

**RANCANGAN DAN PENERAPAN SISTEM MONITORING  
KECEPATAN ROTASI UNTUK PENGISIAN DAYA BATERAI  
MENGUNAKAN *FLYWHEEL***

(SKRIPSI)

Oleh:

**Liza Rahmadany**

**2017041045**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2025**

## ABSTRAK

### RANCANGAN DAN PENERAPAN SISTEM MONITORING KECEPATAN ROTASI UNTUK PENGISIAN DAYA BATERAI MENGUNAKAN *FLYWHEEL*

Oleh  
**Liza Rahmadany**

Penelitian mengenai rancangan dan penerapan sistem monitoring kecepatan rotasi untuk pengisian daya baterai menggunakan *flywheel* telah dilaksanakan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitor pengisian otomatis pada baterai dan menguji akurasi Sensor INA219 dan Sensor *Optocoupler*. Data yang dikumpulkan pada penelitian ini meliputi pengukuran tegangan dan arus dari Sensor INA219 dengan pengambilan data sebanyak 7 kali dalam waktu 14 menit serta pengukuran kecepatan dari Sensor *Optocoupler* dengan pengambilan data sebanyak 7 kali dalam waktu 14 menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat sistem monitor berhasil terealisasi menggunakan multimeter Zotek ZT-98 dengan mengukur arus 3,2 A dan tegangan 12 V relatif kecil dengan rata-rata akurasi sebesar 97%. Pada proses pengisian baterai menunjukkan bahwa terjadinya peningkatan tegangan dari yang sebelumnya 10,32 V menjadi 12 V dan peningkatan juga terjadi pada arus yang sebelumnya 1,1 A menjadi 3,2 A. Sebaliknya, Pada proses pengosongan baterai menunjukkan bahwa terjadi penurunan tegangan dari yang sebelumnya 12 V menjadi 11,3 A dan penurunan juga terjadi pada arus yang sebelumnya 3,2 A menjadi 2,5 A.

**Kata Kunci:** Baterai, Sensor INA219, Sistem Monitor, Sensor *Optocoupler*,

## **ABSTRACT**

### **DESIGN AND IMPLEMENTATION OF ROTATIONAL SPEED MONITORING SYSTEM FOR BATTERY CHARGING USING FLYWHEEL**

**By  
Liza Rahmadany**

Research on the design and implementation of rotational speed monitoring system for battery charging using flywheel has been carried out. This research aims to design an automatic charging monitoring system on the battery and test the accuracy of the INA219 Sensor and Optocoupler Sensor. The data collected in this study include voltage and current measurements from the INA219 Sensor with data collection 7 times within 14 minutes and speed measurements from the Optocoupler Sensor with data collection 7 times within 14 minutes. The test results show that the monitor system tool was successfully realized using a Zotek ZT-98 multimeter by measuring the current 3,2 A and voltage 12 V relatively small with an average accuracy of 97%. In the battery charging process shows that there is an increase in voltage from the previous 10.32 V to 12 V and an increase also occurs in the current which was previously 1.1 A to 3.2 A. Conversely, in the battery discharge process shows that there is a decrease in voltage from the previous 12 V to 11.3 A and a decrease also occurs in the current which was previously 3.2 A to 2.5 A.

**Keywords:** Battery, INA219 Sensor, Monitor System, Optocoupler Sensor

**RANCANGAN DAN PENERAPAN SISTEM MONITORING  
KECEPATAN ROTASI UNTUK PENGISIAN DAYA BATERAI  
MENGUNAKAN *FLYWHEEL***

**Oleh:**

**Liza Rahmadany**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA SAINS**

**Pada**

**Jurusan Fisika**

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2025**

## LEMBARAN PENGESAHAN

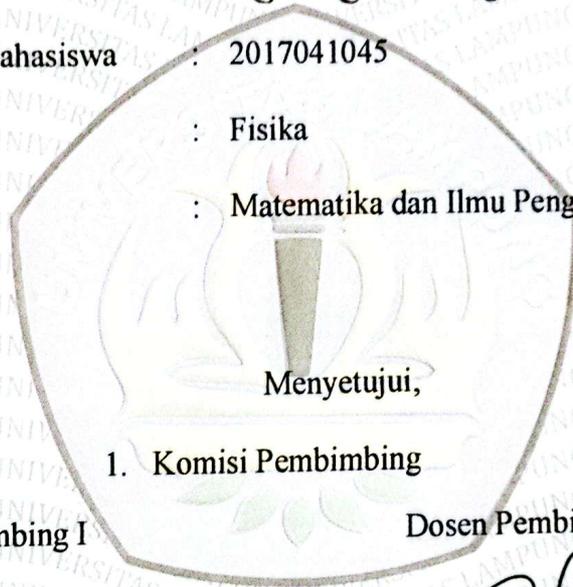
Judul Skripsi : Rancangan dan Penerapan Sistem Monitoring  
Kecepatan Rotasi untuk Pengisian Daya Baterai  
Menggunakan *Flywheel*.

Nama Mahasiswa : Liza Rahmadany

Nomor Induk Mahasiswa : 2017041045

Jurusan : Fisika

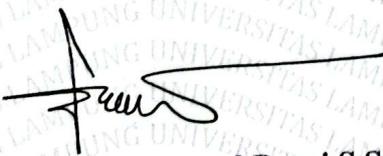
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



### 1. Komisi Pembimbing

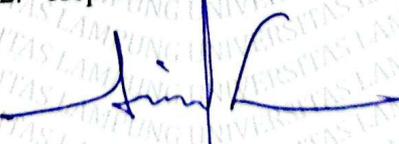
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
Dr. Gurum Ahmad Pauzi S.Si., M.T.  
NIP. 198010102005011002

  
Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.  
NIP. 197512192000122003

### 2. Kepala Jurusan Fisika, Fmipa

  
Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.  
NIP. 197109092000121001

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**

Sekretaris : **Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si**

Penguji : **Drs. Syafriadi, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **14 Februari 2025**

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis mengacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri. Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi dan bertanggung jawab sebatas dengan pemaparan dari skripsi ini.

Bandar Lampung, 14 Februari 2025

Yang Menyatakan



~~Diakui dan ditandatangani~~

NPM. 2017041045

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Liza Rahmadany, lahir di Palembang pada 20 Maret 2003. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara yang merupakan anak dari pasangan Bapak Budi Haryanto dan Ibu Lisa Andriani. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 06089 Medan pada tahun 2014, SMPN 36 Medan pada tahun 2017, dan SMAS Eria Medan pada tahun 2020.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui tes SBMPTN pada tahun 2020. Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, Penulis aktif bergabung pada organisasi kemahasiswaan. Pada tahun 2020 penulis mendaftarkan diri untuk magang pada organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI). Pada tahun 2021 penulis mendaftarkan diri untuk menjadi anggota pada organisasi HIMAFI pada bidang Sains dan Teknologi (SAINTEK). Selain itu, Pada tahun 2023 penulis mendaftar Kampus Merdeka untuk mengikuti kegiatan Program Magang Merdeka Kampus Mengajar (MBKM). Pada tahun 2024 penulis juga mendaftarkan pada kegiatan Program Magang dan Studi Independen Bersertifikat (MSIB) yang mengikuti Perusahaan PT. AMATI INDONESIA.

Penulis telah melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) pada tahun 2023 dengan judul penelitian “Analisis Teknik dan Biaya Investasi Pemasangan PLTS *On Grid* di PLTS ITERA – Lab Sains ITERA, Bandar Lampung”. Penulis melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti Program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode 2 Tahun 2023 di Desa Sidodadi, Kecamatan Bangunrejo, Kabupaten Lampung Selatan.

## MOTTO

“Keberhasilan bukanlah milik orang pintar.  
Keberhasilan adalah kepunyaan mereka yang  
senantiasa berusaha.”

*-B.J. Habibie*

“Wahai orang-orang yang beriman!  
Mohonlah pertolongan (Kepada Allah) dengan  
sabar dan sholat. Sungguh, Allah beserta orang-  
orang yang sabar.”

*-Al-Baqarah:153*

“No matter how painful the trials you face,  
it's better to rest than to give up.”

*-Liza Rahmadany*

## **PERSEMBAHAN**

**Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, saya persembahkan skripsi ini kepada**

*Bapak Budi Haryanto dan Ibu Lisa Andriani*

Kedua Orang Tua saya yang telah melahirkan, membesarkan, mendidik, menjaga, serta mendukung dan menyemangati hidup saya selama ini.

*Tedy Haryanto dan Ade Puspa Rara Kencana*

Abang dan adik saya tersayang yang telah memberikan dukungan dan motivasi sehingga membuat saya mampu melewati dan menyelesaikan pendidikan S1.

*Bapak/Ibu Dosen FISIKA FMIPA UNIVERSITAS LAMPUNG*

Terimakasih telah memberikan bekal ilmu pengetahuan, nasehat, dan saran selama menjadi Mahasiswa Fisika Fmipa Universitas Lampung.

*Teman-teman seperjuangan Fisika Angkatan 2020*

**Almamater Tercinta  
UNIVERSITAS LAMPUNG**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT. Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Rancangan dan Penerapan Sistem Monitoring Kecepatan Rotasi untuk Pengisian Daya Baterai Menggunakan *Flywheel***”. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kesalahan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bukan hanya untuk penulis, tapi juga untuk para pembaca.

Bandar Lampung, 14 Februari 2025

Penulis

Liza Rahmadany

## SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Rancangan dan Penerapan Sistem Monitoring Kecepatan Rotasi untuk Pengisian Daya Baterai Menggunakan *Flywheel***”. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari tidak sedikit hambatan dan kesulitan yang dihadapi, namun berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Orang tua Bapak Budi Haryanto dan Ibu Lisa Andriani yang senantiasa memberikan doa, semangat, motivasi, pengorbanan, nasihat serta kasih sayang kepada penulis.
2. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing, memberikan ilmu, motivasi, serta arahan dalam proses penyusunan skripsi.
3. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing, memberikan ilmu, motivasi, serta arahan dalam proses penyusunan skripsi.
4. Bapak Drs. Syafriadi M.Si., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan masukan sehingga penulisan skripsi ini menjadi lebih baik.
5. Ibu Suprihatin S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.

7. Seluruh Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu selama menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.
8. Para Tenaga Kependidikan Jurusan Fisika yang telah membantu memenuhi kebutuhan administrasi penulis.
9. Tedy Haryanto Habibie dan Ade Puspa Rara sebagai abang-adek, yang selalu memberikan semangat dan dorongan kepada penulis.
10. Keluarga yang berada di Lampung yang telah memberikan motivasi, bantuan, dan semangat kepada penulis selama menyelesaikan studi.
11. Teman-teman Fisika angkatan 2020, keluarga besar Himafi FMIPA Unila, yang telah bersama-sama menjalani perkuliahan dan telah memberikan doa serta motivasi pembelajaran kehidupan kepada penulis

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dengan yang lebih baik, mempermudah segala urusannya dan menjadi pemberat amal di akhirat nanti.

Bandar Lampung, 14 Februari 2025

Penulis,

Liza Rahmadany

## DAFTAR ISI

	<b>HALAMAN</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>MENGESAHKAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI</b> .....	<b>vii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>viii</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>ix</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>x</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR PROGRAM</b> .....	<b>xix</b>
 <b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
 <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Terkait.....	4

2.2 Landasan Teori .....	5
2.2.1 Sistem Monitor.....	5
2.2.2 Motor DC ( <i>Direct Current</i> ).....	6
2.2.3 Baterai.....	8
2.2.4 <i>Flywheel</i> .....	10
2.2.5 Arduino Uno.....	13
2.2.6 Sensor <i>Tachometer</i> .....	14
2.2.7 Medan Magnet.....	15
2.2.8 Generator.....	16
2.2.9 Sensor INA219.....	18
2.2.10 Relay 2 <i>Channel</i> .....	19
2.2.11 <i>Micro SD</i> .....	20

### **III. METODE PENELITIAN**

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	21
3.3 Perancangan Perangkat.....	23
3.4 Pengujian Sensor INA219.....	24
3.5 Pengujian Sensor <i>Tachometer</i> .....	24
3.6 Pengisian Baterai.....	24
3.7 Prosedur Penelitian.....	26

### **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Perancangan Sistem.....	27
4.2 Pengujian Software Kalibrasi Sensor.....	28
4.2.1 Sensor INA219.....	28
4.2.2 Sensor <i>Optocoupler</i> .....	29
4.2.3 Relay 2 <i>Channel</i> .....	30
4.2.4 Modul <i>Micro SD</i> .....	31
4.3 Pengujian Sensor.....	31
4.2.1 Sensor Tegangan INA219.....	31
4.2.2 Sensor Arus INA219.....	33
4.2.3 Sensor <i>Optocoupler</i> .....	34

4.4 Pengujian Alat Pengisian dan Pengosongan Baterai.....	36
4.3.1 Pengisian Baterai.....	36
4.3.2 Pengosongan Baterai.....	37

## **V. SIMPULAN**

5.1 Simpulan.....	40
5.2 Saran.....	40

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	<b>HALAMAN</b>
<b>Gambar 2.1</b> Motor DC.....	7
<b>Gambar 2.2</b> Baterai.....	9
<b>Gambar 2.3</b> <i>Flywheel</i> .....	10
<b>Gambar 2.4</b> Silinder Berongga.....	12
<b>Gambar 2.5</b> Benda Pejal.....	12
<b>Gambar 2.6</b> Arduino Uno.....	13
<b>Gambar 2.7</b> Alat Tachometer.....	14
<b>Gambar 2.8</b> Medan Magnet Pada Motor Listrik.....	15
<b>Gambar 2.9</b> Generator.....	17
<b>Gambar 2.10</b> INA219.....	19
<b>Gambar 2.11</b> Relay 2 <i>Channel</i> .....	19
<b>Gambar 2.12</b> Micro SD.....	20
<b>Gambar 3.1</b> Desain Diagram Sistem Monitoring.....	23
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Penelitian.....	26
<b>Gambar 4.1</b> Sistem Monitor Bagian Luar.....	27
<b>Gambar 4.2</b> Sistem Monitorin Bagian Dalam.....	28
<b>Gambar 4.3</b> Grafik Data Pengujian Tegangan Sensor INA219.....	32
<b>Gambar 4.4</b> Grafik Data Pengujian Arus Sensor INA219.....	34
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Data Pengujian Sensor <i>Optocoupler</i> .....	35
<b>Gambar 4.6</b> Grafik Tegangan dan Arus Pada Waktu Pengisian Baterai.....	37
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Tegangan dan Arus Pada Waktu Pengosongan Baterai.....	38

## DAFTAR TABEL

	<b>HALAMAN</b>
<b>Tabel 2.1</b> Spesifikasi Motor DC.....	8
<b>Tabel 3.1</b> Jadwal Pelaksanaan Kegiatan.....	21
<b>Tabel 3.2</b> Alat dan Bahan Penelitian.....	22
<b>Tabel 3.3</b> Data Pengisian Baterai.....	25
<b>Tabel 3.4</b> Data Pengosongan Baterai.....	25
<b>Tabel 4.1</b> Data Pengujian Tegangan Sensor INA219.....	32
<b>Tabel 4.2</b> Data Pengujian Arus Sensor INA219.....	33
<b>Tabel 4.3</b> Data Pengujian Sensor <i>Optocoupler</i> .....	35
<b>Tabel 4.4</b> Data Pengujian Pengisian Baterai.....	33
<b>Tabel 4.5</b> Data Pengujian Pengosongan Baterai.....	37
<b>Tabel 4.6</b> Data Kapasitas Baterai.....	39

## DAFTAR PROGRAM

	<b>HALAMAN</b>
<b>Program 1.</b> Pengujian Kalibrasi Sensor INA219.....	29
<b>Program 2.</b> Pengujian Kalibrasi Sensor <i>Optocoupler</i> .....	30
<b>Program 3.</b> Pengujian Kalibrasi Relay 2 <i>Channel</i> .....	30
<b>Program 4.</b> Pengujian Kalibrasi Modul Micro SD.....	31

## I. PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Energi alternatif adalah sumber energi yang mampu menghasilkan tenaga listrik dalam jumlah yang cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik usaha industri kecil dan menengah di bawah 1000 watt. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut adalah pembangkit listrik alternatif yang menggunakan *flywheel* sebagai penyimpan energinya. *Flywheel* merupakan komponen mekanik yang menyimpan energi kinetik pada saat poros berputar dan menstabilkan putaran mesin. Selain itu, *Flywheel* juga merupakan komponen yang menggunakan inersia rotasi untuk meredam perubahan kecepatan. Roda gila memiliki kepadatan energi hingga ratusan kali lebih banyak dibandingkan dengan baterai yang ada saat ini, oleh sebab itu peneliti akan menganalisis efektifitas dari pemanfaatan *flywheel* sebagai baterai mekanis pada turbin angin savonius. (Julpardi, 2019). Inersia pada *flywheel* terjadi karena adanya energi yang tersimpan dan menggunakan gerak rotasi *flywheel* untuk memperoleh energi kinetik rotasi yang dipengaruhi oleh torsi (Ruslim *et al.*, 2021). *Flywheel* berfungsi sebagai akumulator energi, menyimpan energi ketika tenaga mesin melebihi kebutuhan dan melepaskan energi ketika tenaga mesin turun di bawah kebutuhan, maka dapat digunakan sebagai pengatur perubahan kecepatan, sehingga poros engkol dapat terus berputar dan mesin dapat bekerja dengan lancar (Cummins *et al.*, 2014).

Pada umumnya kegiatan monitoring pada motor listrik menggunakan alat ukur konvensional dimana proses ini memerlukan banyak waktu dan prosesnya tidak otomatis. Hal ini akan mengakibatkan terjadi pemborosan energi listrik. Oleh karena ini, diperlukan alat monitoring pada industri yang

dapat memperlihatkan penggunaan energi listrik pada tiap sub item sehingga terlihat penggunaan energi listrik yang tidak efisien (Mughtar dan Dimas, 2022). sistem monitoring kapasitas baterai dari motor listrik dengan mendeteksi perubahan nilai kapasitas baterai secara langsung pada LCD 16x2 sekaligus dapat memonitor perubahan nilai kapasitas baterai (Zein *et al.*, 2023).

Pengisian Daya Baterai Menggunakan *Flywheel* dapat mengetahui butuh berapa lama untuk pengisian pada baterai dengan menggunakan kecepatan *flywheel*. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kestabilan putaran pada *flywheel*, kecepatan pengisian baterai, perubahan sistem monitoring, pengukuran tegangan dan arus, serta sensor *optocoupler* (sensor kecepatan). Hal ini menunjukkan bahwa sistem monitoring yang berpengaruh pada energi kinetik dari *flywheel* yang diubah menjadi Listrik untuk pengisian daya baterai.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka penulis melakukan penelitian mengenai Rancangan dan Penerapan Sistem Monitoring Kecepatan Rotasi untuk Pengisian Daya Baterai Menggunakan *flywheel* dapat membutuhkan waktu berapa lama untuk pengisian pada baterai dengan menggunakan *flywheel*. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kestabilan putaran pada *flywheel*, pengisian baterai, sistem monitoring, sensor INA219, sensor *Optocoupler*. Hal ini menunjukkan bahwa sistem monitoring yang berpengaruh pada energi kinetik *flywheel* yang digunakan secara manual.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana sistem monitoring pengisian otomatis pada perancangan baterai?
2. Bagaimana data uji kalibrasi daya, tegangan, arus, dan rpm dapat dijalankan pada *flywheel*?

### **I.3 Tujuan**

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Merancang sistem monitoring pengisian otomatis pada baterai.
2. Data uji kalibrasi daya, tegangan, arus, dan rpm yang dihasilkan oleh sistem *flywheel*.

### **I.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Efisiensi kegunaan baterai, menghemat energi, dan pengurangan biaya operasional dalam jangka panjang.
2. Energi diberikan dengan cepat pada saat dibutuhkan, dan proses pengisian baterai dipercepat.
3. Dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

### **I.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. *Flywheel* motor *type* L30000 digunakan.
2. Momentum rotasi berat *flywheel* 7 kg ditetapkan.
3. Daya sistem monitoring digunakan untuk mengubah baterai yang kosong menjadi terisi penuh.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terkait

Penelitian mengenai putaran *Flywheel* telah dilakukan oleh (Kim *et al.*, 2014). Putaran *Flywheel* menyimpan momen inersia. Saat berputar momen ini akan dikonversi menjadi bentuk energi kinetik. Ketika dibandingkan dengan alat penyimpanan energi lainnya (seperti baterai elektromagnet), *flywheel* memiliki daya yang tinggi, pengisian energinya lebih besar dan siklus kerjanya bertahan lama (Kim *et al.*, 2014).

Penelitian lanjutan yang dilakukan oleh (Sebastian & Alzola, 2012) mengenai *flywheel energy storage system* (FESS) menyimpan energi mekanik pada *flywheel* yang berputar yang diubah menjadi energi listrik melalui mesin listrik dan sebaliknya mesin listrik yang menggerakkan roda gila mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. FESS memiliki karakteristik yang lebih baik bila dibandingkan dengan baterai elektrokimia. FESS memungkinkan jumlah siklus pengisian/pengosongan yang sangat tinggi (ratusan ribu). Jumlah siklus ini tidak bergantung pada suhu dan *Depth of Discharge* (DoD). Oleh karena itu, masa manfaat FESS sangat panjang (>20 tahun) dan pembuangan FESS tidak menimbulkan masalah lingkungan. Selain itu, *State of Charge* (SOC) untuk FESS sederhana dan dapat diandalkan karena hanya kecepatan putaran *flywheel* yang perlu diketahui (Sebastian & Alzola, 2012).

Selanjutnya penelitian mengenai pengisian baterai yang dilakukan oleh (Hamid *et al.*, 2016) menggunakan alat Pengisi Arus dialirkan berlawanan dengan waktu pengeluaran isi, pengisian berarti bahwa beban aktif dan elektrolit dirubah supaya energi kimia baterai mencapai maksimum. Pada saat proses pengisian kapasitas *rectifier* harus disesuaikan dengan kapasitas baterai yang

terpasang, setidaknya kapasitas arusnya harus mencukupi untuk pengisian baterai sesuai jenisnya yaitu untuk baterai alkali adalah 0,2C ditambah beban statis pada unit pembangkit. Sumber tegangan AC untuk Minimum Kapasitas Arus *Rectifier* (MKAR) tidak boleh padam atau mati. Untuk itu pengecekan dilakukan baik tegangan masuk (AC) maupun tegangan keluarannya (DC) (Hamid *et al.*, 2016).

Monitor adalah proses pengumpulan dan analisis informasi mengenai program secara sistematis dan berkesinambungan berdasarkan indikator-indikator yang telah ditetapkan guna mengambil tindakan perbaikan guna memperbaiki program yang akan datang. Survei merupakan salah satu jenis pemantauan yang dapat dijelaskan dengan mengetahui apa yang ingin diketahui seseorang, pemantauan tingkat tinggi dilakukan untuk dapat mengukur dari waktu ke waktu, menunjukkan pergerakan mendekati atau menjauhi suatu sasaran. Monitor akan memberikan informasi mengenai status dan tren pengukuran dan penilaian yang dilakukan berulang kali sepanjang waktu. Monitor biasanya dilakukan dengan tujuan khusus untuk memeriksa kemajuan menuju tujuan berikut atau untuk menilai kondisi atau kemajuan dalam mencapai target hasil pengelolaan di berbagai tujuan (Malik, 2005).

Sensor INA219 merupakan pilihan yang baik untuk aplikasi pengukuran arus dan tegangan, dengan akurasi yang kompetitif dibandingkan sensor lainnya. Sensor INA219 menunjukkan tingkat akurasi yang bervariasi dalam pengukuran arus dan tegangan, dengan beberapa penelitian melaporkan akurasi antara 90,39% hingga 99,92%. Sensor INA219 memiliki tingkat akurasi yang baik dalam mengukur arus dan tegangan, dengan hasil yang mendekati nilai aktual (Ariyadi, 2023).

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Sistem Monitor**

Sistem monitor merupakan suatu sistem yang memiliki media penyampaian informasi menggunakan media kabel maupun wireless . Namun, pada faktanya menggunakan kabel atau wireless memiliki kelebihan dan kekurangan Sistem

monitoring adalah kumpulan data *real-time* dari berbagai sumber. menyusun fase-fase penting dari suatu sistem monitoring terdiri dari tiga proses, yaitu (Muzawi *et al.*, 2019):

- Proses pengumpulan data monitoring
- Proses analisis data monitoring.
- Proses menampilkan data monitoring

Dengan sistem *monitoring* yang ada pada motor listrik dapat diketahui sistem bekerja dengan baik atau tidak dan apabila terjadi gangguan pada sistem maka dalam sistem *monitoring* akan terdeteksi dengan cepat sehingga respon penangannya akan lebih cepat (Asmaleni *et al.*, 2020). Untuk itu perlu adanya sistem pengambilan data dari lingkungan fisik yang akan digunakan datanya dalam sistem *monitoring*. Pengambilan data dari lingkungan fisik menggunakan sensor, selanjutnya data yang telah diperoleh dari sensor tersebut akan disimpan pada *SD Card* yang ada di data logger sehingga data bisa diakses baik saat online maupun *offline* (Somantri *et al.*, 2023).

Seiring dengan perkembangan teknologi, maka dibutuhkan kepraktisan dalam segala hal, termasuk penerapan pada sistem monitoring. Salah satu penerapan dari teknologi monitoring adalah pada aplikasi sistem monitoring suhu. Pada sistem monitoring konvensional terdapat kelemahan, yaitu ketidakpraktisan dalam monitoring dan ketidakakuratan data. Sistem monitoring ini menawarkan pemakaian web untuk melakukan proses monitoring. Sistem ini dapat diaplikasikan pada sistem monitoring suhu reaktor kimia, monitoring suhu ketel uap dan sebagainya. Dengan adanya sistem monitoring ini maka proses monitoring akan lebih mudah karena dapat dilakukan kapan saja dan dimana saja, hal ini didukung dengan adanya infrastruktur Internet yang semakin berkembang. Berbagai aktivitas industri memerlukan fasilitas monitoring jarak jauh (Chaerodin *et al.*, 2011).

### **2.2.2 Motor DC (*Direct Current*)**

Motor DC merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik (Dodot, 2009). Energi mekanik yang dihasilkan berasal dari putaran rotor pada motor tersebut. Satuan dari

putaran motor listrik adalah Rotasi Per Menit (RPM). Pada dasarnya semua motor DC dapat menjadi generator DC dikarenakan keduanya memiliki komponen-komponen yang sama persis. Meskipun demikian, fungsi dari keduanya saling bertolak belakang. Motor listrik berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanis, sedangkan generator berfungsi untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Motor DC dan generator DC sama-sama mengadopsi salah satu hukum fisika terkenal yakni hukum Faraday (Qodari, 2009).

Hukum Faraday menjelaskan adanya fenomena induksi elektromagnetik, mengenai hubungan antara medan magnet, gaya gerak listrik, serta gaya mekanis. Jika ada sebuah kawat yang bergerak sehingga memotong garis gaya magnet, maka akan secara alami terbangkitkan gaya gerak listrik pada kawat tersebut. Fenomena ini yang menjadi prinsip dasar generator DC. Sedangkan jika ada sebuah kawat kumparan beraliran listrik searah sedang berada di tengah-tengah medan magnet, maka kumparan tersebut akan timbul gaya dorong atau yang biasa kita kenal dengan sebutan gaya Lorentz. Fenomena ini menjadi prinsip dasar motor listrik DC bentuk motor DC dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



**Gambar 2.1** Motor DC (Ijat, 2021)

Spesifikasi motor DC yang dipakai pada alat penyimpan energi berbasis *flywheel* ini dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2.1** Spesifikasi motor DC

Nama Nilai	Ukuran Nilai
Nilai tegangan	24 V
Nilai keluar	50 W
Nilai saat ini	3,5 A
Nilai kecepatan	3150 rpm
Nilai torsi	1,9 kgf-cm
Massa	1,9 kg

Gaya elektromagnetik yang bekerja pada konduktor yang membawa arus dalam medan magnet. Gaya tersebut menyebabkan gerakan dan membentuk dasar untuk motor DC yang dapat dilihat pada Persamaan 2.8.

$$F = B I L \quad (2.8)$$

Dengan  $F$  adalah Gaya Lorentz (N),  $B$  adalah Fluks magnetik (Tesla),  $I$  adalah Arus yang mengalir (A), dan  $L$  adalah Panjang konduktor (Mr).

Setelah diketahui nilai elektromagnetik, maka dapat dihitung hubungan antara torsi dan gaya dengan menggunakan Persamaan 2.9.

$$T = F r \quad (2.9)$$

Dengan  $T$  adalah Torsi (Nm),  $F$  adalah Gaya (Newton), dan  $r$  = Jari-jari (m).

Persamaan gerak umum motor DC yang menggabungkan aspek-aspek elektrik dan mekanik dapat dituliskan menggunakan Persamaan 2.10.

$$V_t = (I R) + E \quad (2.10)$$

Dengan  $V_t$  adalah Tegangan Terminal Motor DC (V),  $E$  adalah Tegangan (V),  $I$  adalah Arus yang mengalir (A), dan  $R$  adalah Resistansi internal motor ( $Ohm=\Omega$ ).

### 2.2.3 Baterai

Baterai merupakan salah satu alat penting untuk menyimpan dan mengubah energi berdasarkan prinsip elektrokimia. Jadi, baterai sebenarnya adalah sel elektrokimia. Menurut prinsip kerjanya, sel elektrokimia dibedakan menjadi

dua jenis, yaitu: sel primer dan sel elektrolitik. Sel primer, juga dikenal sebagai sel volta, mengubah energi kimia menjadi listrik, sedangkan sel elektrolitik mengubah energi listrik untuk menggerakkan reaksi kimia yang tidak disengaja. Pada baterai normal, bahan kimia terkandung di dalam perangkat itu sendiri. Jika reaktan disuplai oleh sumber eksternal saat dikonsumsi, perangkat tersebut disebut sel bahan bakar (*fuel cell*). Komponen utama baterai terdiri dari dua bahan penghantar (elektroda) berbeda yang direndam dalam larutan (elektrolit) yang mampu menghantarkan listrik. Salah satu elektroda bermuatan positif dan yang lainnya bermuatan negatif. Ujung elektroda yang menonjol di atas elektrolit disebut terminal positif dan terminal negatif. Dalam penggunaannya, ada baterai yang tidak dapat diisi, dan ada pula yang dapat diisi. Contoh alat baterai ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



**Gambar 2.2** Baterai (Masudi, 2014)

Baterai motor listrik biasanya digunakan untuk menyimpan energi listrik yang akan digunakan oleh motor untuk menggerakkan kendaraan atau peralatan listrik. Kinerja baterai menggunakan persamaan Peukert melibatkan pemahaman bagaimana kapasitas baterai menurun seiring dengan meningkatnya arus pengosongan. Peukert adalah rumus yang digunakan untuk memperkirakan kapasitas efektif baterai berdasarkan tingkat pengosongannya. Persamaan ini menunjukkan bahwa kapasitas tersedia ( $C_p$ ) dapat dihitung dengan menggunakan rumus Persamaan 2.7.

$$k = \frac{\log\left(\frac{C}{T \cdot I}\right)}{\log I} \quad (2.7)$$

Dengan  $C$  adalah kapasitas baterai (Ah),  $I$  adalah arus pengosongan (A),  $k$  = eksponen Peukert, dan  $t$  = waktu pengosongan (menit).

*State of Charge (SoC)* pada baterai dapat diprediksi dengan berbagai cara, yaitu menghitung efek Peukert dan menghitung efisiensi pengisian setiap baterai. Berdasarkan hasil percobaan, energi yang tersimpan pada baterai memiliki kedalaman yang berbeda-beda, sehingga jika mengetahui kondisi baterai sulit untuk menghindari kesalahan. Jika baterai berkualitas baik tidak digunakan sesuai aturan, seperti pengisian daya yang berlebihan, maka akan mempengaruhi masa pakai baterai dan cepat rusak. Kondisi beban yang tidak seimbang dan beban yang melebihi kapasitas dapat menyebabkan baterai cepat rusak (Pambudi *et al.*, 2023).

#### 2.2.4 *Flywheel*

*Flywheel* atau sering disebut roda gila adalah sebuah komponen yang terdapat pada semua kendaraan roda empat. *Flywheel* merupakan sebuah piringan yang beratnya dapat menahan perubahan kecepatan yang drastis sehingga gerak putaran poros mesin menjadi lebih halus. Contoh alat *flywheel* ditunjukkan pada **Gambar 2.3**. Fungsinya hampir sama dengan baterai yang membedakan hanya cara penyimpanannya yang mana pada baterai energi disimpan secara kimiawi sedangkan pada *flywheel* energi disimpan dengan cara memutar porosnya. Untuk dapat menyimpan energi poros *flywheel* harus berputar dengan sangat cepat dengan kecepatan maksimal penggerak utama (Syaikhu, 2010).



**Gambar 2.3** *Flywheel* (Prasetyo, 2017)

Mekanisme penyimpanan energi pada *flywheel* menggunakan prinsip gerak rotasi poros, energi disimpan dalam bentuk energi kinetik rotasi. Besarnya

energi yang tersimpan pada *flywheel* tergantung pada momen inersia dan kecepatannya saat berputar, *flywheel* akan menyimpan energi saat berputar karena dikenai gaya dalam bentuk energi kinetik rotasi dan akan melepaskan energi tersebut saat gaya yang mengenainya berkurang atau dihilangkan.

*Flywheel* dapat berputar sampai puluhan ribu rpm tergantung dari material yang menyusunnya, semakin padat dan keras material suatu *flywheel* semakin bagus karena dengan volume yang kecil massanya semakin besar dan selain itu juga akan semakin tahan jika diputar dengan kecepatan tinggi (Saripudin, 2011). Dari fungsi tersebut dapat dikatakan *flywheel* dapat digunakan untuk menghasilkan energi yang baru dari energi yang sudah terpakai. Kecepatan motor didapat dengan Persamaan 2.1.

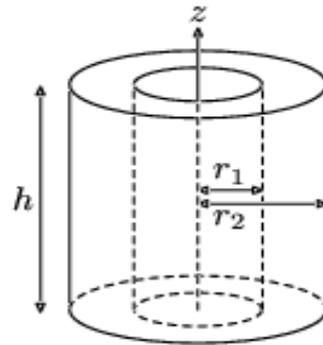
$$v = \frac{120 f}{N_s} \quad (2.1)$$

Dengan  $v$  adalah kecepatan suatu motor (rpm),  $f$  adalah frekuensi (Hz), dan  $N_s$  adalah *pole* (konstanta kelipatan 2-p).

Untuk mengetahui daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh *flywheel* langkah pertama adalah menghitung torsi. Sebelum menghitung torsi, perlu diketahui berapa berat dan jari-jari *flywheel* untuk dapat mengetahui besar momen inersianya. Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung momen inersia sesuai dengan bentuk bendanya (Candra, 2015).

a. Silinder Berongga

Silinder berongga adalah benda geometris yang memiliki bentuk tabung atau silinder dengan ruang kosong di bagian tengahnya, sehingga membentuk sebuah cincin atau lingkaran. Momen inersia adalah ukuran distribusi massa suatu objek terhadap sumbu rotasinya. Momen inersia dari suatu silinder berongga dapat dihitung berdasarkan bentuk dan dimensinya. Contoh silinder berongga ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



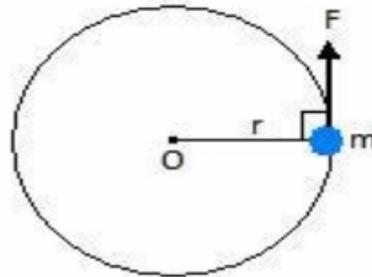
**Gambar 2.4** Silinder Berongga (Candra, 2015)

$$I = mr^2 \quad (2.2)$$

Dengan  $I$  adalah Momen inersia ( $\text{kg/m}^2$ ),  $m$  adalah Massa *flywheel* (kg), dan  $r$  = Jari-jari *flywheel* (m).

b. Silinder Pejal

Silinder pejal adalah benda geometris yang memiliki bentuk tabung atau silinder dengan massa terdistribusi merata di sepanjang seluruh volumenya. Momen inersia adalah ukuran distribusi massa suatu objek terhadap sumbu rotasinya. Contoh silinder pejal ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



**Gambar 2.5** Benda Pejal (Candra, 2015)

$$I = \frac{1}{2}mr^2 \quad (2.3)$$

Dengan  $I$  adalah momen inersia ( $\text{kg/m}^2$ ),  $m$  adalah massa *flywheel* (kg), dan  $r$  = Jari-jari *flywheel* (m).

Setelah diketahui nilai momen inersia sehingga torsi dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.4.

$$\tau = I \alpha \quad (2.4)$$

Dengan  $\tau$  adalah torsi (Nm),  $I$  adalah momen inersia ( $\text{kg.m}^2$ ), dan  $\alpha$  = Percepatan sudut ( $\frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$ ).

Setelah mendapatkan nilai torsi maka dapat dihitung besar daya yang dapat dihasilkan oleh *flywheel* tersebut. Besar daya tersebut dapat diketahui menggunakan Persamaan 2.5.

$$P = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (2.5)$$

Dengan  $P$  adalah Daya yang menghasilkan *flywheel* (W),  $I$  adalah Momen inersia ( $\text{Kg} \cdot \text{m}^2$ ), dan  $\omega$  adalah Kecepatan sudut *flywheel* ( $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ ).

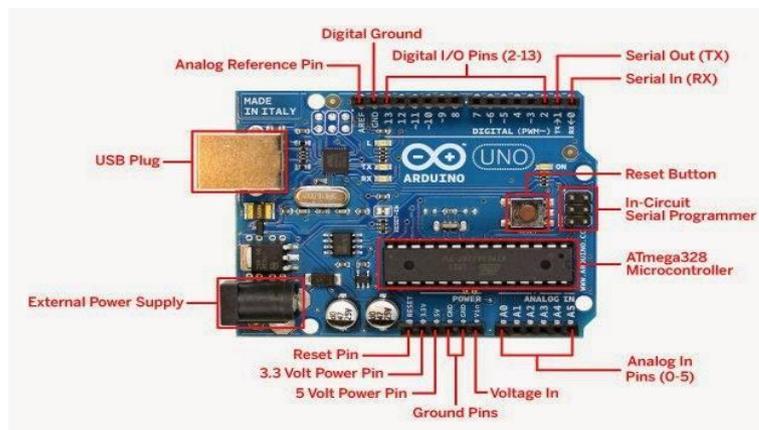
Setelah didapatkan nilai dari daya yang menghasilkan *flywheel* maka dapat diketahui efisiensi yang dihasilkan oleh *flywheel* tersebut menggunakan Persamaan 2.6.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (2.6)$$

Dengan  $\eta$  adalah efisiensi,  $P_{out}$  adalah daya yang keluar (W), dan  $P_{in}$  adalah daya masuk (W).

### 2.2.5 Arduino Uno

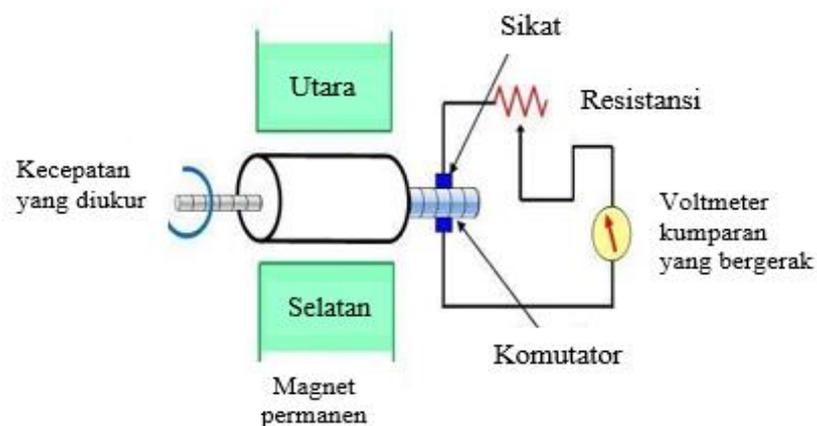
Arduino Uno adalah salah satu produk berlabel yang sebenarnya adalah suatu papan elektronik yang mengandung mikrokontroler nano (sebuah keping yang secara fungsional bertindak seperti sebuah komputer). Piranti ini dapat dimanfaatkan untuk mewujudkan rangkaian elektronik dari yang sederhana hingga yang kompleks. Pengendalian LED hingga pengontrolan sistem dapat diimplementasikan dengan menggunakan papan berukuran relatif kecil ini dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



**Gambar 2.6** Arduino Uno (Nasser, 2022)

### 2.2.6 Tachometer

*Tachometer* adalah alat ukur yang dibuat dan didesain untuk mengukur kecepatan benda yang berputar. Prosedur tachometer adalah menembakkan cahaya inframerah pada bidang reflektif, yang akan memantulkan cahaya inframerah yang diterima oleh detektor (Tunggal *et al.*, 2020). *Tachometer* menggunakan pengukuran kecepatan putaran motor seperti Plante dan Lane yang menyelidiki deteksi kesalahan dan prediksi kegagalan dengan menggunakan analisis getaran dan analisis tanda tangan motor saat ini untuk mendeteksi resistensi motor yang tidak seimbang dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.

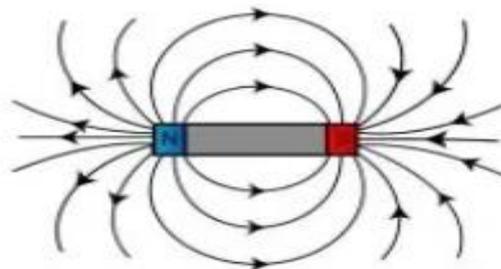


**Gambar 2.7** Alat Tachometer (Tunggal *et al.*, 2020)

Eksperimen monitoring kondisi motor diatur dan kecepatan operasional motor dikontrol oleh penggerak motor AC. Peningkatan resistensi stator motor mempengaruhi kinerja, efisiensi, dan karakteristik tegangan/arus selama pengoperasian generasi terbaru dari penggerak AC PWM yang tidak dimodifikasi dalam berbagai kondisi kecepatan (Lane *et al.*, 2015). *Tachometer* yang digunakan dengan basis *webcam* untuk memperkirakan beban motor induksi di lapangan. Pengukuran kecepatan rotasi merupakan masalah utama di sebagian besar industri untuk kontrol proses, karakterisasi, atau diagnosis kesalahan (Ferreira and Lopes, 2016).

### 2.2.7 Medan Magnet

Percobaan medan magnet induksi dan motor listrik merupakan percobaan yang sangat berkaitan dengan kehidupan sehari-hari. Percobaan medan magnet induksi dan motor listrik perlu dilakukan untuk menentukan kuat medan magnet, momen inersia, dan efisiensi motor listrik. Magnet adalah suatu benda yang dapat menarik benda-benda lain yang berada disekitarnya. Benda-benda yang dapat ditarik oleh magnet merupakan benda yang bersifat magnetik (feromagnetik), seperti besi, nikel, kobalt, dan logam.<sup>5</sup> Pengertian medan magnet dalam ilmu Fisika adalah suatu medan yang dibentuk dengan menggerakkan muatan listrik (arus listrik) yang menyebabkan munculnya gaya di muatan listrik yang bergerak lainnya. Medan magnet dapat ditimbulkan dari kawat berarus listrik. Medan magnet oleh kawat berarus inilah yang dinamakan dengan induksi magnet. Induksi magnetik atau imbas listrik merupakan pembangkitan energi listrik dari medan magnet.<sup>7</sup> Gaya magnet adalah gaya yang disebabkan medan magnet sehingga muatan bergerak dengan kecepatan tertentu. Medan magnet memiliki garis gaya medan magnet, dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.



**Gambar 2.8** Medan magnet pada motor listrik (Aulia, 2020)

Dalam motor listrik, kumparan medan yang dihasilkan adalah medan magnet. Medan magnet ini dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.11.

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{L} \quad (2.11)$$

Dengan  $B$  adalah medan magnet (Tesla),  $\mu_0$  adalah prabilitasme kekosongan,  $N$  adalah jumlah lilitan,  $I$  adalah Arus yang mengalir (A), dan  $L$  adalah panjang efektif kumparan (Meter).

### 2.2.8 Generator

Generator adalah sebuah mesin konversi energi yang dapat mengubah energi gerak menjadi energi listrik dengan memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik dapat dilihat pada **Gambar 2.9**. Sumber energi mekanik yang menggerakkan generator tersebut bermacam-macam.

Struktur generator terdiri dari dua bagian utama, yaitu:

a. Bagian diam (stator)

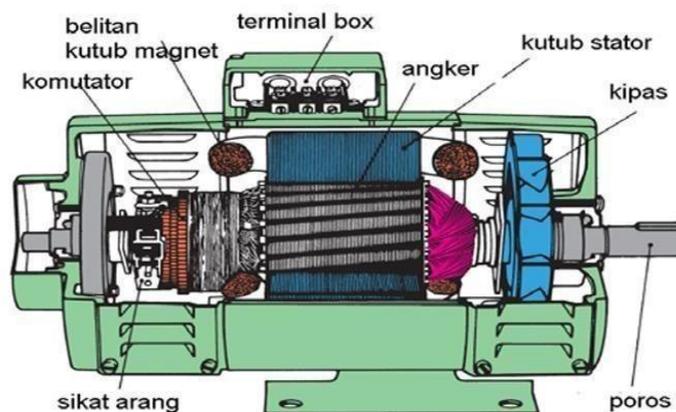
Stator merupakan bagian tetap dari generator dan sering disebut kumparan medan. Stator terdiri dari beberapa putaran kawat berenamel yang dilapisi dengan bahan isolasi. Kumparan atau biasa disebut dengan lilitan merupakan tempat terbentuknya tegangan dan mengalirnya arus. Banyaknya kumparan akan mempengaruhi tegangan keluaran generator.

b. Bagian yang bergerak (rotor)

Rotor adalah bagian generator yang bergerak atau berputar. Bagian rotor ini disusun dengan magnet permanen untuk menghasilkan medan magnet yang diperlukan untuk menghasilkan tegangan. Pada generator kecepatan rendah dan menengah, jenis rotor yang digunakan adalah *salient pole*. Rotor ini akan dihubungkan dengan poros turbin untuk berputar.

c. Celah udara (*Air Gap*)

Antara rotor dan kumparan stator terdapat celah, inilah yang disebut dengan celah udara. Jarak antara rotor dan kumparan ini harus diperhitungkan untuk mendapatkan hasil kerja generator yang optimum (Charles, 1992).



**Gambar 2.9** Generator (Arifsh, 2014)

Percobaan yang dilakukan oleh Faraday, Henry, dan lain telah menunjukkan bahwa jika fluks magnetik yang melalui suatu rangkaian diubah dengan cara apapun, suatu GGL yang sama besarnya dengan laju perubahan fluks yang diinduksikan dalam rangkaiannya. GGL biasanya dideteksi dengan mengamati arus dalam rangkaiannya, tetapi GGL itu tetap ada sekalipun jika rangkaiannya tersambung (tidak tertutup) sehingga tidak ada arus. Dalam pembahasan lain GGL dalam suatu rangkaian telah di lokalisasi dalam daerah khusus rangkaiannya, seperti antar terminal baterai. Akan tetapi, GGL yang diinduksikan oleh fluks magnetik yang berubah dapat dianggap berdistribusi di seluruh rangkaiannya (Tipler, 2001). Hukum Faraday menyatakan bahwa tegangan elektrik imbas  $\varepsilon$  di dalam sebuah rangkaian adalah sama (kecuali tanda negatifnya) dengan kecepatan fluks yang melalui rangkaian tersebut. Jika kecepatan perubahan fluks dinyatakan di dalam weber/detik, maka tegangan gerak elektrik  $\varepsilon$  akan dinyatakan dalam volt. Besarnya GGL induksi (*electromagnetic force*) merupakan perubahan fluks magnetik ( $\Phi_B$ ) dalam selang waktu ( $t$ ) sehingga dapat dinyatakan pada Persamaan 2.12.

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (2.12)$$

Dengan  $\varepsilon$  adalah GGL induksi (V),  $\Phi_B$  adalah fluks magnetik (W/m<sup>2</sup>), dan  $t$  adalah waktu (detik).

Tanda negatif pada Persamaan (2.13) merupakan pernyataan dari Hukum Lenz yang menjelaskan bahwa GGL induksi selalu membangkitkan arus yang medan magnetnya berlawanan dengan asal perubahan fluks (Giancoli, 2001). Jika Persamaan (2.13) diberlakukan pada sebuah solenoida yang terdiri dari  $N$  lilitan, maka sebuah tegangan gerak elektrik akan muncul dalam setiap lilitan sehingga tegangan gerak elektrik totalnya merupakan penjumlahan dari setiap lilitan, sehingga diperoleh Persamaan 2.13.

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = - \frac{d(N\Phi_B)}{dt} \quad (2.13)$$

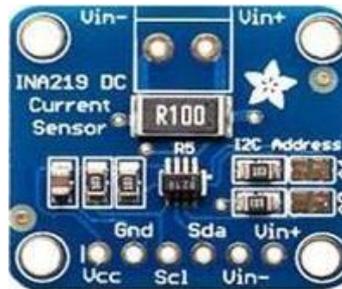
Dengan  $\varepsilon$  adalah GGL induksi (V),  $\Phi_B$  adalah fluks magnetik (W/m<sup>2</sup>),  $t$  adalah waktu (detik), dan  $N$  adalah jumlah lilitan.

Dengan  $N\phi_B$  menyatakan nilai tautan fluks (*fluks linkages*) di dalam solenoida,  $N$  menyatakan jumlah lilitan dan  $\phi_B$  menyatakan fluks magnetik (Purwanto, 2020).

### 2.2.9 Sensor INA219

INA219 adalah Salah satu sensor yang dapat digunakan untuk mengukur arus dan daya pada mikrokontroler. Konsumsi arus dan daya pada mikrokontroler menjadi salah satu pertimbangan apabila mikrokontroler digunakan sebagai instrumen pada data logger. (Jalaludin and Pangaribowo, 2021). Pengukuran arus, tegangan dan daya mikrokontroler dilakukan menggunakan sensor INA219 yang telah dirangkai menjadi sistem perangkat keras dan telah kalibrasi (Refly and Kusuma, 2022).

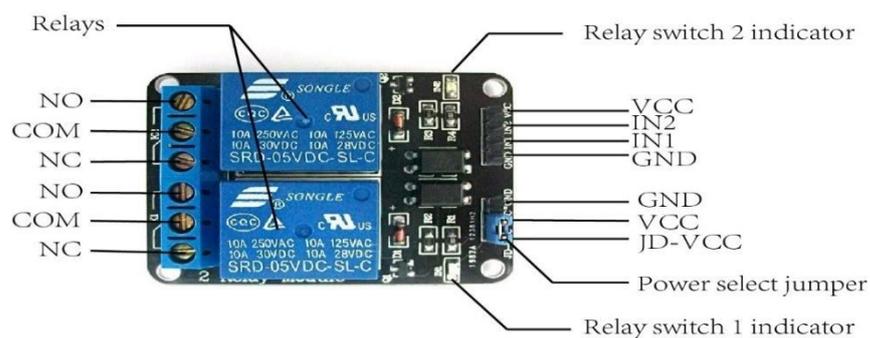
Sensor INA219 mengukur arus DC hingga 26 V/3,2 A dengan akurasi kesalahan maksimum 2%. Sensor ini dapat melacak perkembangan waktu tegangan dan arus pada ujung kapasitor (Hadi *et al.*, 2021). Sensor INA219 berfungsi sebagai komponen utama dalam sistem ini, yang bertanggung jawab untuk mengukur Tegangan (V), Arus (A), dan daya (P). Hasil pengukuran ditampilkan pada monitor serial aplikasi Arduino IDE. Kemudian, hasil untuk setiap jenis menjalani proses kalibrasi dan validasi. INA219 menghasilkan penurunan tegangan pada input  $V_{in+}$  dan  $V_{in-}$ , mengarahkannya ke resistor internal. Pada saat yang sama, tegangan  $V_{in}$  yang terhubung ke GND berfungsi sebagai parameter yang menentukan besarnya nilai tegangan. Pada  $V_{in+}$  dan  $V_{in-}$  mewakili tegangan analog dari beban, yang memerlukan konversi ke digital menggunakan ADC internal sensor INA219. Selain itu, koneksi yang tepat dari semua pin ground, sangat penting untuk mencegah kesalahan pengukuran. Contoh sensor INA219 dapat dilihat pada **Gambar 2.10**.



**Gambar 2.10** INA219 (Prasetyawati, 2023)

### 2.2.10 Relay 2 Channel

Modul *relay* adalah perangkat yang beroperasi berdasarkan prinsip elektromagnetik dan menggunakan listrik untuk memindahkan kontaktor dari posisi *ON* ke posisi *OFF* dan sebaliknya. Buka tutupnya kontaktor ini disebabkan oleh efek induksi magnet yang berasal dari kumparan induksi listrik. Perbedaan yang paling mendasar antara *relay* dan saklar adalah bahwa *relay* beralih dari posisi *ON* ke *OFF* (Mendrofa *et al*, 2023). *Relay* menggunakan Prinsip Elektromagnetik untuk menggerakkan Kontak Saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang tegangan lebih tinggi. Sebagai contoh, dengan *Relay* yang menggunakan Elektromagnet 5V dan 50 mA mampu menggerakkan *Armature Relay* (yang berfungsi sebagai saklarnya) untuk menghantarkan listrik 220V 2A (Daulay, 2018). Gambar dari *Relay 2 Channel* dapat dilihat pada **Gambar 2.11**.



**Gambar 2.11** Relay 2 Channel (Daulay, 2018)

### 2.2.11 Modul Micro SD

Untuk mengatasi tantangan ini, penelitian ini menyelidiki pendekatan yang praktis dan efisien di mana perangkat penyimpanan data dilengkapi pada papan

sistem drive. Secara khusus, kami menggunakan *Micro Secure Digital Card* (*Micro SD Card*) sebagai perangkat penyimpanan karena biayanya yang murah, ukurannya yang ringkas, dan kompatibilitasnya dengan MCU kontrol motor, yang diperoleh hanya dengan menggunakan perangkat SPI dan GPIO. Selain itu, sistem penyimpanan *onboard* berbasis *Micro SD Card* ini memiliki keuntungan untuk digunakan bahkan di lingkungan pabrik yang keras dan sempit. Namun demikian, kelemahan penting dari *Micro SD Card* adalah lamanya waktu penulisan, yang dapat mencapai beberapa milidetik. Untuk mengatasi keterbatasan ini, kami memanfaatkan dan mengimplementasikan algoritma *double-buffering* dengan memanfaatkan arsitektur *multi-core* MCU (Jalaludin and pangaribowo, 2021). Gambar dari *Micro SD* dapat dilihat pada **Gambar 2.12**.



**Gambar 2.12** Micro SD (Jalaludin and pangaribowo, 2021).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai dengan bulan November 2024. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan meliputi perancangan alat, pengujian sistem monitor, perancangan aplikasi, pengambilan data dan analisis hasil. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika Dasar, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Jadwal pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

**Tabel 3.1** Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No.	Kegiatan	Bulan			
		Juni	Juli	Agustus	September
1.	Perancangan Alat	■	■		
2.	Penelitian Alat		■	■	
3.	Pembuatan Alat		■	■	■
4.	Pengambilan Data			■	■
5.	Analisis Hasil				■

#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

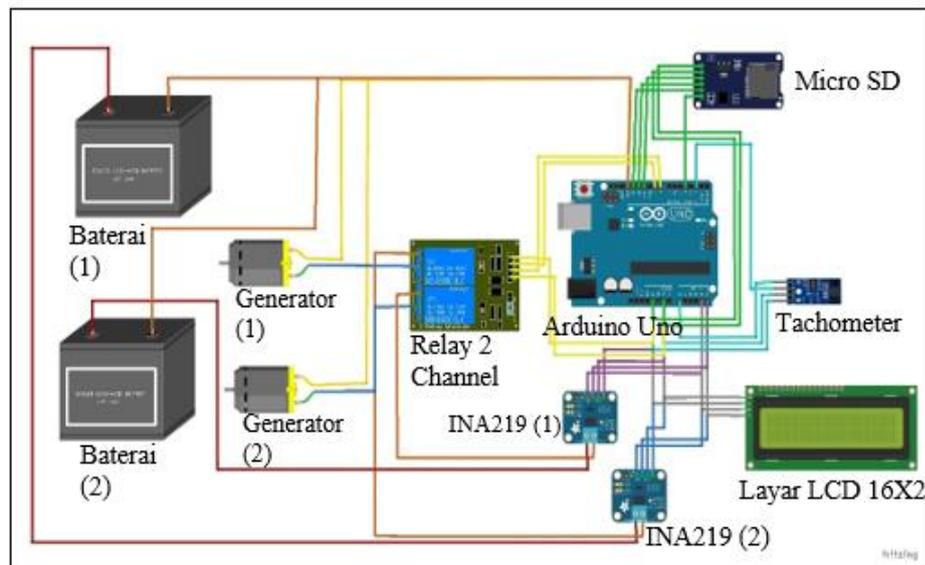
Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan penelitian dapat dilihat pada **Tabel 3.2**.

**Tabel 3.2** Alat dan Bahan Penelitian

No.	Nama	Fungsi
1.	<i>Flywheel</i>	Menyimpan energi melalui momentum rotasi dan mengeluarkan energi beban mekanik pada piston dan menjaga kestabilan perputaran mesin.
2.	<i>Pillow Block</i>	Menjadi tumpuan benda kerja yang bergerak maupun berputar agar sumbu perputaran benda kerja tersebut lebih ringan.
3.	Arduino	Memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang.
4.	Rantai	Menyalurkan daya penggerak dari mesin ke roda belakang.
5.	Generator	Agar tidak mudah kehabisan energi listrik dan sebagai cadangan pasokan listrik.
6.	Baterai	Mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.
7.	<i>Tachometer</i>	Menghitung kecepatan rpm <i>flywheel</i> .
8.	Gear 14T	Membantu menggerakkan bagian roda belakang dan menghubungkan mesin motor.
9.	Sensor INA219	Mengukur 2 parameter sekaligus yaitu tegangan (V) dan arus (A).
10.	Relay 2 Channel	Menghubungkan atau memutus aliran listrik ke perangkat yang terhubung berdasarkan sinyal yang dikirim dari mikrokontroler.
11.	LCD 16x2 (I2C)	Menampilkan informasi dalam bentuk teks.
12.	<i>Micro SD</i>	media penyimpanan eksternal untuk menyimpan berbagai jenis data yang dihasilkan atau dikumpulkan oleh sensor dan komponen lain.
13.	Kartu Memori	media penyimpanan eksternal yang memungkinkan pengguna untuk menyimpan data dalam berbagai format

### 3.3 Perancangan Perangkat

Pada metodologi penelitian mengumpulkan beberapa referensi yang terkait dengan objek yang digunakan dan mempelajari dasar-dasar teori pada penelitian yang digunakan dan mempelajari dasar - dasar teori pada penelitian tugas akhir ini yaitu dengan pemilihan komponen – komponen merupakan tahapan awal dari proses perancangan alat sistem monitoring *flywheel*. Pada tahap ini, semua komponen yang digunakan pada penelitian ini mulai dirakit sesuai dengan desain dan rancangan yang telah dibuat. Tahap ini merupakan tahap terakhir dari perancangan generator listrik *flywheel*, dilakukan rancangan alat sistem monitoring untuk pengisian daya baterai menggunakan sumber *flywheel*. Skema rancang bangun alat ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



**Gambar 3.1** Desain Diagram Sistem Monitoring

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data uji daya dari tegangan dan arus yang dikeluarkan oleh sistem *flywheel* serta untuk mendapatkan data uji dari sensor *optocoupler* dengan satuan rpm. Penelitian ini menggunakan *flywheel* dengan beban 7 kg yang bertujuan untuk menyimpan energi melalui momentum rotasi dan mengeluarkan energi beban mekanik pada piston, menjaga stabilitas perputaran mesin. *Flywheel* menggunakan ukuran 7 kg dikarenakan jika ingin hasil putaran yang dihasilkan memiliki kestabilan yang baik dengan berat *flywheel* ukuran 7 kg – 50 kg sesuai ukuran beban besar dan ukuran mesin yang akan digunakan. Penelitian ini juga menggunakan sensor *tachometer* untuk

mengatur kecepatan rpm *flywheel* dan juga menggunakan pengisian daya baterai untuk menghitung jangka waktu habis energi serta waktu yang dibutuhkan untuk pengisian daya baterai.

### 3.4 Pengujian Sensor INA219

Tahap pengujian alat dapat dilakukan untuk mengetahui sensor INA219 telah bekerja dengan baik dan menghitung tegangan, arus dan daya sesuai dengan pengukuran. Selanjutnya LCD 16x2 berfungsi untuk menampilkan perintah yang sedang dijalankan. Hasil pembacaan sistem berbeda dengan hasil pembacaan alat ukur terstandarisasi. Dari hasil pengujian tersebut dapat dihitung nilai akurasi untuk menganalisis keakuratan dari sistem. Nilai akurasi dapat dihitung menggunakan rumus Persamaan 3.1.

$$Akurasi = 100 - (N_m - N_a) \quad (3.1)$$

Dengan  $N_m$  adalah Hasil Pembacaan Sensor dan  $N_a$  adalah Hasil Pembacaan Alat Ukur.

### 3.5 Pengujian Sensor Tachometer

Tahap pengujian alat dapat dilakukan untuk mengetahui sensor *Tachometer* DT-2234C+ telah bekerja dengan baik dan menghitung kecepatan rpm sesuai dengan pengukuran. Selanjutnya LCD 16x2 berfungsi untuk menampilkan perintah yang sedang dijalankan.

### 3.6 Pengisian Baterai

Pengisian baterai dengan menggunakan *flywheel* untuk meningkatkan kecepatan pengisian. Saat pengisian *flywheel* untuk mengisi baterai, hal ini tidak dilakukan secara langsung dengan *flywheel*, namun digunakan untuk menyimpan energi kinetik dan membantu menstabilkan putaran mesin, bukan sebagai sumber tenaga langsung untuk mengisi baterai. Pengisian baterai motor listrik dilakukan melalui tenaga yang diperoleh dari putaran *flywheel* yang berputar pada kecepatan tinggi maupun kecepatan rendah. Proses pengujian sistem pengisian akan mencatat data tegangan dan perubahan baterai. Voltmeter dihubungkan secara paralel pada baterai, dan data yang diperoleh berupa

perubahan tegangan dan arus pada saat pengisian. Pada proses pengisian, voltmeter dihubungkan ke baterai sehingga dapat melihat tegangan yang diisi baterai, mengambil data hingga baterai tidak lagi terisi.

Data daya dari proses pengisian baterai dapat dinyatakan dengan Persamaan 3.2.

$$P = V I \quad (3.2)$$

Dengan  $P$  adalah Daya (W),  $V$  adalah Tegangan (V),  $I$  adalah Arus (A).

Dengan menggunakan rumus diatas maka kita akan memperoleh hasil untuk menentukan berapa lama proses pengisian pada baterai dan dapat menentukan berapa banyak baterai yang terisi jika dengan menggunakan putaran pada *flywheel*. Hasil data dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

**Tabel 3.3** Data Pengisian Baterai

Waktu (menit)	Pengisian Baterai			Persentase Baterai (%)
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	

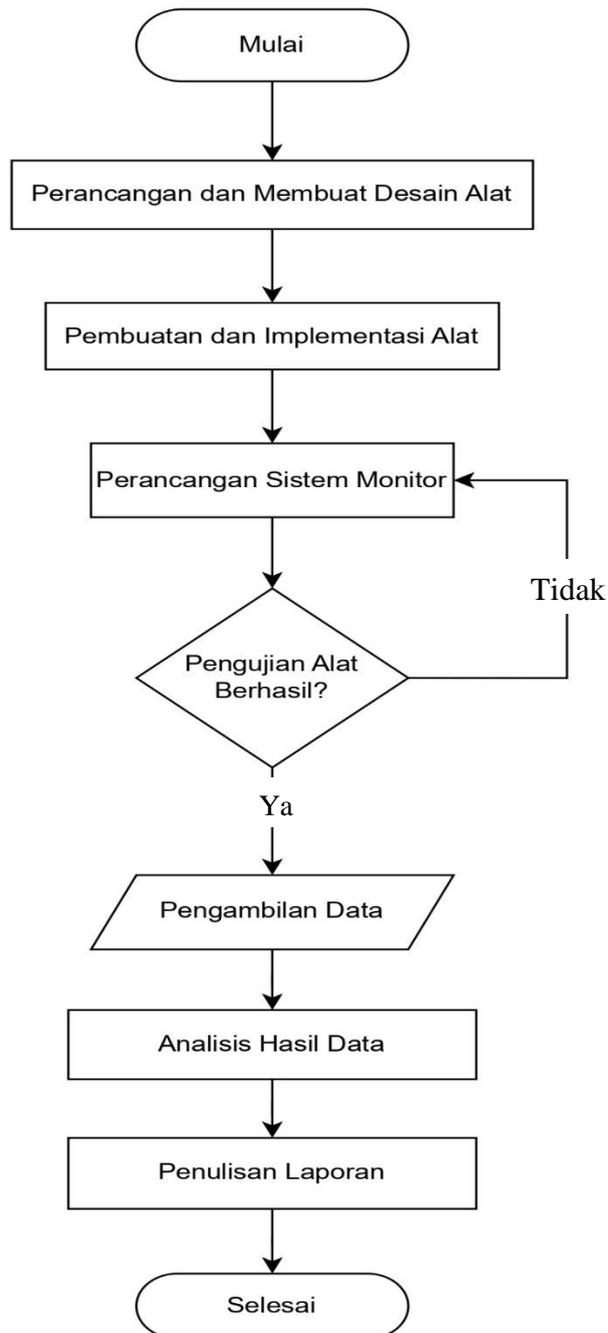
Setelah mendiskusikan Data Pengisian Baterai dalam **Tabel 3.3**. Maka, dapat dilanjutkan dengan mengisi Data Pengosongan Baterai dalam **Tabel 3.4**.

**Tabel 3.4** Data Pengosongan Baterai

Waktu (menit)	Pengan Baterai			Persentase Baterai (%)
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	

### 3.7 Prosedur Penelitian

Pembuatan perangkat ini terdapat beberapa tahapan yang dilakukan yaitu perancangan perangkat, pengujian kerja alat, dan pengambilan data pengukuran. Langkah – langkah yang dilakukan pada pembuatan perangkat ditunjukkan dalam diagram alir penelitian pada **Gambar 3.2**.



**Gambar 3.2** Diagram Alir Penelitian

## V. SIMPULAN

### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dari pembahasan dari penelitian ini maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Alat sistem monitoring pengisian otomatis pada baterai berhasil direalisasikan dengan menggunakan sensor INA219 dan multimeter Zotek ZT-98, yang mampu mengukur arus dan tegangan dengan akurasi tinggi sebanyak 97%, dan nilai *error* tidak 3%.
2. Sistem monitoring kecepatan yang dirancang untuk pengisian baterai menggunakan *flywheel* terbukti efektif dalam memantau dan mengatur proses pengisian dan pengosongan baterai, kemudian pengisian mencapai tegangan maksimal 12V dalam waktu 14 menit dan menunjukkan interaksi yang signifikan dalam pengukuran tegangan dan arus secara *real-time*.

### 5.2 Saran

Saran untuk pengembangan lebih lanjut adalah mengembangkan fungsi tambahan dalam sistem monitor, seperti integrasi dengan aplikasi seluler atau dasbor *online* sehingga pengguna dapat memantau status pengisian dan pengosongan baterai dari jarak jauh secara *real-time*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariyadi, M. (2023). Komparasi Akurasi Sensor INA219, PZEM-004T Dan MAX471 Dalam Mengukur Arus Dan Tegangan Panel Surya Berbasis Internet Of Things. *Skripsi*. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat
- Arifsh, G., (2014). *Generator dan Motor DC*. diakses pada tanggal 29 November 2023. <https://Arifsh2009.wordpress.com/2014/11/02/generator-dan-motor-dc/>. Pukul 13.20.
- Asmaleni, P., D.Hamdani, dan I. (2020). Sakti, Pengembangan Sistem Kontrol Kipas Angin dan Lampu Otomatis Berbasis Saklar Suara Menggunakan Arduino Uno, *Jurnal Kumparan Fisika*, 3(1):59-66.
- Aulia, P., (2020). *Medan magnet pada motor listrik*. diakses pada tanggal 29 November 2023. [https://roboguru.ruangguru.com/question/perhatikan-gambar-di-bawah-gambar-tersebut-menunjukkan-sebuah-motor-listrik-dc-usulkan\\_QU-7OPA462N](https://roboguru.ruangguru.com/question/perhatikan-gambar-di-bawah-gambar-tersebut-menunjukkan-sebuah-motor-listrik-dc-usulkan_QU-7OPA462N). Pukul. 11.48.
- Candra, M., (2015). Nilai momen inersia. Diakses pada tanggal 12 Desember 2023. <https://brainly.co.id/tugas/30481811>. Pukul 13.34.
- Charles, Kingsley,. (1992). *Electric Machinery*, Singapura: McGraw Hill Book.
- Chaerodin, A., Santoso, I., & Isnanto, R. R. (2011). Sistem Monitoring Suhu Berbasis Web Dengan Akuisisi Data Melalui Port Paralel Pc (Doctoral dissertation, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik). *Skripsi*. Universitas Diponegoro.
- Cummins M., A. P. Rachmawan, I. M. Ariana, dan I. Gerianto. (2014). Analisa Pengaruh Flywheel dan Firing Order Terhadap Proses Kerja Mesin Diesel. *Jurnal Teknik Sistem Perkapalan*. 1(1):1-6.
- Daulay, N. K. (2018). Desain Sistem Pengurusan Dan Pengisian Air Kolam Pembenihan Ikan Secara Otomatis Menggunakan Arduino Dengan Sensor Kekeruhan Air. *Jurnal Khatulistiwa Informatika*, 6(1):1-8.

- Dodot, M., (2009). Motor Listrik Arus Bolak-balik. Diakses 18 Desember 2023. [Http://masdodod.files.wordpress.com/2009/03/02-bab-05-motor-listrik-ac](http://masdodod.files.wordpress.com/2009/03/02-bab-05-motor-listrik-ac). Pukul 16.00.
- Ferreira. J. T. E. F and Lopes. J. P. F. (2016). Webcam-based tachometer for in-field induction motor load estimation. *Jurnal IEEE Xplore*. 3:2380–2388.
- Giancoli, D. C. (2001). *Fisika jilid 2*. Jakarta: Erlangga
- Hadi, M, El., Ouariach, A., Essaadaoui, R., Moussaouy, A, El., & Mommadi, O. (2021). RC time constant measurement using an INA219 sensor: creating an alternative, flexible, low-cost configuration that provides benefits for students and schools. *Physics Education*, 4(56):15-45.
- Hamid, R. M., Rizky, R., Amin, M., & Dharmawan, I. B. (2016). Rancang Bangun Charger Baterai Untuk Kebutuhan UMKM. *Jurnal Teknologi Terpadu (JTT)*. 2(4):130-136.
- Ijat, S., (2021). *Apa itu Motor DC*. diakses pada tanggal 29 November 2023. <https://www.dictio.id/t/apa-itu-motor-dc/160379>. Pukul. 15.33.
- Jalaludin, C., & Pangaribowo, T. 2021. Optimasi Daya Keluaran Pada Solar Panel Dengan Metode Tracking Berbasis Internet Of Things. *Jurnal Teknologi Elektro*. 1(12):6-11.
- Julpardi. J. (2019). Analisis Efektivitas Pemanfaatan Flywheel Sebagai Baterai Mekanis Pada Turbin Angin Savonius. *Jurnal Teknol. Rekayasa Tek. Mesin (JTRAIN)*. 1(1):2-5.
- Kim, S. J., Hayat, K., Nasir, S. U., & Ha, S. K. (2014). Design and fabrication of hybrid composite hubs for a multi-rim flywheel energy storage system. *Composite structures*. 107:19-29.
- Lane M., Ashari D., Gu F., and Ball A. D. (2015). Investigation of motor current signature analysis to detect motor resistance imbalances. *Jurnal Conference on Automation and Computing (ICAC)*. 2:1–4.
- Malik, S. (2005). *Enterprise dashboards: design and best practices for IT*. John Wiley & Sons Book.
- Masudi, N. (2014). Desain Controller Motor Bldc Untuk Meningkatkan Performa (Daya Output) Sepeda Motor Listrik. Surabaya. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Mendrofa, A. K., Naiborhu, A. A., & Amelia, A. (2023). Rancang Bangun Sistem Keamanan Pada Sepeda Motor Menggunakan Fingerprint Berbasis Internet Of Things (IoT). *Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP)*. 1(4):522-532.

- Muchtar, T., & Dimas, A. (2022). Power Monitoring System Design on 3 Phase Electric Motor. *JEAT: Journal of Electrical and Automation Technology*, 1(1), 30-39.
- Muzawi, R., Tashid, T., & Nasution, M. (2019). Sistem Monitoring Ketersediaan Bahan Baku Cor Beton Menggunakan Metode Market Basket Analysis. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, 1(2), 1–7.
- Nasser, Pasang, H., G. A., Hay, S., & Zulkaidah, W. (2022). Monitoring suplai Listrik Berbasis SMS Gateway Bandara Halu Oleo. *Piston: Jurnal Teknologi*. 1(7):46-56.
- Olatomiwa, L., Mekhilef, S., Ismail, M. S., & Moghavvemi, M. (2016). Energy management strategies in hybrid renewable energy systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62:821-835.
- Pambudi, W. S., Firmansyah, R. A., Suheta, T., & Wicaksono, N. K. (2023). Analisis Penggunaan Baterai Lead Acid dan Lithium Ion dengan Sumber Solar Panel. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 11(2), 392.
- Pramanda, D., & Aswardi, A. (2020). Sistem Kendali Kecepatan Motor DC Berbasis Arduino dengan Metode Open Loop. *Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional (JTEV)*. 1(6):187-198.
- Prasetyo, ID (2017). Analisis Performa Flywheel. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia
- Prasetyawati, F. Y., Harjunowibowo, D., Fauzi, A., Utomo, B., & Harmanto, D. (2023). Calibration and Validation of INA219 as Sensor Power Monitoring System using Linear Regression. *AIUB Journal of Science and Engineering (AJSE)*, No.22, Vol.3, Hal.240-249.
- Purwanto, E. (2020). Pemodelan motor listrik induksi sebagai generator magnet permanen rpm rendah. *Skripsi*. Palangkaraya: Institut Agama Islam Negeri Palangkaraya.
- Putranto, J., Saidatin, N., Maulana, H. S., & Patriawan, D. A. (2023). Analisis Ekperimental Sistem Kontrol Otomatis pada Pengisian Air Bei Rangkaian Close Loop dan Open Loop. *Prosiding SENASTI TAN: Seri Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*. 3:2-4.
- Qodari M. (2009). Motor DC dan Generator DC. *Skripsi*. Departemen Pendidikan Joint Program Malang Teknik Elektro.
- Refly, S., & Kusuma, H. A. (2022). Analisis Konsumsi dan Fluktuasi Arus dan Daya pada Mikrokontroler Menggunakan Sensor INA219. *Jurnal Sustainable: Jurnal Hasil Penelitian dan Industri Terapan*.1(11):44-48.

- Ruslim, R., Herianto, W., dan Santoso, H. (2021). Perancangan Pembangkit Listrik Alternatif Dengan Memanfaatkan Flywheel Sebagai Penyimpan Energi Berdaya 1000 Watt. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*. 2(19):181-192.
- Saputra, E., Kabib, M., & Nugraha, B. S. (2019). Rancang bangun sistem kontrol debit air pada pompa paralel berbasis arduino. *Jurnal crankshaft*. 1(2):73-80.
- Sariuddin M, Suradi. (2011). Analisa Pengaruh Berat Roda Gila (Flywheel) terhadap Akselerasi Kendaraan. Skripsi. Teknik Universitas Islam Makassar.
- Sebastián, R., & Alzola, RP (2012). Sistem penyimpanan energi roda gila: Tinjauan dan simulasi untuk sistem tenaga angin terisolasi. *Tinjauan Energi Terbarukan dan Berkelanjutan*. 9(16):6803-6813.
- Somantri, N. T., Rizqi, S., Winanti, N., & Nurjaman, D. F. (2023). Akuisisi Data pada Sistem Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Berbasis Jaringan Sensor Nirkabel (JSN). *TELKA-Jurnal Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, 9(1), 9-21.
- Syaikhu, A, M,. (2010). Studi Aplikasi Flywheel Energi Storage Untuk Meningkatkan Dan Menjaga Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (pltmh). *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Tipler, Paul. A. (2001). *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 2*, alih bahasa Bambang Soegiono, Jakarta : Erlangga.
- Tunggal TP, Kirana LA, Arfianto AZ, Helmy ET, & Waseel, F. (2020). Perancangan tachometer kontak dan non kontak menggunakan mikrokontroler. *Jurnal Robotika dan Kontrol (JRC)*. 3(1):65-69.
- Ulum, M. A., & Haryudo, S. I. (2020). Perancangan Sistem Monitoring Kecepatan Putar Motor DC Berbasis Internet Of Things Menggunakan Aplikasi BLYNK. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(1):1-7.
- Zain, F. N., Martawati, M. E., & Rohman, F. (2023). Pengembangan Sistem Monitoring Kapasitas Baterai Kendaraan Listrik Berbasis Internet of Things. *Jurnal Aplikasi Dan Inovasi Ipteks SOLIDITAS*, 6(1), 92-97.