



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (EE43430)

Rancang Bangun Sistem Penggiling Padi Menggunakan Motor Listrik Dengan Kontrol PID dan Tenaga Surya

Abid Dion Permana

NRP. 042204001

Dosen Pembimbing :

- 1. Ir. JOESSIANTO EKO POETRO, M.T.**
- 2. PURWIDI ASRI, S.ST., M.T.**

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026**

TUGAS AKHIR (EE43430)

**Rancang Bangun Sistem Penggiling Padi Menggunakan
Motor Listrik Dengan Kontrol PID dan Tenaga Surya**

Abid Dion Permana

NRP. 0422040001

Dosen Pembimbing

1. **Ir. Joessianto Eko Poetro, M.T.**
2. **Purwidi Asri, S.ST., M.T.**

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA**

**SURABAYA
2026**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGGIILING PADI MENGGUNAKAN
MOTOR LISTRIK DENGAN KONTROL PID DAN TENAGA SURYA**

Disusun Oleh:
Abid Dion Permana
0422040001

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 Teknik Kelistrikan Kapal
Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 29 Juli 2026
Periode Wisuda : Oktober 2026

Menyetujui,

Dosen Penguji

1. Adianto, S.T., M.T.
2. Purwidi Asri, S.ST., M.T.
3. Evi Nafiatu Sholikhah, S.Tr.T., M.Tr.T.
4. Mirza Ardiana, S.Tr.T., M.Tr.T.

NIDN/NUPTK

(0002077704)
(0003097105)
(0730069801)
(843577667723072)

Tanda Tangan

(.....)
(.....)
(.....)
(.....)

Dosen Pembimbing

1. Ir. Joessianto Eko Poetro, M.T.
2. Purwidi Asri, S.ST., M.T.

NIDN

(0019116403)
(0003097105)

Tanda Tangan

(.....)
(.....)

Menyetujui
Ketua Jurusan,



Isa Rachman, S.T., M.T.
NIP. 198008162008121001

Mengetahui
Koordinator Program Studi,

Dr. Yuning Widiarti, S.T., M.T.
NIP. 198005162006042001

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

	<u>PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT</u>	No. : F.WD I. 021 Date : 3 Nopember 2015 Rev. : 01 Page : 1 dari 1
---	--	---

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Abid Dion Permana
 NRP. : 0422040001
 Jurusan/Prodi : D4 Teknik Kelistrikan Kapal

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

Rancang Bangun Sistem Penggiling Padi Menggunakan Motor Listrik Dengan Kontrol PID dan Tenaga Surya

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 18 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan,


 (Abid Dion Permana)
 NRP. 0422040001

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “ Rancang Bangun Sistem Penggiling Padi Menggunakan Motor Listrik Dengan Kontrol PID dan Tenaga Surya” dengan baik. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Dalam proses penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa tidak terlepas dari bantuan, dukungan, doa, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT selaku sang pencipta, beribu ucapan syukur penulis haturkan karena engkaulah yang telah memberikan nikmat yang tak terhingga selama penulis hidup di dunia, tanpa engkau penulis bukanlah apa-apa dan karena engkaulah penulis sampai dititik ini
2. Bapak Daryono Dan Ibu Muji Rahayu Selaku orang tua tercinta. Terima kasih atas doa, kasih sayang, pengorbanan, motivasi, dan dukungan yang tidak pernah berhenti diberikan kepada penulis. Penulis menyadari bahwa pencapaian hingga tahap ini tidak terlepas dari doa dan perjuangan Bapak dan Ibu. Terimakasih untuk dukungan yang selalu di berikan tanpa beliau berdua penulis tidak dapat membayangkan apa yang akan terjadi kedepannya.
3. Adik Penulis, Arkan Surya dan Abyan Fahmi, terimakasih sudah menjadi adik yang baik dan selalu membantu juga dalam pengerjaan Tugas Akhir dan selalu memberikan dao dan dukungan kepada penulis.
4. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T., selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
5. Bapak Isa Rachman, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
6. Ibu Dr. Yuning Widiarti, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal.

7. Bapak Zindhu Maulana Ahmad Putra, S.ST., M.Tr.T., selaku Koordinator Tugas Akhir Teknik Kelistrikan Kapal.
8. Bapak Ir. Joessianto Eko Poetro, M.T., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, dan ilmu selama proses penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.
9. Ibu Purwidi Asri, S.ST., MT selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta dukungan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
10. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen serta staf Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, yang telah memberikan ilmu, bimbingan, pelayanan, dan dukungan kepada penulis.
11. Seluruh mahasiswa Teknik Kelistrikan Kapal Angkatan 2022, yang telah memberikan kebersamaan, bantuan, semangat, dan perjuangan selama menjalani masa perkuliahan.
12. Teman-teman Kos Abah, yang telah memberikan kebersamaan, dukungan, semangat, serta berbagai cerita selama perjalanan penulis dalam menyelesaikan pendidikan. Semoga persahabatan yang telah terjalin dapat terus terjaga.
13. Aulia Asmaa Zahro Mafidina S.A., yang telah menemani sejak semester 1 hingga 8 dan selalu memberikan semangat, dukungan, bantuan, dan motivasi selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini. Terima kasih untuk segala loyalitas dan royalitasnya..

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki berbagai kekurangan, baik dalam penyusunan maupun pelaksanaannya. Oleh karena itu, penulis memohon maaf atas segala kesalahan dan kekurangan yang terdapat dalam Tugas Akhir ini. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang membangun.

Akhir kata, penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, khususnya dalam pengembangan teknologi pemanfaatan energi surya.

Surabaya, 20 Agustus 2026
Penulis,

Abid Dion Permana

Rancang Bangun Sistem Penggiling Padi Menggunakan Motor Listrik Dengan Kontrol PID dan Tenaga Surya

Abid Dion Permana

ABSTRAK

Penelitian ini membahas perancangan sistem penggerak mesin penggiling padi berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menggunakan motor BLDC dan kontrol PID. Sistem terdiri dari panel surya, solar charge controller (SCC), baterai, motor BLDC, ESP32, sensor PZEM-017, dan sensor proximity untuk memantau tegangan, arus, daya, dan RPM. Pengujian panel surya menghasilkan tegangan maksimum sebesar 20,20 V, sedangkan tegangan baterai meningkat dari 12,48 V menjadi 13,93 V selama proses pengisian. Hasil pengujian sensor PZEM-017 menunjukkan rata-rata error sebesar 0,26% pada pengukuran tegangan dan 1,47% pada pengukuran arus, sedangkan sensor proximity memiliki rata-rata error sebesar 0,41%. Pemodelan sistem menggunakan Transfer Function untuk proses penalaan kontrol PID dengan metode Ziegler-Nichols dan PID Tuner MATLAB. Metode Ziegler-Nichols menghasilkan $K_p = 9$, $K_i = 1,2903$, dan $K_d = 15,69375$, sedangkan PID Tuner menghasilkan $K_p = 0,14329$, $K_i = 6,4387$, dan $K_d = 0,00047049$. Berdasarkan hasil simulasi pada setpoint 300 RPM, PID Tuner dipilih karena menghasilkan respons dengan overshoot sebesar 5,851% dan mampu mencapai kondisi steady-state dengan osilasi yang semakin kecil. Hasil pengujian sistem menunjukkan penggunaan PID menghasilkan arus dan daya yang lebih rendah dibandingkan tanpa PID.

Kata kunci: ESP32, Mesin Penggilingan Padi, Motor BLDC, PID, PLTS.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Design and Construction of a Solar-Powered Rice Milling System Using an Electric Motor with PID Control

Abid Dion Permana

ABSTRACT

This research discusses the design of a solar-powered rice milling machine drive system using a Solar Power Generation System (PLTS), a BLDC motor, and PID control. The system consists of a solar panel, solar charge controller (SCC), battery, BLDC motor, ESP32, PZEM-017 sensor, and proximity sensor for monitoring voltage, current, power, and RPM. The solar panel test produced a maximum voltage of 20.20 V, while the battery voltage increased from 12.48 V to 13.93 V during the charging process. The PZEM-017 sensor test resulted in average errors of 0.26% for voltage measurement and 1.47% for current measurement, while the proximity sensor produced an average error of 0.41%. The system was modeled using a Transfer Function for PID tuning using the Ziegler-Nichols method and MATLAB PID Tuner. The Ziegler-Nichols method produced $K_p = 9$, $K_i = 1.2903$, and $K_d = 15.69375$, while MATLAB PID Tuner produced $K_p = 0.14329$, $K_i = 6.4387$, and $K_d = 0.00047049$. Based on the simulation at a setpoint of 300 RPM, the MATLAB PID Tuner was selected because it produced an overshoot of 5.851% with a gradually decreasing oscillatory response toward steady-state. System testing showed that PID control resulted in lower current and power consumption compared with the system without PID control.

Keywords: *BLDC motors, Photovoltaic System, Pid Controller, Rice milling system.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	7
2.3 Mesin Penggiling Padi	9
2.5 Metode Kontrol PID.....	12
2.6 Komponen <i>Hardware</i> dan <i>Software</i> Pendukung.....	15
2.6.1 ESP 32	16
2.6.2 Baterai.....	16
2.6.3 Solar Charge Controller.....	17
2.6.4 Miniature Circuit Breaker (MCB).....	18
2.3.7 <i>Pulley</i>	19

2.6.5	Sensor Kecepatan.....	20
2.6.6	Sensor PZEM-017.....	20
2.6.7	Driver Motor	21
2.6.8	LCD Display	22
2.6.9	Arduino IDE.....	23
2.6.10	MATLAB	23
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		25
3.1	Konsep Penelitian	25
3.1.1	Blok Sistem Diagram.....	25
3.1.2	<i>Flowchart</i> sistem kerja.....	26
3.2	Tahapan Penelitian	28
3.2.1	Identifikasi Masalah.....	30
3.2.2	Studi Literatur	30
3.2.3	Analisis Kebutuhan Sistem	30
3.3	Skema Perancangan Perangkat Keras.....	34
3.3.1	Perencanaan <i>Wiring</i> Diagram.....	35
3.4	Mekanisme Kerja Kendali PID.....	37
BAB 4		47
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		47
4.1	Pengujian Parsial	47
4.1.1	Pengujian PV Tanpa Beban	47
4.1.2	Pengujian Charging Baterai	52
4.1.3	Pengujian PZEM-017	56
4.1.4	Pengujian Sensor Proximity.....	60
4.1.5	Pengujian <i>Discharging</i>	63
4.1.6	Pengujian Motor BLDC	66

4.2	Prosedur Pengujian.....	68
4.3	Pengujian Menggunakan Metode PID	68
4.3.1	Data dan Analisis Hasil Pengujian	68
4.4	Pengujian Tanpa Metode	72
4.4.1	Data dan Analisis Hasil Pengujian	72
4.5	Perbandingan Sistem Kerja Tanpa Metode PID dan Menggunakan PID	76
BAB 5		81
KESIMPULAN		81
5.1	Kesimpulan.....	81
5.2	Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA		85
LAMPIRAN		89

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Panel Surya.....	9
Gambar 2. 2 Mesin Polisher Penggiling Padi.....	10
Gambar 2. 3 Motor Listrik (Sumber : Shopee)	12
Gambar 2. 4 Respon PID (sumber : https://share.google/GK1Vnju8a67B96q3F)	13
Gambar 2. 5 PID controller (sumber : https://share.google/9BAw128Btfg84g5gS)	15
Gambar 2. 6 Modul ESP 32 (Sumber : Arana Group).....	16
Gambar 2. 7 Baterai Lithium (Sumber : (Fadilla et al., 2024))	17
Gambar 2. 8 Solar Charge Controller (Sumber : Jawajwar et al., 2024).....	18
Gambar 2. 9 Miniature Circuit Breaker (MCB) (Sumber :(Fitriani et al., 2024).....	18
Gambar 2. 10 8 Pulley (Sumber : Parsial Teknik).....	19
Gambar 2. 11 Sensor Kecepatan (Sumber : Ubuy)	20
Gambar 2. 12 Sensor Arus dan Tegangan	21
Gambar 2. 13 Driver Motor (Sumber : Arduino Indonesia).....	22
Gambar 2. 14 LCD Display (Sumber : Flyrobo).....	22
Gambar 2. 15 Arduino IDE (Sumber : apps.microsoft.com).....	23
Gambar 2. 16 MATLAB (Sumber : uvm.edu).....	24
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem	25
Gambar 3. 2 Flowchart Sistem Kerja	27
Gambar 3. 3 Flowchart Alur Penelitian.....	28
Gambar 3. 4 Perancangan Desain Hardware	35
Gambar 3. 5 Wiring Diagram Sistem Keseluruhan.....	36
Gambar 3. 6 Desain 3D	37
Gambar 3. 7 Blok Sistem Kendali PID	38
Gambar 3. 8 Data Logger Sistem	39
Gambar 3. 9 Karakteristik perubahan RPM	39
Gambar 3. 10 System Identification Matlab	40
Gambar 3. 11 Skema Sistem closed loop Tanpa PID Pada Simulink.....	41
Gambar 3. 12 Simulasi Kurva Hasil Running Sistem Tanpa PID	41
Gambar 3. 13 PID Tunner Matlab	43
Gambar 3. 14 Skema Rangkaian Sistem Menggunakan Kontrol PID Close	44

Gambar 3. 15 Hasil Simulasi Sistem Menggunakan Kontroler PID	45
Gambar 4. 1 Grafik Pengujian Panel Surya Tanpa Beban.....	50
Gambar 4. 2 Pengujian Pv Tanpa Beban Menggunakan Alat ukur dan Sensor	52
Gambar 4. 3 Pengujian Charging Baterai dari Panel surya	54
Gambar 4. 4 Grafik Charging Baterai Menggunakan Panel Surya.....	55
Gambar 4. 5 Dokumentasi Pengujian Sensor PZEM-017	58
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Tegangan.....	59
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Arus.....	60
Gambar 4. 8 Grafik Pengujian Parsial RPM.....	62
Gambar 4. 9 Dokumentasi Pengambilan data sensor proximity.....	63
Gambar 4. 10 SCC Discharging.....	63
Gambar 4. 11 Grafik Pengujian Discharging.....	65
Gambar 4. 12 Grafik Arus Terhadap Waktu.....	71
Gambar 4. 13 Grafik Arus Terhadap Waktu.....	75
Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Tegangan Rata – rata	77
Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan Arus rata-rata dan Arus puncak	78
Gambar 4. 16 Grafik Perbandingan Daya dan Energi	79

DAFTAR TABEL

Tabel 3 1 Kebutuhan Beban Pada Sistem.....	32
Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian PV	48
Tabel 4. 2 Pengujian Charging Baterai.....	53
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Tegangan Dengan Sensor PZEM-017	57
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Arus Dengan Sensor PZEM-017	57
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Sensor Proximity	61
Tabel 4. 6 Pengujian Discharging.....	64
Tabel 4. 7 Tabel hasil pengujian motor BLDC	67
Tabel 4. 8 Table Sampel hasil pengujian menggunakan metode	69
Tabel 4. 9 Tabel Hasil Pengujian Cup 1	70
Tabel 4. 10 Table Sampel hasil pengujian tanpa menggunakan metode	73
Tabel 4. 11 Tabel Hasil Pengujian Cup 1	74
Tabel 4. 12 Tabel Perbandingan	76

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara agraris yang sebagian besar penduduknya menggantungkan penghidupan pada sektor pertanian. Dalam proses pengolahan hasil panen, khususnya padi, penggilingan masih banyak dilakukan dengan menggunakan tenaga diesel. Di desa penulis, penggilingan padi masih dioperasikan menggunakan mesin diesel manual. Meskipun sistem ini telah lama digunakan, mesin diesel memiliki sejumlah keterbatasan, seperti konsumsi bahan bakar yang tinggi, biaya operasional yang besar, polusi udara dan kebisingan, serta perawatan yang relatif rumit. Seiring dengan perkembangan teknologi ketenagalistrikan dan energi terbarukan, terbuka peluang untuk menerapkan sistem penggerak alternatif yang lebih efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.. Motor listrik sebagai penggerak penggilingan menawarkan efisiensi energi lebih tinggi, perawatan yang lebih mudah, serta minim polusi. Sementara itu, energi surya sebagai sumber listrik terbarukan memiliki potensi besar di Indonesia karena tingginya intensitas radiasi matahari sepanjang tahun.

Berdasarkan berbagai permasalahan yang telah dipaparkan sebelumnya, penelitian ini menawarkan solusi berupa penerapan mesin penggiling padi yang digerakkan oleh motor listrik untuk mendukung proses pengolahan padi menjadi beras. Perbedaan utama mesin ini dibandingkan dengan mesin penggiling konvensional terletak pada sistem penggerakannya yang menggunakan motor listrik. Penggunaan motor listrik memiliki keunggulan dibandingkan mesin diesel, salah satunya adalah kemudahan dalam mengendalikan kecepatan putaran motor. (Langlang, 2021)

Selain sebagai konversi penggerak dari diesel ke motor listrik sistem penggilingan padi membutuhkan kestabilan putaran motor ketika terjadi variasi beban selama proses penggilingan. Beban yang berubah-ubah, misalnya akibat jumlah gabah yang masuk tidak merata, dapat menyebabkan fluktuasi kecepatan putaran sehingga memengaruhi kualitas beras, rendemen, dan efisiensi energi.

Untuk mengatasi hal tersebut, metode kendali *PID* (*Proportional–Integral–Derivative*) dapat diterapkan pada motor listrik sebagai sistem pengatur kecepatan. Pada sistem ini PID di masukkan ke dalam mikrokontroller yang berfungsi sebagai otak utama nya yang dimana dia mengatur motor penggiling. Dalam sistem ini, PID mengatur kecepatan motor. Nilai pengendalian PID (K_p , K_i , dan K_d) tersebut di dapatkan melalui proses percobaan pada alat agar kecepatan motor nya dapat menyesuaikan dengan beban penggilingan secara otomatis.(Aulia,2023)

Mengetahui karakteristik fisik padi menjadi hal yang penting, sebab proses penggilingan pada dasarnya merupakan pengolahan bentuk butiran padi menjadi beras putih . Varietas padi yang berbeda turut memengaruhi jalannya proses serta efisiensi penggilingan karena berhubungan langsung dengan sifat fisik padi. Selain itu, perhitungan susut giling dilakukan sebagai langkah untuk meningkatkan rendemen, sehingga beras yang dihasilkan dapat lebih optimal.(Langlang,2021)

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang sistem konversi penggerak penggilingan padi dari penggerak diesel manual menjadi motor listrik yang digerakkan oleh pembangkit listrik tenaga surya. Harapannya, penelitian ini memberikan solusi praktis dan berkelanjutan bagi masyarakat pedesaan khususnya meningkatkan kemandirian energi, efisiensi usaha, dan mendukung program energi bersih nasional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan dalam latar belakang, maka dapat dirumuskan beberapa masalah utama sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem konversi mesin penggiling padi dari penggerak diesel manual menjadi motor listrik berbasis energi surya?
2. Bagaimana memanfaatkan energi surya sebagai sumber utama untuk memastikan mesin penggiling dapat beroperasi secara mandiri tanpa ketergantungan pada bahan bakar fosil ?
3. Bagaimana menerapkan metode kontrol PID pada motor listrik agar kestabilan kecepatan putaran tetap terjaga meskipun terjadi perubahan beban selama proses penggilingan padi ?

4. Bagaimana mengintegrasikan sensor-sensor (arus, tegangan, RPM,) dengan mikrokontroler untuk memantau kondisi kerja mesin ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang sistem penggerak mesin penggiling padi berbasis motor listrik yang menjadi alternatif pengganti mesin diesel dengan kinerja yang lebih efisien dan ramah lingkungan.
2. Menerapkan pemanfaatan energi surya sebagai sumber daya utama yang mampu mendukung operasional mesin penggiling secara mandiri dan berkelanjutan.
3. Mengimplementasikan metode kendali PID pada motor listrik untuk memperoleh kestabilan putaran motor yang optimal dalam menghadapi perubahan beban saat proses penggilingan berlangsung.
4. Membangun sistem monitoring dan proteksi yang terintegrasi menggunakan sensor arus, tegangan, RPM, untuk memastikan keamanan, keandalan, serta efisiensi operasi mesin penggiling padi.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat signifikan, antara lain:

1. Memberikan alternatif mesin penggiling padi yang lebih efisien, hemat biaya, dan ramah lingkungan dibandingkan mesin diesel.
2. Mendukung pemanfaatan energi surya di pedesaan sebagai sumber energi terbarukan yang berkelanjutan.
3. Meningkatkan kualitas dan kestabilan proses penggilingan melalui penerapan kontrol PID.
4. Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi konversi energi dan sistem penggerak berbasis motor listrik.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus dan tujuan dapat tercapai secara optimal, maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Penelitian berikut difokuskan pada konversi sistem penggerak mesin penggiling padi dari diesel manual ke motor listrik.
2. Sumber energi yang digunakan adalah pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan skala kecil untuk kebutuhan mesin penggiling.
3. Analisis yang dilakukan hanya mencakup kebutuhan daya, kestabilan putaran motor, efisiensi energi.
4. Penelitian ini tidak membahas desain detail dari panel surya secara teknis (seperti instalasi mekanis, sistem proteksi jaringan, dll.), melainkan hanya aspek perhitungan kebutuhan daya untuk mesin penggiling tersebut.
5. Pengujian dilakukan pada skala rumahan/pedesaan dan tidak mencakup implementasi industri berskala besar.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kajian Penelitian Terdahulu

Pada sub-bab ini menjelaskan konsep-konsep penelitian terdahulu yang berkaitan dengan variabel dan komponen utama dalam perancangan prototipe mesin penggiling padi bertenaga surya

Optimalisasi Potensi Fotovoltaik pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On-Grid (Ramadhani dkk., 2024). Di era modern ini, Indonesia telah mengalami kemajuan pesat dalam ketersediaan dan distribusi energi listrik. Sebagian besar wilayah di seluruh nusantara kini sudah teraliri listrik, menunjukkan komitmen kuat bangsa dalam meningkatkan infrastruktur dan kualitas hidup masyarakat. Namun, sejalan dengan tuntutan keberlanjutan global, ketergantungan hanya pada penyedia listrik nasional (PLN) tidak lagi memadai. Kondisi ini mendorong pemanfaatan sumber energi terbarukan, khususnya energi surya, yang kini mulai memainkan peran semakin penting.

Iklim tropis Indonesia, yang menyediakan cahaya matahari berlimpah sepanjang tahun, menawarkan potensi besar bagi pemanfaatan energi surya. Sumber energi ini tidak hanya dianggap sebagai solusi alternatif, tetapi juga peluang strategis untuk mencapai masa depan energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Sebagai tanggapan terhadap meningkatnya kekhawatiran mengenai pencemaran lingkungan dan emisi dari pembangkit listrik konvensional, para pembuat kebijakan dan lembaga pemerintah terus mendorong penggunaan teknologi bersih dan bebas polusi.

Sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, biomassa, sel bahan bakar, panas bumi, dan tenaga air kini menjadi komponen penting dalam pengembangan sistem kelistrikan modern. Di antara seluruh sumber energi terbarukan, teknologi fotovoltaik (PV) menjadi salah satu yang paling banyak digunakan dan diprioritaskan. Pada awalnya, sistem PV lebih banyak diterapkan pada sistem off-grid dan digunakan di daerah terpencil. Namun, kemajuan

teknologi fotovoltaik dan elektronika daya telah mempercepat pertumbuhan sistem PV on-grid, yang menonjolkan besarnya potensi energi surya di Indonesia serta efektivitas sistem on-grid dalam mengurangi biaya operasional dan beban infrastruktur.

Peningkatan Produktivitas Petani dengan Optimalisasi Sumber Tenaga Mesin Penggiling dan Penghancur Kulit Padi di Desa Lebak Muncang (Heryada et al., 2025). Pada Jurnal berikut mengangkat suatu permasalahan yang di hadapi oleh kelompok tani yang ada di Desa Lebak Mucang, yaitu tingginya biaya operasional dan kebisingan yang dihasilkan oleh mesin penggiling padi bertenaga motor diesel. Dampak negatif ini tidak hanya membebani biaya produksi tetapi juga mengganggu lingkungan sekitar, termasuk peternakan itik. Solusi yang diterapkan adalah memodifikasi sistem penggerak dari motor diesel menjadi motor listrik. Hasilnya menunjukkan keberhasilan yang signifikan, dengan biaya operasional turun drastis dari Rp 1.910.000 menjadi Rp 637.323,75 per bulan (efisiensi 33.34%) dan tingkat kebisingan yang berkurang.

Penerapan Motor Listrik sebagai Penggerak pada Mesin Penggiling Padi (Gumilar, 2021). Pada jurnal berikut ini memberikan solusi dari suatu metode pengolahan padi tradisional yang kurang efektif dan sering menyebabkan gabah hilang atau rusak. Mesin penggiling padi yang diusulkan menggunakan motor listrik sebagai penggerak utamanya. Kelebihan utama dari penggunaan motor listrik dibandingkan motor bakar adalah kemampuannya untuk mengendalikan kecepatan putaran. Dengan menggunakan tahanan variabel atau potensiometer, arus yang masuk ke motor dapat diatur, sehingga kecepatan putaran mesin dapat disesuaikan untuk mengoptimalkan proses penggilingan dan meminimalkan kerusakan pada beras.

Analisis Proses Manufaktur Mesin Penggiling Padi Portable Berpenggerak Motor Listrik DC 0.5 HP Energi Surya (Bramantyo dkk., 2021). Pada penelitian berikut ini membahas analisis dari proses manufaktur untuk sebuah mesin penggiling padi portable yang dirancang untuk mengatasi dampak negatif dari mesin bertenaga diesel, seperti polusi asap. Mesin ini ditenagai oleh motor listrik DC 0.5 HP yang sumber energinya berasal dari baterai yang disuplai oleh sel surya. Desain mesin menggunakan sistem dua rol (*roller*) yang dihubungkan dengan

transmisi roda gigi. Studi ini tidak hanya berfokus pada desain teknis, tetapi juga menganalisis proses dan biaya produksi agar mesin tersebut dapat diproduksi secara efisien dan diterima oleh masyarakat luas.

The Design of Rice Milling and Screening Systems Uses the DC Motor PID Method (Cahya & Puriyanto, 2023). Penelitian berikut ini adalah penelitian yang berfokus pada perancangan sistem penggilingan dan penyaringan padi untuk memudahkan pekerjaan petani. Sistem ini memanfaatkan motor DC yang kecepatannya dikendalikan dengan metode PID (*Proportional-Integral-Derivative*) untuk menjaga putaran motor tetap stabil sesuai dengan *setpoint* yang ditentukan, yaitu 250 RPM, dengan nilai parameter $P=25$, $I=50$, dan $D=5$. Keunggulan utama dari sistem ini adalah penggunaan energi listrik yang bersumber dari sinar matahari, menjadikannya solusi yang lebih efisien dan ramah lingkungan dibandingkan dengan metode konvensional.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya Adalah suatu sistem yang memanfaatkan dari radiasi matahari untuk menghasilkan energi Listrik. Prinsip kerja utama dari PLTS didasarkan pada efek fotovoltaiik, yaitu proses konversi energi foton dari cahaya matahari menjadi energi listrik arus searah (DC) melalui sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor (Ramadhani et al., 2024). Energi listrik yang dihasilkan ini merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang potensinya sangat besar, terutama di negara beriklim tropis seperti Indonesia.

Komponen utama dalam sistem PLTS terdiri dari panel surya (modul fotovoltaiik), inverter, dan sistem kontrol. Panel surya berfungsi sebagai komponen penangkap energi matahari, sedangkan inverter bertugas mengubah arus listrik DC yang dihasilkan panel surya menjadi arus bolak-balik (AC) agar dapat digunakan untuk menggerakkan perangkat elektronik (Bramantyo et al., 2021). Sistem PLTS dapat dirancang dalam beberapa konfigurasi, salah satunya adalah sistem *on-grid*, di mana PLTS terhubung langsung ke jaringan listrik utama sehingga tidak memerlukan media penyimpanan energi seperti baterai. Hal ini menjadikan sistem *on-grid* lebih efisien dari segi biaya investasi dan operasional (Ramadhani dkk., 2024). Pemanfaatan PLTS sebagai sumber energi mandiri, seperti pada mesin-

mesin produksi portabel, menjadi solusi inovatif untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menekan dampak negatif terhadap lingkungan (Bramantyo et al., 2021).

Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi alternatif memiliki beberapa keunggulan, antara lain ramah lingkungan, sumber energi terbarukan, biaya operasional rendah, serta potensi ketersediaan tinggi di negara tropis seperti Indonesia. Menurut Badan Energi Internasional, potensi energi surya di Indonesia mencapai lebih dari 200 GWp, menjadikannya salah satu sumber energi terbarukan yang paling prospektif untuk sektor pertanian dan pedesaan (Kent, 2018).

Daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus keluaran panel, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$P = V \cdot I \quad (2.1)$$

Keterangan :

P = daya listrik (Watt)

V = tegangan listrik (Volt)

I = arus listrik (Ampere)

Energi listrik yang dihasilkan panel surya selama waktu tertentu dirumuskan sebagai berikut:

$$E = P \cdot t \quad (2.2)$$

Keterangan :

E = energi listrik (Watt-hour/Wh)

P = daya listrik (Watt)

T = waktu penggunaan (jam)

Melalui Persamaan (2.1) dan Persamaan (2.2) di atas, besarnya daya seketika (instantaneous power) serta total akumulasi energi listrik yang dipanen oleh panel surya dapat dikalkulasi secara terukur berdasarkan parameter arus dan tegangan aktual hasil pembacaan sensor. Nilai daya dan energi ini menjadi acuan utama dalam mengevaluasi efisiensi konversi daya serta mengukur kemampuan pasokan energi terbarukan dalam memenuhi kebutuhan operasional mesin secara mandiri. Bentuk fisik serta konfigurasi modul panel surya tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut



Gambar 2. 1 Panel Surya (Sumber: *Green, M. A., Dunlop, E. D., Hohl-Ebinger, J., Yoshita, M., Kopidakis, N., & Hao, X. (2022). Solar cell efficiency tables (version 59).*

2.3 Mesin Penggiling Padi

Mesin Penggiling padi adalah teknologi sentral dalam agroindustri setelah panen yang berfungsi untuk mengolah padi/gabah menjadi beras. Namun, metode konvensional yang masih banyak digunakan, terutama yang menggunakan motor diesel sebagai tenaga penggerak, seringkali menghadapi berbagai kendala. Permasalahan utama meliputi tingginya biaya operasional akibat konsumsi bahan bakar yang boros, serta dampak lingkungan negatif seperti polusi udara dari asap dan polusi suara yang dapat mengganggu lingkungan sekitar (Heryada dkk., 2025). Selain itu, proses penggilingan tradisional dinilai kurang efektif karena berpotensi menyebabkan tingginya tingkat kehilangan dan kerusakan butir beras (Gumilar, 2021).

Sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut, inovasi teknologi difokuskan pada penggunaan motor listrik sebagai tenaga penggerak utama. Penggunaan motor listrik terbukti mampu memberikan efisiensi biaya operasional yang signifikan serta mengurangi tingkat kebisingan (Heryada et al., 2025). Keunggulan utama motor listrik terletak pada kemampuannya untuk dikendalikan. Kecepatan putaran motor dapat diatur secara presisi, untuk menjaga kestabilan putaran mesin meskipun beban kerja bervariasi. Kestabilan ini sangat penting untuk

mengoptimalkan proses penggilingan dan meminimalisir jumlah beras yang pecah (Cahya & Puriyanto, 2023); (Gumilar, 2021)).



Gambar 2. 2 Mesin Polisher Penggiling Padi (Sumber :
<https://en.tokousahapertanian.com/product/mesin-giling-padi-kd-450-new-mahkota-p1185361.aspx>

2.4 Motor Listrik BLDC

Motor listrik DC merupakan mesin listrik yang mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanik berupa putaran. Motor ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi pada industri yang memerlukan pengaturan kecepatan putaran(RPM) dan pengendalian posisi secara presisi. Pada pengaplikasian tersebut, kemampuan sistem dalam mengendalikan suatu kecepatan dan torsi motor secara efisien menjadi aspek yang sangat krusial karena berpengaruh langsung terhadap kinerja sistem secara keseluruhan. (Ahmed et al., 2020)

Motor listrik DC mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa putaran. Daya listrik yang diserap motor dapat dinyatakan dengan:

$$P = V \cdot I \quad (2.3)$$

Keterangan :

P = daya listrik motor (Watt)

V = tegangan motor (Volt)

I = arus motor (Ampere)

Hubungan antara daya mekanik, torsi, dan kecepatan sudut motor dirumuskan sebagai:

$$P = T \cdot \omega \quad (2.4)$$

Keterangan :

P = Daya Mekanik Motor (Watt)

T = Torsi Motor (Newton meter/Nm)

ω = Kecepatan Sudut (rad/s)

Jika dinyatakan dalam kecepatan putar :

$$\frac{2\pi n \tau}{60s} \quad (2.5)$$

Keteranngan :

n = kecepatan putaran motor (RPM)

π = konstata (3,14)

Kecepatan sudut motor dihitung menggunakan persamaan:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60s} \quad (2.6)$$

Keterangan :

ω = kecepatan sudut (rad/s)

n = kecepatan putaran (RPM)

Karena kecepatan putar motor pada penelitian ini dinyatakan dalam satuan revolutions per minute (RPM), maka kecepatan sudut dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (2.7)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan kecepatan sudut ke dalam persamaan daya mekanik diperoleh:

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (2.8)$$

Sehingga menjadi :

$$T = \frac{60P}{2\pi n}$$

Karena Nilai :

$$\frac{60}{2\pi} = 9,55$$

maka persamaan torsi dapat disederhanakan menjadi :

$$T = \frac{9,55 \times P}{n} \quad (2.9)$$

Keterangan :

T = Torsi (N,m)

P = Daya (W)

n = Putaran Motor (RPM)



Gambar 2. 3 Motor Listrik (Sumber : Shopee)

2.5 Metode Kontrol PID

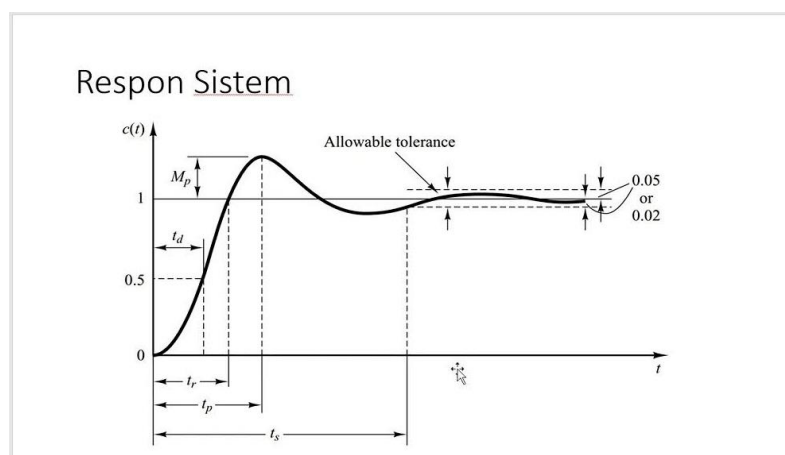
Metode Kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) Adalah sebuah mekanisme dari umpan balik dalam sistem kontrol otomatis yang banyak dan sering digunakan dalam aplikasi suatu industry untuk menjaga sebuah variable proses berada pada nilai yang diinginkan atau *setpoint*. Kontroler PID secara kontinu menghitung nilai *error*, yaitu selisih antara *setpoint* dengan nilai variabel proses yang terukur, kemudian mengaplikasikan koreksi berdasarkan tiga term: Proportional (P), Integral (I), dan Derivative (D). Term Proportional memberikan output yang sebanding dengan nilai *error* saat ini, term Integral mengakumulasi *error* masa lalu untuk menghilangkan *offset* pada kondisi tunak, dan term Derivative memprediksi *error* di masa depan berdasarkan laju perubahannya untuk mengurangi *overshoot*.

Dalam konteks sistem mekanis seperti mesin penggiling padi, kontrol PID sangat efektif digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor DC. Dengan mengatur parameter P, I, dan D secara tepat, kontroler dapat menjaga kecepatan

motor agar tetap konstan sesuai *setpoint* yang telah ditentukan (misalnya 250 RPM), meskipun beban yang diterima mesin berubah-ubah. Kemampuan ini sangat penting untuk memastikan proses penggilingan berjalan stabil, efisien, dan menghasilkan kualitas beras yang seragam (Cahya & Puriyanto, 2023).

Kendali tipe kontrol PID merupakan sistem dari pengendalian dengan sifat yang berkelanjutan yaitu sistem kontrol yang bekerja dari 0% sampai dengan 100%. Karena kontrol PID ini baik untuk dilakukan dilakukan pengontrolan proses yang fluktuatif atau dengan perubahan proses yang cepat. Parameter yang dibutuhkan untuk melakukan analisis performa pengendalian sistem kontrol sebagai berikut :

1. *Delay time*, t_d : adalah waktu yang dibutuhkan oleh respons guna mencapai setengah nilai akhir pada waktu pertama.
2. *Rise time*, t_r : merupakan waktu yang dibutuhkan oleh respon supaya dapat naik dari 10% menjadi 90% atau 0% menjadi 100% dari nilai akhir yang banyak dipakai.
3. *Peak time*, t_p : adalah waktu yang dibutuhkan oleh respon untuk bisa mencapai puncak pertama lewat atau biasa dibilang *Overshoot*.
4. *Steady state*, t_s : dapat dicatat mulai ketika saat respon masuk dalam keadaan “*steady state*” sampai waktu tak terhingga.
5. *Overshoot maximum*, m_p : merupakan nilai yang relative dapat menyatakan perbandingan antara nilai maksimum respon (*overshoot*) yang melampaui nilai dari *steady state*.



Gambar 2. 4 Respon PID (sumber : <https://share.google/GK1Vnju8a67B96q3F>)

PID terdiri dari 3 kontroler dasar yaitu kontrol proporsional, kontrol integral, dan kontrol derivative.

1. Kontroler Proporsional (P)

Merupakan kontroler yang berfungsi untuk percepatan respon suatu sistem, akan tetapi kontroler proporsional dapat menghasilkan kesalahan pada suatu kondisi *offset*. Sinyal, pengontrolan yang dihasil berikut memiliki suatu hubungan linier dengan kesalahan dan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad (2.7)$$

K_p : konstanta proporsional

e : error

$u(t)$: *controller output*

2. Kontroler Integral (I)

Kontroler integral merupakan integrasi dari kesalahan waktu yang dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$u(t) = k_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.8)$$

K_i : konstanta integral

E : error

$u(t)$: *controller output*.

3. Kontroler Derivatif (D)

Sinyal kontrol yang dihasilkan merupakan diferensiasi kesalahan terhadap waktu, dapat juga dinyatakan dengan persamaan berikut :

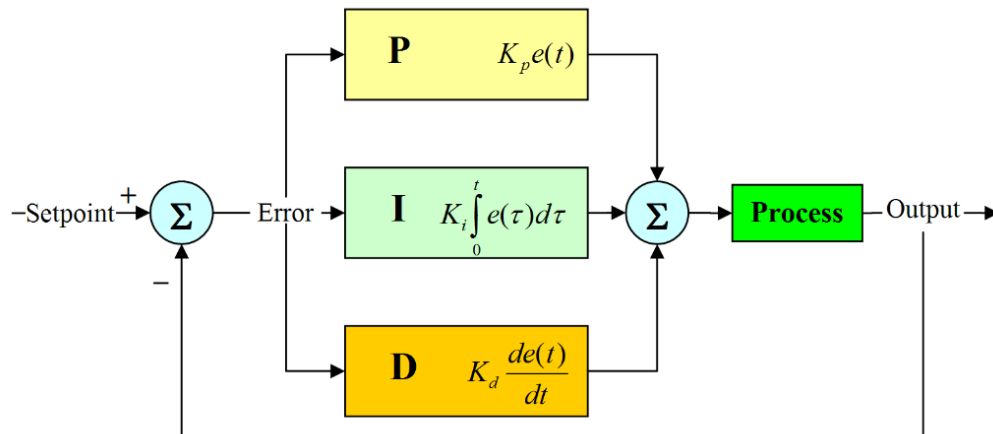
$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.9)$$

K_d : konstanta drivatif

$e(t)$: error

$u(t)$: *controller output*.

Pengendali PID merupakan salah satu metode kontrol yang digunakan untuk mengatur dan mempertahankan keluaran sistem agar mendekati nilai set point yang telah ditentukan. Seperti pada gambar 2.5 dibawah



Gambar 2. 5 PID controller (sumber : <https://share.google/9BAwl28Btfg84g5gS>)

2.5.1 Metode Tuning Ziegler Nichols

Metode Ziegler-Nichols diperkenalkan pertama kali pada tahun 1942 sebagai salah satu teknik penalaan pengendali. Metode ini terdiri atas dua pendekatan utama, yaitu metode osilasi dan metode kurva reaksi. Kedua pendekatan tersebut bertujuan untuk memperoleh respon sistem dengan nilai *overshoot* maksimum sekitar 25%.

Metode kurva reaksi ini didasarkan pada suatu pengamatan respon sistem dalam kondisi *loop* terbuka. Pada metode berikut, plant diberi masukan yaitu berupa sinyal tangga (*step input*). Apabila plant tidak mengandung elemen integrator serta tidak memiliki pole kompleks, maka respon yang dihasilkan akan berbentuk kurva S. Namun demikian, metode ini memiliki keterbatasan, yaitu kurang efektif apabila diterapkan pada plant yang mengandung integrator atau memiliki pole kompleks.

Kurva S yang dihasilkan memiliki dua parameter utama, yaitu waktu mati (*dead time*) yang dilambangkan dengan L, serta waktu tunda (*time constant*) yang dilambangkan dengan T. Hubungan antara waktu mati L dan waktu tunda T dapat diamati melalui karakteristik kurva reaksi yang terbentuk.

2.6 Komponen *Hardware* dan *Software* Pendukung

Pada sub-bab berikut memberi sebuah penjelasan terkait pemilihan komponen yang di gunakan serta software pendukung yang digunakan dalam

pengerjaan penelitian ini yang merujuk pada jurnal, buku literatur dan sumber lainnya.

2.6.1 ESP 32

ESP 32 keluarga SoC mikrocontroller berbiaya rendah dan berdaya rendah yang mengintegrasikan Wi-Fi dan Bluetooth, cocok untuk aplikasi IoT dan kendali jarak jauh. Chip ini umumnya memiliki arsitektur dual-core (Xtensa atau RISC-V), kecepatan hingga 240 MHz, banyak GPIO/periferal (ADC, SPI, I²C, PWM), serta mode hemat daya untuk aplikasi baterai. ESP32 sering digunakan sebagai pengendali pada prototipe karena kemudahan pemrograman (ESP-IDF/Arduino) dan kemampuan komunikasi nirkabel yang andal. Penggunaan ESP32 memungkinkan implementasi antarmuka monitoring (telemetry) dan kontrol PID jarak jauh. (Sari et al., 2025)



Gambar 2. 6 Modul ESP 32 (Sumber : Arana Group)

2.6.2 Baterai

Baterai merupakan suatu perangkat penyimpan energi listrik yang bekerja melalui reaksi elektrokimia antara anoda dan katoda. Dalam sistem tenaga surya, baterai berfungsi menyimpan energi dari panel surya agar dapat digunakan saat intensitas cahaya matahari rendah atau malam hari. Jenis baterai yang umum digunakan adalah *Lead-Acid* dan *Lithium-Ion*, karena memiliki efisiensi tinggi dan siklus pengisian yang Panjang dan intensif (Fadilla et al., 2024).



Gambar 2. 7 Baterai Lithium (Sumber : (Fadilla et al., 2024))

2.6.3 Solar Charge Controller

Solar charge controller merupakan suatu alat atau perangkat pengatur arus dan tegangan dari panel surya menuju baterai supaya proses pengisian berlangsung seacara aman dan efisien. Fungsi utamanya adalah mencegah *overcharging*, *over-discharging*. Pengendali pada pengisian juga bisa mengekstrak daya maksimum dari panel surya untk di suplai ke beban, berdasarkan karakreristiknya. (Narendro et al., 2024).

Terdapat dua jenis utama solar charge controller, yaitu *Pulse Width Modulation (PWM)* dan *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*. Pengendali tipe MPPT merupakan pengendali yang lebih efisien daripada pengendali PWM dalam waktu operasi yang berkelanjutan, di temukan juga bahwa kondisi lingkungan tidak mempengaruhi dari efisiensi pengendalain pengisian. Namun, dari perbandingan antara kedua pengendali tersebut, ditentukan kondisi dimana pengendali PWM dapat di implementasikan sebagai pengganti MPPT, dengan mengorbankan efisiensi untuk hemat biaya. (Narendro et al., 2024).

Dengan Penggunaan solar charge controller yang tepat, sistem tenaga surya dapat bekerja lebih stabil,efisien,dan aman bagi komponen lainnya seperti inverter serta beban listrik.



Gambar 2. 8 Solar Charge Controller (Sumber : Jawajwar et al., 2024)

2.6.4 Miniature Circuit Breaker (MCB)

Miniature Circuit Breaker (MCB) adalah suatu perangkat proteksi listrik yang penting dalam dunia kelistrikan, karena sistem proteksi tersebut digunakan sebagai pengaman peralatan listrik ketika terjadi gangguan kelistrikan. MCB berfungsi sebagai suatu pembatas arus listrik yang menuju ke beban secara otomatis dan MCB juga dapat berfungsi sebagai saklar.

MCB juga memiliki dua jenis dalam hal pengaman, yaitu secara termis dan elektromagnetis. Pada pengaman termis dia berfungsi sebagai pengaman dari adanya beban berlebih, sedangkan pengaman yang elektromagnetis berfungsi sebagai pengaman ketika terjadi adanya hubung singkat.(Fitriani et al., 2024).



Gambar 2. 9 Miniature Circuit Breaker (MCB) (Sumber :Fitriani et al., 2024)

2.3.7 Pulley

Pulley adalah salah satu komponen mekanis yang memiliki fungsi utama yaitu sebagai media transmisi daya dari sumber penggerak, seperti motor listrik yang menuju ke komponen yang digerakkan, misalnya seperti poros utama. Pulley juga berfungsi sebagai penyalur daya yang berperan untuk mengatur karakteristik putaran sistem, dengan meningkatkan maupun menurunkan kecepatan putaran sesuai dengan perbandingan diameter pulley yang digunakan. Di samping itu, pulley bekerja bersama belt untuk mentransmisikan gerak putar secara kontinu dan stabil, serta memungkinkan pemindahan daya antar poros dengan jarak tertentu secara efisien. (Mesin et al., 2017)

Sistem transmisi pulley digunakan untuk menyesuaikan kecepatan putaran motor dengan kebutuhan mesin penggiling padi. Hubungan antara putaran dan diameter pulley dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

(2.10)

Keterangan :

n_1 = kecepatan putar pulley penggerak (RPM)

n_2 = kecepatan putar pulley yang digerakkan (RPM)

D_1 = diameter pulley penggerak (mm)

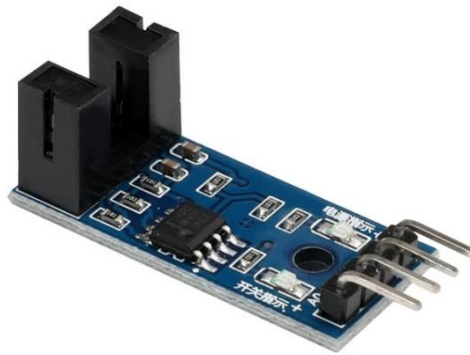
D_2 = diameter pulley yang digerakkan (mm)



Gambar 2. 10 8 Pulley (Sumber : Parsial Teknik)

2.6.5 Sensor Kecepatan

Sensor kecepatan adalah perangkat umpan balik yang mengukur kecepatan putaran rotor untuk sistem kontrol motor. Salah satu tipe terkini adalah sensor Hall effect yang dikombinasikan dengan algoritma estimasi seperti Kalman Filter atau Phase-Locked Loop (PLL) untuk mengurangi noise dan kesalahan pengukuran kecepatan, cocok digunakan pada motor sinkron magnet permanen dan BLDC (Li et al., 2024).



Gambar 2. 11 Sensor Kecepatan (Sumber : Ubuy)

2.6.6 Sensor PZEM-017

Sensor PZEM-017 merupakan modul pengukuran listrik arus searah (DC) yang digunakan untuk memantau parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, dan energi listrik secara real-time. Modul ini banyak diaplikasikan pada sistem monitoring energi karena memiliki tingkat akurasi yang baik serta mampu diintegrasikan dengan berbagai mikrokontroler melalui antarmuka komunikasi RS485 menggunakan protokol Modbus RTU. Untuk pengukuran arus, PZEM-017 memanfaatkan shunt resistor eksternal sehingga dapat digunakan pada beberapa pilihan rentang arus, yaitu 50 A, 100 A, 200 A, dan 300 A, sesuai dengan spesifikasi shunt yang digunakan. Selain itu, sensor ini mampu melakukan pengukuran tegangan DC hingga 300 V, sehingga sesuai diterapkan pada sistem tenaga surya, baterai, maupun aplikasi monitoring motor DC dan BLDC.(Dhaniswara, 2025)

Pengukuran arus menggunakan sensor INA219 dilakukan berdasarkan tegangan shunt yang terukur, dengan persamaan:

$$I = \frac{V_{shunt}}{R_{shunt}} \quad (2.11)$$

Keterangan :

I = arus listrik (Ampere)

V_{shunt} = tegangan shunt (Volt)

R_{shunt} = resistansi shunt (Ohm)

Daya listrik yang terukur oleh sensor dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P = V_{bus} \times I \quad (2.12)$$

Keterangan :

P = daya listrik (Watt)

V_{bus} = tegangan sistem

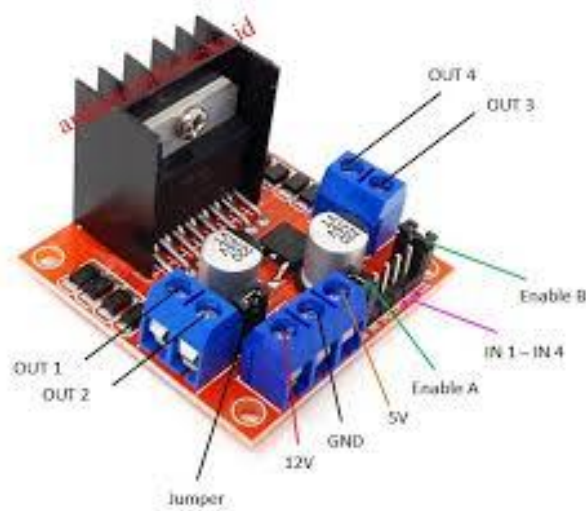
I = arus listrik (Ampere)



Gambar 2. 12 Sensor Arus dan Tegangan (Sumber :Muhamad Hilmansyah Susanta, 2024)

2.6.7 Driver Motor

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan teknik modulasi yang mengatur lebar pulsa sinyal tanpa mengubah amplitudonya. Metode ini banyak digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor DC dengan cara mengatur rasio *duty cycle* sinyal PWM. Pada mikrokontroler seperti Arduino, kecepatan motor DC dapat dikontrol dengan mengubah kepadatan pulsa PWM yang diberikan ke motor. Prinsip kerja PWM dilakukan dengan menghidupkan dan mematikan catu daya motor secara cepat sehingga tegangan DC diubah menjadi sinyal gelombang kotak. Untuk mengatur arah putaran motor DC, digunakan rangkaian *H-Bridge* yang tersusun dari transistor atau MOSFET. MOSFET memungkinkan pengendalian arah dan kecepatan motor menggunakan sinyal PWM atau logika TTL (High–Low).(Jati & Hapsari, 2025)



Gambar 2. 13 Driver Motor (Sumber : Arduino Indonesia)

2.6.8 LCD Display

LCD (Liquid Crystal Display) merupakan suatu layar yang bekerja dengan memodulasi cahaya menggunakan kristal cair dan polarisator; LCD tidak memancarkan cahaya sendiri melainkan menggunakan latar (backlight) untuk menampilkan sebuah informasi. Pada sistem tertanam, LCD ini banyak digunakan karena konsumsi dayanya yang rendah dan mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler melalui antarmuka komunikasi seperti I²C atau SPI, serta mampu menampilkan data dalam bentuk karakter maupun grafis, sehingga sesuai untuk aplikasi monitoring.(Albert, 2025)



Gambar 2. 14 LCD Display (Sumber : Flyrobo)

2.6.9 Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) adalah perangkat lunak sumber terbuka untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program (*sketch*) ke papan Arduino maupun kompatibel. Arduino IDE merupakan lingkungan pengembangan open source yang dirancang untuk mendukung platform komputasi fisik berbasis papan mikrokontroler Arduino. Perangkat lunak ini digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke papan mikrokontroler sehingga memungkinkan pengembangan sistem interaktif. Melalui Arduino IDE, pengguna dapat juga membaca masukan dari berbagai sensor dan saklar serta mengontrol keluaran seperti lampu, motor, dan aktuator lainnya. Aplikasi yang dikembangkan ini dapat beroperasi secara mandiri maupun berkomunikasi dengan perangkat lunak pada komputer. Ketersediaan pustaka (*library*) yang luas dan terus dikembangkan menjadikan Arduino banyak digunakan dalam berbagai bidang aplikasi teknologi. (Iot et al., 2025)



Gambar 2. 15 Arduino IDE (Sumber : [appsmicrosoft.com](https://www.appsmicrosoft.com))

2.6.10 MATLAB

MATLAB adalah suatu perangkat lunak komputasi numerik yang banyak digunakan dalam bidang teknik, khususnya untuk pengembangan dan analisis sistem kendali. MATLAB juga menyediakan fitur seperti Simulink dan PID Tuner yang memungkinkan pemodelan sistem dinamis, analisis respon waktu, serta penyetelan parameter pengendali secara sistematis. Melalui simulasi algoritma PID menggunakan MATLAB, kestabilan dan efisiensi sistem kendali dapat diuji sebelum diterapkan pada sistem nyata. Pendekatan simulasi ini membantu

meminimalkan kesalahan desain dan meningkatkan keandalan serta performa sistem kendali yang dikembangkan.(Primagani et al., n.d.)



Gambar 2. 16 MATLAB (Sumber : uvm.edu)

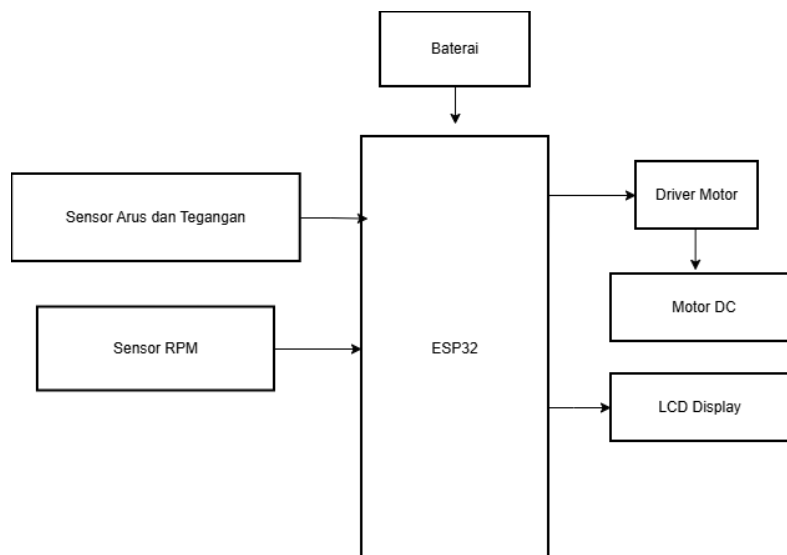
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan bagaimana alur pengerjaan dalam tugas akhir. Pada alur tugas akhir akan mencakup semua konsep penelitian, tahapan penelitian, perancangan hardware dan software, jadwal timeline pengerjaan tugas akhir, serta rencana anggaran biaya yang di perlukan untuk mendukung pembuatan tugas akhir.

3.1 Konsep Penelitian

Pada sub bab ini membahas tentang konsep penelitian yang menjadi dasar dari penelitian ini. Konsep ini berfungsi sebagai landasan dalam merancang dan mengembangkan sistem yang dihasilkan. Fokus utama penelitian ini adalah pada RMU (*Rice Milling Unit*) atau proses penggilingan padi yang menggunakan sumber energi sinar matahari atau panel surya yang memanfaatkan sumber energi matahari, serta penerapan metode PID pada motor listrik penggiling tersebut untuk mengatur kecepatan motor.

3.1.1 Blok Sistem Diagram



Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem

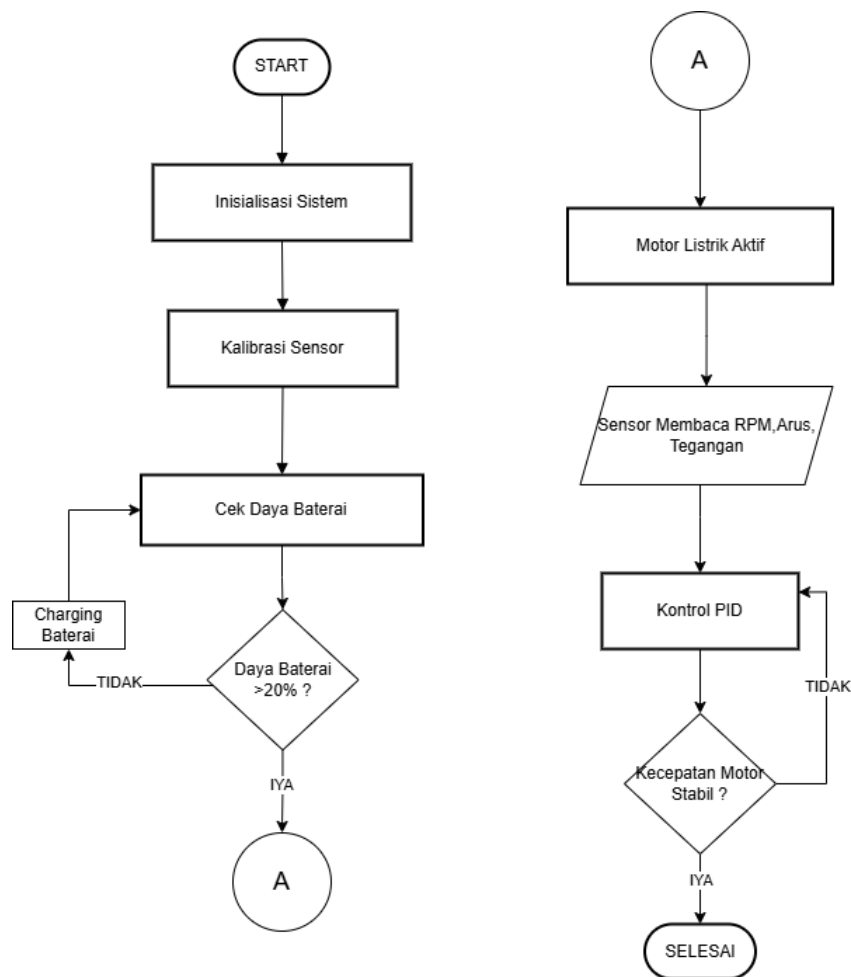
Pada Gambar 3.1 di atas merupakan diagram blok sistem yang digunakan pada tugas akhir ini. Diagram blok sistem tersebut terdiri dari tiga bagian utama,

yaitu input, proses, dan output. Pada bagian input terdapat sensor arus dan tegangan serta sensor RPM yang berfungsi untuk membaca parameter sistem. Sensor arus dan tegangan digunakan untuk memonitor kondisi daya pada sistem, sedangkan sensor RPM digunakan untuk mendeteksi kecepatan putaran motor. Bagian proses menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali sistem.

ESP32 berfungsi untuk menerima data dari seluruh sensor, mengolah data tersebut, kemudian memberikan sinyal kendali ke bagian output sesuai program yang telah dirancang. Pada bagian output terdiri dari driver motor, motor DC, dan LCD display. Driver motor berfungsi sebagai pengatur daya dan pengendali motor DC berdasarkan sinyal dari ESP32. Motor DC digunakan sebagai aktuator utama pada sistem, sedangkan LCD display digunakan untuk menampilkan informasi parameter sistem seperti nilai arus, tegangan, dan RPM secara real-time.

3.1.2 *Flowchart* sistem kerja

Pada flowchart sistem kerja ini menjelaskan tentang perancangan sistem yang bertujuan untuk mempermudah dalam memahami suatu tahapan alur sistem. Proses kerja sistem kendali otomatis pada Rancang Bangun mesin ini digambarkan secara terstruktur melalui diagram alir (flowchart). Alur dimulai dari tahap inisialisasi sistem dan kalibrasi sensor, dilanjutkan dengan pemeriksaan kapasitas daya baterai untuk memastikan ketersediaan energi yang mencukupi. Jika daya baterai berada di bawah batas aman, sistem akan mengaktifkan mode pengisian daya (charging), sedangkan jika daya mencukupi, sistem akan melanjutkan ke tahap pengaktifan motor listrik. Selama motor beroperasi, sensor secara kontinu membaca parameter penting seperti kecepatan putar (RPM), arus, dan tegangan, yang kemudian diproses oleh algoritma kontrol PID guna menjaga kestabilan putaran mesin hingga proses kerja berakhir. Alur keseluruhan logika pemrograman dan kendali sistem tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. 2 Flowchart Sistem Kerja

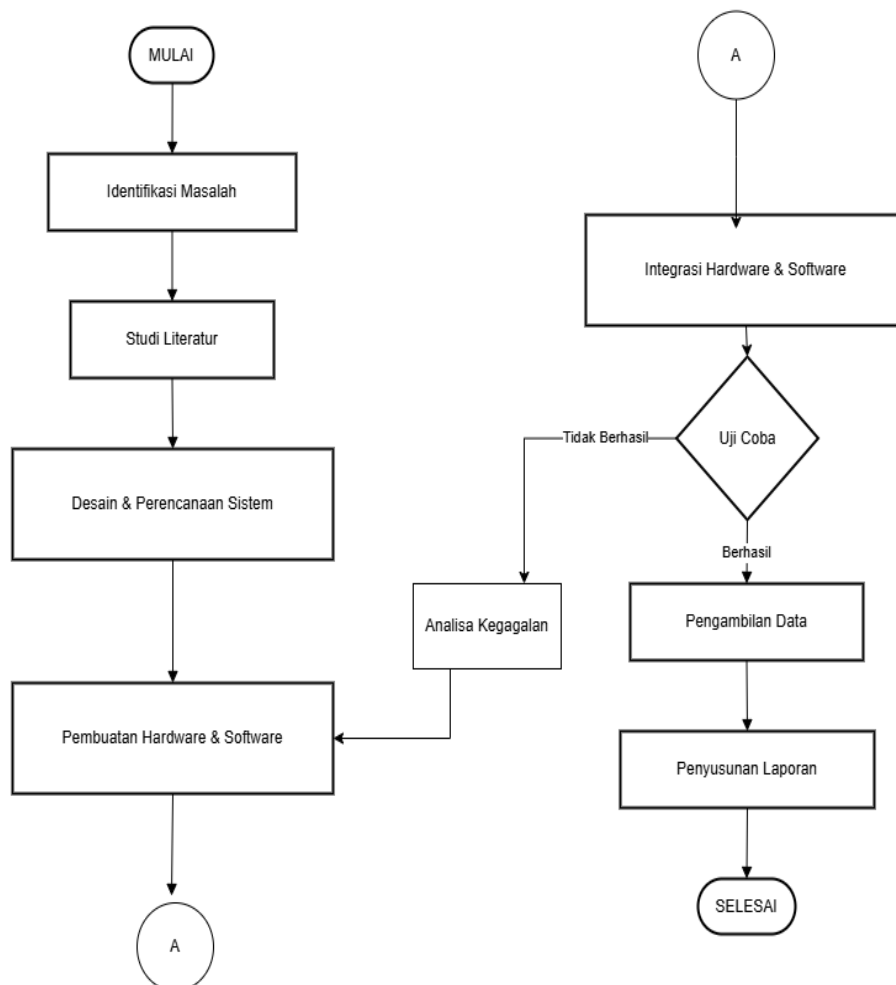
Pada gambar 3.2 merupakan flowchart sistem kerja alat, sistem ini di mulai dengan proses inisialisasi atau bias disebut dengan persiapan alat. Pada tahap ini, LCD, buzzer, dan pin sensor ini diaktifkan untuk siap digunakan. Setelah ini semua siap, motor listrik dinyalakan sehingga sistem bias mulai bekerja.

Selanjutnya, sensor akan mengkalibrasi untuk menjamin keakuratan sensor dalam mengambil data dari motor listrik, seperti arus, tegangan, dan kecepatan putaran (RPM). Tahap selanjutnya adalah pengecekan SoC baterai untuk dapat menjalankan motor listrik. Keputusan tersebut didasarkan pada SoC baterai $>20\%$. Jika baterai kurang dari 20% maka sistem akan melakukan charging baterai kembali. Jika SoC baterai $>20\%$ maka akan lanjut ketahap berikutnya yaitu menjalankan motor listrik untuk melakukan penggilingan padi. Saat motor jalan sensor akan membaca data arus, tegangan, dan RPM motor untuk melakukan control PID guna menstabilkan RPM motor yang diinginkan. Untuk menjamin

keakuratan sistem, kecepatan motor akan selalu dipantau apakah kecepatan motor tetap stabil. Jika tidak, maka kontrol PID akan memproses kembali, namun jika kecepatan motor sudah stabil maka sistem akan berjalan hingga penggilingan padi selesai.

3.2 Tahapan Penelitian

Pada sub bab kali ini, berisi tentang dari serangkaian langkah yang sistematis dan terstruktur untuk menjawab pertanyaan penelitian atau mencapai tujuan dari penelitian.



Gambar 3. 3 Flowchart Alur Penelitian

Pada gambar flowchart alur penelitian di atas dapat di jelaskan sebagai berikut, proses penelitian dan pengembangan sistem berikut diawali yaitu dengan

tahap identifikasi suatu masalah, seperti kegiatan memahami dan menentukan persoalan utama yang perlu diselesaikan. Tahap berikut menjadi pondasi bagi seluruh rangkaian proses selanjutnya. Setelah masalah di rumuskan dengan jelas, kegiatan dilanjutkan dengan studi literatur. Pada tahap ini, berbagai sumber seperti jurnal dan referensi lainnya yang terkait dipelajari untuk memperoleh pemahaman yang mendalam mengenai teori-teori yang mendasari serta memberikan solusi-solusi yang pernah diterapkan oleh penelitian terdahulu. Informasi tersebut kemudian menjadi dasar untuk menyusun, mendesain, dan perencanaan sistem tersebut. Pada tahap perencanaan berikut ini, alur kerja dari sistem ini disusun secara terperinci, termasuk juga perancangan diagram blok, pemilihan suatu komponen, rancangan perangkat lunak, serta juga penentuan metode yang digunakan.

Setelah desain awal tersebut telah selesai, rancangan berikut dikonsultasikan kepada dosen pembimbing untuk mendapatkan masukan, saran, evaluasi, dan arahan untuk pengembangan sistem yang lebih tetap. Konsultasi seperti ini penting karena untuk memastikan bahwa rancangan sistem sesuai dengan standar akademik dan tetap pada alur penelitian yang benar. Apabila desain tersebut sudah disetujui oleh pembimbing, proses pembuatan hardware dan software bisa dimulai. Pada tahapan ini rangkaian kelistrikan mulai dirangkai, sensor dan aktuator dipasang, serta program perangkat lunak dibuat sesuai kebutuhan sistem. Tahap ini membutuhkan ketelitian karena setiap komponen harus berfungsi sesuai dengan semestinya.

Setelah hardware dan software berikut selesai dikembangkan, maka keduanya diintegrasikan menjadi satu kesatuan dari suatu sistem. Integrasi berikut bertujuan untuk memastikan bahwa hardware dan software dapat bekerja secara sinkron dan saling mendukung. Apabila integrasi tersebut berjalan dengan baik dan sistem masuk dalam tahap uji coba. Dilakukan untuk menilai apakah seluruh sistem berfungsi dan berjalan sesuai rencana atau masih ada masalah. Jika ditemukan masalah atau fungsi sistem yang belum optimal, sistem kembali kepada tahap konsultasi dan dilakukan perbaikan hingga kinerjanya memenuhi standarnya.

Kemudian apabila uji coba tersebut menunjukkan hasil yang baik dan sistem tersebut dinyatakan berhasil, proses ini dilanjutkan dengan pengambilan data. Data yang dikumpulkan pada tahap berikut ini berfungsi sebagai dasar analisis untuk

membuktikan sistem ini mampu bekerja sesuai pada tujuan penelitian. Data tersebut menjadi bahan dalam penyusunan laporan akhir. Pada tahap penyusunan laporan, seluruh proses mulai dari dasar teori, perancangan, pembuatan, pengujian sampai hasil analisis disusun dengan sistematis dan lengkap. Laporan berikut menjadi bukti dokumentasi bahwa seluruh rangkaian penelitian ini telah dilakukan dengan benar. Setelah Laporan akhir selesai di susun, seluruh proses dapat dinyatakan selesai.

3.2.1 Identifikasi Masalah

Identifikasi Masalah ini merupakan tahap awal dari pengerjaan Tugas Akhir. Tahap identifikasi masalah ini dilakukan untuk mengamati sebuah permasalahan yang terjadi di lingkungan sekitar yang memungkinkan dapat dijadikan topik pada Tugas Akhir. Permasalahan tersebut adalah proses penggilingan padi yang kebanyakan masih menggunakan diesel dan mengkonsumsi bahan bakar fosil, sehingga saya akan membuat alat dengan mengganti diesel tersebut dengan motor listrik dan memanfaatkan tenaga surya yang dapat dimanfaatkan di daerah pedesaan.

3.2.2 Studi Literatur

Studi Literatur merupakan suatu tahapan yang bertujuan untuk memperdalam dan mengkaji gagasan dari pemahaman konsep dan teori masalah tersebut teridentifikasi. Tahapan ini dilakukan dengan mengumpulkan data yang didapatkan dari referensi buku, artikel, jurnal, dan skripsi dari penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian ini. Data yang didapatkan berupa deskripsi penelitian, kelebihan dan kekurangan dari penelitian sebelumnya, kemudian data tersebut dipelajari dan dikembangkan.

3.2.3 Analisis Kebutuhan Sistem

Tahapan berikutnya dalam penelitian adalah analisis kebutuhan sistem. Analisis ini dilakukan sebagai identifikasi untuk seluruh kebutuhan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang dibutuhkan dalam perancangan dan pembuatan mesin penggiling padi berbasis motor listrik dengan sumber energi tenaga surya. Analisis kebutuhan sistem bertujuan untuk memastikan bahwa sistem

yang dirancang mampu bekerja secara optimal, efisien, dan sesuai dengan tujuan dari penelitian.

Berdasarkan dari hasil perhitungan konversi daya, dari mesin diesel dengan daya 22 HP yang setara dengan daya mekanik sebesar 16,4 kW. Dengan mempertimbangkan efisiensi motor listrik serta factor keamanan untuk beban penggilingan yang bersifat fluktuatif, maka motor listrik yang direkomendasikan memiliki daya sebesar 22-25 kW. Daya berikut dinilai mampu mempertahankan dari kapasitas produksi sebesar 1 ton beras dalam waktu 2 jam. Penggunaan motor listrik sebagai pengganti mesin diesel pada sistem penggilingan padi terbukti lebih efisien secara energi, mengingat perhitungan daya pada motor DC maupun motor AC pada dasarnya didasarkan pada kebutuhan daya mekanik beban. Selain itu, motor DC memiliki keunggulan berupa torsi awal yang besar sehingga lebih sesuai untuk aplikasi penggilingan padi yang memerlukan daya awal tinggi dan mampu menghadapi variasi beban selama proses penggilingan berlangsung.

Namun untuk keperluan yang diterapkan pada sistem penggilingan padi skala rumahan, dengan perbedaan utama yang terletak pada skala daya kapasitas produksi yang dihasilkan. Dengan menggunakan motor DC yang berdaya 1 HP, sistem yang dirancang termasuk dalam kategori penggilingan padi skala rumahan atau usaha mikro dengan kapasitas produksi sekitar 15-25 kg per jam. Dibandingkan dengan mesin diesel yang memiliki efisiensi termal yang relatif rendah dan membutuhkan bahan bakar fosil, motor DC mampu mengonversi energi listrik menjadi energi mekanik dengan efisiensi yang lebih tinggi serta memiliki biaya operasional yang lebih rendah. Oleh karena itu, konversi dari mesin diesel ke motor listrik, baik skala industri maupun skala rumahan, dinilai lebih efisien, dan ramah lingkungan untuk penerapan teknologi berkelanjutan.

Untuk Penentuan spesifikasi sistem ini didasarkan pada kebutuhan daya motor penggiling, kapasitas pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), serta juga kebutuhan sistem kendali dan monitoring. Analisis ini mencakup perhitungan kapasitas beban motor listrik, kebutuhan daya dari panel surya dan baterai, serta pemilihan komponen pendukung seperti sensor dan mikrokontroler. Selain itu, analisis kebutuhan di sistem juga mempertimbangkan aspek pengendalian

kecepatan motor dengan menggunakan metode PID serta sistem proteksi untuk menjaga keamanan dan kendala pada alat.

A. Perhitungan Kebutuhan Beban

Tugas Akhir ini fokus pada beban utamanya motor listrik DC yang digunakan sebagai penggerak utama pada mesin penggiling padi. Motor listrik di pilih sebagai mesin diesel karena memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan kemudahan dalam pengaturan kecepatan putaran. Daya motor yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan proses penggilingan padi skala kecil hingga menengah.

Selain itu motor listrik, juga terdapat beban pendukung seperti mikrokontroller ESP32 sensor arus dan tegangan, sensor kecepatan (RPM), sensor suhu, LCD display, serta buzzer sebagai sistem peringatan. Meski daya yang dikonsumsi oleh beban pendukung relatif kecil di bandingkan motor listrik, tetap harus diperhitungkan untuk memperoleh total kebutuhan daya sistem secara keseluruhan.

Tabel 3 1 Kebutuhan Beban Pada Sistem

Komponen Sistem	Jumlah	Daya per Unit	Total Daya
Motor Listrik DC	1 unit	350 W	350 W
ESP32	1 unit	3 W	3 W
Sensor Arus & Tegangan	1 unit	1 W	1 W
Sensor Kecepatan	1 unit	1 W	1 W
Sensor Suhu	1 unit	1 W	1 W
LCD Display	1 unit	2 W	2 W
Buzzer	1 unit	1 W	1 W

Total daya sistem tersebut dihitung sebagai acuan untuk memastikan bahwa konsumsi daya tidak melebihi kemampuan dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang digunakan. Secara sistematis, total daya beban dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{total} = \sum P_{beban}$$

$$P_{total} = P_{motor} + P_{kontrol} + P_{monitoring}$$

$$P_{total} = 350 \text{ W} + (3+1+1+1+1+2) \text{ W}$$

$$P_{total} = 359 \text{ W}$$

Nilai total daya sebesar 359 W ini digunakan sebagai dasar untuk menentukan kapasitas panel surya dan baterai, sehingga sistem dapat mampu mengoperasikan mesin penggiling padi secara stabil dan berkelanjutan.

B. Perhitungan Kebutuhan Energi Harian

Sistem Penggilingan padi pada TA ini direncanakan untuk dapat beroperasi selama ± 2 jam per hari, menyesuaikan dengan kebutuhan penggunaannya di lapangan karena juga sistem dirancang untuk penggunaan skala kecil, sehingga operasi yang ± 2 jam dinilai sudah mencukupi dan lebih efisien dari sisi kapasitas PLTS.

Energi listrik harian dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$E = P \times t \quad (3.1)$$

$$E = 359 \times 2 = 718 \text{ Wh}$$

Sehingga kebutuhan energi listrik sistem adalah 718 Wh per hari

C. Perhitungan Kapasitas Panel Surya

Untuk mengantisipasi rugi-rugi daya pada sistem seperti kabel, charge controller, dan efisiensi panel, digunakan factor koreksi sebesar 1,3.

$$E_{PLTS} = 718 \times 1,3 = 933,5 \text{ Wh}$$

Dengan asumsi lama penyinaran efektif matahari (Peak Sun Hour) sebesar 5 jam per hari, maka kapasitas panel surya yang dibutuhkan dihitung sebagai berikut :

$$P_{Panel} = \frac{E_{PLTS}}{t_{matahari}} \quad (3.2)$$

$$P_{Panel} = \frac{933,4}{5} = 186,68 \text{ Wp}$$

Sehingga kapasitas panel surya minimum yang dibutuhkan sekitar 200 Wp

D. Perhitungan Kapasitas Baterai

Sistem ini menggunakan baterai dengan tegangan kerja 24 V kapasitas baterai minimum dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$C = \frac{E}{V} \quad (3.3)$$

$$C = \frac{718}{24} = 29,92 \text{ Ah}$$

Untuk dapat menjaga umur baterai dan menghindari pengosongan penuh, maka di gunakan Depth of Discharge (DoD) 80%.

$$C_{\text{aktual}} = \frac{29,92}{0,8} = 37,4 \text{ Ah}$$

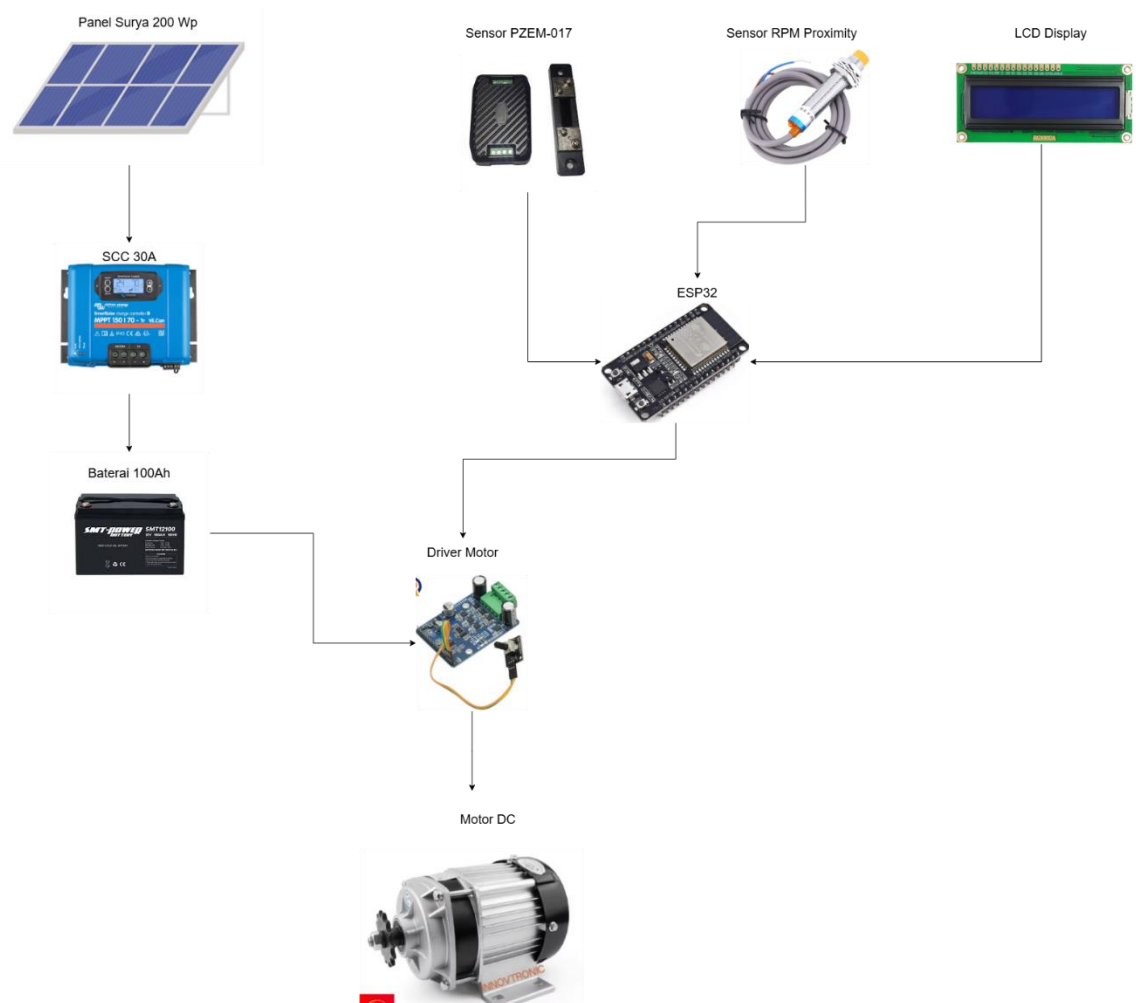
Sehingga kapasitas pada baterai yang dibutuhkan adalah $\pm 40 \text{ Ah}$ pada baterai 24V

3.3 Skema Perancangan Perangkat Keras

Skema perencanaan desain perangkat keras (*hardware*) ini menunjukkan keterkaitan antar komponen utama yang ada pada sistem penggilingan padi berbasis tenaga surya dengan menggunakan mikrokontroller ESP 32 sebagai pusat kendali. Sistem ini memanfaatkan energi matahari sebagai sumber daya yang utama untuk pengoperasian motor penggiling secara efisien. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dan diatur oleh solar charge controller untuk proses pengisian baterai serta juga untuk perlindungan terhadap kondisi *overcharge* dan *overdischarge*. Energi tersebut kemudian disimpan pada baterai dan digunakan untuk sumber daya sistem ketika proses penggilingan berlangsung.

Daya dari baterai kemudian disalurkan ke motor DC melalui driver motor yang berfungsi sebagai pengatur kecepatan dan arah putaran motor berdasarkan sinyal kendali ESP32. Motor DC juga berperan sebagai aktuator utama dalam proses penggilingan padi, ESP32 menerima data dari sensor arus, tegangan, dan sensor pendukung lainnya sebagai dasar dari kendali sistem tersebut. Informasi kondisi sistem ditampilkan melalui LCD sehingga pengguna dapat memantau status operasi secara langsung. Secara keseluruhan, desain pada *hardware* ini juga memisahkan jalur daya dan jalur kontrol secara jelas, sehingga sistem dapat bekerja dengan lebih aman, stabil, dan andal.

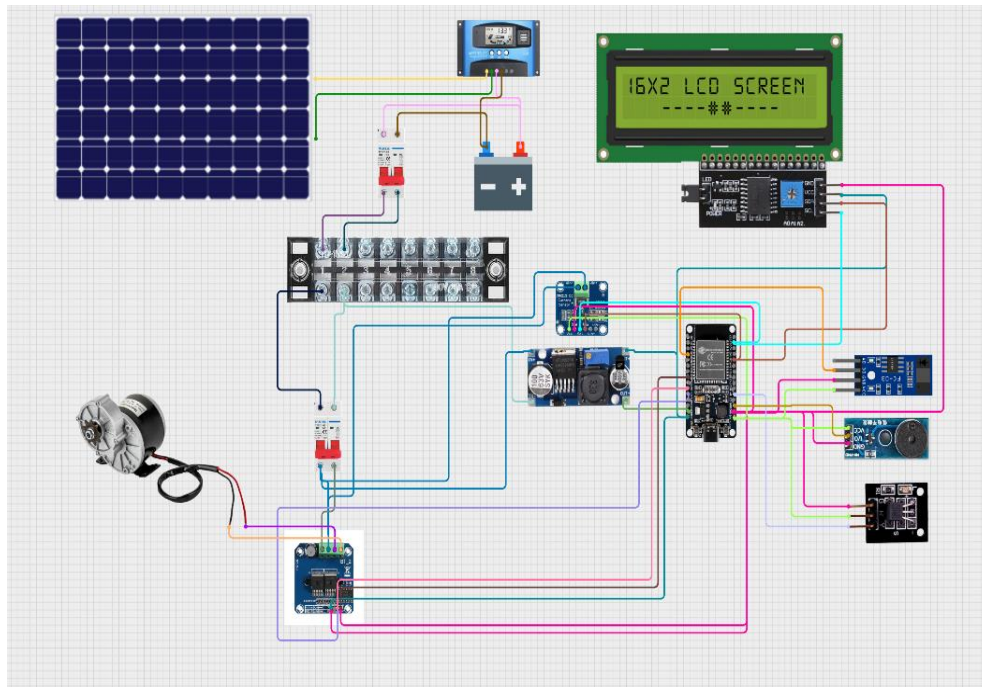
Skema perencanaan desain perangkat keras (*hardware*) ini menunjukkan keterkaitan antar komponen utama yang ada pada sistem penggilingan padi berbasis tenaga surya dengan menggunakan mikrokontroller ESP 32 sebagai pusat kendali. Sistem ini memanfaatkan energi matahari sebagai sumber daya yang utama untuk pengoperasian motor penggiling secara efisien



Gambar 3. 4 Perancangan Desain Hardware

3.3.1 Perencanaan *Wiring* Diagram

Perancangan *Wiring* diagram ini adalah sebagai pemetaan jalur interkoneksi perangkat keras yang mengintegrasikan ESP32 sebagai otak utama untuk memproses semua data. Perancangan *Wiring* diagram memberikan penggambaran yang detail dari koneksi fisik bagaimana perkabelan ini dipasang untuk membentuk sebuah sistem yang terintegrasi. *Wiring* diagram juga memberikan acuan pada setiap pin ESP32 dengan komponen yang digunakan untuk meminimalisir kesalahan saat proses perakitan. Perancangan *wiring* diagram ditunjukkan seperti pada gambar 3.5 dibawah ini



Gambar 3. 5 *Wiring* Diagram Sistem Keseluruhan

3.3.2 Perencanaan Desain

Pada sub bab ini memberikan mengenai perencanaan yang bertujuan untuk mengetahui bentuk maupun ukuran dari alat yang akan di buat pada penelitian ini sehingga diperlukan model alat dalam bentuk gambar 3D. Gambar tersebut menampilkan desain CAD 3D purwarupa mesin penggiling mandiri energi (off-grid) yang terintegrasi dalam satu rangka besi yang kokoh. Sistem ini berpusat pada unit mekanik berupa corong masukan dan ruang penggiling berwarna hijau, yang digerakkan oleh motor listrik melalui mekanisme transmisi sabuk-puli berpelindung aman. Untuk kebutuhan daya, mesin ini memanfaatkan panel surya yang terpasang menyerupai kanopi di bagian atas penyangga utama. Seluruh distribusi kelistrikan dan otomasi mesin dikendalikan secara terpusat melalui boks panel abu-abu yang dilengkapi dengan layar pemantau parameter, lampu indikator, dan tombol operasi sebagai antarmuka pengguna. Secara keseluruhan, desain ini berhasil memadukan fungsi pemesinan mekanik, kendali elektronik cerdas, dan pemanfaatan energi terbarukan secara ringkas dan fungsional. Seperti pada gambar 3.6 di bawah ini.



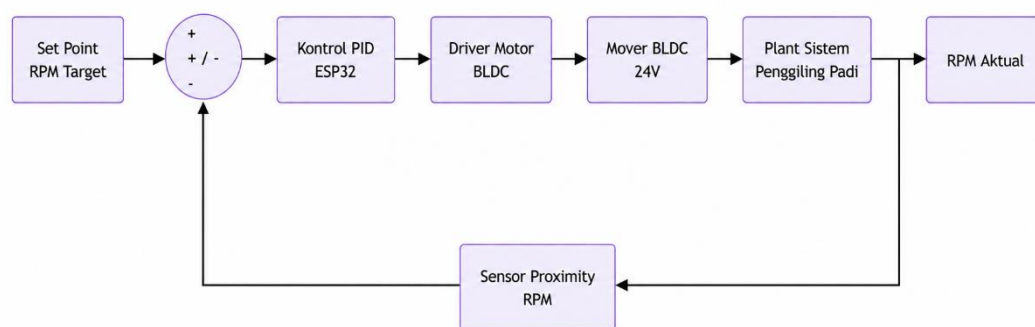
Gambar 3. 6 Desain 3D

3.4 Mekanisme Kerja Kendali PID

Pengendalian kecepatan putar (RPM) motor BLDC pada sistem penggiling padi dalam penelitian ini menggunakan metode Proportional–Integral–Derivative (PID) yang diimplementasikan pada mikrokontroler ESP32. Sistem bekerja berdasarkan prinsip kendali tertutup (closed-loop control), di mana kecepatan putar motor yang diukur oleh sensor proximity digunakan sebagai sinyal umpan balik (feedback) untuk menjaga putaran motor tetap stabil meskipun terjadi perubahan beban selama proses penggilingan.

Proses pengendalian diawali dengan penentuan set point berupa nilai RPM yang diinginkan sebagai acuan sistem. Sensor proximity membaca kecepatan putar aktual motor BLDC dan mengirimkan data tersebut ke mikrokontroler ESP32. Selanjutnya, ESP32 membandingkan nilai RPM aktual dengan nilai set point sehingga diperoleh nilai error, yaitu selisih antara RPM yang diinginkan dengan

RPM yang terukur. Nilai error tersebut kemudian diproses oleh algoritma PID untuk menghasilkan sinyal kendali berupa nilai Pulse Width Modulation (PWM) yang dikirimkan ke driver motor BLDC. Driver motor kemudian mengatur daya yang diberikan ke motor BLDC sehingga kecepatan putar motor dapat dipertahankan sesuai dengan nilai set point meskipun terjadi perubahan beban pada sistem penggilingan. Hubungan antar komponen dalam sistem kendali PID ditunjukkan pada diagram blok berikut.

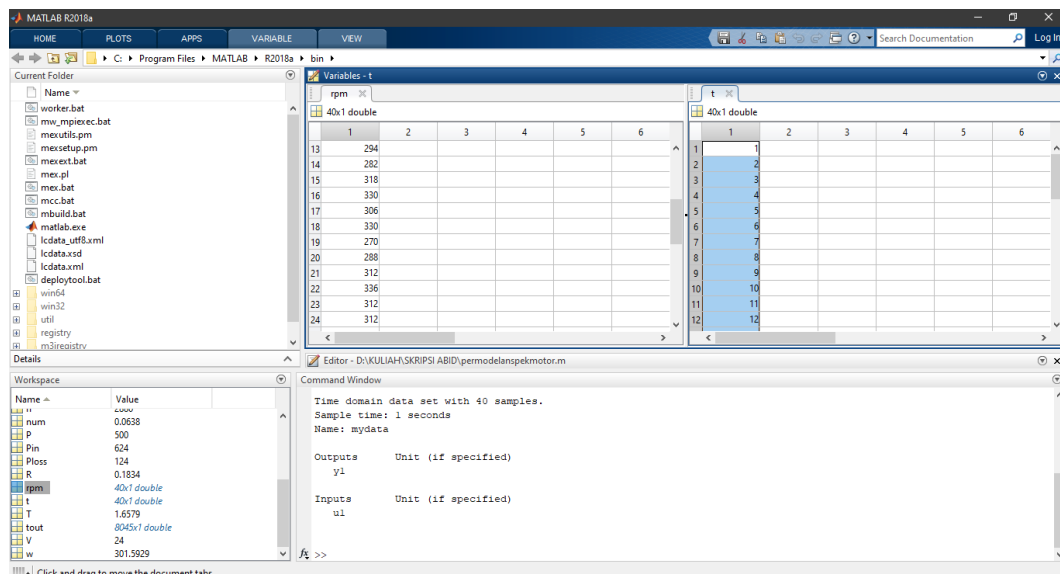


Gambar 3. 7 Blok Sistem Kendali PID

Setelah itu dapat melakukan perhitungan matematika agar dapat dimasukkan kedalam transfer function pada matlab. Dengan memasukkan data spesifikasi pada transfer function model matematika dan pada perancangan kontrol PID dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* MATLAB dengan fitur *System Identification* untuk menentukan pendekatan model matematis dari *plant* apa yang digunakan. Langkah pertama dalam melakukan pendekatan model matematis yaitu dari pengambilan data logger *input* dan *output* sebuah sistem yang kemudian data logger di-import dalam *workspace Matlab*.

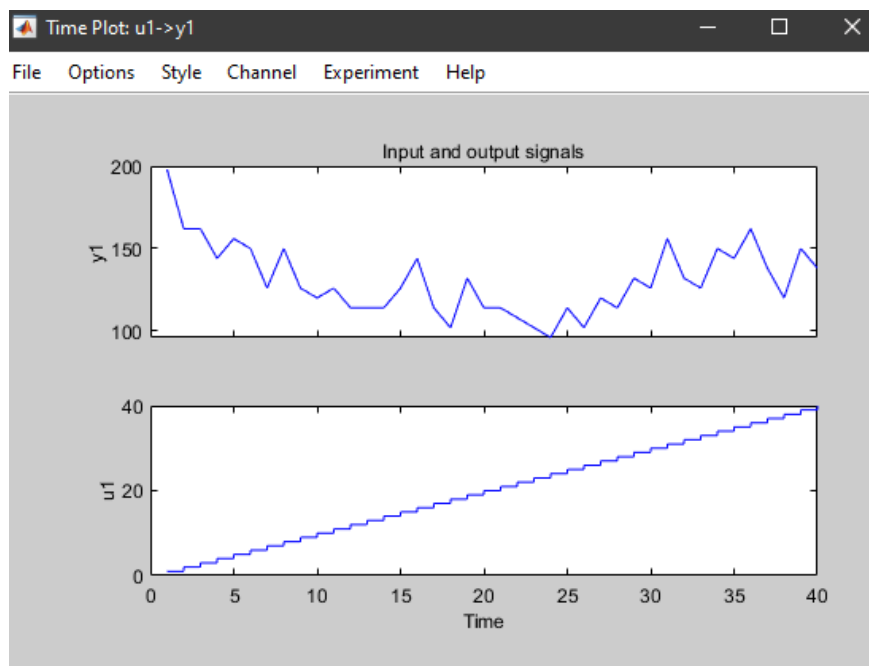
Proses pemodelan matematis dan identifikasi parameter sistem motor dilakukan menggunakan perangkat lunak komputasi MATLAB. Langkah awal dalam tahapan ini adalah melakukan ekstraksi data empiris yang telah diperoleh dari pengujian perangkat keras ke dalam ruang kerja (*Workspace*) perangkat lunak. Data pengujian yang dieksekusi terdiri dari 40 baris sampel (*time-domain data set*), di mana variabel *t* dideklarasikan sebagai representasi waktu pengamatan dengan interval pengambilan data (*sample time*) sebesar 1 detik. Sementara itu, variabel

rpm memuat matriks respons kecepatan putar motor yang terekam pada setiap detik tersebut. seperti pada Gambar 3.8.



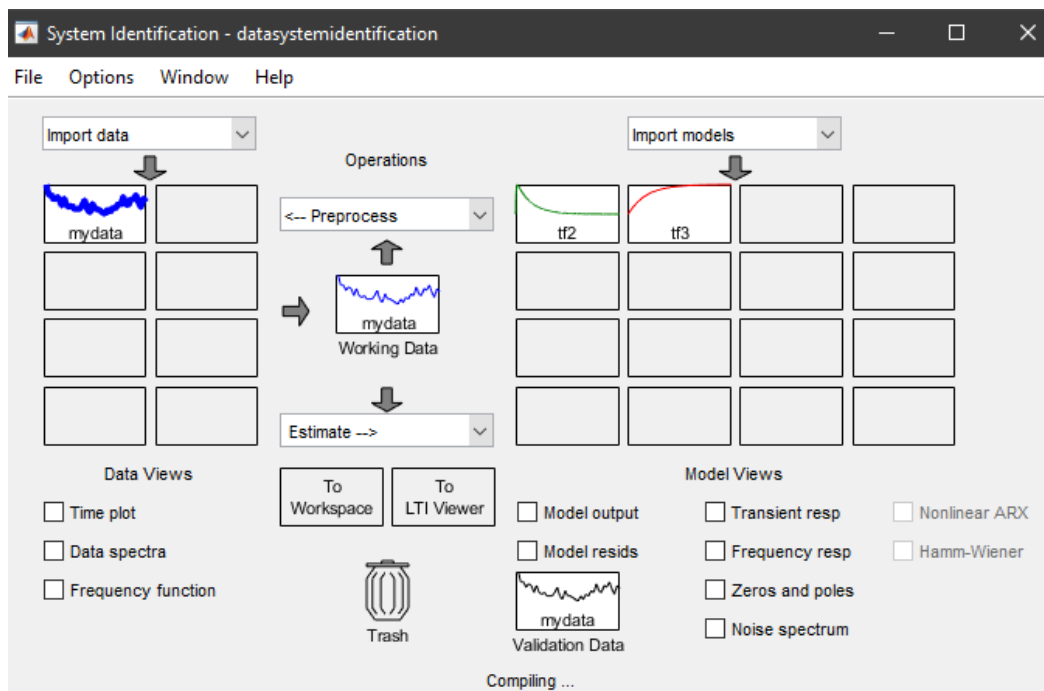
Gambar 3. 8 Data Logger Sistem

Setelah data logger diperoleh, langkah selanjutnya adalah melakukan identifikasi *plant* untuk memperoleh model matematis sistem. Model tersebut digunakan sebagai dasar dalam penyusunan simulasi *Matlab/Simulink* sebelum metode PID diterapkan pada sistem Penggiling Padi.



Gambar 3. 9 Karakteristik perubahan RPM

Karakteristik perubahan masukan u_1 menunjukkan peningkatan secara bertahap selama proses pengujian, sedangkan keluaran y_1 menunjukkan respons yang berfluktuasi pada kisaran 100–200. Respons keluaran tidak menunjukkan pola kenaikan eksponensial dan belum mencapai nilai steady-state yang konstan. Fluktuasi keluaran menunjukkan adanya dinamika pada sistem motor BLDC akibat perubahan masukan dan karakteristik sistem. Oleh karena itu, data masukan dan keluaran digunakan untuk proses System Identification guna memperoleh fungsi alih yang dapat merepresentasikan karakteristik dinamis plant motor BLDC. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa *plant* dapat dimodelkan dengan fungsi alih sebagai berikut.



Gambar 3. 10 System Identification Matlab

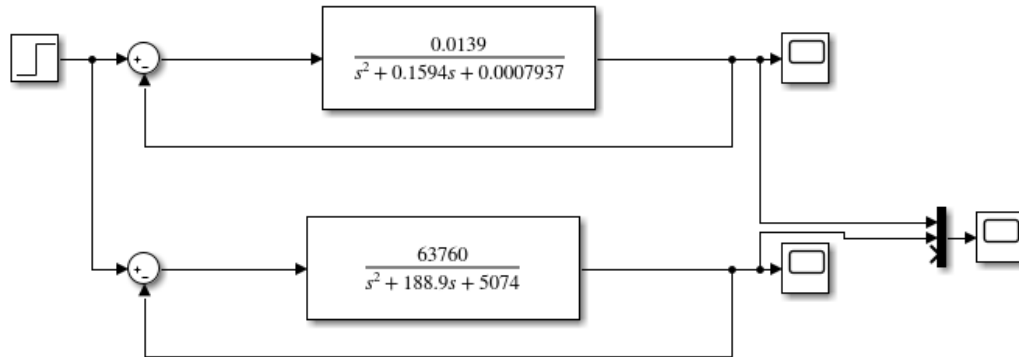
Berdasarkan data *logger* yang telah di-import pada *system identification*, didapatkan model matematis *transfer function* seperti pada rumus di bawah.

$$G(s) = \frac{0,0139}{s^2 + 0.1594s + 0.0007937} \quad (3.1)$$

$$G(s) = \frac{63760}{s^2 + 188,9s + 5074} \quad (3.2)$$

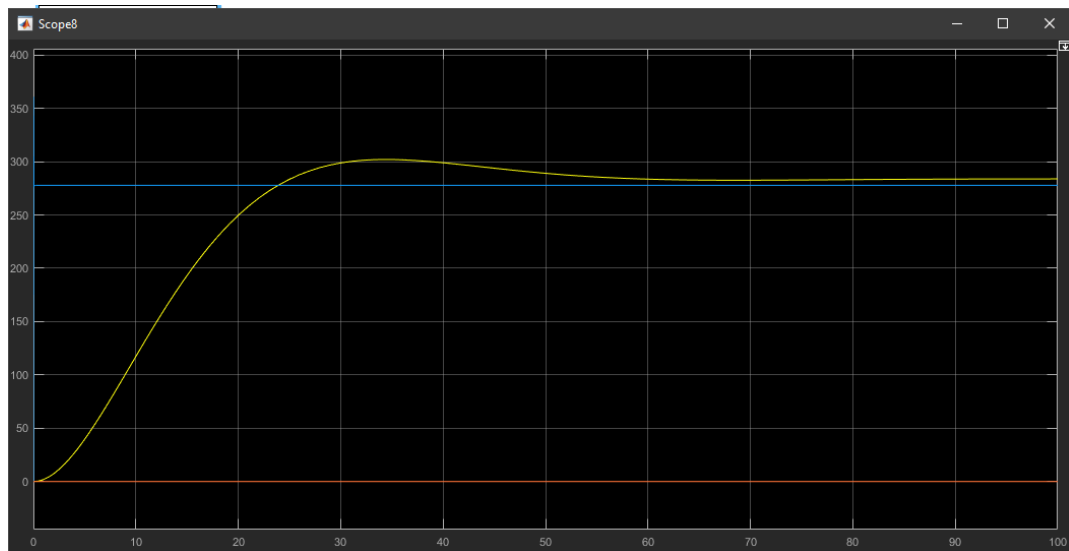
Pemodelan yang digunakan merupakan pemodelan sistem MSE. Setelah mendapatkan model matematis dari *plant* yang digunakan pada sistem, langkah

berikutnya yaitu pensimulasian sistem tanpa menggunakan metode dengan menggunakan fitur *Simulink* pada *Matlab*. Berikut merupakan skema dan hasil *running* sistem *open loop* tanpa menggunakan metode dalam *simulink*.



Gambar 3. 11 Skema Sistem *closed loop* Tanpa PID Pada *Simulink*

Berdasarkan Gambar 3.11 setelah sistem dilakukan simulasi maka dilakukan pengamatan pada *scope*. Berikut Gambar hasil simulasi pada *Simulink*.



Gambar 3. 12 Simulasi Kurva Hasil Running Sistem Tanpa PID

Berdasarkan Gambar 3.11 diperoleh pensimulasian kurva dalam sistem tanpa menggunakan metode. Untuk kurva berwarna kuning adalah *transfer function* 1, warna biru *transfer function* 2, Langkah selanjutnya adalah mencari parameter Plant dari ke 2 *transfer function* tersebut, berikut adalah perhitungannya.

Transfer Function pertama :

$$G(s) = \frac{0,0139}{s^2 + 0.1594s + 0.0007937}$$

Penalaan pengendali PID dilakukan untuk mendapatkan parameter Kp, Ki, Kd, yang mampu mempertahankan kecepatan motor pada nilai set point yang ditentukan. Metode penalaan yang digunakan adalah Ziegler–Nichols tipe 2, yaitu dengan menentukan nilai ultimate gain Ku dan ultimate period Pu dari karakteristik osilasi sistem.

Berdasarkan hasil pengujian yang digunakan pada proses penalaan, diperoleh:
Ku = 15 dengan periode osilasi Pu = 13,95s. Nilai tersebut kemudian digunakan untuk menentukan parameter PID

Berdasarkan metode Ziegler-Nichols tipe 2 untuk pengendali PID:

$$K_p = 0,6.K_u$$

Dengan :

$$K_u = 15$$

Maka :

$$K_p = 0,6(15)$$

$$K = 9$$

Parameter waktu integral ditentukan dengan persamaan :

$$T_i = \frac{P_u}{2}$$

Substitusi nilai periode osilasi :

$$T_i = \frac{13,95}{2}$$

$$T_i = 6,975 \text{ s}$$

Parameter waktu derivative diperoleh menggunakan :

$$T_d = \frac{P_u}{8}$$

Sehingga :

$$T_d = \frac{13,95}{8}$$

$$T_d = 1,74375 \text{ s}$$

Perhitungan Ki untuk PID parallel :

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

Sehingga :

$$K_i = \frac{9}{6,975}$$

$$K_i = 1,2903$$

Perhitungan Kd, Nilai konstanta derivative dihitung menggunakan :

$$K_d = K_p.T_d$$

Sehingga :

$$K_d = 9 (1,74375)$$

$$K_d = 15,69375$$

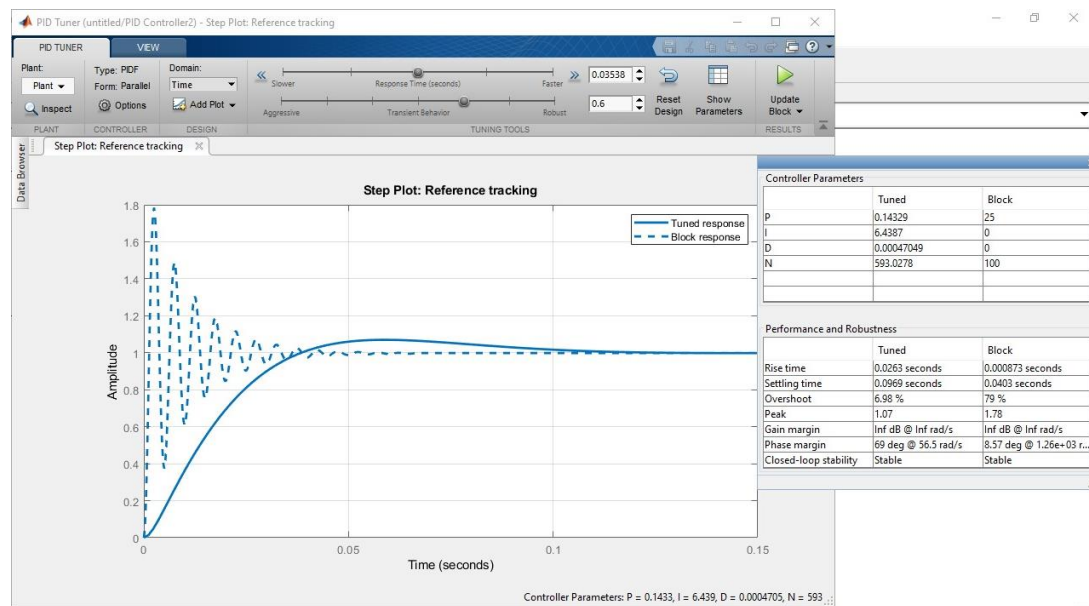
Tabel 3. 1 Nilai Kp Ki Kd pada *Transfer Function* pertama

Kp	9
Ki	1,2903
Kd	15,69375

Transfer Function kedua:

$$G(s) = \frac{63760}{s^2 + 188,9s + 5074}$$

Selain metode Ziegler–Nichols pada model hasil data aktual, dilakukan penalaan menggunakan fitur PID Tuner MATLAB pada model berdasarkan spesifikasi motor. Seperti pada gambar 3.13 berikut :



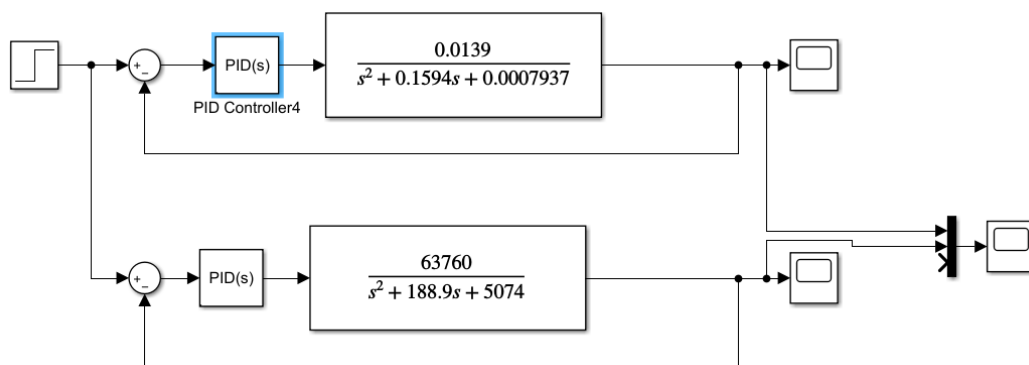
Gambar 3. 13 PID Tunner Matlab

Berdasarkan hasil PID Tuner yang diperoleh, parameter pengendali adalah:

Tabel 3. 2 Nilai Kp Ki Kd pada *Transfer Function* kedua

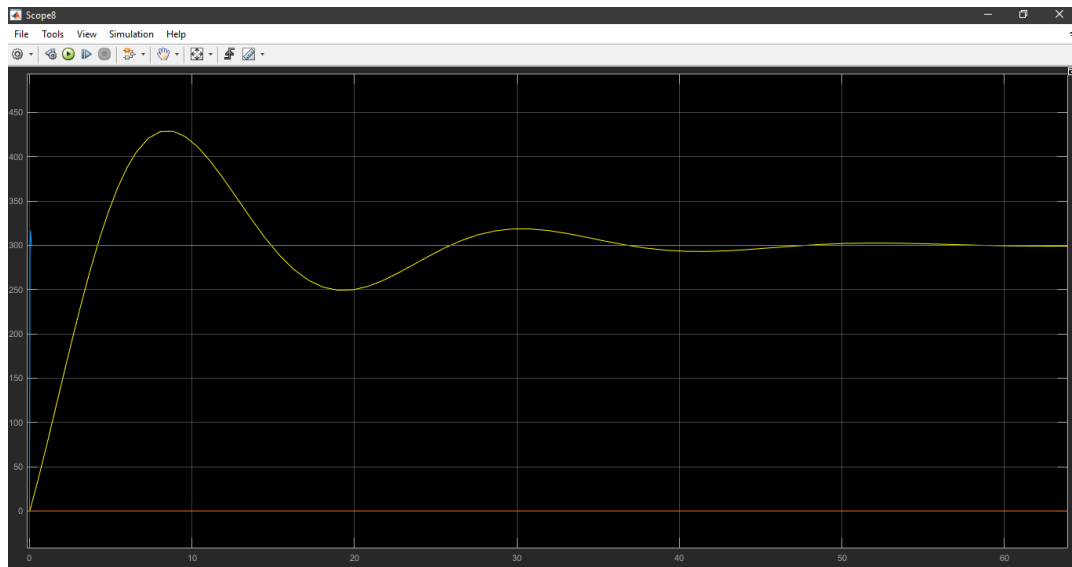
Kp	0,14329
Ki	6,4387
Kd	0,00047049

Berdasarkan perhitungan konstanta maka diperoleh nilai Kp, Ki, dan Kd sesuai Tabel 3.1, dan Tabel 3.2. Langkah berikutnya yaitu pensimulasian PID pada software Matlab dengan cara menambahkan skema kontrol PID pada rangkaian Gambar 3.14. berikut merupakan skema rangkaian kontrol sistem menggunakan PID.



Gambar 3. 14 Skema Rangkaian Sistem Menggunakan Kontrol PID *Close*

Pada Gambar 3.14 ditambahkan kontroler PID dengan harapan agar *output* sistem dapat lebih cepat untuk berada pada *steady state* dibandingkan dengan tanpa menggunakan metode. Pada kontroler PID dilakukan pengaturan Kp, Ki, dan Kd sesuai dengan nilai yang telah dilakukan perhitungan. Berikut hasil simulasi sistem menggunakan kontroler PID. Gambar tersebut menyajikan grafik respons transien (*step response*) dari sistem kendali kecepatan motor yang disimulasikan melalui instrumen *Scope* pada Simulink MATLAB. Pada grafik ini, garis horizontal berwarna biru merepresentasikan sinyal referensi atau nilai target putaran (*setpoint*) yang ditetapkan secara konstan pada angka 300 RPM. Sementara itu, kurva berwarna kuning menunjukkan profil kecepatan aktual dari model matematika sistem seiring berjalannya waktu. Dapat dilihat grafik respon tersebut pada Gambar 3.15 dibawah ini.



Gambar 3. 15 Hasil Simulasi Sistem Menggunakan Kontroler PID

Berdasarkan Gambar 3.13 diperoleh kurva hasil simulasi sistem pengendalian kecepatan motor BLDC menggunakan kontrol PID. Garis berwarna biru menunjukkan respons sistem berdasarkan fungsi alih spesifikasi motor yang telah dilakukan penalaan menggunakan PID Tuner, dengan nilai set point sebesar 300 RPM. Pada awal respons, kurva mengalami sedikit overshoot hingga berada di atas nilai set point, kemudian mengalami penurunan dan kembali menuju nilai 300 RPM. Setelah kondisi transien berakhir, respons menunjukkan kestabilan dan mampu mengikuti nilai set point yang telah ditentukan.

Sementara itu, kurva berwarna kuning menunjukkan respons sistem dengan kenaikan yang lebih lambat dan belum mencapai nilai set point 300 RPM pada awal periode pengamatan. Respons kurva kuning terus mengalami peningkatan hingga melewati nilai set point. Perbedaan respons kedua kurva menunjukkan bahwa pemilihan parameter pengendali PID sangat memengaruhi karakteristik kecepatan motor BLDC. Penggunaan parameter hasil PID Tuner menghasilkan respons yang lebih cepat mencapai set point dan memiliki overshoot yang relatif kecil dibandingkan respons tanpa penalaan yang sesuai perbandingan parameter auto tuner dan ZN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas sebuah proses realisasi desain dan pengujian dari alat, baik secara terpisah ataupun menyeluruh, serta menganalisis data yang telah dikumpulkan pada setiap subbab sebelumnya. Tujuan dari pengujian dan analisis berikut ini adalah untuk mengevaluasi dari tingkat keberhasilan kinerja alat secara keseluruhan.

4.1 Pengujian Parsial

Pengujian parsial terhadap perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) dilakukan untuk menilai kelayakan modul yang digunakan serta mengevaluasi tingkat ketelitian dari setiap komponen sistem. Besarnya persentase kesalahan (error) yang diperoleh digunakan sebagai indikator dalam menentukan performa dan keandalan komponen, sekaligus memastikan bahwa mikrokontroler beserta perangkat pendukung lainnya mampu bekerja secara optimal. Data hasil pengujian perangkat keras dan perangkat lunak pada Tugas Akhir ini disajikan sebagai berikut.

4.1.1. Pengujian PV Tanpa Beban

Pada pengujian tegangan panel surya (PV), dilakukan perbandingan antara hasil pembacaan alat ukur (multimeter) dan sensor tegangan yang terhubung dengan ESP32 untuk mengetahui tingkat akurasi sensor pada berbagai waktu dan intensitas cahaya, hasil pengukuran dan analisis tersebut ditampilkan pada Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian PV sebagai berikut :

Berdasarkan dari tabel hasil pengujian parsial pada panel surya di atas, dilakukan pengukuran terhadap empat parameter utama, yaitu adalah tegangan panel surya (V), arus keluaran panel surya (A), dan intensitas cahaya matahari (Lux). Pada pengujian ini dilakukan mulai pukul 08.00 sampai 15.00 dengan Interval di setiap pengukuran setiap 30 menit untuk mengetahui perubahan karakteristik keluaran panel surya akibat perubahan dari intensitas penyinaran matahari sepanjang hari. Tegangan (Volt) merupakan beda potensial listrik yang

dihasilkan oleh panel surya akibat proses konversi energi cahaya menjadi energi listrik

Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian PV

No	Jam	Tegangan (V)	Arus (A)	Intensitas Cahaya (Lux)
1.	08.00	18,31	5,1	32.500
2.	08.30	18,25	5,2	30.800
3.	09.00	18,51	4,7	47.600
4.	09.30	18,48	5,1	56.900
5.	10.00	18,1	5,5	68.400
6.	10.30	18,91	5,9	79.300
7.	11.00	18,97	6,1	88.700
8.	11.30	19,3	6,2	95.600
9.	12.00	19,4	6,4	101.800
10.	12.30	19,69	6,4	106.500
11.	13.00	20,2	6,5	109.800
12.	13.30	19,58	6,5	108.900
13.	14.00	19,76	6,4	104.200
14.	14.30	19,6	6,2	94.700
15.	15.00	19,5	6,3	86.300

Arus (Ampere) merupakan besarnya aliran elektron yang dihasilkan oleh sel surya ketika menerima energi cahaya. Sementara itu, intensitas cahaya (Lux) merupakan besarnya cahaya tampak yang diterima oleh permukaan panel surya dan diukur menggunakan lux meter. Nilai lux menunjukkan tingkat pencahayaan yang diterima panel, di mana semakin besar nilai lux menunjukkan kondisi penyinaran yang semakin tinggi pada saat pengukuran

Berdasarkan data yang ada pada tabel di atas, pada pukul 08.00 intensitas cahaya yang diterima panel sebesar 32.500 Lux, menghasilkan tegangan 18,31 V dan arus nya 5,1 A. Pada pukul 08.30 terjadi sedikit penurunan intensitas cahaya menjadi 30.800 Lux, dengan tegangan 18,25 V dan arus 5,2 A. Seiring bertambahnya waktu, intensitas cahaya kemudian meningkat secara bertahap. Pada pukul 10.00, intensitas cahaya mencapai 68.400 Lux dengan tegangan 18,10 V dan arus 5,5 A. Selanjutnya, pada pukul 12.30 intensitas cahaya meningkat menjadi

106.500 Lux, menghasilkan tegangan 19,69 V dan arus 6,4 A. Puncak pengujian terjadi pada pukul 13.00, ketika intensitas cahaya mencapai 109.800 Lux, dengan tegangan panel sebesar 20,20 V dan arus 6,5 A. Pada pukul 13.30, intensitas cahaya masih relatif tinggi yaitu 108.900 Lux, dengan tegangan 19,58 V dan arus 6,5 A. Setelah pukul 13.30, intensitas cahaya mulai menurun sehingga pada pukul 15.00 intensitas cahaya menjadi 86.300 Lux, diikuti dengan tegangan sebesar 19,50 V dan arus sebesar 6,3 A.

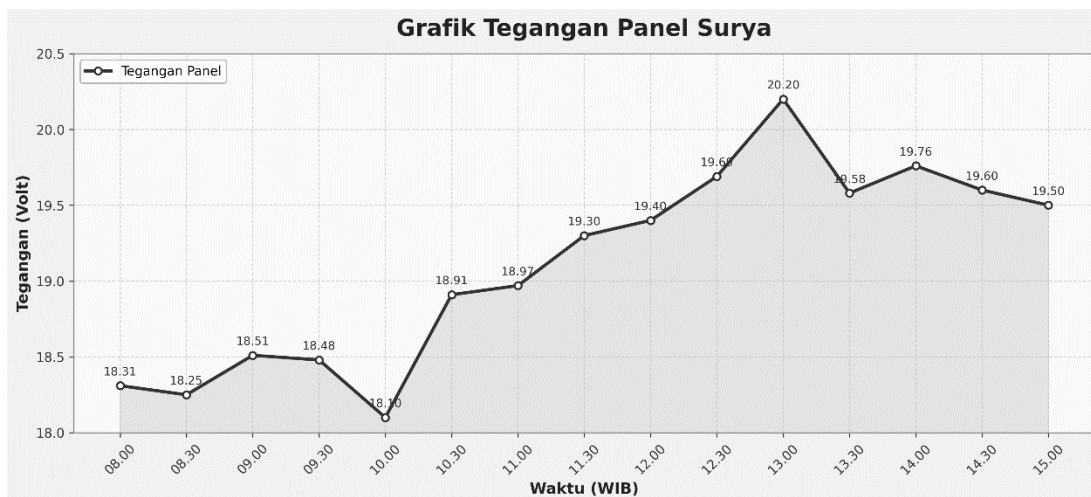
Hasil berikut merupakan adanya hubungan positif antara intensitas cahaya matahari dengan performa keluaran panel surya. Secara dari prinsip kerja, panel surya memanfaatkan efek fotovoltaiik, yaitu proses dari perubahan energi cahaya matahari menjadi energi listrik . Cahaya matahari sendiri terdiri atas partikel-partikel energi yang di sebut foton. Ketika foton mengenai permukaan sel surya berbahan semikonduktor silikon, energi foton dapat membebaskan elektron sehingga terbentuk pasangan elektron-hole yang menghasilkan arus listrik. Semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima oleh permukaan panel, semakin banyak foton yang diterima oleh sel surya sehingga arus listrik yang dihasilkan cenderung meningkat. Pada hasil pengujian terlihat bahwa peningkatan intensitas cahaya dari 32.500 Lux menjadi 109.800 Lux secara umum diikuti dengan kenaikan arus dari 5,1 A menjadi 6,5 A, sedangkan tegangan meningkat dari 18,31 V menjadi 20,20 V. Hal ini menunjukkan bahwa arus keluaran panel surya lebih responsif terhadap perubahan intensitas cahaya dibandingkan tegangan.

Tegangan keluaran panel mengalami perubahan yang relatif lebih kecil dibandingkan arus karena tegangan panel tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik sel surya, temperatur panel, kondisi beban, serta titik operasi panel. Hal tersebut dapat dilihat pada pukul 10.00, ketika intensitas cahaya meningkat menjadi 68.400 Lux, tetapi tegangan tercatat 18,10 V, lebih rendah dibandingkan beberapa pengukuran sebelumnya. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perubahan keluaran panel tidak selalu berbanding lurus terhadap intensitas cahaya karena terdapat faktor lingkungan dan kondisi operasi lain yang turut memengaruhi karakteristik panel.

Diketahui bahwa Lux bukan merupakan satuan standar untuk mengukur energi matahari yang diterima panel surya. Lux sendiri merupakan satuan iluminasi,

yaitu besarnya cahaya tampak yang diterima suatu permukaan, sedangkan performa panel surya secara teknis lebih tepat dilakukan analisis menggunakan irradiance yang dinyatakan dalam satuan W/m^2 . Namun, pada pengujian lapangan, nilai Lux dapat digunakan sebagai indikator perubahan kondisi pencahayaan selama pengujian. Oleh karena itu, perubahan nilai Lux pada tabel dapat digunakan untuk melihat kecenderungan perubahan intensitas penyinaran selama proses pengujian, tetapi tidak dapat secara langsung disamakan dengan nilai irradiance.

Dengan demikian, berikut hasil pengujian pada tabel menunjukkan bahwa peningkatan intensitas suatu cahaya selama periode pagi hingga sekitar pukul 13.00 secara umum menyebabkan peningkatan keluaran listrik panel surya, terutama pada parameter arus. Kondisi intensitas cahaya tertinggi sebesar 109.800 Lux pada pukul 13.00 menghasilkan tegangan 20,20 V dan arus 6,5 A, yang merupakan salah satu kondisi keluaran tertinggi selama pengujian. Setelah intensitas cahaya menurun pada siang menuju sore hari, keluaran panel juga cenderung mengalami penurunan. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa perubahan kondisi penyinaran matahari berpengaruh terhadap karakteristik keluaran panel surya dan dapat memengaruhi kemampuan sistem dalam menyediakan energi listrik untuk proses pengisian baterai.



Gambar 4. 1 Grafik Pengujian Panel Surya Tanpa Beban

Berdasarkan Gambar Grafik Tegangan Panel Surya, terlihat bahwa tegangan keluaran panel mengalami perubahan sepanjang waktu pengujian. Pada pukul 08.00, tegangan panel sebesar 18,31 V, kemudian sedikit menurun menjadi 18,25 V

pada pukul 08.30. Setelah itu, tegangan kembali meningkat menjadi 18,51 V pada pukul 09.00 dan relatif stabil pada pukul 09.30 sebesar 18,48 V.

Pada pukul 10.00 terjadi penurunan tegangan menjadi 18,10 V. Setelah titik tersebut, tegangan kembali meningkat secara bertahap hingga mencapai 18,91 V pada pukul 10.30, 18,97 V pada pukul 11.00, dan 19,30 V pada pukul 11.30. Selanjutnya, tegangan terus meningkat hingga 19,69 V pada pukul 12.30 dan mencapai nilai maksimum sebesar 20,20 V pada pukul 13.00.

Setelah pukul 13.00, tegangan mengalami penurunan menjadi 19,58 V pada pukul 13.30, kemudian sempat meningkat kembali menjadi 19,76 V pada pukul 14.00. Setelah itu, tegangan kembali menurun menjadi 19,60 V pada pukul 14.30 dan 19,50 V pada pukul 15.00. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa tegangan keluaran panel dipengaruhi oleh kondisi penyinaran matahari serta kondisi operasi panel selama pengujian

Berdasarkan data intensitas cahaya, nilai tertinggi terjadi pada pukul 13.00 sebesar 109.800 Lux, bersamaan dengan tegangan tertinggi sebesar 20,20 V. Setelah intensitas cahaya mulai menurun, tegangan panel juga cenderung mengalami penurunan. Meskipun demikian, hubungan antara intensitas cahaya dan tegangan tidak sepenuhnya linier karena tegangan panel juga dipengaruhi oleh karakteristik sel surya, temperatur panel, serta kondisi beban.

Secara keseluruhan, tegangan keluaran panel selama pengujian berada pada rentang 18,10–20,20 V. Grafik menunjukkan bahwa panel mampu menghasilkan tegangan yang relatif stabil dan mengalami peningkatan hingga mencapai nilai tertinggi pada sekitar pukul 13.00. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan kondisi penyinaran matahari memberikan pengaruh terhadap tegangan keluaran panel surya selama proses pengujian. Kenaikan tegangan pada siang hari dan penurunannya pada sore hari juga sesuai dengan karakteristik alami panel surya yang dipengaruhi oleh perubahan intensitas cahaya matahari sepanjang hari. . Namun, peningkatan tegangan tidak bersifat linier seperti arus karena tegangan lebih dipengaruhi oleh karakteristik material semikonduktor, suhu panel, dan titik operasi panel surya. Berikut merupakan gambar pengujian dapat dilihat dari Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Pengujian Pv Tanpa Beban Menggunakan Alat ukur dan Sensor

4.1.2. Pengujian Charging Baterai

Pada pengujian ini untuk mengetahui output yang dihasilkan dari pembangkit maka perlu dilakukan pengujian pada sumber. Pengujian ini pertama dilakukan pada output dari panel surya. Parameter yang diamati meliputi tegangan charging yang dihasilkan SCC, tegangan baterai selama proses pengisian, dan arus charging yang mengalir menuju baterai. dengan interval waktu 30 menit. Berikut untuk hasil pengukuran dan analisis tersebut ditampilkan pada Tabel 4.2.

Berdasarkan hasil pengujian charging baterai, proses pengisian baterai berlangsung dengan baik selama waktu pengujian. Pada awal pengujian pukul 08.30, tegangan charging yang dihasilkan SCC sebesar 13,5 V, dengan tegangan baterai 12,48 V dan arus charging sebesar 5,7 A. Seiring bertambahnya waktu pengisian, tegangan baterai mengalami kenaikan secara bertahap hingga mencapai 13,93 V pada pukul 15.00. Hal ini menunjukkan bahwa energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat disalurkan dan disimpan ke dalam baterai secara kontinu selama proses pengujian. Tegangan charging selama pengujian berada di rentang 13,2-13,7. Nilai tersebut menunjukkan bahwa SCC dapat mempertahankan tegangan pengisian pada kisaran yang relatif stabil untuk sistem baterai 12V. Fluktuasi tegangan charging yang terjadi selama pengujian dapat dipengaruhi oleh perubahan intensitas cahaya matahari dan kondisi pengisian baterai. Berikut merupakan data charging yang dapat di lihat pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Pengujian Charging Baterai

No	Jam	Tegangan Charging (V)	Tegangan Baterai (V)	Arus Charging (A)
1.	08.30	13,5	12,48	5,7
2.	09.00	13,5	12,64	5,6
3.	09.30	13,7	12,79	5,9
4.	10.00	13,6	12,87	6
5.	10.30	13,5	13,1	5,9
6.	11.00	13,2	13,2	6,2
7.	11.30	13,4	13,31	6,4
8.	12.00	13,4	13,36	6,1
9.	12.30	13,3	13,4	6,4
10.	13.00	13,3	13,52	6,2
11.	13.30	13,4	13,6	6,2
12.	14.00	13,4	13,7	6,4
13.	14.30	13,7	13,84	6,1
14.	15.00	13,7	13,93	6,2

Ketika kondisi penyinaran berubah, keluaran panel surya juga mengalami perubahan sehingga SCC melakukan penyesuaian terhadap tegangan dan arus pengisian untuk mempertahankan proses charging.

Arus charging yang dapat terukur pada rentang 5,6-6,4 A. Nilai arus berikut relative stabil selama pengujian, dengan nilai tertinggi sebesar 6,4 A yang terjadi di waktu pukul 11.30-12.30 dan 14.00. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa panel surya mampu menyediakan arus pengisian yang cukup selama proses pengujian. Sementara itu, nilai arus terendah sebesar **5,6 A** terjadi pada pukul 09.00. Perubahan arus tersebut berkaitan dengan perubahan intensitas cahaya matahari serta kondisi baterai selama proses pengisian.

Selain itu, terlihat bahwa tegangan baterai meningkat secara bertahap dari 12,48 V pada pukul 08.30 menjadi 13,93 V pada pukul 15.00. Kenaikan tersebut menunjukkan adanya proses penyimpanan energi listrik dari panel surya ke dalam baterai. Pada awal pengujian, selisih antara tegangan charging dan tegangan baterai

masih cukup besar, sedangkan menjelang akhir pengujian selisih tersebut semakin kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa tegangan baterai semakin mendekati tegangan pengisian seiring bertambahnya energi yang tersimpan di dalam baterai.

Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem PLTS dan Solar Charge Controller (SCC) mampu melakukan proses pengisian baterai secara kontinu dengan tegangan charging yang relatif stabil dan arus charging yang cukup konstan. Selama periode pengujian, tegangan baterai meningkat dari 12,48 V menjadi 13,93 V, sedangkan arus charging berada pada kisaran 5,6–6,4 A. Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem pengisian dapat bekerja dengan baik dalam menyalurkan energi dari panel surya menuju baterai selama kondisi penyinaran tersedia.

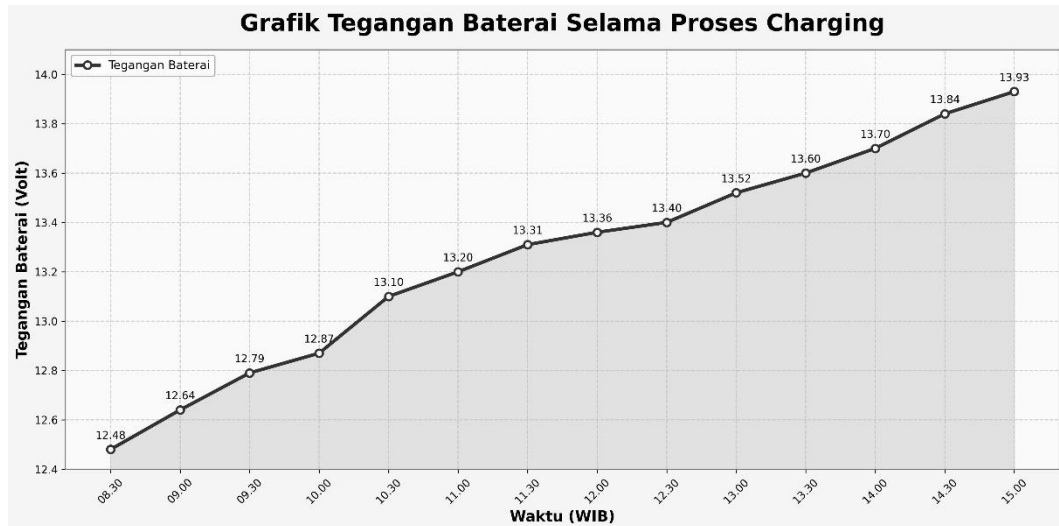


Gambar 4. 3 Pengujian *Charging* Baterai dari Panel surya

Gambar berikut ini memperlihatkan pengujian Solar Charge Controller (SCC) yang digunakan untuk mengatur proses pengisian baterai dengan sumber energi dari panel surya. Pada tampilan SCC terdapat beberapa informasi utama, meliputi tegangan yang berasal dari panel surya (Input/PV), tegangan baterai (Battery), serta arus pengisian (Output/Charging). Parameter tersebut digunakan untuk mengetahui kondisi dan kinerja sistem selama proses pengisian baterai 12 V.

Selama pengujian terdapat, indikator WORK dan PV INPUT pada SCC menyala. Hal tersebut menunjukkan bahwa panel surya sedang menghasilkan energi listrik dan SCC menerima masukan dari panel untuk kemudian mengatur penyalurannya menuju baterai. SCC berperan menjaga proses pengisian dengan

mengatur tegangan dan arus agar sesuai dengan kondisi baterai serta membantu mencegah pengisian yang berlebihan. Nilai tegangan dan arus yang ditampilkan pada SCC kemudian digunakan sebagai parameter monitoring untuk mengetahui kinerja proses charging. Data tersebut selanjutnya dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan alat ukur lain untuk mengetahui kesesuaian pembacaan dan kondisi kerja sistem pengisian baterai.



Gambar 4. 4 Grafik Charging Baterai Menggunakan Panel Surya

Berdasarkan dari gambar grafik tegangan baterai selama proses charging, terlihat bahwa tegangan baterai mengalami peningkatan secara bertahap selama proses pengisian dari panel surya melalui Solar Charge Controller (SCC). Pada awal pengujian pukul 08.30, tegangan baterai berada pada 12,48 V. Nilai tersebut menunjukkan bahwa baterai masih memiliki kapasitas untuk menerima energi dari sistem PLTS. Seiring berlangsungnya proses charging, tegangan baterai meningkat menjadi 12,64 V pada pukul 09.00, 12,87 V pada pukul 10.00, dan mencapai 13,10 V pada pukul 10.30.

Pada pukul 11.00, tegangan baterai mencapai 13,20 V, kemudian terus meningkat menjadi 13,31 V pada pukul 11.30 dan 13,40 V pada pukul 12.30. Kenaikan tegangan yang berlangsung secara bertahap menunjukkan bahwa energi listrik dari panel surya dapat disalurkan melalui SCC dan diterima oleh baterai selama proses pengujian. Meskipun terdapat beberapa kenaikan yang relatif kecil, tidak terlihat adanya penurunan tegangan yang signifikan sehingga proses charging dapat dikatakan berlangsung secara stabil.

Pada periode pukul 13.00 hingga 14.00, tegangan baterai meningkat dari 13,52 V menjadi 13,70 V. Selanjutnya, tegangan kembali meningkat menjadi 13,84 V pada pukul 14.30 dan mencapai nilai tertinggi sebesar 13,93 V pada pukul 15.00. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa energi listrik yang dihasilkan panel surya secara kontinu digunakan untuk mengisi baterai. Nilai arus charging pada periode tersebut berada pada kisaran 6,1–6,4 A, sehingga proses pengisian tetap berlangsung meskipun tegangan baterai semakin tinggi. Secara keseluruhan, tegangan baterai mengalami peningkatan sebesar 1,45 V, yaitu dari 12,48 V pada pukul 08.30 menjadi 13,93 V pada pukul 15.00. Kenaikan tegangan tersebut menunjukkan adanya proses pengisian dan penyimpanan energi listrik ke dalam baterai. Kurva tegangan yang meningkat secara bertahap juga menunjukkan bahwa sistem panel surya dan SCC mampu mempertahankan proses charging selama periode pengujian.

Dengan ini, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem PLTS–SCC mampu melakukan pengisian baterai secara kontinu dan relatif stabil. Peningkatan tegangan baterai dari 12,48 V hingga 13,93 V menunjukkan bahwa energi dari panel surya berhasil disalurkan ke baterai. Namun, nilai tegangan baterai tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya indikator bahwa baterai telah 100% penuh, karena kondisi state of charge juga dipengaruhi oleh jenis baterai, arus pengisian, temperatur, dan kondisi baterai.

4.1.3. Pengujian PZEM-017

Pada pengujian menggunakan sensor tegangan PZEM-017, digunakan metode perbandingan antara hasil pembacaan sensor alat ukur dan alat ukur acuan berupa multimeter. Dalam pengujian kali ini, sensor PZEM-017 dihubungkan ke rangkaian power *supply* 12V, kemudian tegangan keluarannya diukur secara bersamaan oleh sensor dan multimeter untuk menilai ketepatan pembacaan. Selisih nilai antara kedua hasil pengukuran tersebut dimanfaatkan untuk menganalisis tingkat akurasi dan kestabilan kinerja sensor PZEM-017. Berikut hasil pengukuran dan analisis yang ditampilkan pada Tabel 4.3 Hasil Pengujian Sensor PZEM-017

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Tegangan Dengan Sensor PZEM-017

Tegangan Alat (V)	Multimeter (V)	Selisih	Error (%)
22,3	22,26	0,04	0,18
22,5	22,43	0,07	0,31
22,3	22,35	0,05	0,22
22,4	22,31	0,09	0,4
22,6	22,52	0,08	0,36
22,2	22,16	0,04	0,18
22,3	22,27	0,03	0,13
22,7	22,61	0,09	0,4
21,9	21,84	0,06	0,27
21,9	21,93	0,03	0,14
22,31	22,27	0,06	0,26

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Arus Dengan Sensor PZEM-017

Pengujian	Arus Alat (A)	Multimeter (A)	Selisih	Error (%)
1	3,11	3,07	0,04	1,3
2	2,89	2,85	0,04	1,4
3	3,03	2,99	0,04	1,34
4	3,38	3,32	0,06	1,81
5	2,53	2,49	0,04	1,61
6	2,85	2,81	0,04	1,42
7	2,23	2,2	0,03	1,36
8	2,93	2,89	0,04	1,38
9	2,78	2,74	0,04	1,46
10	2,55	2,51	0,04	1,59
Rata-rata	2,83	2,79	0,04	1,47

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PZEM-017 memiliki tingkat akurasi yang sangat baik pada pengukuran tegangan. Berdasarkan hasil perbandingan dengan multimeter digital sebagai alat ukur referensi, diperoleh rata-rata tegangan yang terbaca oleh sensor sebesar 22,31 V, sedangkan hasil pengukuran multimeter sebesar 22,27 V, sehingga menghasilkan rata-rata selisih hanya 0,06 V dengan nilai error rata-rata sebesar 0,26%.

Nilai error tersebut menunjukkan bahwa penyimpangan pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi sangat kecil. Seluruh data pengujian memiliki error kurang dari 0,5%, dengan nilai error tertinggi hanya 0,40%. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sensor PZEM-017 mempunyai tingkat linearitas dan konsistensi yang baik dalam melakukan pengukuran tegangan DC. Tingkat kesalahan yang rendah ini menunjukkan bahwa sensor layak digunakan sebagai

sistem monitoring tegangan pada prototype mesin penggiling padi berbasis PLTS karena masih berada dalam batas toleransi pengukuran instrumentasi.

Pada pengujian parameter arus, diperoleh rata-rata pembacaan sensor sebesar 2,83 A, sedangkan multimeter menunjukkan 2,79 A. Rata-rata selisih pembacaan sebesar 0,04 A dengan nilai error rata-rata sebesar 1,47%. Nilai tersebut masih tergolong kecil sehingga menunjukkan bahwa sensor memiliki kemampuan yang cukup baik dalam mengukur arus listrik.

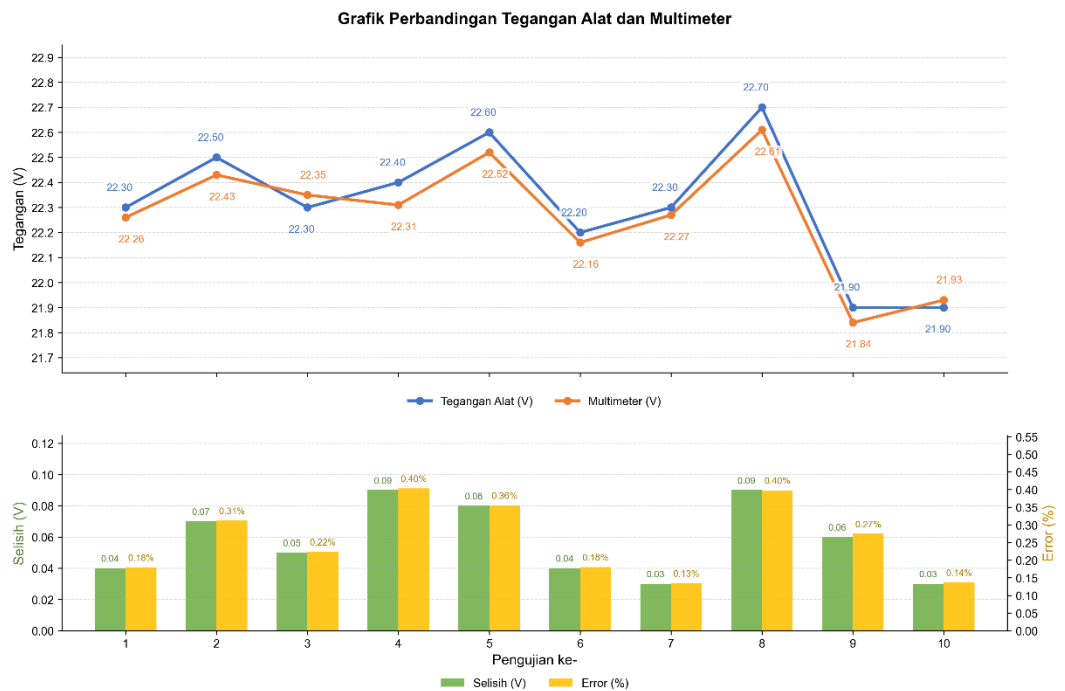
Meskipun demikian, tingkat error arus masih lebih besar dibandingkan pengukuran tegangan. Kondisi ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain toleransi resistor shunt internal, resolusi ADC pada modul PZEM-017, fluktuasi arus akibat proses switching driver BLDC, noise elektromagnetik dari motor, serta perubahan beban selama proses pengujian. Selain itu, pengukuran arus umumnya lebih sensitif terhadap gangguan dibandingkan pengukuran tegangan sehingga menghasilkan deviasi yang sedikit lebih tinggi.

Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa sensor PZEM-017 memiliki akurasi yang sangat baik untuk pengukuran tegangan dan akurasi yang baik untuk pengukuran arus. Dengan nilai error rata-rata masing-masing 0,26% dan 1,47%, sensor ini layak digunakan sebagai perangkat monitoring parameter kelistrikan pada sistem penggerak motor BLDC berbasis PLTS. Untuk meningkatkan akurasi pengukuran arus, disarankan dilakukan proses kalibrasi sensor, penggunaan kabel dengan hambatan rendah, pemasangan shunt yang baik, serta penerapan metode penyaringan data seperti moving average atau low-pass filter pada program mikrokontroler.



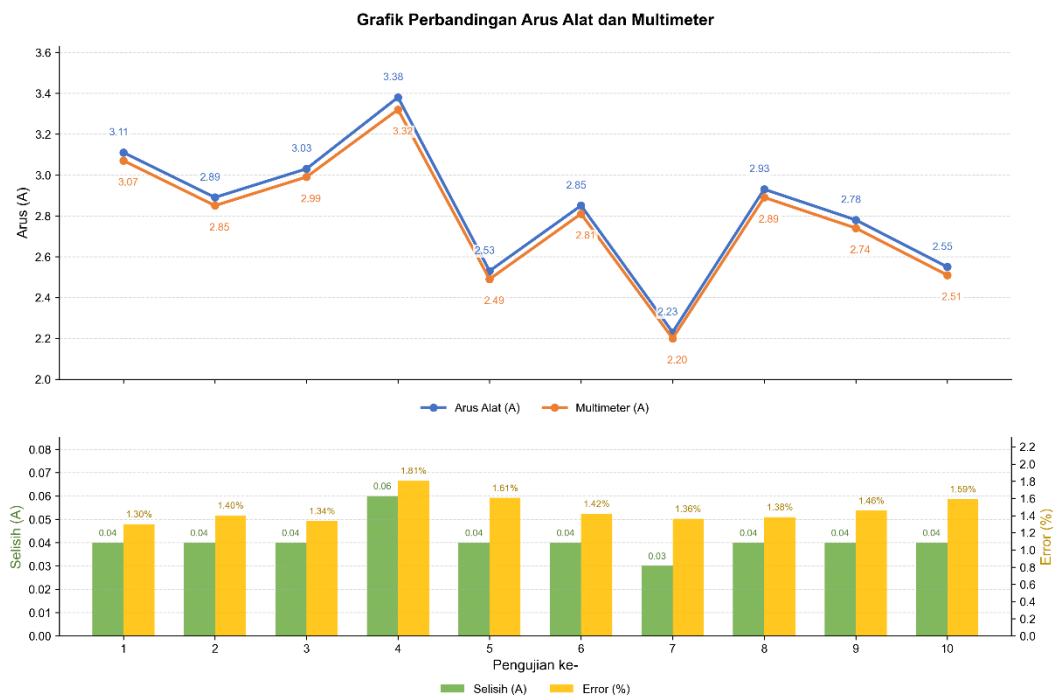
Gambar 4. 5 Dokumentasi Pengujian Sensor PZEM-017

Terdapat juga grafik yang di ukur dari parameter sensoe PZEM-017 berupa nilai tegangan dan arus.



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Tegangan

Grafik pada Gambar 4.6 menunjukkan perbandingan tegangan, hasil pembacaan sensor PZEM-017 memiliki pola yang hampir sama dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter pada setiap pengujian. Kedua kurva bergerak mengikuti tren yang sama, baik saat terjadi kenaikan maupun penurunan tegangan. Hal ini menunjukkan bahwa sensor mampu merespons perubahan tegangan dengan baik dan memiliki karakteristik pembacaan yang konsisten. Perbedaan antara kedua kurva relatif kecil sehingga sesuai dengan hasil perhitungan pada Tabel 4.3 yang menunjukkan rata-rata error sebesar 0,26%. Dengan demikian, grafik ini memperkuat bahwa sensor PZEM-017 memiliki tingkat akurasi yang baik dan layak digunakan untuk monitoring tegangan pada sistem yang dirancang. Berdasarkan hasil pengujian sensor PZEM-017 pada parameter arus, dilakukan perbandingan antara nilai arus yang terbaca oleh sensor dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter sebagai alat ukur referensi. Seperti Gambar 4.7 dibawah ini.



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Arus

Berdasarkan Gambar 4.7, terlihat bahwa pola pembacaan arus sensor PZEM-017 memiliki kecenderungan yang hampir sama dengan hasil pengukuran multimeter pada setiap pengujian. Kedua kurva menunjukkan pola kenaikan dan penurunan yang serupa, dengan perbedaan nilai yang relatif kecil. Nilai arus tertinggi yang terbaca oleh sensor sebesar 3,38 A pada pengujian ke-4, sedangkan nilai terendah sebesar 2,23 A pada pengujian ke-7. Hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa sensor mampu mengikuti perubahan arus dengan cukup konsisten.

4.1.4. Pengujian Sensor Proximity

Pada pengujian sensor *proximity* kali ini, digunakan metode perbandingan antara hasil dari pembacaan sensor dengan alat ukur acuan berupa tachometer. Dalam pengujian ini sensor proximity di pasang pada as motor DC untuk mendeteksi kecepatan poros motor, kemudian nilai kecepatan tersebut diukur secara bersamaan menggunakan sensor dan tachometer untuk menilai ketepatan pembacaan. Selisih nilai antara kedua hasil pengukuran dan analisis yang ditampilkan pada Tabel 4.5 Hasil pengujian sensor proximity.

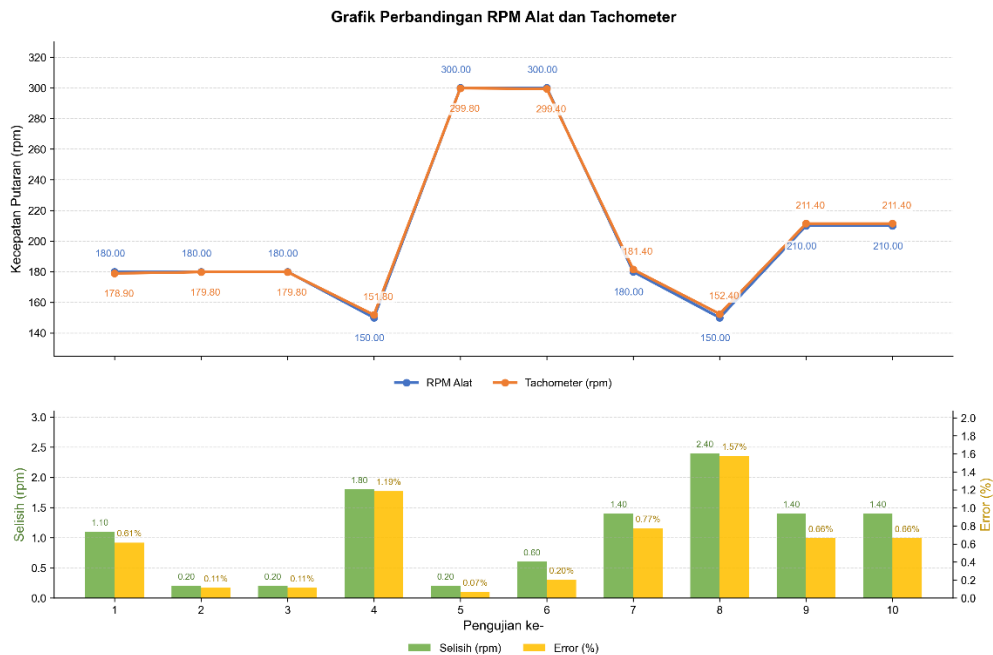
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Sensor Proximity

Pengujian	RPM Alat	Tachometer (rpm)	Selisih	Error (%)
1	180	178,9	1,1	0,61
2	180	179,8	0,2	0,11
3	180	179,8	0,2	0,11
4	150	151,8	1,8	1,19
5	300	299,8	0,2	0,07
6	300	299,4	0,6	0,2
7	180	181,4	1,4	0,77
8	150	152,4	2,4	1,57
9	210	211,4	1,4	0,66
10	210	211,4	1,4	0,66
Rata-rata	204	204,61	1,07	0,6

Berdasarkan data pada tabel, sensor proximity menunjukkan tingkat kesalahan (error) pembacaan yang sangat kecil terhadap nilai referensi tachometer, dengan rata-rata error sekitar 0,41% dan nilai error tertinggi sebesar 0,48%. Nilai ini tergolong rendah dan stabil pada setiap pengujian, sehingga menunjukkan bahwa sensor proximity memiliki akurasi yang baik dalam membaca kecepatan putaran (RPM) motor DC. Konsistensi nilai error yang relatif seragam juga menandakan bahwa sensor bekerja secara andal pada berbagai kondisi putaran. Dengan demikian, sensor proximity dinilai layak digunakan dalam sistem monitoring kecepatan motor tanpa memerlukan kalibrasi tambahan karena masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Berikut merupakan dokumentasi dari pengambilan data sensor proximity. Adapun grafik perbandingan dari sensor RPM dengan Alat ukur RPM tachometer. Pengujian sensor proximity dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitian sensor dalam membaca kecepatan putaran motor BLDC. Hasil pembacaan RPM oleh sensor dibandingkan dengan tachometer sebagai alat ukur referensi. Selain membandingkan nilai RPM, dilakukan pula perhitungan selisih pembacaan dan persentase error pada setiap pengujian. Hasil perbandingan tersebut disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.8 berikut.

Berdasarkan Gambar 4.8, terlihat bahwa pola pembacaan RPM oleh sensor memiliki kecenderungan yang hampir sama dengan hasil pengukuran menggunakan tachometer. Pada pengujian pertama hingga ketiga, sensor membaca

180 RPM, sedangkan tachometer menunjukkan nilai sekitar 178,90–179,80 RPM. Pada pengujian ke-5 dan ke-6, sensor mampu membaca 300 RPM, dengan hasil tachometer masing-masing sebesar 299,80 RPM dan 299,40 RPM



Gambar 4. 8 Grafik Pengujian Parsial RPM

Perbedaan pembacaan terbesar terlihat pada pengujian ke-8, dengan selisih sebesar 2,40 RPM dan error sebesar 1,57%. Sementara itu, error terkecil diperoleh pada pengujian ke-5 sebesar 0,07%, dengan selisih hanya 0,20 RPM. Secara keseluruhan, selisih pembacaan berada pada rentang 0,20–2,40 RPM, sedangkan error berada pada kisaran 0,07–1,57%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor proximity mampu mengikuti perubahan kecepatan putaran motor dengan cukup baik dan memiliki tingkat kesalahan yang relatif kecil terhadap tachometer. Dengan demikian, sensor proximity dapat digunakan sebagai sensor pembacaan RPM pada sistem monitoring motor BLDC, terutama untuk memberikan informasi kecepatan putar secara real-time.

Proses pengujian RPM dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan kecepatan putaran motor yang ditampilkan pada sistem dengan hasil pengukuran menggunakan tachometer digital sebagai alat ukur pembanding. Pada proses pengujian, tachometer diarahkan pada bagian yang berputar pada motor untuk memperoleh nilai RPM aktual, sementara nilai RPM dari sistem ditampilkan

melalui LCD. Kedua nilai tersebut kemudian dicatat pada setiap titik pengujian untuk mengetahui tingkat kesesuaian pembacaan sensor RPM terhadap tachometer.

Terdapat juga foto pengujian RPM pada motor yang ditunjukkan pada gambar 4.9 berikut.



Gambar 4. 9 Dokumentasi Pengambilan data sensor proximity

4.1.5 Pengujian *Discharging*

Pengujian *discharging* berikut ini adalah untuk mengetahui karakteristik penurunan tegangan baterai ketika digunakan sebagai sumber energi pada sistem Penggerak motor BLDC pada penggilingan padi. Selama pengujian, baterai digunakan untuk menyuplai kebutuhan energi sistem. Dan selama proses pengosongan, parameter yang diamati adalah tegangan baterai yang ditampilkan pada solar charge controller (SCC). Hasil pengamatan selama proses *discharging* ditunjukkan pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4. 10 SCC *Discharging*

Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem PLTS–SCC mampu melakukan pengisian baterai secara kontinu dan relatif stabil. Peningkatan tegangan baterai dari 12,48 V hingga 13,93 V menunjukkan bahwa energi dari panel surya berhasil disalurkan ke baterai. Namun, nilai tegangan baterai tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya indikator bahwa baterai telah 100% penuh, karena kondisi state of charge juga dipengaruhi oleh jenis baterai, arus pengisian, temperatur, dan kondisi baterai. Pengukuran tegangan baterai dilakukan secara berkala setiap 10 menit, mulai pukul 14.45 hingga 16.35 WIB. Data hasil pengukuran kemudian dicatat dan digunakan untuk mengetahui karakteristik serta laju penurunan tegangan baterai selama menyuplai daya ke sistem.

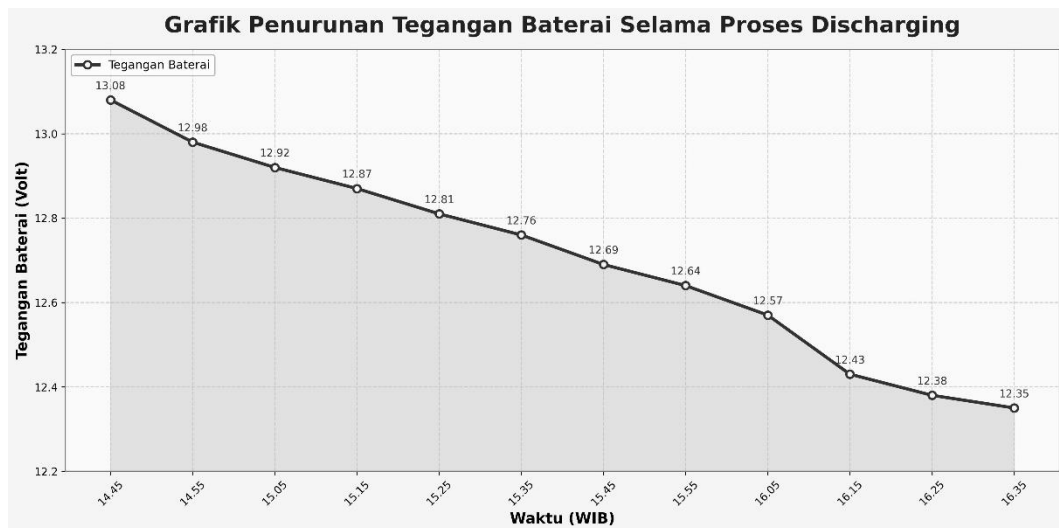
Tabel 4. 6 Pengujian *Discharging*

No	Waktu	Tegangan Baterai (V)
1.	14.45	13,09
2.	14.55	13,05
3.	15.05	12,96
4.	15.15	12,9
5.	15.25	12,88
6.	15.35	12,8
7.	15.45	12,77
8.	15.55	12,7
9.	16.05	12,65
10.	16.15	12,55
11.	16.25	12,42
12.	16.35	12,38

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel, tegangan baterai mengalami penurunan secara bertahap selama proses discharging. Pada awal pengujian pukul 14.45, tegangan baterai sebesar 13,08 V. Selanjutnya tegangan menurun menjadi 12,98 V pada pukul 15.05, 12,81 V pada pukul 15.35, hingga mencapai 12,38 V pada pukul 16.35. Secara keseluruhan, terjadi penurunan tegangan sebesar 0,70 V selama proses pengujian. Penurunan tegangan tersebut menunjukkan bahwa energi yang tersimpan di dalam baterai digunakan secara kontinu untuk menyuplai

kebutuhan energi pada sistem penggerak motor BLDC untuk sistem penggiling padi. Pada tahap awal discharging, penurunan tegangan relatif bertahap karena baterai masih memiliki energi yang cukup. Seiring bertambahnya waktu penggunaan, tegangan baterai terus menurun hingga mencapai 12,38 V pada akhir pengujian.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa baterai masih mampu mempertahankan tegangan di atas 12 V selama proses discharging. Hal ini menunjukkan bahwa baterai masih dapat digunakan sebagai sumber energi pada sistem PLTS selama berada dalam batas tegangan operasi yang ditentukan. Data perubahan tegangan selama proses discharging selanjutnya dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan batas tegangan minimum baterai dan mengevaluasi kemampuan baterai dalam menyuplai energi ke sistem motor BLDC pada penggiling padi.



Gambar 4. 11 Grafik Pengujian *Discharging*

Berdasarkan gambar dari grafik hasil pengujian discharging, terlihat bahwa tegangan baterai mengalami penurunan secara bertahap selama proses pelepasan energi. Pada awal pengujian pukul 14.45, tegangan baterai sebesar 13,08 V. Selanjutnya tegangan menurun menjadi 12,98 V pada pukul 15.05, 12,81 V pada pukul 15.25, hingga mencapai 12,35 V pada pukul 16.35. Secara keseluruhan, terjadi penurunan tegangan sebesar 0,73 V selama proses pengujian. Pada tahap awal, penurunan tegangan berlangsung relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa baterai masih mampu mempertahankan tegangan terminalnya selama proses pelepasan energi. Seiring bertambahnya waktu, tegangan baterai terus mengalami

penurunan secara bertahap. Penurunan yang lebih terlihat terjadi menjelang akhir pengujian, terutama dari 12,57 V pada pukul 16.05 menjadi 12,43 V pada pukul 16.25, kemudian turun menjadi 12,35 V pada pukul 16.35.

Perubahan dari tegangan tersebut merupakan karakteristik yang umum terjadi pada baterai selama proses discharging. Ketika energi yang tersimpan dalam baterai semakin berkurang, tegangan terminal baterai juga cenderung mengalami penurunan. Besarnya perubahan tegangan dapat dipengaruhi oleh kondisi awal baterai, tingkat pengisian (State of Charge/SoC), karakteristik baterai, serta kondisi selama proses pengujian. Berdasarkan dari hasil pengujian, tegangan baterai masih berada di atas 12 V hingga akhir pengujian. Berikut ini, baterai menunjukkan kemampuan mempertahankan tegangan selama periode discharging. Hasil pengujian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk mengetahui karakteristik penurunan tegangan dan kemampuan baterai dalam mempertahankan tegangan selama pelepasan energi. Secara keseluruhan, tegangan baterai mengalami penurunan dari 13,08 V menjadi 12,35 V, atau sebesar 0,73 V selama pengujian. Pola penurunan yang berlangsung secara bertahap menunjukkan bahwa proses pelepasan energi berlangsung secara normal selama periode pengamatan.

Pengujian menunjukkan bahwa baterai masih mampu mempertahankan tegangan di atas 12 V selama periode pengujian, sehingga baterai masih dapat digunakan sebagai sumber penyimpanan energi pada sistem PLTS. Penurunan tegangan yang berlangsung secara bertahap menunjukkan bahwa proses pelepasan energi dari baterai berlangsung secara normal selama pengujian. Data hasil discharging ini selanjutnya dapat digunakan sebagai acuan untuk mengetahui karakteristik baterai dan menentukan batas tegangan minimum sebelum baterai digunakan kembali pada sistem PLTS untuk menyuplai kebutuhan energi motor BLDC pada mesin penggiling padi. Dengan adanya batas tegangan tersebut, pengoperasian baterai dapat dikendalikan sehingga dapat mengurangi risiko overdischarge dan menjaga kondisi baterai tetap dalam batas operasi yang sesuai.

4.1.6 Pengujian Motor BLDC

Pengujian parsial motor BLDC dilakukan untuk mengetahui karakteristik kerja motor pada beberapa kondisi kecepatan putar. Parameter yang diamati meliputi tegangan, arus, daya, RPM, dan torsi. Pengukuran dilakukan untuk

mengetahui hubungan antara konsumsi daya listrik dengan kecepatan putar motor serta mengetahui kemampuan motor dalam menghasilkan torsi. Hasil pengujian parsial motor BLDC berdasarkan data pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.7 berikut.

Berdasarkan dari hasil pengujian parsial motor BLDC, terlihat bahwa peningkatan kecepatan putar motor diikuti oleh peningkatan konsumsi daya listrik. Pada pengujian pertama, motor berputar pada 120 RPM dengan tegangan 21,5 V dan arus 2,53 A, sehingga daya yang digunakan sebesar 52,5 W. Ketika kecepatan meningkat hingga 270 RPM, tegangan menjadi 22,4 V dan arus meningkat menjadi 2,93 A, dengan daya sebesar 66,5 W.

Tabel 4. 7 Tabel hasil pengujian motor BLDC

No	RPM	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Torsi (N·m)
1	120	21,5	2,53	52,5	4,18
2	150	21,8	2,58	56,8	3,62
3	180	21,9	2,77	61,7	3,27
4	210	22,1	2,81	63	2,87
5	240	22,3	2,89	64,5	2,57
6	270	22,4	2,93	66,5	2,35

Peningkatan arus dari 2,53 A menjadi 2,93 A menunjukkan bahwa kebutuhan energi listrik motor meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan putar. Tegangan motor juga mengalami perubahan relatif kecil, yaitu berada pada rentang 21,5–22,4 V, sehingga perubahan daya lebih banyak dipengaruhi oleh peningkatan arus.

Menurut dari perhitungan daya dan torsi, nilai torsi berada pada rentang 2,35–4,18 N·m. Torsi terbesar diperoleh pada 120 RPM sebesar 4,18 N·m, sedangkan pada kecepatan 270 RPM diperoleh torsi sebesar 2,35 N·m. Penurunan torsi seiring meningkatnya RPM menunjukkan karakteristik hubungan antara kecepatan putar dan torsi pada kondisi pengujian tersebut. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa motor BLDC mampu beroperasi pada rentang 120–270 RPM dengan daya sebesar 52,5–66,5 W. Data ini menunjukkan karakteristik dasar motor sebelum digunakan pada tahap pengujian sistem secara keseluruhan dan dapat menjadi acuan dalam menentukan kondisi operasi motor yang sesuai dengan kebutuhan penelitian.

4.2 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem penggilingan padi berbasis motor BLDC dengan pengendali PID pada berbagai variasi beban. Parameter yang diamati selama proses pengujian meliputi tegangan (V), arus (A), daya (W), dan kecepatan putaran motor (RPM). Seluruh parameter tersebut dimonitor secara real-time menggunakan sensor PZEM-017 dan sensor RPM yang terintegrasi dengan ESP32.

Pengujian menggunakan variasi beban gabah, untuk melakukan variasi beban berikut saya menggunakan parameter cup dengan berat per cup nya adalah 220 gr. Pengujian tersebut saya menggunakan variasi dari 1 cup hingga 7 cup. Pada setiap variasi beban, proses penggilingan diulang sebanyak lima kali. Pengulangan ini bertujuan agar gabah mengalami proses penggilingan secara berulang sehingga menghasilkan beras dengan tingkat kebersihan yang lebih baik, yaitu meminimalkan sisa kulit ari atau gabah yang belum terkupas sempurna. Selama setiap proses pengulangan berlangsung, sistem secara bersamaan melakukan monitoring terhadap arus, tegangan, daya, dan kecepatan putaran motor (RPM).

Data hasil monitoring pada setiap pengulangan kemudian dicatat dan diolah untuk memperoleh nilai rata-rata dan arus puncak dari masing-masing parameter. Hasil tersebut digunakan untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah gabah terhadap kebutuhan daya listrik, perubahan arus dan tegangan, serta kestabilan putaran motor BLDC selama proses penggilingan berlangsung.

4.3 Pengujian Menggunakan Metode PID

Pada tugas akhir ini penulis menggunakan metode PID sebagai metode yang mengendalikan sistem yang dibuat. metode kendali PID pada motor listrik untuk memperoleh kestabilan putaran motor yang optimal dalam menghadapi perubahan beban saat proses penggilingan berlangsung. Hasil pengujian PID pada tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa cara berdasarkan toolbox MATLAB.

4.3.1 Data dan Analisis Hasil Pengujian

Setelah dilakukan pengujian sistem tanpa pengendali, pengujian selanjutnya dilakukan menggunakan kontrol PID. Prosedur pengujian menggunakan variasi

beban 1 hingga 7 cup dengan lima kali pengulangan pada setiap variasi beban, Dimana beban per cup nya adalah 220 gr. Selama proses penggilingan, sistem melakukan logger terhadap parameter tegangan, arus, daya, energi, dan kecepatan putaran motor untuk mengetahui pengaruh penerapan kontrol PID terhadap kinerja sistem. Berdasarkan hasil pengujian motor BLDC pada masing-masing kondisi cup, dilakukan rekapitulasi untuk memperoleh nilai rata-rata dari parameter kelistrikan dan mekanik yang diamati. Parameter yang ditampilkan meliputi tegangan, RPM, arus rata-rata, arus puncak, daya, dan energi. Rekapitulasi ini digunakan untuk melihat karakteristik kerja motor pada setiap variasi pengujian serta mempermudah perbandingan hasil antar-cup. Hasil perhitungan rata-rata dari setiap parameter pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4. 8 Table Sampel hasil pengujian menggunakan metode

Cup	Tegangan (V)	RPM	Arus Rata-rata (A)	Arus Puncak (A)	Daya (W)	Energy (Wh)
Cup 1	23,65	285	4,95	5,22	117,12	1,4
Cup 2	23,65	284,25	4,96	5,22	117,24	1,4
Cup 3	23,65	285	4,96	5,22	117,25	1,4
Cup 4	23,65	285	4,96	5,22	117,24	1,4
Cup 5	23,65	285	4,96	5,22	117,24	1,4
Cup 6	23,65	285	4,96	5,22	117,24	1,4
Cup 7	23,65	285	4,96	5,22	117,24	1,4

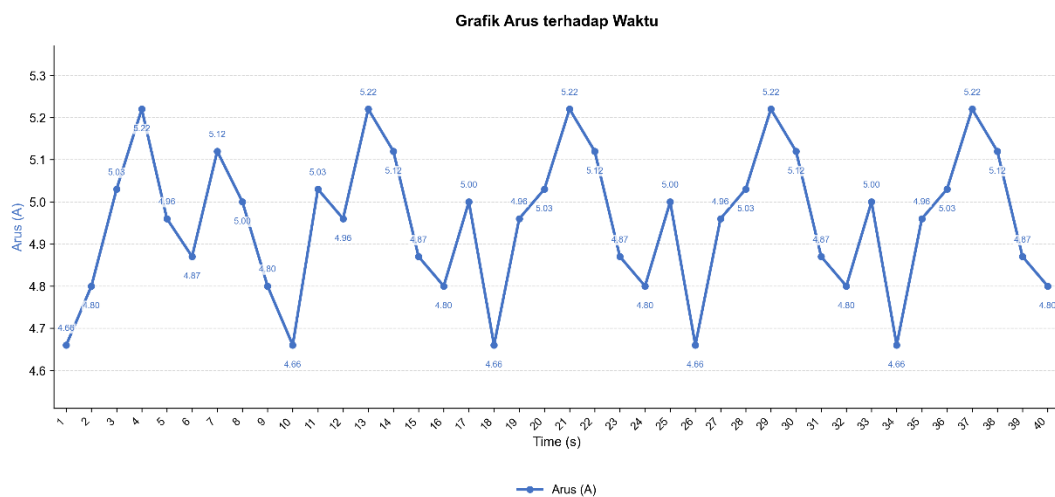
Pada Pengujian Cup 1, sistem menunjukkan performa *startup* dan karakteristik kelistrikan yang sangat stabil. Fase awal operasi ini memperlihatkan regulasi tegangan yang sangat baik, di mana suplai daya tertahan kokoh pada interval sempit antara 23,6 V hingga 23,7 V. Hal ini mengindikasikan bahwa regulator tegangan pada catu daya mampu meredam penurunan tegangan (*voltage drop*) dengan optimal saat diberi beban. Seiring dengan fluktuasi putaran motor dari 240 hingga 330 RPM, penarikan arus bervariasi secara proporsional dari 4,66 A hingga titik puncak 5,22 A, yang menghasilkan rentang konsumsi daya antara 109,9 Watt hingga 123,7 Watt. Akumulasi energi juga tercatat meningkat secara linier dan konstan sebesar 0,2 Wh hingga mencapai 1,4 Wh pada akhir pembacaan. Secara

keseluruhan, purwarupa ini mengawali operasi dalam kondisi prima tanpa membebani rangkaian kelistrikan secara berlebihan. Dapat dilihat dari Tabel 4.9

Tabel 4. 9 Tabel Hasil Pengujian Cup 1

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energy (Wh)	RPM	Torsi (N·m)
1	23,6	4,66	109,976	0	270	3.89
2	23,7	4,8	113,76	0	300	3.621
3	23,6	5,03	118,708	0	240	4.724
4	23,7	5,22	123,714	0	330	3.58
5	23,6	4,96	117,056	0	270	4.14
6	23,7	4,87	115,419	0,2	300	3.674
7	23,6	5,12	120,832	0,2	240	4.808
8	23,7	5	118,5	0,2	330	3.429
9	23,6	4,8	113,28	0,2	270	4.007
10	23,7	4,66	110,442	0,2	300	3.516
11	23,6	5,03	118,708	0,4	330	3.435
12	23,7	4,96	117,552	0,4	240	4.678
13	23,6	5,22	123,192	0,4	270	4.357
14	23,7	5,12	121,344	0,4	300	3.863
15	23,6	4,87	114,932	0,4	240	4.573
16	23,7	4,8	113,76	0,6	330	3.292
17	23,6	5	118	0,6	270	4.174
18	23,7	4,66	110,442	0,6	300	3.516
19	23,6	4,96	117,056	0,6	330	3.388
20	23,7	5,03	119,211	0,6	240	4.744
21	23,6	5,22	123,192	0,8	270	4.357
22	23,7	5,12	121,344	0,8	300	3.863
23	23,6	4,87	114,932	0,8	330	3.326
24	23,7	4,8	113,76	0,8	240	4.527
25	23,6	5	118	0,8	270	4.174
26	23,7	4,66	110,442	1	300	3.516
27	23,6	4,96	117,056	1	330	3.388
28	23,7	5,03	119,211	1	240	4.744
29	23,6	5,22	123,192	1	270	4.357
30	23,7	5,12	121,344	1	300	3.863
31	23,6	4,87	114,932	1,2	330	3.326

Terdapat Juga Grafik Arus Terhadap Waktu, Grafik pergerakan arus terhadap waktu memberikan visualisasi yang jelas mengenai profil konsumsi daya kelistrikan sistem sepanjang 40 sampel pengujian. Secara teknis, kurva penarikan arus ini tidaklah statis, melainkan terbagi ke dalam tiga fase operasional mekanik yang berurutan: fase lonjakan awal (startup/inrush), fase stabilisasi (steady state), dan fase eskalasi beban seperti pada Gambar 4.12 berikut. (catatan Grafik cup 1-7 di jadikan 1)



Gambar 4. 12 Grafik Arus Terhadap Waktu

Berdasarkan grafik, nilai arus motor BLDC mengalami fluktuasi selama proses pengujian. Pada awal pengujian, arus berada pada sekitar 4,65 A, kemudian meningkat hingga mencapai sekitar 5,22 A pada pengujian ke-4. Setelah itu, nilai arus kembali mengalami penurunan dan peningkatan secara berulang pada beberapa titik pengujian.

Nilai arus terendah berada pada kisaran 4,65 A, sedangkan nilai tertinggi mencapai sekitar 5,22 A. Pola tersebut menunjukkan bahwa konsumsi arus motor relatif berfluktuasi, tetapi masih berada dalam rentang yang cukup sempit. Beberapa kenaikan arus dapat terjadi ketika motor membutuhkan daya listrik lebih besar untuk mempertahankan kondisi operasinya, sedangkan penurunan arus menunjukkan kebutuhan daya yang lebih rendah.

Secara keseluruhan, arus motor berada pada kisaran 4,65–5,22 A dan tidak menunjukkan perubahan yang ekstrem selama pengujian. Fluktuasi yang terjadi

masih berada dalam rentang operasi pengujian, sehingga dapat dikatakan bahwa kebutuhan arus motor relatif stabil. Data ini selanjutnya dapat digunakan untuk menganalisis hubungan antara arus, daya, RPM, dan torsi pada karakteristik kerja motor BLDC. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa arus motor BLDC tidak konstan selama proses pengujian, tetapi mengalami perubahan sesuai kondisi operasi. Data ini dapat digunakan untuk mengevaluasi konsumsi listrik motor dan melihat hubungan antara arus, daya, serta kecepatan putar (RPM) pada pengujian motor BLDC.

4.4 Pengujian Tanpa Metode

Melakukan pengujian terhadap sistem tanpa menerapkan metode kendali PID. Pengujian bertujuan untuk memperoleh karakteristik dasar sistem sebelum diberikan pengendali. Selama proses penggilingan berlangsung dilakukan monitoring terhadap parameter tegangan, arus, daya, energi, dan kecepatan putaran motor (RPM). Hasil pengujian ini selanjutnya digunakan sebagai data pembandingan untuk mengevaluasi peningkatan performa sistem setelah penerapan metode kendali PID.

4.4.1 Data dan Analisis Hasil Pengujian

Pada tahap ini dilakukan pengujian sistem tanpa menggunakan metode kendali PID. Pengujian dilakukan menggunakan variasi beban 1 hingga 7 cup dengan lima kali pengulangan pada setiap variasi beban. Selama proses penggilingan berlangsung, sistem melakukan data logging terhadap parameter tegangan, arus, daya, energi, dan kecepatan putaran motor (RPM). Hasil pengujian ini digunakan untuk mengetahui karakteristik kinerja sistem tanpa pengendali dan sebagai data pembandingan terhadap sistem yang menggunakan metode PID.

Berdasarkan hasil pengujian motor BLDC pada variasi beban gabah, dilakukan rekapitulasi terhadap parameter utama yang diperoleh selama proses pengujian. Variasi beban diberikan berdasarkan jumlah cup, mulai dari 1 cup hingga 7 cup, untuk mengetahui pengaruh penambahan beban terhadap kondisi operasi motor. Parameter yang diamati meliputi tegangan, RPM, arus rata-rata, arus puncak, daya, dan energi. Nilai pada tabel merupakan hasil rekapitulasi pengukuran yang

digunakan untuk melihat perubahan kebutuhan energi listrik dan karakteristik putaran motor pada setiap variasi beban. Seperti pada Tabel 4.10 berikut.

Tabel 4. 10 Table Sampel hasil pengujian tanpa menggunakan metode

Cup	Tegangan (V)	RPM	Arus Rata-rata (A)	Arus Puncak (A)	Daya (W)	Energy (Wh)
Cup 1	23,53	496,08	8,96	9,68	210,3	2,2
Cup 2	23,79	494,53	8,38	8,84	199,22	2,2
Cup 3	23,78	499,48	8,52	8,8	202,5	1,6
Cup 4	20,15	493,43	10,16	11,66	193	2
Cup 5	18,88	496,18	10,29	12,51	180,23	2
Cup 6	21,5	484,15	9,15	9,56	188,21	2,4
Cup 7	21,46	485,75	9,24	10,4	189,82	2

Terdapat juga Tabel pengujian dari Cup 1 yang disertakan dengan pengujian atau nilai torsi yang di dapatkan dari hasil perhitungan di setiap pengujian nya. Pada Pengujian Cup 1, sistem menunjukkan performa startup dan karakteristik kelistrikan yang dapat terukur dengan jelas. Fase awal operasi ini memperlihatkan dinamika regulasi tegangan di mana suplai daya berfluktuasi pada interval antara 22,28 V hingga 23,79 V. Hal ini mengindikasikan bahwa regulator tegangan pada catu daya bekerja ekstra untuk meredam penurunan tegangan (voltage drop) saat diberi beban inersia awal. Seiring dengan tren putaran motor yang perlahan menurun dari 508 RPM hingga titik terendah 482 RPM, penarikan arus bervariasi secara proporsional dari 8,53 A hingga mencapai titik puncak inrush sebesar 9,67 A, yang menghasilkan rentang konsumsi daya antara 202,78 Watt hingga puncak awal 219,58 Watt. Variasi beban mekanik ini juga terefleksikan pada nilai torsi motor yang berfluktuasi di rentang 3,94 Nm hingga 4,13 Nm. Akumulasi energi juga tercatat meningkat secara linier dan konstan secara bertahap hingga mencapai 2,2 Wh pada akhir pembacaan. Secara keseluruhan, purwarupa ini mengawali operasi dengan sanggup menangani beban inersia awal yang cukup berat dan menjaga keberlangsungan putaran tanpa menyebabkan kegagalan sistem kelistrikan. Dapat dilihat dari Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Tabel Hasil Pengujian Cup 1

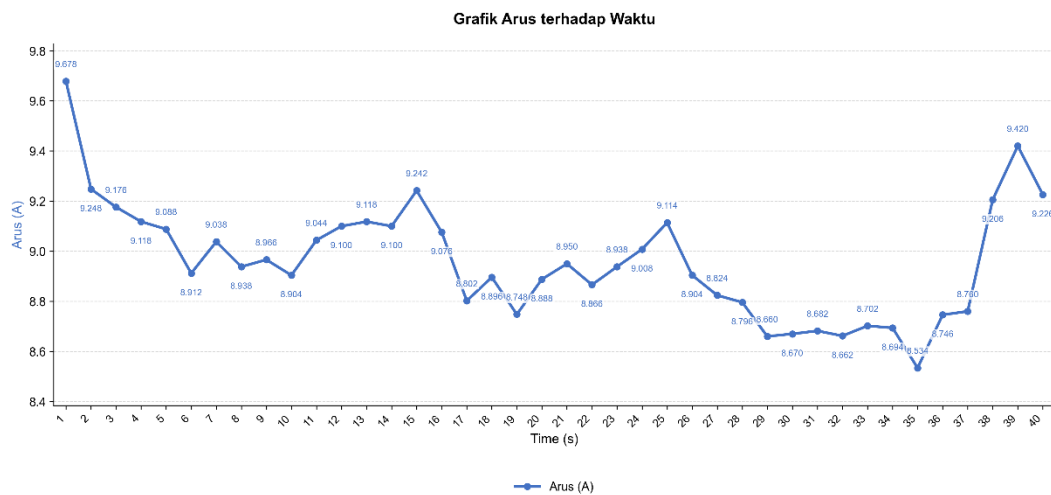
No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energy (Wh)	RPM	Torsi (Nm)
1	22,856	9,678	219,58	0	508	4,128
2	23,09	9,248	212,44	0,2	505	4,017
3	23,286	9,176	213,06	0,2	506	4,021
4	23,216	9,118	210,8	0,2	504	3,995
5	23,428	9,088	212,44	0,2	505	4,017
6	23,532	8,912	209,38	0,2	507	3,943
7	23,554	9,038	212,64	0,2	508	3,997
8	23,584	8,938	210,6	0,4	505	3,982
9	23,596	8,966	211,4	0,6	506	3,991
10	23,688	8,904	210,78	0,6	504	3,994
11	23,686	9,044	214,16	0,6	508	4,026
12	23,546	9,1	214,06	0,6	507	4,032
13	23,69	9,118	215,96	0,8	505	4,084
14	23,708	9,1	215,66	0,8	506	4,07
15	23,432	9,242	216,22	1	504	4,097
16	23,736	9,076	215,38	1	505	4,073
17	23,774	8,802	209,2	1	502	3,979
18	23,748	8,896	211,2	1	500	4,034
19	23,768	8,748	207,86	1,2	498	3,986
20	23,76	8,888	211,12	1,2	495	4,073
21	23,762	8,95	212,62	1,2	494	4,11
22	23,766	8,866	210,64	1,2	492	4,089
23	23,756	8,938	212,28	1,2	495	4,095
24	23,654	9,008	212,92	1,2	493	4,124
25	23,336	9,114	212,02	1,6	490	4,132
26	23,594	8,904	209,94	1,6	488	4,108
27	23,764	8,824	209,62	1,6	491	4,077
28	23,756	8,796	208,9	1,6	489	4,08
29	23,774	8,66	205,82	1,6	485	4,053
30	23,774	8,67	206,06	1,8	486	4,049
31	23,778	8,682	206,4	1,8	488	4,039

Pengujian arus dilakukan untuk mengetahui perubahan konsumsi arus motor BLDC selama proses pengoperasian. Arus diukur secara berkala pada setiap titik pengujian dan hasil pengukuran kemudian disajikan dalam bentuk grafik hubungan

antara nomor pengujian dan arus motor (A). Berdasarkan Gambar, terlihat bahwa nilai arus motor BLDC mengalami perubahan selama proses pengujian. Pada awal pengujian, arus tercatat sebesar 9,68 A, kemudian mengalami penurunan secara bertahap hingga berada pada kisaran 8,9 A. Nilai arus sempat meningkat kembali pada beberapa titik pengujian, dengan nilai sekitar 9,24 A pada pengujian ke-15.

Memasuki pertengahan pengujian, arus cenderung berada pada kisaran 8,7–9,1 A. Nilai arus terendah terjadi pada pengujian ke-35, yaitu sebesar 8,53 A. Setelah titik tersebut, arus kembali mengalami peningkatan hingga mencapai 9,42 A pada pengujian ke-39, kemudian sedikit menurun menjadi 9,23 A pada pengujian ke-40. Secara keseluruhan, arus motor selama pengujian berada pada rentang 8,53–9,68 A, dengan nilai rata-rata sekitar 8,96 A.

Grafik hasil pengukuran arus motor BLDC ditunjukkan pada Gambar 4.13 berikut.



Gambar 4. 13 Grafik Arus Terhadap Waktu

Fluktuasi arus yang terjadi menunjukkan adanya perubahan kondisi operasi motor selama pengujian. Perubahan tersebut dapat dipengaruhi oleh kondisi kerja motor, perubahan kecepatan putar, serta perubahan kebutuhan daya selama motor beroperasi.

Dari grafik juga terlihat bahwa arus tidak mengalami peningkatan secara terus-menerus, melainkan berfluktuasi di sekitar nilai rata-ratanya. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa konsumsi arus motor relatif berada pada kisaran yang sama selama pengujian. Pada akhir pengujian, arus sebesar 9,23 A masih berada dalam

rentang pengukuran yang diperoleh sebelumnya, sehingga tidak terlihat adanya kenaikan arus yang ekstrem atau tidak normal selama proses pengujian.

4.5 Perbandingan Sistem Kerja Tanpa Metode PID dan Menggunakan PID

Setelah dilakukan pengujian sistem tanpa menggunakan metode PID dan sistem menggunakan metode PID, selanjutnya dilakukan analisis perbandingan terhadap kedua sistem. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penerapan metode PID terhadap kinerja motor BLDC pada mesin penggiling padi. Parameter yang dibandingkan meliputi tegangan, kecepatan putaran motor (RPM), arus rata-rata, arus puncak, daya, dan energi listrik yang digunakan selama proses pengujian.

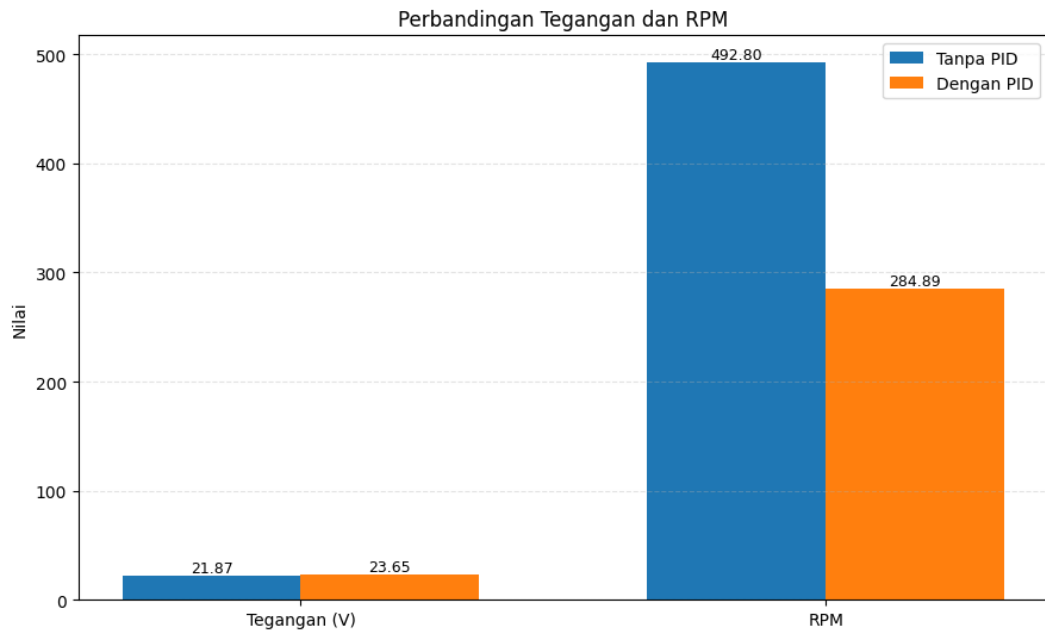
Pengujian dilakukan dengan variasi beban sebanyak 1 hingga 7 cup. Berdasarkan data hasil pengujian, masing-masing parameter dihitung nilai rata-ratanya untuk memperoleh gambaran umum karakteristik sistem tanpa metode PID dan sistem dengan metode PID. Hasil perbandingan nilai rata-rata kedua sistem ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Tabel Perbandingan

Parameter	Tegangan Rata-Rata (v)	Arus Rata-Rata (A)	Arus Puncak (A)	Daya Rata-Rata (W)	Energy Rata-Rata (Wh)	RPM Rata-Rata
Tanpa PID	21,87	9,24	10,21	194,75	2,06	492,8
Dengan PID	23,65	4,96	5,22	117,22	1,4	284,89

Berdasarkan Tabel 4.12, terlihat adanya perbedaan karakteristik antara sistem tanpa metode PID dan sistem menggunakan metode PID. Pada sistem tanpa PID, tegangan rata-rata yang diperoleh sebesar 21,87 V, sedangkan pada sistem dengan PID sebesar 23,65 V. Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem dengan PID memiliki tegangan operasi yang lebih tinggi dan lebih stabil selama pengujian.

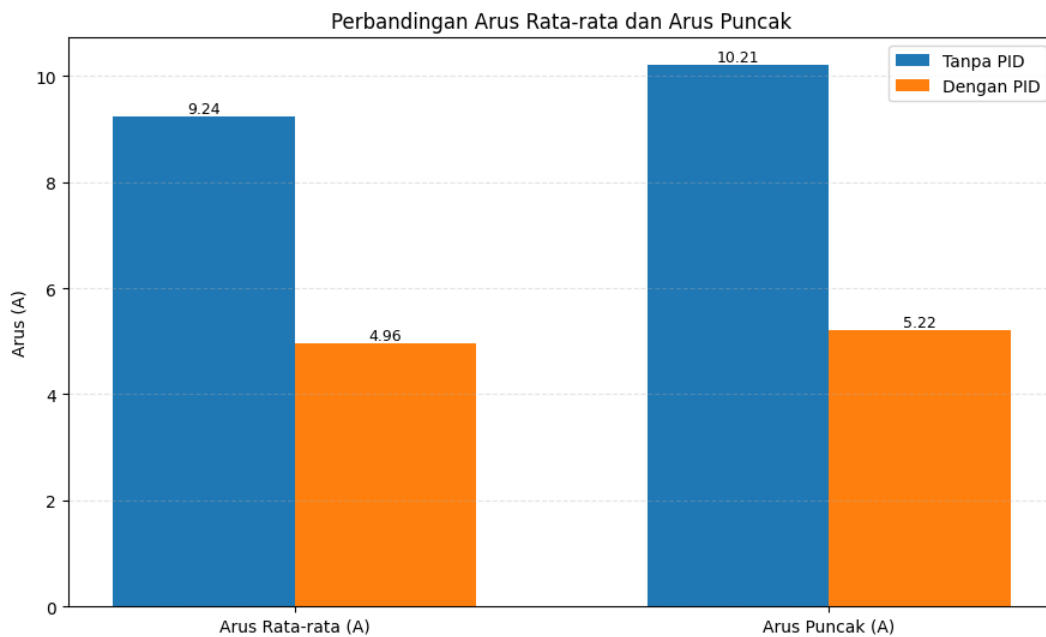
Kondisi tegangan yang lebih stabil dapat mendukung kerja motor agar tetap berada pada kondisi operasi yang diharapkan.



Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Tegangan Rata – rata

Gambar 4.14 menunjukkan perbandingan nilai rata-rata tegangan dan RPM antara sistem tanpa PID dan sistem menggunakan PID. Berdasarkan hasil pengujian, sistem tanpa PID menghasilkan rata-rata putaran sebesar 492,80 RPM, sedangkan sistem dengan PID menghasilkan rata-rata putaran sebesar 284,89 RPM

Perbedaan nilai RPM tersebut perlu dipahami berdasarkan tujuan pengendalian. Sistem tanpa PID bekerja tanpa pengendalian umpan balik sehingga kecepatan motor dipengaruhi langsung oleh kondisi operasi dan beban. Sementara itu, sistem dengan PID mengatur kecepatan motor berdasarkan nilai setpoint yang telah ditentukan. Oleh karena itu, nilai RPM yang lebih rendah pada sistem dengan PID tidak secara langsung menunjukkan penurunan kinerja, tetapi menunjukkan bahwa motor dikendalikan agar beroperasi mendekati kecepatan target. Pada pengujian sebelumnya, sistem PID memang dirancang untuk mengikuti setpoint kecepatan motor. Selanjutnya, perbandingan arus dilakukan untuk mengetahui perubahan kebutuhan arus listrik motor pada kedua sistem. Yang terdapat pada Gambar 4.15 dibawah ini.

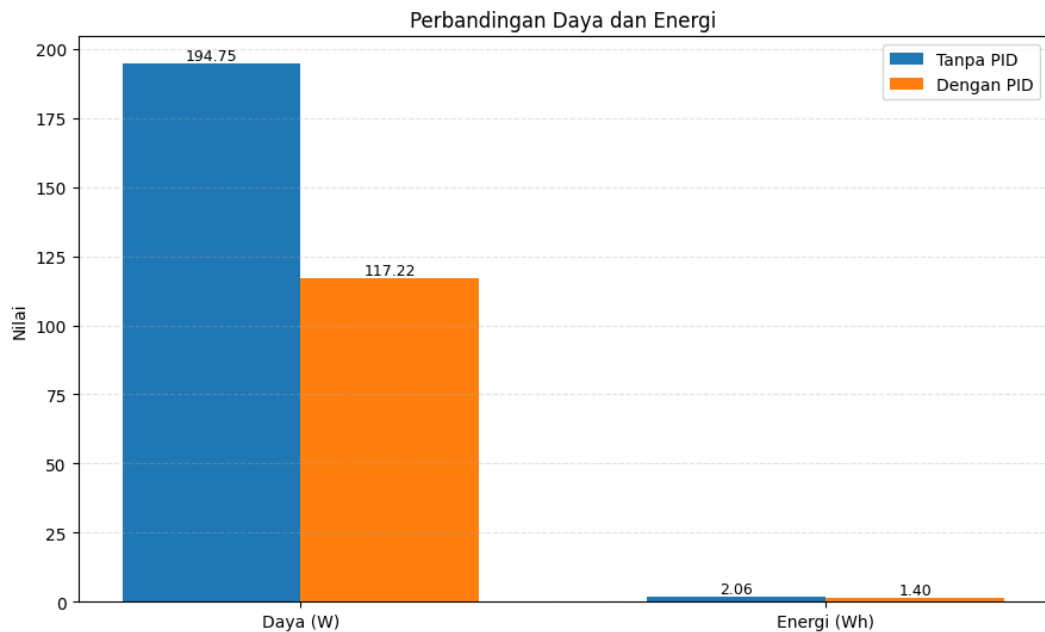


Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan Arus rata-rata dan Arus puncak

Berdasarkan Gambar 4.15, sistem tanpa PID memiliki arus rata-rata sebesar 9,24 A, sedangkan sistem dengan PID hanya sebesar 4,96 A. Sementara itu, arus puncak pada sistem tanpa PID mencapai 10,21 A, sedangkan pada sistem dengan PID sebesar 5,22 A.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan metode PID mampu mengurangi kebutuhan arus motor selama proses pengujian. Arus rata-rata mengalami penurunan sebesar sekitar 46,3%, sedangkan arus puncak mengalami penurunan sekitar 48,8% dibandingkan sistem tanpa PID. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa sistem dengan PID mampu mengendalikan kerja motor sehingga kebutuhan arus menjadi lebih rendah dan lonjakan arus dapat ditekan. Hasil ini sejalan dengan data pada pengujian sistem dalam penelitian yang menunjukkan bahwa penggunaan PID menghasilkan kebutuhan arus yang lebih rendah. Selanjutnya dilakukan perbandingan terhadap daya dan energi listrik untuk

mengetahui pengaruh penggunaan metode PID terhadap konsumsi energi sistem. Yang terdapat pada Gambar 4.16 dibawah ini.



Gambar 4. 16 Grafik Perbandingan Daya dan Energi

Berdasarkan Gambar 4.16, daya rata-rata yang digunakan oleh sistem tanpa PID sebesar 194,75 W, sedangkan sistem dengan PID sebesar 117,22 W. Dengan demikian, terjadi penurunan konsumsi daya sebesar sekitar 39,8% setelah diterapkannya metode PID. Pada parameter energi, sistem tanpa PID memiliki konsumsi energi rata-rata sebesar 2,06 Wh, sedangkan sistem dengan PID sebesar 1,40 Wh. Hal tersebut menunjukkan adanya penurunan konsumsi energi sekitar 31,9%. Penurunan daya dan energi ini menunjukkan bahwa penerapan metode PID dapat membantu mengoptimalkan penggunaan energi listrik pada motor selama proses penggilingan.

Secara keseluruhan, hasil perbandingan menunjukkan bahwa penerapan metode PID memberikan pengaruh terhadap karakteristik operasi motor. Sistem dengan PID menghasilkan tegangan rata-rata yang lebih tinggi serta arus, daya, dan energi yang lebih rendah dibandingkan sistem tanpa PID. Sementara itu, nilai RPM pada sistem dengan PID lebih rendah karena kecepatan motor dikendalikan berdasarkan setpoint yang telah ditentukan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN

Pada bab ini dipaparkan mengenai kesimpulan akhir serta saran-saran akademis yang dihasilkan dari seluruh rangkaian penelitian tentang Rancang Bangun Sistem Penggiling Padi Menggunakan Motor Listrik Dengan Kontrol PID dan Tenaga Surya. Bagian kesimpulan ini dirancang guna menjawab dari rumusan masalah, dan berikutnya disertakan juga saran untuk bahan pengembangan dan penyempurnaan arsitektur kendali system kelistrikan serupa kedepannya.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari seluruh rangkaian tahapan penelitian mulai dari proses perancangan rancang bangun, perencanaan kendali PID, hingga pelaksanaan pengujian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem penggerak mesin penggiling padi berhasil dirancang menggunakan motor BLDC sebagai pengganti penggerak diesel. Sistem terdiri dari sumber PLTS, baterai, solar charge controller (SCC), motor BLDC, driver motor, ESP32, serta sensor monitoring. Pengujian parsial motor menunjukkan bahwa motor dapat beroperasi pada beberapa tingkat kecepatan dengan parameter tegangan, arus, daya, RPM, dan torsi yang dapat diamati. Pada pengujian parsial yang tercantum dalam penelitian, kecepatan motor berada pada rentang 120–270 RPM, dengan daya meningkat dari 52,5 W hingga 66,5 W, sedangkan torsi menurun dari 4,18 Nm menjadi 2,35 Nm seiring peningkatan RPM.
2. Energi surya dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi utama untuk mendukung sistem penggiling padi. Hasil pengujian panel surya menunjukkan tegangan keluaran berubah mengikuti kondisi penyinaran matahari, dengan tegangan tertinggi sebesar 20,20 V pada pukul 13.00. Selanjutnya, proses charging melalui SCC menunjukkan tegangan baterai meningkat dari 12,48 V pada pukul 08.30 menjadi 13,93 V pada pukul 15.00, atau mengalami peningkatan sebesar 1,45 V. Hasil tersebut menunjukkan bahwa energi yang

dihasilkan panel surya dapat disalurkan melalui SCC dan disimpan pada baterai secara kontinu selama pengujian

3. Metode kontrol PID berhasil diterapkan sebagai metode pengendalian kecepatan motor BLDC. Penalaan menggunakan metode Ziegler-Nichols menghasilkan nilai $K_u = 15$ dan $P_u = 13,95$ s, sehingga diperoleh parameter $K_p = 9$, $K_i = 1,2903$, dan $K_d = 15,69375$. Selain itu, dilakukan penalaan menggunakan PID Tuner MATLAB yang menghasilkan $K_p = 0,14329$, $K_i = 6,4387$, dan $K_d = 0,00047049$. Hasil simulasi dengan setpoint 300 RPM menunjukkan bahwa kontrol PID hasil PID Tuner mampu menghasilkan respons yang mendekati setpoint dengan sedikit overshoot dan selanjutnya menuju kondisi stabil. Dengan demikian, pemodelan Transfer Function menggunakan data aktual dapat digunakan sebagai dasar dalam proses penalaan kontrol PID, sedangkan PID Tuner digunakan sebagai alternatif penalaan untuk memperoleh respons kecepatan motor yang lebih terkontrol dan sesuai dengan kebutuhan sistem penggiling padi
4. Sistem monitoring berbasis ESP32 dan sensor dapat digunakan untuk memantau kondisi kerja sistem secara real-time. Sensor PZEM-017 digunakan untuk memonitor tegangan, arus, daya, dan energi, sedangkan sensor proximity digunakan untuk membaca kecepatan putaran motor. Hasil pengujian PZEM-017 menunjukkan rata-rata error pengukuran tegangan sebesar 0,26% dan rata-rata error pengukuran arus sebesar 1,47%, sehingga sensor memiliki tingkat ketelitian yang baik untuk digunakan sebagai perangkat monitoring pada sistem. Sementara itu, pengujian sensor proximity menghasilkan rata-rata error sebesar 0,41% dengan error tertinggi 0,48%, sehingga mampu membaca RPM motor dengan cukup baik.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, serta analisis data yang telah dilakukan pada Rancang Bangun Sistem Penggilungan Padi ini, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan dan penyempurnaan penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Pengembangan berikutnya dapat menambahkan sistem proteksi otomatis, seperti proteksi arus lebih (overcurrent) dan tegangan rendah (undervoltage), sehingga keamanan sistem semakin meningkat.
2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode Tuning PID yang lain sebagai perbandingan yang lebih efisien.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, U. O., Patrick, A. A., & Kwembe, B. A. (2020). DC Motor Speed Control using Internal Model Controller Industrial Transformation Strategy. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(5), 300–306. <https://doi.org/10.35940/ijeat.e9319.069520>
- Albert. (2025). *Perancangan Modul Pembelajaran Sistem Kontrol Menggunakan PID Berdasarkan Sensor Suhu di Laboratorium FTI Universitas Dinamika KERJA PRAKTIK Program Studi SI Teknik Komputer Oleh :*
- Bramantyo, A. D., Ulum, M., Anas, A., Irawan, H., Mesin, J. T., Industri, F. T., Teknologi, I., & Tama, A. (2021). Analisis Proses Manufaktur Mesin Penggiling Padi Portable Berpenggerak Motor Listrik DC 0 . 5 HP Energi Surya. *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, I(1), 256–262. <https://ejournal.itats.ac.id/senastitan/article/view/1651>
- Cahya, A. A., & Puriyanto, R. D. (2023). The Design of Rice Milling and Screening Systems Uses the DC Motor PID Method. *Control Systems and Optimization Letters*, I(1), 1–6. <https://doi.org/10.59247/csolv1i1.2>
- Dhaniswara, E. (2025). *Android-Based Monitoring of 110 Volt DC System in Substations within PLN UIT JBM Region to Improve Maintenance Efficiency*. 7(2), 426–437. <https://doi.org/10.33650/jeeecom.v4i2>
- Fadilla, D. A., Matthew, D., & Alfarizi, R. (2024). *Design and Testing of Charging System and Discharge of Li-Ion and Lead-Acid Batteries With a Lead-Acid With Plts Source*. 15–21.
- Fitriani, D., Putra, E., Rahman, A., & Nasution, F. (2024). Implementasi Pengujian Karakteristik Miniature Circuit Breaker Berdasarkan SNI 60898-1:2009. *Seminar Nasional Penelitian Universitas Muhammadiyah Jakarta (Semnaslit UMJ)*, November 2024, 1–7.
- Gumilar, L. (2021). Penerapan Motor Listrik sebagai Penggerak pada Mesin Penggiling Padi. *TEKNO Jurnal Teknologi Elektro Dan Kejuruan*, 31(2), 130–136. <http://journal2.um.ac.id/index.php/tekno>

- Heryada, D., Rahmi, M., Komara, A. I., Ramdan, A., Pratiwi, W. P., Permana, S., & Yusuf, M. H. (2025). *Peningkatan Produktivitas Petani dengan Optimalisasi Sumber Tenaga Mesin Penggiling dan Penghancur Kulit Padi di Desa Lebak Muncang Pendahuluan*. 6(2), 746–754.
- Iot, S., Kecerdasan, D., Terintegrasi, B., Optimalisasi, U., Kandang, L., Closed, A., & Iot, I. (2025). *Jurnal Teknologika*. 15(1), 749–757.
- Jati, B. P., & Hapsari, J. P. (2025). Electronic Speed Control (ESC) PWM Fullbridge Motor DC Based on Arduino. *Protek : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 12(1), 36–42. <https://ejournal.unkhair.ac.id/index.php/protk/article/view/5374/pdf>
- Jawajwar, N., Tembhurkarb, S., Pawar, P., & Shahare, D. (2024). Implementation of origami application in a solar PV system: a review. *Recent Advances in Materials Manufacturing and Machine Learning*, 16(2), 631–638. <https://doi.org/10.1201/9781003450252-76>
- Kent, R. (2018). Renewables. *Plastics Engineering*, 74(9), 56–57. <https://doi.org/10.1002/peng.20026>
- Li, W., Zhang, Y., & Zhu, L. (2024). An Improved Rotor Position and Speed Estimation Method for PMSM with Hall Sensors. *Processes*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/pr12102267>
- Mesin, D. T., Vokasi, F., Surabaya, U. N., Mesin, P. T., Vokasi, F., & Surabaya, U. N. (2017). *ANALISIS PUTARAN PULLEY VAN BELT PADA TRANSMISI MESIN BOR TIPE LC-25A DENGAN MOTOR PENGGERAK ½ HP Rafianto Takbiral Fajar Firman Yasa Utama , Arya Mahendra Sakti , Andita Nataria Fitri Ganda Abstrak*. 1–7.
- Muhamad Hilmansyah Susanta. (2024). Pengukuran Tegangan Dan Arus Listrik Menggunakan Sensor Ina 219 Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Ilmiah Sain Dan Teknologi*, 3(1), 326–332. <https://jurnal.kolibi.org/index.php/scientica/article/view/3673/3540>
- Narendro, A., Wisnuadji, T. W., & Broto, S. (2024). Perbandingan Efisiensi Pengendali Baterai Panel Surya PWM vs MPPT. *Jurnal Ilmu Komputer Dan Science*, 3(12), 2978–2985.
- Primagani, A., Afnan, Z., Husna, F. R., & Firdausi, E. N. (n.d.). *KONTROL LEVEL KETINGGIAN AIR TANDON PENGUIN 1500 LITER MENGGUNAKAN*

MATLAB. 13(3), 229–237.

- Ramadhani, B., Sudana, P. M., & Laksmi, B. N. V. (2024). *Optimization of Photovoltaic Potential in On-Grid Solar Power Plants* (Vol. 2024, Issue Ijcse). Atlantis Press International BV. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-626-0_8
- Sari, I. P., Sulaiman, O. K., & Apdilah, D. (2025). Implementasi RFID Dalam Perancangan Sistem Absensi Karyawan. *Jurnal Minfo Polgan*, 14(1), 107–112. <https://doi.org/10.33395/jmp.v14i1.14646>

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1.Datasheet PV



Monocrystalline Solar Module

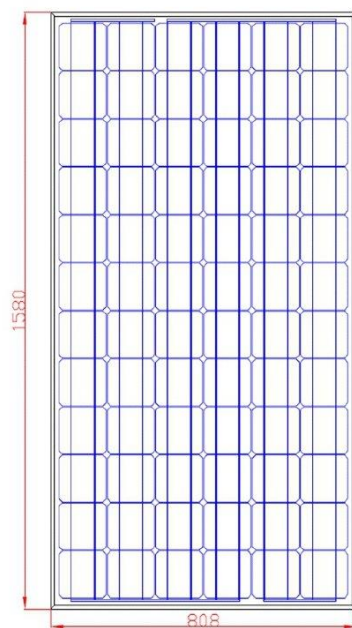
SOL-M24200W

Typical Electrical Characteristics

Max. Power (Pmax)	200Wp
Optimum Operating Voltage (Vm)	35.9V
Optimum Operating Current (Im)	5.57A
Open-circuit Voltage (Voc)	43.7V
Short-circuit Current (Isc)	5.91A
Module efficiency	15.3%



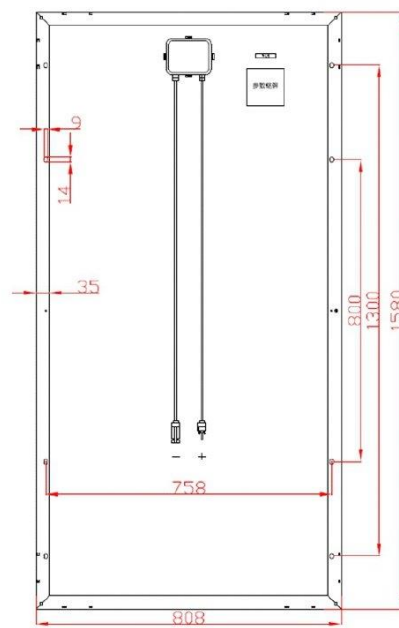
Note: the specifications are obtained under the Standard Test Condition (STC): 1,000W/m², Am 1.5, Cell Temperature 25°C



Front view



Side view



Back view

Lampiran 2. Datasheet Baterai

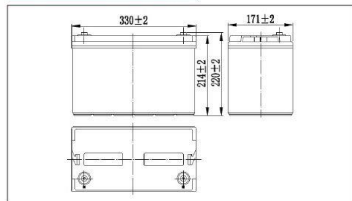
VMP

VPD12-100 12V100Ah

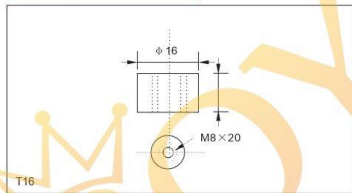
● Specification

Nominal Voltage		12V
Rated capacity (10 hour rate)		100Ah
Dimensions	Length	330mm
	Width	171mm
	Height	214mm
	Total Height	220mm
Approx. Weight		30.50kg

● Outer dimension (mm)



● Terminal Type (mm)



● Construction

Component	Positive plate	Negative plate	Container	Cover	Separator	Electrolyte	Safety valve	Terminal
Raw material	Lead dioxide	Lead	ABS	ABS	AGM	Sulfuric acid	Rubber	Copper

● Constant Current Discharge Characteristic Unit:A(25℃)

F.V/Time	10min	15min	30min	60min	2h	3h	4h	5h	8h	10h	20h
9.60V	222	171	103	63.0	37.3	26.8	21.4	18.3	12.6	10.4	5.50
9.90V	216	167	100	62.1	37.1	26.7	21.3	18.2	12.5	10.4	5.49
10.2V	207	161	97.4	60.5	36.7	26.5	21.2	18.1	12.4	10.3	5.48
10.5V	198	156	95.0	58.6	36.2	26.3	21.0	18.0	12.3	10.3	5.44
10.8V	187	147	91.5	56.7	35.3	25.5	20.4	17.4	12.0	10.2	5.41

● Constant Power Discharge Characteristic Unit:W(25℃)

F.V/Time	10min	15min	30min	60min	2h	3h	4h	5h	8h	10h	20h
9.60V	2401	1882	1150	719	432	316	252	216	150	124	66.0
9.90V	2329	1836	1127	708	429	314	251	215	149	124	65.9
10.2V	2233	1769	1093	690	425	312	249	214	148	123	65.7
10.5V	2137	1708	1066	668	419	309	247	212	147	123	65.3
10.8V	2017	1618	1027	647	408	300	240	206	142	122	64.9

Note: The above characteristics data can be obtained within three charge or discharge cycles.

DEEP CYCLE BATTERY



● Characteristic

Capacity (25℃)	10HR(10.8V)	100Ah
	3HR(10.8V)	76.5Ah
	1HR(10.5V)	56Ah
Terminal type	T16 (Insert Bolt)	
Internal resistance (Fully charged, 25℃)	Approx. 4.5mΩ	
Capacity affected by temperature (10HR)	40℃	102%
	25℃	100%
	0℃	85%
	-15℃	65%
Self-discharge (25℃)	3 months	Remaining Capacity: 91%
	6 months	Remaining Capacity: 82%
	12 months	Remaining Capacity: 65%
Nominal operating temperature	25℃	
Operating temperature range	Discharge	-15℃~50℃
	Charge	-10℃~50℃
	Storage	-20℃~50℃
Float charging voltage(25℃)	13.50 to 13.80V Temperature compensation: -18mV/℃	
Cyclic charging voltage(25℃)	14.50 to 15.00V Temperature compensation: -30mV/℃	
Maximum charging current	30A	
Maximum discharge current	800A(5 sec.)	
Designed floating life(20℃)	10years	

Lampiran 3. Datasheet SCC



Spec:

MODEL	10A	20A	30A	40A	50A	60A
Battery Voltage	12V 24V Auto					
Charging Current	10A	20A	30A	40A	50A	60A
Discharging Current	10A	10A	10A	20A	30A	30A
Max Solar input	48V(for 24V battery) 24V(for 12V battery)					
Equalization	14.4V(Sealed) 14.2V(Gel) 14.6V(Flood)					
Float charge	13.7V(default,adjustable)					
Discharge stop	10.7V(default,adjustable)					
Discharge reconnect	12.6V(default,adjustable)					
Charge reconnect	13V					
Voltage of open light	Solar Panel 8V(Light lights delay)					
Voltage of close light	Solar Panel 8V(Light off delay)					
USB output	5V/3A					
Self-consume	<10mA					
Operating temperature	-35°C~+60°C					
Size	133*57*35mm			188*90*47mm		

*all red color voltage X2 ,while using 24V system.

Lampiran 4. Datasheet Sensor Pzem 0-17

PZEM-017 300V 300A Shunt+USB Cable Car Voltmeter DC Ampere Meter RS485

Model Number:
 PZEM-017
 Display Type:
 Digital Only
 Measuring Range:
 0.02-300a
 Accuracy Class:
 1.0grade
 Supply Voltage:
 0.05-300V DC
 Operating Temperature:
 -20°C ~ +60°C
 Dimensions:
 90*60.5*23mm(L*W*H)
 Voltage test range:
 0.05-300V
 Voltage resolution:
 0.01V
 Current resolution:
 0.01A
 Power test range:
 0.1-3kW
 Power resolution:
 0.1W
 Energy test range:
 0-9999kwh
 Energy resolution:
 1wh
 Certificate:
 CE FCC
 Communication:
 RS485 Port MODBUS-RTU Protocol

Product Type	PZEM-017
Current Range	0-300A
Accessory	300A shunt+USB cable
Voltage Range	DC 0-300V
Power Range	0-90KW
Accuracy	±1%
Energy Range	0-9999Kwh
Weight	299g

Lampiran 6. Datasheet Sensor Proximity

LJ12A3-4-Z/BX

(A-RF-C-00014)

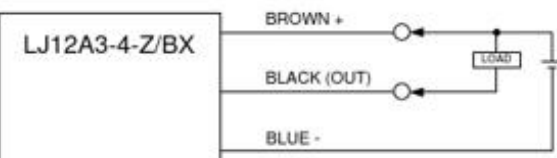
*** 140.-**



INDUCTIVE PROXIMITY SENSOR LJ12A3-4-Z/BX
 NPN, 3 WIRE ON, DIAMETER 12 mm.,
 PROXIMITY SW. (ใช้ได้กับโลหะเท่านั้น ในการตรวจจับ),
 ระยะตรวจจับ 4 mm.,
 พร้อม LED สีส้ม แสดงผลสถานะการตรวจจับ



MODEL	LJ12A3-4-Z/BX
OUTPUT	NPN, 3 WIRE, NO (NORMAL OPEN)
WORK VOLTAGE	6VDC - 36VDC
OUTPUT CURRENT	300mA. (SINK)
SIZE	DIA. 12 mm. L : 64 mm.(BODY)
CABLE LENGTH	100 cm.
DETECTION RANGE	4 mm.
DETECTION OF OBJECT	METAL (COPPER, IRON, ALUMINUM ETC.)

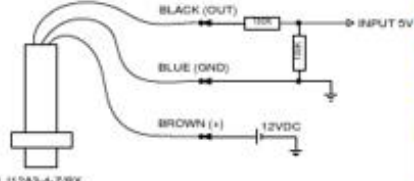


NPN

NO
NORMALLY
OPEN

4 mm.

• การต่อกับระบบ 5V TTL ไม่ควรใช้ไฟเลี้ยง SENSOR 12VDC





ETT

บริษัท อีทีเอ็ม จำกัด
ETT CO., LTD.

Tel : 02-7121139
 e-mail : sales@ett.com
 www.ett.com

Fax : 02-0917218
 Line ID : ettsam1

• ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลเฉพาะนี้ ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้
 ในโครงการอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก ETT

Lampiran 7. Data Hasil Pengujian Tanpa Metode

1 Cup

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energy (Wh)	RPM	Torsi (Nm)
1	22,856	9,678	219,58	0	508	4,128
2	23,09	9,248	212,44	0,2	505	4,017
3	23,286	9,176	213,06	0,2	506	4,021
4	23,216	9,118	210,8	0,2	504	3,995
5	23,428	9,088	212,44	0,2	505	4,017
6	23,532	8,912	209,38	0,2	507	3,943
7	23,554	9,038	212,64	0,2	508	3,997
8	23,584	8,938	210,6	0,4	505	3,982
9	23,596	8,966	211,4	0,6	506	3,991
10	23,688	8,904	210,78	0,6	504	3,994
11	23,686	9,044	214,16	0,6	508	4,026
12	23,546	9,1	214,06	0,6	507	4,032
13	23,69	9,118	215,96	0,8	505	4,084
14	23,708	9,1	215,66	0,8	506	4,07
15	23,432	9,242	216,22	1	504	4,097
16	23,736	9,076	215,38	1	505	4,073
17	23,774	8,802	209,2	1	502	3,979
18	23,748	8,896	211,2	1	500	4,034
19	23,768	8,748	207,86	1,2	498	3,986
20	23,76	8,888	211,12	1,2	495	4,073
21	23,762	8,95	212,62	1,2	494	4,11
22	23,766	8,866	210,64	1,2	492	4,089
23	23,756	8,938	212,28	1,2	495	4,095
24	23,654	9,008	212,92	1,2	493	4,124
25	23,336	9,114	212,02	1,6	490	4,132
26	23,594	8,904	209,94	1,6	488	4,108
27	23,764	8,824	209,62	1,6	491	4,077
28	23,756	8,796	208,9	1,6	489	4,08
29	23,774	8,66	205,82	1,6	485	4,053
30	23,774	8,67	206,06	1,8	486	4,049
31	23,778	8,682	206,4	1,8	488	4,039
32	23,772	8,662	205,86	2	485	4,053
33	23,79	8,702	206,96	2	487	4,058
34	23,764	8,694	206,56	2	486	4,059
35	23,792	8,534	203	2	482	4,022
36	23,778	8,746	207,92	2	485	4,094
37	23,766	8,76	208,12	2,2	488	4,073
38	22,38	9,206	202,78	2,2	482	4,018
39	22,284	9,42	204,9	2,2	485	4,034
40	22,542	9,226	204,86	2,2	484	4,042

2 Cup

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energy (Wh)	RPM	Torsi (Nm)
1	23,748	8,844	209,98	0	506	3,964
2	23,724	8,819	209,172	0,092	504	3,963
3	23,748	8,643	205,218	0,267	508	3,858
4	23,774	8,422	200,194	0,4	505	3,786
5	23,778	8,733	207,632	0,4	507	3,911
6	23,786	8,673	206,236	0,4	504	3,908
7	23,779	8,555	203,388	0,4	508	3,823
8	23,791	8,552	203,413	0,4	505	3,846
9	23,791	8,277	196,888	0,4	506	3,716
10	23,784	8,094	192,469	0,4	504	3,646
11	23,774	8,024	190,766	0,462	507	3,593
12	23,783	7,738	184,009	0,6	505	3,48
13	23,818	7,65	182,029	0,6	502	3,463
14	23,851	7,467	177,88	0,6	504	3,371
15	23,642	8,288	196,011	0,8	502	3,729
16	23,782	8,668	206,049	0,8	500	3,935
17	23,788	8,505	202,259	0,8	498	3,878
18	23,788	8,635	205,332	1	499	3,93
19	23,795	8,506	202,371	1	496	3,897
20	23,805	8,547	203,408	1	495	3,924
21	23,799	8,481	201,778	1	492	3,917
22	23,8	8,412	200,14	1	493	3,877
23	23,799	8,452	201,1	1	490	3,92
24	23,806	8,302	197,6	1	488	3,867
25	23,796	8,382	199,403	1	491	3,878
26	23,804	8,302	197,577	1	489	3,858
27	23,809	8,354	198,86	1,4	486	3,907
28	23,808	8,353	198,823	1,4	487	3,898
29	23,81	8,396	199,844	1,533	485	3,934
30	23,802	8,357	198,855	1,6	484	3,923
31	23,813	8,283	197,178	1,6	486	3,875
32	23,805	8,515	202,639	1,6	483	4,006
33	23,814	8,448	201,137	1,682	485	3,96
34	23,814	8,498	202,3	1,785	482	4,008
35	23,815	8,486	202,023	1,8	484	3,986
36	23,815	8,314	197,947	2	482	3,921
37	23,814	8,35	198,783	2	485	3,914
38	23,793	8,379	199,31	2	483	3,94
39	23,806	8,2	195,141	2,108	481	3,873
40	23,856	8,116	193,58	2,2	480	3,851

3 Cup

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energy (Wh)	RPM	Torsi (Nm)
1	23,518	8,802	207,04	0	512	3,861
2	23,767	8,712	207,004	0	509	3,883
3	23,744	8,696	206,398	0,169	510	3,865
4	23,765	8,613	204,64	0,2	508	3,847
5	23,771	8,6	204,385	0,2	510	3,827
6	23,785	8,696	206,786	0,2	511	3,864
7	23,779	8,7	206,823	0,2	512	3,857
8	23,764	8,655	205,61	0,2	509	3,857
9	23,775	8,551	203,239	0,2	510	3,805
10	23,769	8,54	202,915	0,277	508	3,814
11	23,777	8,584	204,042	0,574	511	3,813
12	23,772	8,543	203,042	0,6	509	3,809
13	23,789	8,476	201,575	0,6	507	3,796
14	23,772	8,532	202,773	0,6	508	3,811
15	23,763	8,524	202,468	0,8	506	3,821
16	23,762	8,528	202,577	0,846	505	3,83
17	23,777	8,496	201,949	0,969	503	3,833
18	23,785	8,511	202,386	1	504	3,834
19	23,758	8,507	202,074	1	501	3,851
20	23,78	8,405	199,817	1	499	3,824
21	23,788	8,535	202,991	1,092	498	3,892
22	23,798	8,437	200,709	1,2	496	3,864
23	23,782	8,566	203,639	1,2	498	3,905
24	23,78	8,534	202,857	1,2	495	3,913
25	23,789	8,518	202,583	1,2	494	3,916
26	23,779	8,513	202,394	1,2	492	3,928
27	23,787	8,523	202,673	1,2	495	3,91
28	23,795	8,505	202,328	1,4	493	3,919
29	23,788	8,515	202,477	1,4	490	3,946
30	23,796	8,533	202,982	1,4	491	3,948
31	23,791	8,505	202,292	1,4	492	3,926
32	23,781	8,505	202,179	1,4	490	3,94
33	23,787	8,427	200,391	1,6	488	3,921
34	23,784	8,381	199,265	1,6	490	3,883
35	23,788	8,34	198,331	1,6	487	3,889
36	23,78	8,489	201,827	1,6	489	3,941
37	23,78	8,458	201,083	1,6	488	3,935
38	23,794	8,385	199,472	1,6	486	3,92
39	23,834	8,276	197,122	1,6	488	3,857
40	23,874	8,172	194,92	1,6	487	3,822

4 Cup

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energy (Wh)	RPM	Torsi (Nm)
1	22,554	9,936	223,94	0	503	4,251
2	20,947	10,307	200,606	0	500	3,831
3	20,994	9,961	194,986	0	502	3,709
4	21,229	9,418	191,928	0,092	501	3,658
5	22,54	9,407	208,101	0,2	504	3,943
6	23,113	9,096	208,784	0,2	503	3,963
7	23,31	8,927	207,349	0,4	502	3,944
8	23,703	8,917	211,28	0,4	505	3,995
9	23,71	9,215	218,412	0,431	503	4,146
10	23,478	9,075	212,68	0,785	501	4,053
11	22,423	9,453	210,03	0,8	504	3,979
12	20,926	10,004	202,865	0,8	502	3,859
13	20,352	10,343	201,905	0,8	500	3,856
14	19,048	10,993	193,193	0,8	501	3,681
15	18,521	11,109	187,826	0,8	499	3,594
16	18,232	11,02	180,986	0,8	498	3,47
17	18,244	10,927	180,374	0,8	497	3,465
18	18,231	11,071	183,93	0,867	495	3,548
19	17,249	11,342	179,588	1,154	496	3,458
20	16,006	11,661	170,201	1,2	492	3,304
21	16,551	11,461	174,483	1,2	494	3,372
22	17,366	11,309	181,403	1,2	490	3,536
23	18,035	10,889	180,066	1,2	492	3,495
24	18,295	10,611	177,036	1,4	488	3,464
25	18,343	10,395	176,098	1,4	490	3,431
26	18,775	10,322	180,907	1,4	487	3,546
27	19,556	10,308	190,113	1,4	489	3,712
28	20,405	9,966	193,628	1,4	486	3,805
29	20,652	9,936	195,218	1,4	484	3,852
30	19,466	10,278	187,809	1,4	485	3,697
31	19,384	10,309	188,491	1,6	488	3,688
32	20,426	9,838	191,685	1,6	485	3,774
33	20,01	9,914	188,696	1,723	484	3,723
34	20,471	9,922	193,795	2	486	3,808
35	20,596	9,783	192,47	2	482	3,814
36	20,213	9,878	190,462	2	484	3,758
37	20,868	9,717	194,277	2	485	3,825
38	21,029	9,639	194,013	2	483	3,835
39	20,653	9,636	191,068	2	485	3,762
40	20,018	10,014	189,44	2	482	3,754

5 Cup

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energy (Wh)	RPM	Torsi (Nm)
1	16,91	11,962	192,3	0	506	3,629
2	14,476	12,507	168,035	0,2	504	3,184
3	14,511	12,469	169,466	0,2	507	3,192
4	14,076	12,151	160,795	0,2	505	3,04
5	15,368	11,632	166,03	0,4	506	3,133
6	15,622	11,602	165,191	0,4	508	3,105
7	15,624	11,62	165,18	0,4	505	3,123
8	15,656	11,383	162,299	0,4	507	3,057
9	16,594	11,36	173,713	0,4	504	3,291
10	17,472	10,86	175,62	0,4	506	3,314
11	18,216	10,569	177,144	0,4	503	3,363
12	18,933	10,462	186,828	0,4	504	3,539
13	19,654	10,744	203,043	0,4	502	3,861
14	18,534	10,485	180,553	0,6	504	3,421
15	18,318	10,605	178,464	0,6	501	3,401
16	18,326	10,457	176,44	0,6	500	3,369
17	18,345	10,362	175,34	0,8	499	3,355
18	19,569	9,978	184,633	1	501	3,519
19	20,865	9,489	188,68	1	498	3,618
20	21,099	9,398	188,814	1	496	3,635
21	21,088	9,327	187,19	1,2	494	3,618
22	21,101	9,263	186,1	1,2	495	3,59
23	21,08	9,311	186,625	1,2	492	3,622
24	21,086	9,317	187,039	1,4	494	3,615
25	21,101	9,245	185,623	1,4	490	3,617
26	21,072	9,309	186,638	1,4	492	3,622
27	21,116	9,279	186,513	1,533	489	3,642
28	21,128	9,304	187,588	1,6	488	3,671
29	21,113	9,305	187,028	1,6	490	3,645
30	21,125	9,246	185,885	1,6	489	3,63
31	21,142	9,262	186,578	1,6	491	3,629
32	21,144	9,303	187,423	1,6	488	3,667
33	21,089	9,359	188,115	1,6	487	3,689
34	21,012	9,56	192,125	1,6	489	3,752
35	19,455	10,048	184,001	1,6	486	3,615
36	18,363	10,377	174,454	1,8	488	3,414
37	18,379	10,177	171,877	1,8	486	3,377
38	18,398	10,189	172,548	1,8	484	3,404
39	18,409	10,024	170,42	2	485	3,356
40	18,468	10,286	176,68	2	484	3,486

6 Cup

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energy (Wh)	RPM	Torsi (Nm)
1	23,906	8,738	208,96	0	492	4,056
2	22,189	9,151	197,907	0,4	491	3,849
3	21,114	9,168	183,141	0,4	493	3,547
4	21,058	9,561	187,955	0,4	490	3,663
5	21,09	9	180,469	0,6	492	3,503
6	22,026	9,131	195,024	0,6	494	3,77
7	23,52	8,722	204,466	0,6	491	3,977
8	23,796	8,486	201,883	0,6	493	3,91
9	23,752	8,718	206,925	0,8	490	4,032
10	22,774	8,948	200,94	0,8	492	3,9
11	21,36	9,389	191,09	0,8	489	3,731
12	21,065	9,328	185,494	0,8	491	3,607
13	21,061	9,264	184,909	0,8	488	3,618
14	21,073	9,349	187	0,8	490	3,644
15	21,076	9,21	184,245	0,918	487	3,612
16	21,09	9,198	184,18	1	489	3,596
17	21,105	9,199	184,211	1	486	3,619
18	21,106	9,227	185,001	1	488	3,62
19	21,137	9,24	185,617	1	485	3,654
20	21,127	9,328	187,69	1,2	484	3,703
21	21,12	9,202	184,68	1,4	482	3,659
22	21,128	9,244	185,783	1,4	483	3,673
23	21,131	9,216	185,213	1,4	480	3,685
24	21,13	9,216	185,286	1,6	482	3,671
25	21,155	9,221	185,695	1,6	479	3,703
26	21,156	9,227	185,792	1,6	481	3,689
27	21,155	9,295	187,473	1,8	478	3,745
28	21,15	9,176	184,417	1,8	480	3,668
29	21,162	9,221	185,769	1,8	477	3,718
30	21,167	9,176	184,748	1,8	479	3,682
31	21,169	9,116	183,288	1,8	478	3,661
32	21,165	9,1	182,974	1,8	477	3,662
33	21,174	9,231	186,177	1,8	479	3,711
34	21,198	9,111	183,611	1,8	476	3,683
35	21,185	9,147	184,392	1,8	478	3,684
36	21,194	9,128	184,002	1,8	475	3,699
37	21,19	9,16	184,708	2	477	3,697
38	21,201	9,09	183,189	2	476	3,675
39	21,253	9,088	183,815	2,4	478	3,672
40	21,442	9,254	190,36	2,4	476	3,819

7 Cup

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energy (Wh)	RPM	Torsi (Nm)
1	23,666	8,278	195,96	0	494	3,788
2	23,679	8,867	209,788	0	493	4,063
3	23,669	8,892	210,291	0,2	496	4,049
4	23,652	8,811	208,266	0,2	494	4,025
5	23,692	8,245	195,178	0,2	495	3,765
6	23,373	9,298	216,719	0,2	497	4,164
7	22,489	9,332	208,131	0,2	493	4,032
8	22,056	9,669	209,312	0,2	495	4,038
9	21,699	9,82	206,175	0,2	492	3,995
10	20,57	10,03	196,712	0,4	494	3,803
11	20,543	10,147	198,045	0,4	491	3,851
12	21,045	9,952	199,384	0,4	492	3,869
13	21,923	9,832	208,895	0,4	489	4,079
14	22,262	9,121	197,767	0,4	490	3,853
15	23,026	7,571	171,701	0,6	488	3,36
16	22,406	7,8	168,36	0,6	489	3,288
17	21,712	7,996	164,74	0,8	487	3,23
18	21,994	7,74	160,58	0,8	488	3,142
19	22,584	7,644	165,96	1	485	3,267
20	22,783	7,704	171,662	1	484	3,387
21	22,125	9,364	202,338	1	483	4
22	21,256	9,431	191,357	1	485	3,767
23	20,572	8,837	167,536	1	482	3,319
24	20,658	9,527	185,29	1	484	3,655
25	20,767	9,429	185,325	1	480	3,687
26	20,606	9,143	177,865	1	482	3,524
27	21,043	9,745	195,233	1	480	3,884
28	20,947	9,65	192,108	1,2	481	3,813
29	20,848	9,428	186,315	1,2	478	3,722
30	20,874	9,708	193,085	1,318	480	3,841
31	20,944	9,705	193,911	1,4	481	3,849
32	21,13	9,634	194,438	1,4	479	3,875
33	21,047	9,633	194,251	1,6	480	3,864
34	21,106	9,18	184,457	1,6	478	3,685
35	20,99	9,497	190,337	1,8	480	3,786
36	20,465	9,856	192,632	1,8	477	3,856
37	19,224	10,184	183,582	2	479	3,659
38	18,343	10,212	171,574	2	478	3,428
39	18,352	10,401	173,843	2	479	3,465
40	18,404	10,3	173,58	2	478	3,468

Lampiran 8. Data Pengujian Menggunakan Metode

1 Cup

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energy (Wh)	RPM	Torsi (N·m)
1	23,6	4,66	109,976	0	270	3.89
2	23,7	4,8	113,76	0	300	3.621
3	23,6	5,03	118,708	0	240	4.724
4	23,7	5,22	123,714	0	330	3.58
5	23,6	4,96	117,056	0	270	4.14
6	23,7	4,87	115,419	0,2	300	3.674
7	23,6	5,12	120,832	0,2	240	4.808
8	23,7	5	118,5	0,2	330	3.429
9	23,6	4,8	113,28	0,2	270	4.007
10	23,7	4,66	110,442	0,2	300	3.516
11	23,6	5,03	118,708	0,4	330	3.435
12	23,7	4,96	117,552	0,4	240	4.678
13	23,6	5,22	123,192	0,4	270	4.357
14	23,7	5,12	121,344	0,4	300	3.863
15	23,6	4,87	114,932	0,4	240	4.573
16	23,7	4,8	113,76	0,6	330	3.292
17	23,6	5	118	0,6	270	4.174
18	23,7	4,66	110,442	0,6	300	3.516
19	23,6	4,96	117,056	0,6	330	3.388
20	23,7	5,03	119,211	0,6	240	4.744
21	23,6	5,22	123,192	0,8	270	4.357
22	23,7	5,12	121,344	0,8	300	3.863
23	23,6	4,87	114,932	0,8	330	3.326
24	23,7	4,8	113,76	0,8	240	4.527
25	23,6	5	118	0,8	270	4.174
26	23,7	4,66	110,442	1	300	3.516
27	23,6	4,96	117,056	1	330	3.388
28	23,7	5,03	119,211	1	240	4.744
29	23,6	5,22	123,192	1	270	4.357
30	23,7	5,12	121,344	1	300	3.863
31	23,6	4,87	114,932	1,2	330	3.326
32	23,7	4,8	113,76	1,2	240	4.527
33	23,6	5	118	1,2	270	4.174
34	23,7	4,66	110,442	1,2	300	3.516
35	23,6	4,96	117,056	1,2	330	3.388
36	23,7	5,03	119,211	1,4	240	4.744
37	23,6	5,22	123,192	1,4	270	4.357
38	23,7	5,12	121,344	1,4	300	3.863
39	23,6	4,87	114,932	1,4	330	3.326
40	23,7	4,8	113,76	1,4	240	4.527

2 Cup

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energy (Wh)	RPM	Torsi (N·m)
1	23,7	5,12	121,344	0	300	3.863
2	23,6	4,96	117,056	0	240	4.658
3	23,7	4,87	115,419	0	330	3.34
4	23,6	4,66	109,976	0	270	3.89
5	23,7	5,03	119,211	0	300	3.795
6	23,6	5,22	123,192	0,2	240	4.902
7	23,7	4,8	113,76	0,2	270	4.024
8	23,6	5	118	0,2	300	3.756
9	23,7	4,96	117,552	0,2	330	3.402
10	23,6	5,12	120,832	0,2	270	4.274
11	23,7	4,87	115,419	0,4	240	4.593
12	23,6	4,66	109,976	0,4	300	3.501
13	23,7	5,03	119,211	0,4	330	3.45
14	23,6	5,22	123,192	0,4	270	4.357
15	23,7	4,8	113,76	0,4	300	3.621
16	23,6	5	118	0,6	240	4.695
17	23,7	4,96	117,552	0,6	330	3.402
18	23,6	5,12	120,832	0,6	270	4.274
19	23,7	4,87	115,419	0,6	300	3.674
20	23,6	4,66	109,976	0,6	240	4.376
21	23,7	5,03	119,211	0,8	330	3.45
22	23,6	5,22	123,192	0,8	270	4.357
23	23,7	4,8	113,76	0,8	300	3.621
24	23,6	5	118	0,8	240	4.695
25	23,7	4,96	117,552	0,8	330	3.402
26	23,6	5,12	120,832	1	270	4.274
27	23,7	4,87	115,419	1	300	3.674
28	23,6	4,66	109,976	1	240	4.376
29	23,7	5,03	119,211	1	330	3.45
30	23,6	5,22	123,192	1	270	4.357
31	23,7	4,8	113,76	1,2	300	3.621
32	23,6	5	118	1,2	240	4.695
33	23,7	4,96	117,552	1,2	330	3.402
34	23,6	5,12	120,832	1,2	270	4.274
35	23,7	4,87	115,419	1,2	300	3.674
36	23,6	4,66	109,976	1,4	240	4.376
37	23,7	5,03	119,211	1,4	330	3.45
38	23,6	5,22	123,192	1,4	270	4.357
39	23,7	4,8	113,76	1,4	300	3.621
40	23,6	5	118	1,4	240	4.695

3 Cup

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energy (Wh)	RPM	Torsi (N·m)
1	23,6	5	118	0	240	4.695
2	23,7	5,22	123,714	0	330	3.58
3	23,6	4,87	114,932	0	270	4.065
4	23,7	5,03	119,211	0	300	3.795
5	23,6	4,66	109,976	0	240	4.376
6	23,7	4,96	117,552	0,2	330	3.402
7	23,6	5,12	120,832	0,2	270	4.274
8	23,7	4,8	113,76	0,2	300	3.621
9	23,6	5	118	0,2	240	4.695
10	23,7	5,22	123,714	0,2	330	3.58
11	23,6	4,87	114,932	0,4	270	4.065
12	23,7	5,03	119,211	0,4	300	3.795
13	23,6	4,66	109,976	0,4	240	4.376
14	23,7	4,96	117,552	0,4	330	3.402
15	23,6	5,12	120,832	0,4	270	4.274
16	23,7	4,8	113,76	0,6	300	3.621
17	23,6	5	118	0,6	240	4.695
18	23,7	5,22	123,714	0,6	330	3.58
19	23,6	4,87	114,932	0,6	270	4.065
20	23,7	5,03	119,211	0,6	300	3.795
21	23,6	4,66	109,976	0,8	240	4.376
22	23,7	4,96	117,552	0,8	330	3.402
23	23,6	5,12	120,832	0,8	270	4.274
24	23,7	4,8	113,76	0,8	300	3.621
25	23,6	5	118	0,8	240	4.695
26	23,7	5,22	123,714	1	330	3.58
27	23,6	4,87	114,932	1	270	4.065
28	23,7	5,03	119,211	1	300	3.795
29	23,6	4,66	109,976	1	240	4.376
30	23,7	4,96	117,552	1	330	3.402
31	23,6	5,12	120,832	1,2	270	4.274
32	23,7	4,8	113,76	1,2	300	3.621
33	23,6	5	118	1,2	240	4.695
34	23,7	5,22	123,714	1,2	330	3.58
35	23,6	4,87	114,932	1,2	270	4.065
36	23,7	5,03	119,211	1,4	300	3.795
37	23,6	4,66	109,976	1,4	240	4.376
38	23,7	4,96	117,552	1,4	330	3.402
39	23,6	5,12	120,832	1,4	270	4.274
40	23,7	4,8	113,76	1,4	300	3.621

4 Cup

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energy (Wh)	RPM	Torsi (N·m)
1	23,7	4,87	115,419	0	330	3.34
2	23,6	5	118	0	300	3.756
3	23,7	4,66	110,442	0	240	4.395
4	23,6	5,12	120,832	0	270	4.274
5	23,7	4,96	117,552	0	300	3.742
6	23,6	5,22	123,192	0,2	330	3.565
7	23,7	5,03	119,211	0,2	240	4.744
8	23,6	4,8	113,28	0,2	270	4.007
9	23,7	4,87	115,419	0,2	300	3.674
10	23,6	5	118	0,2	330	3.415
11	23,7	4,66	110,442	0,4	240	4.395
12	23,6	5,12	120,832	0,4	270	4.274
13	23,7	4,96	117,552	0,4	300	3.742
14	23,6	5,22	123,192	0,4	330	3.565
15	23,7	5,03	119,211	0,4	240	4.744
16	23,6	4,8	113,28	0,6	270	4.007
17	23,7	4,87	115,419	0,6	300	3.674
18	23,6	5	118	0,6	330	3.415
19	23,7	4,66	110,442	0,6	240	4.395
20	23,6	5,12	120,832	0,6	270	4.274
21	23,7	4,96	117,552	0,8	300	3.742
22	23,6	5,22	123,192	0,8	330	3.565
23	23,7	5,03	119,211	0,8	240	4.744
24	23,6	4,8	113,28	0,8	270	4.007
25	23,7	4,87	115,419	0,8	300	3.674
26	23,6	5	118	1	330	3.415
27	23,7	4,66	110,442	1	240	4.395
28	23,6	5,12	120,832	1	270	4.274
29	23,7	4,96	117,552	1	300	3.742
30	23,6	5,22	123,192	1	330	3.565
31	23,7	5,03	119,211	1,2	240	4.744
32	23,6	4,8	113,28	1,2	270	4.007
33	23,7	4,87	115,419	1,2	300	3.674
34	23,6	5	118	1,2	330	3.415
35	23,7	4,66	110,442	1,2	240	4.395
36	23,6	5,12	120,832	1,4	270	4.274
37	23,7	4,96	117,552	1,4	300	3.742
38	23,6	5,22	123,192	1,4	330	3.565
39	23,7	5,03	119,211	1,4	240	4.744
40	23,6	4,8	113,28	1,4	270	4.007

5 Cup

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energy (Wh)	RPM	Torsi (N·m)
1	23,6	4,8	113,28	0	300	3.606
2	23,7	5,12	121,344	0	270	4.292
3	23,6	4,96	117,056	0	330	3.388
4	23,7	4,66	110,442	0	240	4.395
5	23,6	5	118	0	300	3.756
6	23,7	4,87	115,419	0,2	270	4.082
7	23,6	5,22	123,192	0,2	330	3.565
8	23,7	5,03	119,211	0,2	240	4.744
9	23,6	4,8	113,28	0,2	300	3.606
10	23,7	5,12	121,344	0,2	270	4.292
11	23,6	4,96	117,056	0,4	330	3.388
12	23,7	4,66	110,442	0,4	240	4.395
13	23,6	5	118	0,4	300	3.756
14	23,7	4,87	115,419	0,4	270	4.082
15	23,6	5,22	123,192	0,4	330	3.565
16	23,7	5,03	119,211	0,6	240	4.744
17	23,6	4,8	113,28	0,6	300	3.606
18	23,7	5,12	121,344	0,6	270	4.292
19	23,6	4,96	117,056	0,6	330	3.388
20	23,7	4,66	110,442	0,6	240	4.395
21	23,6	5	118	0,8	300	3.756
22	23,7	4,87	115,419	0,8	270	4.082
23	23,6	5,22	123,192	0,8	330	3.565
24	23,7	5,03	119,211	0,8	240	4.744
25	23,6	4,8	113,28	0,8	300	3.606
26	23,7	5,12	121,344	1	270	4.292
27	23,6	4,96	117,056	1	330	3.388
28	23,7	4,66	110,442	1	240	4.395
29	23,6	5	118	1	300	3.756
30	23,7	4,87	115,419	1	270	4.082
31	23,6	5,22	123,192	1,2	330	3.565
32	23,7	5,03	119,211	1,2	240	4.744
33	23,6	4,8	113,28	1,2	300	3.606
34	23,7	5,12	121,344	1,2	270	4.292
35	23,6	4,96	117,056	1,2	330	3.388
36	23,7	4,66	110,442	1,4	240	4.395
37	23,6	5	118	1,4	300	3.756
38	23,7	4,87	115,419	1,4	270	4.082
39	23,6	5,22	123,192	1,4	330	3.565
40	23,7	5,03	119,211	1,4	240	4.744

6 Cup

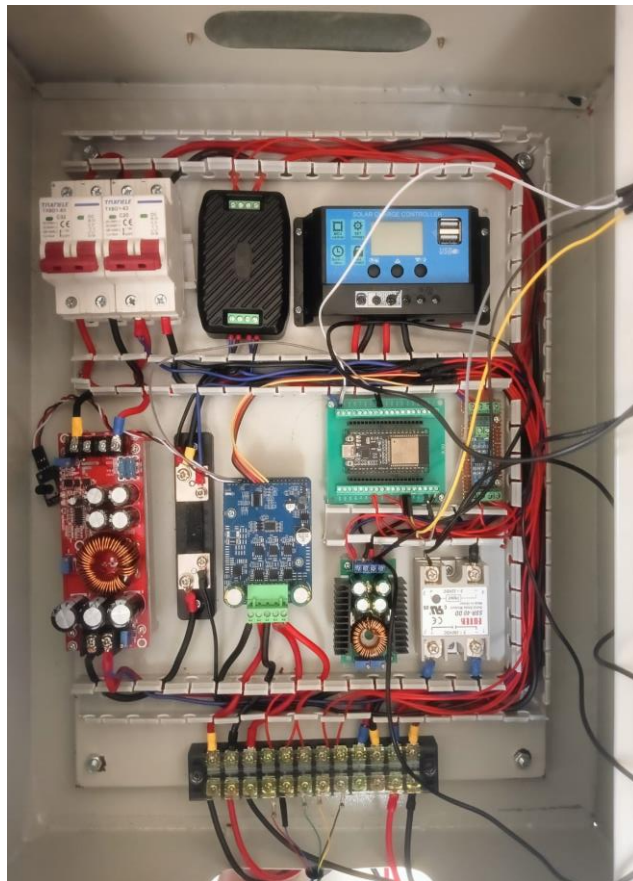
No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energy (Wh)	RPM	Torsi (N·m)
1	23,7	4,96	117,552	0	270	4.158
2	23,6	5,03	118,708	0	300	3.779
3	23,7	5,22	123,714	0	240	4.923
4	23,6	4,87	114,932	0	330	3.326
5	23,7	4,66	110,442	0	270	3.906
6	23,6	5,12	120,832	0,2	300	3.846
7	23,7	4,8	113,76	0,2	240	4.527
8	23,6	5	118	0,2	330	3.415
9	23,7	4,96	117,552	0,2	270	4.158
10	23,6	5,03	118,708	0,2	300	3.779
11	23,7	5,22	123,714	0,4	240	4.923
12	23,6	4,87	114,932	0,4	330	3.326
13	23,7	4,66	110,442	0,4	270	3.906
14	23,6	5,12	120,832	0,4	300	3.846
15	23,7	4,8	113,76	0,4	240	4.527
16	23,6	5	118	0,6	330	3.415
17	23,7	4,96	117,552	0,6	270	4.158
18	23,6	5,03	118,708	0,6	300	3.779
19	23,7	5,22	123,714	0,6	240	4.923
20	23,6	4,87	114,932	0,6	330	3.326
21	23,7	4,66	110,442	0,8	270	3.906
22	23,6	5,12	120,832	0,8	300	3.846
23	23,7	4,8	113,76	0,8	240	4.527
24	23,6	5	118	0,8	330	3.415
25	23,7	4,96	117,552	0,8	270	4.158
26	23,6	5,03	118,708	1	300	3.779
27	23,7	5,22	123,714	1	240	4.923
28	23,6	4,87	114,932	1	330	3.326
29	23,7	4,66	110,442	1	270	3.906
30	23,6	5,12	120,832	1	300	3.846
31	23,7	4,8	113,76	1,2	240	4.527
32	23,6	5	118	1,2	330	3.415
33	23,7	4,96	117,552	1,2	270	4.158
34	23,6	5,03	118,708	1,2	300	3.779
35	23,7	5,22	123,714	1,2	240	4.923
36	23,6	4,87	114,932	1,4	330	3.326
37	23,7	4,66	110,442	1,4	270	3.906
38	23,6	5,12	120,832	1,4	300	3.846
39	23,7	4,8	113,76	1,4	240	4.527
40	23,6	5	118	1,4	330	3.415

7 Cup

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energy (Wh)	RPM	Torsi (N·m)
1	23,6	5,22	123,192	0	240	4.902
2	23,7	4,66	110,442	0	330	3.196
3	23,6	5,12	120,832	0	270	4.274
4	23,7	5	118,5	0	300	3.772
5	23,6	4,87	114,932	0	240	4.573
6	23,7	4,8	113,76	0,2	330	3.292
7	23,6	4,96	117,056	0,2	270	4.14
8	23,7	5,03	119,211	0,2	300	3.795
9	23,6	5,22	123,192	0,2	240	4.902
10	23,7	4,66	110,442	0,2	330	3.196
11	23,6	5,12	120,832	0,4	270	4.274
12	23,7	5	118,5	0,4	300	3.772
13	23,6	4,87	114,932	0,4	240	4.573
14	23,7	4,8	113,76	0,4	330	3.292
15	23,6	4,96	117,056	0,4	270	4.14
16	23,7	5,03	119,211	0,6	300	3.795
17	23,6	5,22	123,192	0,6	240	4.902
18	23,7	4,66	110,442	0,6	330	3.196
19	23,6	5,12	120,832	0,6	270	4.274
20	23,7	5	118,5	0,6	300	3.772
21	23,6	4,87	114,932	0,8	240	4.573
22	23,7	4,8	113,76	0,8	330	3.292
23	23,6	4,96	117,056	0,8	270	4.14
24	23,7	5,03	119,211	0,8	300	3.795
25	23,6	5,22	123,192	0,8	240	4.902
26	23,7	4,66	110,442	1	330	3.196
27	23,6	5,12	120,832	1	270	4.274
28	23,7	5	118,5	1	300	3.772
29	23,6	4,87	114,932	1	240	4.573
30	23,7	4,8	113,76	1	330	3.292
31	23,6	4,96	117,056	1,2	270	4.14
32	23,7	5,03	119,211	1,2	300	3.795
33	23,6	5,22	123,192	1,2	240	4.902
34	23,7	4,66	110,442	1,2	330	3.196
35	23,6	5,12	120,832	1,2	270	4.274
36	23,7	5	118,5	1,4	300	3.772
37	23,6	4,87	114,932	1,4	240	4.573
38	23,7	4,8	113,76	1,4	330	3.292
39	23,6	4,96	117,056	1,4	270	4.14
40	23,7	5,03	119,211	1,4	300	3.795

Lampiran 9. Foto Pengujian





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 10. Biodata Penulis

BIODATA PENULIS



1. Nama : Abid Dion Permana
2. NRP : 0422040001
3. Program Studi : D4 – Teknik Kelistrikan Kapal
4. Tempat, Tanggal Lahir : Ponorogo, 13 Oktober 2003
5. Jenis Kelamin : Laki-laki
6. Agama : Islam
7. Alamat : Jl. Dr. Cipto Mangunkusumo No.32b, Kel. Keniten
Kec. Ponorogo, Kab. Ponorogo, Prov. Jawa Timur
8. Nomor Telepon : 088805331936
9. Email : abiddion13@gmail.com
10. Nama Orang Tua/Wali : Daryono
11. Alamat Orang Tua/Wali : Jl. Dr. Cipto Mangunkusumo No.32b, Kel. Keniten
Kec. Ponorogo, Kab. Ponorogo, Prov. Jawa Timur

Riwayat Pendidikan :

1. 2010 - 2016 : SD Ma'arif Ponorogo
2. 2016 - 2019 : SMPN 3 Ponorogo
3. 2019 - 2022 : SMAN 3 Ponorogo
4. 2022 - Sekarang : Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya