan ditampilkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Tabel Data Iradiasi, Suhu, Tegangan, Arus PV 250 Wp

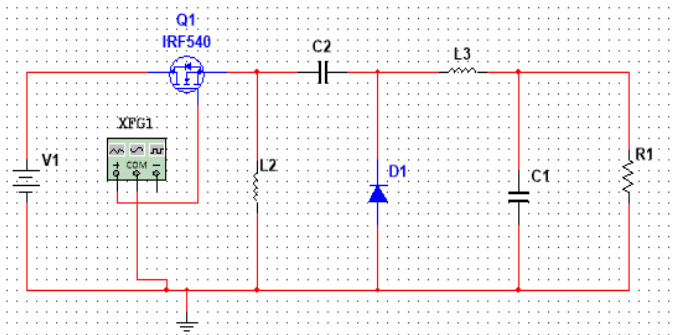
NO	WAKTU	INPUT		OUTPUT	
		Iradiasi (W/m ²)	T(°C)	V (Volt)	I (A)
1	07.00	321,42	35,36	33,492	3,172
2	08.00	488,58	33,454	33,11	4,648
3	09.00	684,28	46,4	32,964	6,292
4	10.00	836,86	49,48	32,906	7,052
5	11.00	938,5	50,84	32,904	7,87
6	12.00	1000,68	50,4	33,044	7,67
7	13.00	851,24	49,76	33,094	6,79
8	14.00	613,52	47,24	33,166	5,388
9	15.00	360,942	43,64	32,76	3,364
10	16.00	59,08	32,6	30,61	0,417
11	17.00	49,1	32,16	30,672	0,1

Berdasarkan data yang tercantum pada Tabel 3.2 menunjukkan bahwa puncak dari iradiasi dan suhu adalah pada jam

12.00 WIB dengan nilai $1000,68 \text{ W/m}^2$ dan $50,84 \text{ }^\circ\text{C}$, sedangkan puncak dari tegangan dan arus yang dihasilkan dari PV masing-masing sebesar $33,49 \text{ V}$ pada jam 07.00, dan $7,87 \text{ A}$ pada jam 11.00 WIB.

3.3 Perancangan Spesifikasi Konverter ZETA

Konverter yang digunakan untuk *solar tracker* adalah tipe konverter ZETA. *Output* yang dihasilkan dari konverter ZETA dapat lebih kecil maupun lebih besar dari *input*. Dalam mengetahui spesifikasi dari konverter ZETA dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai dari setiap komponen yang dibutuhkan. Skematik dan perhitungan dari konverter ZETA ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Rangkaian ZETA Konverter [19]

Pada Gambar 3.2 terdapat berbagai komponen yang harus dicari, perhitungan konverter ZETA menggunakan persamaan (2.6), (2.7), (2.8), (2.9), dan (2.10) dan (2.11) adalah

$$D_{\min} = \frac{V_{out}}{V_{out} + V_{in(\max)}} = \frac{14,5 \text{ V}}{14,5 \text{ V} + 37 \text{ V}} = 0,28$$

$$D_{\max} = \frac{V_{out}}{V_{out} + V_{in(\min)}} = \frac{14,5 \text{ V}}{14,5 \text{ V} + 30 \text{ V}} = 0,326$$

$$I_{in}(\max) = 10 \times \frac{D_{max}}{1-D_{max}} = 10 \times \frac{0,326}{1-0,326} = 4,83 \text{ A}$$

$$\Delta I_l = 0,4 \times I_{in}(\max) = 0,4 \times 4,83 = 1,932 \text{ A}$$

$$L1 = L2 = \frac{1}{2} \times \frac{V_{in(\min)} \cdot D_{max}}{1,3 \cdot f_{sw}} = \frac{1}{2} \times \frac{30 \text{ V} \times 0,326}{1,3 \times 20000} = 1,88 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

$$C_{out}/C2 = \frac{\Delta I_l}{8 \times 0,08 \times f_{sw}} = \frac{1,932 \text{ A}}{8 \times 0,08 \times 20000} = 150 \times 10^{-6} \text{ F}$$

$$C_c/C1 = \frac{D_{max} \cdot I_{max}}{0,09 \times V_{out} \times f_{sw}} = \frac{0,326 \times 10 \text{ A}}{0,09 \times 14 \times 20000} = 124 \times 10^{-6} \text{ F}$$

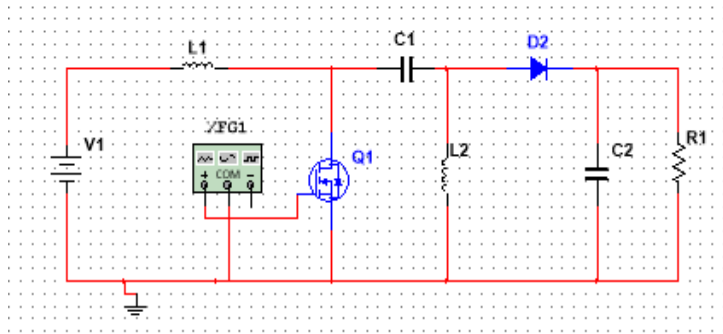
Pada Tabel 3.3 menunjukkan komponen yang digunakan pada simulasi dan alat berdasarkan spesifikasi perhitungan di atas.

Tabel 3. 3 Spesifikasi Konverter ZETA

Komponen	Nilai		Satuan
	Simulasi	Alat	
L1	118	113	uH
C1	124	470 (100 V)	uF (V)
L2	118	113	uH
D	5	100	A
C2	150	470 (100 V)	uF (V)
MOSFET	FCH04160F	FCH04160F	-
Frek.	20000	20000	Hz

3.4 Perancangan Spesifikasi Konverter SEPIC

Konverter yang digunakan untuk jala-jala listrik adalah tipe konverter SEPIC. *Output* yang dihasilkan sama seperti konverter ZETA yaitu tidak berpolaritas terbalik. Skematik dari konverter SEPIC ini ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian SEPIC Konverter [20]

Berdasarkan Gambar 3.3, rangkaian di atas diperlukan perhitungan setiap komponen untuk melakukan simulasi dan perancangan alat, hasil perhitungan diperoleh dari persamaan (2.12), (2.13), (2.14) dan (2.15).

$$D_{\min} = \frac{V_{out} + V_d}{V_{out} + V_{in(\max)} + V_d} = \frac{14,5 + 0,5}{14,5 + 16 + 0,5} = 0,48$$

$$D_{\max} = \frac{V_{out} + V_d}{V_{out} + V_{in(\min)} + V_d} = \frac{14,5 + 0,5}{14,5 + 5 + 0,5} = 0,75$$

$$\Delta I_L = I_{in} \times 30\% = \frac{0,15 \text{ A} \times 14,5 \text{ V}}{5 \times 0,9} \times 30\% = 0,145 \text{ A}$$

$$L_1 = L_2 = \frac{1}{2} \times \frac{5 \times 0,75}{0,145 \times 20000} = 0,646 \times 10^{-3} \text{ H}$$

$$C_1 = C_2 = \frac{0,145 \times 0,75}{0,003 \times 20000} = 1812 \times 10^{-6} \text{ F}$$

Sesuai dengan perhitungan di atas, Tabel 3.4 menampilkan spesifikasi dari konverter SEPIC pada simulasi dan alat.

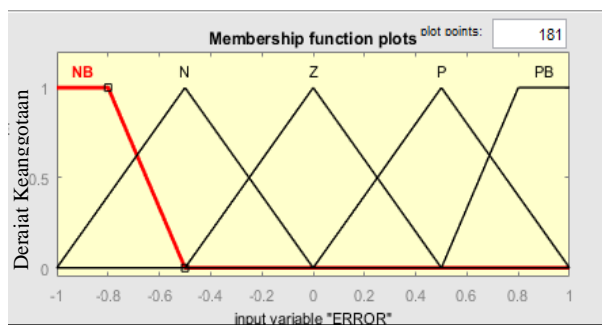
Tabel 3. 4 Spesifikasi Konverter SEPIC

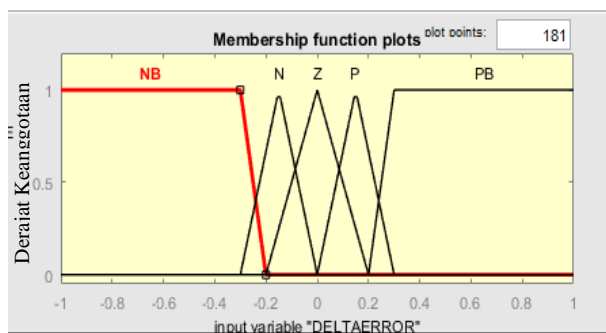
Komponen	Nilai		Satuan
	Simulasi	Alat	
L1	646	678	uH
C1	1812	2200 (100V)	uF (V)
L2	646	678	uH
D	5	100	A
C2	1812	2200 (100 V)	uF (V)
MOSFET	FCH04160F	FCH04160F	-
Frek.	20000	20000	Hz

3.5 Perancangan Kontrol FPAO-FLC

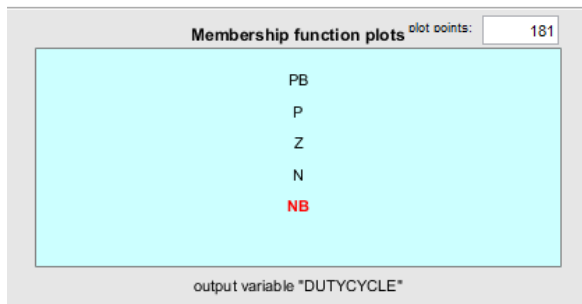
Dalam merancang sistem kontrol FPAO-FLC, terlebih dahulu dibuat sistem kontrol *fuzzy* yang meliputi 4 bagian yaitu *fuzzifikasi*, *inference system*, *rule base*, dan *defuzzifikasi*. *Input* untuk kontrol *fuzzy* ini adalah *error* tegangan (*error*) dan *delta error* (*change in error*), sedangkan *output* yang dihasilkan berupa *duty cycle*.

Error sebagai *input* merupakan selisih *set point* dan tegangan yang dihasilkan, sedangkan *delta error* merupakan selisih *error* yang di-*sensing* saat ini dengan *error* sebelumnya. Adapun fungsi keanggotaan dari *fuzzy logic controller* sebelum dioptimisasi adalah

**Gambar 3. 4** Fungsi Keanggotaan *Input Error* FLC [12]



Gambar 3. 5 Fungsi Keanggotaan *Input Delta Error* FLC



Gambar 3. 6 Fungsi Keanggotaan *Output Duty Cycle* FLC

Gambar 3.4, 3.5 dan 3.6 menunjukkan fungsi keanggotaan dari *input* berupa *error*, *delta error*, dan *output* yaitu *duty cycle*. *Range input* dan *output* dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan 3.6 sebagai berikut.

Tabel 3. 5 Tabel Parameter *Input* Sebelum Optimisasi

Bilangan <i>Fuzzy</i>	Parameter <i>input</i> sebelum dioptimisasi	
	<i>Error</i>	<i>Delta error</i>
NB	[-1,72; -1,08; -0,8; -0,5]	[-1,72, -1,08 -0,3, -0,5]
N	[-1; -0,5; 0]	[-0,3; -0,15, 0]
Z	[-0,5; 0; 0,5]	[-0,2; 0; 0,2]
P	[0; 0,5; 1]	[0; 0,15; 0,3]
PB	[0,5; 0,8; 1,2; 2,8]	[0,2; 0,3; 1,2; 2,8]

Tabel 3. 6 Tabel Parameter *Output*

Bilangan Fuzzy	Duty Cycle
NB	0,25
N	0,265
Z	0,28
P	0,32
PB	0,35

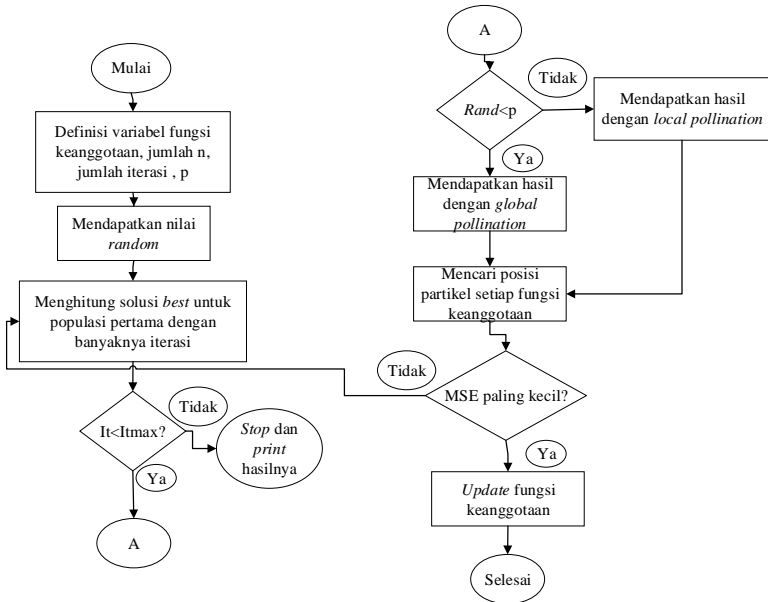
Fungsi keanggotaan yang digunakan dari input *error* dan *delta error* yaitu 3 segitiga dan 2 trapesium. Gambar di atas adalah fungsi keanggotaan yang digunakan untuk proses kontrol konverter ZETA. Selanjutnya, bilangan *input crisp* yang dinyatakan fungsi keanggotaan tersebut akan diproses oleh *inference system* dengan *rule base* seperti Tabel 3.7.

Tabel 3. 7 *Lookup Table Rule Base FLC [12]*

		derror				
		NB	N	Z	P	PB
Error	NB	NB	NB	NB	NS	Z
	N	NB	NB	NS	Z	PS
	Z	NB	NS	Z	PS	PB
	P	NS	Z	PS	PB	PB
	PB	Z	PS	PB	PB	PB

Inference system ini menggunakan prinsip sebab akibat (IF..THEN) dan dapat menghasilkan *output duty cycle*. Pada Tabel 3.7 di atas menunjukkan *rule base* sebanyak 25 aturan sesuai dengan *input* fungsi keanggotaan. Perancangan *rule base* menggunakan operator AND sebagai contoh jika bagian derajat keanggotaan *error* berupa NB dan bagian derajat keanggotaan *derror* berupa P, maka nilai *duty cycle* termasuk dalam derajat keanggotaan NS. Penjelasan singkat, IF e (NB) AND de (P) THEN *duty cycle* (NS). Demikian seterusnya dan berlaku untuk semua *rule* di atas [6].

Setelah itu, fungsi keanggotaan kontrol *fuzzy* dioptimisasi oleh algoritma *flower pollination* dengan diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 3.7



Gambar 3. 7 Flowchart Flower Pollination Algorithm Optimization - Fuzzy Control [22]

Gambar 3.7 menunjukkan tahapan dari proses optimisasi *range* fungsi keanggotaan dari kontrol *fuzzy* menggunakan *flower pollination algorithm optimization – fuzzy control*. Optimisasi dilakukan untuk mencari parameter terbaik dari fungsi keanggotaan yang sudah dibuat sebelumnya.

Langkah pertama untuk melakukan proses optimisasi yaitu ditetapkan ruang pencarian, jumlah iterasi, pergantian *switching* dan jumlah serangga. Selanjutnya, melakukan ruang pencarian, parameter yang dicari adalah batas bawah dari fungsi keanggotaan. Proses selanjutnya adalah mendapatkan nilai angka acak dan menentukan solusi terbaik untuk populasi pertama. Jika nilai angka

acak kurang dari pergantian *switching*, akan dilakukan *global pollination* dibandingkan *local pollination*. Solusi yang baru dievaluasi dan jika hasil tersebut adalah yang terbaik, maka populasi diperbarui. Sistem *range* fungsi keanggotaan *fuzzy logic control* ditambahkan setelah mengevaluasi semua populasi di setiap iterasi. *Output* variable yaitu posisi partikel digunakan untuk merepresentasikan perubahan dari parameter yang disesuaikan. Terdapat aturan pada proses *pollination* di algoritma [23], yaitu :

- a. Biotik *cross-pollination* dapat dikategorikan sebagai proses *global pollination* dan *pollen* yang dibawa *pollinator* bergerak sesuai *levy flight*.
- b. Untuk *local pollination*, abiotik *pollination* dan *self-pollination* digunakan.
- c. *Pollinator* seperti serangga dapat meningkatkan bunga secara konstan, dimana ekuivalen dengan probabilitas produksi yang proporsional dengan kesamaan dari dua bunga.
- d. Interaksi atau *switching* dari *local pollination* dan *global pollination* dapat dikontrol dengan *switch probability* $p \in [0,1]$, dan condong ke *local pollination*

Pada *global pollination*, serbuk sari/*pollen* yang dibawa oleh serangga dapat berpindah jarak dengan jauh, rumus yang digunakan jika nilai angka acak yang dihasilkan lebih kecil dari probabilitas pindah bunga terdapat pada persamaan (2.16). Namun, ketika nilai angka acak yang dihasilkan lebih besar dari probabilitas pindah serangga maka dilakukan *local pollination*, rumus yang digunakan ada di persamaan (2.17) [22].

Adapun penjelasan lebih jelas mengenai optimisasi fungsi keanggotaan *fuzzy logic controller*. *Flower pollination algorithm optimization - fuzzy control* dilakukan dengan mendefinisikan parameter awal dari fungsi keanggotaan *fuzzy logic control* yang sudah dibuat, yaitu :

Jumlah Serangga = 30

Probabilitas berpindah ke bunga lain = 0,8

Jumlah maksimal iterasi = 1000

negative big membership function (trapesium) = [-1,72; -0,8; -0,5]

negative small membership function (segitiga) = [-1; -0,5; 0]

zero membership function (segitiga) = [-0,5; 0; 0,5]

positive small membership function (segitiga) = [0; 0,5; 1]

positive big membership function (trapesium) = [0,5; 0,8; 2,8]

Setelah melakukan definisi parameter awal, lalu menginisiasi nilai angka acak, ketika nilai angka acak lebih kecil dari probabilitas pindah ke bunga lain, maka akan dilakukan *global pollination*, tetapi terlebih dahulu dihitung *levy flight* sebagai kekuatan melakukan penyerbukan dengan perhitungan yaitu :

Rand = 0,7416

$$L(\lambda) = \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\lambda\pi/2)}{\pi} \frac{1}{s^{1+\lambda}} = \frac{1,5 \times 0,8862 \times 0,0411}{3,14} \frac{1}{1,074^{2,5}} = 0,01455$$

$$X_i^{t+1} = X_i^t + L(\lambda)(G_* - X_i^t) = 0,1208 + 0,0145(0,4424 - 0,1208)$$

$$X_i^{t+1} = 0,15457$$

Selanjutnya, mendapatkan fungsi *objective Mean Square Error* dengan melihat hasil posisi partikel dari μ^{01} , μ^{02} , μ^{03} adalah sebagai berikut :

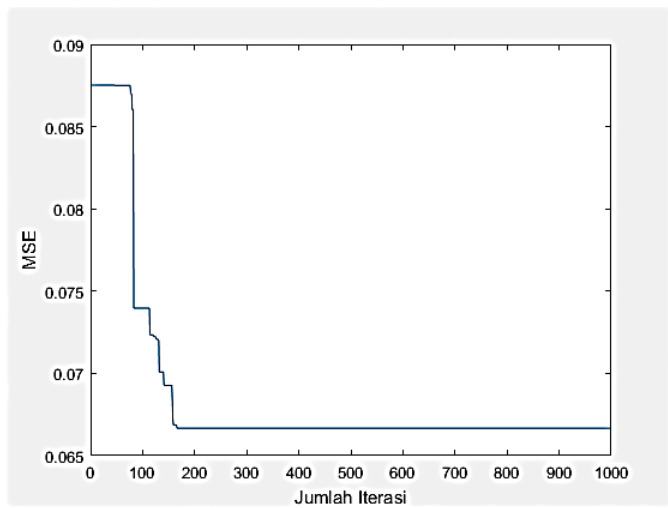
$$\mu^{01} = \frac{x - a}{b - a} = 0,083$$

$$\mu^{02} = \frac{c - x}{c - b} = 1$$

$$\mu^{03} = \frac{c - x}{c - b} = 0,2446$$

$$\text{MSE} = \frac{(\mu^{01} - y_1)^2 + (\mu^{02} - y_2)^2 + (\mu^{01} - y_1)^2}{y_1^2 + y_2^2 + y_3^2}$$

$$\text{MSE} = \frac{(0,083-0)^2 + (1-1)^2 + (0,2446-0)^2}{0^2 + 1^2 + 0^2} = 0,0667$$

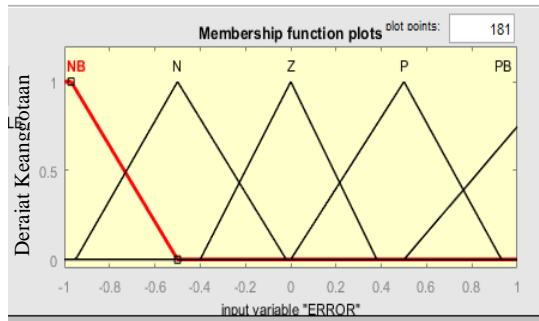


Gambar 3. 8 Grafik Konvergensi *Flower Pollination Algorithm*

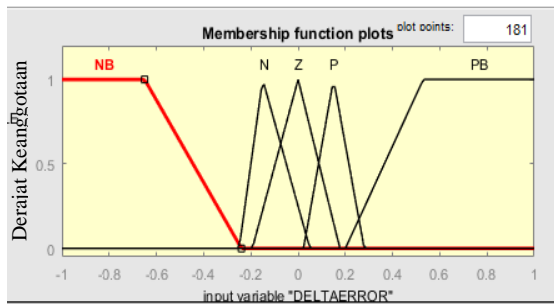
Berdasarkan perhitungan di atas nilai MSE yang didapatkan menghasilkan *error* terkecil yaitu 0,0667. Gambar 3.8 menunjukkan hasil konvergensi di setiap iterasi yang dijalankan sebanyak 1000 iterasi. Respon untuk mencapai situasi konvergen terjadi pada iterasi ke 166. Dimana posisi partikel batas atas dijaga dengan nilai satu dikarenakan batas atas fungsi keanggotaan tidak diubah. Selanjutnya memulai pencarian posisi terbaik dan memperbarui fungsi keanggotaan *fuzzy logic control* yang dibuat sebelumnya dari setiap iterasi perpindahan serangga yang dilakukan.

Dimana posisi terbaik menghasilkan fungsi keanggotaan batas bawah dari NB adalah $-1,1642$ dan $-0,54205$, sedangkan batas bawah N adalah -1 dan $-0,13635$, kemudian batas bawah Z adalah $-0,42903$ dan $0,45314$, lalu batas bawah P adalah 0 dan 1 , batas bawah PB menghasilkan hasil sebesar $0,53153$ dan $1,6893$.

Gambar 3.9 dan 3.10 merupakan hasil optimasi yang dilakukan oleh *flower pollination algorithm optimization* untuk mendapatkan fungsi keanggotaan yang baru.



Gambar 3. 9 Fungsi Keanggotaan *Input Error* FPAO-FLC



Gambar 3. 10 Fungsi Keanggotaan *Input Delta Error* FPAO-FLC

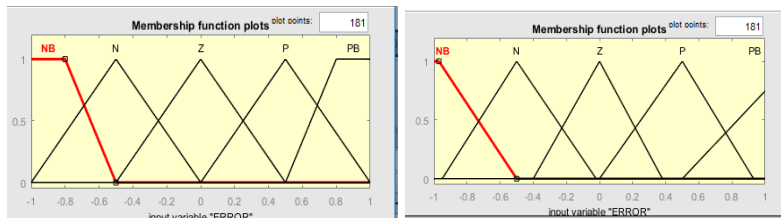
Gambar 3.9, 3.10 merupakan hasil *update* dari fungsi keanggotaan *algorithm flower pollination fuzzy control* untuk fungsi keanggotaan *range error* dan *delta error*. Pada Tabel 3.8

menunjukkan tabel parameter yang didapatkan dari proses optimisasi ini.

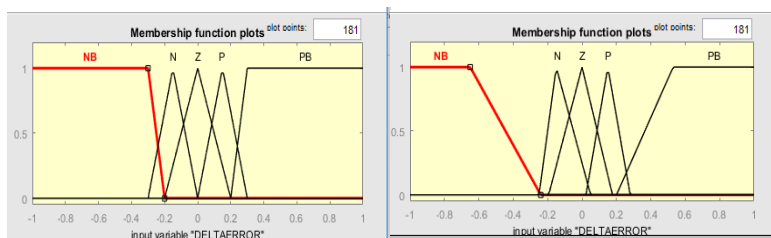
Tabel 3. 8 Tabel Parameter *Input* Setelah Optimisasi

Bilangan <i>Fuzzy</i>	Parameter <i>input</i> setelah dioptimisasi	
	<i>Error</i>	<i>Delta error</i>
NB	[-1,16; -1,08; -0,8; -0,54]	[-1,17; -1,08; -0,65; -0,24]
N	[-1; -0,5; -0,13]	[-0,25; -0,15; 0,05]
Z	[-0,43; 0; 0,45]	[-0,194; 0; 0,17]
P	[0; 0,5; 1]	[0,023; 0,15; 0,28]
PB	[0,53; 0,8; 1,17; 1,69]	[0,2; 0,53; 1,2; 2,8]

Perbandingan fungsi keanggotaan antara sebelum dan sesudah di optimisasi oleh FPA adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 11 Fungsi Keanggotaan *Error* sebelum dan sesudah dioptimisasi

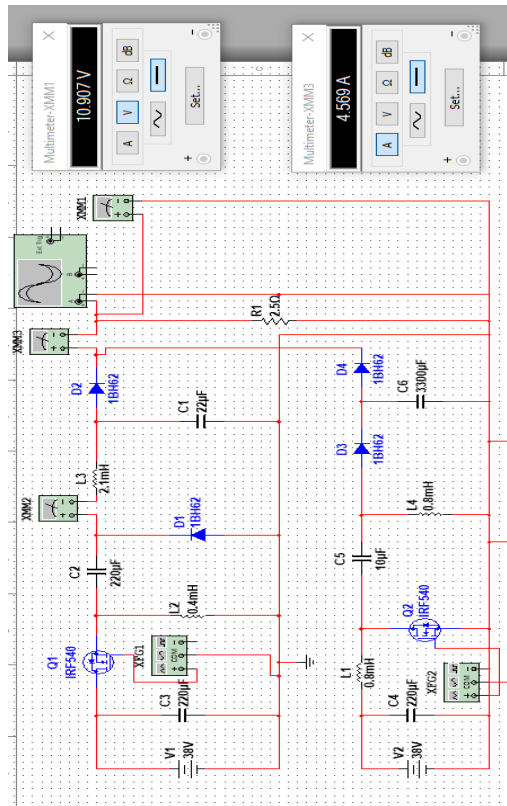


Gambar 3. 12 Fungsi Keanggotaan *Delta Error* sebelum dan sesudah dioptimisasi

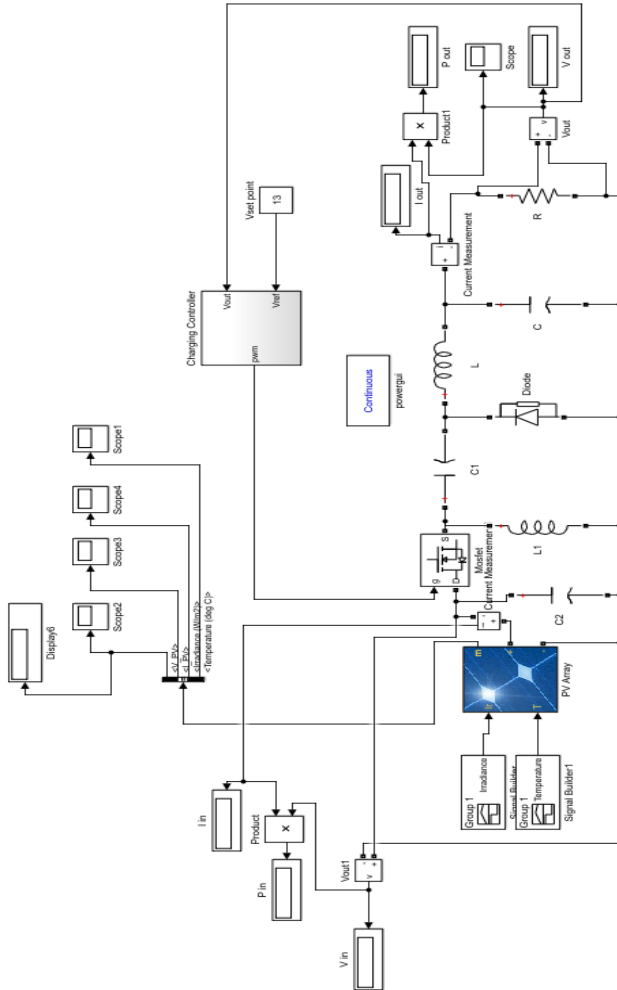
Dari kedua Gambar 3.11 dan Gambar 3.12 menunjukkan bahwa terjadi perubahan *range* dari fungsi keanggotaan *fuzzy logic control* pada *input error* dan *delta error*.

3.6 Simulasi *Hybrid System* dan ZETA-FLC

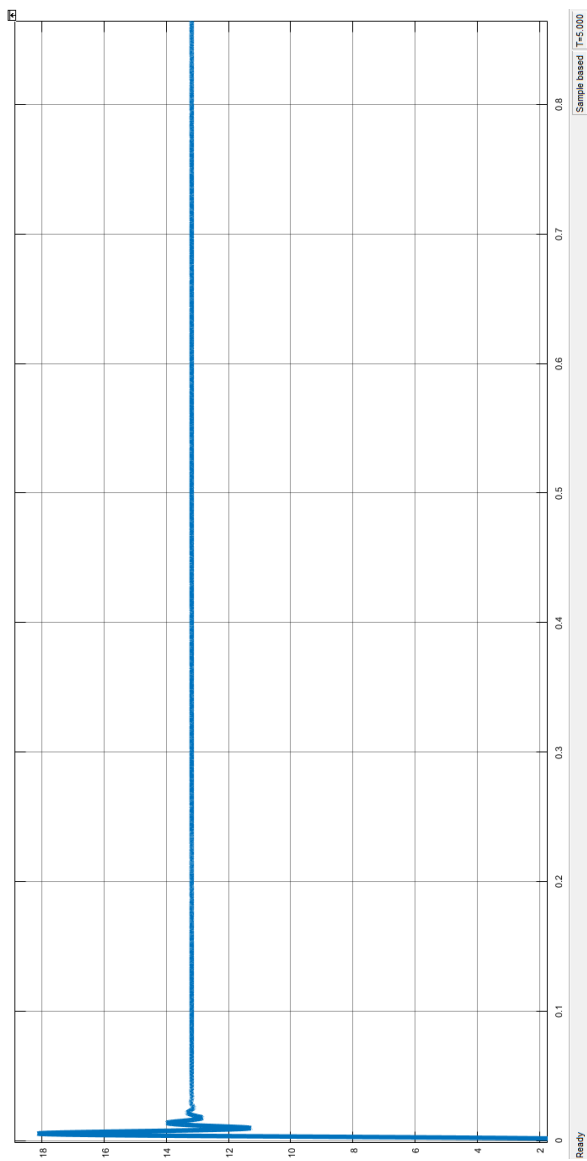
Dalam sub bab ini menjelaskan tentang simulasi yang dilakukan untuk sistem *hybrid* dengan *software* Multisim 14.0 dan kontroler *fuzzy* yang tertanam di konverter ZETA dengan Matlab 2017a. Penampilan *plant* dan hasil uji coba pada *software* ditunjukkan pada Gambar 3.13, 3.14, dan 3.15.



Gambar 3. 13 *Hybrid* Konverter pada Multisim 14.0



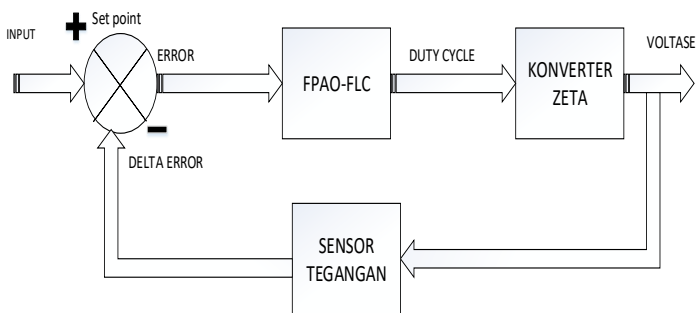
Gambar 3. 14 Simulasi FLC pada Konverter ZETA di SIMULINK



Gambar 3. 15 Respon FLC pada Konverter ZETA

Menurut Gambar 3.13, percobaan pada simulasi konverter ZETA dan SEPIC beserta integrasi kedua topologinya bertujuan untuk mengetahui kinerja *hardware* yang dirancang. Simulasi menggunakan Multisim 14.0 dilakukan dengan pengujian antara *solar tracker* dan jala-jala listrik dengan 3 dioda yang terpasang setelah kedua konverter tersebut. Dalam perancangan *hybrid system*, konverter ZETA menggunakan kontroler *flower pollination algorithm optimization - fuzzy control* (FPAO-FLC), sedangkan konverter SEPIC menggunakan logika *increment* (penambahan) dan *decrement* (pengurangan). Ketika konverter ZETA menghasilkan tegangan *output* kurang dari 13 V, maka konverter SEPIC melakukan *backup* dengan logika penambahan tersebut. Berdasarkan komponen dan kontroler yang telah disebutkan, membuat penjumlahan daya dapat terjadi. Perhitungan *duty cycle* dan nilai komponen yang terdapat di konverter disimulasikan pada Multisim 14.0 juga dan dilakukan verifikasi kesesuaian antara simulasi dan *hardware*.

Berdasarkan Gambar 3.14, simulasi dilakukan dengan menggunakan Matlab 2017a bertujuan untuk menguji *fuzzy logic controller* dengan konverter ZETA. Pada *Simulink* terdapat beberapa komponen yang dipakai yaitu PV dan konverter ZETA. Kemudian, Gambar 3.15 menunjukkan hasil respon dari simulasi yang didapatkan berupa maksimum *overshoot* sebesar 26,3 % dan mencapai *settling time* dengan waktu 0,034 s.



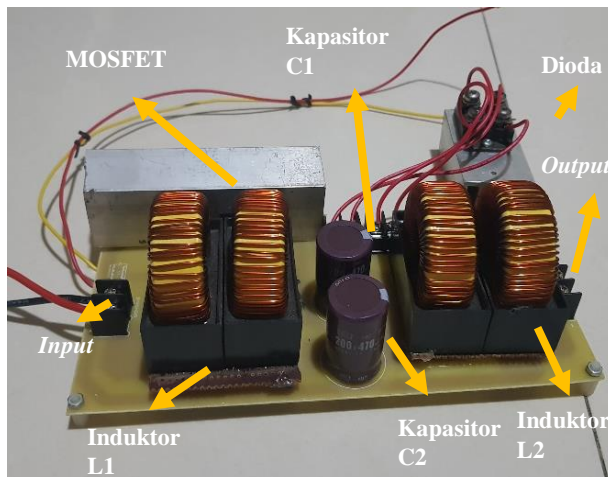
Gambar 3. 16 Diagram Blok Kontrol FPAO-FLC

Simulasi *fuzzy logic controller* dengan Matlab 2017a mengacu pada Gambar 3.15 yang merupakan diagram blok pengendalian konverter ZETA. Pada diagram blok di atas FPAO-FLC menghasilkan *output duty cycle* dengan *set point* berupa tegangan dari *input error* dan *delta error*. Dalam perancangan *hybrid system*, konverter SEPIC menggunakan logika *increment* dan *decrement*.

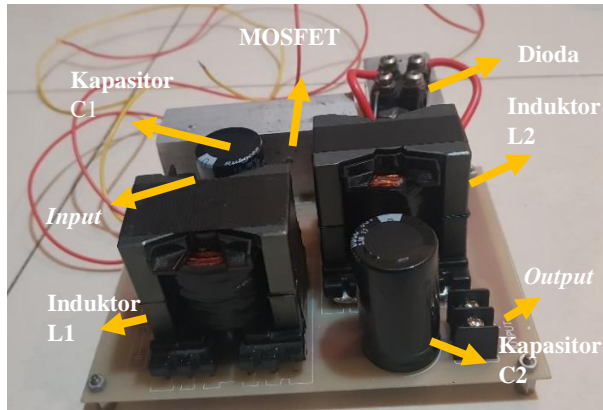
3.7 Realisasi *Hardware*

Terdapat dua konverter yang dibuat dalam *hybrid* konverter ini yaitu konverter ZETA dan SEPIC yang mempunyai topologi rangkaian yang berbeda. Parameter komponen dari kedua konverter yang sudah dihitung selanjutnya dibuat rangkaian *hardware* dengan nilai masing-masing komponen yang sudah ditentukan.

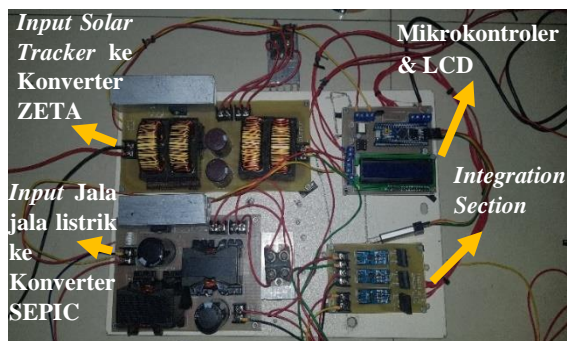
Tetapi, kedua konverter ini memerlukan 2 buah kapasitor, 2 buah induktor, 1 buah MOSFET dan 1 buah dioda. Gambar 3.17, 3.18 dan 3.19 menampilkan rancangan *hardware* dari kedua konverter dan integrasinya yaitu :



Gambar 3. 17 *Hardware* Konverter ZETA

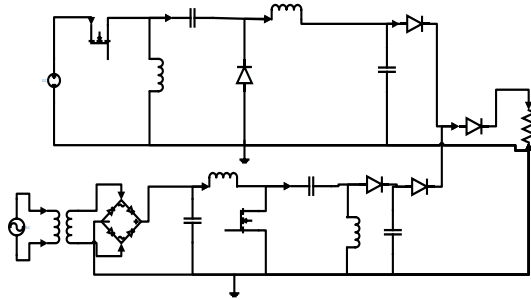


Gambar 3. 18 Hardware Konverter SEPIC



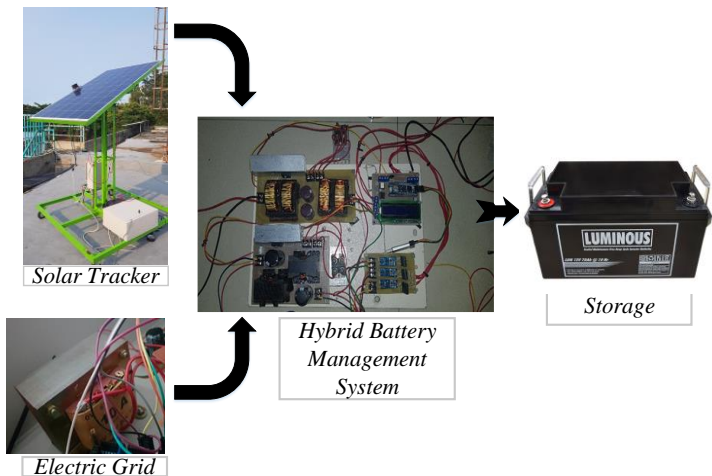
Gambar 3. 19 Hardware Hybrid Konverter ZETA & SEPIC

Pada Gambar 3.17 dan 3.18 menunjukkan rancangan masing-masing *hardware* yang telah dibuat. Telah disebutkan di atas bahwa kedua gambar tersebut merupakan konverter ZETA dan SEPIC. Sistem yang diusulkan adalah sistem *hybrid* antara *solar tracker* dan jala-jala listrik dengan menggunakan dua konverter itu dapat dilihat pada Gambar 3.19. Dengan menggabungkan dua sumber daya ini, akan menghasilkan *output* yang konstan. Sistem konverter *hybrid* yang diusulkan dapat memiliki operasi simultan atau individual.



Gambar 3. 20 Rangkaian Sistem *Charging Hybrid*

Gambar 3.20 menunjukkan rangkaian *hybrid* yang memiliki beberapa mode operasi. Pada operasi simultan, dua sumber *input* akan menghasilkan kombinasi *output* dengan bagian integrasi kedua konverter. Pada operasi individual, konverter yang beroperasi adalah konverter ZETA ketika *input solar tracker* tersedia, dan hanya switch MOSFET1 bekerja dengan menyesuaikan *duty cycle* secara otomatis. Ketika *solar tracker* tidak bisa menjaga *output* tegangan, maka jala-jala listrik akan mendukung dengan konverter SEPIC dan *duty cycle* akan menyesuaikan dari switch MOSFET2 secara otomatis juga.

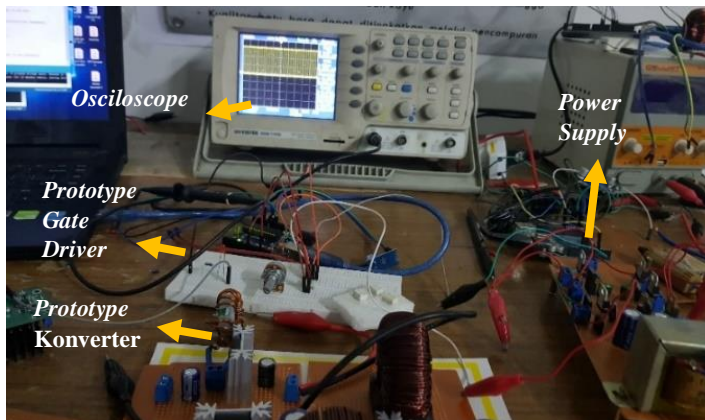


Gambar 3. 21 Skema Sistem *Charging Hybrid*

Skema dari usulan sistem *hybrid* ditunjukkan pada Gambar 3.21. Pada siang hari sinar matahari banyak tersedia. *Solar tracker* dapat mengubah tenaga surya ini menjadi daya listrik dan terhubung ke *port input* pertama konverter. Jala-jala listrik dengan bantuan penyearah (*rectifier*) akan mendukung dengan menghubungkannya ke *port input* kedua konverter agar efisiensi transfer daya sistem tetap stabil. Komponen lain yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

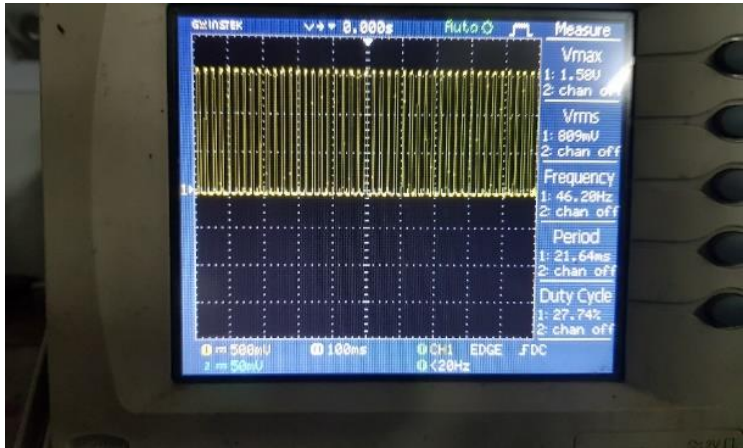
a. MOSFET dan *Gate Driver*

MOSFET yang digunakan adalah tipe FCH04160F dengan penguatan menggunakan TLP250 *module optocoupler* agar mendapatkan sinyal PWM dengan tegangan *input* yang berasal dari aki 12V. Pengujian *duty cycle* dengan *oscilloscope* ditampilkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. 22 *Prototype* Uji Coba Konverter

Prototype ini merupakan rangkaian awal dari *hardware* yang dibuat. Pada gambar 3.22 terdapat *breadboard* yang berisi rangkaian *gate driver* dan *power supply* untuk mengaktifkan MOSFET pada konverter. Selanjutnya, percobaan *duty cycle* dilakukan dengan *oscilloscope*. Tampilan perangkat *oscilloscope* dapat dilihat pada Gambar 3.23.



Gambar 3. 23 Tampilan *Oscilloscope* dengan *Duty cycle* 25 %

Dari Gambar 3.23 hasil gelombang ditunjukkan pada *oscilloscope* yaitu berupa gelombang kotak dan hampir sesuai dengan hasil yang dicapai. Pengaturan *duty cycle* 25 % pada mikrokontroler diperoleh *duty cycle* sebesar 27,74 % pada *oscilloscope*.

b. Kapasitor

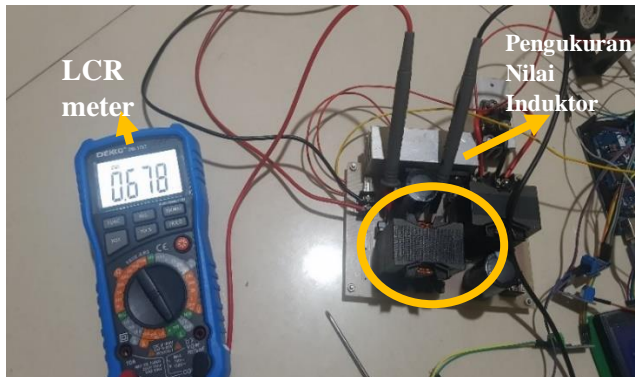
Kapasitor C1 dan Cout pada konverter ZETA berdasarkan perhitungan berturut-turut bernilai 126 μF dan 150 μF , sedangkan pada rangkaian keduanya dipasang sebesar 470 μF . Pada kapasitor C1 dan Cout pada konverter SEPIC didapatkan hasil perhitungan dan komponen *hardware* masing-masing bernilai 1812 μF dan 2200 μF . Tujuan dipasangnya kapasitor Cout berfungsi untuk meminimalisir osilasi (*ripple*) arus yang masuk pada baterai.

c. Induktor

Induktor L1 dan L2 pada konverter ZETA berdasarkan perhitungan bernilai 118 μH . Pada rangkaian dipasang 113 μH . Sedangkan, Induktor L1 dan L2 pada konverter SEPIC berdasarkan perhitungan bernilai 600 μH . Pada rangkaian keduanya dipasang 678 μH . Pada Gambar 3.24 dan 3.25 menunjukkan pengukuran nilai induktor menggunakan LCR meter.



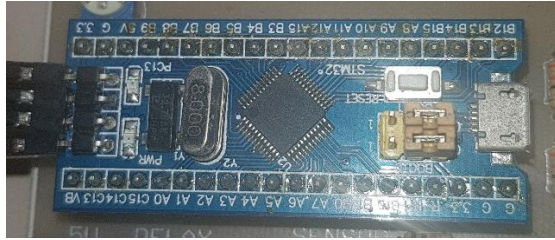
Gambar 3. 24 Nilai Induktor Konverter ZETA



Gambar 3. 25 Nilai ukur Induktor Konverter SEPIC

d. Mikrokontroler

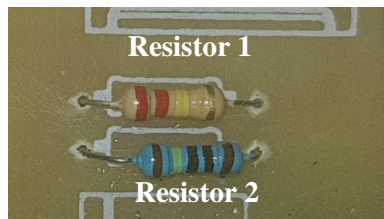
Mikrokontroler yang digunakan adalah STM32 memiliki inti CPU berarsitektur ARM dapat dilihat pada Gambar 3.26. Pada mikrokontroler terpasang LCD 20x4, *gate driver*, sensor arus dan sensor tegangan. *Port* PB3-PB7, dan PB8-PB10 merupakan *port* untuk LCD 20x4, kemudian *port* PA8 & PA9 digunakan untuk *gate driver* konverter ZETA dan SEPIC, sedangkan *port* PA0 sampai PA6 adalah untuk sensor arus dan tegangan.



Gambar 3. 26 STM32F103C8T6

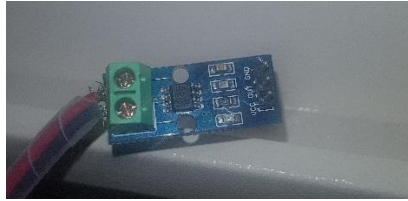
e. Sensor Tegangan dan Arus

Rangkaian *voltage divider* adalah suatu rangkaian yang digunakan untuk membuat suatu tegangan referensi dari sumber tegangan yang lebih besar menjadi tegangan yang lebih kecil. Rangkaian *voltage divider* biasanya dapat dibuat dengan 2 buah resistor. Gambar 3.27 merupakan rancangan *voltage divider* dengan tegangan *output* dari tegangan sumber *input* menggunakan resistor pembagi tegangan R1 sebesar 1100000 ohm dan R2 sebesar 220000 ohm sebagai berikut.



Gambar 3. 27 Voltage Divider

Sensor arus yang digunakan adalah tipe modul ACS-712. Kuat arus yang dapat diukur maksimal yaitu 20 A. Pembacaan arus dengan menggunakan modul ini memiliki ketepatan pembacaan yang tinggi. Adapun kelebihan tersebut dikarenakan terdapat satu lintasan yang terbuat dari tembaga yang digunakan untuk pembacaan arus dan menghasilkan medan magnet. Medan magnet tersebut diubah menjadi tegangan untuk dibaca mikrokontroler. Gambar 3.28 di bawah ini menunjukkan sensor arus yang dipakai.



Gambar 3. 28 Sensor Arus ACS-712

f. Integrasi Kontroler dan *Hardware*

Setelah *Hardware* sudah dibuat, selanjutnya *membership function* dari *input* dan *output* dari *fuzzy logic controller* yang sudah di optimisasi dengan FPAO diintegrasikan ke mikrokontroler STM32F103C8T6 beberapa pin nya sudah dipasang untuk menggerakkan MOSFET dari *duty cycle* yang diatur oleh mikrokontroler. Tampilan *software* ditunjukkan pada Gambar 3.29.

```

31 /* VARIABLE FOR SERIAL DATA */
32 int lengthBuffer, cntReceived=0, cntTemp=0, parsedPosition=0;
33 char buffer[100];
34 bool readyProcess = false, readyRec = false, beginRec = false;
35 char receivedChr;
36 char arrayTemp[50], charTemp[50];
37 /* END VARIABLE SERIAL DATA */
38
39 double parsedData[2];
40 double rule[28];
41 double bobot_error[bns_error];
42 double bobot_delta_error[bns_delta_error];
43 double data_set[200];
44 double mf_sen_error[5][3] = {
45     {-1.72, -0.8, -0.5}, //NB
46     {-1, -0.5, 0}, //N
47     {-0.5, 0, 0.5}, //Z
48     {0, 0.5, 1}, //P
49     {0.5, 0.8, 2.8} //PB
50 };
51 double mf_sen_delta_error[5][3]={
52     {-1.72, -0.3, -0.2}, //NB
53     {-0.3, -0.15, 0}, //N
54     {-0.2, 0, 0.2}, //Z
55     {0, 0.15, 0.3}, //P
56     {0.3, 1.2, 2.8} //PB
57 };
58 double mf_duty_cycle[]={0.25,0.265,0.28,0.32,0.35};

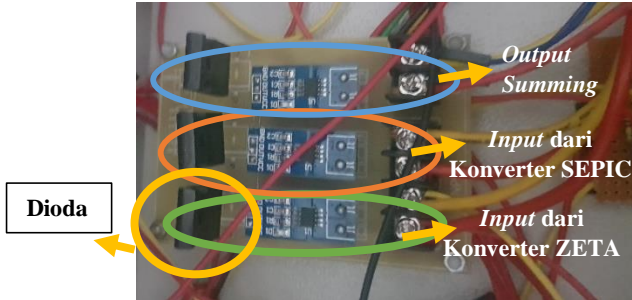
```

Gambar 3. 29 Software Keil STM32

g. Integrasi Konverter *Hybrid Dual Input* Sumber Listrik

Penyimpanan baterai melalui *solar tracker* adalah penyimpanan utama dari sistem ini, sedangkan jala-jala listrik akan

mendukung atau membackup dengan bantuan komponen MOSFET yang terdapat di setiap konverter. Kedua MOSFET tersebut berguna untuk komponen *switch* dengan perintah yang diatur oleh mikrokontroler. Sehingga, mode *hybrid dual supply* dapat dilakukan.



Gambar 3. 30 Integrasi Dual *input* Konverter

Pada Gambar 3.30 menunjukkan integrasi konverter *hybrid dual input* yang dilakukan dengan menambahkan komponen tiga dioda untuk dapat melakukan pertambahan daya di *output* bagian proses *summing* [25]. *Output summing* ini bertindak sebagai *charging* baterai.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem *charging* baterai *hybrid solar tracker* dan jala-jala listrik menggunakan dua topologi konverter yaitu konverter ZETA dan SEPIC. Keuntungan dari sistem *hybrid* ini memiliki dua mode operasi yang otomatis meliputi mode operasi simultan dan individual masing-masing dari *solar tracker* maupun jala-jala listrik. Kalibrasi sensor meliputi sensor arus dan sensor tegangan maupun pengujian pengaruh *duty cycle* dari dua konverter dilakukan terlebih dahulu untuk mendapatkan hasil yang akurat pada saat pengambilan data. Selanjutnya, konverter ZETA menggunakan kontroler FPAO-FLC (*Flower Pollination Algorithm Optimization - Fuzzy Control*) sebagai sistem utama, sedangkan konverter SEPIC dengan logika *increment* dan *decrement* dalam melakukan sistem *hybrid*. Penjelasan pada bab ini dibahas sebagai berikut.

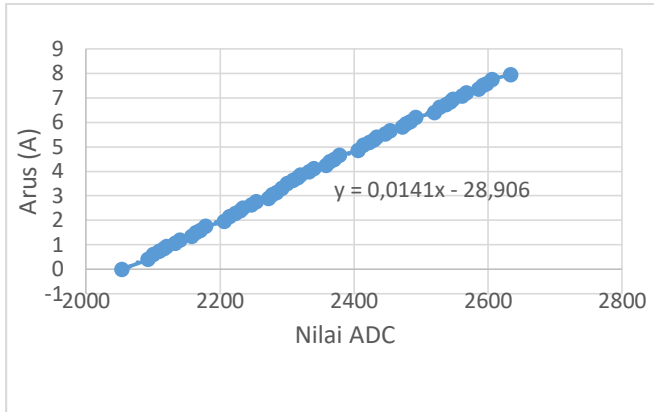
4.1 Kalibrasi Sensor Arus ACS-712

Sensor arus ACS-712 adalah sebuah perangkat elektronik yang digunakan untuk *monitoring input* atau *output* arus konverter. Tujuan kalibrasi sensor arus ACS-712 yaitu untuk mengetahui karakteristik sensor dengan melakukan pengujian antara arus referensi dan arus yang terbaca menggunakan regulator.

Hasil pengujian sensor arus yang terdapat pada **Lampiran A.1** selanjutnya diolah untuk mendapatkan persamaan linear dengan Microsoft excel. Secara matematis, persamaan linear dirumuskan dengan persamaan (4.1).

$$O - O_{min} = \left[\frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} \right] (I - I_{min}) \quad (4.1)$$

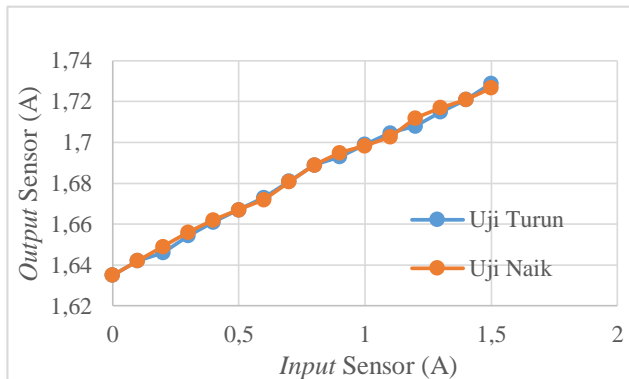
Berdasarkan persamaan (4.1), persamaan linear uji sensor ACS-712 yang didapatkan oleh Microsoft excel adalah $y = 0,0141x - 28,906$. Hasil persamaan linear tersebut diimplementasikan pada *syntax code* mikrokontroler dan grafik uji persamaan linear ditunjukkan pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4. 1 Grafik Regresi Arus Sensor ACS-712

Pengujian selanjutnya adalah histeresis. Histeresis merupakan perbedaan nilai *output* pembacaan saat dilakukan uji naik dengan nilai *output* pembacaan saat uji turun. Rumus yang digunakan histeresis ditampilkan pada persamaan (4.2).

$$\% \text{ max histerisis} = \frac{\hat{H}}{O_{max} - O_{min}} \times 100 \% \quad (4.2)$$



Gambar 4. 2 Grafik Uji Naik dan Turun sensor ACS-712

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat ditentukan tingkat histeresis pada sensor ACS-712. Perhitungan selisih terbesar antara nilai

yang diukur pada uji naik dan turun adalah pada arus yang diberikan *input* 0,2 A; 0,9 A; 1,1 A; 1,2 A; 1,3 A dengan selisih berturut-turut 0,003 A; 0,002 A; 0,002 A; 0,004 A; 0,002 A. Selisih terbesar dari pengujian di atas mendapatkan hasil histeresis maksimum uji sensor arus ACS-712 sebesar 4,34 %.

Kalibrasi sensor arus ACS-712 dapat ditentukan dengan pembacaan berulang, standar deviasi, dan ketidakpastian diperluas terlampir pada **Lampiran A.2**. Hasil perhitungan menunjukkan rata-rata pembacaan berulang sebesar 4,078 A dengan standar deviasi yang diperoleh sebesar 0,004984 A dan ketidakpastian diperluas sebesar 0,12686 A. Dengan demikian, pada pembacaan 1,2 A diperoleh hasil pengukuran sebenarnya memiliki nilai batas bawah dan nilai batas atas yaitu $1,2 \pm 0,004984$ A.

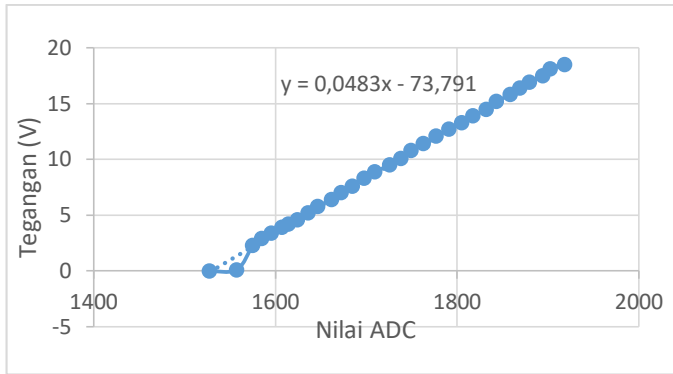
4.2 Kalibrasi Sensor Tegangan

Salah satu komponen elektronika yang berguna untuk menghasilkan pembacaan *output* tegangan yaitu *voltage divider sensor*. Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kebenaran pembacaan sensor dengan cara membandingkan dari standar alat ukur yang sudah terverifikasi.

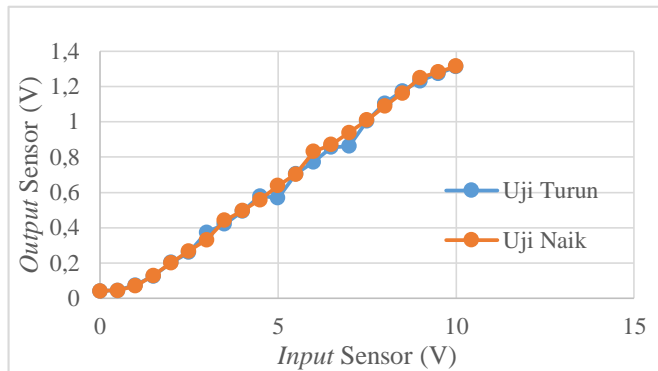
Hasil uji sensor tegangan dengan menggunakan persamaan (4.1) didapatkan persamaan linear $y = 0,0483x - 73,791$. Perhitungan tersebut dilampirkan pada **Lampiran C.1** dan diperoleh grafik yang ditampilkan pada Gambar 4.3.

Setelah diperoleh plot grafik persamaan linear sensor *voltage divider*, selanjutnya dilakukan perhitungan histeresis berdasarkan persamaan (4.2). Pada perhitungan tersebut diperoleh hasil uji naik dan turun pada sensor. Hasil plot grafik uji naik dan turun pada sensor tegangan ditampilkan pada Gambar 4.4.

Pada Gambar 4.4 menunjukkan hasil uji naik dan turun sensor tegangan untuk menentukan selisih terbesar yaitu pada tegangan yang diberikan *input* 3 V; 5 V; 6 V; 7 V dengan selisih berturut-turut 0,042 V; 0,07 V; 0,058 V; 0,078 V. Penentuan hasil selisih terbesar tersebut diperoleh maksimum histeresis uji sensor tegangan sebesar 6,13 %.



Gambar 4. 3 Grafik Regresi Sensor Tegangan

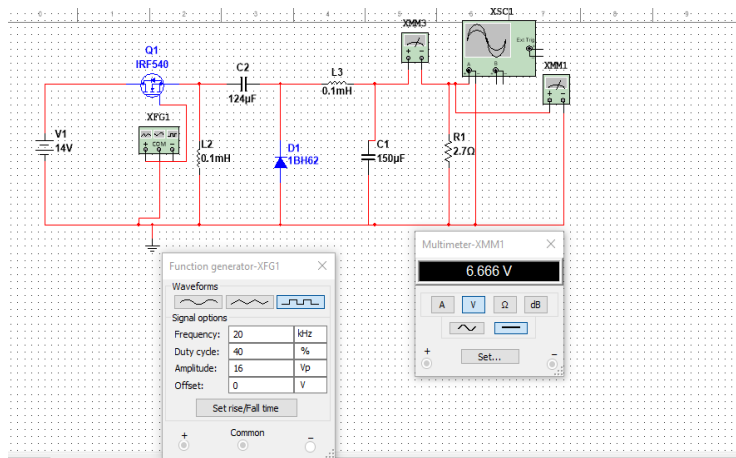


Gambar 4. 4 Grafik Uji Naik dan Turun Sensor Tegangan

Setelah melakukan pencarian persamaan linear dengan hasil grafik regresi yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan uji histeresis pada sensor tegangan ditampilkan grafik pada Gambar 4.4, selanjutnya melakukan kalibrasi sensor tegangan. Berdasarkan **Lampiran C.2**, kalibrasi sensor tegangan didapatkan hasil perhitungan rata-rata pembacaan berulang sebesar 9,5903 V, standar deviasi sebesar 0,014907 V, dan ketidakpastian diperluas sebesar 0,23735 V. Sehingga, pada pembacaan 6 V diperoleh pengukuran sebenarnya dengan nilai batas bawah dan nilai batas atas yaitu $6 \pm 0,014907$ V.

4.3 Perbandingan Simulasi dan *Hardware* Konverter ZETA dan SEPIC

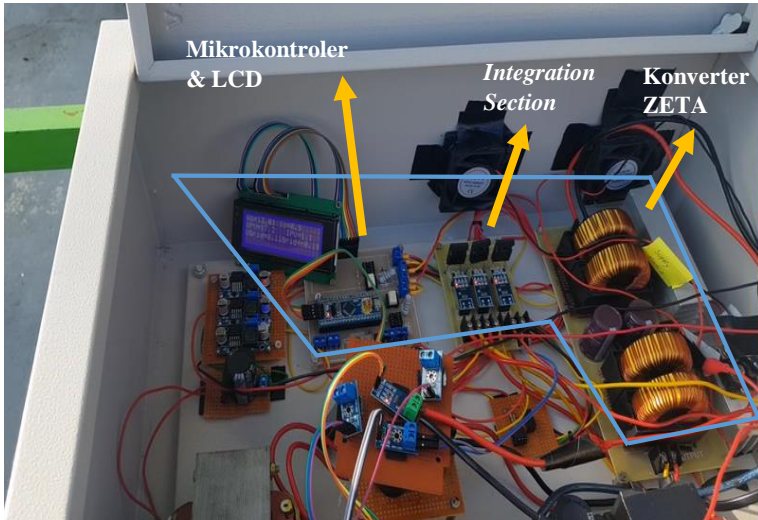
Simulasi pada konverter ZETA bertujuan untuk mengetahui konverter yang dibuat sesuai dengan spesifikasi. Pengambilan data dilakukan secara diskrit dan hasil dari simulasi dibandingkan dengan pengujian *hardware* dan selanjutnya diambil data.



Gambar 4. 5 Simulasi Konverter ZETA pada Multisim 14.0

Gambar 4.5 menampilkan simulasi menggunakan konverter ZETA. Rangkaian konverter ZETA dirancang pada *software* Multisim 14.0 dengan nilai setiap komponen sesuai dengan perhitungan yang sudah dilakukan sebelumnya. MOSFET yang digunakan pada simulasi ini adalah tipe IRF540, sedangkan dioda menggunakan tipe IBH62. Penggunaan *gate driver* ini diubah menggunakan *function generator* pada Multisim 14.0 untuk mengendalikan MOSFET disebabkan tidak adanya IC *gate driver*. Pada *function generator* terdapat frekuensi *switching*, *duty cycle* dan *amplitude* (tegangan *peak*). Masing-masing dari parameter tersebut diberi nilai sesuai dengan variasi yang diberikan.

Pengujian selanjutnya yaitu pengujian dengan *hardware*. Gambar 4.6 adalah gambar *set-up hardware* dari konverter ZETA.



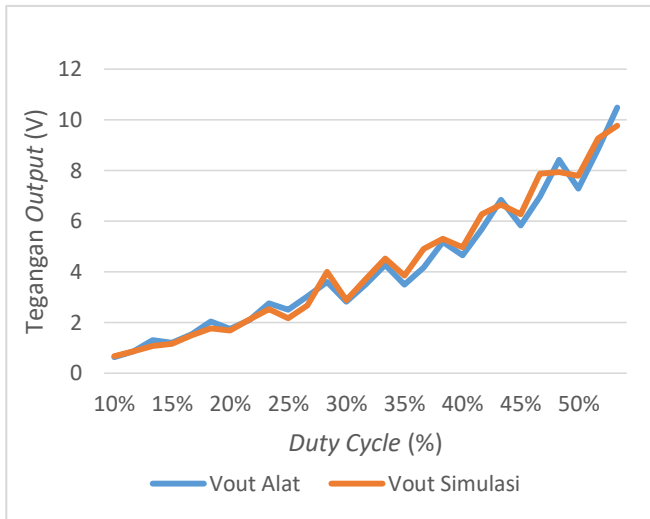
Gambar 4. 6 *Set-up Hardware* Konverter ZETA

Gambar 4.6 menunjukkan *set-up hardware* konverter ZETA meliputi mikrokontroler, LCD, konverter ZETA, dan *integration section circuit*. *Supply* untuk mengaktifkan mikrokontroler dan sensor yaitu dari baterai. Tipe komponen MOSFET dan dioda yang digunakan adalah FCH04160F dan RURG5060. Perbedaan penggunaan tipe komponen antara simulasi dan *hardware* disebabkan tidak adanya pilihan yang sesuai dengan tipe pada *hardware* di simulator. Pada *integration section circuit* terdapat tiga buah dioda, tiga buah sensor tegangan, dan tiga buah sensor arus. Pemasangan *integration section circuit* digunakan ketika pengambilan data mode simultan antara konverter ZETA dan SEPIC, sehingga pada pengujian ini konverter SEPIC dinonaktifkan. Pengujian variasi *duty cycle* dilakukan dengan mengubah nilai CCR pada *syntax code* yang di *upload* ke mikrokontroler. Nilai tegangan dan arus ditampilkan pada LCD ketika proses pengujian dijalankan. Hasil pengaruh perubahan *duty cycle* pada simulasi dan *hardware* ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Pengaruh *Duty Cycle* Simulasi dan *Hardware*

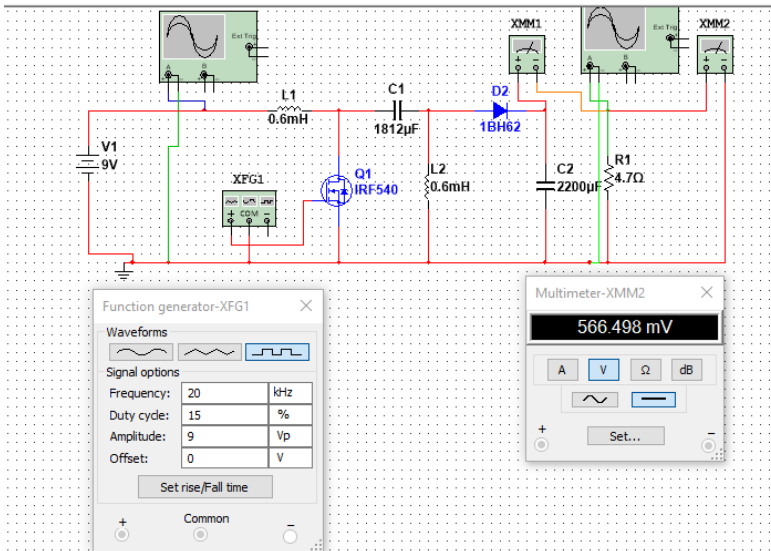
KONVERTER ZETA						
<i>Duty Cycle</i>	Regulator		Alat		Simulasi	
	Vin	Iin	Vout	Iout	Vout	Iout
10%	10 V	0,83 A	0,63 V	0,052 A	0,66 V	0,27 A
	12 V	0,41 A	0,85 V	0,064 A	0,858 V	0,343 A
	14 V	2,00 A	1,29 V	0,071 A	1,058 V	0,423 A
15%	10 V	0,82 A	1,2 V	0,097 A	1,152 V	0,460 A
	12 V	0,38 A	1,54 V	0,119 A	1,478 V	0,581 A
	14 V	2,00 A	2,03 V	0,129 A	1,763 V	0,706 A
20%	10 V	0,74 A	1,73 V	0,137 A	1,67 V	0,667 A
	12 V	0,35 A	2,10 V	0,166 A	2,118 V	0,839 A
	14 V	1,8 A	2,76 V	0,184 A	2,519 V	1,007 A
25%	10 V	0,79 A	2,51 V	0,197 A	2,168 V	0,867 A
	12 V	0,27 A	3,03 V	0,235 A	2,674 V	1,07 A
	14 V	1,77 A	3,59 V	0,269 A	3,997 V	1,317
30%	10 V	0,89 A	2,81 V	0,230 A	2,88 V	1,15 A
	12 V	0,28 A	3,49 V	0,271 A	3,697 V	1,48 A
	14 V	1,67 A	4,27 V	0,306 A	4,515 V	1,806 A
35%	10 V	0,36 A	3,49 V	0,273 A	3,85 V	1,54 A
	12 V	0,2 A	4,17 V	0,332 A	4,894 V	1,96 A
	14 V	1,66 A	5,18 V	0,381 A	5,3 V	2,371 A
40%	10 V	0,61 A	4,64 V	0,360 A	4,972 V	1,99 A
	12 V	0,21 A	5,69 V	0,444 A	6,276 V	2,512 A
	14 V	1,67 A	6,84 V	0,517 A	6,66 V	3,024 A
45%	10 V	0,56 A	5,83 V	0,455 A	6,272 V	2,51 A
	12 V	0,48 A	6,98 V	0,553 A	7,883 V	3,153 A
	14 V	1,66 A	8,42 V	0,645 A	7,93 V	3,78 A
50%	10 V	0,5 A	7,28 V	0,573 A	7,782 V	3,113 A
	12 V	0,44 A	8,84 V	0,719 A	9,27 V	3,902 A
	14 V	1,68 A	10,5 V	0,824 A	9,78 V	4,665 A

Tabel 4.1 menunjukkan pengaruh perubahan *duty cycle* antara 10 – 50 % terhadap tegangan dan arus *output* yang dihasilkan dari konverter ZETA. Pengujian dilakukan dengan frekuensi *switching* 20.000 Hz dan dengan resistor 4,7 ohm. Grafik yang diperoleh dari perbandingan pengujian *hardware* konverter ZETA dengan simulasi yang dijalankan adalah pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Perbandingan Pengujian *Duty Cycle* Konverter ZETA

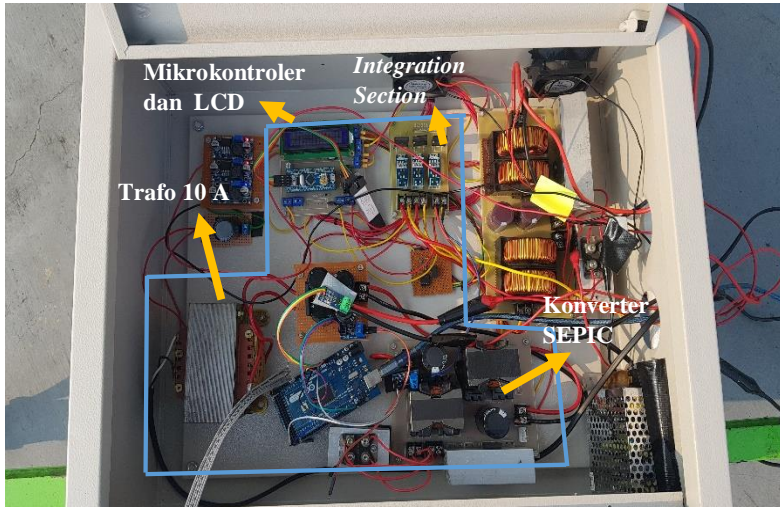
Menurut hasil grafik pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa semakin besar nilai *duty cycle* yang diberikan pada konverter ZETA, maka tegangan *output* semakin bertambah. Pada grafik tersebut diperoleh perbedaan yang paling menonjol yaitu pada *duty cycle* sebesar 45% dikarenakan terdapat beberapa faktor seperti kondisi komponen dan kabel yang digunakan. Hasil pengujian *hardware* dan simulasi tidak jauh berbeda sehingga dapat disimpulkan pencangan *hardware* sesuai.



Gambar 4. 8 Simulasi Konverter SEPIC pada Multisim 14.0

Pengujian selanjutnya adalah perbandingan simulasi dan *hardware* menggunakan konverter SEPIC pada Multisim 14.0 seperti pada Gambar 4.8. Komponen yang digunakan pada konverter SEPIC meliputi kapasitor, induktor, MOSFET dan dioda. Berbeda topologi dengan konverter ZETA, pada konverter SEPIC mempunyai *ground-referenced gate driver* dimana MOSFET terhubung oleh *ground* dan dioda terhubung secara seri. Penggunaan tipe MOSFET dan dioda pada *software* MultiSim 14.0 sama seperti konverter ZETA yaitu IRF540 dan IBH62. Kedua kapasitor yang digunakan mempunyai nilai sebesar 1812 uF dan 2200 uF, sedangkan kedua induktor mempunyai nilai yang sama sebesar 646 mH. *Duty cycle* yang divariasikan pada *function generator* memberikan efek pada *output* yang dihasilkan konverter SEPIC.

Setelah diperoleh data pada simulasi menggunakan MultiSim 14.0, selanjutnya pengujian *hardware* dengan konverter SEPIC dilakukan.



Gambar 4. 9 *Set-up Hardware* Konverter SEPIC

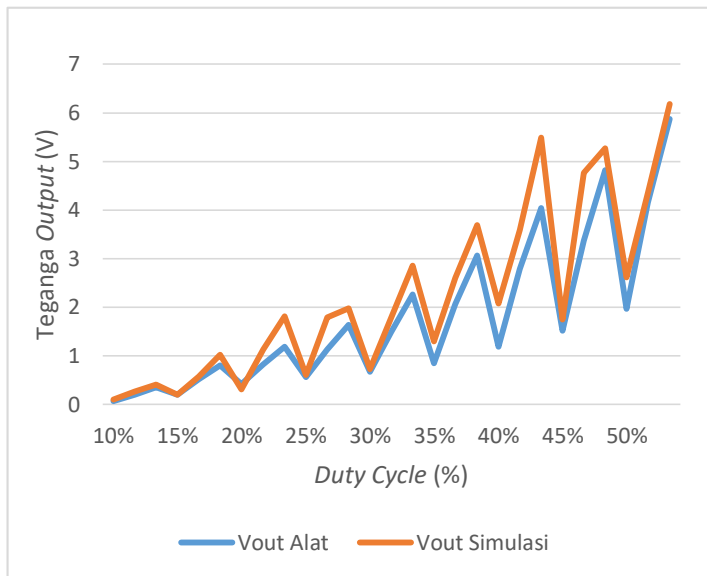
Gambar 4.9 menampilkan *set-up hardware* dari konverter SEPIC dimana *input* menggunakan trafo *step down* 10 A. Seperti yang ditunjukkan pada gambar di atas terdapat mikrokontroler, LCD, konverter SEPIC, dan *integration section circuit*. Mikrokontroler memberikan sinyal berupa tegangan ke *gate driver* untuk membuat MOSFET bekerja. Pada konverter SEPIC terdapat dua kapasitor dengan nilai yang sama sebesar 2200 μF , sedangkan dua induktor sebesar 678 mH. Terdapat *heatsink* yang terpasang pada MOSFET agar daya yang mengalir dari trafo 10 A tidak membuat komponen tersebut panas. Efek yang akan terjadi ketika MOSFET panas yaitu *lifetime* dari piranti tersebut berkurang dan cepat rusak. Ketika pengujian ini dijalankan, konverter ZETA pada *integration section circuit* dinonaktifkan. Pengujian dilakukan dengan mengubah nilai CCR pada *syntax code* di mikrokontroler.

Berdasarkan pengujian perubahan variasi *duty cycle* antara simulasi dan *hardware* konverter SEPIC menghasilkan data yang ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Pengaruh *Duty Cycle* Simulasi dan *Hardware*

KONVERTER SEPIC						
Duty Cycle	Regulator		Alat		Simulasi	
	V_{in}	I_{in}	V_{out}	I_{out}	V_{out}	I_{out}
10%	5 V	0,71 A	0,06 V	0,003 A	0,101V	0,021 A
	9 V	0,5 A	0,2 V	0,011 A	0,264 V	0,056 A
	12 V	0,39 A	0,35 V	0,019 A	0,408 V	0,086 A
15%	5 V	0,89 A	0,2 V	0,018 A	0,192 V	0,04 A
	9 V	0,59 A	0,52 V	0,029 A	0,566 V	0,199 A
	12 V	0,45 A	0,8 V	0,045 A	1,02 V	0,217 A
20%	5 V	0,54 A	0,42 V	0,024 A	0,303 V	0,064 A
	9 V	0,46 A	0,82 V	0,046 A	1,129 V	0,239 A
	12 V	0,42 A	1,18 V	0,066 A	1,816 V	0,386 A
25%	5 V	0,57 A	0,56 V	0,031 A	0,604 V	0,128 A
	9 V	0,31 A	1,13 V	0,064 A	1,79 V	0,382 A
	12 V	0,39 A	1,64 V	0,092 A	1,98 V	0,583 A
30%	5 V	0,62 A	0,67 V	0,038 A	0,721 V	0,211 A
	9 V	0,32 A	1,49 V	0,083 A	1,792 V	0,551 A
	12 V	0,27 A	2,26 V	0,127 A	2,85 V	0,817 A
35%	5 V	0,76 A	0,85 V	0,047 A	1,29 V	0,317 A
	9 V	0,51 A	2,06 V	0,151 A	2,603 V	0,751 A
	12 V	0,2 A	3,06 V	0,171 A	3,685 V	1,069 A
40%	5 V	0,67 A	1,18 V	0,066 A	2,077 V	0,439 A
	9 V	0,55 A	2,79 V	0,154 A	3,59 V	0,976 A
	12 V	0,27 A	4,04 V	0,225 A	5,487 V	1,382 A
45%	5 V	0,75 A	1,51 V	0,082 A	1,742 V	0,583 A
	9 V	0,43 A	3,37 V	0,181 A	4,76 V	1,24 A
	12 V	0,23 A	4,82 V	0,258 A	5,266 V	1,74 A
50%	5 V	1,01 A	1,96 V	0,106 A	2,61 V	0,758 A
	9 V	0,5 A	4,15 V	0,223 A	4,35 V	1,56 A
	12 V	0,35 A	5,87 V	0,326 A	6,184 V	2,178 A

Berdasarkan Tabel 4.2, *supply input* yang digunakan pada pengujian *hardware* yaitu regulator. Pengujian dilakukan dengan *input* tegangan sebesar 5 V, 9 V, dan 12 V di setiap perubahan *duty cycle*. Parameter yang digunakan konverter SEPIC meliputi frekuensi *switching* dan resistor sama halnya yang dipakai oleh konverter ZETA sebesar 20.000 Hz dan 4,7 ohm. Adapun grafik perbandingan pengujian antara *hardware* dengan simulasi pada konverter SEPIC ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Perbandingan Pengujian *Duty Cycle* Konverter SEPIC

Gambar 4.10 menampilkan bahwa pengujian *hardware* dan simulasi konverter SEPIC perbedaannya tidak terlalu signifikan disebabkan ada beberapa faktor seperti *loss* yang didapatkan dari kabel dan komponen *hardware* dengan perhitungan sulit untuk sesuai. Perbedaan yang terbesar dari hasil pengujian ditunjukkan pada *duty cycle* 40 %.

4.4 Mode Operation Charging System

Dalam sub bab ini membahas tentang mode operasi sistem *charging* baterai antara lain mode operasi individual dari *solar tracker*, mode operasi individual jala-jala listrik, dan mode simultan.

a. Mode Individual Operation dari Solar Tracker

Sistem *solar tracker* bergerak mengikuti pergerakan matahari dengan PV yang mengkonversi *solar power* menjadi energi listrik dan terhubung oleh konverter ZETA. Sinar matahari tersedia berlimpah pada siang hari membuat daya *charging* terpenuhi hanya dari *photovoltaic*. *Set-up* yang dilakukan adalah MOSFET dari konverter ZETA bekerja, sedangkan MOSFET dari konverter SEPIC dinonaktifkan secara otomatis.



(a)

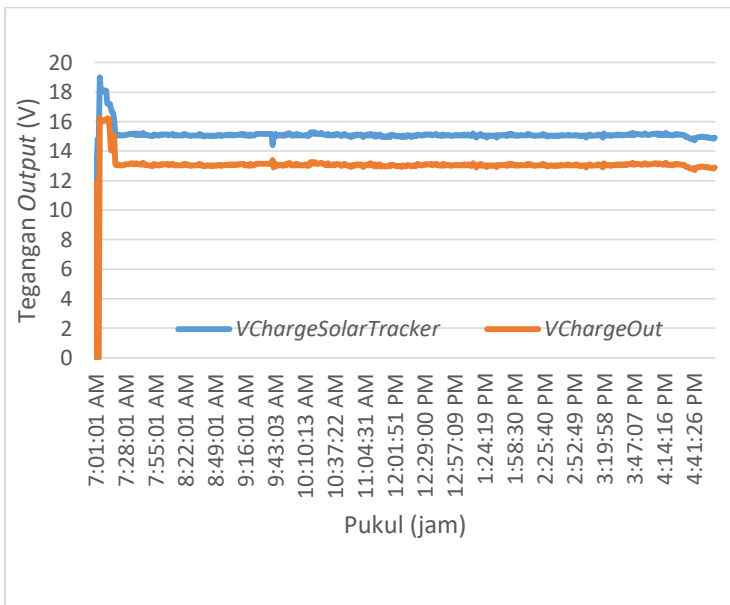


(b)

Gambar 4.11 (a) *Solar Tracker* (b) *Monitoring LCD* dari *Solar Tracker*

Pada Gambar 4.11 (a) menunjukkan bahwa *plant solar tracker* terhubung dengan *hybrid battery management system* dimana konverter ZETA hanya yang aktif. Menurut Gambar 4.11 (b) menampilkan LCD *monitoring* sistem *charging* yaitu VPV

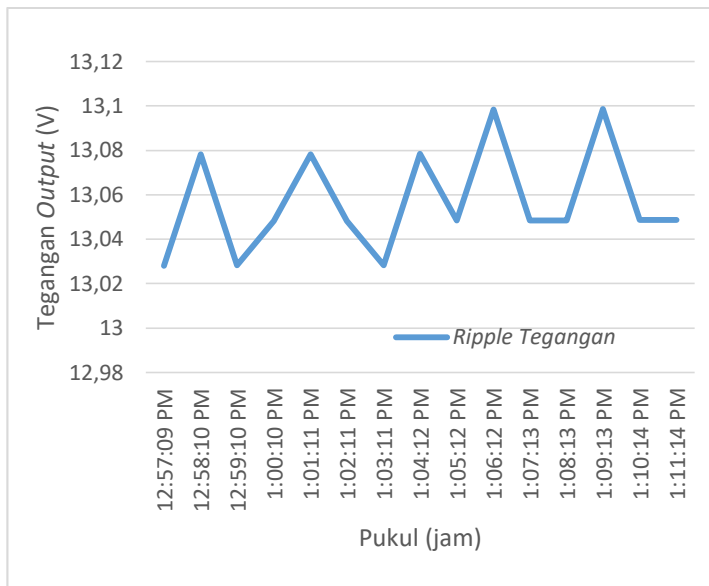
menunjukkan tegangan *output* yang diperoleh langsung dari konverter ZETA dengan *input solar tracker*, sedangkan V_o adalah tegangan *output* setelah melewati bagian proses integrasi yaitu dioda. Terdapat perbedaan nilai antara VPV dan V_o disebabkan adanya *voltage drop* dari dioda, sehingga 3 dioda yang digunakan akan memberikan *voltage drop* sebesar $\pm 2,1$ V (per dioda 0,7 V). Hasil yang diberikan dari mode individual sistem *charging solar tracker* menggunakan konverter ZETA ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Tracking Set Point Mode Individual Solar Tracker

Berdasarkan grafik yang ditampilkan pada Gambar 4.12, merupakan hasil eksperimen dengan konverter ZETA yang sudah tertanam *fuzzy logic controller*. Terdapat garis biru menunjukkan tegangan *charging* dari konverter ZETA, dan garis oranye adalah tegangan *output charging* setelah bagian proses integrasi. Data dari grafik di atas didapatkan nilai tegangan *peak* bernilai 16,21 V pada 07.12 WIB, dan menghasilkan maksimum *overshoot* sebesar 24,7

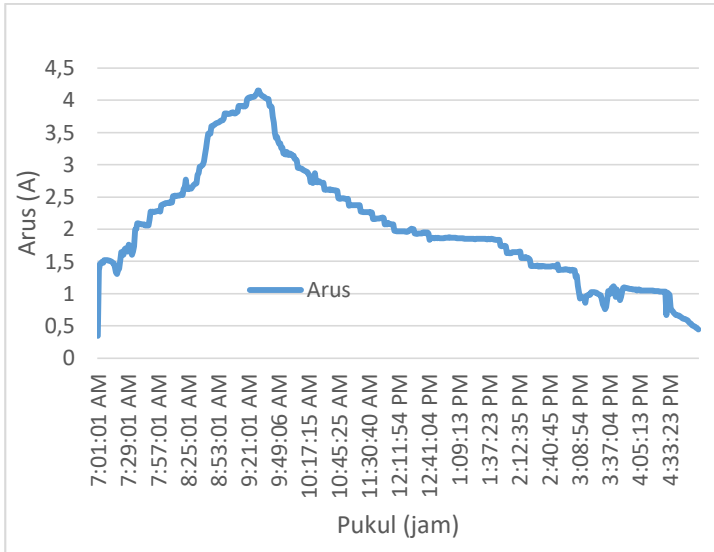
%. Respon mencapai *steady state* pada waktu 07.20 WIB dengan tegangan sebesar 13,04 V.



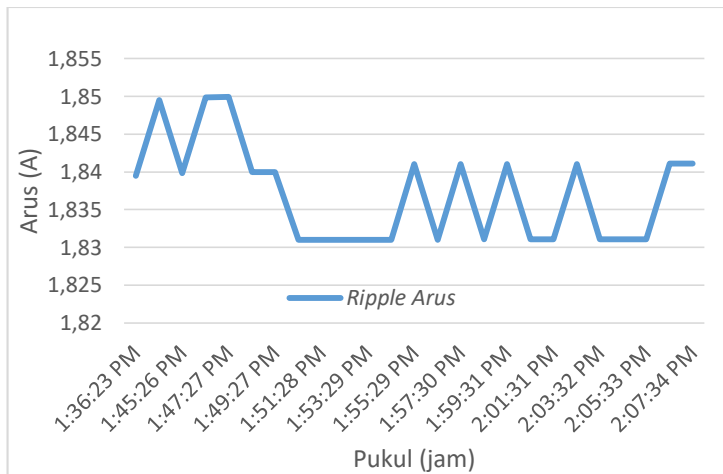
Gambar 4. 13 Output Ripple Tegangan Konverter ZETA

Menurut Gambar 4.13, grafik yang ditampilkan menunjukkan *output ripple* tegangan bernilai 0,05 V. Nilai tegangan terbesar yang didapatkan oleh konverter ZETA dari *input solar tracker* pada proses *tracking set point* mencapai 13,38 V.

Gambar 4.14 menunjukkan arus *charging* konverter ZETA dengan *input* dari *solar tracker*. Nilai *peak* arus yang diperoleh pada *proses charging* adalah 4,15 A pada waktu 09.30 WIB. Pada Gambar 4.15 menampilkan *output ripple* arus yang dihasilkan pada saat proses *charging* dengan nilai *ripple* arus terbesar adalah mencapai $\pm 0,01$ A. Arus *ripple* terjadi dikarenakan setiap induktor yang terpasang pada konverter dihubungkan dengan paralel. Masing-masing *core* dalam induktor mempunyai tahanan arus sebesar 5 A, sehingga membutuhkan 2 *core* induktor yang digabungkan untuk mendapatkan kuat aliran arus mencapai 10 A.



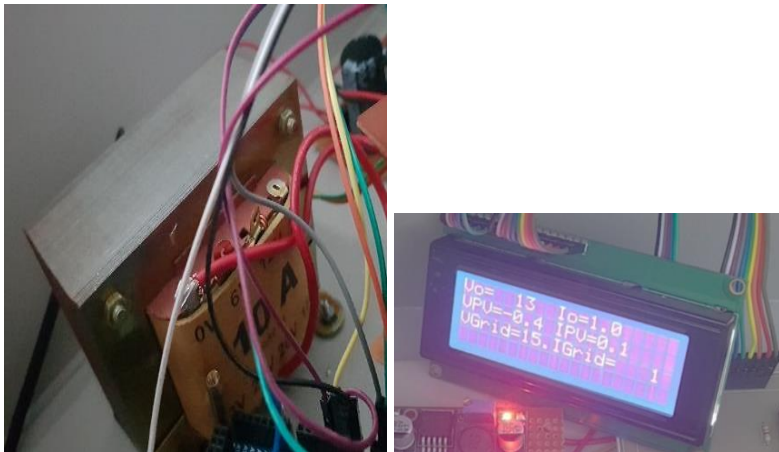
Gambar 4. 14 Arus Charging Konverter ZETA Input Solar Tracker



Gambar 4. 15 Output Ripple Arus Konverter ZETA

b. Mode Individual Operation dari Jala-jala Listrik

Pada mode individual jala-jala listrik ini terhubung oleh trafo 10 A dengan *input* 25 V, dan setelah itu disearahkan menggunakan penyearah gelombang penuh dapat dilihat pada Gambar 4.16 (a). Mode ini bekerja ketika *supply* dari *solar tracker* tidak mencukupi untuk proses *charging* ke baterai dengan *set point* 13 V. Konverter yang digunakan untuk *input* jala-jala listrik ini adalah konverter SEPIC. MOSFET pada konverter SEPIC bekerja secara otomatis ketika sensor membaca tegangan *output* kurang dari 13 V. Pada eksperimen di bawah menggunakan *set-up* yaitu MOSFET dari konverter SEPIC bekerja dari jala-jala listrik, sedangkan konverter ZETA dinonaktifkan secara otomatis.



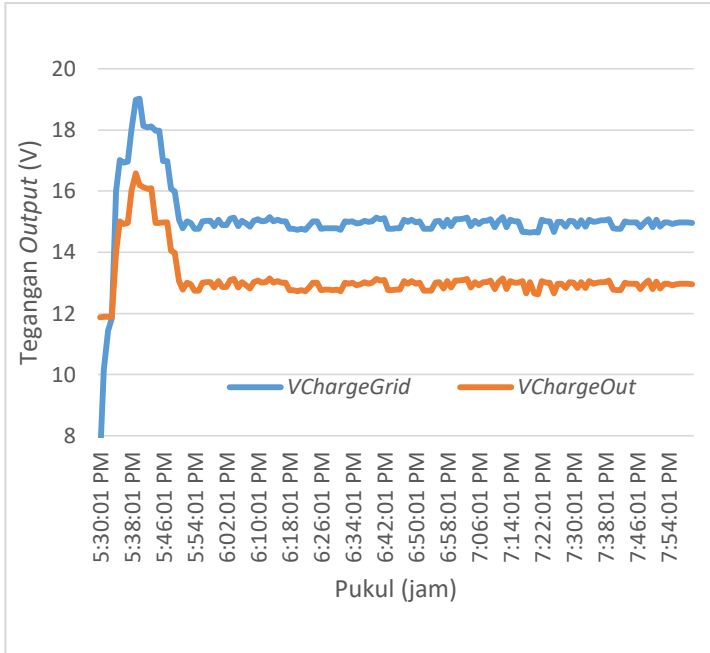
(a)

(b)

Gambar 4. 16 (a) Trafo Jala-jala Listrik (b) *Monitoring* LCD dari Jala-jala listrik

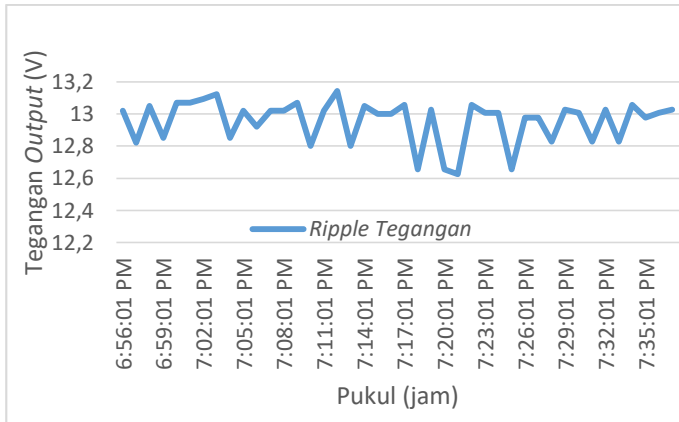
Gambar 4.16 (a) menampilkan trafo yang terhubung oleh *bridge rectifier* dan konverter SEPIC. Gambar 4.16 (b) seperti yang digunakan pada mode *operation solar tracker* yaitu LCD dengan beberapa parameter yang ditampilkan. Parameter V_{Grid} adalah tegangan *output* yang dihasilkan konverter SEPIC dengan *input*

jala-jala listrik, sementara itu V_o adalah tegangan *output* dari bagian proses integrasi.



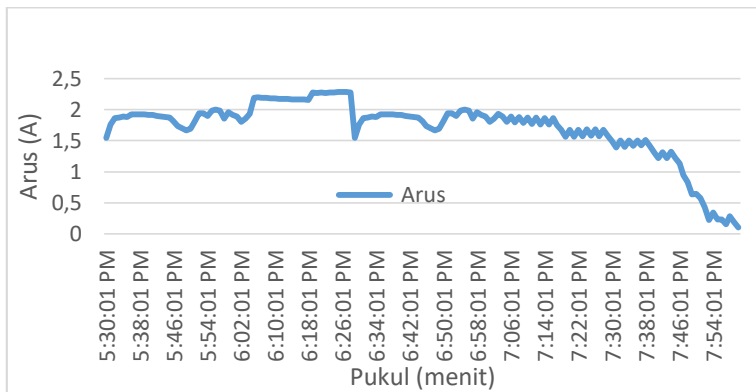
Gambar 4. 17 *Tracking Set Point Mode Individual Jala-jala Listrik*

Menurut Gambar 4.17, *charging* dari jala-jala listrik terjadi pada jam 17.30 – 19.57 WIB dengan garis biru adalah tegangan *charging* dari konverter SEPIC, dan garis oranye merupakan tegangan *output* setelah proses integrasi. Respon memiliki maksimum *overshoot* sebesar 27,46 % dengan tegangan *peak* bernilai 16,57 V pada tegangan *charging* konverter SEPIC, sedangkan tegangan *output* proses integrasi sebesar 18,55 V pada 17.40 WIB. Pada grafik di atas, respon mencapai keadaan *steady state* terjadi pada waktu 17.51 WIB dengan tegangan sebesar 13,05 V.

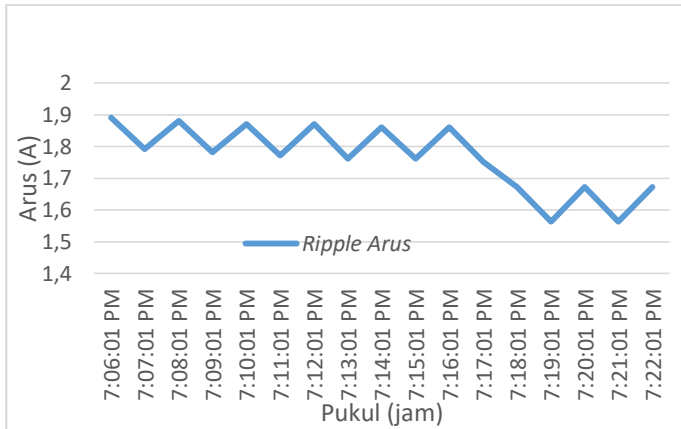


Gambar 4.18 Output Ripple Tegangan Konverter SEPIC

Berdasarkan Gambar 4.18, grafik yang dihasilkan konverter SEPIC mengalami fluktuasi yang disebabkan karena topologi dari konverter tersebut tidak memperkecil *ripple*. Dalam grafik menunjukkan *output ripple* tegangan terbesar bernilai 0,34 V dengan tegangan *peak ripple* mencapai 13,14 V. Dapat dikatakan bahwa *ripple* yang diperoleh konverter SEPIC tidak lebih bagus dari konverter ZETA.



Gambar 4.19 Arus Charging Konverter SEPIC Input Jala-jala Listrik



Gambar 4. 20 Output Ripple Arus Konverter SEPIC

Pada Gambar 4.19 menampilkan arus *charging* konverter SEPIC dengan *input* dari *solar tracker* dengan nilai *peak* arus yang diperoleh pada proses *charging* yaitu 2,28 A pada waktu 18.25 WIB. Menurut Gambar 4.20 menunjukkan *output ripple* arus yang dihasilkan pada saat proses *charging* dengan nilai *ripple* arus terbesar adalah $\pm 0,1$ A disebabkan kondisi komponen induktor yang tidak rapat dari penggulungan kawat penghantar. Namun, *ripple* yang didapatkan tidak mengalami fluktuasi dan konstan dengan perbedaan pada nilai tersebut.

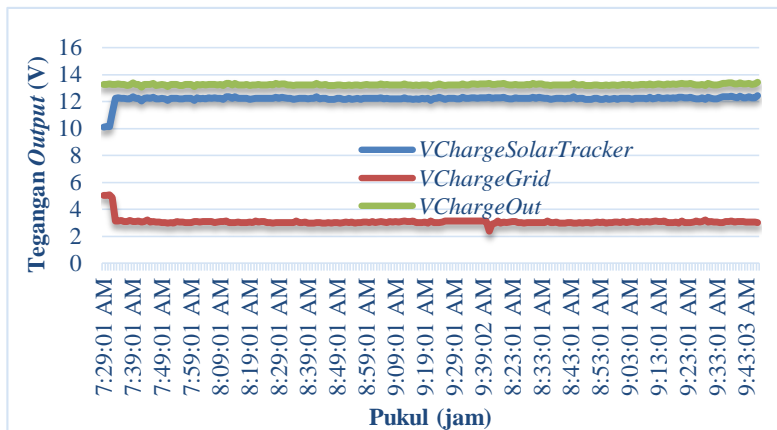
c. Mode *Simultaneous Operation*

Topologi dari konverter yang digunakan adalah kombinasi dari konverter ZETA dan konverter SEPIC. *Supply* dari *solar tracker* menjadi *supply* utama dalam proses *charging* ini, sedangkan *supply* dari jala-jala listrik mendukung jika *supply* dari *solar tracker* jika mulai berkurang.

Ketika sumber *charging* hanya dari *solar tracker* masih tersedia tetapi kurang dari 13 V, maka sumber dari jala-jala listrik melakukan *summing* terhadap sumber yang diperoleh dari *solar tracker* agar menghasilkan tegangan 13 V. Adapun penampilan LCD ketika mode simultan bekerja dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4. 21 Monitoring LCD dari Solar Tracker dan Jala-jala Listrik



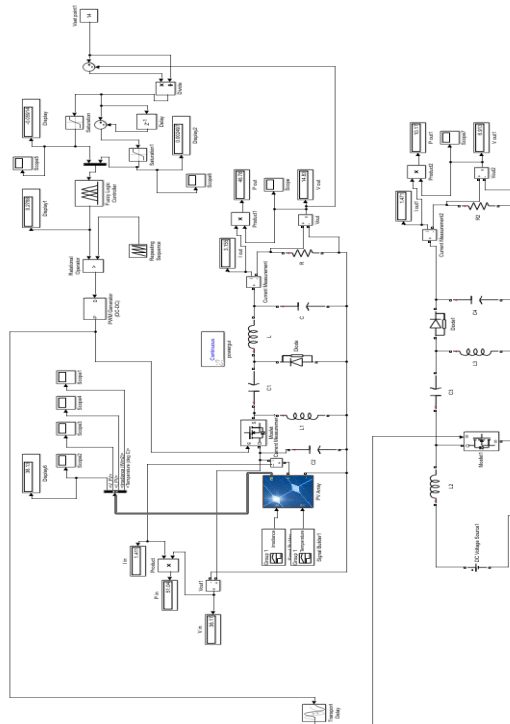
Gambar 4. 22 Tracking Set point Mode Simultan Solar Tracker dan Jala-jala Listrik

Penampilan LCD untuk pembacaan dapat dilihat pada Gambar 4.21. Berdasarkan gambar tersebut setiap parameter terdapat nilai yang ditampilkan dengan pemberian dukungan daya sehingga dapat dikatakan *hybrid system* berjalan. Pada Gambar 4.22 menunjukkan terdapat tiga garis, garis biru untuk tegangan dari *solar tracker*, garis merah untuk tegangan dari jala-jala listrik, dan garis hijau untuk tegangan *output* setelah proses integrasi. Nilai tegangan terbesar yang dihasilkan oleh *VChargeSolarTracker*

adalah 12,42 V, $V_{ChargeGrid}$ adalah 5,07 V, sedangkan tegangan *output* $V_{chargeout}$ adalah 13,43 V.

4.5 Simulasi Kontrol *Fuzzy* Algoritma *Flower Pollination Optimization* (Kontrol FPAO-FLC)

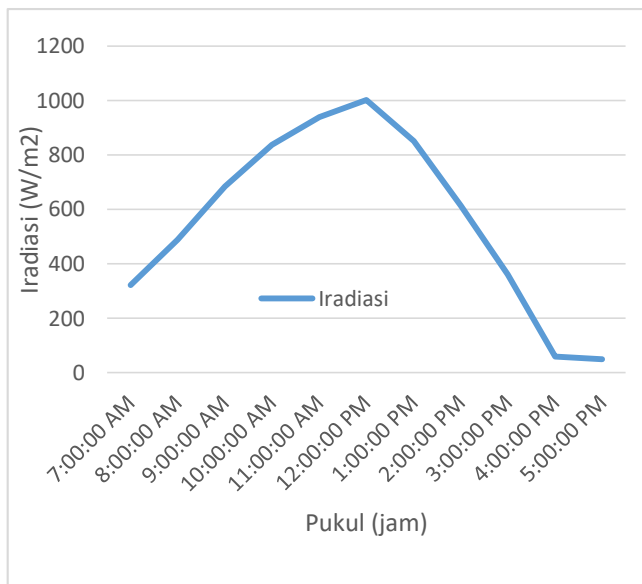
Dalam sub bab ini membahas perbandingan antara penggunaan kontrol *fuzzy logic controller* dengan algoritma *flower pollination algorithm optimization - fuzzy control* ditunjukkan pada Gambar 4.23.



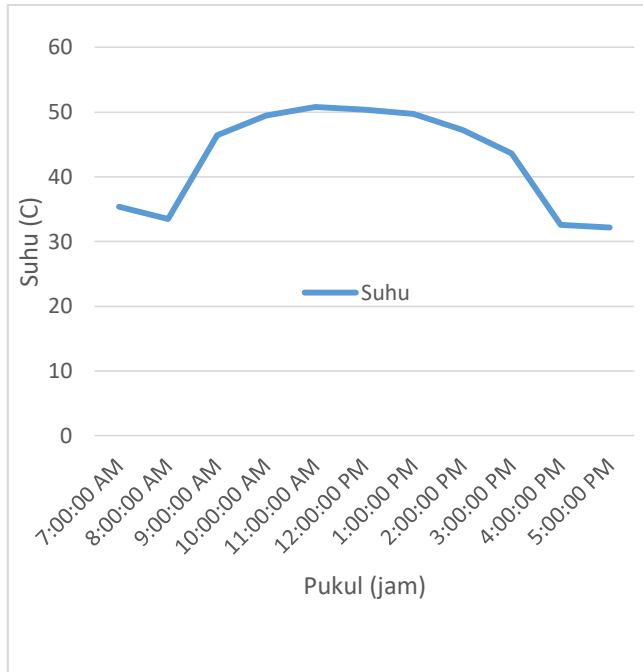
Gambar 4. 23 Simulink Matlab Konverter ZETA dengan *Fuzzy Logic Controller*

Software yang digunakan dalam melakukan perbandingan antara penggunaan kontroler *Fuzzy* dan FPAO-FLC adalah Matlab2017a dengan konverter ZETA dari sumber *photovoltaic*. Pada Gambar 4.23 simulasi dijalankan pada kondisi STC, yaitu suhu 25°C dan iradiasi $1000\text{W}/\text{m}^2$. Pada simulasi dengan Matlab, rancangan konverter ZETA menggunakan *fuzzy logic controller* yang dikendalikan dengan set point $14,5\text{ V}$. *Ripple* yang dihasilkan dalam proses *charging* pada simulasi ini adalah sebesar $0,3\text{ V}$ diantara nilai $14,9$ dan $14,6\text{ V}$.

Setelah melakukan simulasi dengan kondisi STC, selanjutnya simulasi dijalankan menggunakan data sekunder yang diambil pada tanggal 24 April 2019 untuk mengetahui perbandingan kontroler *Fuzzy* dan FPAO-FLC. Variasi iradiasi dan suhu ditentukan dari data sekunder yang sudah diambil. Berikut adalah variasi suhu dan iradiasi dari data sekunder.



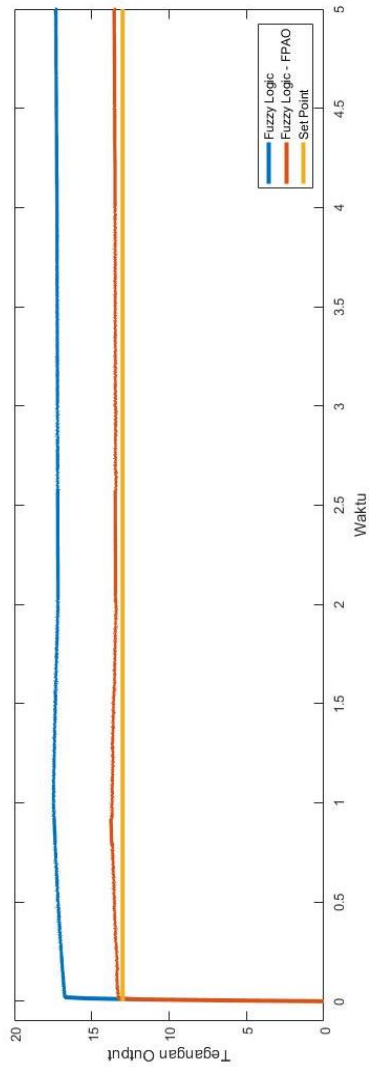
Gambar 4. 24 Variasi Iradiasi Data Sekunder



Gambar 4. 25 Variasi Suhu Data Sekunder

Pada Gambar 4.24 dan 4.25 menunjukkan pengukuran diambil antara jam 07.00 s/d 17.00 WIB dengan mendapatkan data iradiasi paling tinggi dengan nilai $1000,68 \text{ W/m}^2$ pada jam 12.00 WIB dan data suhu paling tinggi dengan nilai $50,84 \text{ }^\circ\text{C}$ pada jam 11.00 WIB.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *fuzzy logic controller* tanpa dioptimisasi dan *fuzzy logic controller* dengan modifikasi fungsi keanggotaan hasil optimisasi algoritma *flower pollination*. Grafik yang dihasilkan dari simulasi ditampilkan pada Gambar4.26.



Gambar 4. 26 Hasil *Tracking Set Point* dengan Kontroler *Fuzzy* dan *FPAO-FLC*

Pada Gambar 4.26 menunjukkan kinerja dari kontroler *fuzzy* dan FPAO-FLC dengan *set point* yang sudah ditentukan untuk proses *charging*. *Ripple* tegangan yang terjadi pada penggunaan kontroler *fuzzy logic* adalah di antara nilai 17,20 V dan 17,23 V, sedangkan kontroler FPAO-FLC berada di angka 13,34 V dan 13,32 V. Adapun perbandingan parameter antara kedua kontroler tersebut dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Perbandingan Parameter Kontroler *Fuzzy* dan *Fuzzy* FPA

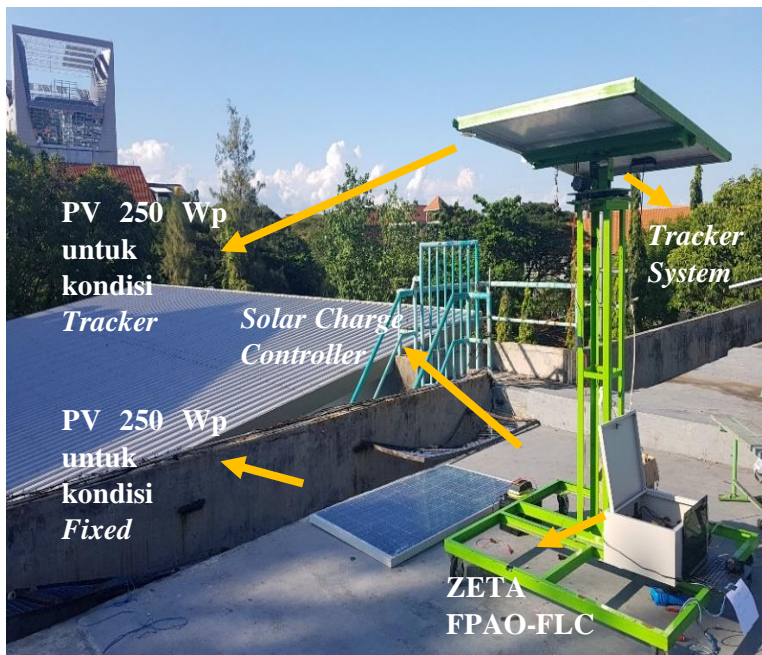
Parameter	<i>Fuzzy Logic</i>	FPAO-FLC
<i>Rise Time</i>	0,0108 s	0,0123 s
<i>Settling Time</i>	3,0007 s	2,1099 s
<i>Maximum Overshoot</i>	34,28 % (17,46 V)	6,08 % (13,79 V)
<i>Peak Time</i>	1,2661 s	0,9246 s
<i>Error Steady State</i>	32,31 % (17,20 V)	3,43 % (13,45 V)

Dari data di atas menunjukkan bahwa *rise time*, *settling time* dan *maximum overshoot* dari kedua kontroler mempunyai nilai yang berbeda-beda. Pada kontroler *fuzzy logic controller* menunjukkan untuk mencapai *set point* menghasilkan *rise time* pada 0,0108 s, *peak time* pada 1,2661 s dengan *maksimum overshoot* sebesar 32,28 %, sedangkan *settling time* pada 3,0007 s dengan *error steady state* bernilai 32,31 %. Adapun kontroler FPAO-FLC menunjukkan hasil *rise time*, *peak time*, *settling time*, *maximum overshoot*, dan *error steady state* masing-masing bernilai 0,0123 s; 0,9246 s; 2,1099 s; 6,08 %, dan 3,43 %.

Kontroler FPAO-FLC membuat penurunan *maximum overshoot* dari 34,28 % menjadi 6,08 %, dan juga *error steady state* dari 32,31 % menjadi 3,43 %. Maka dapat disimpulkan, kontroler FPAO-FLC menurunkan *settling time*, *peak time*, *maximum overshoot* dan *error steady state*.

4.6 Pengujian *Hardware* Proses *Charging* dari *Solar Tracker*

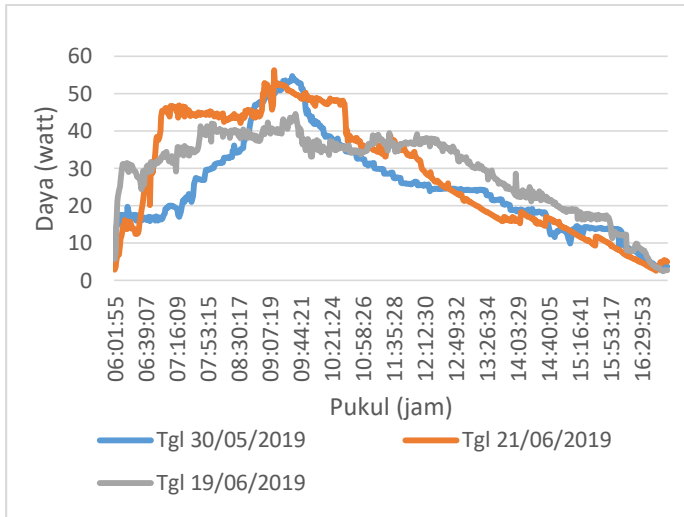
Pengambilan data dilakukan secara kontinu dengan PV *based tracker* berkapasitas 250 Wp untuk kondisi PV *fixed* dan *tracking* pada tanggal 28, 30 Mei dan 19, 21, 22, 24 Juni 2019. Kontroler yang digunakan adalah kontroler FPAO-FLC pada Konverter ZETA untuk mencapai tegangan *set point* 13,2 V. Dengan tegangan tersebut proses *charging* berlangsung.



Gambar 4.27 *Set-up* Pengujian *Hardware Real-time*

Menurut Gambar 4.27 menunjukkan *set-up* eksperimen yang dilakukan dengan dua buah PV untuk kondisi *tracking* dan *fixed*, dan dua baterai. Pengambilan data tidak hanya menggunakan konverter ZETA saja, tetapi juga menggunakan *solar charge controller* yang tersedia. Tegangan awal baterai adalah sekitar 11,89 V dengan kapasitas 0 % mencapai 100 % dengan tegangan baterai maksimal 13,1 V. Pengukuran *state of charge* (SOC) atau

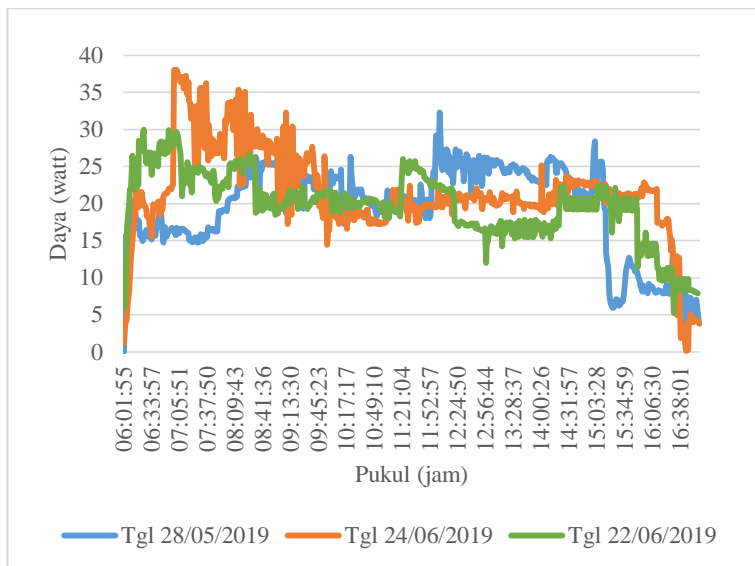
kapasitas baterai dilakukan dengan *open circuit* (tidak ada tegangan *charging*). Hasil pengambilan data tersebut ditampilkan pada Gambar 4.28, 4.29, 4.30, dan 4.31.



Gambar 4. 28 *Daya Charging Track PV ZETA FPAO-FLC*

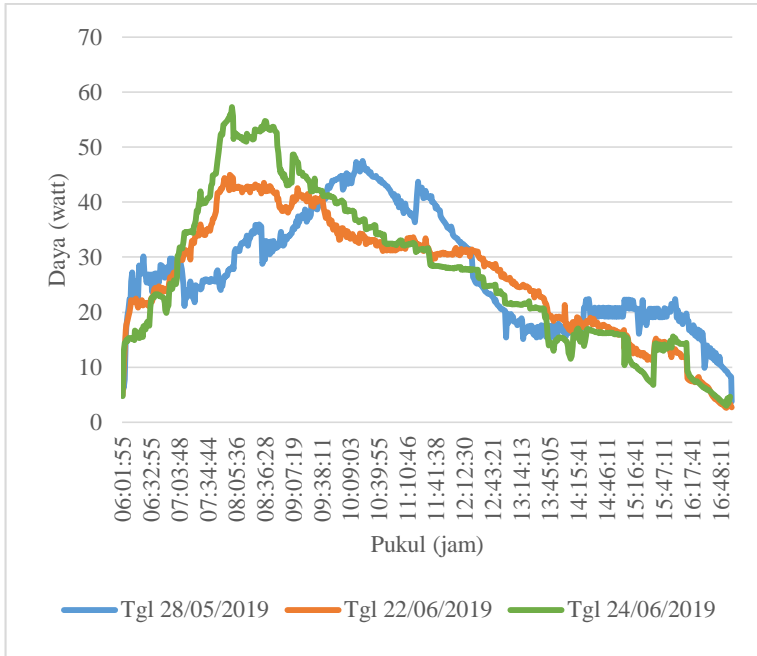
Pada Gambar 4.28 menunjukkan daya yang dihasilkan selama proses *charging* menggunakan ZETA FPAO-FLC dan mengalami peningkatan daya di sekitar jam 09.00 WIB, sedangkan penurunan terjadi ketika baterai mendekati kondisi penuh. Energi yang didapatkan dengan kondisi PV *tracking* pada tanggal 30 Mei, 19 Juni, dan 21 Juni 2019 dengan total energi berturut-turut bernilai 314,79 Wh, 324,91 Wh dan 316,85 Wh, dengan demikian dapat dikatakan nilai-nilai tersebut hampir mendekati pada hari yang berbeda. Estimasi SOC baterai yang diperoleh masing-masing sebesar 68,01 %, 70,28 % dan 68,53 % dari tegangan akhir sensor mengambil data. Semakin sedikitnya arus *charging* menyebabkan tegangan *charging* tidak bisa lagi menjaga *set point* nya (13,2 V). Hal ini dapat dikatakan ketika arus *charging* semakin rendah sampai mendekati nol, maka tegangan yang diukur oleh sensor tegangan akan merepresentasikan tegangan baterai itu sendiri.

Tegangan akhir tersebut setiap tanggalnya terukur 12,74 V, 12,79 V, dan 12,75 V.



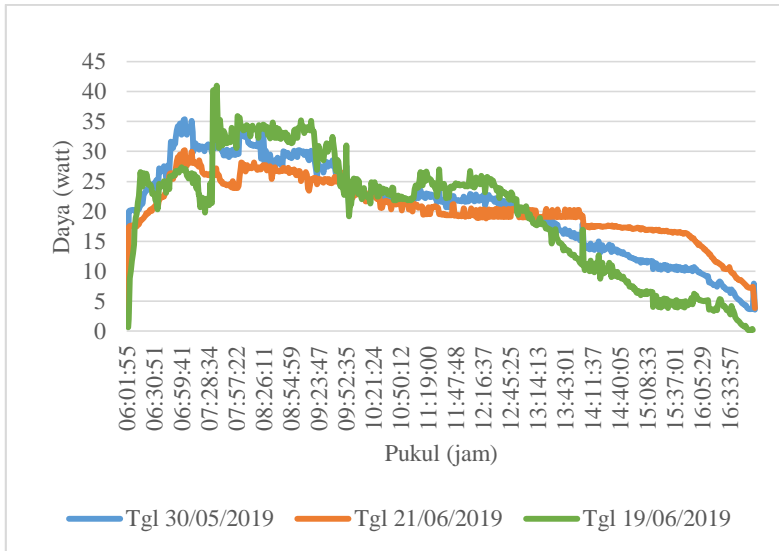
Gambar 4.29 Daya *Charging Fixed PV ZETA FPAO-FLC*

Menurut Gambar 4.29 menunjukkan daya yang dihasilkan ZETA FPAO-FLC melakukan *charging* pada kondisi PV *fixed* mengalami fluktuasi terbanyak pada tanggal 24 Juni 2019 dikarenakan kondisi cuaca tidak teratur (kadang awan menutupi matahari). Pada tanggal 28 Mei 2019 mendapatkan total energi dan SOC baterai mencapai 214,19 Wh dan 29,4 %. Kemudian, pada tanggal 22 Juni 2019 mendapatkan total energi dan SOC baterai sebesar 217,97 Wh dan 30 %. Menurut data pada tanggal 24 Juni 2019 menghasilkan total energi 235,62 Wh dan SOC baterai mencapai 30,2 %. Tegangan akhir yang terukur oleh sensor tegangan menghasilkan berturut-berturut yaitu 12,38 V, 12,39 V dan 12,42 V. Selisih nilai total energi dan SOC baterai antara kondisi *tracking* dan *fixed* menggunakan ZETA FPAO-FLC ini adalah 96,26 Wh dan 39,08 %.



Gambar 4. 30 *Daya Charging Track PV Solar Charge Controller*

Berdasarkan Gambar 4.30 menampilkan daya yang dihasilkan selama proses *charging* menggunakan *solar charge controller* kondisi *PV tracking*. Pengambilan data total energi dan SOC baterai pada tanggal 28 Mei 2019, 22 Juni 2019, dan 24 Juni 2019 diperoleh masing-masing yaitu sebesar 301,47 Wh dan 65,25 %, 293,22 Wh dan 63,42 %, serta 301,39 Wh dan 65,2 %. Tegangan akhir yang terukur oleh sensor tegangan masing-masing adalah 12,75 V, 12,73 dan 12,74 V. Dapat dikatakan bahwa energi yang dihasilkan tidak lebih besar dibandingkan dengan penggunaan ZETA FPAO-FLC. Pada grafik terlihat bahwa daya tertinggi ditunjukkan pada tanggal 24 Juni 2019, tetapi energi yang didapatkan lebih rendah dari data lain dikarenakan terjadi penurunan drastis mulai pukul 09.13 WIB.



Gambar 4. 31 *Daya Charging Fixed PV Solar Charge Controller*

Pada Gambar 4.31 menunjukkan grafiik yang dihasilkan *solar charge controller* kondisi PV *fixed*, daya *peak* yang dicapai tidak terlalu signifikan, selain itu perubahannya lebih teratur daripada kondisi PV *tracking*. Setelah data diolah, pada tanggal 30 Mei 2019 menghasilkan total energi sebesar 227,44 Wh dan SOC baterai sebesar 32 %. Pada tanggal 21 Juni 2019 mendapatkan total energi bernilai 224,85 Wh dan SOC baterai mencapai 32,28 %. Kemudian, pada tanggal 19 Juni 2019 diperoleh energi total 218,01 Wh dan SOC baterai adalah 30,02 %. Tegangan akhir yang merepresentasi SOC baterai tersebut masing-masing yaitu 12,42 V, 12,41 V, dan 12,4 V.

Peningkatan efisiensi dari ZETA FPAO-FLC pada kondisi PV *tracking* dengan energi rata-rata sebesar 318,85 Wh dan kondisi PV *fixed* dengan energi 222,59 Wh mencapai 43,24 % dengan SOC baterai meningkat 39,08 %, sedangkan *solar charge controller* pada kondisi PV *tracking* sebesar 291,15 Wh dan kondisi PV *fixed*

223,43 Wh mengalami peningkatan 30,3 % dan SOC baterai meningkat 33,13 %.

Tabel 4. 4 Data Pengujian *Hardware* kondisi *Fixed* dan *Tracking*

Waktu	Arus Charging			
	ZETA FPAO-FLC		Solar Charge Controller	
	<i>Fixed PV</i>	<i>Track PV</i>	<i>Fixed PV</i>	<i>Track PV</i>
6:00:00 AM	0,24 A	0,36 A	0,1 A	0,42 A
6:30:00 AM	1,64 A	1,47 A	1,59 A	1,56 A
7:00:00 AM	1,84 A	2,34 A	1,75 A	2,02 A
7:30:00 AM	1,94 A	2,59 A	2,06 A	2,44 A
8:00:00 AM	2,11 A	2,94 A	2,04 A	3,17 A
8:30:00 AM	1,96 A	2,99 A	1,94 A	3,22 A
9:00:00 AM	1,62 A	3,45 A	1,73 A	2,83 A
9:30:00 AM	1,88 A	3,75 A	1,65 A	2,97 A
10:00:00 AM	1,66 A	3,19 A	1,66 A	2,80 A
10:30:00 AM	1,60 A	3,01 A	1,51 A	2,70 A
11:00:00 AM	1,55 A	2,60 A	1,49 A	2,53 A
11:30:00 AM	1,83 A	2,70 A	1,64 A	2,48 A
12:00:00 PM	1,89 A	2,45 A	1,53 A	2,24 A
12:30:00 PM	1,67 A	2,19 A	1,59 A	1,96 A
1:00:00 PM	1,50 A	1,98 A	1,51 A	1,62 A
1:30:00 PM	1,39 A	1,74 A	1,45 A	1,46 A
2:00:00 PM	1,26 A	1,49 A	1,36 A	1,23 A
2:30:00 PM	1,27 A	1,38 A	1,30 A	1,27 A
3:00:00 PM	1,34 A	1,16 A	1,29 A	1,26 A
3:30:00 PM	0,78 A	1,05 A	1,21 A	0,91 A
4:00:00 PM	0,71 A	1,06 A	1,18 A	1,14 A
4:30:00 PM	0,52 A	0,48 A	0,70 A	0,55 A
5:00:00 PM	0,31 A	0,30 A	0,30 A	0,26 A

Arus *charging* yang dilakukan pada eksperimen di atas dilakukan dengan menggunakan dua PV dan dua baterai seperti yang dijelaskan pada Gambar 4.27. Pada Tabel 4.4 eksperimen ini menggunakan konverter ZETA mendapatkan *ripple* arus sebesar $\pm 0,01$ A. Dalam proses *charging* baterai dilakukan pada jam 06.00 WIB sampai dengan 17.00 WIB. Konsumsi energi yang digunakan dari permintaan beban pada proses *charging* tersebut adalah sebagai berikut.

a) Motor DC Pitch



Gambar 4. 32 Motor DC *Pitch*

$$P_{out_{motor1}} = 4,5 \text{ watt}$$

$$\begin{aligned} E_{out_{motor1}} &= P_{out_{motor1}} \times t_{operasi} \\ &= 4,32 \times 0,0333 \text{ (1/30 jam)} \\ &= 0,15 \text{ Wh} \end{aligned}$$

b) Motor DC yaw

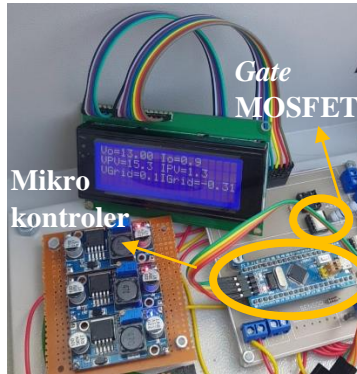


Gambar 4. 33 Motor DC *yaw*

$$P_{out_{motor1}} = 2,7 \text{ watt}$$

$$\begin{aligned} E_{out_{motor1}} &= P_{out_{motor1}} \times t_{operasi} \\ &= 2,16 \times 0,0167 \text{ (1/60 jam)} \\ &= 0,03607 \text{ Wh} \end{aligned}$$

c) Mikrokontroler dan Driver Mosfet



Gambar 4. 34 Mikrokontroler dan Gate Driver

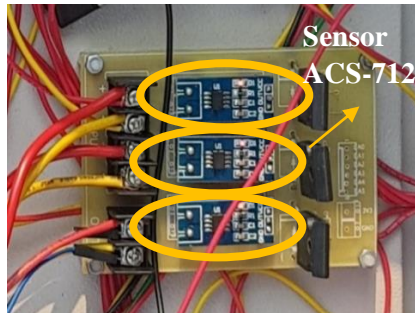
Board mikrokontroler dengan *input* $V_{in} = 5 \text{ V}$, $I_{in} = 0,05 \text{ A}$,
gate driver TLP250 $V_{in} = 12 \text{ V}$, $I_{in} = 11 \text{ mA}$

$$P_{out_{Mikro}} = 0,25 \text{ watt}$$

$$P_{out_{Driver}} = 0,132 \text{ watt}$$

$$\begin{aligned} E_{out_{Total}} &= P_{out_{stm32}} \times t_{operasi} \\ &= (0,25 + 0,132) \times 39600 \\ &= 15127 \text{ W.s} = 4,202 \text{ Wh} \end{aligned}$$

d) Sensor Arus ACS712 20 A, dengan *input* $V_{in} = 5 \text{ V}$, dan $I_{in} = 0,010 \text{ A}$



Gambar 4. 35 Sensor Arus ACS-712

$$P_{\text{outSensorArus}} = 3 \times 0,05 = 0,15 \text{ watt}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{out } 3 \times \text{SensorArus}} &= 3 \times (P_{\text{outSensorArus}} \times t_{\text{operasi}}) \\ &= 3 \times (0,05 \times 39600 \text{ (11 jam sampai jam 5 sore)}) \\ &= 3 \times 1980 \text{ W.s} = 5940 \text{ W.s} = 1,65 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Arus konsumsi, daya total dan energi total yang dibutuhkan dari permintaan beban ini adalah sebagai berikut.

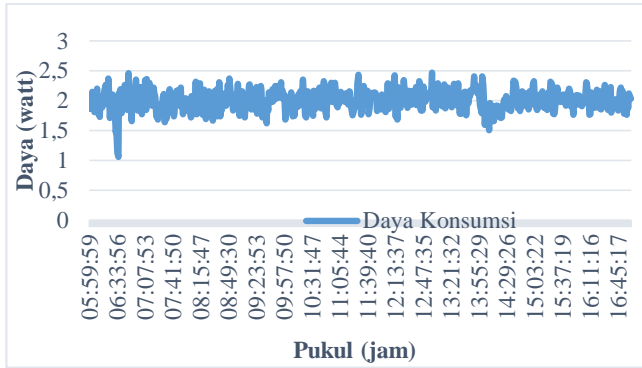
$$\text{Arus konsumsi} = 0,25 + 0,15 + 0,05 + 0,022 + 0,03 = 0,502 \text{ A}$$

$$P_{\text{out}_{\text{total}}} = 4,5 + 2,7 + 0,25 + 0,132 + 0,15 = 7,732 \text{ watt}$$

$$E_{\text{out}_{\text{total}}} = 0,15 + 0,036 + 4,202 + 1,65 = 6,038 \text{ Wh}$$

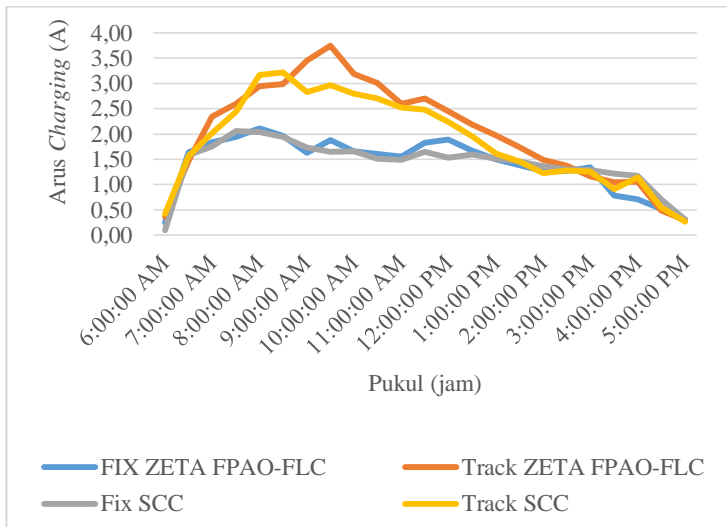
$$\begin{aligned} \text{Nilai Gross} &= ((\text{Energi total charging PV track}) - \text{Energi total charging PV fixed}) / \text{Energi total charging PV fixed} * 100 \% = 36,76 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Netto} &= ((\text{Energi total charging PV track} - \text{Energi konsumsi}) \\ &\quad \text{Energi total charging PV fix}) / \text{Energi total charging PV fix} * 100 \% \\ &= ((305 \text{ Wh} - 6,038 \text{ Wh}) - 223,01 \text{ Wh}) / 223,01 \text{ Wh} \\ &\quad * 100 \% = 34,05 \% \end{aligned}$$



Gambar 4.36 Rata-rata Daya Konsumsi Energi

Pada Gambar 4.36 menunjukkan rata-rata daya konsumsi total energi dengan penambahan komponen arduino, 2 sensor arus, 2 modul sensor tegangan, *driver motor*, dan sensor LDR menghasilkan daya *peak* 2,46 Watt dan energi sebesar 22,15 Wh. Nilai *Netto* yang diperoleh adalah 29,79 %. Grafik hasil arus *charging* baterai ditampilkan pada Gambar 4.37.



Gambar 4.37 Arus Charging Baterai

Pada Gambar 4.37 menunjukkan bahwa garis orange untuk penggunaan konverter ZETA dengan kontrol FPAO-FLC kondisi PV *tracking*, garis biru untuk penggunaan konverter ZETA dengan kontrol FPAO-FLC kondisi PV *tracking*, garis abu-abu untuk penggunaan SCC kondisi PV *fixed*, garis kuning untuk penggunaan SCC kondisi PV *tracking*. Pada grafik ditunjukkan arus *charging* menggunakan ZETA FPAO-FLC dengan kondisi PV *tracking* lebih besar daripada kondisi maupun alat yang lain.

Perbandingan rata-rata arus *charging* baterai pada pengambilan data enam hari di atas antara penggunaan alat konverter ZETA dengan kontrol FPAO-FLC dan *solar charge controller* ini menghasilkan kenaikan pada kondisi PV *tracking* mencapai 16,45 % dengan arus *peak* 3,75 A, sedangkan kenaikan yang diperoleh pada kondisi PV *fixed* mencapai 2,43 % dengan arus *peak* 2,11 A.

4.7 Sistem Hybrid Dual Supply Sumber Listrik

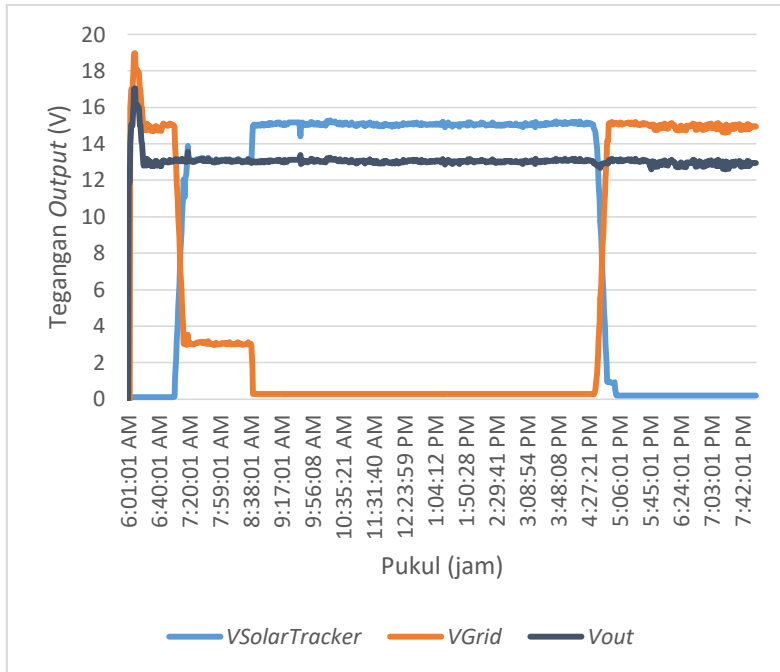
Dalam Sistem *hybrid* ini terdapat dua mode yaitu mode individual dan mode simultan. Mode individual terjadi ketika sumber yang dihasilkan *solar tracker* tersedia, konverter yang beroperasi adalah konverter ZETA, dan lain halnya dengan sumber dari *solar tracker* tidak tersedia maka konverter yang beroperasi adalah konverter SEPIC dengan sumber jala-jala listrik. Mode simultan terjadi ketika sumber yang didapatkan dari *solar tracker* masih tersedia tetapi kurang dari 13 V, maka sumber dari jala-jala listrik akan melakukan *summing* terhadap sumber dari *solar tracker* agar menghasilkan tegangan tersebut.

Dalam eksperimen pada tanggal yang telah dilakukan pada 29 Mei 2019 secara otomatis, mode individual dan mode simultan bekerja dengan bergantian. Mode individual *solar tracker* bekerja lebih lama jika dibandingkan dengan mode lain. Hal ini disebabkan proses *charging* dari *solar tracker* menggunakan konverter ZETA adalah sistem utama dengan menggunakan kontrol FPAO-FLC. Mode *summing* terjadi ketika akan diambil alih oleh mode jala-jala listrik menggunakan konverter SEPIC dengan logika *increment* dan *decrement*. Hasil yang didapatkan

dari pengujian sistem *hybrid charging* baterai ini ditunjukkan pada Tabel 4.5. Jala-jala listrik ditunjukkan pada tabel dengan nama *electric grid*.

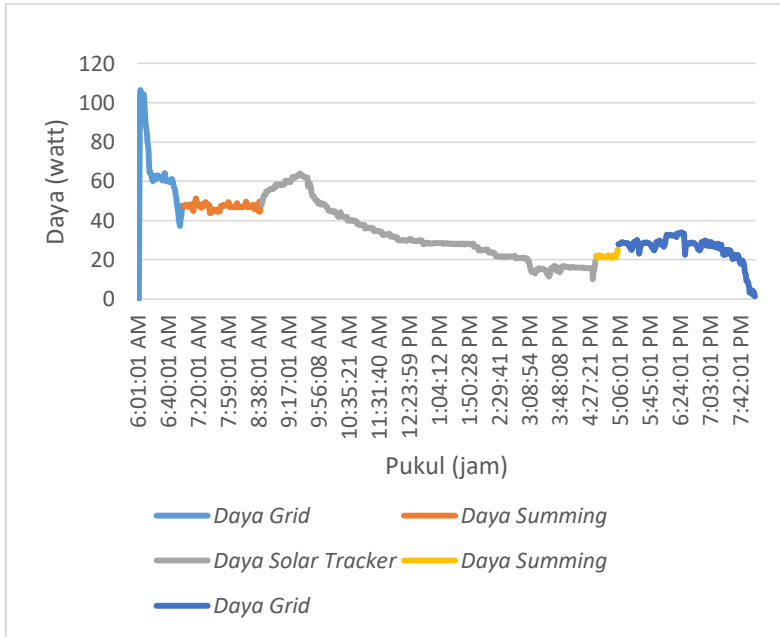
Tabel 4.5 Pengujian Sistem *Hybrid Charging* Baterai

Waktu	Kondisi	Vout Solar Tracker	Iout Solar Tracker	Vout Electric Grid	Iout Electric Grid	Vout Summing	Iout Summing
6:00:00 AM	<i>Electric Grid</i>	0,1 V	0,0 A	15,96 V	6,45 A	14,04 V	6,45 A
6:30:00 AM	<i>Electric Grid</i>	0,1 V	0,0 A	14,7 V	4,24 A	12,8 V	4,24 A
7:00:00 AM	<i>Summing</i>	1,21 V	1,03 A	13,82 V	1,26 A	13,16 V	2,24 A
7:30:00 AM	<i>Summing</i>	12,14 V	1,34 A	3,09 V	1,02 A	13,10 V	2,34 A
8:00:00 AM	<i>Summing</i>	12,11 V	1,33 A	3,06 V	1,01 A	13,08 V	2,35 A
9:00:00 AM	<i>Solar Tracker</i>	15,04 V	3,78 A	0,1 V	0,0 A	13,0 V	3,78 A
10:00:00 AM	<i>Solar Tracker</i>	15,06 V	3,16 A	0,1 V	0,0 A	13,03 V	3,16 A
11:00:00 AM	<i>Solar Tracker</i>	15,06 V	2,35 A	0,1 V	0,0 A	13,02 V	2,35 A
12:00:00 PM	<i>Solar Tracker</i>	15,09 V	2,06 A	0,1 V	0,0 A	13,06 V	2,06 A
1:00:00 PM	<i>Solar Tracker</i>	15,06 V	1,86 A	0,1 V	0,0 A	13,03 V	1,86 A
2:00:00 PM	<i>Solar Tracker</i>	15,09 V	1,71 A	0,1 V	0,0 A	13,05 V	1,71 A
3:00:00 PM	<i>Solar Tracker</i>	15,06 V	1,33 A	0,1 V	0,0 A	13,02 V	1,33 A
4:00:00 PM	<i>Solar Tracker</i>	15,11 V	1,04 A	0,1 V	0,0 A	13,07 V	1,04 A
4:35:00 PM	<i>Summing</i>	14,74 V	1,1 A	0,38 V	0,32 A	12,9 V	1,42 A
5:00:00 PM	<i>Summing</i>	0,58 V	0,1	14,13 V	1,5 A	13,11 V	1,52 A
6:00:00 PM	<i>Electric Grid</i>	0,2 V	0,0 A	15,05 V	1,89 A	13,03 V	1,89 A
7:00:00 PM	<i>Electric Grid</i>	0,2 V	0,0 A	15,07 V	1,89 A	13,05 V	1,87 A
8:00:00 PM	<i>Electric Grid</i>	0,2 V	0,0 A	14,95 V	0,08 A	12,93 V	0,08 A



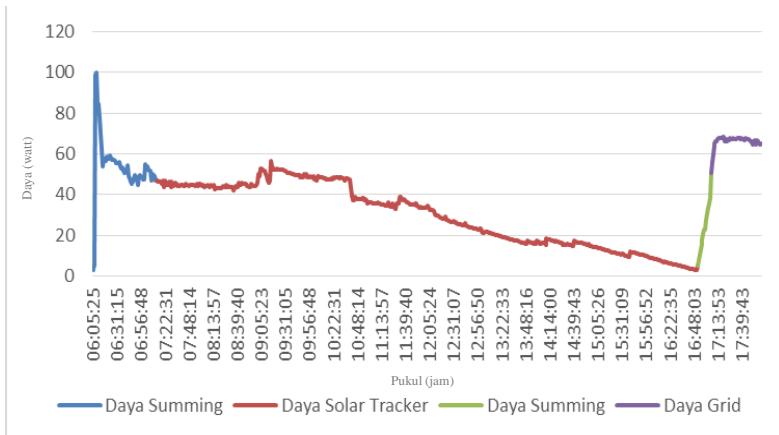
Gambar 4. 38 Pengujian Sistem *Hybrid*

Pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa kondisi jala-jala listrik bekerja pada pukul 06.00 – 06.30 WIB dan 18.00 – 20.00 WIB, summing pada pukul 07.00 – 08.00 WIB dan 16.35 – 17.00 WIB, sedangkan *solar tracker* bekerja pada pukul 09.00 – 16.00 WIB. Berdasarkan Gambar 4.38 terdapat pertukaran tegangan *charging* antara *solar tracker* dan jala-jala listrik. Pertukaran tegangan inilah berguna untuk sistem *hybrid* ketika salah satu *supply* mulai menurun. Dari grafik menunjukkan bahwa tegangan *charging peak* dari konverter ZETA yang dihasilkan sebesar 15,11 V, tegangan *charging peak* dari konverter SEPIC yang didapatkan sebesar 15,96 V, tegangan *peak* yang diperoleh setelah bagian integrasi sebesar 14,04 V. Daya pengisian baterai dengan *dual input* secara otomatis dihasilkan grafik pada Gambar 4.39.

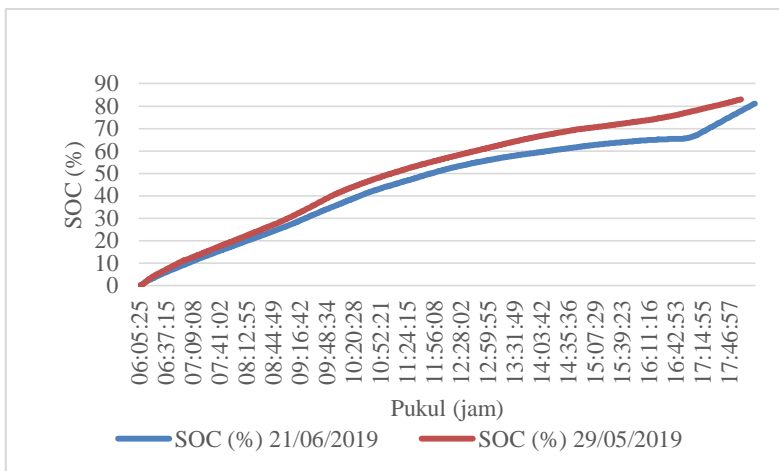


Gambar 4. 39 Daya Charging Baterai Mode Otomatis Dual Supply Tanggal 29/05/2019

Pada Gambar 4.39 menunjukkan bahwa daya yang paling besar diberikan adalah dari sumber jala-jala listrik, dikarenakan pada saat kondisi baterai tidak penuh atau mendekati kosong membuat daya yang mengalir lebih besar. Data eksperimen tanggal 29/05/2019 menunjukkan mode individual dari jala-jala listrik yang sudah disaraskan oleh *full bridge rectifier* menghasilkan energi sebesar 88,38 Wh. Kemudian, mode individual dari *solar tracker* mendapatkan energi sebesar 304,39 Wh. Mode simultan yang bekerja dari *solar tracker* dan jala-jala listrik menghasilkan energi sebesar 90,09 Wh. Total energi yang diperoleh dari proses *charging dual supply* mode otomatis ini adalah 482,86 Wh dengan SOC baterai mencapai 83,9 %.



Gambar 4. 40 Daya Charging Baterai Mode Dual Supply Tanggal 21/06/2019



Gambar 4. 41 Peningkatan SOC Baterai

Pada Gambar 4.40, pengumpulan data yang dilakukan pada tanggal 21/06/2019 dari jam 06.00 WIB sampai 18.17 WIB menunjukkan mode individual dari jala-jala listrik dan *solar tracker* menghasilkan energi sebesar 96,87 Wh dan 316,86 Wh.

Lain halnya dengan mode simultan yang bekerja dari *solar tracker* dan jala-jala listrik memperoleh energi sebesar 63,51 Wh. Total energi yang dihasilkan dari proses *charging* dual *supply* mode otomatis ini adalah 477,24 Wh dengan SOC baterai mencapai 81,16 %. Pada grafik terdapat kenaikan yang drastis dari *summing* menuju jala-jala listrik dikarenakan arus yang mengalir dari konverter SEPIC lebih besar daripada arus yang mengalir dari konverter ZETA pada sore hari dan adanya adaptasi perubahan komponen trafo yang sebelumnya rusak.

Pada Gambar 4.41, peningkatan SOC baterai selama *charging* menggunakan mode otomatis dual *supply* dari jam 06.00 WIB sampai 18.17 WIB mencapai 83,88 % dan 81,16 %. Kedua eksperimen di atas menunjukkan sistem yang digunakan dapat bekerja bersama-sama maupun individual dalam proses *charging*. Selain itu, dukungan yang diberikan oleh jala-jala listrik berguna ketika tidak terdapat *supply* yang diberikan dari *solar tracker*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dari tugas akhir ini diperoleh kesimpulan yaitu

- a. Peningkatan efisiensi dari ZETA FPAO-FLC pada kondisi *tracking* dan *fixed* sebesar 43,24 % dengan energi rata-rata berturut-turut sebesar 318,85 Wh dan 222,59 Wh serta SOC baterai sekitar 39,08 %, sedangkan untuk *solar charge controller* mengalami peningkatan 30,3 % dengan energi rata-rata masing-masing sebesar 291,15 Wh dan 223,43 Wh serta SOC baterai mencapai 33,13 %.
- b. Energi rata-rata dari data eksperimen yang telah dilakukan menunjukkan mode individual dari jala-jala listrik, mode individual dari *solar tracker*, mode simultan dari *solar tracker* dan jala-jala listrik menghasilkan energi berturut-turut sebesar 92,62 Wh, 310,38 Wh dan 76,8 Wh, sehingga total energi rata-rata yang dihasilkan dari proses *charging dual supply* mode otomatis ini adalah 479,81 Wh dengan SOC baterai mencapai 82,27 %.
- c. Kontrol FLC memiliki nilai *rise time* sebesar 0,0108 detik, *settling time* sebesar 3,0007 detik, *maximum overshoot* sebesar 34,28 % (17,46 V), *peak time* sebesar 1,2661 detik dan *error steady state* sebesar 32,31 % (17,20 V), sedangkan kontrol FPAO-FLC memiliki nilai *rise time*, *settling time*, *peak time*, *maximum overshoot* dan *error steady state* masing-masing bernilai 0,0123 detik; 2,1099 detik; 0,9246 detik; 6,08 % (13,79 V) dan 3,43 % (13,45 V).

5.2 Saran

Adapun saran untuk pengembangan selanjutnya pada penelitian ini adalah

- a. Adanya penelitian selanjutnya dengan menggunakan *renewable energy* lain dalam sistem *hybrid* tersebut.

- b. Adanya penelitian selanjutnya mengenai penambahan sistem *Internet of Things* (IOT) dalam *hardware*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Primadhyta, *Semester I 2018, Konsumsi Listrik Tumbuh 4,7 Persen*, Jakarta: CNN Indonesia, 2018.
- [2] A. Rahayuningtyas, , "Studi Perencanaan PLTS Skala Rumah Sederhana Di, prosiding SnaPP 2014,ISSN 2089 – 3582., 2014.
- [3] A. Imam, D. N. Fitriyanah and A. U. Umam, *Design of Maximum Power Point Tracking (MPPT) on Two Axes Solar Tracker Based on Particle Swarm Fuzzy*, AIP Conference Proceeding, Volume 2088, 2019.
- [4] A. Imam and K. A. Permatasari, *Pitch and Yaw Angle Control Design Solar Panel System Using PSO-Fuzzy Method*, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2018.
- [5] A. Imam, A. Soeprijianto and A. Musyafa, *Design of Single Axis Solar Tracking System at Photovoltaic Panel using Fuzzy Logic Controller*, 5th Brunei International Conference on Engineering and Technology, 2014.
- [6] M. M. Bachrow, *RANCANG BANGUN STAND ALONE PV CHARGING SYSTEM BERBASIS SOLAR TRACKER MENGGUNAKAN KONTROL FUZZY MODIFIED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (MPSO)*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [7] D. Saravanan and M. Kumaresan, *A Hybrid Power Control AC/DC-DC Converter Systems for High Power and High Voltage Gain Application*, India: Indian Journal of Science and Technology, Vol 10924), DOI: 10.17485/ijst/2017/v10i24/114641, June, 2017.

- [8] Y. K. Arifiana and P. A. Darwito, *RANCANG BANGUN SISTEM PENJUMLAHAN ENERGI BATERAI 48 VDC DAN JALA-JALA LISTRIK NEGARA DENGAN ALGORITMA NON INVERTING SUMMING AMPLIFIER*, Surabaya: DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI, INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER, 2017.
- [9] M. R. Djalal, M. Ali, A. Imran and H. Setiadi, *Modifikasi Desain PID Controller Pada Permanent Magnet Synchronous Motor Dengan Flower Pollination Algorithm*, Makassar: JURNAL TEKNIK ELEKTRO ITP, Vol.6, No.2, JULI, 2017.
- [10] D. Lastomo and M. Prof. Dr. Eng. Ir. Imam Robandi, *Simulasi Pengendali Sudut Pitch Blade pada Turbin Angin dengan Flower Pollination Algorithm (FPA) untuk Mengoptimalkan Konversi Daya Listrik*, Surabaya: PROGRAM MAGISTER, BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA, JURUSAN TEKNIK ELEKTRO, INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER, 2016.
- [11] F. D. Murdianto, R. E. Setiawan, M. Z. Efendi and A. S. Laili, *Comparison Method of MPPO, FPA, and GWO Algorithm in MPPT Sepic Converter Under Dynamic Partial Shading Condition*, Surabaya: 2017 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA), 2017.
- [12] E. SAHIN and I. H. ALTAS, *FPA Tuned Fuzzy Logic Controlled Synchronous Buck Converter for a Wave/SC Energy System*, Turkey: Advances in Electrical and Computer Engineering Volume 17, Number 1, 2017, 2017.
- [13] A. Chauhan, "MPPT Cntrol PV Charging System for Lead Acid Battery," Orissa, 2014.

- [14] T. Tudorache and L. Kreindler, *Design of a Solar Tracker System for PV Power Plants, Acta Polytechnica Hungarica, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 7, Number 1., 2010.*
- [15] Salem, *Mechatronics Design of Solar Tracking System International Journal of Current Engineering and Technology*, Vol.3, No.3, (August 2013), ISSN 2277 – 4106., 2013.
- [16] A. Imam, A. Musyafa and A. Soeprijanto, *Type-2 Fuzzy Logic Controller Based PV Passive Two-Axis Solar Tracking System*, Surabaya: International Review of Electrical Engineering · June 2015, 2015.
- [17] A. Imam and A. Musyafa, *Design and Implementation of Active Two Axes Solar Tracking System Using Particle Swarm Optimization Based Fuzzy*, Surabaya: International Review on Modelling and Simulations · December, 2015.
- [18] A. P. Nandiwardhana, H. Suryuatmojo and M. Ashari, *Perancangan Zeta Converter yang dilengkapi Power Factor Correction pada Aplikasi Pengaturan Kecepatan Motor Brushless DC*, Surabaya: JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2, (2016) ISSN: 2337-3539, 2016.
- [19] J. Falin, *Designing DC/DC converters based on ZETA topology*, Texas: Texas Instruments Incorporated, 2010.
- [20] J. Falin, *Designing DC/DC converters based on SEPIC topology*, Texas: Texas Instruments Incorporated, 2008.
- [21] V. J. Abu, S. Gopinathan and N. Joy, *FUZZY CONTROLLED COMBINED CUK-SEPIC HYBRID DC-DC CONVERTER FOR STANDALONE APPLICATIONS*, India: IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology eISSN: 2319-1163 | pISSN: 2321-7308, 2017.

- [22] P. Melin, *Nature-Inspired Design of Hybrid Intelligent Systems*, Mexico: Springer, 2016.
- [23] X. S. Yang, *Flower pollination algorithm: A novel approach for multiobjective optimization*, Eng. Optim. DOI:10.1080/0305215X.2013.832237, 2013.
- [24] M. Ecker, N. Nieto and e. al, *Calendar Aging of Commercial Graphite/LiFePO₄ cell- Predicting Capacity Fade Under Time Dependent Storage Conditions.*, Journal of Power Sources 255, 450-458, 2014.
- [25] K. O. Vijay, *Comparison between Zeta Converter and Boost Converter using Sliding Mode Controller*, India: International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2016.
- [26] C. INC, *Current Sharing with Power Supplies*, Tualatin, Oregon: ©CUI Inc 2016. All rights reserved. 03/2016, 2016.
- [27] S. Padhee, *Design of photovoltaic MPPT based charger for lead acid batteries*, IEEE, 2016.

LAMPIRAN A

LAMPIRAN A.1 DATA KALIBRASI SENSOR ACS-712 20 A

Tabel Regresi Sensor Arus ACS-712 20 A

Duty Cycle	Kalibrasi Sensor Arus ACS712								Xi Rata-rata	Koreksi	Standar Deviasi
	ADC Sensor			Rata-rata	Arus Referensi	Arus Multimeter					
	1	2	3			1	2	3			
0	2053	2052	2053	2052,667	0	0,1	0	0	0,033333	0,033333	0,004984
50	2092	2091	2092	2091,667	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0	
100	2100	2099	2100	2099,667	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0	
150	2109	2108	2109	2108,667	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0	
200	2116	2115	2116	2115,667	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0	
250	2120	2119	2120	2119,667	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0	
300	2133	2132	2133	2132,667	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	0	
350	2140	2139	2140	2139,667	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0	
400	2158	2157	2158	2157,667	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	0	
450	2164	2163	2164	2163,667	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	
500	2170	2169	2170	2169,667	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	0	
550	2178	2177	2178	2177,667	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	0	
600	2206	2205	2206	2205,667	1,95	1,93	1,96	1,95	1,94	-0,00333	
650	2214	2213	2214	2213,667	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	0	
700	2223	2222	2223	2222,667	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	0	
750	2230	2229	2230	2229,667	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	0	
800	2234	2233	2234	2233,667	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	0	
850	2247	2246	2247	2246,667	2,62	2,62	2,62	2,62	2,62	0	
900	2254	2253	2254	2253,667	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	0	
950	2272	2271	2272	2271,667	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	0	

Tabel Lanjutan Regresi Sensor Arus ACS-712 20 A

Duty Cycle	Kalibrasi Sensor Arus ACS712									Xi Rata-rata	Koreksi
	ADC Sensor			Rata-rata	Arus Referensi	Arus Multimeter					
	1	2	3			1	2	3			
1000	2278	2277	2278	2277,667	3,05	3,05	3,05	3,05	3,05	0	
1050	2284	2283	2284	2283,667	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	0	
1100	2292	2291	2292	2291,667	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	0	
1150	2300	2299	2300	2299,667	3,51	3,51	3,51	3,51	3,51	0	
1200	2309	2308	2309	2308,667	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	0	
1250	2316	2315	2316	2315,667	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	0	
1300	2320	2319	2320	2319,667	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	0	
1350	2333	2332	2333	2332,667	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	0	
1400	2340	2339	2340	2339,667	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	0	
1450	2358	2357	2358	2357,667	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	0	
1500	2364	2363	2364	2363,667	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	0	
1550	2370	2369	2370	2369,667	4,48	4,48	4,48	4,48	4,48	0	
1600	2378	2377	2378	2377,667	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	0	
1650	2406	2405	2406	2405,667	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85	0	
1700	2414	2413	2414	2413,667	5,06	5,04	5,06	5,05	5,05	-0,01	
1750	2423	2422	2423	2422,667	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	0	
1800	2430	2429	2430	2429,667	5,29	5,29	5,29	5,29	5,29	0	
1850	2434	2433	2434	2433,667	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	0	
1900	2447	2446	2447	2446,667	5,52	5,52	5,52	5,52	5,52	0	
1950	2454	2453	2454	2453,667	5,65	5,65	5,65	5,65	5,65	0	
2000	2472	2471	2472	2471,667	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	0	
2050	2478	2477	2478	2477,667	5,95	5,95	5,95	5,95	5,95	0	

Tabel Lanjutan Regresi Sensor Arus ACS-712 20 A

Duty Cycle	Kalibrasi Sensor Arus ACS712								Xi Rata-rata	Koreksi
	ADC Sensor			Rata-rata	Arus Referensi	Arus Multimeter				
	1	2	3			1	2	3		
2100	2484	2483	2484	2483,667	6,03	6,01	6,03	6,02	6,02	-0,01
2150	2492	2491	2492	2491,667	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	0
2200	2520	2519	2520	2519,667	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	0
2250	2528	2527	2528	2527,667	6,61	6,61	6,61	6,61	6,61	0
2300	2537	2536	2537	2536,667	6,73	6,73	6,73	6,73	6,73	0
2350	2544	2543	2544	2543,667	6,84	6,84	6,84	6,84	6,84	0
2400	2548	2547	2548	2547,667	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94	0
2450	2561	2560	2561	2560,667	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	0
2500	2568	2567	2568	2567,667	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	0
2550	2586	2585	2586	2585,667	7,35	7,35	7,35	7,35	7,35	0
2600	2592	2591	2592	2591,667	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	0
2650	2598	2597	2598	2597,667	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	0
2700	2606	2605	2606	2605,667	7,75	7,74	7,75	7,74	7,743333	-0,00667
2750	2634	2633	2634	2633,667	7,95	7,95	7,95	7,95	7,95	0

LAMPIRAN A.2 PERHITUNGAN KETIDAKPASTIAN SENSOR ARUS ACS-712 20 A

Ketidakpastian Kalibrasi	
Simpangan Baku (deviasi standar)	0,004984
$\frac{\text{Ketidakpastian Hasil pengukuran (UA1)} \sigma}{\sqrt{n}}$	0,000666
$\text{Ketidakpastian Pendekatan Regresi (UA2)}$	0,056003
$\text{Ketidakpastian Alat Standar (U2)} = \frac{a}{\sqrt{3}}$	0,005774
a= Uexpand dari kalibrator = 0,01 V	
$\frac{\text{Ketidakpastian Resolusi (U3)} \frac{1}{2} \text{resolusi}}{\sqrt{3}}$	0,002887
Ketidakpastian Catu daya (U4) (1/4 U3)	0,000722
Ketidakpastian Gabungan (Uc)	0,056382
Derajat Kebebasan Efektif (Veff)	9,984056
Faktor Cakupan (K) (95 %)	2,25
Ketidakpastian diperluas (U exp)	0,12686

LAMPIRAN A.3 PERHITUNGAN KETIDAKPASTIAN PENDEKATAN REGRESI SENSOR ACS

Tabel Perhitungan Ketidakpastian Regresi Sensor Arus

No	rata2 pembacaan	Koreksi	xiyi	(xi)^2	(yi-(bxi+a))^2
1	0,033333	0,033333	0,001111	0,001111	0,019535
2	0,4	0	0	0,16	0,01004
3	0,61	0	0	0,3721	0,009337
4	0,73	0	0	0,5329	0,008947
5	0,84	0	0	0,7056	0,008597
6	0,94	0	0	0,8836	0,008285
7	1,07	0	0	1,1449	0,007887
8	1,2	0	0	1,44	0,0075
9	1,35	0	0	1,8225	0,007064
10	1,5	0	0	2,25	0,006642
11	1,58	0	0	2,4964	0,006422
12	1,75	0	0	3,0625	0,005968
13	1,946667	-0,00333	-0,00649	3,789511	0,004981
14	2,16	0	0	4,6656	0,004939
15	2,28	0	0	5,1984	0,004657
16	2,39	0	0	5,7121	0,004405
17	2,49	0	0	6,2001	0,004182
18	2,62	0	0	6,8644	0,003901
19	2,75	0	0	7,5625	0,00363
20	2,9	0	0	8,41	0,003329

b = 3,83506E-05

a = -0,00542607

Ua1= 0,000666077

Ua2= 0,05600272

Tabel Lanjutan Perhitungan Ketidakpastian Regresi Sensor Arus

No	rata2 pembacaan	Koreksi	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i -(b _x i+a)) ²
21	3,05	0	0	9,3025	0,003042
22	3,13	0	0	9,7969	0,002893
23	3,3	0	0	10,89	0,002591
24	3,51	0	0	12,3201	0,00224
25	3,63	0	0	13,1769	0,002051
26	3,74	0	0	13,9876	0,001885
27	3,84	0	0	14,7456	0,001741
28	3,97	0	0	15,7609	0,001561
29	4,1	0	0	16,81	0,001391
30	4,25	0	0	18,0625	0,001208
31	4,4	0	0	19,36	0,001037
32	4,48	0	0	20,0704	0,000951
33	4,65	0	0	21,6225	0,000781
34	4,85	0	0	23,5225	0,000603
35	5,05	-0,01	-0,0505	25,5025	0,000124
36	5,18	0	0	26,8324	0,000359
37	5,29	0	0	27,9841	0,000291
38	5,39	0	0	29,0521	0,000236
39	5,52	0	0	30,4704	0,000173
40	5,65	0	0	31,9225	0,00012
41	5,8	0	0	33,64	7,06E-05
42	5,95	0	0	35,4025	3,42E-05
43	6,02	-0,01	-0,0602	36,2404	2,85E-05
44	6,2	0	0	38,44	2,56E-06

Tabel Lanjutan Perhitungan Ketidakpastian Regresi Sensor Arus

No	rata2 pembacaan	Koreksi	x _i y _i	(x _i) ²	(y _i - (b x _i + a)) ²
45	6,4	0	0	40,96	3,24E-06
46	6,61	0	0	43,6921	2,88E-05
47	6,73	0	0	45,2929	5,49E-05
48	6,84	0	0	46,7856	8,61E-05
49	6,94	0	0	48,1636	0,000121
50	7,07	0	0	49,9849	0,000174
51	7,2	0	0	51,84	0,000237
52	7,35	0	0	54,0225	0,000322
53	7,5	0	0	56,25	0,00042
54	7,58	0	0	57,4564	0,000478
55	7,743333	-0,00667	-	59,95921	0,00098
56	7,95	0	0,05162	63,2025	0,000792
Σ	228,4033	0,003333	-0,1677	1215,799	0,16936

LAMPIRAN B
DATA HISTERESIS SENSOR ACS-712 20 A

Tabel Data Histeresis Pengujian Sensor Arus ACS-712 20 A

Arus Input Sensor	Tegangan Output Sensor								Tegangan rata-rata Output Sensor	Selisih Uji Naik dan Turun
	Uji Naik			Rata-rata	Uji Turun			Rata-rata		
	1	2	3		1	2	3			
0	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	0
0,1	1,642	1,642	1,642	1,642	1,642	1,642	1,642	1,642	1,642	0
0,2	1,648	1,649	1,65	1,649	1,646	1,646	1,646	1,646	1,6475	-0,003
0,3	1,656	1,656	1,656	1,656	1,655	1,654	1,654	1,654333	1,655167	-0,00167
0,4	1,662	1,662	1,662	1,662	1,661	1,661	1,661	1,661	1,6615	-0,001
0,5	1,667	1,667	1,667	1,667	1,667	1,667	1,667	1,667	1,667	0
0,6	1,672	1,672	1,672	1,672	1,673	1,673	1,673	1,673	1,6725	0,001
0,7	1,68	1,681	1,681	1,680667	1,681	1,681	1,681	1,681	1,680833	0,000333
0,8	1,689	1,689	1,689	1,689	1,689	1,689	1,689	1,689	1,689	0
0,9	1,695	1,695	1,695	1,695	1,693	1,693	1,693	1,693	1,694	-0,002
1	1,698	1,699	1,698	1,698333	1,699	1,699	1,699	1,699	1,698667	0,000667
1,1	1,702	1,703	1,703	1,702667	1,704	1,705	1,705	1,704667	1,703667	0,002
1,2	1,712	1,712	1,712	1,712	1,708	1,708	1,708	1,708	1,71	-0,004
1,3	1,717	1,717	1,717	1,717	1,715	1,715	1,715	1,715	1,716	-0,002
1,4	1,721	1,721	1,721	1,721	1,721	1,721	1,721	1,721	1,721	0
1,5	1,727	1,726	1,727	1,726667	1,729	1,729	1,729	1,729	1,727833	0,002333

LAMPIRAN C

LAMPIRAN C.1 DATA KALIBRASI SENSOR TEGANGAN

Tabel Regresi Sensor Tegangan

Duty Cycle	Kalibrasi Sensor Voltage Divider									Xi Rata-rata	Koreksi	Standar Deviasi
	ADC Sensor			Rata-rata	Tegangan Referensi	Tegangan Multimeter						
	1	2	3			1	2	3				
0	1527,4	1527,3	1527,9	1527,533	0	0	0,1	0,1	0,066667	0,066667	0,01490712	
50	1557,4	1557,5	1558,2	1557,7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0		
100	1575,3	1575,5	1574,8	1575,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	0		
150	1584,3	1585,3	1585,6	1585,067	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	0		
200	1599,5	1598,6	1589,7	1595,933	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	0		
250	1607,4	1607,7	1607,4	1607,5	3,9	3,8	3,9	3,9	3,866667	-0,03333		
300	1614,9	1615,4	1614,3	1614,867	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	0		
350	1624,6	1624,5	1624,6	1624,567	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	0		
400	1636,5	1636,9	1636,4	1636,6	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	0		
450	1648	1646,4	1645,9	1646,767	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	0		
500	1662,5	1661,8	1662,7	1662,333	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	0		
550	1673,4	1672,6	1671,6	1672,533	7	7	7	7	7	0		
600	1685,2	1684,3	1685,5	1685	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	0		
650	1697,1	1699,4	1698,3	1698,267	8,3	8,2	8,3	8,3	8,266667	-0,03333		
700	1709,4	1710,8	1708,9	1709,7	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	0		
750	1725,8	1726,3	1726,7	1726,267	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	0		
800	1737,4	1738,4	1739,2	1738,333	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	0		
850	1750,8	1750,2	1748,1	1749,7	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	0		
900	1761,7	1764,5	1763,8	1763,333	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	0		
950	1775,1	1778,2	1777,9	1777,067	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	0		

Tabel Lanjutan Regresi Kalibrasi Sensor Tegangan

Duty Cycle	Kalibrasi Sensor Voltage Divider									Xi Rata-rata	Koreksi
	ADC Sensor			Rata-rata	Tegangan Regulator	Tegangan Multimeter					
	1	2	3			1	2	3			
1000	1791	1792,2	1790,7	1791,3	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	0	
1050	1805,9	1806,1	1805,2	1805,733	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	0	
1100	1818,2	1816,8	1817,6	1817,533	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	0	
1150	1831,9	1832,5	1832,8	1832,4	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	0	
1200	1843,3	1844,6	1842,6	1843,5	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	0	
1250	1859,1	1858,8	1859,1	1859	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	0	
1300	1870,2	1869,8	1869,1	1869,7	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	0	
1350	1881,1	1879,1	1880,5	1880,233	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	0	
1400	1894,5	1894,8	1895,2	1894,833	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	0	
1450	1902,8	1902,9	1902,4	1902,7	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	0	
1500	1919,4	1918,5	1918,2	1918,7	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	0	

LAMPIRAN C.2 PERHITUNGAN KETIDAKPASTIAN KALIBRASI SENSOR TEGANGAN

Ketidakpastian Kalibrasi	
Simpangan Baku (deviasi standar)	0,014907
Ketidakpastian Hasil pengukuran (UA1) $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	0,003849
Ketidakpastian Pendekatan Regresi (UA2)	0,115083
Ketidakpastian Alat Standar (U2) = a	0,005774
$a = U_{\text{expand}} \text{ dari kalibrator} = 0,01 \text{ V}$ $\frac{1}{\sqrt{3}}$	
Ketidakpastian Resolusi (U3) $\frac{1/2 \text{ resolusi}}{\sqrt{3}}$	0,002887
Ketidakpastian Catu daya (U4) (1/4 U3)	0,000722
Ketidakpastian Gabungan (Uc)	0,11533
Derajat Kebebasan Efektif (Veff)	26,48403
Faktor Cakupan (K) (95 %)	2,058
Ketidakpastian diperluas (U exp)	0,237349

LAMPIRAN C.3 PERHITUNGAN KETIDAKPASTIAN PENDEKATAN REGRESI SENSOR TEGANGAN

Tabel Perhitungan Ketidakpastian Regresi Sensor Tegangan

No	rata2 pembacaan	Koreksi	xiyi	(xi) ²	(yi- (bxi+a)) ²
1	0,066667	0,066666667	0,004444	0,004444	0,029767751
2	0,1	0	0	0,01	0,01108809
3	2,3	0	0	5,29	0,00461041
4	2,9	0	0	8,41	0,00332929
5	3,4	0	0	11,56	0,00242064
6	3,866667	-0,033333333	-0,12889	14,95111	6,29378E-05
7	4,2	0	0	17,64	0,00126736
8	4,6	0	0	21,16	0,00082944
9	5,2	0	0	27,04	0,00034596
10	5,8	0	0	33,64	7,056E-05
11	6,4	0	0	40,96	3,24E-06
12	7	0	0	49	0,000144
13	7,6	0	0	57,76	0,00049284
14	8,266667	-0,033333333	-0,27556	68,33778	0,004471151

$$b = 3,45219E-05$$

$$a = -0,01026336$$

$$Ua1 = 0,003849002$$

$$Ua2 = 0,115082518$$

Tabel Lanjutan Perhitungan Ketidakpastian Regresi Sensor Tegangan

No	rata2 pembacaan	Koreksi	xiyi	(xi)^2	(yi-(bxi+a))^2
16	9,5	0	0	90,25	0,00297025
17	10,1	0	0	102,01	0,004186
18	10,8	0	0	116,64	0,005868
19	11,4	0	0	129,96	0,007534
20	12,1	0	0	146,41	0,009742
21	12,7	0	0	161,29	0,011859
22	13,3	0	0	176,89	0,014185
23	13,9	0	0	193,21	0,016718
24	14,5	0	0	210,25	0,01946
25	15,2	0	0	231,04	0,022922
26	15,8	0	0	249,64	0,026115
27	16,4	0	0	268,96	0,029515
28	16,9	0	0	285,61	0,032508
29	17,5	0	0	306,25	0,03629
30	18,1	0	0	327,61	0,04028
31	18,5	0	0	342,25	0,043056
Σ	297,3	2,36E-16	-0,4	3773,243	0,384076

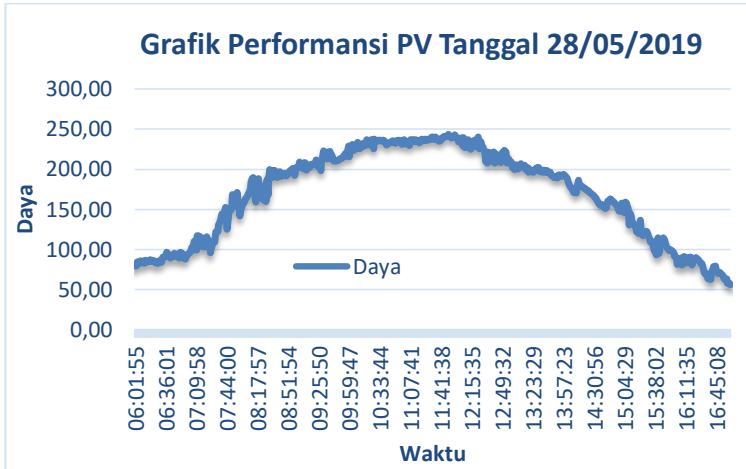
LAMPIRAN D.

DATA HISTERESIS SENSOR TEGANGAN

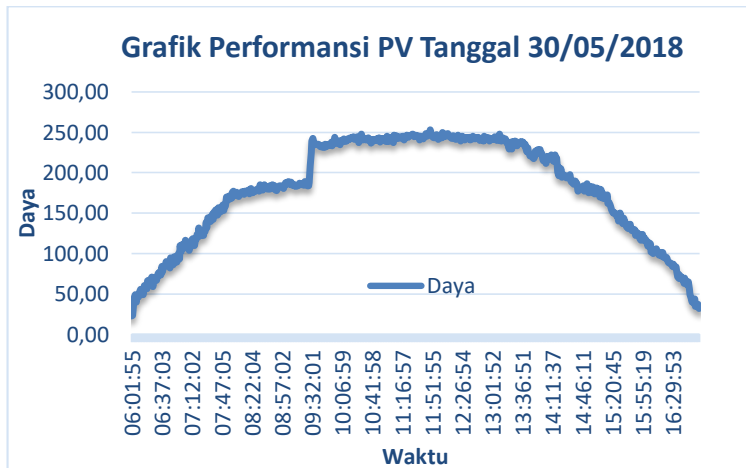
Tabel Data Histeresis Pengujian Sensor Tegangan

Tegangan Input Sensor	Tegangan Output Sensor								Tegangan rata-rata Output	Selisih Uji Naik dan Uji
	Uji Naik			Rata-rata	Uji Turun			Rata-rata		
	1	2	3		1	2	3			
0	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,043	0,042333	0,042167	0,000333
0,5	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,046	0,045	0,045333	0,045167	0,000333
1	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,075	0,076	0,075667	0,073333	0,004667
1,5	0,129	0,129	0,129	0,129	0,126	0,126	0,126	0,126	0,1275	-0,003
2	0,202	0,202	0,202	0,202	0,203	0,203	0,203	0,203	0,2025	0,001
2,5	0,269	0,269	0,269	0,269	0,26	0,26	0,261	0,260333	0,264667	-0,00867
3	0,332	0,332	0,332	0,332	0,373	0,374	0,375	0,374	0,353	0,042
3,5	0,442	0,442	0,442	0,442	0,419	0,422	0,422	0,421	0,4315	-0,021
4	0,497	0,497	0,497	0,497	0,488	0,496	0,496	0,493333	0,495167	-0,00367
4,5	0,559	0,559	0,559	0,559	0,578	0,58	0,58	0,579333	0,569167	0,020333
5	0,639	0,639	0,639	0,639	0,567	0,57	0,57	0,569	0,604	-0,07
5,5	0,704	0,704	0,704	0,704	0,704	0,705	0,705	0,704667	0,704333	0,000667
6	0,832	0,832	0,832	0,832	0,774	0,774	0,774	0,774	0,803	-0,058
6,5	0,872	0,871	0,87	0,871	0,857	0,856	0,856	0,856333	0,863667	-0,01467
7	0,94	0,94	0,94	0,94	0,862	0,862	0,862	0,862	0,901	-0,078
7,5	1,011	1,011	1,011	1,011	1,006	1,006	1,006	1,006	1,0085	-0,005
8	1,089	1,089	1,089	1,089	1,106	1,106	1,106	1,106	1,0975	0,017
8,5	1,163	1,163	1,163	1,163	1,175	1,175	1,175	1,175	1,169	0,012
9	1,25	1,25	1,25	1,25	1,232	1,232	1,232	1,232	1,241	-0,018
9,5	1,284	1,283	1,282	1,283	1,274	1,274	1,274	1,274	1,2785	-0,009
10	1,315	1,315	1,315	1,315	1,312	1,312	1,312	1,312	1,3135	-0,003

LAMPIRAN E.
GRAFIK PERFORMANSI PV



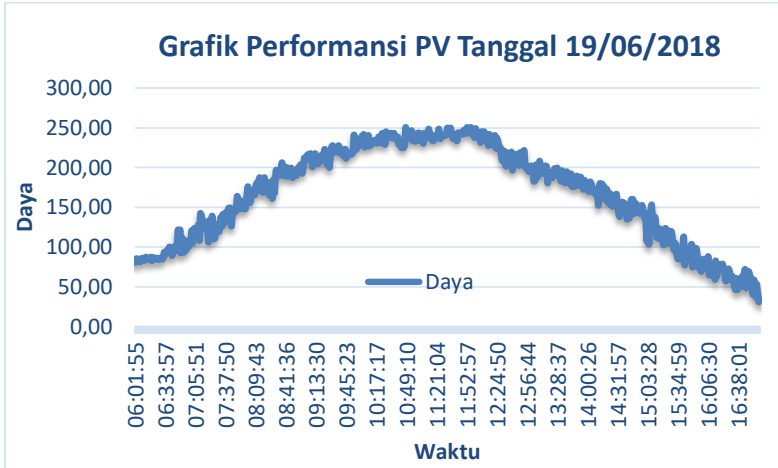
Gambar 1. Grafik Performansi PV Tanggal 28/05/2019



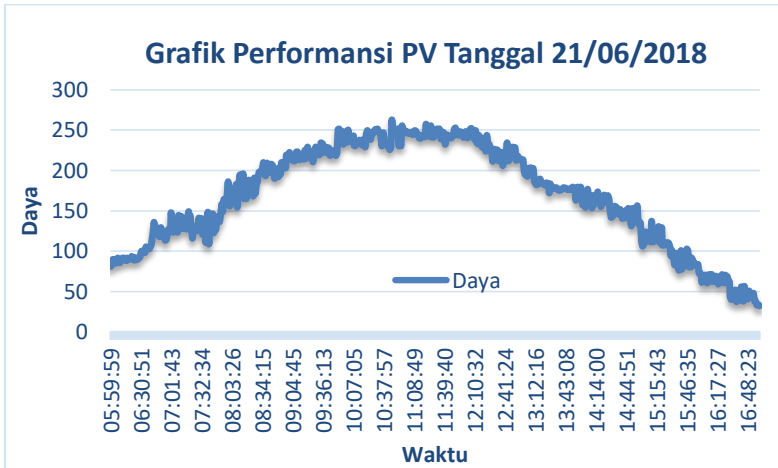
Gambar 2. Grafik Performansi PV Tanggal 30/05/2019

LAMPIRAN E.

LANJUTAN GRAFIK PERFORMANSI PV



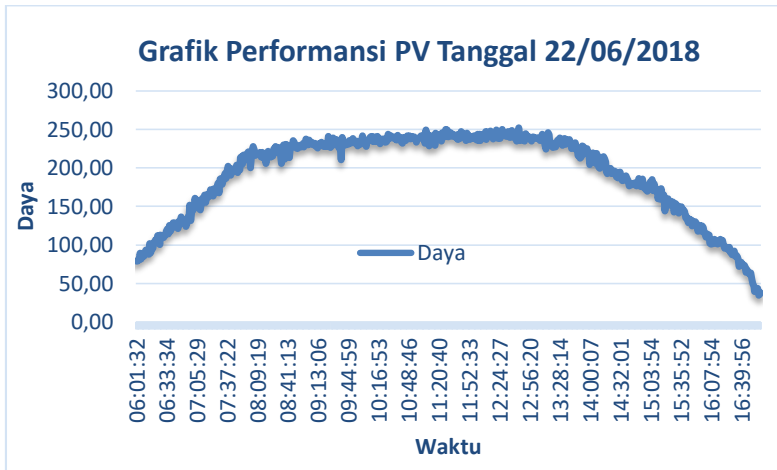
Gambar 3. Grafik Performansi PV Tanggal 19/06/2019



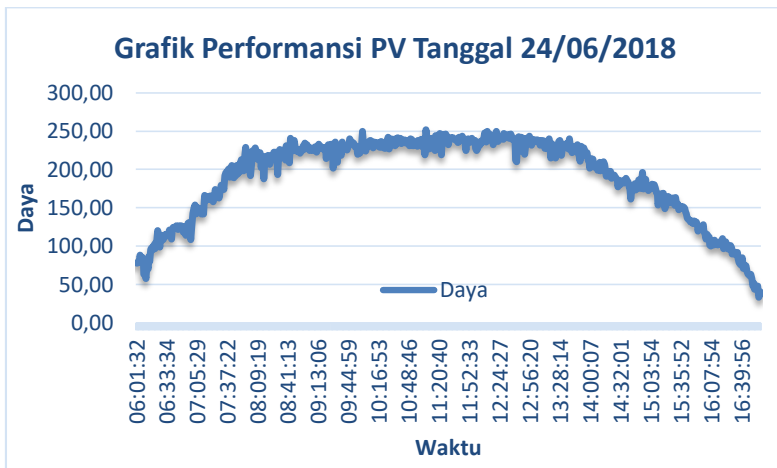
Gambar 4. Grafik Performansi PV Tanggal 21/06/2019

LAMPIRAN E.

LANJUTAN GRAFIK PERFORMANSI PV



Gambar 5. Grafik Performansi PV Tanggal 22/06/2019



Gambar 6. Grafik Performansi PV Tanggal 24/06/20

LAMPIRAN F.
SYNTAX CODE MIKROKONTROLER

```
#include "main.h"

/* Private includes -----
-----*/
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include "lcd_character.h"
/* USER CODE END Includes */

/* Private typedef -----
-----*/
/* USER CODE BEGIN PTD */

#define maxdata 100
__IO uint16_t Nilai_ADC[6];

float VSum1, ADCVin1[100], ADCV1, Voltase1, ISum1,
ADCIin1[100], ADCI1, Arus1,Daya1;
float VSum2, ADCVin2[100], ADCV2, Voltase2, ISum2,
ADCIin2[100], ADCI2, Arus2,Daya2;
float VSum3, ADCVin3[100], ADCV3, Voltase3, ISum3,
ADCIin3[100], ADCI3, Arus3,Daya3,setup;
int r,duty=0,kl;
char buff[50], buff1[50],buff2[50],buff3[50],buff4[50];

int dc;
float
pv,sp,error,del,ers,err1,hasil,hasil2,defuzzy,a,b,c,d,e,f,g,h,
io,j,tbs,tb,t,bs,k,kb,kbs;
float
NB,N,Z,P,PB,DNB,DN,DPAS,DP,DPB,r1,r2,r3,r4,r5,r6,r
```



```
7,r8,r9,r10,r11,r12,r13,r14,r15,r16,r17,r18,r19,r20,r21,r22
,r23,r24,r25;
```

```
float a1,a2,a3,a4,a5,b1,b2,b3,b4,b5,hasil1,mm,nn,bb,vv;
```

```
/* USER CODE END PTD */
```

```
/* Private define -----
-----*/
```

```
/* USER CODE BEGIN PD */
```

```
/* USER CODE END PD */
```

```
/* Private macro -----
-----*/
```

```
/* USER CODE BEGIN PM */
```

```
/* USER CODE END PM */
```

```
/* Private variables -----
-----*/
```

```
ADC_HandleTypeDef hadc1;
```

```
DMA_HandleTypeDef hdma_adc1;
```

```
TIM_HandleTypeDef htim1;
```

```
TIM_HandleTypeDef htim2;
```

```
TIM_HandleTypeDef htim4;
```

```
/* USER CODE BEGIN PV */
```

```
/* USER CODE END PV */
```

```
/* Private function prototypes -----
-----*/
```

```

void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_DMA_Init(void);
static void MX_ADC1_Init(void);
static void MX_TIM1_Init(void);
static void MX_TIM2_Init(void);
static void MX_TIM4_Init(void);
/* USER CODE BEGIN PFP */

/* USER CODE END PFP */

/* Private user code -----
-----*/
/* USER CODE BEGIN 0 */
void
HAL_TIM_PeriodElapsedCallback(TIM_HandleTypeDef
f *htim)
    {

                                if(htim-
>Instance==TIM2)
                                {

VSum1 -= ADCVin1[r];
VSum2 -= ADCVin2[r];
VSum3 -= ADCVin3[r];
ISum3 -= ADCIn3[r];
ISum2 -= ADCIn2[r];
ISum1 -= ADCIn1[r];

//

ADCVin1[r] =Nilai_ADC[0];
ADCVin2[r] =Nilai_ADC[1];

```

```

ADCVin3[r] =Nilai_ADC[4];
ADCIn3[r] = Nilai_ADC[2];
ADCIn2[r] = Nilai_ADC[3];
ADCIn1[r] = Nilai_ADC[5];

//

VSum1 += ADCVin1[r];
VSum2 += ADCVin2[r];
VSum3 += ADCVin3[r];
ISum3 += ADCIn3[r];
ISum2 += ADCIn2[r];
ISum1 += ADCIn1[r];

//
//

ADCV1 = VSum1/maxdata; //v3
ADCV2 = VSum2/maxdata; //v3
ADCV3 = VSum3/maxdata; //v3
ADCI3 = ISum3/maxdata; //i3
ADCI2 = ISum2/maxdata; //i2
ADCI1 = ISum1/maxdata; //1

//

Voltase1 = 0.0047*ADCV1 + 0.1206; //
Voltase2 = 0.0048*ADCV2 + 0.1335; //
Voltase3 = 0.0483*ADCV3 - 73.691; //
Arus3= (0.0129*ADCI3) - 25.305; // 0,0129x - 25,305
Arus2= (0.013*ADCI2) - 25.715; //0,013x - 25,715
Arus1= (0,0141*ADCI1) - 28,906; //y =y = 0,0097x -
19,14
//
r++;
if (r>=maxdata)
{

```

```

        r=0;

    }

        }

        if(htim->Instance==TIM4)
        {
            //
            //////////////////////////////////////SINGLETON////////////////////////////////////
        ///

floatkbs=0.25,kb=0.265,k=0.28,bs=0.32,t=0.35,tb=0,tbs=
0;
//////////////////////////////////// SET POINT //////////////////////////////////////
sp=13.0;
//////////////////////////////////// MEMBERSHIP FUNCTION ERROR
////////////////////////////////////
a=(-0.97);b=(-0.5);c=-0.02;d=0.5;e=1.17;

//////////////////////////////////// MEMBERSHIP FUNCTION DELTA
ERROR //////////////////////////////////////
f=(-0.65);g=(0.25);h=0.05;io=0.28;j=0.53;
//////////////////////////////////// PRESENT VALUE //////////////////////////////////////
pv=Voltage1;
//////////////////////////////////// ERROR //////////////////////////////////////
error=sp-pv;
//////////////////////////////////// DELTA ERROR //////////////////////////////////////
err1=error;
del=err1-ers;
ers=err1;
//////////////////////////////////// MEMBERSHIP FUNCTIONS ERROR
////////////////////////////////////

```

```
if (error<a)
{
NB=1;
N=Z=P=PB=0;
}
else if (error>=a && error<b)
{
NB=(b-error)/(b-a);
N=(error-a)/(b-a);
Z=P=PB=0;
}
else if (error>=b && error<c)
{
N=(c-error)/(c-b);
Z=(error-b)/(c-b);
NB=P=PB=0;
}
else if (error>=c && error<d)
{
Z=(d-error)/(d-c);
P=(error-c)/(d-c);
NB=N=PB=0;
}
else if (error>=d && error<e)
{
P=(e-error)/(e-d);
PB=(error-d)/(e-d);
NB=N=Z=0;
}
else if (error>=e)
{
PB=1;
NB=N=Z=P=0;
}
```

```

//
////////// MEMBERSHIP FUNCTIONS DELTA
ERROR //////////
if (del<f)
{
DNB=1;
DPB=DP=DPAS=DN=0;
}
else if (del>=f && del<g)
{
DNB=(g-del)/(g-f);
DN=(del-f)/(g-f);
DP=DPAS=DPB=0;
}
else if (del>=g && del<h)
{
DN=(h-del)/(h-g);
DPAS=(del-g)/(h-g);
DP=DNB=DPB=0;
}
else if (del>=h && del<io)
{
DPAS=(io-del)/(io-h);
DP=(del-h)/(io-h);
DNB=DN=DPB=0;
}
else if (del>=io && del<j)
{
DP=(j-del)/(j-io);
DPB=(del-io)/(j-io);
DNB=DPAS=DN=0;
}
else if (del>=j)
{

```

```

DPB=1;
DP=DPAS=DN=DNB=0;
}

```

```

////////////////////// INFERENCE ////////////////////////

```

```

if (NB<DNB)r1=NB;
else r1=DNB;
if (N<DNB)r2=N;
else r2=DNB;
if (Z<DNB)r3=Z;
else r3=DNB;
if (P<DNB)r4=P;
else r4=DNB;
if (PB<DNB)r5=PB;
else r5=DNB;

```

```

if (NB<DN)r6=NB;
else r6=DN;
if (N<DN)r7=N;
else r7=DN;
if (Z<DN)r8=Z;
else r8=DN;
if (P<DN)r9=P;
else r9=DN;
if (PB<DN)r10=PB;
else r10=DN;

```

```

if (NB<DPAS)r11=NB;
else r11=DPAS;
if (N<DPAS)r12=N;
else r12=DPAS;
if (Z<DPAS)r13=Z;
else r13=DPAS;
if (P<DPAS)r14=P;

```

```

else r14=DPAS;
if (PB<DPAS)r15=PB;
else r15=DPAS;

```

```

if (NB<DP)r16=NB;
else r16=DP;
if (N<DP)r17=N;
else r17=DP;
if (Z<DP)r18=Z;
else r18=DP;
if (P<DP)r19=P;
else r19=DP;
if (PB<DP)r20=PB;
else r20=DP;

```

```

if (NB<DPB)r21=NB;
else r21=DPB;
if (N<DPB)r22=N;
else r22=DPB;
if (Z<DPB)r23=Z;
else r23=DPB;
if (P<DPB)r24=P;
else r24=DPB;
if (PB<DPB)r25=PB;
else r25=DPB;

```

////////// DEFUZZIFICATIONS WEIGHTED
AVERAGE METODE ////////////

```

a1=(r1*kbs)+(r2*kb)+(r3*k)+(r4*t)+(r5*tb);
a2=(r6*kb)+(r7*k)+(r8*k)+(r9*t)+(r10*tb);
a3=(r11*kb)+(r12*k)+(r13*bs)+(r14*t)+(r15*tb);
a4=(r16*tb)+(r17*t)+(r18*t)+(r19*k)+(r20*kb);
a5=(r21*tb)+(r22*t)+(r23*k)+(r24*kb)+(r25*kbs);
hasil1=(a1+a2+a3+a4+a5);

```



```

b1=(r1+r2+r3+r4+r5+r6+r7+r8+r9);
b2=(r10+r11+r12+r13+r14+r15+r16+r17);
b3=(r18+r19+r20+r21+r22+r23+r24+r25);
hasil2=(b1+b2+b3+b4+b5);
hasil=hasil1/hasil2;
defuzzy = defuzzy + hasil;
    //
    ////////////////////////////////// DUTY  CYCLE  LIMIT
////////////////////////////////////
if(defuzzy>1400)
defuzzy=1400;
else if(defuzzy<0)
defuzzy=0;

setp=15.2 - Voltase3;

    if (Voltase2 <=setp)
    {
        duty=duty+1;
    }

    else if (Voltase2 >= setp)
    {
        duty=duty-1;
    }
    else if ((Voltase2 == 0) && (Voltase2 <=
1))
    {
        duty=50;
    }

    if (duty >= 1639)
    {

```

```

        duty=1639;
    }

    else if (duty <= 0)
    {
        duty=0;
    }

    TIM1->CCR1=duty; // sepic
    TIM1->CCR2=defuzzy; // zeta
}

}

/* USER CODE END 0 */

/**
 * @brief The application entry point.
 * @retval int
 */
int main(void)
{
    /* USER CODE BEGIN 1 */

    /* USER CODE END 1 */

    /* MCU Configuration-----
    -----*/

    /* Reset of all peripherals, Initializes the Flash interface
    and the Systick. */
    HAL_Init();

```

```

/* USER CODE BEGIN Init */
/* USER CODE END Init */

/* Configure the system clock */
SystemClock_Config();

/* USER CODE BEGIN SysInit */

/* USER CODE END SysInit */

/* Initialize all configured peripherals */
MX_GPIO_Init();
MX_DMA_Init();
MX_ADC1_Init();
MX_TIM1_Init();
MX_TIM2_Init();
MX_TIM4_Init();
/* USER CODE BEGIN 2 */
    HAL_ADC_Start_DMA(&hadc1,    (uint32_t*)
&Nilai_ADC, 6);
HAL_TIM_Base_Start(&htim1);
HAL_TIM_PWM_Start(&htim1, TIM_CHANNEL_1);
HAL_TIM_PWM_Start(&htim1, TIM_CHANNEL_2);
HAL_TIM_Base_Start(&htim2);
HAL_TIM_Base_Start_IT(&htim2);
HAL_TIM_Base_Start(&htim4);
HAL_TIM_Base_Start_IT(&htim4);
lcd_init();
//    HAL_ADC_Start(&hadc1);

//lcd_gotoxy(0,0);
//lcd_puts("lab_fa");

```

```

/* USER CODE END 2 */

/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1)
{
  /* USER CODE END WHILE */

  /* USER CODE BEGIN 3 */

kl=2;

  sprintf(buff1,"Vo=%2.2f  ", Voltase1);
  lcd_gotoxy(0,0);
  lcd_puts(buff1);

  sprintf(buff2,"VGrid=%2.1f  ", Voltase2);
  lcd_gotoxy(20,0);
  lcd_puts(buff2);

  sprintf(buff3,"IGrid=%2.2f  ", Arus3);
  lcd_gotoxy(29,0);
  lcd_puts(buff3);

  sprintf(buff4,"Io=%2.1f  ", Arus2);
  lcd_gotoxy(9,0);
  lcd_puts(buff4);

  sprintf(buff,"VPV=%0.1f ", Voltase3);
  lcd_gotoxy(0,1);
  lcd_puts(buff);

  sprintf(buff,"IPV=%0.1f ", Arus1);

```

```
lcd_gotoxy(11,1);  
lcd_puts(buff);
```

```
HAL_Delay(1000);
```

```
    }  
    /* USER CODE END 3 */  
}
```

```
/**  
 * @brief System Clock Configuration  
 * @retval None  
 */
```

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Kevin Gica Erwandha, dilahirkan pada tanggal 22 Juni 1997. Pada saat ini penulis bertempat tinggal di Vila Valensia CA3 No. 3, Kecamatan Sambikerep, RT 1 RW 15, Surabaya. Pada tahun 2009, penulis telah menyelesaikan pendidikan sekolah dasar selama 6 tahun di SDN Kaliasin 3 Surabaya, pada tahun 2012 penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah pertama di SMP Negeri 6 Surabaya selama 3 tahun, pada tahun 2015 penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah akhir di SMA Negeri 2 Surabaya selama 3 tahun. Pada tahun 2019 ini, penulis telah menyelesaikan pendidikan S1 Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Penulis dapat dihubungi melalui alamat email : kevingicaerwandha22@gmail.com.