



TUGAS AKHIR TF 181801

**IMPLEMENTASI *CHARGING DAN SWITCHING*
BATERAI BERBASIS PENGENDALIAN LOGIKA
FUZZY PADA *BUCK CONVERTER*
MENGUNAKAN *CYBER PHYSICS SYSTEM***

Radian Indra Mukromin
NRP. 02311745000050

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT TF 181801

***IMPLEMENTATION BATTERY CHARGING
AND SWITCHING BASED ON FUZZY LOGIC
CONTROL ON BUCK CONVERTER
USING CYBER PHYSICS SYSTEM***

Radian Indra Mukromin
NRP. 02311745000050

Supervisor
Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc

ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Radian Indra Mukromin
NRP : 02311745000050
Departemen/Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul
**“IMPLEMENTASI *CHARGING* DAN *SWITCHING*
BATERAI BERBASIS PENGENDALIAN LOGIKA
FUZZY PADA *BUCK CONVERTER* MENGGUNAKAN
CYBER PHYSICS SYSTEM”** adalah benar karya saya sendiri
dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila dikemudian
hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya
bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 25 Juli 2019
Yang membuat pernyataan,



Radian Indra Mukromin
NRP. 02311745000050

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

IMPLEMENTASI *CHARGING* DAN *SWITCHING* BATERAI BERBASIS PENGENDALIAN LOGIKA *FUZZY* PADA *BUCK CONVERTER* MENGUNAKAN *CYBER PHYSICS SYSTEM*

TUGAS AKHIR

Oleh :

Radian Indra Mukromin
NRP. 02311745000050

Surabaya, 25 Juli 2019
Mengetahui/Menyetujui

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc
NIP. 19600901 198701 1001

Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS



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

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PERSETUJUAN



IMPLEMENTASI *CHARGING* DAN *SWITCHING* BATERAI BERBASIS PENGENDALIAN LOGIKA *FUZZY* PADA *BUCK CONVERTER* MENGUNAKAN *CYBER PHYSICS SYSTEM*

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

Radian Indra Mukromin
NRP. 02311745000050

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc (Pembimbing)
2. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, Mkes  (Ketua Penguji)
3. Dr. Imam Abadi, ST, MT.  (Penguji)

SURABAYA,
JULI 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

**IMPLEMENTASI *CHARGING* DAN *SWITCHING*
BATERAI BERBASIS PENGENDALIAN LOGIKA
FUZZY PADA *BUCK CONVERTER*
MENGUNAKAN *CYBER PHYSICS SYSTEM***

Nama : Radian Indra Mukromin
NRP : 02311745000050
Departemen : Teknik Fisika
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc

ABSTRAK

Komponen *buck converter* menjadikan tegangan masukan menjadi lebih kecil. Penelitian bertujuan mendapatkan hasil tanggapan sistem pengendalian logika *fuzzy* untuk *charging* masukan panel surya dan hasil tanggapan *switching* baterai menggunakan *cyber physics system*. *setpoint buck converter* berupa tegangan sebesar 15,60 Volt. Masukan kendali logika *fuzzy* berupa *error* dan v_{in} . Keluaran elemen kendali berupa sinyal *pulse width modulation* simulasi dan perhitungan dengan rata rata *error* sebesar 0,074 %. Hasil uji performansi *sampling* data sebesar 1 menit diperoleh karakteristik respon *peak* sebesar 15,82 Volt, *max overshoot* sebesar 1,15 %, *time peak* 46 menit, *rise time* sebesar 11 menit, *settling time* sebesar 55 menit, dan *performance switching* sesuai pada *setpoint* kapasitas baterai 100 % *relay* akan memutus *charging*. Waktu yang dibutuhkan 3 jam untuk *charging* dengan arus masukan sebesar 1,3 Ampere pada saat kapasitas baterai 1 dan 2 sebesar 50 %. Hasil pengukuran ketidakpastian U_{AI} untuk kontrol tegangan keluaran *buck converter* 15,582 \pm 0,0084 Volt, arus keluaran *buck converter* sebesar 1,170 \pm 0,015 Ampere, dan *power* keluaran *buck converter* 18,230 \pm 0,232 Watt.

Kata kunci : *Buck Converter*, Pengendali Logika *Fuzzy*, *Switching*, *Charging*, *CPS (Cyber Physics System)*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

**IMPLEMENTATION BATTERY CHARGING AND
SWITCHING BASED ON FUZZY LOGIC CONTROL ON
BUCK CONVERTER
USING CYBER PHYSICS SYSTEM**

Name : Radian Indra Mukromin
NRP : 02311745000050
Department : Engineering Physics
Supervisor I : Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc

ABSTRACT

Buck converter component makes the input voltage small. The purpose of the research is to get the results of the response of the fuzzy logic control system to charge solar panel input and the results of the battery Switching responses using cyber physics system. The buck converter setpoint is a voltage of 15,60 Volt. Input of fuzzy logic control in the form of error and v_{in} . The output of the control element is a pulse width modulation signal simulation and calculation with an average error of 0,074 %. The 1 minute data sampling performance test results get response characteristics peak of 15,82 Volts, max overshoot of 1,15 %, 46 minutes time peak, rise time of 11 minutes, settling time of 55 minutes, and switching performance according to setpoint of 100 % battery capacity relay will disconnect charging. The time needed is 3 hours for charging with an input current of 1.3 Amps when the battery capacity is 1 and 2 by 50 %. The results of UA1 uncertainty measurement for buck converter kelle control $15,582 \pm 0,0084$ Volt, buck converter flow current of $1,170 \pm 0,015$ Ampere, and buck converter power kel $18,230 \pm 0,232$ Watt.

Keyword: *Buck Converter, Fuzzy Logic Controller, Switching, Charging, CPS (Cyber Physics System).*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah atas berkah dan rahmat yang diberikan Allah SWT, karena atas petunjuk, karunia, dan ridlo-NYA penulis mampu untuk melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir dengan judul:

“IMPLEMENTASI *CHARGING* DAN *SWITCHING* BATERAI BERBASIS PENGENDALIAN LOGIKA *FUZZY* PADA *BUCK CONVERTER* MENGUNAKAN *CYBER PHYSICS SYSTEM*”

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan bagi seorang mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama pengerjaan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan memberikan ilmu serta masukan kepada penulis.
3. Ibu Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, Mkes selaku ketua penguji yang telah memberikan ilmu serta masukan kepada penulis.
4. Bapak Dr. Imam Abadi, ST, MT. selaku penguji yang telah memberikan ilmu serta masukan kepada penulis.
5. Bapak Dr.Ir. Totok Soehartanto, DEA. selaku dosen wali penulis.
6. Orang tua saya serta kakak saya, yang selalu memberikan motivasi dan selalu mendoakan saya.

7. Kepada Team CPS (*cyber physic system*), khususnya Muhammad Khamim Asy'ari dan Ahmad Haqqi Dudayef yang membantu proses pembuatan tugas akhir penulis.
8. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu proses pembuatan tugas akhir penulis.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidaklah sempurna, tetapi penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan dapat menambah wawasan bagi pembaca dan mahasiswa yang nanti dapat digunakan sebagai referensi pengerjaan tugas akhir baru. Semoga awal dari permulaan yang panjang ini dapat membawa manfaat dan hikmah bagi kita semua.

Surabaya, 25 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR SIMBOL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Panel surya.....	5
2.2 Buck Converter.....	6
2.3 Adjustable Voltage.....	10
2.4 Baterai.....	10
2.5 Charging Mode.....	12
2.6 Kontrol Fuzzy.....	13
2.7 Cyber Physical System (CPS).....	15
2.8 Karakteristik Statik Sensor.....	16
2.9 Modul Sensor INA 219.....	18
2.10 Modul Voltage Sensor.....	18
2.11 Mikrokontroler Arduino.....	19
2.12 Analisa Regresi.....	20
2.13 Ketidakpastian Pengukuran.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Pengambilan Data Sekunder.....	24
3.2 Pengambilan Data Primer.....	24
3.3 Perhitungan Analisa Regresi.....	24

3.4	Simulasi DC-DC Buck Converter.....	26
3.5	Simulasi Perancangan LM317.....	28
3.6	Simulasi Perancangan Logika Fuzzy.....	28
3.7	Pengujian Sensor Tegangan dan Arus.....	32
3.8	Kalibrasi Sensor Tegangan dan Arus.....	32
3.9	Pembuatan Hardware DC-DC Buck Converter.....	33
3.10	Pengujian Sistem Pengendalian Charging.....	35
3.11	Pengujian Sistem Pengendalian Switching Baterai saat Charging.....	35
3.12	Integrasi dengan Cyber Physical System (CPS).....	36
3.13	Perhitungan Ketidakpastian U_{A1} Variabel Keluaran Buck Converter.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		39
4.1	Hasil Pengambilan Data Sekunder.....	39
4.2	Hasil Pengambilan Data Primer.....	39
4.3	Hasil Analisa Regresi.....	46
4.4	Hasil Simulasi <i>DC-DC</i> Buck Converter.....	46
4.5	Hasil Simulasi LM317.....	48
4.6	Hasil Simulasi Perancangan Logika Fuzzy.....	48
4.7	Hasil Pengujian Sensor Tegangan dan Arus.....	52
4.8	Hasil Kalibrasi Sensor Tegangan dan Arus.....	54
4.9	Hasil Karakterisasi Rancang Bangun Buck Converter.....	55
4.10	Hasil Pengujian Sistem Pengendalian Charging.....	56
4.11	Hasil Pengujian Sistem Pengendalian Switching Baterai saat Charging.....	57
4.12	Hasil Integrasi dengan Cyber Physical System (CPS).....	58
4.13	Validasi Data CPS dan SDcard.....	63
4.14	Hasil Ketidakpastian U_{A1} Variabel Keluaran Buck Converter.....	63
BAB V KESIMPULAN.....		65
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA		

LAMPIRAN A
LAMPIRAN B
LAMPIRAN C
LAMPIRAN D
LAMPIRAN E
LAMPIRAN F
LAMPIRAN G
LAMPIRAN H
LAMPIRAN I
LAMPIRAN J
LAMPIRAN K
BIODATA PENULIS

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Kurva I-V Panel Surya.....	5
Gambar 2. 2	Rangkaian <i>Buck Converter</i>	7
Gambar 2. 3	Rangkaian Dasar LM317	10
Gambar 2. 4	Kontruksi Baterai	12
Gambar 2. 5	Skema Arsitektur Logika <i>Fuzzy</i>	13
Gambar 2. 6	Fungsi Keanggotaan Segitiga	15
Gambar 2. 7	Modul Sensor INA 219	18
Gambar 2. 8	Modul <i>Voltage</i> Sensor.....	18
Gambar 2. 9	Mikrokontroler (a) <i>NodeMCU</i> , (b) <i>Arduino</i> Uno.....	19
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 3. 2	Rangkaian Simulasi <i>Buck Converter</i>	27
Gambar 3. 3	Diagram Blok Sistem Pengendalian Tegangan DC-DC <i>Buck Converter</i>	28
Gambar 3. 4	Fungsi Keanggotaan Logika <i>Fuzzy</i> untuk (a) Variabel <i>Error</i> , (b) Variabel V_{in}	29
Gambar 3. 5	Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i> dari Variabel Keluaran	30
Gambar 3. 6	Perancangan Logika <i>Fuzzy</i> di <i>Simulink</i>	31
Gambar 3. 7	Diagram Blok Sistem Pengendalian Tegangan DC-DC <i>Buck Converter</i> dengan Dua Masukan Kendali Logika <i>Fuzzy</i> pada Simulasi.....	31
Gambar 3. 8	Realisasi Perangkat Keras <i>Buck Converter</i>	34
Gambar 3. 9	Diagram Blok Sistem Pengendalian Switch Baterai	35
Gambar 3. 10	Tampilan Awal <i>Thingspeak</i>	37
Gambar 4. 1	Grafik Hubungan <i>Solar Irradiance</i> terhadap Waktu	39
Gambar 4. 2	Grafik Hubungan Suhu Panel surya terhadap Waktu	40
Gambar 4. 3	Grafik Hubungan Tegangan Panel surya terhadap Waktu	40
Gambar 4. 4	Grafik Hubungan Arus Panel surya terhadap	

Waktu	41
Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Tegangan Keluaran Panel surya terhadap <i>Solar Irradiance</i>	42
Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Tegangan Keluaran Panel surya terhadap Suhu di Panel surya	42
Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Arus Keluaran Panel surya terhadap <i>Solar Irradiance</i>	43
Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Arus Keluaran Panel surya terhadap Suhu Panel surya.....	44
Gambar 4. 9 Grafik Kurva I-V Panel surya dengan Variasi Resistan	45
Gambar 4. 10 Grafik Hasil Simulasi Tegangan Keluaran DC- DC <i>Buck Converter</i>	47
Gambar 4. 11 Hasil Simulasi LM317	48
Gambar 4. 12 Grafik Hasil Pengendalian Tegangan <i>Buck</i> <i>Converter</i>	51
Gambar 4. 13 Grafik Hasil Uji Linieritas Sensor Tegangan	52
Gambar 4. 14 Grafik Hasil Uji Histeresis Sensor Tegangan	52
Gambar 4. 15 Grafik Hasil Uji Linieritas Sensor Arus	53
Gambar 4. 16 Grafik Hasil Uji Histeresis Sensor Arus.....	53
Gambar 4. 17 Grafik Hasil Pengujian Pengendalian <i>Charging</i>	56
Gambar 4. 18 Grafik Hasil Pengujian Sistem Pengendalian <i>Switching</i> saat <i>Charging</i>	57
Gambar 4. 19 Tampilan Hasil <i>Monitoring</i> Tegangan Keluaran Panel surya	58
Gambar 4. 20 Tampilan Hasil <i>Monitoring</i> Arus Keluaran Panel surya	58
Gambar 4. 21 Tampilan Hasil <i>Monitoring</i> Daya Keluaran Panel surya	59
Gambar 4. 22 Tampilan Hasil <i>Monitoring</i> Tegangan Setelah <i>Buck Converter</i>	59
Gambar 4. 23 Tampilan Hasil <i>Monitoring Control</i> menggunakan <i>Cyber Physical System</i>	60
Gambar 4. 24 Hasil <i>Monitoring</i> Kapasitas Baterai	61

Gambar 4. 25 Grafik Respon Pengendalian Tegangan
Keluaran *Buck Converter* 62

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik dan Spesifikasi Sensor Tegangan dan Sensor Arus.	17
Tabel 3. 1 Kaidah Penalaran untuk Pengendalian Logika <i>Fuzzy</i>	30
Tabel 3. 2 Nilai Komponen <i>DC-DC Buck Converter</i>	33
Tabel 4. 1 Nilai Kolerasi setiap Variabel	44
Tabel 4. 2 Hasil Simulasi <i>DC-DC Buck Converter</i>	47
Tabel 4. 3 Hasil Perancangan Logika <i>Fuzzy</i>	49
Tabel 4. 4 Hasil Karakterisasi Rancang Bangun <i>DC-DC Buck Converter</i>	55
Tabel 4. 5 Validasi Data CPS dan <i>SDcard</i>	63

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SIMBOL

V_0	= Tegangan keluaran (V)
V_d	= Tegangan masukan (V)
C	= Kapasitansi kapasitor (F)
I_0	= Arus keluaran (A)
ΔV_0	= <i>Ripple</i> tegangan kapasitor
D	= <i>Duty cycle</i>
T	= Periode
I_{out}	= Arus keluaran (A)
V_f	= Tegangan referensi (V)
R_1	= Hambatan (Ohm)
r_d	= Tahanan dalam baterai (Ohm)
E	= Tegangan baterai penuh (V)
V	= Tegangan baterai kosong (V)
I	= Arus pengisian baterai saat kosong (A)
V_p	= Tegangan pengisian baterai (V)
V_{bat}	= Tegangan baterai penuh (V)
I_p	= Arus pengisian baterai (A)
L	= Induktansi (H)
R	= Resistansi (Ohm)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia terus menunjukkan peningkatan permintaan listrik dari tahun ke tahun seiringnya bertambahnya akses listrik serta perubahan gaya hidup masyarakat. Kementerian energi sumber daya mineral (ESDM) menyatakan penyediaan tenaga listrik akhir tahun 2015 terdiri atas produksi tenaga listrik PLN sebesar 176.472,21 GWh dan pembelian sebesar 57.509,77 GWh, dibandingkan dengan tahun 2016 produksi tenaga listrik PLN sebesar 183.808,97 GWh naik sebesar 7.336,76 GWh atau 4,15%. Pembelian di tahun 2016 adalah sebesar 64.801,55 GWh, naik sebesar 7.291,78 GWh atau sebesar 12,67%. Pemadaman listrik merupakan salah satu dampak yang akan terjadi karena Jumlah pasokan yang tidak dapat mengejar laju permintaan[2].

Pemerintah Indonesia telah merencanakan untuk membuat peranan *renewable energy* lebih dikembangkan, apalagi Indonesia memiliki potensi besar. Kekayaan yang dimiliki Indonesia tersebut belum banyak dimanfaatkan sebagai sumber energi yang dapat menggantikan sumber-sumber energi fosil yang semakin lama sudah semakin menipis. Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam pemanfaatan pembangkit listrik tenaga *surya*, didukung dengan letak geografis dan iklim yang ada. Indonesia yang berada dalam wilayah khatulistiwa rata-rata setiap harinya mendapatkan intensitas penyinaran selama 10 sampai 12 jam[1]. Pemerintah telah mengeluarkan *roadmap* pemanfaatan energi *surya* yang menargetkan kapasitas Pembangkit listrik tenaga *surya* (PLTS) terpasang hingga tahun 2025 adalah sebesar 0.87 GW atau sekitar 50 MWp/tahun. Jumlah ini merupakan gambaran potensi pasar yang cukup besar dalam pengembangan energi *surya* di masa datang[3].

Pembangkit listrik tenaga *surya* (PLTS) merupakan salah

satu jenis pembangkit energi listrik yang menggunakan *panel sel photovoltaic* sebagai pembangkitnya[4]. Listrik yang dihasilkan bisa digunakan sebagai pasokan daya cadangan dengan penggunaan baterai dengan penambahan panel surya. Tegangan keluaran yang dihasilkan dari panel surya tidak selalu stabil dan hanya dapat mengisi baterai ketika siang hari, maka sangatlah perlu suatu alat yang mampu mengatasi masalah-masalah ini sehingga mampu memberikan pasokan daya yang stabil dan sesuai kebutuhan daya baterai.

Penelitian sebelumnya pada tahun 2013, Kevin O. Davis, dkk melakukan penelitian dengan judul *Novel Cascaded Battery Charging Architecture for Photovoltaic System*. Penelitian tersebut yang diusulkan dan di validasi menggunakan energi *photovoltaic* optimal untuk melakukan pengisian baterai dengan cepat dan aman. *Charge controller* bertujuan untuk memperpanjang hidup baterai melalui pemantauan karakteristik baterai, dan kemudian menentukan proses pengisian baterai yang tepat, cepat dan efisien. Penelitian ini dilakukan dengan simulasi, dimana panel surya disusun secara *array* dengan MPPT menggunakan algoritma *Perturb and Observe* (P&O) untuk mencari daya *output* maksimum yang terintegrasi dengan sistem pengisian baterai[5]. Sistem kontrol pengisian baterai sangat diperlukan pada instalasi pembangkit listrik tenaga *surya*, pada tahun 2015, Firdaus Sutra dan Muhammad Muzmi Ulya melakukan penelitian dengan judul Analisis Teknologi *Charger* untuk Kendaraan Listrik. Penelitian tersebut menerangkan bahwa jenis charger *DC fast charging* dengan waktu *charge* 20-30 menit mempunyai kelebihan pengisian baterai sangat cepat, akan tetapi ketika penggunaan yang terus menerus akan mengalami kerusakan pada baterai mobil listrik[6]. Kerusakan *overcharge* disebabkan pengisian baterai yang terlalu lama pada sebuah instalasi pembangkit listrik tenaga *surya*. Pengendalian berfungsi untuk mencegah terjadinya kerusakan yang disebabkan pengisian baterai yang terlalu lama. Sistem

pengendali berbasis logika *fuzzy* sangat bermanfaat pada aplikasi-aplikasi sistem identifikasi dan pengendalian *ill-structured*, di mana linieritas dan invariansi waktu tidak bisa ditentukan dengan pasti, karakteristik proses mempunyai faktor *lag*, dan dipengaruhi oleh derau acak[7].

Industri 4.0 lahir dari ide tentang revolusi industri keempat salah satunya seperti *cyber physical system* (CPS). Keberadaan industri 4.0 menawarkan banyak potensi manfaat, Sehingga perlu keterlibatan akademisi dalam bentuk riset untuk mewujudkan industri 4.0[8]. Tugas akhir ini berjudul **“Implementasi *Charging* dan *Switching* Baterai berbasis Pengendalian Logika *Fuzzy* pada *Buck Converter* menggunakan *Cyber Physics System*”** yang diharapkan dapat menjaga stabilitas dari *charging* baterai dan kapasitas baterai pada panel surya, Selanjutnya akan dilakukan analisa performansi kontrol tegangan *charging* pada baterai menggunakan sistem pengendalian tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

- Bagaimana merancang sistem pengendalian logika *fuzzy* untuk *charging* baterai pada *buck converter*?
- Bagaimana hasil tanggapan sistem pengendalian logika *fuzzy* untuk *charging* dan hasil tanggapan *switching* baterai pada panel surya?
- Bagaimana hasil nilai ketidakpastian pengukuran tegangan, arus, dan daya keluaran *buck converter* berbasis sistem pengendalian logika *fuzzy* untuk *charging* pada panel surya menggunakan *cyber physics system* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Mengimplementasikan pengendalian logika *fuzzy* untuk *charging* baterai pada *buck converter*.

- Mendapatkan hasil tanggapan sistem pengendalian logika *fuzzy* untuk *charging* dan hasil tanggapan *switching* baterai pada panel surya.
- Mendapatkan hasil nilai ketidakpastian pengukuran tegangan, arus, dan daya keluaran *buck converter* berbasis sistem pengendalian logika *fuzzy* untuk *charging* pada panel surya menggunakan *cyber physics system*.

1.4 Batasan Masalah

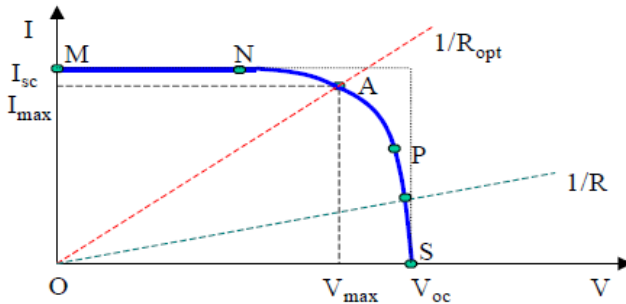
Untuk menghindari meluasnya permasalahan yang muncul, maka dalam penelitian ini diambil beberapa batasan masalah sebagai berikut :

- Tegangan masukan *buck konverter* menggunakan panel surya dengan kapasitas 50 Watt.
- Tegangan keluaran untuk *charging* dua buah baterai tipe *lead acid* dengan spesifikasi tegangan 12 Volt dan kapasitas 7 AH
- Metode kendali yang digunakan adalah kendali logika *fuzzy*.
- Lokasi pengujian di Departemen Teknik Fisika ITS Surabaya
- Platform (*cyber physical system*) CPS menggunakan *thingspeak*.
- Platform kontrol (*cyber physical system*) CPS menggunakan apk *virtuino*.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Panel surya

Panel surya merupakan salah satu sumber energi listrik terbarukan, parameter dari panel surya dapat diperoleh melalui karakteristik arus dan tegangan antara lain arus hubungan singkat (I_{sc}) tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), daya maksimum dan *fill factor*[9]. Panel surya adalah perangkat rakitan sel-sel fotovoltaik yang mengkonversi sinar matahari menjadi listrik. Arus dan tegangan memiliki spesifikasi sesuai dengan daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh panel surya[10]. Seperti pada Gambar 2.1 merupakan hubungan arus dan tegangan yang dapat dihasilkan oleh panel surya.



Gambar 2. 1 Kurva I-V Panel surya[11][10]

Gambar 2.1 menunjukkan ketika sel dihubungkan dengan beban (R). Beban memberi hambatan sebagai garis linier dengan garis $I/V = 1/R$. Hal tersebut menunjukkan daya yang didapat bergantung pada nilai resistansi. Jika R kecil maka sel beroperasi pada daerah kurva MN, dimana sel beroperasi sebagai sumber arus yang konstan atau arus *short circuit* (I_{sc}). Pada sisi lain jika R besar, sel beroperasi pada daerah PS, dimana sel beroperasi sebagai sumber tegangan

yang konstan atau tegangan *open circuit* (V_{oc}). Jika dihubungkan dengan hambatan optimal R_{opt} berarti sel surya menghasilkan daya maksimal dengan tegangan maksimum (V_{max}) dan arus maksimum (I_{max}).

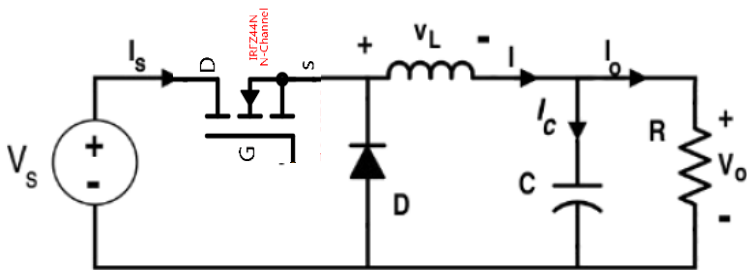
Pembangkitan arus pada sel surya memiliki beberapa proses, diantaranya sebagai berikut :

1. Cahaya dalam bentuk partikel foton jatuh pada permukaan sel surya, lalu diserap dan menghasilkan *electron* dan *hole*. Elektron pada semikonduktor tipe p dan *hole* pada tipe n yang dihasilkan tidak stabil.
2. Untuk mencegah rekombinasi digunakan p-n *junction* yang memisahkan *electron* dengan *hole*.

Posisi ideal panel surya adalah menghadap langsung ke sinar matahari (untuk memastikan efisiensi maksimum). Perlindungan *overheating* sangat penting karena panel surya mengkonversi kurang dari 20% dari energi surya yang ada menjadi listrik, sementara sisanya akan terbuang sebagai panas dan tanpa perlindungan yang memadai kejadian *overheating* dapat menurunkan efisiensi panel surya secara signifikan[12]. Panel surya sangat mudah dalam hal pemeliharaan karena tidak ada bagian yang bergerak. Satu-satunya hal yang harus dikhawatirkan adalah memastikan untuk menyingkirkan segala hal yang dapat menghalangi sinar matahari ke panel surya tersebut. Pada tugas akhir ini posisi tetap peletakan panel surya dengan kapasitas 50 Watt berada di sudut 90°.

2.2 Buck Converter

Buck converter merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk menurunkan tegangan keluaran dari panel surya agar sesuai dengan tegangan keluaran yang diinginkan, dengan mengatur frekuensi *MOSFET*. Tegangan yang diinginkan bertujuan agar daya yang dihasilkan panel surya bisa tersimpan di baterai. Penyimpanan di baterai dibutuhkan nilai tegangan keluaran yang konstan[13].



Gambar 2. 2 Rangkaian *Buck Converter* [14]

Secara garis besar kinerja dari *buck converter* dibagi menjadi 2 yaitu:

1. *MOSFET ON* : pada posisi ini tegangan pada induktor mempunyai bentuk gelombang kotak yang kemudian di-*filter* dengan kombinasi LC untuk menghasilkan sebuah *quasi-continuous voltage* pada keluarannya. Nilai rata-rata dari gelombang kotak dapat diatur untuk mengendalikan panjang dari konduksi dan *cut-off states* pada saklar. Waktu *ON* dari saklar dihubungkan dengan periode waktu, dengan *D* adalah *duty cycle*. *MOSFET* kondisi *ON*, arus mengalir dari panel surya melalui induktor yang menyebabkan induktor mengisi energi. Dioda berada dalam keadaan bias mundur dan tidak ada arus yang melewatinya.
2. *MOSFET OFF* : pada posisi ini *MOSFET* berlaku sebagai hubungan terbuka (rangkaiannya terbuka) sehingga tegangan pada masukan tidak melewati *MOSFET*. Dioda akan *ON* sehingga positif sumber dengan menyatakan waktu *off* diberikan $T_{off} = (1-D)T$ dan arus dalam induktor menyebabkan dioda menjadi bias maju. Dioda menyala aktif dan menyediakan jalan untuk mempertahankan kontinuitas arus melewati induktor dari tegangan yang tersimpan pada kapasitor. Pada saat *off* tegangan kapasitor akan keluar.

Menentukan tegangan keluaran dari *buck converter* dengan diketahui tegangan masukan dan nilai *duty cycle* dapat menggunakan Persamaan 2.1.

$$V_0 = \frac{V_d}{1-D} \quad (2.1)$$

Sehingga secara teori apabila $V_0 > V_d$, maka V_0 akan mendekati ∞ pada saat $D = 1$. Nilai resistor (R) dihitung dengan Persamaan 2.2.

$$R = \frac{V_d}{I_0} \quad (2.2)$$

Arus keluaran dengan diketahui nilai *duty cycle* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.3.

$$I_o = I_d(1-D) \quad (2.3)$$

Untuk mencari nilai induktansi induktor, dapat menggunakan Persamaan 2.4

$$L = \frac{V_0(V_i - V_0)}{f \times V_i \times \Delta I_L} \quad (2.4)$$

Dimana untuk *ripple* arus induktor menggunakan Persamaan 2.5.

$$\Delta I_L = 10\% \times I_{L(Rata-Rata)} \quad (2.5)$$

Nilai kapasitor yang akan digunakan dihitung dengan Persamaan 2.6.

$$C = \frac{(1-D)}{8 \times L \times \frac{\Delta V_0}{V_0} \times f^2} \quad (2.6)$$

Rangkaian *DC-DC buck converter* terdiri dari sebuah dioda, sebuah *MOSFET*, sebuah induktor, sebuah kapasitor, dan sebuah resistor. Nilai induktansi pada induktor dihitung melalui Persamaan 2.4, nilai kapasitansi pada kapasitor dihitung melalui Persamaan 2.6, dan nilai resistansi pada resistor dihitung melalui Persamaan 2.2.

$$\frac{V_0(s)}{D(s)} = \frac{\frac{V_d}{LC}}{s^2 \times \frac{1}{RC} s \times \frac{1}{LC}} \quad (2.7)$$

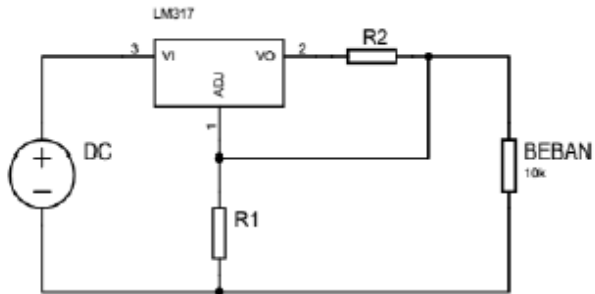
Dimana:

- V_0 = Tegangan keluaran (Volt)
- V_d = Tegangan masukan (Volt)
- C = Kapasitansi kapasitor (Farad)
- I_0 = Arus keluaran (Ampere)
- ΔV_0 = *Ripple* tegangan kapasitor (volt)
- D = *Duty cycle*
- f = frekuensi *Arduino* (Hz)

Persamaan 2.7 fungsi alih pemodelan *DC-DC buck converter* secara matematis dengan menggunakan hukum tegangan dan arus *kirchoff* untuk masing-masing keadaan operasi. Keadaan operasi yang dimaksud adalah saat *open* dan *close* pada *MOSFET* [15]. Pemodelan *DC-DC buck converter* secara matematis nantinya akan sebagai parameter untuk simulasi di *matlab simulink*.

2.3 Adjustable Voltage

Adjustable voltage regulator (AVR) IC merupakan jenis regulator tegangan yang dapat kita tentukan keluaran tegangannya atau bisa juga dibuat sebagai regulator tegangan variabel. Jenis IC yang umum digunakan sebagai *adjustable voltage regulator* adalah IC regulator LM317 dan LM337.



Gambar 2. 3 Rangkaian Dasar LM317[16]

Dengan nilai tegangan $V_f = 1,25V$ keluaran dapat menggunakan Persamaan 2.8.

$$I_{out} = \frac{V_f}{R1} \quad (2.8)$$

Dimana:

- I_{out} = Arus keluaran (A)
- V_f = Tegangan referensi (V)
- $R1$ = Hambatan (Ohm)

IC LM317 untuk mendapatkan tegangan keluaran yang dapat diatur sesuai kebutuhan dan arus keluaran diatur secara konstan agar tidak berubah bila tegangan masukan berubah nilainya.

2.4 Baterai

Baterai atau aki adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible*

(dapat berbalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Proses elektrokimia *reversible* adalah di dalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia. Pengisian kembali dengan cara regenerasi dan elektroda-elektroda yang dipakai yaitu dengan melewatkan arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel[17]. Baterai atau aki berfungsi untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia, yang akan digunakan untuk memasok listrik ke komponen yang dihubungkan. Arus ideal dalam pengisian baterai adalah 10 % dari kapasitas baterai, untuk membatasi arus yang mengalir ke baterai yaitu dengan menentukan tahanan dalam baterai, seperti Persamaan 2.9.

$$r_d = \frac{E - V}{I} \quad (2.9)$$

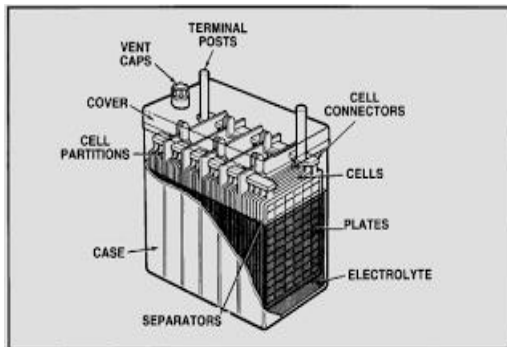
Tegangan pengisian baterai dapat dihitung dengan Persamaan 2.10.

$$V_p = V_{bat} + r_d I_p \quad (2.10)$$

Dimana :

- r_d = Tahanan dalam baterai (ohm)
- E = Tegangan baterai penuh (volt)
- V = Tegangan baterai kosong (volt)
- I = Arus pengisian baterai saat tegangan kosong (Ampere)
- V_p = Tegangan pengisian baterai (volt)
- V_{bat} = Tegangan baterai penuh (volt)
- I_p = Arus pengisian baterai (Ampere)

Jumlah tenaga listrik yang disimpan dalam baterai dapat digunakan sebagai sumber tenaga listrik tergantung pada kapasitas baterai dalam satuan *ampere hours* (AH). Jika pada kotak baterai tertulis 12 Volt 60 AH, berarti jika baterai tersebut digunakan dengan arus 60 Ampere dalam waktu 1 jam akan kosong (habis). Kapasitas baterai tersebut juga dapat menjadi kosong setelah 2 jam jika arus pemakaian hanya 30 Ampere. Kontruksi baterai dapat di lihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Kontruksi Baterai[18]

Pengosongan baterai ditentukan oleh besarnya pemakaian arus listrik dari baterai tersebut. Semakin besar arus yang digunakan, maka akan semakin cepat terjadi pengosongan baterai.

2.5 Charging Mode

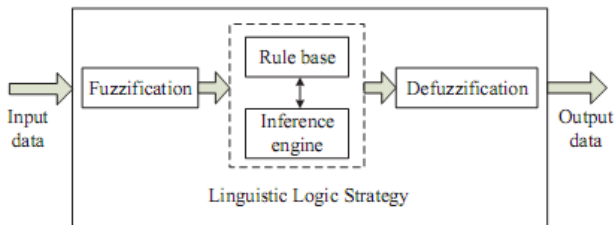
Charging mode, pada umumnya metode cas baterai dengan metode *three stage charging*[9]. Metode ini sangat cocok untuk baterai jenis *lead acid*. Adapun langkah dari metode tersebut :

1. Fase *bulk* : baterai akan di cas sesuai dengan tegangan setup (*bulk* – antara 14,4 sampai 14,6 volt) dan arus diambil secara maksimum dari panel surya. Pada saat

- baterai sudah pada tegangan setup (*bulk*) dimulailah fase *absorption*.
2. Fase *absorption (constant Voltage)*: pada fase ini, tegangan baterai akan dijaga sesuai dengan tegangan *bulk*, sampai *solar charge controller timer* (umumnya satu jam) tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai pada kapasitas baterai.
 3. Fase *float* : baterai akan dijaga pada tegangan *float setting* (umumnya 13,4 sampai 13,7 volt). Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari panel surya.

2.6 Kontrol Fuzzy

Logika *fuzzy* merupakan sebuah logika yang dikembangkan berdasarkan metode dan prinsip dasar berpikir penalaran manusia[19]. Hal ini dapat dianggap sebagai perkiraan fungsi *universal*. Tujuan dari sistem logika *fuzzy* adalah untuk menghasilkan satu *set output* untuk masukan yang diberikan dalam sistem tidak linier dengan menggunakan aturan linguistik. Diagram blok dari *Fuzzy Controller* ditampilkan pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Skema Arsitektur Logika *Fuzzy*[20]

Logika *fuzzy* sebagai kotak hitam yang menghubungkan ruang masukan dan keluaran. Kotak hitam tersebut berisikan cara untuk mengolah data masukan menjadi keluaran dalam bentuk informasi yang diinginkan. Kendali logika *fuzzy* pada tugas akhir ini sebagai aksi kendali, terdapat beberapa bagian

yaitu *fuzzification*, *rule base & Inference System*, *defuzzifikasi*, dan *output*.

1. *Fuzzyfication*

Kolom *fuzzification* berguna untuk mengkonversi bilangan *crisp* menjadi suatu bilangan *fuzzy* (variabel linguistik) menggunakan operator *fuzzification*. Proses *fuzzification* merupakan ciri utama dalam penalaran logika *fuzzy*, karena terdapat fungsi keanggotaan *fuzzy* (*membership function*) yang berfungsi untuk menentukan letak keberadaan elemen dalam suatu himpunan *fuzzy*.

2. *Rule Base & Inference System*

Berisikan aturan-aturan dasar logika *fuzzy* yang dimuat dalam aturan *IF...THEN*. Rule base nantinya akan di petakan pada Tabel 3.1.

3. *Defuzzyfication*

Keputusan yang dihasilkan dari proses penalaran masih dalam bentuk *fuzzy*, yaitu berupa derajat keanggotaan keluaran. Hasil ini harus diganti kembali menjadi bilangan *crisp* melalui proses *defuzzyfication*.

4. *Output*

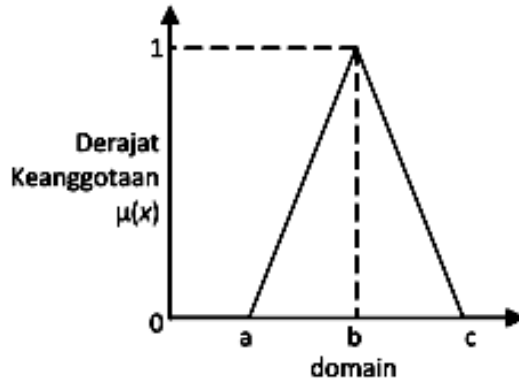
Keluaran pada logika *fuzzy* berupa bilangan *crisp*. Pada tugas akhir ini keluaran dari pengendalian logika *fuzzy* yaitu berupa PWM (*pulse width modulation*). Keluaran PWM (*pulse width modulation*).

Fungsi keanggotaan segitiga dibentuk oleh 3 parameter {a,b,c} yang dapat dideskripsikan oleh Persamaan (2.11-2.13)

$$\mu[x] = 0; x \leq a \text{ atau } x \geq c \quad \mu[x] = \frac{(x-a)}{(b-a)}; a < x \leq b \quad (2.11)$$

$$\mu[x] = \frac{(c-x)}{(c-b)}; b < x \leq c \quad (2.12)$$

$$\mu[x] = \max\left(\min\left(\frac{(x-a)}{(b-a)}, \frac{(c-x)}{(c-b)}\right), 0\right) \quad (2.13)$$



Gambar 2. 6 Fungsi Keanggotaan Segitiga

Himpunan *fuzzy* dapat dikarakterisasikan seluruhnya melalui fungsi keanggotaannya. Fungsi keanggotaan pada satu dimensi atau *single-input* tugas akhir ini direpresentasikan ke dalam bentuk keanggotaan segitiga.

2.7 Cyber Physical System (CPS)

Industri 4.0 adalah integrasi dari *cyber physical system* (CPS) ke dalam proses industri meliputi manufaktur dan logistik serta proses lainnya. *Cyber physical system* adalah teknologi untuk menggabungkan antara dunia nyata dengan dunia maya. Penggabungan ini dapat terwujud melalui integrasi antara proses fisik dan komputasi[21]. *Cyber physical system* merujuk pada sistem yang berbentuk fisik, seperti produk yang natural dan alat yang di buat manusia berbentuk fisik dan dioperasikan dari waktu ke waktu. Alat yang berbentuk fisik menjadi sebuah *cyber physical system* karena adanya integrasi dari komputasi, komunikasi, dan kontrol terhadap proses fisik.

Penelitian sebelumnya pada tahun 2012, Yongqi Ge, dkk

melakukan penelitian dengan judul *A Cyber-Physical Energy System Architecture for Electric Vehicles Charging Application*. Penelitian tersebut yang diusulkan menggunakan CPES (*cyber-physical energy system*) dirancang menjadi tiga lapisan termasuk fisik, jaringan dan aplikasi. Sistem tersebut mengintegrasikan proses kontrol, proses komunikasi, proses komputasi dan proses fisik secara mendalam. *Cyber-physical energy system* perlu fokus pada salah satu fitur untuk membangun *cyber*, Sistem fisik pada aplikasi energi salah satunya yaitu sebuah sistem pengisian cerdas untuk kendaraan listrik[22].

Penelitian sebelumnya pada tahun 2010, Ahmed Yousuf Saber dan Ganesh Kumar Venayagamoorthy melakukan penelitian dengan judul *Efficient Utilization of Renewable Energy Sources by Gridable Vehicles in Cyber Physical Energy Systems*. Penelitian tersebut yang diusulkan mengenai integrasi sumber energi terbarukan dan GV (*gridable vehicles*) untuk memaksimalkan pengurangan emisi. Jika sejumlah besar GV (*gridable vehicles*) terhubung ke jaringan listrik secara acak, beban puncak akan sangat tinggi. Penggunaan pembangkit listrik termal konvensional akan menjadi mahal secara ekonomis dan tidak ramah lingkungan pada transportasi listrik. Kecerdasan penjadwalan dan kontrol elemen sistem energi memiliki potensi besar untuk berkembang secara berkelanjutan pada infrastruktur listrik dan transportasi yang terintegrasi. Pemanfaatan maksimum sumber energi terbarukan menggunakan GV(*gridable vehicles*) untuk CPES(*Cyber-physical energy system*) berkelanjutan[23].

2.8 Karakteristik Statik Sensor

Karakteristik statik sensor adalah karakteristik suatu sensor yang perlu diperhatikan untuk penggunaan pada suatu kondisi pengukuran yang tidak bergantung pada waktu. Terdapat beberapa jenis karakteristik statik, diantaranya: akurasi, presisi, toleransi, rentang, dan linieritas.

- **Akurasi**
Akurasi adalah didefinisikan sebagai keterdekatan hasil pengukuran suatu alat ukur terhadap suatu nilai standar yang disepakati terhadap suatu nilai yang benar (*true value*).
- **Range**
Range merupakan selisih nilai maksimum dan minimum yang dapat diukur oleh sebuah alat. Sebagai contoh termometer dengan rentang nilai $-0,5$ hingga $40,5$ °C, yang berarti termometer ini digunakan untuk mengukur suhu $-0,5$ °C sampai $40,5$ °C.
- **Linieritas**
Linieritas didefinisikan sebagai kemampuan alat ukur untuk menghasilkan keluaran yang memiliki hubungan linier dengan masukannya[24].

Tabel 2. 1 Karakteristik dan Spesifikasi Sensor Tegangan dan Sensor Arus[25].

Sensor Tegangan	Sensor Arus
1. Sensor dapat bekerja pada tegangan operasi 5 V.	1. Sensor dapat bekerja pada tegangan operasi 5 V.
2. Ukuran <i>pcb</i> : 25×13 mm.	2. Rating maksimal : 3.2A
3. Ketelitian Pengukuran : 0.00489 V	3. Arus deteksi : 0 – 3.2 A
4. Tegangan Masukan : 0 – 25V DC	4. Resolusi sensor : 0.8 mA
5. Tegangan deteksi : 0.02445-25V DC	5. dimensi : 2 mm X 2.2 mm

Penelitian ini menggunakan dua jenis sensor yaitu sensor tegangan dan arus. Kedua sensor tersebut digunakan untuk pengambilan data pengukuran tegangan dan arus. Karakteristik sensor tegangan dan sensor arus ditunjukkan pada Tabel 2.1.

2.9 Modul Sensor INA 219

INA 219 merupakan modul sensor yang dapat *monitoring* arus pada suatu rangkaian listrik. INA 219 didukung dengan *interface* I2C serta memiliki sebuah *amplifier* masukan maksimum adalah $\pm 320\text{mV}$ ini berarti dapat mengukur sampai $\pm 3,2\text{ A}$ dengan internal 12 bit ADC , resolusi pada \pm kisaran 3.2 A adalah 0.8 mA, dan resolusi 0.1 mA[26].



Gambar 2. 7 Modul Sensor INA 219

Modul INA 219 ini merupakan modul sensor yang dapat *monitoring* variabel arus serta tegangan DC pada suatu rangkaian listrik. Pada tugas akhir ini sensor digunakan untuk *monitoring* variabel arus DC.

2.10 Modul Voltage Sensor

Voltage sensor merupakan modul sensor yang dapat *monitoring* tegangan DC pada suatu rangkaian listrik. Prinsip kerja modul sensor tegangan ini dapat membuat tegangan masukan mengurangi 5 kali dari tegangan asli. Sensor hanya mampu membaca tegangan maksimal 25 V. Pada dasarnya pembacaan sensor hanya diubah dalam bentuk bilangan dari 0 sampai 1023.

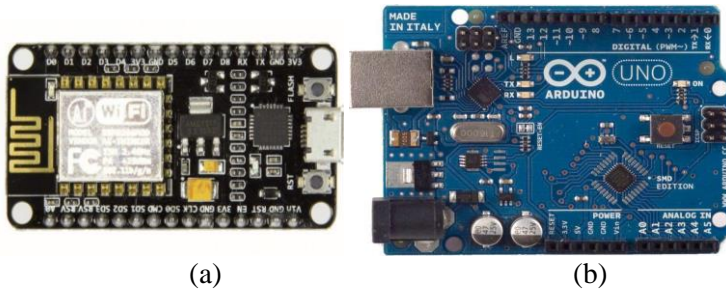


Gambar 2. 8 Modul *Voltage* Sensor

Modul *Voltage* sensor pada tugas akhir ini digunakan untuk mengukur variabel tegangan pada keluaran panel surya dan tegangan pada baterai *type lead acid* dengan menentukan batas maksimum dan minimum untuk prosentase kapasitas atau yang bisa disebut SOC (*state of charging*) dan DOD (*depth of discharge*).

2.11 Mikrokontroler Arduino

Mikrokontroler adalah sebuah *chip* yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umunya terdiri dari CPU memori, I/O tertentu dan *unit* pendukung seperti ADC. *Arduino* merupakan mikrokontroler *single-board* yang bersifat *open source*. *Hardware* menggunakan prosesor *Atmel AVR* dan *software* menggunakan *Arduino-IDE*, sedangkan untuk ESP8266 merupakan modul *low-cost Wi-Fi* dengan dukungan penuh untuk penggunaan TCP/IP. Bahasa yang digunakan untuk program *arduino* adalah bahasa C[27].



Gambar 2. 9 Mikrokontroler (a) *NodeMCU*, (b) *Arduino Uno*

Mikrokontroler *NodeMCU* pada tugas akhir ini digunakan untuk mengirim data ke *server thingspeak* menggunakan jaringan *wifi* dari data yang dikirim melalui *arduino* serta fungsi lainnya sebagai pemberi aksi *relay* untuk *on* atau *off* sedangkan mikrokontroler *arduino* sebagai penerima data dari beberapa sensor.

2.12 Analisa Regresi

Persamaan regresi merupakan suatu persamaan formal untuk mengekspresikan dua unsur suatu hubungan statistik. Analisis regresi ada dua jenis variabel yaitu variabel bebas dan variabel tidak bebas. Variabel bebas adalah suatu variabel yang nilainya dapat ditentukan atau dengan mudah dapat diukur. Variabel tidak bebas adalah suatu variabel yang nilainya sukar ditentukan atau tidak mudah diukur. Analisis regresi linier akan ditentukan persamaan yang menghubungkan dua variabel yang dapat dinyatakan sebagai bentuk persamaan persamaan linier. Regresi linier sederhana menggunakan persamaan

$$Y = a + bX \pm Ua2 \quad (2.14)$$

Dimana :

Y = Nilai variabel terikat atau variabel tidak bebas

a = Titik potong garis regresi pada sumbu y

b = Gradien garis regresi

X = Nilai variabel bebas

Ua2 = Ketidakpastian pengukuran penyimpangan standart

Nilai-nilai konstanta a dan b pada persamaan garis regresi, menggunakan Persamaan 2.15-2.16.

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.15)$$

$$a = \bar{y} - \bar{b}x \quad (2.16)$$

Dimana :

\bar{n} = Jumlah titik (pasangan pengamatan (X,Y))

\bar{x} = Mean dari variabel X

\bar{y} = Mean dari variabel Y

Jika variabel bebas lebih dari satu, maka analisis regresi disebut regresi linier berganda, karena pengaruh beberapa variabel bebas akan dikenakan kepada variabel terikat. Regresi linier berganda menggunakan Persamaan 2.17

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 \pm U_{a2} \quad (2.17)$$

Nilai-nilai konstanta regresi berganda a , b_1 , dan b_2 pada persamaan garis regresi berganda, menggunakan Persamaan 2.18 – 2.20.

$$b_1 = \frac{(\sum x_2^2)(\sum x_1 y) - (\sum x_1 x_2)(\sum x_2 y)}{(\sum x_1^2) - (\sum x_2^2) - (\sum x_1 x_2)^2} \quad (2.18)$$

$$b_2 = \frac{(\sum x_1^2)(\sum x_2 y) - (\sum x_1 x_2)(\sum x_1 y)}{(\sum x_1^2) - (\sum x_2^2) - (\sum x_1 x_2)^2} \quad (2.19)$$

$$a = \bar{Y} - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2 \quad (2.20)$$

Dimana :

Y = Power (Watt)

X1 = Suhu (°C)

X2 = Irradiance (w/m²)

a = Kontanta

b1 , b2, = Koefisien regresi masing variabel bebas

Ua2 = Ketidakpastian pengukuran standart

Persamaan regresi pada tugas akhir ini digunakan untuk mengetahui persamaan regresi majemuk dan linier. Pada regresi majemuk variabel yang digunakan yakni variabel *irradiance* sebagai X1, variabel suhu X2, dan variabel *power* sebagai Y.

2.13 Ketidakpastian Pengukuran

Sumber-sumber ketidakpastian yang turut memberikan kontribusi selain ada pada diri manusia sendiri sebagai pelaku pengukuran juga pada alat-alat bantu *kalibrator* yang digunakan untuk mengukur beberapa variabel dan juga resolusi alatnya. ketidakpastian tersebut diperlukan analisa dengan menggunakan metode statistik yang disebut analisa *type A*.

Rumus umum ketidakpastian untuk tipe A1 menggunakan Persamaan 2.21

$$Ua1 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.21)$$

Dimana :

σ : Standar deviasi

n : Jumlah pengambilan data

Rumus umum ketidakpastian untuk tipe A2 menggunakan Persamaan 2.12.

$$Ua2 = \frac{\sqrt{SSR}}{n-2} \quad (2.22)$$

Dimana :

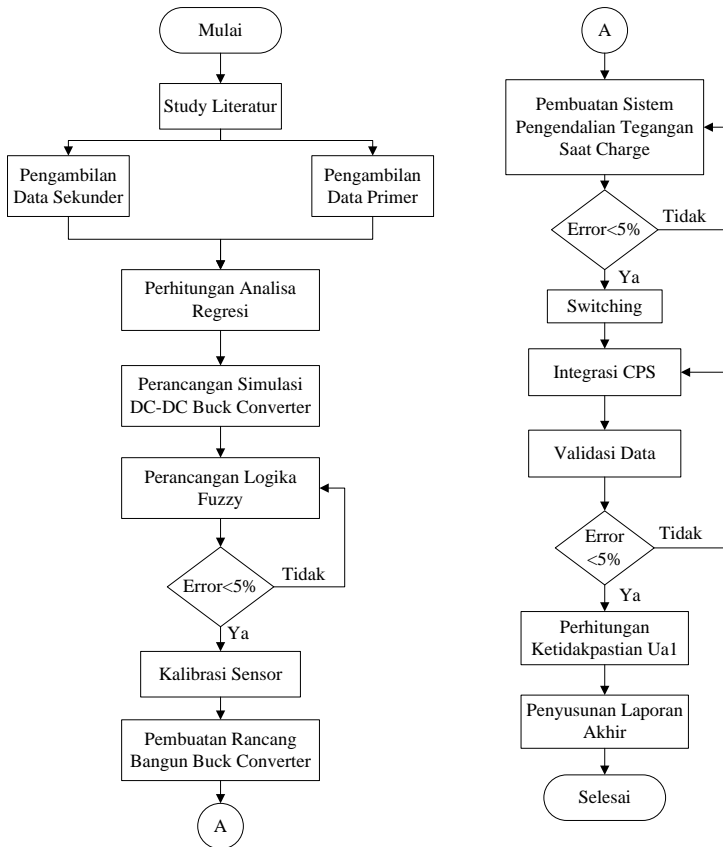
SSR : Jumlah kuadran residual

n : Jumlah pengambilan data

Pada tipe ini biasanya ditandai dengan adanya dat pengukuran, misalnya n kali pengukuran, maka selanjutnya dari data tersebut, akan ditemukan nilai rata-ratanya, standar deviasinya, dan repeatabilitynya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian terdiri dari beberapa tahapan yang dilakukan dari awal hingga akhir untuk tercapainya tujuan dari tugas akhir ini. Tahapan dalam pengerjaan tugas akhir terdapat dalam diagram alir dibawah ini.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Pengambilan Data Sekunder

Pengambilan data sekunder berupa data *sheet* panel surya dan baterai. Data spesifikasi panel surya berupa *rated maximum power*, maksimum tegangan, maksimum arus serta *dimension* yang diperoleh dari data *sheet*. Data spesifikasi *accu* berupa *voltage* serta kapasitas *accu*.

3.2 Pengambilan Data Primer

Pengambilan data primer yang dimaksud pengambilan data satu hari pada tanggal 6 Maret 2019 dengan variabel *irradiance*, suhu di panel surya, tegangan panel surya, dan arus panel surya serta melakukan pengujian variasi resistan untuk mendapatkan maksimum *power peak*. Selain itu tujuan pengambilan data untuk mendapatkan variabel yang berhubungan atau nilai kolerasi pada keluaran tegangan dan arus di panel surya. Variabel yang dihasilkan dilakukan melalui percobaan secara langsung dengan menggunakan beberapa alat sebagai berikut :

- Panel surya (50W)
- *Resistor tahu*(5Watt, 0,022Ohm, 1 Ohm)
- *Stopwatch*
- *Multimeter*
- *Pyranometer*
- *Termometer*

3.3 Perhitungan Analisa Regresi

Perhitungan analisa regresi pada tugas akhir ini digunakan untuk menganalisa keluaran *power* panel surya pada spesifikasi 50 watt dengan masukan variabel suhu dan variabel *irradiance*. Metode analisa regresi tugas akhir ini ada dua macam yaitu regresi linier dan regresi majemuk. Pada analisa regresi linier ada dua data untuk mengetahui hasil persamaan dengan keluaran berupa variabel *power*, yang pertama variabel X berupa suhu dan variabel Y berupa *power*. Kedua data variabel tersebut untuk menghasilkan sebuah

persamaan dihitung menggunakan Persamaan 2.14. pada persamaan regresi linier ada beberapa konstanta yang dihitung terlebih dahulu yakni konstanta a dan konstanta b . Perhitungan kontanta pada regresi linier menggunakan persamaan 2.15 untuk konstanta a serta Persamaan 2.16 untuk kontanta b . Perlu adanya keterlibatan ketidakpastian pada analisa regresi linier. Ketidakpastian yang digunakan pada analisa regresi untuk menentukan keluaran *power* panel surya dengan spesifikasi 50 watt yakni U_{A2} . Nilai U_{A2} dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.20 dimana harus mengetahui nilai SSR (*sum square residual*) atau jumlah kuadran residual terlebih dahulu. Perhitungan secara lengkap untuk mencari Persamaan regresi linier, nilai konstanta a , nilai kontanta b , nilai SSR (*sum square residual*) dan nilai U_{A2} dapat dilihat secara lengkap di Lampiran B.

Pada analisa regresi majemuk ada 3(tiga) data untuk mengetahui hasil Persamaan dengan keluaran berupa variabel *power*, yang pertama variabel X_1 berupa suhu, variabel X_2 berupa *irradiance*, dan variabel Y berupa *power*. Ketiga data variabel tersebut untuk menghasilkan sebuah persamaan dihitung menggunakan Persamaan 2.17. Pada persamaan regresi majemuk ada beberapa konstanta yang dihitung terlebih dahulu yakni konstanta a , konstanta b_1 dan kontanta b_2 . Perhitungan kontanta pada regresi majemuk menggunakan Persamaan 2.18 untuk konstanta b_1 , 2.19 untuk konstanta b_2 , dan 2.20 untuk kontanta a . Perlu adanya keterlibatan ketidakpastian pada analisa regresi majemuk. Ketidakpastian yang digunakan pada analisa majemuk untuk menentukan keluaran *power* panel surya dengan spesifikasi 50 watt yakni U_{A2} . Nilai U_{A2} dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.22 dimana harus mengetahui nilai SSR (*sum square residual*) atau jumlah kuadran *residual* terlebih dahulu. Perhitungan secara lengkap untuk mencari persamaan regresi linier, nilai konstanta a , nilai kontanta b , perhitungan nilai U_{A2} dapat dilihat secara lengkap di Lampiran B.

3.4 Simulasi DC-DC Buck Converter

Sebelum melakukan simulasi dilakukan perhitungan untuk menentukan parameter induktor, kapasitor serta resistor *buck converter* dimulai dengan menentukan spesifikasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I &= 2 \text{ Ampere} && (\text{Arus maksimal panel surya}) \\ \text{Frekuensi} &= 25\text{K Hz} && (\text{Frekuensi } \textit{output} \textit{ arduino}) \end{aligned}$$

Menentukan nilai induktor berdasarkan Persamaan 2.3, Persamaan 2.4 dan Persamaan 2.5 :

$$\Delta I = 20\% \times I$$

$$\Delta I = 20\% \times 2$$

$$\Delta I = 0,4A$$

Maka nilai induktor dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.4 :

$$L = \frac{V_0(V_i - V_0)}{f \times V_i \times \Delta I}$$

$$L = \frac{15,60(22 - 15,60)}{25000 \times 22 \times 0,4}$$

$$L = 4538 \times 10^{-6} H$$

$$L = 453,8 \mu H$$

Menentukan nilai kapasitansi kapasitor berdasarkan Persamaan 2.6.

$$C = \frac{(1-D)}{8 \times L \times \frac{\Delta V_0}{V_0} \times f^2}$$

$$C = \frac{(1-0,74)}{8 \times 4538 \times 10^{-6} \times \frac{0,0156}{15,60} \times 25000^2}$$

$$C = 128,2F$$

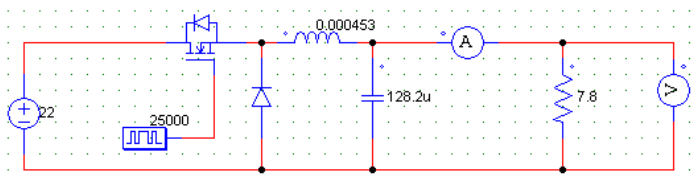
Menentukan nilai kapasitansi resistor berdasarkan Persamaan 2.2.

$$R = \frac{V_0}{I}$$

$$R = \frac{15,60}{2}$$

$$R = 7,8\Omega$$

Setelah dilakukan perhitungan parameter *buck converter* kemudian dilakukan simulasi DC-DC *Buck Converter* menggunakan *software PSIM 9.03*.



Gambar 3. 2 Rangkaian Simulasi *Buck Converter*

Frekuensi pada rangkaian simulasi buck converter sesuai hasil perhitungan tegangan keluaran yang diharapkan dibagi dengan tegangan masukan lalu di kali 360.

3.5 Perancangan LM317

Arus pengisian yang direkomendasikan yaitu 1/10 dari kapasitas baterai. Secara teori, untuk baterai 7 Ah maka hanya membutuhkan arus 0,7 A dengan waktu pengisian 10 jam. Nilai $V_f = 1,25$ V dan nilai resistansi setelah LM317 dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.8

$$I_{out} = \frac{V_f}{R1}$$

$$0,7 = \frac{1,25}{R1}$$

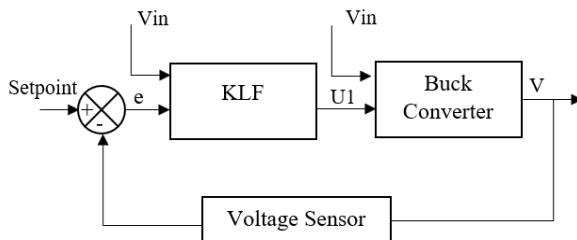
$$R1 = \frac{1,25}{0,7}$$

$$R1 = 1,786\text{Ohm}$$

Nilai resistansi pada perhitungan sebesar 1,786 ohm sedangkan nilai resistansi yang tersedia 2 ohm sehingga rangkaian simulasi yang digunakan sebesar 2 Ohm.

3.6 Perancangan kontrol Logika Fuzzy

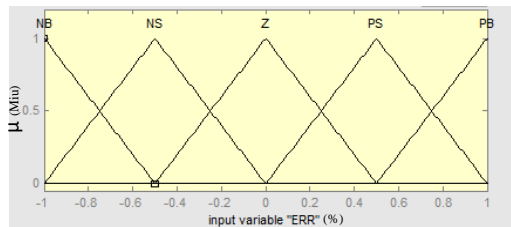
Pada tugas akhir ini, pengendalian *fuzzy* merupakan suatu algoritma kontrol yang digunakan untuk menentukan nilai *duty cycle* pada *charging*.



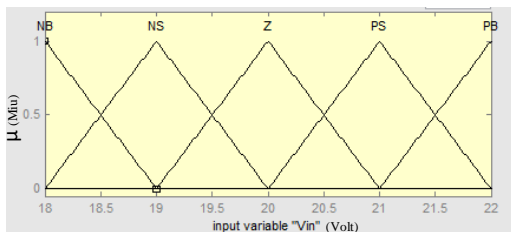
Gambar 3. 3 Diagram Blok Sistem Pengendalian Tegangan DC-DC *Buck Converter*

Pengendali logika *fuzzy* bekerja untuk memberikan nilai sinyal *pulse width modulation* yang akan diberikan pada *gate mosfet* untuk pengaturan *duty cycle* pada DC-DC *buck converter*. Masukan dari pengendali logika *fuzzy* adalah *error* dan v_{in} . *Error* merupakan selisih dari nilai tegangan *setpoint* dengan tegangan keluaran sensor, sedangkan v_{in} merupakan tegangan masukan. Sensor tegangan berupa modul *voltage* sensor berfungsi untuk membaca nilai tegangan masukan dan keluaran DC-DC *buck converter*.

Keanggotaan *fuzzy* pada tugas akhir ini menggunakan bentuk segitiga, yang akan ditampilkan Gambar 3.4



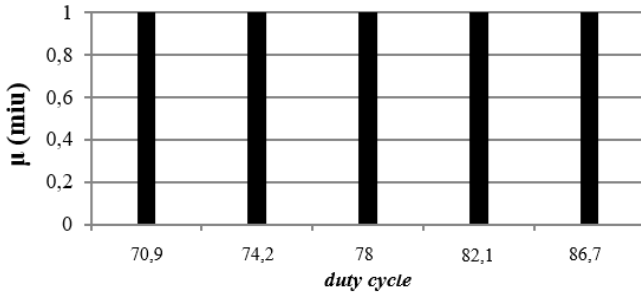
(a)



(b)

Gambar 3. 4 Fungsi Keanggotaan Logika *Fuzzy* untuk (a) Variabel *Error*, (b) Variabel V_{in}

Batas maksimal sebesar 22 Volt dan minimal 18 Volt fungsi keanggotaan v_{in} (tegangan keluaran panel surya) sesuai pada data primer Lampiran A.



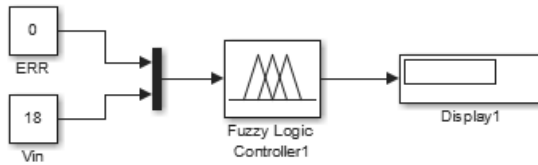
Gambar 3. 5 Fungsi Keanggotaan *Fuzzy* dari Variabel Keluaran

Fungsi keanggotaan v_{in} dibagi menjadi lima seperti halnya fungsi keanggotaan *error* dan variabel keluaran. Lima bagian fungsi keanggotaan dari masukan yaitu: *Negative Big* (NB), *Negative Small* (NS), *Zero* (Z), *Positive Small* (PS), dan *Positive Big* (PB). Fungsi keanggotaan segitiga digunakan pada pembentukan himpunan *fuzzy* dikarenakan memiliki bentuk paling sederhana dan paling efisien untuk berbagai aplikasi. Aturan-aturan yang dibentuk dalam perancangan ini memiliki 25 kaidah aturan. Kendali logika *fuzzy* memiliki kaidah aturan berbentuk matrik diagonal

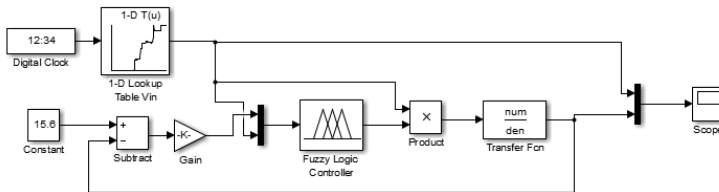
Tabel 3. 1 Kaidah Penalaran untuk Pengendalian Logika *Fuzzy*

e/V_{in}	NB	NS	Z	PS	PB
NB	PB	PS	Z	NS	NB
NS	PB	PS	Z	NS	NB
Z	PB	PS	Z	NS	NB
PS	PB	PS	Z	NS	NB
PB	PB	PS	Z	NS	NB

Perancangan logika *fuzzy* dilakukan menggunakan *simulink* di *matlab*, seperti ditampilkan pada Gambar 3.6



Gambar 3. 6 Perancangan Logika *Fuzzy* di *Simulink*



Gambar 3. 7 Diagram Blok Sistem Pengendalian Tegangan DC-DC *Buck Converter* dengan Dua Masukan Kendali Logika *Fuzzy* pada Simulasi

Sistem pengendalian tegangan pada DC-DC *buck converter* terdiri dari rangkaian DC-DC *buck converter* sebagai *plant*, kendali logika *fuzzy* sebagai pengendali, sinyal *constant* sebagai *setpoint* dan *look up table* v_{in} sebagai data tegangan masukan dari *excel*. Parameter dari *transfer fan* dengan memasukkan kode *matlab* sebagai berikut :

```
% parameter
L = 453E-6;
C = 1E-6;
R = 7.8;
Vi= 15.60;
num = [1/(L*C)];
den = [1 1/(R*C) 1/(L*C)];
```

Parameter pada kode *matlab* agar bisa koneksi ke *simulink matlab* di *RUN*.

3.7 Pengujian Sensor Tegangan dan Arus

Pengujian sensor tegangan dan arus bertujuan untuk mengetahui karakteristik statik dari sensor. Karakteristik statik yang akan dibahas meliputi linieritas dan histerisis. Linieritas merupakan hubungan antara masukan dan keluaran melalui sebuah garis lurus.

Pengujian sensor tegangan dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

- a. Sensor tegangan dan arus yang telah tersambung *arduino* selanjutnya dirangkai dengan *power supply* dan *multimeter*.
- b. Dilakukan pengukuran dan pencatatan tegangan dan arus sensor yang tertera pada tampilan *multimeter*.
- c. Dilakukan pengukuran dan pencatatan dan arus keluaran sensor yang tertera pada *serial* monitor.
- d. Dilakukan pengulangan prosedur b dan c dengan variasi tegangan dan arus *supply* semakin naik dan semakin turun dengan rentang yang tetap.
- e. Dilakukan perhitungan linieritas.
- f. Dilakukan perhitungan histerisis.

3.8 Kalibrasi Sensor Tegangan dan Arus

Kalibrasi sensor tegangan dan arus bertujuan untuk mengetahui nilai ketidakpastian hasil pengukuran. Kalibrasi sensor tegangan dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

- a. Dilakukan pengukuran dan pencatatan dengan sensor dan *multimeter* terhadap tegangan keluaran *power supply* sebanyak lima kali pada nilai tegangan 12 Volt arus pada beban 10 Ohm.
- b. Dilakukan pengukuran dan pencatatan dengan sensor dan *multimeter* terhadap tegangan keluaran *power supply* sebanyak sepuluh kali dengan rentang 1 Volt mulai dari tegangan 11 Volt hingga 20 Volt serta pada arus beban 10 Ohm diparalel sebanyak sepuluh kali.
- c. Dihitung nilai U_{A1} , U_{A2} , U_{B1} , dan U_{exp} .

3.9 Pembuatan *Hardware* DC-DC Buck Converter

Pembuatan *hardware* DC-DC *buck converter* dimulai dengan pemilihan komponen elektronik seperti pemilihan jenis komponen untuk saklar (*solid state switch*), mikrokontroler, resistor hingga kristal *clock* untuk *minimum system*. Mikrokontroler untuk DC-DC *buck converter* yang digunakan adalah tipe *arduino* uno karena memiliki memori yang cukup untuk keperluan pengkodean dari algoritma logika *fuzzy*. *Arduino* juga memiliki jumlah 54 *digital* masukan/keluaran *pin* dengan 14 *pin* dapat digunakan sebagai keluaran PWM (*pulse width modulation*).

Komponen pada DC-DC *buck converter* terdiri dari induktor, kapasitor dan resistor. Nilai induktor dihitung melalui Persamaan 2.2, nilai kapasitor dihitung melalui Persamaan 2.3 dan nilai resistor dihitung melalui Persamaan 2.4. Pada tugas akhir ini menggunakan modul *buck converter* dengan IC 2596 dan pada kaki ke 2 (dua) IC 2596 disambungkan untuk masukan *pulse width modulation* serta diberi dioda pada *jumper* tersebut agar tidak ada tegangan yang kembali ke *arduino* sesuai dengan data *sheet* modul *buck converter*. Nilai-nilai komponen pada DC-DC *buck converter* ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 2 nilai komponen DC-DC *Buck Converter*

Parameter	Nilai Perhitungan	Nilai Komponen
Tegangan masukan	18-22 V	18-22 V
Tegangan keluaran	15,60 V	15,40-15,70 V
Arus masukan	2 A	0,5-2 A
Frekuensi	25000 Hz	25000 Hz
Induktor	453 μ H	470 μ H
Kapasitor	128 F	C 100 F C2 220 F
Resistor	7,8 Ω	R1 330 Ω R2 383,9 Ω

Nilai komponen-komponen DC-DC *buck converter* yang telah didapatkan pada Tabel 3.1 selanjutnya dirangkai sesuai Gambar 3.2. Jenis *MOSFET* yang digunakan adalah *MOSFET* IC2596 yang mempunyai tegangan masukan maksimum sebesar 36 Volt dan arus maksimum sebesar 5 Ampere. Dioda yang digunakan bertipe 1N5882. Dioda ini digunakan karena memiliki spesifikasi 3 Ampere dan 40 Volt. Hasil realisasi perangkat keras ditampilkan seperti pada Gambar 3.7



Gambar 3. 8 Realisasi Perangkat Keras *Buck Converter*

Tegangan yang masuk pada DC-DC *buck converter* yang kemudian akan deteksi oleh *voltage* sensor sinyal dari sensor ini akan diubah ke sinyal *digital* oleh fitur Mikrokontroler melalui ADC. Mikrokontroler akan memberikan perintah *switch* dengan sinyal *pulse width modulation* dari sinyal ADC yang terbaca. Nilai keluaran sinyal PWM (*pulse width modulation*) berdasarkan tegangan keluaran dari panel surya dan *error* yang nantinya di komputasi pada algoritma pengendalian logika *fuzzy*. Nilai dari keluaran PWM (*pulse width modulation*) merupakan variabel yang di manipulasi dalam sistem pengendalian logika *fuzzy*. DC-DC *buck converter* berfungsi untuk menurunkan tegangan menjadi tegangan *setpoint* agar tegangan hasil dari keluaran panel surya bisa tersimpan di baterai *type lead acid* meskipun tegangan masukan tidak tetap mengikuti tegangan keluaran panel surya yang berubah-ubah. Penurunan tegangan menjadi tegangan *setpoint* dikendalikan dengan cara mengatur *switch*.

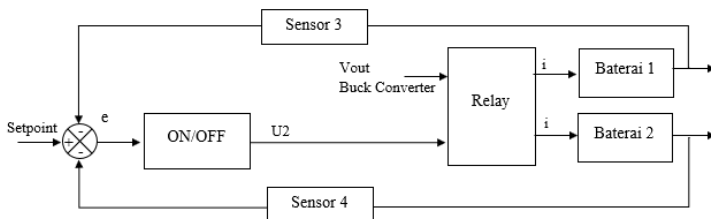
3.10 Pengujian Sistem Pengendalian Charging

Pengujian hasil rancang bangun sistem pengendalian tegangan DC-DC *buck converter* dilakukan untuk mengetahui performansi tanggapan sistem pengendalian logika *fuzzy* pada DC-DC *buck converter*. Pengujian ini dilakukan dengan variasi tegangan masukan 22 – 18 volt. Pengujian hasil rancang bangun sistem pengendalian tegangan DC-DC *buck converter* dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

- a. Dirangkai rangkaian DC-DC *buck converter* dengan *arduino* dan disambungkan pada *power supply*.
- b. Dirangkai sensor tegangan pada masukan DC-DC *buck converter* dan keluaran DC-DC *buck converter*.
- c. Diberikan nilai tegangan masukan sebesar 22 Volt.
- d. Dijalankan program untuk sistem pengendalian tegangan.
- e. Dipantau nilai tegangan keluaran rangkaian DC-DC *buck converter* melalui *serial monitor* serta PLX-DAQ yang nantinya data tersimpan *microsoft excel*.
- f. Diulangi langkah b,c, dan d dengan nilai tegangan masukan yang berbeda dengan nilai tegangan 22 – 18 volt.

3.11 Pengujian Sistem Pengendalian Switching Baterai saat Charging

Pengujian hasil sistem pengendalian *switching* baterai saat *charging*.



Gambar 3. 9 Diagram Blok Sistem Pengendalian *Switch* Baterai

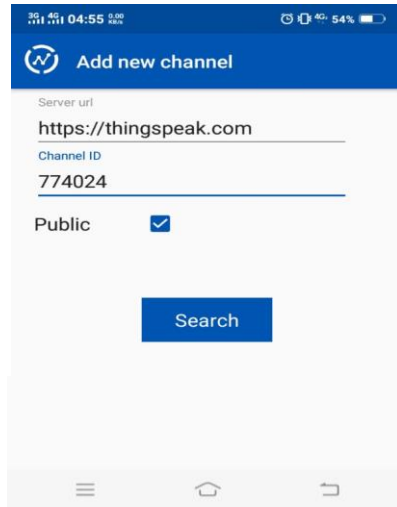
Gambar 3.10 menunjukan masukan sistem dari tegangan keluaran *buck converter*. Pada sensor 4 dan 3 berupa *voltage* sensor untuk mengetahui tegangan kapasitas baterai. Pengujian ini dilakukan dengan tegangan keluaran dari DC-DC *buck converter*. Pengujian hasil rancang bangun sistem pengendalian *switching* baterai saat *charging* dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

- a. Dirangkai rangkaian *switch* baterai atau *relay 2 chanel* dengan *arduino* dan disambungkan pada *power supply*.
- b. Dirangkai sensor tegangan pada setiap baterai.
- c. Diberikan nilai tegangan masukan dari keluaran DC-DC *buck converter*.
- d. Dijalankan program untuk sistem pengendalian *switch* baterai.
- e. Dipantau nilai tegangan pada setiap baterai melalui *serial monitor* serta *PLX-DAQ* yang nantinya data tersimpan *microsoft excel*.

3.12 Integrasi dengan Cyber Physical System (CPS)

Integrasi dengan *cyber physical system* (CPS) menggunakan *software thingspeak* yang sudah tersedia di *playstore*. *Thingspeak* pada tugas akhir ini berfungsi sebagai server atau penyimpanan data setiap variabel yang terukur. sedangkan *software virtuino* untuk memantau tanggapan respon setiap sensor dan kontrol pada jarak jauh. Pengujian hasil integrasi dengan *cyber physical system* (CPS) dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

- a. Dirangkai sensor tegangan dan arus pada setiap baterai dan sebelum DC-DC *buck converter*.
- b. Dijalankan program pada *arduino* untuk sensor.
- c. Dijalankan program pada ESP8266 untuk integrasi dengan *cyber physical system* (CPS).
- d. Masuk chanel ID yang sudah ditentukan pada *thingspeak*.



Gambar 3. 10 Tampilan Awal *Thingspeak*

Penampilan awal pada *thingspeak* harus memasukan chanel ID 774024 saat pembuatan awal dan pilih/centang *public* agar bisa memantau setiap tanggapan variabel tegangan keluaran panel surya, tegangan keluaran *buck converter*, kapasitas baterai tersedia dan sebagainya.

3.13 Perhitungan Ketidakpastian U_{A1} Variabel Keluaran Buck Converter

Perhitungan ketidakpastian U_{A1} bertujuan untuk mengetahui nilai ketidakpastian hasil pengukuran. Pra perhitungan ketidakpastian U_{A1} variabel keluaran *buck converter* dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

- a. Dilakukan pengambilan data pada hasil *record* dengan *sampling* 1 menit setiap variabel keluaran *buck converter*.
- b. Dihitung nilai U_{A1} tegangan keluaran *buck converter*.
- c. Dihitung nilai U_{A1} arus keluaran *buck converter*.
- d. Dihitung nilai U_{A1} *power* keluaran *buck converter*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

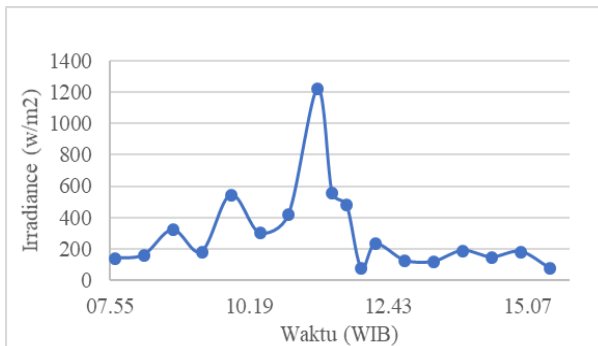
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengambilan Data Sekunder

Berdasarkan data *sheet* panel surya dan baterai. Data spesifikasi panel surya *rated* maksimum *power* 50 w, *dimension* 670x540x30 mm yang diperoleh dari data *sheet*, dan data spesifikasi *accu voltage* 12v, kapasitas 7,0Ah.

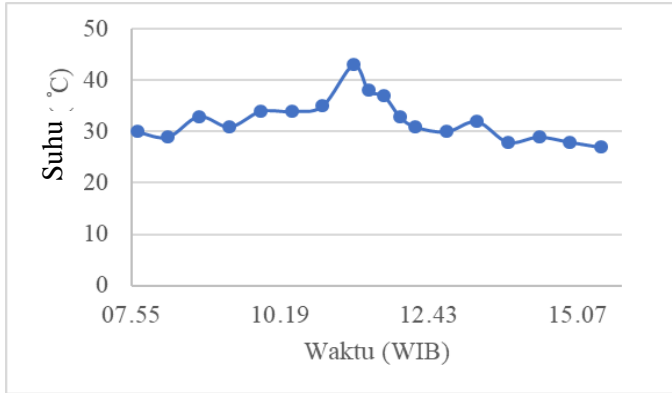
4.2 Hasil Pengambilan Data Primer

Pengambilan data primer pada hubungan *solar irradiance* terhadap waktu, grafik ditampilkan seperti pada Gambar 4.1.



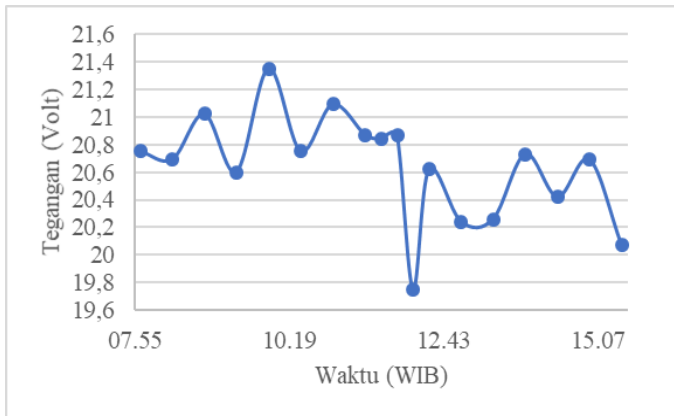
Gambar 4. 1 Grafik Hubungan *Solar Irradiance* terhadap Waktu

Gambar 4.1 menunjukkan data hasil pengukuran *irradiance* terbesar pada jam 11.30 WIB. Data pengukuran waktu tersebut jam 11.30 menunjukkan bahwa keadaan cerah dan tiba tiba turun menandakan langit menunjukkan keadaan berawan, sedangkan pada jam 15.30 keadaan cuaca mendung serta akan mau hujan sehingga tingkat nilai *irradiance* kecil. Data hasil pengambilan secara keseluruhan ditampilkan pada Lampiran A.



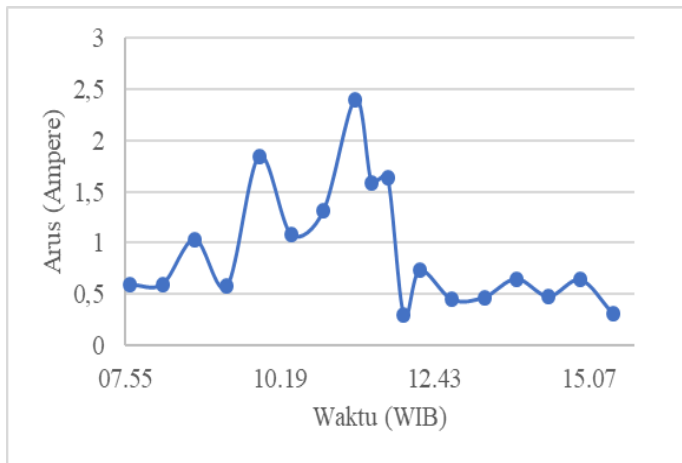
Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Suhu Panel surya terhadap Waktu

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa terdapat penurunan suhu pada jam 13.00 WIB sampai 15.30 WIB, penurunan suhu pada 30°C hingga 27 °C. Hal tersebut menunjukkan rentang jam tersebut cuaca sedang berawan sehingga suhu pada panel surya menurun.



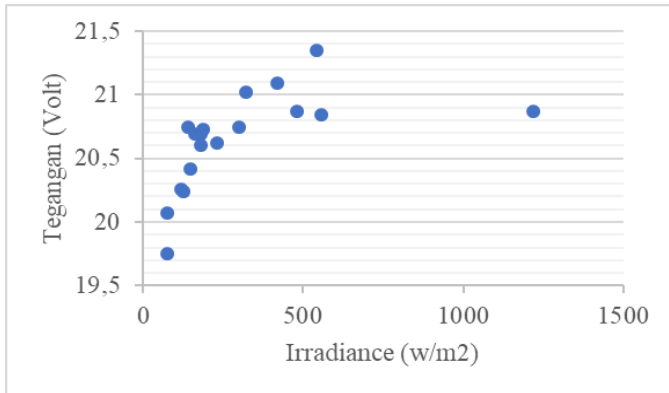
Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Tegangan Panel surya terhadap Waktu

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa nilai tegangan pada pengambilan data tersebut naik turun, data nilai tegangan paling rendah pada jam 12.15 WIB serta jam 15.30 WIB, penurunan tegangan pada 19,7 Volt dan 20 Volt. Hal tersebut menunjukkan retang jam tersebut cuaca sedang berawan serta di jam 15.30 WIB turun hujan sehingga tegangan yang dihasilkan panel surya menurun.



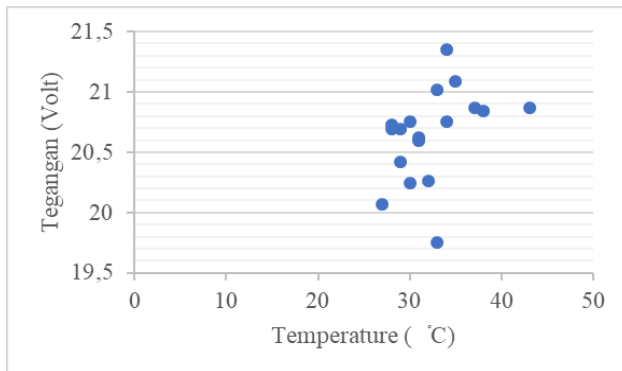
Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Arus Panel surya terhadap Waktu

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa arus pada grafik tersebut tidak stabil terdapat naik dan penurunan arus pada jam 08.00 WIB sampai 13.00 WIB, penurunan tersebut karena *irradiance* yang ditangkap oleh panel surya juga tidak stabil dan cuaca sedang berawan sehingga arus yang dihasilkan pada panel surya tidak stabil. Nilai arus maksimum mencapai 2,4 Ampere terjadi jam 11.30. nilai 2,4 Ampere menunjukkan bawa keadaan cuaca sangat cerah tidak berawan. Data hasil pengambilan data variabel *irradiance* secara keseluruhan ditampilkan pada Lampiran A.



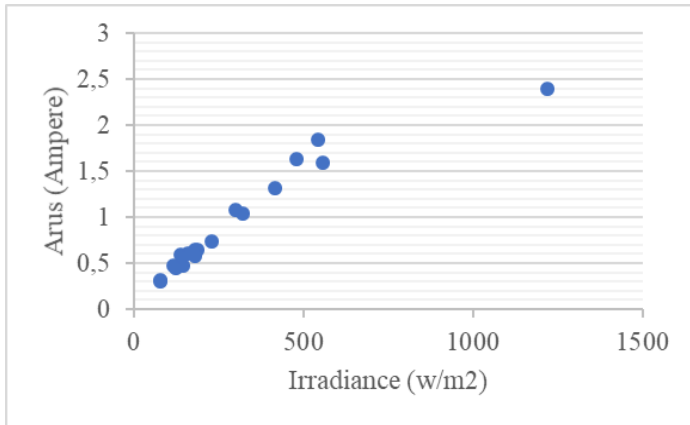
Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Tegangan Keluaran Panel surya terhadap *Solar Irradiance*

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara tegangan keluaran panel surya dengan *irradiance* yang ditunjukkan dengan hubungan linier. Hal tersebut menunjukkan bahwa perubahan tegangan dapat dijelaskan oleh perubahan *irradiance*. Koefisien korelasi (r) yang dihasilkan sebesar 0,556 yang menunjukkan bahwa hubungan keluaran tegangan panel surya dengan *irradiance* berada pada kategori kuat.



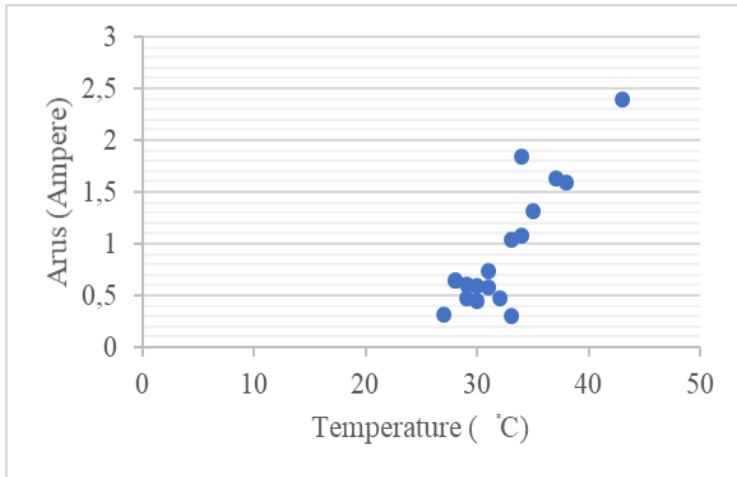
Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Tegangan Keluaran Panel surya terhadap Suhu di Panel surya

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara tegangan keluaran panel surya dengan suhu yang ditunjukkan dengan hubungan linier. Hal tersebut menunjukkan bahwa perubahan tegangan tidak dapat dijelaskan oleh perubahan suhu. Perubahan yang tidak dapat dijelaskan oleh suhu dikarenakan nilai dari koefisien korelasi (r) yang dihasilkan sebesar 0,404 yang menunjukkan bahwa hubungan keluaran tegangan panel surya dengan suhu berada pada kategori cukup.



Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Arus Keluaran Panel surya terhadap *Solar Irradiance*

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara arus keluaran panel surya dengan *irradiance* yang ditunjukkan dengan hubungan linier. Hal tersebut menunjukkan bahwa perubahan arus keluaran panel surya dapat dijelaskan oleh perubahan yang terjadi pada variabel *irradiance*. Hubungan kedua variabel tersebut dikatakan bisa dijelaskan karena pada nilai dari koefisien korelasi (r) yang dihasilkan sebesar 0,947 yang menunjukkan bahwa hubungan keluaran arus panel surya pada kapasitas 50 Watt dengan *irradiance* berada pada kategori sangat kuat.



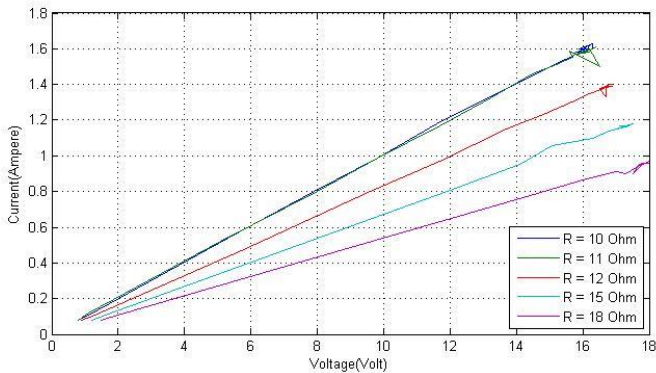
Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Arus Keluaran Panel surya terhadap Suhu Panel surya

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara arus keluaran panel surya dengan suhu yang ditunjukkan dengan hubungan linier. Hubungan kedua variabel tersebut menunjukkan bahwa perubahan arus keluaran panel surya dapat dijelaskan oleh perubahan suhu. Nilai dari koefisien korelasi (r) yang dihasilkan sebesar 0,847 yang menunjukkan bahwa hubungan keluaran arus pada panel surya dengan suhu berada pada kategori sangat kuat. Nilai koefisien tersebut ketika temperatur berubah ada hubungannya dengan variabel arus.

Tabel 4. 1 Nilai Kolerasi setiap Variabel

Variabel		Variabel Keluaran	
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
Variabel masukan	<i>Solar irradiance (w/m2)</i>	0,556	0,947
	Suhu (°C)	0,404	0,874

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa terdapat hubungan kolerasi pada arus dan tegangan keluaran panel surya terhadap variabel *irradiance* dan suhu. Koefisien kolerasi yang dihasilkan pada variabel arus terhadap *irradiance* tersebut karena berada pada katagori sangat kuat bernilai 0,947. Hasil pengambilan data primer pada panel surya dengan spesifikasi 50 Watt secara lengkap ditampilkan pada Lampiran A.



Gambar 4. 9 Grafik Kurva I-V Panel surya dengan Variasi Resistan

Gambar 4.9 menunjukkan ketika R atau resistansi bernilai kecil maka arus keluaran pada panel surya beroperasi di daerah kurva optimum dan tegangan di daerah minimum. Pada sisi lain jika R bernilai besar tegangan yang dihasilkan panel surya di daerah optimum dan arus berada di daerah minimum. Nilai resistansi 11 Ohm menunjukkan hambatan optimal R_{opt} karena sel *surya* menghasilkan tegangan dan arus berada di daerah optimal dari pada resistansi yang lain, sehingga daya paling maksimal berada di resistansi 11 Ohm. Hasil pengambilan data pengujian karakteristik *maximum power point* panel surya dengan variasi resistansi yang berbeda secara lengkap ditampilkan pada Lampiran H.

4.3 Hasil Analisa Regresi

Hasil analisa regresi pada tugas akhir ini dari data yang didapatkan digunakan untuk menganalisa keluaran *power*(Y) panel surya dengan spesifikasi 50 Watt dengan variabel tertentu yang sudah diketahui. Pada metode analisa regresi regresi linier dengan variabel yang diketahui suhu(X) didapatkan persamaan

$$y = 2,686 x - 67,553 \pm 1.38$$

Analisa regresi linier dengan variabel *power* (Y) sebagai keluaran dan variabel *irradiance*(X) didapatkan persamaan

$$y = 0,432 x + 6,199 \pm 0.753$$

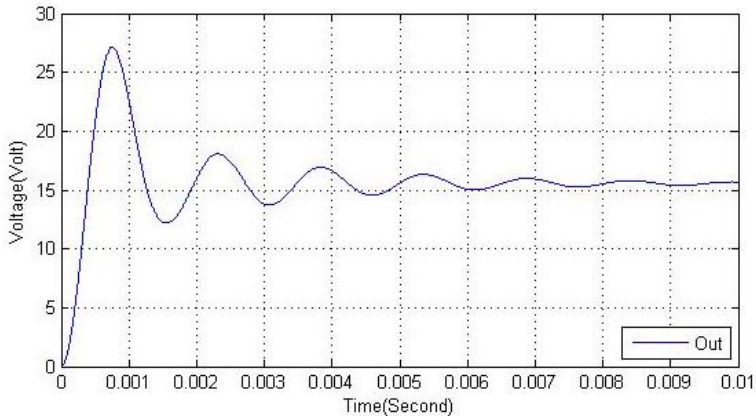
Metode analisa regresi majemuk dengan variabel *power*(Y), variabel suhu(X1) dan *irradiance*(X2) didapatkan persamaan

$$y = -7,773 + 0.492 x_1 + 0,036 x_2 \pm 1.43$$

Hasil perhitungan analisa regresi linier dan majemuk untuk menganalisa keluaran *power*(Y) dengan variabel diketahui suhu(X1) dan variabel diketahui *irradiance*(X2) panel surya dengan spesifikasi 50 watt secara lengkap ditampilkan pada Lampiran B.

4.4 Hasil Simulasi DC-DC *Buck Converter*

Hasil simulasi DC-DC *buck converter* menggunakan *software PSIM* dengan bertujuan untuk mengetahui selisih atau *error* yang dihasilkan keluaran tegangan *buck converter* terhadap *setpoint* tegangan DC-DC *buck converter* dengan variasi tegangan masukan berbeda dan frekuensi *switch* yang sesuai. Hasil simulasi DC-DC *buck converter* ditampilkan seperti pada Gambar 4.9



Gambar 4. 10 Grafik Hasil Simulasi Tegangan Keluaran DC-DC *Buck Converter*

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa nilai parameter induktor, kapasitor serta resistor *buck converter* yang dibutuhkan sudah sesuai ditunjukkan dengan tegangan keluaran dari DC-DC *buck converter* pada simulasi di *software PSIM* sesuai nilai tegangan yang dibutuhkan yaitu 15,60 volt.

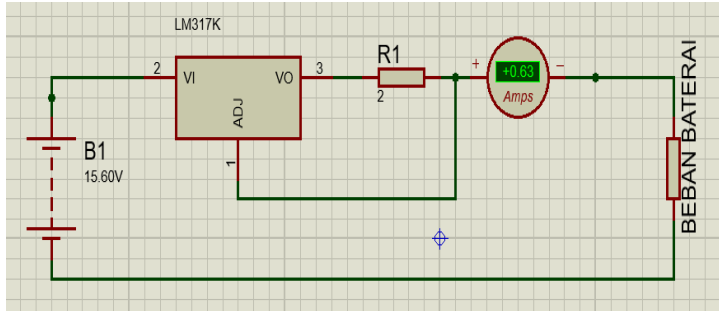
Tabel 4. 2 Hasil Simulasi DC-DC *Buck Converter*

Tegangan Keluaran (Volt)	Tegangan Masukan (Volt)	PWM (%)
15,60	22	70,9
	21	74,2
	20	78
	19	82,1
	18	86,6

Data hasil simulasi pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa dengan variasi tegangan masukan yang berbeda tegangan keluaran dari *buck converter* sesuai keinginan berdasarkan perhitungan dari nilai PWM.

4.5 Hasil Simulasi LM317

Hasil simulasi LM317 menggunakan *software PSIM* dengan bertujuan untuk mengetahui keluaran nilai arus yang akan masuk ke baterai. Hasil simulasi LM317 ditampilkan seperti pada Gambar 4.10



Gambar 4. 11 Hasil Simulasi LM317

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa nilai arus yang akan masuk sebesar 0,63 Ampere. Nilai tersebut sudah mendekati dengan arus yang direkomendasikan yaitu 1/10 dari kapasitas baterai. Secara teori, untuk baterai 7 Ah maka hanya membutuhkan arus 0,7 A. Penurunan ampere tersebut dipengaruhi oleh penambahan resistansi setelah LM317.

4.6 Hasil Perancangan Kontrol Logika Fuzzy

Hasil simulasi perancangan logika *fuzzy* dengan dua masukan yakni v_{in} dari tegangan keluaran panel surya serta *error* selisih antara hasil yang diukur dengan *setpoint*. Batas v_{in} (tegangan keluaran panel surya) maksimum sebesar 22 Volt dan minimum sebesar 18 Volt perancangan logika *fuzzy* ini bertujuan untuk mengetahui nilai *error* dari nilai *duty cycle fuzzy* yang dihasilkan simulasi dan perhitungan. data hasil simulasi perancangan simulasi dan perhitungan ditampilkan dalam Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Hasil Perancangan Logika *Fuzzy* dengan Variasi masukanan V_{in} dan *Error* dengan V_{sp} menghasilkan *Error Duty Cycle*

No	V_{sp}	V_{in}	<i>error</i>	<i>Duty cycle</i> perhitungan	<i>Duty cycle Fuzzy</i>	<i>error Duty cycle</i>
1	15,60	18	-1	0,867	0,8670	0,0000
2			-0,5		0,8670	0,0000
3			0		0,8670	0,0000
4			0,5		0,8670	0,0000
5			1		0,8670	0,0000
6		18,5	-1	0,840	0,8440	0,4760
7			-0,5		0,8440	0,4760
8			0		0,8440	0,4760
9			0,5		0,8440	0,4760
10			1		0,8440	0,4760
11		19	-1	0,821	0,8210	0,0000
12			-0,5		0,8210	0,0000
13			0		0,8210	0,0000
14			0,5		0,8210	0,0000
15			1		0,8210	0,0000
16		19,5	-1	0,8000	0,8005	0,0625
17			-0,5		0,8005	0,0625
18			0		0,8005	0,0625
19			0,5		0,8005	0,0625
20			1		0,8005	0,0625
21		20	-1	0,780	0,7800	0,0000
22			-0,5		0,7800	0,0000
23			0		0,7800	0,0000
24			0,5		0,7800	0,0000
25			1		0,7800	0,0000
26		20,5	-1	0,760	0,7610	0,1310
27			-0,5		0,7610	0,1310
28			0		0,7610	0,1310

Tabel 4.3 Hasil Perancangan Logika *Fuzzy* dengan Variasi masukan V_{in} dan $Error$ dengan V_{sp} menghasilkan $Error Duty Cycle$ (Lanjutan)

No	V_{sp}	V_{in}	$error$	$Duty\ cycle$ perhitungan	$Duty\ cycle$ <i>Fuzzy</i>	$error\ Duty\ cycle$
29	15,60	20,5	0,5	0,760	0,7610	0,1310
30			1		0,7610	0,1310
31		21	-1	0,742	0,7420	0,0000
32			-0,5		0,7420	0,0000
33			0		0,7420	0,0000
34			0,5		0,7420	0,0000
35			1		0,7420	0,0000
36		21,5	-1	0,725	0,7250	0,0000
37			-0,5		0,7250	0,0000
38			0		0,7250	0,0000
39			0,5		0,7250	0,0000
40			1		0,7250	0,0000
41		22	-1	0,709	0,7090	0,0000
42			-0,5		0,7090	0,0000
43			0		0,7090	0,0000
44			0,5		0,7090	0,0000
45			1		0,7090	0,0000

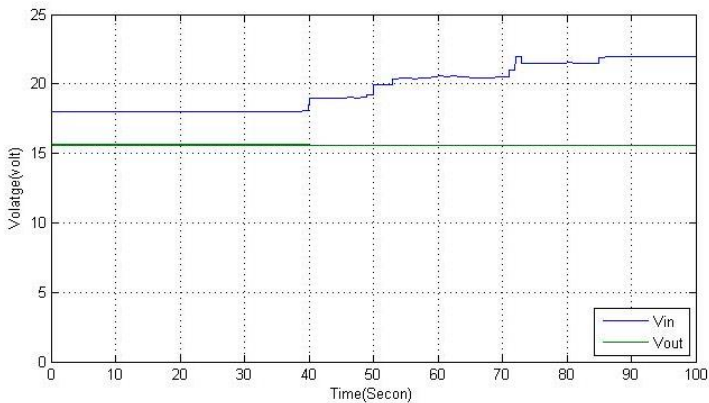
Bedasarkan data Tabel 4.3 hasil $error\ duty\ cycle$ dari nilai perhitungan dan simulasi menggunakan *software matlab* dapat dihitung

$$\overline{Error} = \frac{\sum errorDutyCyle}{n}$$

$$\overline{Error} = \frac{3.3475}{45}$$

$$\overline{Error} = 0.074\%$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa perancangan logika *fuzzy* pada implementasi *charging* dengan nilai batas maksimum sampai batas minimum v_{in} (tegangan keluaran panel *surya*) yang berbeda- beda sudah sesuai, karena pada diagram metodologi menerangkan bahwa ketika $error < 5\%$ maka perancangan berhasil. Hal tersebut ditunjukkan nilai rata rata $error\ duty\ cycle$ perhitungan dan hasil simulasi bernilai 0,074 %.

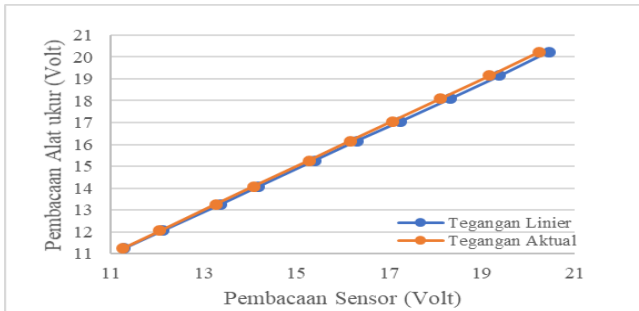


Gambar 4. 12 Grafik Hasil Pengendalian Tegangan *Buck Converter*

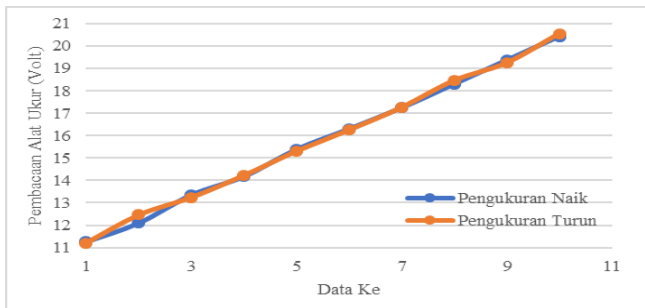
Hasil pengujian simulasi menggunakan *software simulink matlab* pada pengendalian *charging*. Karakterisasi rancang bangun DC-DC *buck converter* dengan nilai v_{in} (tegangan keluaran panel surya) menggunakan data tegangan masukan dari *power supply*. Hasil respon menunjukkan bahwa algoritma logika *fuzzy* mempunyai rata-rata $error$ tegangan keluaran *buck converter* sebesar 0,0077 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa perancangan *hardware* DC-DC *buck converter* sudah sesuai karena pada metodologi menerangkan bahwa indeks berhasil pada perancangan *hardware* DC-DC *buck converter* bernilai $error < 5\%$.

4.7 Hasil Pengujian Sensor Tegangan dan Arus

Hasil pengujian sensor tegangan bertujuan mengetahui karakteristik statik dari sensor tegangan yang digunakan. Karakteristik statik yang dianalisa adalah linieritas dan maksimal histeresis dari sensor. Grafik hasil uji linieritas dan uji histeresis.

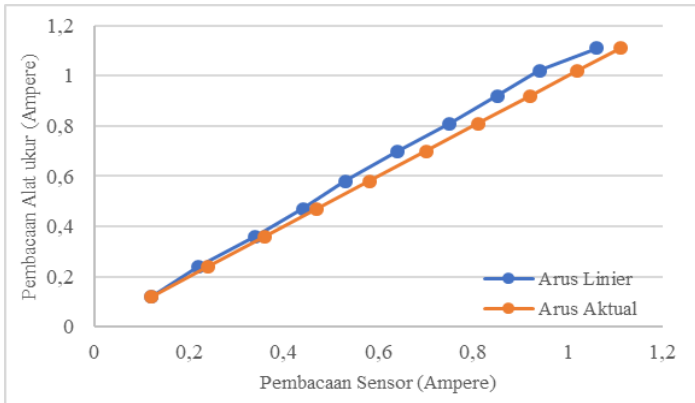


Gambar 4.13 Grafik Hasil Uji Linieritas Sensor Tegangan

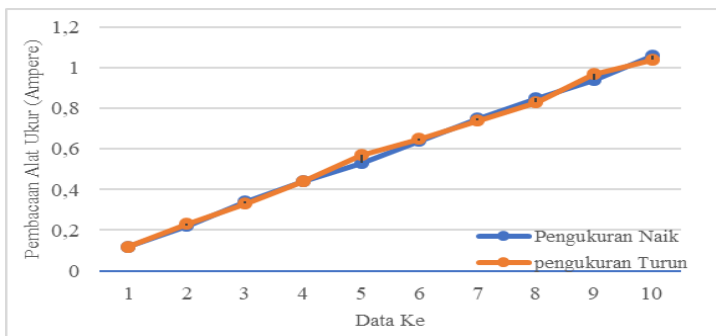


Gambar 4.14 Grafik Hasil Uji Histeresis Sensor Tegangan

Hasil uji sensor menunjukkan terjadinya histeresis pada pengukuran sensor tegangan. Histeresis maksimal terjadi saat tegangan referensi sebesar 12,05 Volt dengan nilai histeresis maksimal sebesar 0,35 Volt. Nilai histeresis maksimal yang dinyatakan dalam bentuk prosentase skala penuh sebesar 0,401 %.



Gambar 4.15 Grafik Hasil Uji Linieritas Sensor Arus



Gambar 4.16 Grafik Hasil Uji Histeresis Sensor Arus

Hasil uji sensor menunjukkan terjadinya histeresis pada pengukuran sensor arus. Uji histerisi ini menggunakan penambahan resistansi dan pengurangan resistansi sehingga akan terjadi naik turun nilai yang terbaca oleh sensor INA219. Histerisis maksimal terjadi saat arus referensi sebesar 1,06 Ampere dengan nilai histeresis maksimal sebesar 0,12 Ampere. Nilai histerisis maksimal pada sensor arus INA219 yang dinyatakan dalam bentuk prosentase skala penuh sebesar 0,045 %.

4.8 Hasil Kalibrasi Sensor Tegangan dan Arus

Hasil kalibrasi sensor tegangan pada modul *voltage sensor* dan acuan standar yang dipakai yakni alat ukur *multimeter* didapatkan nilai ketidakpastian pengukuran untuk pemeriksaan skala U_{A1} sebesar 0,1010 Volt dan ketidakpastian regresi U_{A2} sebesar 0,3340 Volt. Ketidakpastian tipe-A merupakan analisa menggunakan metode statistik dengan pengukuran sebanyak 5 kali untuk U_{A1} dan pengukuran sebanyak 10 kali untuk U_{A2} . Ketidakpastian tipe-B merupakan analisa selain menggunakan metode stastisik. Nilai ketidakpastian tipe-B didapatkan sebesar didapatkan nilai sebesar 0,2310 Volt untuk ketidakpastian resolusi U_{B1} dan ketidakpastian alat standar U_{B2} sebesar 0,2020 Volt. Ketidakpastian diperluas (U_{exp}) dari sensor tegangan sebesar 0,4300 Volt. Nilai U_{exp} tersebut menunjukkan tingkatan keyakinan akan keberadaan nilai sebenarnya pada pengukuran. Hasil kalibrasi sensor tegangan secara lengkap ditampilkan pada Lampiran C.

Hasil kalibrasi sensor Arus pada modul INA219 dan acuan standar yang dipakai alat ukur *multimeter* didapatkan nilai ketidakpastian pengukuran untuk pemeriksaan skala U_{A1} sebesar 0,0080 Ampere dan ketidakpastian regresi $UA2$ sebesar 0,0083 Ampere. Ketidakpastian tipe-A merupakan analisa menggunakan metode statistik dengan pengukuran pengukuran variasi beban sebanyak 5 kali untuk U_{A1} dan variasi beban yang berbeda sebesar 10 kali untuk U_{A2} . Ketidakpastian tipe-B merupakan analisa selain menggunakan metode stastisik. Nilai ketidakpastian tipe-B didapatkan sebesar didapatkan nilai sebesar 0,0230 Ampere untuk ketidakpastian resolusi U_{B1} dan ketidakpastian alat standar U_{B2} sebesar 0,0110 Ampere. Ketidakpastian diperluas (U_{exp}) dari sensor tegangan sebesar 0,4730 Ampere. Nilai U_{exp} tersebut menunjukkan tingkatan keyakinan akan keberadaan nilai sebenarnya pada pengukuran. Hasil kalibrasi sensor tegangan secara lengkap ditampilkan pada Lampiran C.

4.9 Hasil Karakterisasi Rancang Bangun Buck Converter

Hasil karakterisasi rancang bangun DC-DC *buck converter* meliputi tegangan keluaran terhadap nilai PWM (*pulse width modulation*). Variasi yang diberikan berupa tegangan masukan pada DC-DC *buck converter* menggunakan tegangan keluaran *power supply*. Data hubungan tegangan keluaran DC-DC *buck converter* terhadap nilai PWM (*pulse width modulation*) dengan variasi tegangan masukan ditampilkan pada Tabel 4.4.

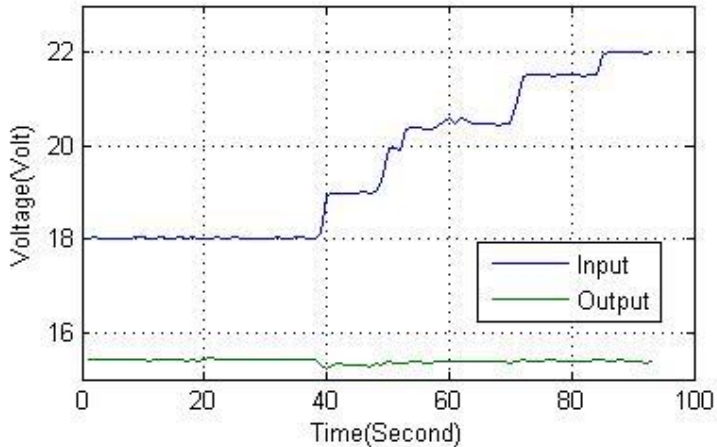
Tabel 4. 4 Hasil Karakterisasi Rancang Bangun DC-DC *Buck Converter*

Tegangan Keluaran (V)	Tegangan Masukan (V)	PWM perhitungan (%)	PWM (%)
15,5	18,0	86,1	87,0
15,5	18,5	83,7	83,0
15,5	19,0	81,5	82,0
15,7	19,5	80,5	80,0
15,7	20,1	78,1	77,0
15,7	20,6	76,2	75,0
15,4	21,1	72,9	74,0
15,4	21,6	71,2	73,0
15,4	22,1	69,6	70,0
15,4	22,6	68,14	69,0

Tabel 4.4 menunjukkan hasil karakterisasi rancang bangun *buck converter* menunjukkan bahwa komputasi dari algoritma logika *fuzzy* nilai *error* dari nilai *pulse width modulation* yang dihasilkan *arduino* dan perhitungan mempunyai rata-rata *error* sebesar 0,002 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa perancangan *hardware buck converter* sudah sesuai karena pada metodologi menerangkan bahwa indeks berhasil pada perancangan *hardware buck converter* bernilai *error* <5 %.

4.10 Hasil Pengujian Sistem Pengendalian Charging

Hasil pengujian performansi sistem pengendalian *charging* ditunjukkan pada Gambar 4.17

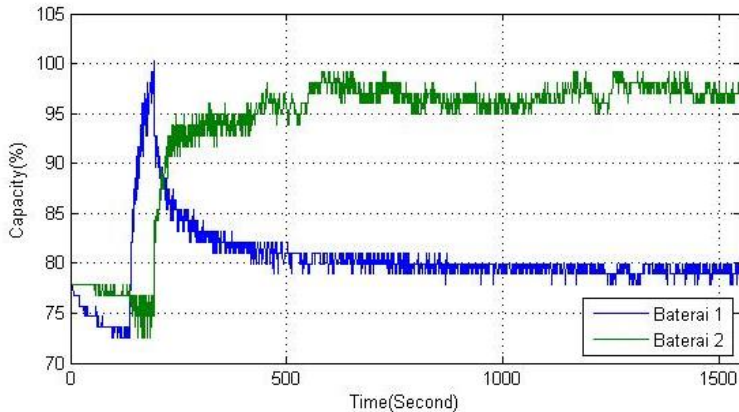


Gambar 4. 17 Grafik Hasil Pengujian Pengendalian *Charging*

Hasil pengujian pengendalian *charging* karakterisasi rancang bangun DC-DC *buck converter* pada Gambar 4.17 menunjukkan bahwa ketika masukan tegangan berubah – ubah hasil tegangan dari keluaran *buck converter* akan menuju ke *setpoint* yaitu 15,60. Hal tersebut ditunjukkan pada kenaikan tegangan masukan di detik ke 40 grafik keluaran tegangan mengalami penurunan dan kemudian naik lagi menuju ke nilai 15,60. Tegangan keluaran yang mengalami naik turun akan menyebabkan *error* karena akan terjadi angka selisih tegangan keluaran terhadap *setpoint*. Data hasil dari algoritma logika *fuzzy* berdasarkan perhitungan di Lampiran D mempunyai rata-rata *error* sebesar 0,0119 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa perancangan *hardware* DC-DC *buck converter* sudah sesuai karena pada metodologi menerangkan bahwa indeks berhasil pada perancangan *hardware* DC-DC *buck converter* bernilai *error* <5 %.

4.11 Hasil Pengujian Sistem Pengendalian Switching Baterai saat Charging

Hasil pengujian performansi sistem *switching* baterai saat *charging* ditunjukkan seperti pada Gambar 4.18.

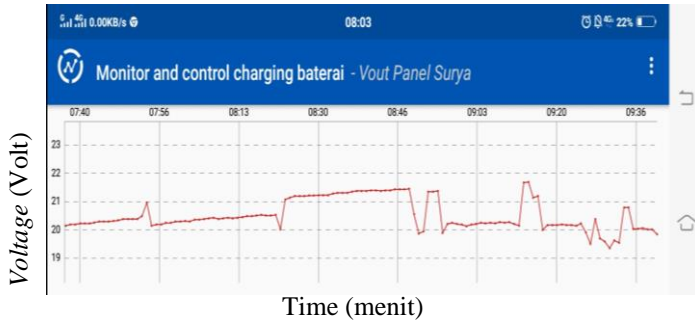


Gambar 4. 18 Grafik Hasil Pengujian Sistem Pengendalian *Switching* saat *Charging*

Aktuator pada pegujian ini menggunakan dua buah *relly* untuk memutus dan menyambungkan *charging* baterai. Rellay akan aktif memutus dan menyambung ketika kapasitas bataraai menunjukan di nilai kurang dari 100 % dan saat sudah mencapai 100 %. Hasil pengujian pengendalian *switch* saat *charging* menunjukan bahwa ketika baterai 1 dan baterai dalam keadaan kapasitas kurang dari 100 % maka bataraai yang akan di *charge* pada baterai 1. Pada keadaan lain baterai 1 sudah mencapai kapasitas 100% maka *Charging* akan berpindah ke baterai 2 dan ketika baterai 2 mencapai kapasitas 100% maka sklar akan memutus *charging*. Selain itu ada penurunan kapasitas baterai saat pergantian *charging* baterai. Hal tersebut menunjukan karena karakter dari baterai *type lead acid* kembali pemampatan elektron tidak langsung stabil.

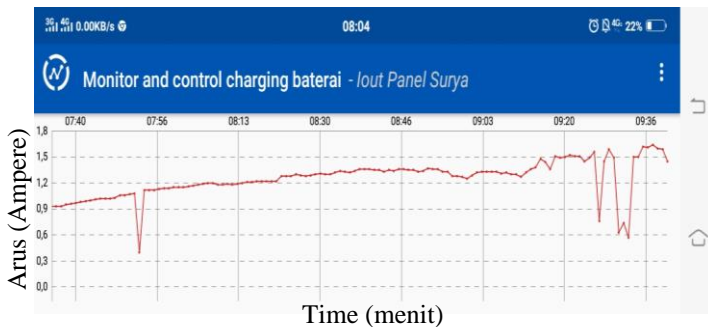
4.12 Hasil Integrasi dengan Cyber Physical System (CPS)

Integrasi dengan *cyber physical system* menggunakan *thingspeak* sebagai *platform* internet yang dapat digunakan untuk menampilkan *chart* suatu variabel ukur. *Monitoring* setiap variabel ditampilkan pada Gambar 4.19 - 4.24.



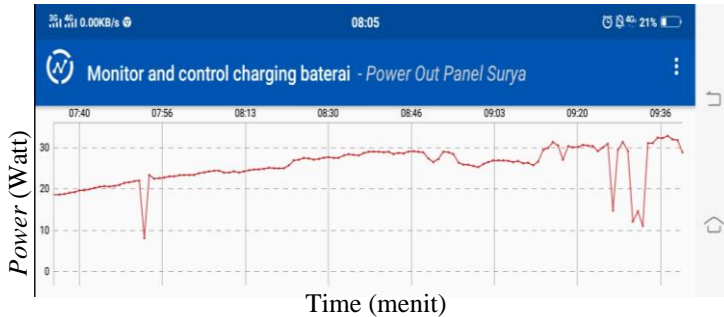
Gambar 4. 19 Tampilan Hasil *Monitoring* Tegangan Keluaran Panel surya

Hasil *monitoring* tegangan keluaran panel surya menunjukkan data yang sesuai pada pengukuran di lapangan sehingga grafik terlihat naik turun tegangan yang diterima oleh *platform* internet *thingspeak*.



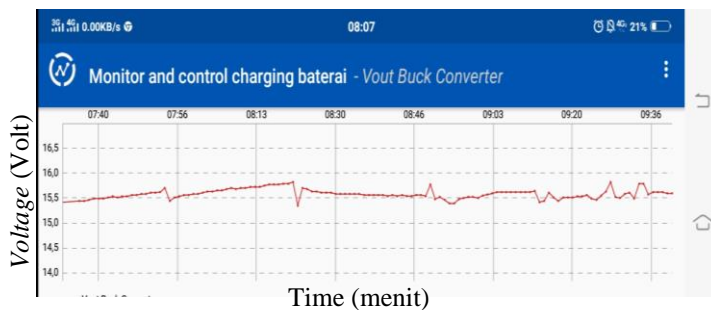
Gambar 4. 20 Tampilan Hasil *Monitoring* Arus Keluaran Panel surya

Hasil *monitoring* arus keluaran panel surya menunjukkan pengukuran yang tidak stabil, sehingga data terlihat kecil karena keluaran dari *buck converter* sudah menurunkan arus dari keluaran panel surya.



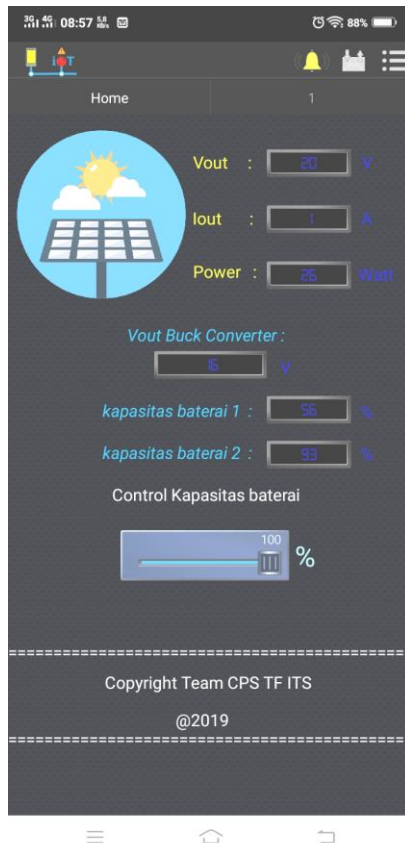
Gambar 4. 21 Tampilan Hasil *Monitoring* Daya Keluaran Panel surya

Gambar 4.21 menunjukkan hasil *monitoring* daya keluaran panel surya yang dihasilkan pengukuran sudah sesuai pada arus dan tegangan keluaran panel surya sehingga data terlihat kecil dan tidak stabil karena masukan dari *buck converter* sudah tidak stabil.



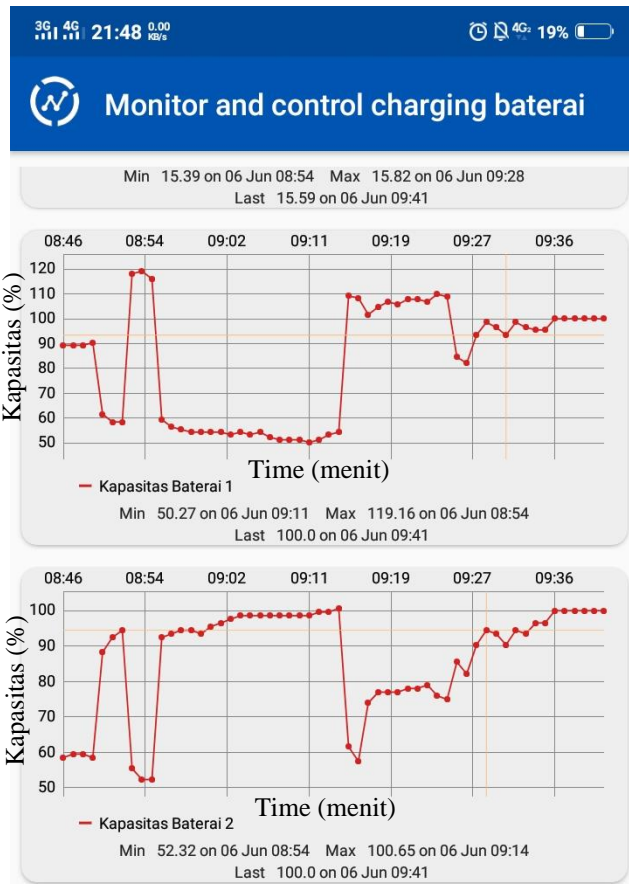
Gambar 4. 22 Tampilan Hasil *Monitoring* Tegangan setelah *Buck Converter*

Gambar 4.22 menunjukkan hasil *monitoring* tegangan *buck converter* sesuai hasil pengendalian keluaran panel surya sehingga data terlihat tidak stabil karena masukan dari panel surya sudah tidak stabil akan tetapi tegangan sudah mendekati *setpoint*. Hasil grafik tersebut dengan *sampling* data sebesar 1 menit diperoleh karakteristik respon *peak* sebesar 15.82, *max overshoot* sebesar 1.15%, dan *time peak* 46 menit.



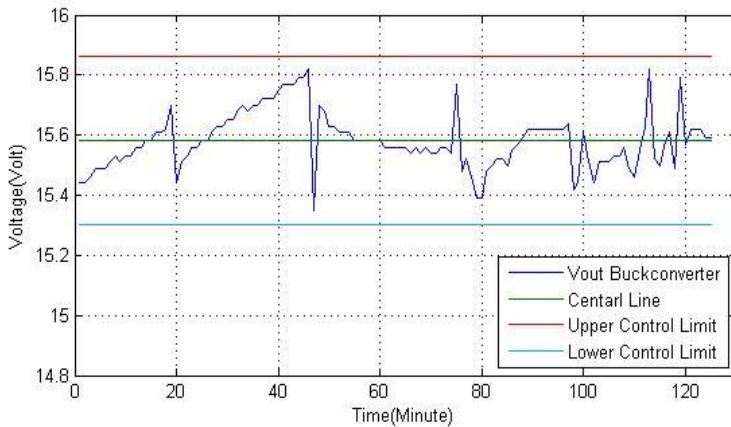
Gambar 4. 23 Tampilan *Monitoring Control* menggunakan *Cyber Physical System*

Hasil *monitoring* pada *software virtuino* memberitahukan bahwa kapasitas baterai 1 dan kapasitas baterai 2 hasil kontrol dengan nilai 100 % masih menuju ke 100 %. nilai kapasitas tersebut menunjukkan bahwa ketika tombol set kapasitas 50 % dipilih maka *charging* akan berjalan terus hingga mencapai 50 %. Saat mencapai nilai yang diinginkan maka *charging* secara otomatis akan berhenti.



Gambar 4. 24 Tampilan Hasil *Monitoring* Kapasitas Baterai

Hasil *monitoring* pada *thingspeak* pada kedua baterai menunjukkan kapasitas baterai 1 saat mencapai *setpoint* yang diinginkan 90 % maka kapasitas baterai saat di nilai 90% *charging* akan berganti pada baterai 2. Saat mencapai nilai *setpoint* 100% maka *charging* secara otomatis akan berhenti saat kapasitas baterai 1 dan baterai 2 mencapai *setpoint* 100 %.



Gambar 4. 25 Grafik Respon Pengendalian Tegangan Keluaran *Buck Converter*

Gambar 4.25 menunjukkan dengan *sampling* data sebesar 1 menit diperoleh karakteristik respon *peak* sebesar 15,82 Volt, *max overshoot* sebesar 1,15 %, *time peak* 46 menit, *rise time* sebesar 11 menit, *settling time* sebesar 55 menit, *settling max* sebesar 15,82 Volt, *settling min* sebesar 15.35 Volt. Hasil kontrol tegangan keluaran *buck converter* dengan rata-rata *error* 0,0119 % DC-DC *buck converter* tegangan akan menuju ke *setpoint* 15,60 meskipun pada tegangan masukan *buck converter* atau tegangan keluaran panel surya tidak stabil. Hasil grafik tersebut dengan CL(*central line*) sebesar 15.582 volt, UCL (*Upper Control Limit*) sebesar 15.862 , dan LCL (*Lower Control Limit*) 15.301 volt.

4.13 Validasi Data *Cyber Physical System* (CPS) dan *SDcard*

Hasil validasi data *Cyber Physical System* (CPS) dan *SDcard* dilakukan pada jam 08.57 WIB. Validasi data ditampilkan pada Tabel 4.6

Tabel 4. 5 Validasi Data CPS dan *SDcard*

No	Variabel	Cps <i>thingspeak</i>	Cps <i>virtuino</i>	<i>SDcard</i>
1	Tegangan PV	20.20	20.00	20.20
2	Arus PV	1.28	1.00	1.28
3	<i>Power PV</i>	25.92	26.00	25.92
4	Tegangan <i>buck converter</i>	15.50	16.00	15.50
5	Kapasitas baterai 1	56.43	56.00	56.43
6	Kapasitas baterai 2	93.45	93.00	93.45

Hasil dari Tabel 4.6 menunjukkan bahwa validasi data yang ditampilkan *thingspeak* dan di alat pada data *SDcard* pada jam 08.57 WIB hasil *monitoring* pada *cyber physical system* (CPS) sudah sesuai. Hal tersebut ditunjukkan nilai *error monitoring* pada *platform thingspeak* dan data *SDcard* bernilai 0,00 %. Nilai *error monitoring* pada *platform virtuino* dan data *SDcard* bernilai 3,42 %.

4.14 Hasil Ketidakpastian U_{A1} Variabel Keluaran Buck Converter

Hasil pengukuran setiap variabel keluaran *buck converter* didapatkan nilai ketidakpastian pengukuran untuk tegangan keluaran pemeriksaan U_{A1} sebesar 0.00836 Volt, arus keluaran pemeriksaan U_{A1} sebesar 0.0148 Ampere, dan *power* keluaran

pemeriksaan U_{A1} sebesar 0.232 Watt. Ketidakpastian tipe-A merupakan analisa menggunakan metode statistik dengan *sampling* data sebanyak 1 menit dan jumlah pengambilan data sebanyak 126 pada jam 07.36 WIB sampai jam 09.36 WIB. Hasil perhitungan ketidakpastian U_{A1} variabel keluaran *buck converter* secara lengkap ditampilkan pada Lampiran E.

Hasil pengukuran tegangan dan arus keluaran panel surya dengan nilai resistansi 11 Ohm menunjukkan hambatan optimal R_{opt} . Pada resistansi 11 Ohm untuk mengetahui tegangan dan arus keluar panel surya 50 wp didapatkan Nilai ketidakpastian pengukuran untuk tegangan keluaran pemeriksaan U_{A1} sebesar 1.22 Volt, arus keluaran pemeriksaan U_{A1} sebesar 0.11 Ampere, dan *power* keluaran pemeriksaan U_{A1} sebesar 2.20 Watt.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

- Hasil perancangan *duty cycle* berdasarkan Tabel 4.3 dengan variasi dua masukan yaitu tegangan keluaran panel surya (v_{in}) dan *error* dengan tegangan *setpoint* menunjukkan bahwa nilai *duty cycle* simulasi sesuai nilai *duty cycle* perhitungan rata rata *error* sebesar 0,074 %.
- Hasil uji performansi sistem pengendalian berdasarkan Gambar 4.25 dengan *sampling* data sebesar 1 menit diperoleh karakteristik respon *peak* sebesar 15,82 Volt, *max overshoot* sebesar 1,15 %, *time peak* 46 menit, *rise time* sebesar 11 menit, *settling time* sebesar 55 menit, *settling max* sebesar 15,82, *settling min* sebesar 15,35 Volt dan performansi *switching* sesuai pada *setpoint* kapasitas baterai 100 % relay akan memutus *charging*. Waktu yang dibutuhkan 3 jam untuk *charging* dengan arus masukan sebesar 1,3 Ampere pada saat kapasitas baterai 1 dan 2 sebesar 50 %
- Hasil pengukuran ketidakpastian U_{A1} berdasarkan lampiran E untuk hasil kontrol tegangan keluaran *buck converter* 15,582 $\pm 0,0084$ Volt, arus keluaran *buck converter* sebesar 1,170 $\pm 0,015$ Ampere, dan *power* keluaran *buck converter* 18,230 $\pm 0,232$ Watt.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian ini adalah untuk *charging* menggunakan arus panel surya pada spesifikasi 50 Watt disarankan menggunakan kapasitas baterai yang menggunakan jenis baterai *type lead acid* yaitu lebih dari 7 AH agar pemanfaatan panel surya lebih optimal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Energy, “Sepuluh gagasan untuk menguatkan kembali sektor energi Indonesia,” no. September, 2014.
- [2] ESDM, “Statistik Ketenagalistrikan 2016,” 2016.
- [3] T. K. ESDM, “Matahari untuk PLTS di Indonesia,” *KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL*, 2012. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/matahari-untuk-plts-di-indonesia>. [Accessed: 18-Jan-2019].
- [4] A. PTBPT, “MANFAAT PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA,” *Batara Pilar Teknik*, 2016. [Online]. Available: <http://www.ptbpt.com/blog/manfaat-pembangkit-listrik-tenaga-surya>.
- [5] K. O. Davis, A. K. Ishihara, C. Poolla, and S. Arai, “Novel cascaded battery *Charging* architecture for photovoltaic systems,” *Conf. Rec. IEEE Photovolt. Spec. Conf.*, pp. 1506–1508, 2013.
- [6] F. S. Kamajaya and M. M. Ulya, “Analisis Teknologi Charger Untuk Kendaraan Listrik - Review,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 3, pp. 163–166, 2015.
- [7] T. J. Pramono, D. J. Damiri, and S. Legino, “IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY UNTUK SISTEM OTOMATISASI PENGATURAN PENGISIAN BATERE PEMBANGKIT LISTRIK,” *Ilmiah*, vol. 9, no. 3, pp. 101–179, 2017.
- [8] H. Prasetyo and W. Sutopo, “Industri 4.0: Telaah Klasifikasi Aspek Dan Arah Perkembangan Riset,” *J@ti Undip J. Tek. Ind.*, vol. 13, no. 1, p. 17, 2018.
- [9] A. Chauhan, “Mppt *Control Pv Charging System* for *Lead acid Battery Mppt Control Pv Charging System* for *Lead acid Battery*,” 2014.

- [10] B. H. Purwoto, "Efisiensi Penggunaan Panel surya Sebagai Sumber Energi Alternatif," *J. Emit.*, vol. 18, pp. 10–14, 2018.
- [11] H. B. A.D. Hansen, P. Sorenson, L.H. Hansen, *Models for a stand-alone PV System*. 2011.
- [12] Y. Marniati and E. Hesti, "Alat Pengendali Solar Tracking Berbasis Ardiono Uno R3," *Tek. Elektro Itp*, vol. 7, no. 2, pp. 115–120, 2018.
- [13] M. K. ASY'ARI, "Rancang bangun dc-dc *Buck Converter* berbasis pengendali logika *fuzzy* tipe-2 pada *prototype* turbin angin skala kecil," INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER, 2018.
- [14] L. W. Cahyadi and T. Andromeda, "Kinerja Konverter Arus Searah Tipe *Buck Converter* Dengan Umpan Balik Tegangan Berbasis T1494," *TRANSIENT*, vol. 6, p. 7, 2017.
- [15] H. M. Himawan, O. Setyawati, and H. Suyono, "Pemodelan *Fuzzy Logic Control* untuk Pengendali PWM pada *Buck Converter*," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 5, no. 1, 2016.
- [16] F. Hadisyahputra and N. L. Marpaung, "PERANCANGAN CATU DAYA DENGAN PENAMBAHAN PANEL SURYA PADA SMART TRAFFIC LIGHT," *Jom FTEKNIK*, vol. 4, no. 2, pp. 1–8, 2017.
- [17] M. T. Afif, I. Ayu, and P. Pratiwi, "Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion , Lithium-Polymer , *Lead acid* Dan Nickel-Metal Hydride Pada Penggunaan Mobil Listrik - Review," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 95–99, 2015.
- [18] R. Dhanabal and P. Deepthi, "Comparison of Efficiencies of Single-Axis Tracking System and Dual-Axis Tracking System with Fixed Mount," *Int. J. Eng. Sci. Innov. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 2319–5967, 2013.

- [19] M. I. Jociles Rubio, “Antropología de la educación: antecedentes, objeto de estudio y modelos teórico-metodológicos,” *Introd. a la Antropol. Soc. y Cult. teoría, método y práctica*, pp. 129–152, 2007.
- [20] M. Rojas, P. Ponce, and A. Molina, “Novel *fuzzy* logic controller based on *time* delay masukans for a conventional electric wheelchair,” *Rev. Mex. Ing. Biomed.*, vol. 35, no. 2, pp. 127–144, 2014.
- [21] E. A. Lee, “Cyber physical systems: Design challenges,” *Proc. - 11th IEEE Symp. Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distrib. Comput. ISORC 2008*, pp. 363–369, 2008.
- [22] Y. Ge and Y. Dong, “A Cyber-Physical Energy System Architecture for Electric Vehicles Charging Application,” *IEEE*, pp. 246–250, 2012.
- [23] A. Y. Saber, G. K. Venayagamoorthy, and S. Member, “Efficient Utilization of Renewable Energy Sources by Gridable Vehicles in Cyber-Physical,” *IEEE*, 2010.
- [24] A. Musyafa’, *Teknik Kalibrasi*. Surabaya, 2016.
- [25] F. Putra, “Spesifikasi sensor pH,” 2018. [Online]. Available: <http://depoinovasi.com/produk-293-sensor-ph.html>.
- [26] P. S. R. Hasbi Tri Monda, Feriyonika, “Sistem Pengukuran Daya pada Sensor Node Wireless Sensor Network,” pp. 28–31.
- [27] H. Yuliansyah and A. L. Belakang, “Uji Kinerja Pengiriman Data Secara Wireless Menggunakan Modul ESP8266 Berbasis Rest Architecture,” *Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 1–10, 2016.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

Tabel A.1 Data *Irradiance*, Suhu, RH, Arus dan Tegangan Panel surya

NO	Waktu (WIB)	Tegangan PV (V)	Arus PV (A)	Daya (Watt)	RH (%)	SUHU Lingkungan (°C)	Suhu di PV (°C)	<i>Irradiance</i> (w/m ²)
1	08.00	20,75	0,59	12,32	87	26,1	30	139
2	08.30	20,69	0,60	12,41	83	27,0	29	160
3	09.00	21,02	1,03	21,75	73	20,0	33	320
4	09.30	20,60	0,57	11,90	76	29,0	31	181
5	10.00	21,35	1,84	39,28	71	30,4	34	543
6	10.30	20,75	1,08	22,41	70	30,9	34	299
7	11.00	21,09	1,31	27,62	71	30,4	35	418
8	11.30	20,87	2,40	50,08	57	35,9	43	1219
9	11.45	20,84	1,59	33,13	60	33,6	38	557
10	12.00	20,87	1,63	34,01	64	32,6	37	481
12	12.15	19,75	0,30	5,92	63	32,9	33	77
13	12.30	20,62	0,73	15,15	62	33,1	31	230
14	13.00	20,24	0,45	9,10	68	30,7	30	125
15	13.30	20,26	0,47	9,52	70	30,1	32	118
16	14.00	20,73	0,65	13,47	71	30,1	28	188
17	14.30	20,42	0,48	9,80	73	29,1	29	146
18	15.00	20,69	0,64	13,24	73	28,9	28	181
19	15.30	20,07	0,31	6,32	76	29,0	27	77

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B

Tabel B.1 Data Hasil dan perhitungan analisa regresi linier variabel suhu

NO	Suhu di PV	Power	XY	x ²	Y ²	y	yreg	y-yreg	r ²
1	30	12.33	369.77	900.00	151.92	13.04	14.58	-1.54	2.37
2	29	12.41	360.01	841.00	154.11	10.35	12.55	-2.20	4.83
3	33	21.76	717.94	1089.00	473.31	21.10	20.66	0.44	0.19
4	31	11.91	369.11	961.00	141.77	15.73	16.60	-0.88	0.77
5	34	39.28	1335.66	1156.00	1543.23	23.78	22.69	1.10	1.21
6	34	22.41	761.94	1156.00	502.21	23.78	22.69	1.10	1.21
7	35	27.63	966.98	1225.00	763.30	26.47	24.71	1.76	3.09
8	43	50.09	2153.78	1849.00	2508.81	47.96	40.93	7.03	49.45
9	38	33.14	1259.15	1444.00	1097.97	34.53	30.79	3.74	13.96
10	37	34.02	1258.67	1369.00	1157.23	31.84	28.77	3.08	9.47
11	33	5.93	195.53	1089.00	35.11	21.10	20.66	0.44	0.19
12	31	15.16	469.83	961.00	229.70	15.73	16.60	-0.88	0.77
13	30	9.11	273.24	900.00	82.96	13.04	14.58	-1.54	2.37
14	32	9.52	304.71	1024.00	90.67	18.41	18.63	-0.22	0.05
15	28	13.47	377.29	784.00	181.56	7.67	10.52	-2.86	8.16
16	29	9.80	284.25	841.00	96.07	10.35	12.55	-2.20	4.83
17	28	13.24	370.76	784.00	175.34	7.67	10.52	-2.86	8.16
18	27	6.32	170.70	729.00	39.97	4.98	8.50	-3.52	12.36
jumlah	582	347.52	11999.29	19102.00	9425.23				123.43
rata rata	32.333	19.31	666.63	1061.22	523.62				

B-2

Menentukan nilai-nilai konstanta b pada Persamaan garis regresi

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$
$$b = \frac{18(11999.294) - (582)(347.516)}{18(19102) - (582^2)}$$
$$b = 2.686$$

Menentukan nilai-nilai konstanta a pada Persamaan garis regresi

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$
$$a = 19.306 - (2.686 \times 32.333)$$
$$a = -67.553$$

menentukan nilai-nilai U_{a2} pada Persamaan garis regresi

$$U_{a2} = \frac{\sqrt{SSR}}{n - 2}$$
$$U_{a2} = \frac{\sqrt{123.4}}{18 - 2}$$
$$U_{a2} = -1.38$$

jadi untuk Persamaan regresi linier suhu terhadap *power* menggunakan rumus berdasarkan Persamaan 2.10 :

$$Y = a + bX \pm U_{a2}$$
$$Y = -67.553 + 2.686X \pm 1.38$$
$$Y = 2.686X - 67.553 \pm 1.38$$

Tabel B.2 Data Hasil dan perhitungan analisa regresi linier variabel irradasi

No	radiasi (X)	Power (Y)	XY	x ²	Y ²
1	139.28	12.33	1716.64	19397.74	151.92
2	160.17	12.41	1988.31	25653.51	154.11
3	320.33	21.76	6969.10	102614.04	473.31
4	181.06	11.91	2155.83	32782.18	141.77
5	543.18	39.28	21338.11	295039.61	1543.23
6	299.44	22.41	6710.52	89666.05	502.21
7	417.83	27.63	11543.69	174579.65	763.30
8	1218.66	50.09	61040.39	1485139.39	2508.81
9	557.10	33.14	18459.94	310363.82	1097.97
10	480.50	34.02	16345.74	230881.59	1157.23
11	76.60	5.93	453.86	5867.82	35.11
12	229.81	15.16	3482.86	52810.34	229.70
13	125.35	9.11	1141.67	15712.17	82.96
14	118.38	9.52	1127.28	14014.87	90.67
15	188.02	13.47	2533.51	35352.38	181.56
16	146.24	9.80	1433.38	21386.01	96.07
17	181.06	13.24	2397.50	32782.18	175.34
18	76.60	6.32	484.28	5867.82	39.97
jumlah	5459.61	347.52	161322.62	2949911.16	9425.23
rata rata	303.31	19.31	8962.37	163883.95	523.62

B-4

Menentukan nilai-nilai konstanta b pada Persamaan garis regresi

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$
$$b = \frac{18(347.516) - (5459.61)(347.516)}{18(2949911) - (5459.61)^2}$$
$$b = 0.0432$$

Menentukan nilai-nilai konstanta a pada Persamaan garis regresi

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$
$$a = 19.306 - (0.0432 \times 5459.61)$$
$$a = 6.1990$$

menentukan nilai-nilai U_{a2} pada Persamaan garis regresi

$$U_{a2} = \frac{\sqrt{SSR}}{n - 2}$$
$$U_{a2} = \frac{\sqrt{145.42}}{18 - 2}$$
$$U_{a2} = 0.753$$

jadi untuk Persamaan regresi linier *irradiance* terhadap *power* menggunakan rumus berdasarkan Persamaan 2.10 :

$$Y = a + bX \pm U_{a2}$$
$$Y = 6.1990 + 0.0432 X \pm 0.753$$
$$Y = 0.0432 X + 6.1990 \pm 0.753$$

Tabel B.3 Data Hasil dan perhitungan analisa regresi majemuk variabel suhu dan variabel *irradiance*

No	Suhu x1	<i>Irradiance</i> x2	<i>Power</i> Y	x1x2	x1Y	x2Y	x1^2	x2^2	Y^2
1	30.0	139.3	12.3	4178.3	369.8	1716.6	900.0	19397.7	151.9
2	29.0	160.2	12.4	4644.8	360.0	1988.3	841.0	25653.5	154.1
3	33.0	320.3	21.8	10571.0	717.9	6969.1	1089.0	102614.0	473.3
4	31.0	181.1	11.9	5612.8	369.1	2155.8	961.0	32782.2	141.8
5	34.0	543.2	39.3	18468.0	1335.7	21338.1	1156.0	295039.6	1543.2
6	34.0	299.4	22.4	10181.1	761.9	6710.5	1156.0	89666.0	502.2
7	35.0	417.8	27.6	14624.0	967.0	11543.7	1225.0	174579.7	763.3
8	43.0	1218.7	50.1	52402.5	2153.8	61040.4	1849.0	1485139.4	2508.8
9	38.0	557.1	33.1	21169.9	1259.2	18459.9	1444.0	310363.8	1098.0
10	37.0	480.5	34.0	17778.6	1258.7	16345.7	1369.0	230881.6	1157.2
11	33.0	76.6	5.9	2527.9	195.5	453.9	1089.0	5867.8	35.1
12	31.0	229.8	15.2	7124.0	469.8	3482.9	961.0	52810.3	229.7
13	30.0	125.3	9.1	3760.4	273.2	1141.7	900.0	15712.2	83.0

Tabel B.3 Lanjutan

No	Suhu x1	Irradiance x2	Powerr Y	x1x2	x1Y	x2Y	x1^2	x2^2	Y^2
14	32.0	118.4	9.5	3788.3	304.7	1127.3	1024.0	14014.9	90.7
15	28.0	188.0	13.5	5264.6	377.3	2533.5	784.0	35352.4	181.6
16	29.0	146.2	9.8	4240.9	284.2	1433.4	841.0	21386.0	96.1
17	28.0	181.1	13.2	5069.6	370.8	2397.5	784.0	32782.2	175.3
18	27.0	76.6	6.3	2068.2	170.7	484.3	729.0	5867.8	40.0
jumlah	582.0	5459.6	347.5	193474.9	11999.3	161322.6	19102.0	2949911.2	9425.2
rata rata	32.3	303.3	19.3	10748.6	666.6	8962.4	1061.2	163884.0	523.6

Menentukan nilai-nilai konstanta regresi berganda b1 pada Persamaan garis regresi berganda:

$$b1 = \frac{(\sum x_2^2)(\sum x_1 y) - (\sum x_1 x_2)(\sum x_2 y)}{(\sum x_1^2) - (\sum x_2^2) - (\sum x_1 x_2)^2}$$

$$b1 = \frac{(1293947.733)(762.934) - (16947.539)(55916.882)}{(16947.53946)^2}$$

$$b1 = 0,4926$$

Menentukan nilai-nilai konstanta regresi berganda b2 pada Persamaan garis regresi berganda:

$$b2 = \frac{(\sum x_1^2)(\sum x_2 y) - (\sum x_1 x_2)(\sum x_2 y)}{(\sum x_1^2) - (\sum x_2^2) - (\sum x_1 x_2)^2}$$

$$b2 = \frac{(284)(55916.882) - (16947.539)(1293947.733)}{(284)(1293947.733) - (16947.539)^2}$$

$$b2 = 0,0367$$

Menentukan nilai-nilai konstanta regresi berganda a pada Persamaan garis regresi berganda

$$a = \bar{Y} - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2$$

$$a = 19.306 - (0.4926 \times 32.333) - (0.0367 \times 19.306)$$

$$a = -7,773$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN C

Tabel C.1 Data Hasil pengujian histerisis sensor Arus

No	O naik	O turun	H
1	0.12	0.12	-0.0064
2	0.22	0.23	0.0375
3	0.34	0.33	-0.0128
4	0.44	0.44	0.0043
5	0.53	0.57	-0.0096
6	0.64	0.65	-0.0054
7	0.75	0.74	0.0021
8	0.85	0.83	0.0171
9	0.94	0.97	-0.0118
10	1.06	1.04	0.0139

Berdasarkan Tabel C.1 data hasil pengujian histerisis sensor arus didapatkan O_{max} dan O_{min}

$$O_{max} = 1,060$$

$$O_{min} = 0,120$$

Menentukan nilai histerisis pada sensor arus berdasarkan data yang didapatkan

$$Histerisis = \frac{O_{turun} - O_{naik}}{O_{max} - O_{min}} \times 100\%$$

$$Histerisis = \frac{1.06}{1.060 - 0.20} \times 100\%$$

$$Histerisis = 0.045 \text{ Ampere}$$

Tabel C.2 Data Hasil pengujian histerisis sensor Tegangan

NO	O naik	O turun	H
1	11.27	11.21	-0.01
2	12.11	12.46	0.04
3	13.36	13.24	-0.01
4	14.18	14.22	0.00
5	15.39	15.3	-0.01
6	16.3	16.25	-0.01
7	17.24	17.26	0.00
8	18.3	18.46	0.02
9	19.36	19.25	-0.01
10	20.42	20.55	0.01

Berdasarkan Tabel C.2 data hasil pengujian histerisis sensor tegangan didapatkan O_{max} dan O_{min}

$$O_{max} = 20,55$$

$$O_{min} = 11,21$$

Menentukan nilai histerisis pada sensor arus berdasarkan data yang didapatkan

$$Histerisis = \frac{O_{turun} - O_{naik}}{O_{max} - O_{min}} \times 100\%$$

$$Histerisis = \frac{20.55}{20.55 - 11.21} \times 100\%$$

$$Histerisis = 0.401 \text{ Volt}$$

Tabel C.3 Data Hasil kalibrasi pemeriksaan skala sensor arus

No.	Pembacaan Alat	Pembacaan Standart	Koreksi
1	0.51	0.49	-0.02
2	0.64	0.65	0.01
3	0.79	0.77	-0.02
4	0.84	0.843	0.003
5	0.93	0.896	-0.034
Jumlah	3.71	3.649	-0.061
Rata-rata	0.742	0.7298	-0.0122

Standar deviasi (σ) = 0.01817

Dari nilai standar deviasi dicari nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{Al}) dengan rumus:

$$U_{Al} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$U_{Al} = \frac{0.01817}{\sqrt{5}}$$

$$U_{Al} = 0.00812$$

Derajat kebebasan (V_1) = 4

Tabel C.4 Data Hasil kalibrasi Pembacaan berulang sensor arus

No.	Pembacaan Standart (t)	Pembacaan Alat	Koreksi (y)	t_i^2	$t_i \cdot y_i$	Yreg	Residu (R)	Square Residual (SR)
1	0.12	0.12	0	0.0144	0	0.010147	-0.01015	0.000103
2	0.24	0.22	0.02	0.0576	0.0048	0.018066	0.001934	3.74E-06
3	0.36	0.34	0.02	0.1296	0.0072	0.025985	-0.00598	3.58E-05
4	0.47	0.44	0.03	0.2209	0.0141	0.033244	-0.00324	1.05E-05
5	0.58	0.53	0.05	0.3364	0.029	0.040503	0.009497	9.02E-05
6	0.7	0.64	0.06	0.49	0.042	0.048421	0.011579	0.000134
7	0.81	0.75	0.06	0.6561	0.0486	0.055568	0.00432	1.87E-05
8	0.92	0.85	0.07	0.8464	0.0644	0.062939	0.007061	4.99E-05
9	1.02	0.94	0.08	1.0404	0.0816	0.069538	0.010462	0.000109
10	1.11	1.06	0.05	1.2321	0.0555	0	0.05	0.0025
Jumlah	6.33	4.83	0.44	5.0239	0.3472	-	-	0.000555
Rata-Rata	0.633	0.589	0.044	-	-	-	-	-

Ketidakpastian hasil pengukuran (UA2):

$$U_{A2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}}$$

$$U_{A2} = \sqrt{\frac{0.000552}{10-2}}$$

$$U_{A2} = 0.008331$$

Derajat kebebasan (V_2) = 9

Analisa Tipe-B

Ketidakpastian resolusi (U_{B1}) :

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2} \text{resolusi}}{\sqrt{3}}$$

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2} 0.8}{\sqrt{3}}$$

$$U_{B1} = 0.2309$$

Ketidakpastian alat standar (U_{B2}) :

$$U_{B2} = 0.0111$$

Ketidakpastian Gabungan (U_C) :

$$U_C = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{A2}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2}$$

$$U_C = \sqrt{0.00182^2 + 0.008331^2 + 0.2309^2 + 0.0111^2}$$

$$U_C = 0.2315$$

C-6

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum_{k=1}^n \frac{(U_n)^4}{V_n}}$$

$$V_{eff} = 1518333$$

Ketidakpastian diperluas (U_{exp}) :

$$U_{exp} = k \times U_c$$

$$U_{exp} = 2.045 \times 0.2315$$

$$U_{exp} = 0.4734$$

Berdasarkan data yang telah didapatkan maka dapat diperoleh karakteristik dari alat ukur sensor arus yaitu INA219 sebagai berikut:

- a. Range : 0.12 – 1.11 A
- b. Span : 0.99 A
- c. Resolusi : 0.8
- d. Koreksi

Untuk mendapatkan nilai koreksi alat adalah sebagai berikut:

$$Koreksi = \frac{\sum |Pembacaan \text{ standar} - alat|}{Jumlah \text{ data}}$$

$$Koreksi = \frac{0.44}{10}$$

$$Koreksi = 0.044$$

- e. Hysterisis : 0.045%
- f. Akurasi

Untuk mendapatkan nilai akurasi alat adalah sebagai berikut:

$$Akurasi = 1 - \sum \left| \frac{\text{pembacaanstan dar} - \text{alat}}{\text{pembacaanstan dar}} \right|$$

$$Akurasi = 1 - \frac{0.633 - 0.589}{0.633}$$

$$Akurasi = 0.93$$

g. Linieritas

Untuk mendapatkan nilai linieritas alat sebagai berikut:

$$K = \frac{O_{\max} - O_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}$$

$$K = \frac{1.06 - 0.12}{1.11 - 0.12}$$

$$K = 0.95$$

$$\partial = O_{\min} - (K \times I_{\min})$$

$$\partial = 0.12 - (0.95 \times 0.12)$$

$$\partial = 0.006$$

Tabel C.5 Data Hasil kalibrasi pemeriksaan skala sensor Tegangan

No.	Pembacaan Alat	Pembacaan Standart	Koreksi
1	11.920	11.960	0.040
2	11.850	11.900	0.050
3	11.710	11.760	0.050
4	11.490	11.520	0.030
5	11.230	11.250	0.020
Jumlah	58.200	58.390	0.190
Rata-rata	11.640	11.678	0.038

Standar deviasi (σ) = 0.013

Dari nilai standar deviasi dicari nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{AI}) dengan rumus:

$$U_{AI} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$U_{AI} = \frac{0.013}{\sqrt{5}}$$

$$U_{AI} = 0.0058$$

Derajat kebebasan (V_1) = 4

Tabel C.6 Data Hasil kalibrasi pembacaan berulang sensor Tegangan

No.	Pembacaan Standart (t)	Pembacaan Alat		Rata-Rata Pemb. Alat (x)	Koreksi (y)	ti ²	ti*yi	Yreg	Residu (R)	Square Residual (SR)
		1	2							
1	11.240	11.280	11.280	11.273	-0.033	126.338	-0.375	-0.052	0.019	0.000
2	12.050	12.090	12.120	12.110	-0.060	145.203	-0.723	-0.050	-0.010	0.000
3	13.250	13.380	13.360	13.360	-0.110	175.563	-1.457	-0.047	-0.063	0.004
4	14.070	14.170	14.170	14.180	-0.110	197.965	-1.548	-0.045	-0.065	0.004
5	15.260	15.390	15.390	15.390	-0.130	232.868	-1.984	-0.042	-0.088	0.008
6	16.150	15.300	15.300	15.300	0.850	260.823	13.727	-0.040	0.890	0.792
7	17.060	17.260	17.230	17.240	-0.180	291.044	-3.071	-0.037	-0.143	0.020
8	18.090	18.310	18.280	18.300	-0.210	327.248	-3.799	-0.035	-0.175	0.031
9	19.150	19.360	19.360	19.367	-0.217	366.723	-4.149	-0.032	-0.185	0.034
10	20.230	20.460	20.430	20.440	-0.210	409.253	-4.248	0.000	-0.210	0.044
Jumlah	156.550	-	-	136.520	-0.410	2533.025	-7.626	-	-	0.893
Rata-rata	15.655	-	-	15.696	-0.041	-	-	-	-	-

C-10

Ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A2}):

$$U_{A2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}}$$

$$U_{A2} = \sqrt{\frac{0.893}{10-2}}$$

$$U_{A2} = 0.334$$

Derajat kebebasan (V_2) = 9

Analisa Tipe-B

Ketidakpastian resolusi (U_{B1}) :

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2} \text{resolusi}}{\sqrt{3}}$$

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2} 0.8}{\sqrt{3}}$$

$$U_{B1} = 0.231$$

Ketidakpastian alat standar (U_{B2}) :

$$U_{B2} = 0.202$$

Ketidakpastian Gabungan (U_C) :

$$U_C = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{A2}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2}$$

$$U_C = \sqrt{0.0058^2 + 0.334^2 + 0.231^2 + 0.202^2}$$

$$U_C = 0.465$$

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum_{k=1}^n \frac{(U_n)^4}{V_n}}$$

$$V_{eff} = 32.33$$

Ketidakpastian diperluas (U_{exp}) :

$$U_{exp} = k \times U_c$$

$$U_{exp} = 2.045 \times 0.465$$

$$U_{exp} = 0.951$$

Berdasarkan data yang telah didapatkan maka dapat diperoleh karakteristik dari alat ukur sensor tegangan sebagai berikut:

- a. Range : 11.24 – 22.23 V
- b. Span : 10.99 V
- c. Resolusi : 0.8
- d. Koreksi

Untuk mendapatkan nilai koreksi alat adalah sebagai berikut:

$$Koreksi = \frac{\sum |Pembacaan\ standar - alat|}{Jumlah\ data}$$

$$Koreksi = \frac{-0.410}{10}$$

$$Koreksi = -0.041$$

- e. Hysterisis : 0.401%
- f. Akurasi

Untuk mendapatkan nilai akurasi alat adalah sebagai berikut:

$$Akurasi = 1 - \sum \left| \frac{\text{pembacaanstan dar} - \text{alat}}{\text{pembacaanstan dar}} \right|$$

$$Akurasi = 1 - \frac{15.655 - 15.696}{15.655}$$

$$Akurasi = 1.00$$

g. Linieritas

Untuk mendapatkan nilai linieritas alat sebagai berikut:

$$K = \frac{O_{\max} - O_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}$$

$$K = \frac{20.440 - 11.273}{20.230 - 11.240}$$

$$K = 1.020$$

$$\partial = O_{\min} - (K \times I_{\min})$$

$$\partial = 11.273 - (1.020 \times 11.240)$$

$$\partial = -0.192$$

LAMPIRAN D

Tabel D.1 Data Hasil pengujian pengendalian *Charging*

Data Ke	V_{in}	Vout	Error	PWM
1	18,02	15,44	0,01	86,53
2	18,04	15,44	0,01	86,38
3	18,02	15,42	0,01	86,53
4	18,02	15,42	0,01	86,53
5	18,02	15,42	0,01	86,53
6	18,02	15,42	0,01	86,53
7	18,02	15,42	0,01	86,53
8	18,02	15,42	0,01	86,53
9	18,04	15,42	0,01	86,38
10	18,04	15,42	0,01	86,38
11	18,02	15,39	0,01	86,53
12	18,02	15,42	0,01	86,53
13	18,04	15,42	0,01	86,38
14	18,02	15,42	0,01	86,53
15	18,02	15,42	0,01	86,53
16	18,04	15,42	0,01	86,38
17	18,02	15,39	0,01	86,53
18	18,04	15,42	0,01	86,38
19	18,02	15,39	0,01	86,53
20	18,02	15,42	0,01	86,53
21	18,02	15,46	0,01	86,53
22	18,04	15,42	0,01	86,38
23	18,02	15,42	0,01	86,53
24	18,02	15,42	0,01	86,53

Tabel D.1 Lanjutan

Data Ke	V_{in}	Vout	<i>Error</i>	PWM
25	18,04	15,44	0,01	86,38
26	18,02	15,42	0,01	86,53
27	18,02	15,42	0,01	86,53
28	18,02	15,44	0,01	86,53
29	18,02	15,42	0,01	86,53
30	18,02	15,42	0,01	86,53
31	18,02	15,44	0,01	86,53
32	18,04	15,42	0,01	86,38
33	18,02	15,42	0,01	86,53
34	18,02	15,44	0,01	86,53
35	18,04	15,44	0,01	86,38
36	18,04	15,44	0,01	86,38
37	18,02	15,42	0,01	86,53
38	18,02	15,44	0,01	86,53
39	18,12	15,32	0,02	85,9
40	18,95	15,22	0,02	77,37
41	18,98	15,32	0,02	76,04
42	19,00	15,34	0,02	74,2
43	19,00	15,3	0,02	74,2
44	18,98	15,3	0,02	76,04
45	19,00	15,32	0,02	74,2
46	19,02	15,3	0,02	74,38
47	19,00	15,27	0,02	74,2
48	19,02	15,34	0,02	74,38
49	19,24	15,32	0,02	75,18
50	19,93	15,37	0,01	77,65

Tabel D.1 Lanjutan

Data Ke	V_{in}	Vout	<i>Error</i>	PWM
51	19,96	15,34	0,02	77,73
52	19,91	15,34	0,02	77,56
53	20,36	15,34	0,02	79,52
54	20,39	15,39	0,01	79,61
55	20,41	15,37	0,01	79,7
56	20,36	15,34	0,02	79,52
57	20,36	15,34	0,02	79,52
58	20,39	15,37	0,01	79,61
59	20,51	15,37	0,01	80,07
60	20,60	15,37	0,01	80,44
61	20,48	15,37	0,01	79,98
62	20,58	15,37	0,01	80,35
63	20,51	15,39	0,01	80,07
64	20,48	15,37	0,01	79,98
65	20,46	15,37	0,01	79,89
66	20,46	15,37	0,01	79,89
67	20,46	15,37	0,01	79,89
68	20,43	15,37	0,01	79,8
69	20,48	15,37	0,01	79,98
70	20,48	15,34	0,02	79,98
71	20,96	15,37	0,01	81,83
72	21,49	15,44	0,01	82,1
73	21,51	15,37	0,01	82,1
74	21,51	15,39	0,01	82,1
75	21,51	15,37	0,01	82,1
76	21,51	15,42	0,01	82,1

Tabel D.1 Lanjutan

Data Ke	V_{in}	Vout	<i>Error</i>	PWM
77	21,49	15,44	0,01	82,1
78	21,51	15,39	0,01	82,1
79	21,51	15,39	0,01	82,1
80	21,53	15,39	0,01	82,1
81	21,51	15,37	0,01	82,1
82	21,49	15,39	0,01	82,1
83	21,51	15,37	0,01	82,1
84	21,51	15,42	0,01	82,1
85	21,92	15,42	0,01	82,1
86	21,99	15,39	0,01	82,1
87	21,99	15,37	0,01	82,1
88	21,99	15,42	0,01	82,1
89	21,99	15,39	0,01	82,1
90	21,99	15,39	0,01	82,1
91	21,99	15,37	0,01	82,1
92	21,96	15,34	0,02	82,1
93	21,99	15,37	0,01	82,1

LAMPIRAN E

Tabel E.1 Data Hasil perhitungan ketidakpastian ual tegangan keluaran *Buck Converter*

NO	Vout	CL	koreksi	y-yi	(y-yi)^2
1	15.44	15.582	0.142	0.142	0.020164
2	15.44	15.582	0.142	0.142	0.020164
3	15.46	15.582	0.122	0.122	0.014884
4	15.49	15.582	0.092	0.092	0.008464
5	15.49	15.582	0.092	0.092	0.008464
6	15.49	15.582	0.092	0.092	0.008464
7	15.51	15.582	0.072	0.072	0.005184
8	15.53	15.582	0.052	0.052	0.002704
9	15.51	15.582	0.072	0.072	0.005184
10	15.53	15.582	0.052	0.052	0.002704
11	15.53	15.582	0.052	0.052	0.002704
12	15.56	15.582	0.022	0.022	0.000484
13	15.56	15.582	0.022	0.022	0.000484
14	15.58	15.582	0.002	0.002	4E-06
15	15.58	15.582	0.002	0.002	4E-06
16	15.61	15.582	-0.028	-0.028	0.000784
17	15.61	15.582	-0.028	-0.028	0.000784
18	15.62	15.582	-0.038	-0.038	0.001444
19	15.7	15.582	-0.118	-0.118	0.013924
20	15.44	15.582	0.142	0.142	0.020164
21	15.51	15.582	0.072	0.072	0.005184
22	15.53	15.582	0.052	0.052	0.002704
23	15.56	15.582	0.022	0.022	0.000484
24	15.56	15.582	0.022	0.022	0.000484

Tabel E.1 Lanjutan

No	Vout	CL	koreksi	y-yi	(y-yi)^2
25	15.58	15.582	0.002	0.002	4E-06
26	15.58	15.582	0.002	0.002	4E-06
27	15.61	15.582	-0.028	-0.028	0.000784
28	15.63	15.582	-0.048	-0.048	0.002304
29	15.63	15.582	-0.048	-0.048	0.002304
30	15.65	15.582	-0.068	-0.068	0.004624
31	15.65	15.582	-0.068	-0.068	0.004624
32	15.68	15.582	-0.098	-0.098	0.009604
33	15.7	15.582	-0.118	-0.118	0.013924
34	15.68	15.582	-0.098	-0.098	0.009604
35	15.7	15.582	-0.118	-0.118	0.013924
36	15.7	15.582	-0.118	-0.118	0.013924
37	15.72	15.582	-0.138	-0.138	0.019044
38	15.72	15.582	-0.138	-0.138	0.019044
39	15.72	15.582	-0.138	-0.138	0.019044
40	15.75	15.582	-0.168	-0.168	0.028224
41	15.77	15.582	-0.188	-0.188	0.035344
42	15.77	15.582	-0.188	-0.188	0.035344
43	15.77	15.582	-0.188	-0.188	0.035344
44	15.79	15.582	-0.208	-0.208	0.043264
45	15.79	15.582	-0.208	-0.208	0.043264
46	15.82	15.582	-0.238	-0.238	0.056644
47	15.35	15.582	0.232	0.232	0.053824
48	15.7	15.582	-0.118	-0.118	0.013924
49	15.68	15.582	-0.098	-0.098	0.009604
50	15.63	15.582	-0.048	-0.048	0.002304
51	15.63	15.582	-0.048	-0.048	0.002304

Tabel E.1 Lanjutan

NO	Vout	CL	koreksi	y-yi	(y-yi)^2
52	15.61	15.582	-0.028	-0.028	0.000784
53	15.61	15.582	-0.028	-0.028	0.000784
54	15.61	15.582	-0.028	-0.028	0.000784
55	15.58	15.582	0.002	0.002	4E-06
56	15.58	15.582	0.002	0.002	4E-06
57	15.58	15.582	0.002	0.002	4E-06
58	15.58	15.582	0.002	0.002	4E-06
59	15.58	15.582	0.002	0.002	4E-06
60	15.58	15.582	0.002	0.002	4E-06
61	15.56	15.582	0.022	0.022	0.000484
62	15.56	15.582	0.022	0.022	0.000484
63	15.56	15.582	0.022	0.022	0.000484
64	15.56	15.582	0.022	0.022	0.000484
65	15.56	15.582	0.022	0.022	0.000484
66	15.54	15.582	0.042	0.042	0.001764
67	15.56	15.582	0.022	0.022	0.000484
68	15.54	15.582	0.042	0.042	0.001764
69	15.56	15.582	0.022	0.022	0.000484
70	15.54	15.582	0.042	0.042	0.001764
71	15.54	15.582	0.042	0.042	0.001764
72	15.56	15.582	0.022	0.022	0.000484
73	15.56	15.582	0.022	0.022	0.000484
74	15.54	15.582	0.042	0.042	0.001764
75	15.77	15.582	-0.188	-0.188	0.035344
76	15.48	15.582	0.102	0.102	0.010404
77	15.52	15.582	0.062	0.062	0.003844
78	15.46	15.582	0.122	0.122	0.014884

Tabel E.1 lanjutan

No	Vout	CL	koreksi	y-yi	(y-yi)^2
79	15.39	15.582	0.192	0.192	0.036864
80	15.39	15.582	0.192	0.192	0.036864
81	15.48	15.582	0.102	0.102	0.010404
82	15.5	15.582	0.082	0.082	0.006724
83	15.52	15.582	0.062	0.062	0.003844
84	15.52	15.582	0.062	0.062	0.003844
85	15.5	15.582	0.082	0.082	0.006724
86	15.55	15.582	0.032	0.032	0.001024
87	15.57	15.582	0.012	0.012	0.000144
88	15.59	15.582	-0.008	-0.008	6.4E-05
89	15.62	15.582	-0.038	-0.038	0.001444
90	15.62	15.582	-0.038	-0.038	0.001444
91	15.62	15.582	-0.038	-0.038	0.001444
92	15.62	15.582	-0.038	-0.038	0.001444
93	15.62	15.582	-0.038	-0.038	0.001444
94	15.62	15.582	-0.038	-0.038	0.001444
95	15.62	15.582	-0.038	-0.038	0.001444
96	15.62	15.582	-0.038	-0.038	0.001444
97	15.64	15.582	-0.058	-0.058	0.003364
98	15.42	15.582	0.162	0.162	0.026244
99	15.44	15.582	0.142	0.142	0.020164
100	15.61	15.582	-0.028	-0.028	0.000784
101	15.51	15.582	0.072	0.072	0.005184
102	15.44	15.582	0.142	0.142	0.020164
103	15.51	15.582	0.072	0.072	0.005184
104	15.51	15.582	0.072	0.072	0.005184
105	15.51	15.582	0.072	0.072	0.005184

Tabel E.1 Lanjutan

NO	Vout	CL	koreksi	y-yi	(y-yi)^2
106	15.53	15.582	0.052	0.052	0.002704
107	15.53	15.582	0.052	0.052	0.002704
108	15.56	15.582	0.022	0.022	0.000484
109	15.49	15.582	0.092	0.092	0.008464
110	15.46	15.582	0.122	0.122	0.014884
111	15.55	15.582	0.032	0.032	0.001024
112	15.63	15.582	-0.048	-0.048	0.002304
113	15.82	15.582	-0.238	-0.238	0.056644
114	15.52	15.582	0.062	0.062	0.003844
115	15.5	15.582	0.082	0.082	0.006724
116	15.58	15.582	0.002	0.002	4E-06
117	15.61	15.582	-0.028	-0.028	0.000784
118	15.49	15.582	0.092	0.092	0.008464
119	15.79	15.582	-0.208	-0.208	0.043264
120	15.57	15.582	0.012	0.012	0.000144
121	15.62	15.582	-0.038	-0.038	0.001444
122	15.62	15.582	-0.038	-0.038	0.001444
123	15.62	15.582	-0.038	-0.038	0.001444
124	15.59	15.582	-0.008	-0.008	6.4E-05
125	15.59	15.582	-0.008	-0.008	6.4E-05

Standar deviasi (σ) = 0.0935

Dari nilai standar deviasi dicari nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

E-6

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$U_{A1} = \frac{0.0935}{\sqrt{125}}$$

$$U_{A1} = 0.0084$$

Tabel E.2 Data Hasil perhitungan ketidakpastian ua1 Arus keluaran *Buck Converter*

NO	Iout	CL	koreksi	y-yi	(y-yi)^2
1	0.850	1.170	0.320	0.320	0.102
2	0.860	1.170	0.310	0.310	0.096
3	0.860	1.170	0.310	0.310	0.096
4	0.870	1.170	0.300	0.300	0.090
5	0.890	1.170	0.280	0.280	0.078
6	0.890	1.170	0.280	0.280	0.078
7	0.910	1.170	0.260	0.260	0.068
8	0.920	1.170	0.250	0.250	0.062
9	0.940	1.170	0.230	0.230	0.053
10	0.930	1.170	0.240	0.240	0.058
11	0.940	1.170	0.230	0.230	0.053
12	0.940	1.170	0.230	0.230	0.053
13	0.950	1.170	0.220	0.220	0.048
14	0.970	1.170	0.200	0.200	0.040
15	0.980	1.170	0.190	0.190	0.036
16	0.990	1.170	0.180	0.180	0.032
17	1.000	1.170	0.170	0.170	0.029
18	1.000	1.170	0.170	0.170	0.029
19	1.090	1.170	0.080	0.080	0.006

Tabel E.2 Lanjutan

NO	Iout	CL	koreksi	y-yi	(y-yi)^2
20	1.100	1.170	0.070	0.070	0.005
21	1.090	1.170	0.080	0.080	0.006
22	1.100	1.170	0.070	0.070	0.005
23	1.120	1.170	0.050	0.050	0.002
24	1.120	1.170	0.050	0.050	0.002
25	1.130	1.170	0.040	0.040	0.002
26	1.120	1.170	0.050	0.050	0.002
27	1.130	1.170	0.040	0.040	0.002
28	1.130	1.170	0.040	0.040	0.002
29	1.140	1.170	0.030	0.030	0.001
30	1.160	1.170	0.010	0.010	0.000
31	1.170	1.170	0.000	0.000	0.000
32	1.170	1.170	0.000	0.000	0.000
33	1.170	1.170	0.000	0.000	0.000
34	1.160	1.170	0.010	0.010	0.000
35	1.160	1.170	0.010	0.010	0.000
36	1.170	1.170	0.000	0.000	0.000
37	1.160	1.170	0.010	0.010	0.000
38	1.160	1.170	0.010	0.010	0.000
39	1.180	1.170	-0.010	-0.010	0.000
40	1.180	1.170	-0.010	-0.010	0.000
41	1.190	1.170	-0.020	-0.020	0.000
42	1.190	1.170	-0.020	-0.020	0.000
43	1.200	1.170	-0.030	-0.030	0.001
44	1.210	1.170	-0.040	-0.040	0.002
45	1.190	1.170	-0.020	-0.020	0.000
46	1.200	1.170	-0.030	-0.030	0.001

Tabel E.2 Lanjutan

NO	Iout	CL	koreksi	y-yi	(y-yi)^2
47	1.190	1.170	-0.020	-0.020	0.000
48	1.180	1.170	-0.010	-0.010	0.000
49	1.180	1.170	-0.010	-0.010	0.000
50	1.200	1.170	-0.030	-0.030	0.001
51	1.190	1.170	-0.020	-0.020	0.000
52	1.180	1.170	-0.010	-0.010	0.000
53	1.190	1.170	-0.020	-0.020	0.000
54	1.200	1.170	-0.030	-0.030	0.001
55	1.210	1.170	-0.040	-0.040	0.002
56	1.200	1.170	-0.030	-0.030	0.001
57	1.200	1.170	-0.030	-0.030	0.001
58	1.220	1.170	-0.050	-0.050	0.003
59	1.240	1.170	-0.070	-0.070	0.005
60	1.230	1.170	-0.060	-0.060	0.004
61	1.220	1.170	-0.050	-0.050	0.003
62	1.240	1.170	-0.070	-0.070	0.005
63	1.250	1.170	-0.080	-0.080	0.006
64	1.260	1.170	-0.090	-0.090	0.008
65	1.260	1.170	-0.090	-0.090	0.008
66	1.250	1.170	-0.080	-0.080	0.006
67	1.250	1.170	-0.080	-0.080	0.006
68	1.230	1.170	-0.060	-0.060	0.004
69	1.250	1.170	-0.080	-0.080	0.006
70	1.230	1.170	-0.060	-0.060	0.004
71	1.250	1.170	-0.080	-0.080	0.006
72	1.250	1.170	-0.080	-0.080	0.006
73	1.250	1.170	-0.080	-0.080	0.006

Tabel E.2 Lanjutan

No	Iout	CL	koreksi	y-yi	(y-yi)^2
74	1.240	1.170	-0.070	-0.070	0.005
75	1.320	1.170	-0.150	-0.150	0.023
76	1.310	1.170	-0.140	-0.140	0.020
77	1.350	1.170	-0.180	-0.180	0.032
78	1.250	1.170	-0.080	-0.080	0.006
79	1.260	1.170	-0.090	-0.090	0.008
80	1.240	1.170	-0.070	-0.070	0.005
81	1.310	1.170	-0.140	-0.140	0.020
82	1.260	1.170	-0.090	-0.090	0.008
83	1.260	1.170	-0.090	-0.090	0.008
84	1.240	1.170	-0.070	-0.070	0.005
85	1.230	1.170	-0.060	-0.060	0.004
86	1.270	1.170	-0.100	-0.100	0.010
87	1.300	1.170	-0.130	-0.130	0.017
88	1.310	1.170	-0.140	-0.140	0.020
89	1.310	1.170	-0.140	-0.140	0.020
90	1.310	1.170	-0.140	-0.140	0.020
91	1.310	1.170	-0.140	-0.140	0.020
92	1.290	1.170	-0.120	-0.120	0.014
93	1.300	1.170	-0.130	-0.130	0.017
94	1.280	1.170	-0.110	-0.110	0.012
95	1.280	1.170	-0.110	-0.110	0.012
96	1.250	1.170	-0.080	-0.080	0.006
97	1.300	1.170	-0.130	-0.130	0.017
98	1.350	1.170	-0.180	-0.180	0.032
99	1.360	1.170	-0.190	-0.190	0.036
100	1.370	1.170	-0.200	-0.200	0.040

Tabel E.2 Lanjutan

No	Iout	CL	koreksi	y-yi	(y-yi)^2
101	1.330	1.170	-0.160	-0.160	0.026
102	1.270	1.170	-0.100	-0.100	0.010
103	1.310	1.170	-0.140	-0.140	0.020
104	1.260	1.170	-0.090	-0.090	0.008
105	1.260	1.170	-0.090	-0.090	0.008
106	1.240	1.170	-0.070	-0.070	0.005
107	1.230	1.170	-0.060	-0.060	0.004
108	1.270	1.170	-0.100	-0.100	0.010
109	1.300	1.170	-0.130	-0.130	0.017
110	1.310	1.170	-0.140	-0.140	0.020
111	1.310	1.170	-0.140	-0.140	0.020
112	0.660	1.170	0.510	0.510	0.260
113	1.310	1.170	-0.140	-0.140	0.020
114	1.290	1.170	-0.120	-0.120	0.014
115	1.300	1.170	-0.130	-0.130	0.017
116	0.530	1.170	0.640	0.640	0.409
117	0.640	1.170	0.530	0.530	0.281
118	0.470	1.170	0.700	0.700	0.490
119	1.300	1.170	-0.130	-0.130	0.017
120	1.310	1.170	-0.140	-0.140	0.020
121	1.290	1.170	-0.120	-0.120	0.014
122	1.300	1.170	-0.130	-0.130	0.017
123	1.300	1.170	-0.130	-0.130	0.017
124	1.310	1.170	-0.140	-0.140	0.020
125	1.290	1.170	-0.120	-0.120	0.014

Standar deviasi (σ) = 0.1662

Dari nilai standar deviasi dicari nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$U_{A1} = \frac{0.1662}{\sqrt{125}}$$

$$U_{A1} = 0.015$$

Tabel E.3 Data Hasil perhitungan ketidakpastian ual Powe keluaran *Buck Converter*

NO	Power	CL	koreksi	y-yi	(y-yi)^2
1	13.12	18.23	5.11	5.11	26.07
2	13.28	18.23	4.95	4.95	24.52
3	13.30	18.23	4.93	4.93	24.35
4	13.48	18.23	4.75	4.75	22.60
5	13.79	18.23	4.44	4.44	19.75
6	13.79	18.23	4.44	4.44	19.75
7	14.11	18.23	4.12	4.12	16.94
8	14.29	18.23	3.94	3.94	15.54
9	14.58	18.23	3.65	3.65	13.33
10	14.44	18.23	3.79	3.79	14.34
11	14.60	18.23	3.63	3.63	13.19
12	14.63	18.23	3.60	3.60	12.99
13	14.78	18.23	3.45	3.45	11.89
14	15.11	18.23	3.12	3.12	9.72
15	15.27	18.23	2.96	2.96	8.77

Tabel E.3 Lanjutan

NO	<i>Power</i>	CL	koreksi	y-yi	(y-yi)^2
15	15.45	18.23	2.78	2.78	7.71
16	15.61	18.23	2.62	2.62	6.86
17	15.62	18.23	2.61	2.61	6.81
18	17.11	18.23	1.12	1.12	1.25
19	16.98	18.23	1.25	1.25	1.55
20	16.91	18.23	1.32	1.32	1.75
21	17.08	18.23	1.15	1.15	1.32
22	17.43	18.23	0.80	0.80	0.64
23	17.43	18.23	0.80	0.80	0.64
24	17.61	18.23	0.62	0.62	0.39
25	17.45	18.23	0.78	0.78	0.61
26	17.64	18.23	0.59	0.59	0.35
27	17.66	18.23	0.57	0.57	0.32
28	17.82	18.23	0.41	0.41	0.17
29	18.15	18.23	0.08	0.08	0.01
30	18.31	18.23	-0.08	-0.08	0.01
31	18.35	18.23	-0.12	-0.12	0.01
32	18.37	18.23	-0.14	-0.14	0.02
33	18.19	18.23	0.04	0.04	0.00
34	18.21	18.23	0.02	0.02	0.00
35	18.37	18.23	-0.14	-0.14	0.02
36	18.24	18.23	-0.01	-0.01	0.00
37	18.24	18.23	-0.01	-0.01	0.00
38	18.55	18.23	-0.32	-0.32	0.10
39	18.59	18.23	-0.36	-0.36	0.13
40	18.77	18.23	-0.54	-0.54	0.29
41	18.77	18.23	-0.54	-0.54	0.29

Tabel E.3

NO	<i>Power</i>	CL	koreksi	y-yi	(y-yi)^2
42	18.92	18.23	-0.69	-0.69	0.48
43	19.11	18.23	-0.88	-0.88	0.77
44	18.79	18.23	-0.56	-0.56	0.31
45	18.98	18.23	-0.75	-0.75	0.57
46	18.27	18.23	-0.04	-0.04	0.00
47	18.53	18.23	-0.30	-0.30	0.09
48	18.50	18.23	-0.27	-0.27	0.07
49	18.76	18.23	-0.53	-0.53	0.28
50	18.60	18.23	-0.37	-0.37	0.14
51	18.42	18.23	-0.19	-0.19	0.04
52	18.58	18.23	-0.35	-0.35	0.12
53	18.73	18.23	-0.50	-0.50	0.25
54	18.85	18.23	-0.62	-0.62	0.39
55	18.70	18.23	-0.47	-0.47	0.22
56	18.70	18.23	-0.47	-0.47	0.22
57	19.01	18.23	-0.78	-0.78	0.60
58	19.32	18.23	-1.09	-1.09	1.19
59	19.16	18.23	-0.93	-0.93	0.87
60	18.98	18.23	-0.75	-0.75	0.57
61	19.29	18.23	-1.06	-1.06	1.13
62	19.45	18.23	-1.22	-1.22	1.49
63	19.61	18.23	-1.38	-1.38	1.89
64	19.61	18.23	-1.38	-1.38	1.89
65	19.43	18.23	-1.20	-1.20	1.43
66	19.45	18.23	-1.22	-1.22	1.49
67	19.11	18.23	-0.88	-0.88	0.78
68	19.45	18.23	-1.22	-1.22	1.49

Tabel E.3

No	Power	CL	koreksi	y-yi	(y-yi)^2
69	19.11	18.23	-0.88	-0.88	0.78
70	19.43	18.23	-1.20	-1.20	1.43
71	19.45	18.23	-1.22	-1.22	1.49
72	19.45	18.23	-1.22	-1.22	1.49
73	19.27	18.23	-1.04	-1.04	1.08
74	20.82	18.23	-2.59	-2.59	6.69
75	20.28	18.23	-2.05	-2.05	4.20
76	20.95	18.23	-2.72	-2.72	7.41
77	19.33	18.23	-1.10	-1.10	1.20
78	19.39	18.23	-1.16	-1.16	1.35
79	19.08	18.23	-0.85	-0.85	0.73
80	20.28	18.23	-2.05	-2.05	4.20
81	19.53	18.23	-1.30	-1.30	1.69
82	19.56	18.23	-1.33	-1.33	1.76
83	19.24	18.23	-1.01	-1.01	1.03
84	19.07	18.23	-0.84	-0.84	0.70
85	19.75	18.23	-1.52	-1.52	2.31
86	20.24	18.23	-2.01	-2.01	4.04
87	20.42	18.23	-2.19	-2.19	4.81
88	20.46	18.23	-2.23	-2.23	4.98
89	20.46	18.23	-2.23	-2.23	4.98
90	20.46	18.23	-2.23	-2.23	4.98
91	20.15	18.23	-1.92	-1.92	3.69
92	20.31	18.23	-2.08	-2.08	4.31
93	19.99	18.23	-1.76	-1.76	3.11
94	19.99	18.23	-1.76	-1.76	3.11
95	19.53	18.23	-1.30	-1.30	1.68

Tabel E.3

NO	Power	CL	koreksi	y-yi	(y-yi)^2
96	20.33	18.23	-2.10	-2.10	4.42
97	20.82	18.23	-2.59	-2.59	6.69
98	21.00	18.23	-2.77	-2.77	7.66
99	21.39	18.23	-3.16	-3.16	9.96
100	20.63	18.23	-2.40	-2.40	5.75
101	19.61	18.23	-1.38	-1.38	1.90
102	20.32	18.23	-2.09	-2.09	4.36
103	19.54	18.23	-1.31	-1.31	1.72
104	19.54	18.23	-1.31	-1.31	1.72
05	19.26	18.23	-1.03	-1.03	1.06
106	19.10	18.23	-0.87	-0.87	0.76
107	19.76	18.23	-1.53	-1.53	2.34
108	20.14	18.23	-1.91	-1.91	3.64
109	20.25	18.23	-2.02	-2.02	4.09
110	20.37	18.23	-2.14	-2.14	4.58
112	10.32	18.23	7.91	7.91	62.63
113	20.72	18.23	-2.49	-2.49	6.22
114	20.02	18.23	-1.79	-1.79	3.21
115	20.15	18.23	-1.92	-1.92	3.69
116	8.26	18.23	9.97	9.97	99.45
117	9.99	18.23	8.24	8.24	67.89
118	7.28	18.23	10.95	10.95	119.90
119	20.53	18.23	-2.30	-2.30	5.28
120	20.40	18.23	-2.17	-2.17	4.69
121	20.15	18.23	-1.92	-1.92	3.69
122	20.31	18.23	-2.08	-2.08	4.31
123	20.31	18.23	-2.08	-2.08	4.31

E-16

Standar deviasi (σ) = 2.598

Dari nilai standar deviasi dicari nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$U_{A1} = \frac{2.598}{\sqrt{125}}$$

$$U_{A1} = 0.232$$

LAMPIRAN F

Tabel F.1 Data Validasi CPS (*Cyber Physical System*)

WAKTU	Vpv	Ipv	Power Pv	Vbuck	Kapasitas aki1	Kapasitas aki2	Err	PWM	ARUS aki1	ARUS aki2	Relay 1	Relay 2	Set Kapasitas
07.36.45	20.14	0.93	18.67	15.44	73.92	45.12	0.01	77.4	0.85	0	1	0	80
07.37.01	20.14	0.93	18.83	15.44	73.92	45.12	0.01	77.4	0.86	0	1	0	80
07.38.01	20.19	0.95	19.08	15.46	74.94	45.12	0.01	77.23	0.86	0	1	0	80
07.39.01	20.19	0.96	19.29	15.49	75.97	45.12	0.01	77.23	0.87	0	1	0	80
07.40.01	20.22	0.97	19.67	15.49	75.97	45.12	0.01	77.15	0.89	0	1	0	80
07.41.01	20.22	0.98	19.73	15.49	75.97	45.12	0.01	77.15	0.89	0	1	0	80
07.42.01	20.22	0.99	19.93	15.51	77	44.1	0.01	77.16	0.91	0	1	0	80
07.43.01	20.26	1	20.28	15.53	78.03	45.12	0	76.99	0.92	0	1	0	80
07.44.01	20.29	1.01	20.54	15.51	77	45.12	0.01	76.9	0.94	0	1	0	80
07.45.01	20.29	1.02	20.68	15.53	78.03	44.1	0	76.9	0.93	0	1	0	80
07.46.01	20.29	1.02	20.65	15.53	78.03	44.1	0	76.9	0.94	0	1	0	80
07.47.01	20.31	1.02	20.79	15.56	79.06	45.12	0	76.81	0.94	0	1	0	80
07.48.01	20.33	1.03	21	15.56	79.06	44.1	0	76.72	0.95	0	1	0	80
07.49.01	20.38	1.06	21.53	15.58	80.08	44.1	0	76.54	0.97	0	1	0	80
07.50.01	20.38	1.06	21.69	15.58	80.08	45.1	0	76.54	0.98	0	1	0	80

Tabel F.1 Lanjutan

WAKTU	Vpv	Ipv	Power Pv	Vbuck	Kapasitas aki1	Kapasitas aki2	Err	PWM	ARUS aki1	ARUS aki2	Relay 1	Relay 2	Set Kapasitas
07.51.01	20.38	1.07	21.89	15.61	81.11	45.12	0	76.54	0.99	0	1	0	80
07.52.02	20.38	1.08	22.1	15.61	81.11	45.12	0	76.54	1	0	1	0	80
07.53.02	20.49	0.04	1.09	15.62	58.49	38.95	0	70.9	0	0	0	1	80
07.54.02	20.97	1.12	23.43	15.7	53.35	65.69	-0.01	74.35	0	1.09	0	1	80
07.55.02	20.14	1.12	22.52	15.44	51.29	73.92	0.01	77.4	0	1.1	0	1	80
07.56.02	20.19	1.12	22.64	15.51	50.27	77	0.01	77.25	0	1.09	0	1	80
07.57.02	20.19	1.13	22.76	15.53	49.24	78.03	0	77.25	0	1.1	0	1	80
07.58.02	20.24	1.14	23.04	15.56	49.24	79.06	0	77.08	0	1.12	0	1	80
07.59.02	20.24	1.14	23.07	15.56	48.21	79.06	0	77.08	0	1.12	0	1	90
08.00.02	20.29	1.15	23.35	15.58	48.21	80.08	0	76.91	0	1.13	0	1	90
08.01.02	20.29	1.15	23.37	15.58	47.18	80.08	0	76.91	0	1.12	0	1	90
08.02.02	20.31	1.15	23.44	15.61	47.18	81.11	0	76.82	0	1.13	0	1	90
08.03.02	20.29	1.16	23.45	15.63	47.18	82.14	0	76.91	0	1.13	0	1	90
08.04.02	20.36	1.17	23.83	15.63	47.18	82.14	0	76.63	0	1.14	0	1	90
08.05.02	20.36	1.18	24.07	15.65	47.18	83.17	0	76.63	0	1.16	0	1	90
08.06.02	20.38	1.19	24.27	15.65	47.18	83.17	0	76.54	0	1.17	0	1	90
08.07.02	20.41	1.2	24.45	15.68	47.18	84.2	0	76.45	0	1.17	0	1	90
08.08.02	20.43	1.2	24.47	15.7	46.15	85.23	-0.01	76.36	0	1.17	0	1	90

Tabel F.1 Lanjutan

WAKTU	Vpv	Ipv	Power Pv	Vbuck	Kapasitas aki1	Kapasitas aki2	Err	PWM	ARUS aki1	ARUS aki2	Relay 1	Relay 2	Set Kapasitas
08.09.02	20.38	1.18	24.01	15.68	46.15	84.2	0	76.54	0	1.16	0	1	90
08.10.02	20.41	1.18	23.98	15.7	46.15	85.23	-0.01	76.45	0	1.16	0	1	90
08.11.03	20.43	1.19	24.28	15.7	46.15	85.23	-0.01	76.36	0	1.17	0	1	90
08.12.03	20.41	1.18	24.02	15.72	46.15	86.25	-0.01	76.45	0	1.16	0	1	90
08.13.03	20.43	1.19	24.29	15.72	45.12	86.25	-0.01	76.36	0	1.16	0	1	90
08.14.03	20.45	1.2	24.53	15.72	45.12	86.25	-0.01	76.27	0	1.18	0	1	90
08.15.03	20.48	1.21	24.74	15.75	46.15	87.28	-0.01	76.18	0	1.18	0	1	90
08.16.03	20.48	1.21	24.8	15.77	45.12	88.31	-0.01	76.18	0	1.19	0	1	90
08.17.03	20.50	1.22	24.93	15.77	45.12	88.31	-0.01	76.09	0	1.19	0	1	90
08.18.03	20.53	1.22	25.12	15.77	45.12	88.31	-0.01	76	0	1.2	0	1	90
08.19.03	20.50	1.22	25.09	15.79	45.12	89.34	-0.01	76.09	0	1.21	0	1	90
08.20.03	20.50	1.22	24.97	15.79	45.12	89.34	-0.01	76.09	0	1.19	0	1	90
08.21.03	20.53	1.22	25.08	15.82	45.12	90.37	-0.01	76	1.2	0	1	0	90
08.22.03	20.02	1.28	25.72	15.35	66.72	69.8	0.02	77.83	1.19	0	1	0	90
08.23.03	21.07	1.28	26.92	15.7	75.97	65.69	-0.01	73.95	1.18	0	1	0	90
08.24.03	21.14	1.28	27.1	15.68	79.06	64.66	0	73.72	1.18	0	1	0	90
08.25.03	21.19	1.3	27.49	15.63	80.08	62.6	0	73.58	1.2	0	1	0	90
08.26.03	21.19	1.29	27.41	15.63	81.11	62.6	0	73.58	1.19	0	1	0	90

Tabel F.1 Lanjutan

WAKTU	Vpv	Ipv	Power Pv	Vbuck	Kapasitas aki1	Kapasitas aki2	Err	PWM	ARUS aki1	ARUS aki2	Relay 1	Relay 2	Set Kapasitas
08.27.03	21.19	1.28	27.15	15.61	81.11	61.58	0	73.58	1.18	0	1	0	90
08.28.03	21.21	1.29	27.32	15.61	82.14	61.58	0	73.5	1.19	0	1	0	90
08.29.03	21.21	1.3	27.6	15.61	82.14	61.58	0	73.5	1.2	0	1	0	90
08.30.04	21.23	1.31	27.76	15.58	82.14	60.55	0	73.42	1.21	0	1	0	90
08.31.04	21.23	1.3	27.52	15.58	83.17	60.55	0	73.42	1.2	0	1	0	90
08.32.04	21.23	1.3	27.56	15.58	83.17	60.55	0	73.42	1.2	0	1	0	90
08.33.04	21.28	1.32	28.11	15.58	84.2	60.55	0	73.26	1.22	0	1	0	90
08.34.04	21.31	1.34	28.45	15.58	84.2	60.55	0	73.18	1.24	0	1	0	90
08.35.04	21.31	1.33	28.28	15.58	85.23	60.55	0	73.18	1.23	0	1	0	90
08.36.04	21.31	1.32	28.11	15.56	85.23	59.52	0	73.18	1.22	0	1	0	90
08.37.04	21.35	1.34	28.68	15.56	85.23	59.52	0	73.03	1.24	0	1	0	90
08.38.04	21.38	1.36	29.03	15.56	86.25	59.52	0	72.95	1.25	0	1	0	90
08.39.04	21.38	1.36	29.08	15.56	87.28	59.52	0	72.95	1.26	0	1	0	90
08.40.04	21.38	1.36	29.01	15.56	87.28	59.52	0	72.95	1.26	0	1	0	90
08.41.04	21.40	1.35	28.92	15.54	87.28	58.49	0	72.87	1.25	0	1	0	90
08.42.04	21.40	1.35	28.99	15.56	88.31	59.52	0	72.87	1.25	0	1	0	90
08.43.04	21.38	1.33	28.49	15.54	87.28	58.49	0	72.95	1.23	0	1	0	90
08.44.04	21.40	1.35	28.79	15.56	88.31	59.52	0	72.87	1.25	0	1	0	90

Tabel F.1 Lanjutan

WAKTU	Vpv	Ipv	Power Pv	Vbuck	Kapasitas aki1	Kapasitas aki2	Err	PWM	ARUS aki1	ARUS aki2	Relay 1	Relay 2	Set Kapasitas
08.45.04	21.40	1.34	28.64	15.54	89.34	58.49	0	72.87	1.23	0	1	0	90
08.46.04	21.43	1.36	29.1	15.54	89.34	58.49	0	72.79	1.25	0	1	0	90
08.47.04	21.43	1.36	29.12	15.56	89.34	59.52	0	72.79	1.25	0	1	0	90
08.48.04	21.43	1.35	28.98	15.56	89.34	59.52	0	72.79	1.25	0	1	0	90
08.49.04	21.45	1.35	28.87	15.54	90.37	58.49	0	72.71	1.24	0	0	1	90
08.50.05	20.55	1.33	27.38	15.77	61.58	88.31	-0.01	75.92	0	1.32	0	1	90
08.51.05	19.87	1.34	26.53	15.48	58.49	92.42	0.01	78.59	0	1.31	0	1	90
08.52.05	19.94	1.37	27.33	15.52	58.49	94.48	0	78.29	1.35	0	1	0	90
08.53.05	21.35	1.36	29.01	15.46	118.13	55.41	0.01	73.01	1.25	0	1	0	90
08.54.46	21.35	1.36	28.94	15.39	119.16	52.32	0.01	73.01	1.26	0	0	1	90
08.55.05	21.38	1.33	28.46	15.39	116.07	52.32	0.01	72.93	1.24	0	0	1	90
08.56.05	19.89	1.33	26.43	15.48	59.52	92.42	0.01	78.49	0	1.31	0	1	90
08.57.05	20.20	1.28	25.92	15.5	56.43	93.45	0.01	77.21	0	1.26	0	1	90
08.58.05	20.25	1.28	25.88	15.52	55.41	94.48	0	77.03	0	1.26	0	1	100
08.59.05	20.20	1.27	25.56	15.52	54.38	94.48	0	77.21	0	1.24	0	1	100
09.00.05	20.18	1.25	25.29	15.5	54.38	93.45	0.01	77.29	0	1.23	0	1	100
09.01.05	20.13	1.29	26.07	15.55	54.38	95.51	0	77.49	0	1.27	0	1	100
09.02.05	20.18	1.32	26.56	15.57	54.38	96.54	0	77.32	0	1.3	0	1	100

Tabel F.1 Lanjutan

WAKTU	Vpv	Ipv	Power Pv	Vbuck	Kapasitas aki1	Kapasitas aki2	Err	PWM	ARUS aki1	ARUS aki2	Relay 1	Relay 2	Set Kapasitas
09.03.05	20.20	1.33	26.9	15.59	53.35	97.57	0	77.23	0	1.31	0	1	100
09.04.05	20.25	1.33	26.89	15.62	54.38	98.59	0	77.05	0	1.31	0	1	100
09.05.05	20.23	1.33	26.9	15.62	53.35	98.59	0	77.14	0	1.31	0	1	100
09.06.05	20.25	1.33	26.86	15.62	54.38	98.59	0	77.05	0	1.31	0	1	100
09.07.05	20.23	1.31	26.51	15.62	52.32	98.59	0	77.14	0	1.29	0	1	100
09.08.05	20.27	1.32	26.76	15.62	51.29	98.59	0	76.96	0	1.3	0	1	100
09.09.06	20.25	1.3	26.25	15.62	51.29	98.59	0	77.05	0	1.28	0	1	100
09.10.06	20.27	1.3	26.36	15.62	51.29	98.59	0	76.96	0	1.28	0	1	100
09.11.06	20.20	1.27	25.73	15.62	50.27	98.59	0	77.22	0	1.25	0	1	100
09.12.06	20.15	1.32	26.62	15.64	51.29	99.62	0	77.4	0	1.3	0	1	100
09.13.06	21.67	1.36	29.46	15.42	53.35	99.62	0.01	72.02	0	1.35	0	1	100
09.14.06	21.69	1.38	29.96	15.44	54.38	100.65	0.01	71.95	1.36	0	1	0	100
09.15.06	21.14	1.48	31.36	15.61	109.16	61.58	0	73.73	1.37	0	1	0	100
09.16.06	21.19	1.44	30.49	15.51	108.41	57.46	0.01	73.57	0	1.33	0	1	100
09.17.06	20.00	1.36	27.12	15.44	101.68	73.92	0.01	78	0	1.27	0	1	100
09.18.06	20.17	1.51	30.36	15.51	104.76	77	0.01	77.34	0	1.31	0	1	100
09.19.06	20.17	1.49	30.1	15.51	106.82	77	0.01	77.33	0	1.26	0	1	100
09.20.06	20.17	1.5	30.18	15.51	105.79	77	0.01	77.34	0	1.26	0	1	100

Tabel F.1 Lanjutan

WAKTU	Vpv	Ipv	Power Pv	Vbuck	Kapasitas aki1	Kapasitas aki2	Err	PWM	ARUS aki1	ARUS aki2	Relay 1	Relay 2	Set Kapasitas
09.21.06	20.19	1.52	30.72	15.53	107.85	78.03	0	77.25	0	1.24	0	1	100
09.22.06	20.17	1.51	30.45	15.53	107.85	78.03	0	77.34	0	1.23	0	1	100
09.23.06	20.17	1.51	30.43	15.56	106.82	79.06	0	77.35	0	1.27	0	1	100
09.24.06	20.14	1.45	29.14	15.49	109.9	75.97	0.01	77.42	0	1.3	0	1	100
09.25.06	20.22	1.49	30.08	15.46	108.88	74.94	0.01	77.14	0	1.31	0	1	100
09.26.06	19.91	1.56	30.98	15.55	104.58	95.51	0	78.37	0	1.31	0	1	100
09.27.06	19.50	0.76	14.8	15.63	82.14	82.14	0	80.06	0	0.66	0	1	100
09.28.06	20.38	1.45	29.47	15.82	93.45	90.37	-0.01	76.52	0	1.31	0	1	100
09.29.07	19.70	1.59	31.39	15.52	98.59	94.48	0	79.25	0	1.29	0	1	100
09.30.07	19.58	1.49	29.25	15.5	96.54	93.45	0.01	79.73	0	1.3	0	1	100
09.31.07	19.35	0.63	12.15	15.58	93.45	90.37	0	80.65	0	0.53	0	1	100
09.32.07	19.62	0.74	14.6	15.61	98.59	94.48	0	79.57	0	0.64	0	1	100
09.33.07	19.54	0.57	11.16	15.49	96.54	93.45	0.01	79.87	0	0.47	0	1	100
09.34.07	20.79	1.5	31.11	15.79	95.51	96.54	-0.01	75.05	0	1.3	0	1	100
09.36.04	20.03	1.62	32.39	15.57	100	100	0	77.86	0	0	0	0	100
09.37.04	20.03	1.61	32.33	15.62	100	100	0	77.86	0	0	0	0	100
09.38.04	20.06	1.64	32.86	15.62	100	100	0	77.77	0	0	0	0	100
09.39.04	20.01	1.6	32.07	15.62	100	100	0	77.95	0	0	0	0	100

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN G



Dokumentasi Pengujian arus keluaran panel surya



Dokumentasi Pengujian Tegangan keluaran panel surya

G-2



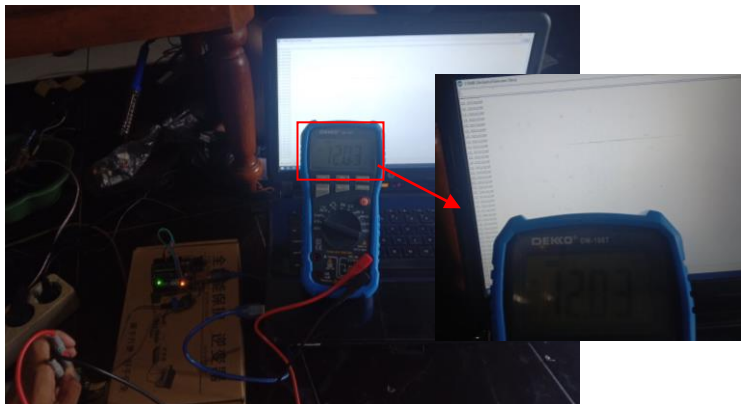
Dokumentasi Pengujian suhu dan kelembapan lingkungan panel surya



Dokumentasi Pengujian suhu di panel surya



Dokumentasi Pengujian *irradiance* di sekitar panel surya



Dokumentasi Pengujian dan Kalibrasi
Sensor Tegangan(Voltage Sensor)

G-4



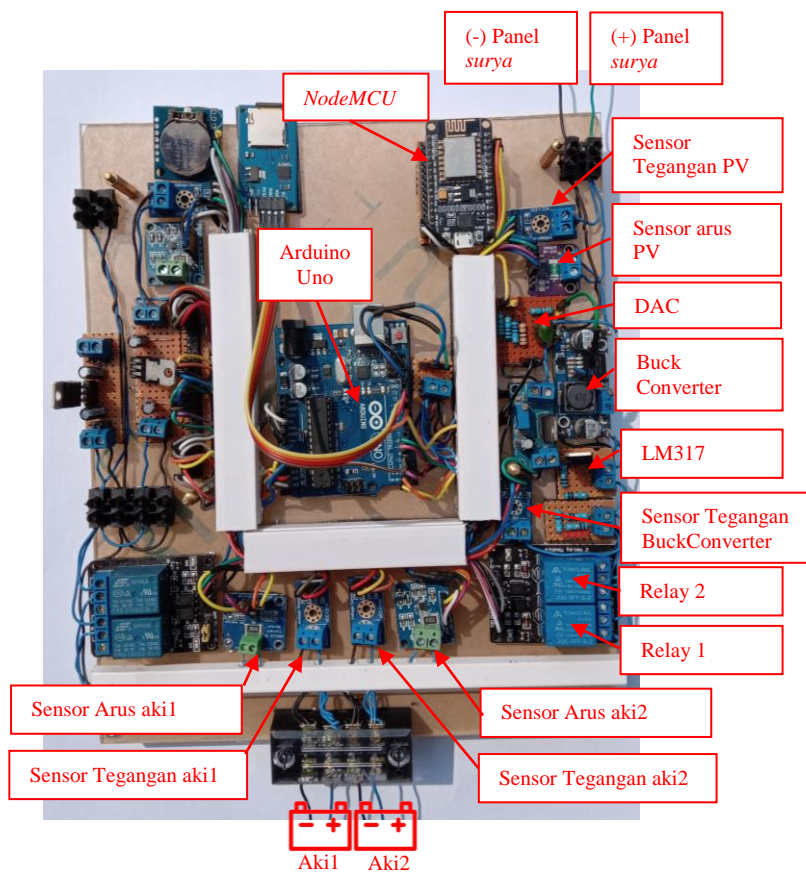
Dokumentasi Pengujian dan Kalibrasi
Sensor Arus(INA219)



Dokumentasi Kerangka Panel surya 50w



Dokumentasi Pengambilan data



Dokumentasi Rangkaian Elektrik

LAMPIRAN H

Tabel H.1 Data pengujian karakteristik MPP panel surya dengan R8, 10, dan 11 Ohm

No	Waktu (WIB)	<i>Open Circuit</i>		R 8Ohm		R 10Ohm		R 11Ohm	
		V (Volt)	i (Amp)	V (Volt)	i (Amp)	V (Volt)	i (Amp)	V (Volt)	i (Amp)
1	12.00.00	20.00	2.60	16.20	1.66	16.30	1.60	16.40	1.61
2	12.15.00	20.10	2.40	16.20	1.67	16.30	1.63	16.30	1.60
3	12.30.00	19.60	2.20	15.80	1.60	15.90	1.60	16.00	1.58
4	12.45.00	19.90	2.11	16.10	1.60	16.10	1.60	16.10	1.58
5	13.00.00	20.00	2.05	15.70	1.60	15.90	1.59	16.20	1.58
6	13.15.00	19.80	1.95	15.80	1.61	15.90	1.58	15.80	1.57
7	13.30.00	20.02	1.96	16.10	1.63	16.20	1.62	16.20	1.60
8	13.45.00	21.60	2.14	16.10	1.60	16.10	1.58	16.50	1.50
9	14.00.00	20.01	2.01	15.90	1.57	15.80	1.58	15.60	1.59
10	14.15.00	20.40	1.87	15.58	1.54	15.70	1.56	15.70	1.55
11	14.30.00	20.30	1.73	15.40	1.43	15.20	1.52	15.20	1.51
12	14.45.00	20.20	1.56	14.80	1.45	14.60	1.46	14.47	1.46

Tabel H.1 Lanjutan

No	Waktu (WIB)	<i>Open Circuit</i>		R 8Ohm		R 10Ohm		R 11Ohm	
		V (Volt)	i (Amp)	V (Volt)	i (Amp)	V (Volt)	i (Amp)	V (Volt)	i (Amp)
13	15.00.00	20.30	1.30	13.30	1.31	12.90	1.30	13.00	1.30
14	15.15.00	20.20	1.19	11.50	1.18	11.60	1.18	11.70	1.17
15	15.30.00	20.20	1.00	9.70	1.00	9.80	0.99	9.80	0.99
16	15.45.00	20.20	0.80	7.70	0.80	7.90	0.80	8.00	0.80
17	16.00.00	20.20	0.58	5.40	0.56	5.30	0.54	5.10	0.52
18	16.15.00	19.00	0.11	18.90	0.00	1.10	0.11	1.10	0.12
19	16.30.00	18.50	0.08	18.50	0.00	0.80	0.08	0.80	0.08

Tabel H.2 Data pengujian karakteristik MPP panel surya dengan R12, 15, dan 18 Ohm

No	Waktu (WIB)	R 12Ohm		R 15Ohm		R 18Ohm	
		V (Volt)	i (Amp)	V (Volt)	i (Amp)	V (Volt)	i (Amp)
1	12.00.00	16.90	1.40	17.10	1.17	18.00	0.97
2	12.15.00	16.80	1.40	17.30	1.17	17.80	0.95
3	12.30.00	16.50	1.37	17.00	1.15	17.50	0.90
4	12.45.00	16.70	1.33	17.20	1.16	17.70	0.95
5	13.00.00	16.70	1.39	17.30	1.17	17.80	0.96
6	13.15.00	16.50	1.38	17.20	1.16	17.70	0.95
7	13.30.00	16.90	1.39	17.50	1.18	18.00	0.96
8	13.45.00	16.70	1.39	17.40	1.17	17.90	0.96
9	14.00.00	16.60	1.38	17.30	1.16	17.90	0.96
10	14.15.00	16.65	1.38	17.30	1.16	17.80	0.96
11	14.30.00	16.20	1.35	17.00	1.15	17.70	0.95
12	14.45.00	15.90	1.32	16.80	1.14	17.76	0.95

Tabel H.2 Lanjutan

No	Waktu (WIB)	R 120hm		R 150hm		R 180hm	
		V (Volt)	i (Amp)	V (Volt)	i (Amp)	V (Volt)	i (Amp)
13	15.00.00	14.90	1.24	16.30	1.10	17.30	0.90
14	15.15.00	13.70	1.15	15.08	1.06	17.00	0.91
15	15.30.00	11.70	0.97	14.10	0.95	16.10	0.87
16	15.45.00	9.60	0.80	11.90	0.80	14.40	0.78
17	16.00.00	5.70	0.47	6.70	0.45	7.80	0.42
18	16.15.00	1.30	0.11	1.60	0.11	2.00	0.11
19	16.30.00	0.90	0.08	1.20	0.08	1.50	0.08

Menentukan nilai U_{A1} Pada tegangan yang dihasilkan panel surya keadaan *Open circuit* didapatkan rata rata tegangan sebesar 20.03 Volt dengan Standar deviasi (σ) 0.603. nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{0.603}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 0.142$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada arus yang dihasilkan panel surya keadaan *Open circuit* didapatkan rata rata arus sebesar 1,56 Ampere dengan Standar deviasi (σ) 0.747. nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{0.747}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 0.176$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada *power* yang dihasilkan panel surya keadaan *Open circuit* didapatkan rata rata *power* sebesar 31.45 Watt dengan Standar deviasi (σ) 14.653 nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{14.653}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 3.453$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada tegangan yang dihasilkan panel surya dengan resistor 8 Ohm didapatkan rata rata tegangan sebesar 14.46 Volt dengan Standar deviasi (σ) 3.49. nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{3.49}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 0.82$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada arus yang dihasilkan panel surya dengan resistor 8 Ohm didapatkan rata rata arus sebesar 1,25 Ampere dengan Standar deviasi (σ) 0.53. nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{0.53}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 0.12$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada *power* yang dihasilkan panel surya dengan resistor 8 Ohm didapatkan rata rata *power* sebesar 18.41 Watt dengan Standar deviasi (σ) 9.45 nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{9.45}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 0.22$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada tegangan yang dihasilkan panel surya dengan resistor 10 Ohm didapatkan rata rata tegangan sebesar 12.60 Volt dengan Standar deviasi (σ) 5.18 nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{5.81}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 1.22$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada arus yang dihasilkan panel surya dengan resistor 10 Ohm didapatkan rata rata arus sebesar 1,26 Ampere dengan Standar deviasi (σ) 0.51 nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{0.51}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 0.12$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada *power* yang dihasilkan panel surya dengan resistor 10 Ohm didapatkan rata rata *power* sebesar 18.39 Watt dengan Standar deviasi (σ) 9.41 nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{9.41}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 2.21$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada tegangan yang dihasilkan panel surya dengan resistor 11 Ohm didapatkan rata rata tegangan sebesar 12.63 Volt dengan Standar deviasi (σ) 5.21 nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{5.21}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 1.22$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada arus yang dihasilkan panel surya dengan resistor 11 Ohm didapatkan rata rata arus sebesar 1,25 Ampere dengan Standar deviasi (σ) 0.50 nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{0.50}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 0.11$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada *power* yang dihasilkan panel surya dengan resistor 11 Ohm didapatkan rata rata *power* sebesar 18.26 Watt dengan Standar deviasi (σ) 9.33 nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{9.33}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 2.20$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada tegangan yang dihasilkan panel surya dengan resistor 12 Ohm didapatkan rata rata tegangan sebesar 13.29 Volt dengan Standar deviasi (σ) 5.29. nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{5.29}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 1.24$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada arus yang dihasilkan panel surya dengan resistor 12 Ohm didapatkan rata rata arus sebesar 1,12 Ampere dengan Standar deviasi (σ) 0.43 nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{0.43}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 0.10$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada *power* yang dihasilkan panel surya dengan resistor 12 Ohm didapatkan rata rata *power* sebesar 17.35 Watt dengan Standar deviasi (σ) 8.22 nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{8.22}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 1.93$$

H-10

Menentukan nilai U_{A1} Pada tegangan yang dihasilkan panel surya dengan resistor 15 Ohm didapatkan rata rata tegangan sebesar 14.38 Volt dengan Standar deviasi (σ) 5.28 nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{5.28}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 1.24$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada arus yang dihasilkan panel surya dengan resistor 15 Ohm didapatkan rata rata arus sebesar 0,97 Ampere dengan Standar deviasi (σ) 0.35 nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{0.35}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 0.08$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada *power* yang dihasilkan panel surya dengan resistor 15 Ohm didapatkan rata rata *power* sebesar 15.78 Watt dengan Standar deviasi (σ) 6.86 nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{6.86}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 1.61$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada tegangan yang dihasilkan panel surya dengan resistor 18 Ohm didapatkan rata rata tegangan sebesar 15.25 Volt dengan Standar deviasi (σ) 5.30 nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{5.30}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 1.25$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada arus yang dihasilkan panel surya dengan resistor 18 Ohm didapatkan rata rata arus sebesar 0,82 Ampere dengan Standar deviasi (σ) 0.28 nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{0.28}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 0.06$$

Menentukan nilai U_{A1} Pada *power* yang dihasilkan panel surya dengan resistor 18 Ohm didapatkan rata rata *power* sebesar 13.85 Watt dengan Standar deviasi (σ) 5.60 nilai ketidakpastian hasil pengukuran (U_{A1}) dengan rumus:

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

$$U_{A1} = \frac{5.60}{\sqrt{19-1}}$$

$$U_{A1} = 1.32$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN J

Kode *Arduino* uno

```
#define INTERVAL 60000 //60 secon
unsigned long timer = 0;
#include <Wire.h>
//Library untuk sensor Arus dc
#include <Adafruit_INA219.h>
const int INA_addr = 0x45; // INA219 address
Adafruit_INA219 ina219_A (0x40);
Adafruit_INA219 ina219_B (0x44);
Adafruit_INA219 ina219_C (0x41);
//inialisasi untuk membaca perintah dari NodeMCU
float temp;//variabelInialisasiRuleBase
//Inialisasi variabel ADC
int ADCVin; //ADCteganganPV
int ADCVout; //ADCteganganOutBuck
int ADCVB1; //ADCteganganBaterai1
int ADCVB2; //ADCteganganBaterai2
int ADCiPV; //ADCArusPV
int ADCiBuck; //ADCArusOutBuck
int ADCiB1; //ADCArusBaterai1
int ADCiB2; //ADCArusBaterai2
//Inialisasi variabel Sensor
float PB;
float VoltVin; //TeganganPV
float VoltErr; //SelisihTeganganOutBuck&setpoint
float VoltVout; //Tegangan
float VBuck; //TeganganOutBuck
float VoltVB1; //teganganBaterai1
float VoltVB2; //teganganBaterai2
float iPv; //ArusPV
float mVoltVin; //ArusoutPV
float iBuck; //ArusOutBuck
float iB1; //arusBaterai1
```

J-2

```
float iB2; //arusBaterai2
float power;
float KapasitasB1;
float KapasitasB2;
//InisialisasiRuleBase
float Vin [5];
float err [5];
float rule [5][5];
float rule00, rule01, rule02, rule03, rule04;
float rule10, rule11, rule12, rule13, rule14;
float rule20, rule21, rule22, rule23, rule24;
float rule30, rule31, rule32, rule33, rule34;
float rule40, rule41, rule42, rule43, rule44;

float ruleA0, ruleA1, ruleA2, ruleA3, ruleA4;
float ruleB0, ruleB1, ruleB2, ruleB3, ruleB4;
float ruleC0, ruleC1, ruleC2, ruleC3, ruleC4;
float ruleD0, ruleD1, ruleD2, ruleD3, ruleD4;
float ruleE0, ruleE1, ruleE2, ruleE3, ruleE4;

//inisialisasiPWM
float PWM0,PWM1;
float PWMA,PWMB;

//inisialisasiRelay
int R1,R2,Ra1=0,Ra2=0,Ra3=0,Ra4=0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  ina219_A.begin();
  ina219_B.begin();
  ina219_C.begin();
  Serial.println("CLEARDATA");

  Serial.println("LABEL,WAKTU,Vpv,Ipv,PowerPv,Vbuck,Ka
```

```

pasitas_aki1,Kapasitas_aki2,VOutPV,VOut,Err,PWM,vAKKI
_1,ARUS_aki1,vAKKI_2,ARUS_aki2,Relay_1,Relay_2");
Serial.println("RESETTIMER");
//Mengaktifkan timer1(pin9&10) untuk frekuensi 25K
pinMode(9, OUTPUT);
pinMode(10, OUTPUT);
TCCR1A=0XA2;
TCCR1B=0X11;
ICR1=320;
//===untuk mengaktifkan relay catu daya
pinMode(6, OUTPUT); // akki2
pinMode(5, OUTPUT); // akki1
digitalWrite(5, 1); //R1-Aktif
digitalWrite(6, 1); //R2-TidakAktif
}
//=====PengaturanFrekuensi=====
=====
void pwm25khz(int pin,int duty){
  int dutycyle;
  dutycyle = map(duty,0,100,0,320);
  analogWrite(pin, dutycyle);}
//=====PembacaanSensorTeganganPadaKelu
aranPV=====
void TeganganVin(){
  ADCVin=analogRead(0); //VinpadaportA0
  mVoltVin=((ADCVin*0.00465)*5); //nilai yang di
kalibrasi
  VoltVin=(mVoltVin+((VoltVout)*4))-1;}

//=====SelisihPembacaanSensorTeganganPadaKeluaranBu
ckdanSetpoint=====
void ErrVout(){
  ADCVout=analogRead(1);
//erorVoutBuckConverterPadaportA1
  VoltVout=((ADCVout*0.00465)*5);}

```

```

//=====PembacaanSensorTeganganBaterai1
=====
void VBaterai_1(){
    ADCVB1=analogRead(2); //VinpadaportA2
    VoltVB1=((ADCVB1*0.00465)*5);//nilai yang di
kalibrasi
    KapasitasB1 = ((VoltVB1-11)/2.30)*100;}
//=====PembacaanSensorTeganganBaterai2
=====
void VBaterai_2(){
    ADCVB2=analogRead(3); //VinpadaportA3
    VoltVB2=((ADCVB2*0.00465)*5);//nilai yang di
kalibrasi
    KapasitasB2 = ((VoltVB2-11)/2.30)*100;}
//=====PembacaanArusPV=====
=====
void ArusPV()
    { iPV=(ina219_A.getCurrent_mA()/1000);}
//=====PembacaanArusOutBuck=====
=====
void ArusBuck()
    { iBuck;}
//=====PembacaanArusBaterai1=====
=====
void ArusBaterai_1()
    { iB1=((ina219_B.getCurrent_mA()/1000)*(-1));}
//=====PembacaanArusBaterai2=====
=====
void ArusBaterai_2()
    { iB2=((ina219_C.getCurrent_mA()/1000)*(-1));}
//=====FuzzyfikasimasukanERR=====
=====

void FuzzyErr(){

```

```

//untukNB
if(VoltErr<=-1)
{err[0]=1;}
else if(VoltErr>-1&&VoltErr<=-0.5)
{err[0]=((-0.5)-VoltErr)/((-0.5)-(-1));} //menggunakan rumus
turun
else
{err[0]=0;}

//untukNS
if(VoltErr>-1&&VoltErr<=-0.5)
{err[1]=(VoltErr-(-1))/((-0.5)-(-1));} //menggunakan rumus
naik
else if(VoltErr>-0.5&&VoltErr<=0)
{err[1]=((0)-VoltErr)/((0)-(-0.5));} //menggunakan rumus
turun
else
{err[1]=0;}

//untukZ
if(VoltErr>-1&&VoltErr<=-0.5)
{err[2]=0;}
else if(VoltErr>-0.5&&VoltErr<=0)
{err[2]=(VoltErr-(-0.5))/((0)-(-0.5));} //menggunakan rumus
naik
else if(VoltErr>0&&VoltErr<=0.5)
{err[2]=((0.5)-VoltErr)/((0.5)-(0));} //menggunakan rumus
turun
else
{err[2]=0;}

//untukPS
if(VoltErr>0&&VoltErr<=0.5)
{err[3]=(VoltErr-(0))/((0.5)-(0));} //menggunakan rumus
naik

```

```

else if(VoltErr>0.5&&VoltErr<=1)
{err[3]=((1-VoltErr)/((1)-(0.5)));} //menggunakan rumus
turun
else
{err[3]=0;}

//untukPB
if(VoltErr>0.5&&VoltErr<=1)
{err[4]=(VoltErr-(0.5))/((1)-(0.5));} //menggunakan rumus
naik
else if(VoltErr>=1)
{err[4]=1;}
else
{err[4]=0;}
}

//=====FuzzyfikasimasukanVin=====
=====
void FuzzyVin(){
//untukNB
if(VoltVin<=18)
{Vin[0]=1;}
if(VoltVin>17.9&&VoltVin<=19)
{Vin[0]=(19-VoltVin)/(19-18);} //menggunakan rumus turun
else if(VoltVin>19&&VoltVin<=22)
{Vin[0]=0;}
else
{Vin[0]=0;}

//untukNS
if(VoltVin>17.9&&VoltVin<=19)
{Vin[1]=(VoltVin-18)/(19-18);} //menggunakan rumus naik
else if(VoltVin>19&&VoltVin<=20)
{Vin[1]=(20-VoltVin)/(20-19);} //menggunakan rumus turun
else if(VoltVin>20&&VoltVin<=22)

```

```

{ Vin[1]=0;}
else
{ Vin[1]=0;}

//untukZ
if(VoltVin>17.9&&VoltVin<=19)
{ Vin[2]=0;}
else if(VoltVin>19&&VoltVin<=20)
{ Vin[2]=(VoltVin-19)/(20-19);} //menggunakan rumus naik
else if(VoltVin>20&&VoltVin<=21)
{ Vin[2]=(21-VoltVin)/(21-20);} //menggunakan rumus turun
else if(VoltVin>21&&VoltVin<=22)
{ Vin[2]=0;}
else
{ Vin[2]=0;}

//untukPS
if(VoltVin>17.9&&VoltVin<=20)
{ Vin[3]=0;}
else if(VoltVin>20&&VoltVin<=21)
{ Vin[3]=(VoltVin-20)/(21-20);} //menggunakan rumus naik
else if(VoltVin>21&&VoltVin<=22)
{ Vin[3]=(22-VoltVin)/(22-21);} //menggunakan rumus turun
else
{ Vin[3]=0;}

//untukPB
if(VoltVin>17.9&&VoltVin<=21)
{ Vin[4]=0;}
else if(VoltVin>21&&VoltVin<=22)
{ Vin[4]=(VoltVin-21)/(22-21);} //menggunakan rumus naik
else if(VoltVin>=22)
{ Vin[4]=1;} //menggunakan rumus naik
else
{ Vin[4]=0;}

```

```

}

//=====Pengelempok.anRule=====
=====
void RuleBase(){
  int i,j;
  for (i=0;i<=4;i++)
  { for (j=0;j<=4;j++)
    { temp = min(err[i],Vin[j]);
      rule [i][j] = temp; }
    }
  rule00 = rule [0][0]; //(errNB, VinNB=DutyPB)
  rule01 = rule [0][1]; //(errNB, VinNS=DutyPS)
  rule02 = rule [0][2]; //(errNB, VinZ=DutyZ)
  rule03 = rule [0][3]; //(errNB, VinPS=DutyNS)
  rule04 = rule [0][4]; //(errNB, VinPB=DutyNB)

  rule10 = rule [1][0]; //(errNS, VinNB=DutyPB)
  rule11 = rule [1][1]; //(errNS, VinNS=DutyPS)
  rule12 = rule [1][2]; //(errNS, VinZ=DutyZ)
  rule13 = rule [1][3]; //(errNS, VinPS=DutyNS)
  rule14 = rule [1][4]; //(errNS, VinPB=DutyNB)

  rule20 = rule [2][0]; //(errZ, VinNB=DutyPB)
  rule21 = rule [2][1]; //(errZ, VinNS=DutyPS)
  rule22 = rule [2][2]; //(errZ, VinZ=DutyZ)
  rule23 = rule [2][3]; //(errZ, VinPS=DutyNS)
  rule24 = rule [2][4]; //(errZ, VinPB=DutyNB)

  rule30 = rule [3][0]; //(errPS, VinNB=DutyPB)
  rule31 = rule [3][1]; //(errPS, VinNS=DutyPS)
  rule32 = rule [3][2]; //(errPS, VinZ=DutyZ)
  rule33 = rule [3][3]; //(errPS, VinPS=DutyNS)
  rule34 = rule [3][4]; //(errPS, VinPB=DutyNB)

```



```

rule40 = rule [4][0]; //(errPB, VinNB=DutyPB)
rule41 = rule [4][1]; //(errPB, VinNS=DutyPS)
rule42 = rule [4][2]; //(errPB, VinZ=DutyZ)
rule43 = rule [4][3]; //(errPB, VinPS=DutyNS)
rule44 = rule [4][4]; //(errPB, VinPB=DutyNB)
}
//=====DefuzzyfikasidanRule=====
=====
void Defuzzy(){
    float NB = 70.9;
    float NS = 74.2;
    float Z = 78;
    float PS = 82.1;
    float PB =86.7;
    RuleBase();
    //Rule
    PWM0
    =(rule00*PB)+(rule01*PS)+(rule02*Z)+(rule03*NS)+(rule04
    *NB)+

    (rule10*PB)+(rule11*PS)+(rule12*Z)+(rule13*NS)+(rule14*
    NB)+

    (rule20*PB)+(rule21*PS)+(rule22*Z)+(rule23*NS)+(rule24*
    NB)+

    (rule30*PB)+(rule31*PS)+(rule32*Z)+(rule33*NS)+(rule34*
    NB)+

    (rule40*PB)+(rule41*PS)+(rule42*Z)+(rule43*NS)+(rule44*
    NB);

    float defuz=0;
    int i,j;
    for (i=0;i<=4;i++)

```

```

    { for (j=0;j<=4;j++)
      { defuz = defuz+rule[i][j];}
    }
    PWM1=PWM0/defuz;//HasilAkhirDariFuzzy
  }

void dataDAQ (){
  Serial.print ("DATA,TIME,"); //deklarasi waktu dan data
  Serial.print (mVoltVin); //pembacaan sensor tegangan
  VinBuck
  Serial.print (","); //fungsi memisah data
  Serial.print (iPV);//pembacaan sensor tegangan VoutBuck
  Serial.print (","); //fungsi memisah data
  Serial.print (power);//pembacaan sensor tegangan VoutBuck
  Serial.print (","); //fungsi memisah data
  Serial.print (VBuck);//pembacaan sensor tegangan VoutBuck
  Serial.print (","); //fungsi memisah data
  Serial.print (KapasitasB1);
  Serial.print (","); //fungsi memisah data
  Serial.print (KapasitasB2);
  Serial.print (","); //fungsi memisah data
  Serial.print (mVoltVin);//pembacaan sensor tegangan
  VoutBuck
  Serial.print (","); //fungsi memisah data
  Serial.print (VoltVout);//pembacaan sensor tegangan
  VoutBuck
  Serial.print (","); //fungsi memisah data
  Serial.print (VoltErr); //pembacaan err
  Serial.print (","); //fungsi memisah data
  Serial.print (PWM1); //pembacaan err
  Serial.print (","); //fungsi memisah data
  Serial.print (VoltVB1); //pembacaan sensor tegangan
  Serial.print (","); //fungsi memisah data
  Serial.print (iB1);
  Serial.print (","); //fungsi memisah data

```

```

Serial.print (VoltVB2);
Serial.print (" "); //fungsi memisah data
Serial.print (iB2);
Serial.print (" "); //fungsi memisah data
Serial.print (R1);
Serial.print (" "); //fungsi memisah data
Serial.println (R2);}

void loop() {
  ErrVout();
  //PembacaanSensorSelisihTeganganBuck&Setpoint
  TeganganVin(); //PembacaanSensorTeganganPV
  VBaterai_1(); //PembacaanSensorTeganganBaterai1
  VBaterai_2(); //PembacaanSensorTeganganBaterai2
  ArusPV(); //PembacaanSensorArusPV
  //=====Daya masukan PV=====
  power = VoltVin*iPV;
  //=====
  ArusBuck(); //PembacaanSensorArusBuck
  ArusBaterai_1();//PembacaanSensorArusBaterai1
  ArusBaterai_2();//PembacaanSensorArusBaterai2
  FuzzyErr(); //Fuzifikasi Error
  FuzzyVin(); //Fuzifikasi Vin
  RuleBase(); //Rule
  Defuzzy(); //Defuzifikasi
  pwm25khz(10,PWM1);//Aksi PWM
  //=====pengiriman dataSD
  Card=====
  if(millis() > timer + INTERVAL)
  { timer=millis();
    dataDAQ ();}
}

```

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN K

Kode node MCU

```
#include "Thingspeak.h"
#define SECRET_SSID "MySSID" // replace MySSID with
your Wifi network name
#define SECRET_PASS "MyPassword" // replace MyPassword
with your Wifi password

#define SECRET_CH_ID 000000 // replace 0000000 with your
channel number
#define SECRET_WRITE_APIKEY "XYZ" // replace XYZ
with your channel write API Key

#include <ESP8266WiFi.h>

#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial serial(D1,D2);//RX pin D1 dan TX pin D2
String data;
long set = 100;
int Index1,Index2,Index3,Index4,Index5,Index6,Index7,Index8;
float data_1, data_2, data_3,data_4, data_5, data_6,data_7, total;
String secondValue, thirdValue, fourthValue, fifthValue,
firstValue,sixValue,sevenValue;
//inisialisasiRellay
int R1,R2,Ra1=0,Ra2=0,Ra3=0,Ra4=0;

int statusCode = 0;

char ssid[] = "CPS1234"; // your network SSID (name)
char pass[] = "radian123"; // your network password
int keyIndex = 0; // your network key Index number
(needed only for WEP)
WiFiClient client;

unsigned long myChannelNumber = 774510;
```

```
const char * myWriteAPIKey = "6XDNF2729QXKDR28";
const char * myReadAPIKey = "1QHZWXPPLHMOOF32";
const int FieldNumber8 = 8; // The field you wish to read
```

```
// Initialize our values
String myStatus = "";
```

```
void setup() {
  Serial.begin(115200); // Initialize serial
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  Thingspeak .begin(client); // Initialize Thingspeak
  //mengaktifkan switch di pin3 dan 4
  pinMode(D7, OUTPUT); // akki2
  pinMode(D6, OUTPUT); // akki1
}
```

```
void KondisiSwitch(){
  if ( data_5<= set && data_6<= set)
  { digitalWrite(D6, 0);//R1-Aktif
    digitalWrite(D7, 1);//R2-TidakAktif
  }
  else if ( data_5>=set&& data_6<=set)
  { digitalWrite(D6, 1);//R1-TidakAktif
    digitalWrite(D7, 0);//R2-Aktif
  }
  else if ( data_5<=set&& data_6>=set)
  { digitalWrite(D6, 0);//R1-TidakAktif
    digitalWrite(D7, 1);//R2-Aktif
  }
  else if ( data_5>=set&& data_6>=set)
  { digitalWrite(D6, 1);//R1-aktif
    digitalWrite(D7, 1);//R2-TidakAktif
    Ra1=1;
    Ra2=1;
    Ra3=0;
    Ra4=1;}
}
```

```

}

void loop() {
  KondisiSwitch();
  if(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
    Serial.print("Attempting to connect to SSID: ");
    Serial.println(SECRET_SSID);
    while(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
      WiFi.begin(ssid, pass); // Connect to WPA/WPA2 network.
      Change this line if using Open or WEP network
      Serial.print(".");
      delay(5000);
    }
    Serial.println("\nConnected.");
  }

  while (serial.available(>0)){
    delay(10);
    char c = serial.read();
    data+=c;
  }

  if (data.length(>0)){
    Serial.println(data);
    Index1 = data.indexOf(',');
    Index2 = data.indexOf(',', Index1+1);
    Index3 = data.indexOf(',', Index2+1);
    Index4 = data.indexOf(',', Index3+1);
    Index5 = data.indexOf(',', Index4+1);
    Index6 = data.indexOf(',', Index5+1);
    Index7 = data.indexOf(',', Index6+1);
    Index8 = data.indexOf(',', Index7+1);
    secondValue = data.substring(Index1+1, Index2);
    thirdValue = data.substring(Index2+1, Index3);
    fourthValue = data.substring(Index3+1, Index4);
  }
}

```

```
fifthValue = data.substring(Index4+1, Index5);
firstValue = data.substring(Index5+1, Index6);
sixValue = data.substring(Index6+1, Index7);
sevenValue = data.substring(Index7+1, Index8);
```

```
//data_1=secondValue.toFloat(); //cara singkat mengubah
string ke number
data_1=thirdValue.toFloat(); //cara singkat mengubah string
ke number
data_2=fourthValue.toFloat(); //cara singkat mengubah string
ke number
data_3=fifthValue.toFloat(); //cara singkat mengubah string
ke number
data_4=firstValue.toFloat(); //cara singkat mengubah string ke
number
data_5=sixValue.toFloat(); //cara singkat mengubah string ke
number
data_6=sevenValue.toFloat(); //cara singkat mengubah string
ke number
// Connect or reconnect to WiFi
Serial.print("data 1:");Serial.println(data_1);
Serial.print("data 2:");Serial.println(data_2);
Serial.print("data 3:");Serial.println(data_3);
Serial.print("data 4:");Serial.println(data_4);
Serial.print("data 5:");Serial.println(data_5);
Serial.print("data 6:");Serial.println(data_6);
```

```
Thingspeak .setField(1, data_1);
Thingspeak .setField(2, data_2);
Thingspeak .setField(3, data_3);
Thingspeak .setField(4, data_4);
Thingspeak .setField(5, data_5);
Thingspeak .setField(6, data_6);
```

```
// set the status
Thingspeak .setStatus(myStatus);
```



```
// write to the Thingspeak channel
int x = Thingspeak .writeFields(myChannelNumber,
myWriteAPIKey);
if(x == 200){
    Serial.println("Channel update successful.");
}
else{
    Serial.println("Problem updating channel. HTTP error code " +
String(x));
}
    data="";
}

// read to the Thingspeak channel
set = Thingspeak .readLongField(myChannelNumber,
FieldNumber8,myReadAPIKey);
statusCode = Thingspeak .getLastReadStatus();
    if (statusCode == 200)
    {
        Serial.println(set);
    }
    else
    {
        //Serial.println("Unable to read channel / No internet
connection");
    }
}
}
```

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Sidoarjo pada tanggal 15 Februari 1995. Pada saat ini penulis bertempat tinggal di Ds. Karangpuri Dsn. Sampuri RT 01 RW 03, Wonoayu, Sidoarjo, Jawa Timur. Pada tahun 2007, penulis telah menyelesaikan pendidikan dasar selama 6 tahun di SDN Karangpuri 1 Wonoayu. Pada tahun 2010, penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah pertama di MTsN Krian Sidoarjo selama 3 tahun. Pada tahun 2014, penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di MAN Sidoarjo selama 3 tahun. Pada tahun 2017, penulis telah mampu menyelesaikan pendidikan Diploma di Program Studi D3 Teknik Instrumentasi, Departemen Teknik Instrumentasi, Fakultas Teknologi Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya selama 3 tahun. Pada tahun 2019 ini, penulis telah mampu menyelesaikan pendidikan S1 Lintas Jalur Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email indraradian@gmail.com.

