

**DESAIN DAN PERANCANGAN SISTEM MEKANIK UNTUK  
OPTIMALISASI PENGGUNAAN ENERGI PADA MOTOR LISTRIK DAN  
PENGISIAN TEGANGAN PADA SISTEM *DUAL BATTERY*  
MENGUNAKAN *FLYWHEEL***

(Skripsi)

Oleh

**Taris Wulan Sari KA**

**2017041038**



**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2024**

## **ABSTRAK**

### **DESAIN DAN PERANCANGAN SISTEM MEKANIK UNTUK OPTIMALISASI PENGUNAAN ENERGI PADA MOTOR LISTRIK DAN PENGISIAN ARUS PADA SISTEM *DUAL BATTERY* MENGGUNAKAN *FLYWHEEL***

Oleh

**Taris Wulan Sari KA**

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data kecepatan putaran *flywheel* yang efisien dan optimal untuk mengisi baterai dan meningkatkan kecepatan pengisian daya pada *dual battery*. Memaksimalkan tegangan dan arus yang dihasilkan oleh kecepatan *flywheel* dan generator. Proses pengisian adalah Proses pengisian baterai adalah memasukkan energi listrik ke baterai dari sumber eksternal, yang disimpan sebagai energi kimia, dan berhenti saat baterai penuh dan pengosongan baterai adalah Proses pengosongan baterai adalah pelepasan energi listrik yang disimpan untuk menggerakkan beban hingga daya habis. Pengisian dan Pengosongan menunjukkan bahwa selama pengisian, tegangan meningkat dari 12,13 V menjadi 12,91 V, sementara arus menurun dari 1,7 A menjadi 0,61 A dalam 180 s. Sebaliknya, selama pengosongan, tegangan menurun dari 12,20 V menjadi 11,20 V, dan arus meningkat dari 0,96 A menjadi 1,29 A. Efisiensi energi dalam proses pengisian dan pengosongan baterai menunjukkan nilai yang sangat rendah, yaitu sebesar 1,3%. Selama proses pengisian, hanya 1,3% energi yang diberikan berhasil tersimpan secara efektif, sementara sisanya hilang sebagai energi panas atau bentuk energi lain. Begitu pula pada proses pengosongan, hanya 1,3% energi yang dilepaskan dimanfaatkan secara efektif, dengan sebagian besar energi hilang. Rendahnya efisiensi ini mengindikasikan bahwa baik proses pengisian maupun pengosongan baterai tidak sepenuhnya optimal

**Kata Kunci :** *Flywheel*, Generator, Motor Listrik, Efisiensi.

## ***ABSTRACT***

### **DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MECHANICAL SYSTEM FOR OPTIMIZING ENERGY USE IN ELECTRIC MOTORS AND CURRENT CHARGING IN A DUAL BATTERY SYSTEM USING A FLYWHEEL**

**By**

**Taris Wulan Sari KA**

This research aims to determine the efficient and optimal rotational speed of the flywheel for charging batteries and enhancing the charging speed of the dual battery system. The focus is on maximizing the voltage and current generated by the flywheel and generator speed. The battery charging process involves inputting electrical energy from an external source into the battery, which is stored as chemical energy, and ceases when the battery is full. Conversely, the battery discharging process entails the release of stored electrical energy to drive a load until the energy is depleted. The charging and discharging data indicate that during charging, the Voltage increases from 12.13 V to 12.91 V, while the current decreases from 1.7 A to 0.61 A over 180 seconds. In contrast, during discharging, the Voltage decreases from 12.20 V to 11.20 V, and the current increases from 0.96 A to 1.29 A. The energy efficiency in the charging and discharging process of the battery is remarkably low, at only 1.3%. During the charging process, only 1.3% of the supplied energy is effectively stored, while the rest is lost as heat or other forms of energy. Similarly, in the discharging process, only 1.3% of the released energy is utilized effectively, with most of the energy being wasted. This low efficiency indicates that both the charging and discharging processes of the battery are far from optimal.

**Keywords:** Flywheel, Generator, Electric Motor, Efficiency.

**DESAIN DAN PERANCANGAN SISTEM MEKANIK UNTUK  
OPTIMALISASI PENGGUNAAN ENERGI PADA MOTOR LISTRIK DAN  
PENGISIAN TEGANGAN PADA SISTEM *DUAL BATTERY*  
MENGUNAKAN *FLYWHEEL***

Oleh

**TARIS WULAN SARI KA**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai

Gelar Sarjana SAINS

Pada

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam



**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2024**

Judul Skripsi : **DESAIN DAN PERANCANGAN SISTEM MEKANIK  
UNTUK OPTIMALISASI ENERGI PADA MOTOR  
LISTRIK DAN PENGISIAN TEGANGAN PADA  
SISTEM *DUAL BATTERY* MENGGUNAKAN  
*FLYWHEEL***

Nama Mahasiswa : **Taris Wulan Sari KA**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2017041038**

Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I



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

Pembimbing II



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

2. Ketua Jurusan



**Arif Surtono, 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.**



.....

Anggota

: **Drs. Amir Supriyanto, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**  
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **3 Desember 2024**

## PERNYATAAN

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 diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 3 Desember 2024



**Taris Wulan Sari KA**

NPM. 2017041038

## RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama Taris Wulan Sari KA dilahirkan di Kotabumi, Kabupaten Lampung Utara pada tanggal 20 Januari 2002. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara, putri dari pasangan Bapak Andi Imron dan Ibu Kendi Surini. Penulis pernah menempuh pendidikan di TK Islam Ibnurusyd tahun 2007 - 2008, kemudian melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SD Islam Ibnurusyd pada tahun 2008 – 2014 setelah lulus penulis melanjutkan pendidikan di MTsN 1 Lampung Utara pada tahun 2014-2017. Setelah lulus penulis melanjutkan pendidikannya di SMA 3 pada tahun 2017-2020. Setelah menyelesaikan 12 tahun wajib belajar, penulis memasuki jenjang pendidikan tinggi di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung (Unila) dengan mengambil konsentrasi dalam bidang Energi Fisika. Selama menjalani pendidikan tersebut, Penulis juga aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) selama dua periode, pada tahun 2021 sebagai anggota kaderisasi dan pada tahun 2022 sebagai seretaris umum Himafi.

Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Kementerian Energi Baru Terbarukan (EBTKE), Jakarta Pusat. Penulis juga memenuhi salah satu kewajiban dari tridharma perguruan tinggi yaitu pengabdian kepada masyarakat atau Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Sukajaya Lempasing , Kec. Teluk Pandan, Kab. Pesawaran, Provinsi Lampung. Pengalaman menulis ilmiahnya yakni laporan PKL pada tahun 2022 dengan judul “Analisis Performa PLTS Atap di Direktorat Jenderal EBTKE Jakarta Pusat”.

## MOTTO

**“BERANI KELUAR DARI ZONA NYAMAN ADALAH KEBERANIAN TERBESAR”**

-Taris Wulan Sari KA-

**“JANGAN PERNAH BERPUTUS ASA DAN SELALU UCAPKAN KATA SYUKUR SETIAP APA YANG SEDANG KITA HADAPI”**

-Mama-

**“JANGAN PERNAH TAKUT UNTUK MENCOBA, DAN JANGAN PERNAH TAKUT UNTUK GAGAL KARNA KITA TIDAK TAU HAL BAIK APA YANG SEDANG MENUNGGU KITA”**

-Bapak-

**“TIDAK ADA YANG TIDAK MUNGKIN, YANG TIDAK MUNGKIN LALAH KAKI MENJADI KEPALA DAN KEPALA MENJADI KAKI”**

-Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si.,M.T-

**“SESUNGGUHNYA ALLAH TIDAK AKAN MENGUBAH KEADAAN SUATU KAUM HINGGA MEREKA MERUBAH KEADAAN YANG ADA PADA DIRI MEREKA SENDIRI”**

-Q.S Ar Rad;11-

## **PERSEMBAHAN**

**Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT,  
Karya ini di persembahkan kepada:**

**Kedua Orang Tua Tercinta  
Bapak Andi Imron & Mama Kendi Surini**

Saya persembahkan skripsi ini kepada Bapak Andi Imron dan Mama Kendi Surini yang selalu memberikan ketenangan, kenyamanan, motivasi, doa terbaik, dan menyisihkan finansialnya, sehingga saya bisa menyelesaikan masa studi saya dan tanpa lelah sudah mendukung semua keputusan dan pilihan dalam hidup saya serta tidak pernah putus mendoakan saya. Kalian sangat berarti bagi saya.

### **Adik Adik Tercinta**

Terima kasih selama ini kalian selalu memberikan semangat, menghibur, dan selalu mengkhawatirkan keadaan saya. Saya berharap setiap upaya dan pencapaian dalam skripsi ini dapat menjadi persembahan dan wujud terima kasih kakak dan rasa sayang kepada kalian bertiga.

### **Keluarga Besar M. Hadin dan Sudirman Family**

Dalam momen-momen suka dan duka, kalian selalu, menguatkan, memahami, dan mencintai tanpa syarat. terima kasih telah berbagi canda, tawa, dan tangisan bersama. Saya berharap setiap upaya dan pencapaian dalam skripsi ini dapat menjadi persembahan dan wujud terkecil dari rasa terima kasih dan cinta yang mendalam dari lubuk hati saya.

### **Pasangan, Sahabat dan Teman Seperjuangan**

Dengan penuh rasa terima kasih, saya ingin mengucapkan bahwa setiap langkahku dalam penulisan skripsi ini tidak akan pernah selesai tanpa kehadiran kalian.

**Almamaterku Tercinta  
UNIVERSITAS LAMPUNG**

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis ucapkan atas karunia dan kesempatan yang Allah SWT berikan hingga akhirnya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Desain dan Perancangan Sistem Mekanik untuk Optimalisasi Energi pada Motor Listrik dan Pengisian Tegangan pada Sistem *Dual Battery* Menggunakan *Flywheel*”**. Adapun tujuan dari penulisan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 dan juga melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas, dan inovatif dalam penulisan karya ilmiah ini.

Penulis menyadari adanya kekurangan dalam penelitian maupun penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, adanya kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan untuk memperbaiki kekurangan tersebut. Semoga skripsi ini dapat menambah wawasan literasi keilmuan serta rujukan untuk mengembangkan riset selanjutnya yang lebih baik.

Bandar Lampung, 3 Desember 2024

Penulis

Taris Wulan Sari KA  
NPM. 2017041038

## SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan atas karunia dan kesempatan yang Allah SWT berikan hingga akhirnya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Desain dan Perancangan Sistem Mekanik untuk Optimalisasi Energi pada Motor Listrik dan Pengisian Tegangan pada Sistem *Dual Battery* Menggunakan *Flywheel*”. Berhasilnya penelitian dan penulisan skripsi ini tidak hanya dilakukan oleh penulis sendiri namun adanya kontribusi beberapa pihak yang turut menyukseskan dan membuat hasil karya ini menjadi lebih baik. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah ikut serta membantupenulis, diantaranya:

1. Bapak Andi Imron dan Mama Kendi Surini selaku orang tua penulis atas semua upaya, doa, dan cinta serta memenuhi kebutuhan untuk menyelesaikan masa studi yang telah kalian berikan selama ini telah menjadi pendorong utama kesuksesan saya. Semoga apa yang saya capai dapat menjadisumber kebanggaan bagi kalian.
2. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan ilmu serta masukannya dalam pelaksanaan penelitian dalam penulisan skripsi dan selalu menyemangati, memberi nasehat kepada saya.
3. Ibu Dr. Yanti Yulianti S.Si.,M.Si selaku Dosen Pembimbing II atas segala ilmu, saran dan bimbingannya selama pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi
4. Bapak Drs. Amir Supriyanto M.Si. selaku dosen penguji dan selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan masukan sehingga penulisan skripsi ini dapat lebih baik.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
6. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M. Eng., sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNILA.
7. Seluruh staff kependidikan akademik Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung

8. Kepada Adik-adik tercinta saya KGS. Tristan Nugraha KA, Tantri Novianka dan Tasya Saida Veronika, terima kasih karna telah menghibur, memberikan semangat, doa, dukungan dan sudah membuat penulis bahagia dalam pengerjaan skripsi ini.
9. Keluarga Besar M.Hadin dan Sudirman terima kasih karna semua pencapaian yang saya raih dalam skripsi ini adalah berkat doa dan dukungan kalian semua. Terimakasih sudah memberikan dukungan. Keberadaan keluarga sebagai teladan dan pendorong utama bagi pencapaian saya.
10. Untuk Ihsan Maulana Ahmad terima kasih untuk waktu, tenaga, momen suka duka, selalu ada disamping penulis, terima kasih sudah banyak membantu dan doa untuk keberhasilan skripsi yang penulis buat.
11. Untuk Sahabatku Vivi Nuraisyah Putri, Rahmatunnisa, Rini Oktari, dan Dina Arisanti Azzahra, Haliza Dian Pertiwi dan Nabila Sakinah T terima kasih sudah menemani penulis selama ini, berbagi suka duka, mendengarkan, memberi saran, selalu menemani penulis dan memberikan doa kepada penulis.
12. Teman seperjuanganku Mutiara Maharani, Sophia Yanti, Siti Roniah, dan Bella Ari Setianingrum. saya bersyukur karna dipertemukan kalian diperkuliahan ini, yang selalu memotivasi, menghibur penulis untuk selalu semangat dalam pengerjaan skripsi ini
13. Serta berbagai pihak yang telah ikut serta membantu baik dalam secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini.

Bandar Lampung, 3 Desember 2024

Penulis,

**Taris Wulan Sari KA**

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>PERNYATAAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>vii</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>xiii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	3
I.3 Tujuan Penelitian .....	4
I.4 Manfaat Penelitian .....	4
I.5 Batasan Masalah .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
1.1 Penelitian Terkait .....	5
2.2 Landasan Teori .....	8
2.2.1 <i>Flywheel</i> .....	8
2.2.2 Analisis <i>Flywheel</i> .....	11
2.2.3 Motor DC.....	12

2.2.4 Bagian-Bagian Motor DC.....	13
2.2.5 Prinsip Kerja Motor DC.....	14
2.2.6 Baterai.....	16
2.2.7 Roda Gigi.....	19
2.2.8 Bentuk Roda Gigi.....	20
<b>III. METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	23
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	23
3.3 Prosedur Penelitian.....	24
3.4 Rancangan Penelitian.....	25
3.5 Pengujian Kestabilan Pada Putaran <i>Flywheel</i> .....	27
3.6 Pengukuran Kecepatan dan Tegangan pada <i>Flywheel</i> .....	27
3.7 Analisis Pengisian dan Pengosongan Baterai Pada Sistem <i>Flywheel</i> .....	28
3.8 Efisiensi Energi Pengisian dan Pengosongan Baterai.....	30
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil Penelitian.....	32
4.1.1 Perancangan Alat.....	32
4.1.2 Pemasangan Komponen Utama pada Kerangka.....	34
4.1.3 Pengujian dan Analisis Data.....	35
4.1.4 Kecepatan dan Tegangan <i>Flywheel</i> .....	36
4.1.5 Kecepatan dan Tegangan Motor Listrik.....	37
4.1.6 Kecepatan dan Tegangan Generator.....	39
4.1.7 Pengisian dan Pengosongan Baterai.....	41
4.1.8 Efisiensi Energi.....	44
4.1.9 Energi Kinetik Pada <i>Flywheel</i> .....	47
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> <i>Flywheel</i> (Abrianto,2021) .....	8
<b>Gambar 2.2</b> Motor DC (Vadiska, 2015) .....	12
<b>Gambar 2.3</b> Bagian-Bagian Motor DC (Setiawan,2017).....	13
<b>Gambar 2.4</b> Rangkaian ekivalen Motor DC .....	15
<b>Gambar 2.5</b> Baterai (Sularso, 2018) .....	17
<b>Gambar 2.6</b> Roda Gigi (Abriyanto, 2021) .....	20
<b>Gambar 2.7</b> Bagian - Bagian Roda Gigi (Fathul, 2018) .....	22
<b>Gambar 2.8</b> Bagian - Bagian <i>Circular pitch (Pc)</i> , <i>pitch of diameter (Pd)</i> (Nidum, 2017) .....	23
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir .....	24
<b>Gambar 3.2</b> Desain Pengisian Tegangan Motor Listrik <i>Dual Baterai</i> .....	25
<b>Gambar 4.1</b> Realisasi Kerangka (1. Kerangka, 2. <i>Flywheel</i> , Besi as, 4. Rantai) .....	32
<b>Gambar 4.2</b> Kopel Pengisian Arus .....	33
<b>Gambar 4.3</b> Finishing pengisian arus (1. Motor Listrik, 2. Poros Putar, 3. Baterai).....	34
<b>Gambar 4.4</b> Proses pengujian Pengisian dan Pengosongan Baterai .....	35
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Kecepatan terhadap Tegangan.....	36
<b>Gambar 4.6</b> Grafik Kecepatan terhadap Tegangan Motor Listrik .....	38
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Kecepatan terhadap Tegangan Generator .....	40
<b>Gambar 4.8</b> Grafik Pengisian Tegangan dan Arus Pada Baterai .....	43
<b>Gambar 4.9</b> Grafik Pengosongan Tegangan dan Arus Pada Baterai .....	43
<b>Gambar 4.10</b> Grafik Efisiensi Energi.....	47

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 3. 2</b> Alat dan Bahan Penelitian .....	23
<b>Tabel 3.3</b> Kecepatan Dan Tegangan <i>Flywheel</i> .....	27
<b>Tabel 3.4</b> Tegangan Pengisian dan Pengosongan Baterai .....	28
<b>Tabel 3.5</b> Efisiensi Energi Pengisian dan Pengosongan Baterai .....	29
<b>Tabel 4 1</b> Pengukuran Kecepatan <i>Flywheel</i> .....	35
<b>Tabel 4 2</b> Kecepatan dan Tegangan Motor Listrik .....	37
<b>Tabel 4 3</b> Kecepatan dan Tegangan Generator .....	39
<b>Tabel 4 4</b> Pengisian dan Pengosongan Baterai .....	41
<b>Tabel 4 5</b> Grafik Efisiensi Energi Baterai .....	45
<b>Tabel 4 6</b> Energi Kinetik Pada <i>Flywheel</i> .....	49

## I. PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

*Flywheel* sangat diperlukan dalam bidang teknologi dan industri untuk meratakan fluktuasi dalam kecepatan putaran pada suatu mesin generator dan membantu meningkatkan efisiensi pada penggunaan energi. *Flywheel* biasanya digunakan untuk menjaga konsistensi energi pada sistem yang membutuhkan pemeliharaan kestabilan putaran atau untuk menyimpan energi sementara dari sumber-sumber energi seperti tenaga kinetik yang menggunakan putaran *flywheel*. Dengan kemampuannya untuk menyimpan dan melepaskan energi dengan efisien, *flywheel* terus menjadi komponen dalam meningkatkan kinerja berbagai sistem mekanis dan aplikasi energi. (Masnur, 2021). *Flywheel Energy Storage System* (FESS) mampu meningkatkan daya input dari 1.100 watt menjadi 1.760 watt dalam waktu kurang dari 1 menit. Penelitian tentang FESS telah didesain untuk menyimpan energi secara mekanis pada rotor *flywheel* yang berputar, memungkinkan pengambilan keluaran sebagai listrik (Syofiadi, 2022).

*Flywheel* terdiri dari dua bagian, yaitu mesin pembangkit dan sistem suplai cadangan untuk motor. Untuk menjaga kestabilan mesin pembangkit, digunakan motor induksi satu fasa yang terhubung dengan *flywheel*, dan generator AC satu fasa yang terhubung dengan *flywheel* juga. Prinsip kerjanya adalah mengkonversi energi dari energi mekanik (energi gerak) yang disimpan dalam *flywheel* dan meneruskannya ke generator sehingga menjadi energi listrik, sementara motor induksi satu-fasa pada *flywheel* menerima suplai induksi (Ariffaiuddin & Budijono, 2018).

Pada pengisian baterai yang menggunakan energi kinetik dengan metode pengisian baterai menggunakan *flywheel*, terdapat beberapa metode pengisian alternatif jika menggunakan putaran *flywheel* memiliki efisiensi yang lebih tinggi dalam mengkonversi energi pada baterai saat proses pengisian, baterai dapat menghemat waktu lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan teknologi pengisian lainnya. Terdapat keterbatasan dalam seberapa banyak daya yang dapat dihasilkan atau disimpan dalam baterai dibandingkan pengisian baterai dengan menggunakan putaran pada *flywheel* (Ibnu & Samsul, 2017). Pengosongan baterai menggunakan generator motor DC dapat menjadi bagian integral dari proses ini, di mana energi yang tersimpan dalam baterai dikonversi menjadi energi mekanik oleh motor DC yang berfungsi sebagai generator. Pada konteks sistem *dual battery*, baterai utama bertanggung jawab untuk menyediakan daya pada kendaraan, sementara baterai tambahan digunakan untuk memasukkan energi pada sistem tambahan, memperpanjang waktu penggunaan sebelum baterai utama terkuras sepenuhnya. Integrasi sistem *dual battery* memungkinkan distribusi beban yang lebih baik dan memastikan ketersediaan daya untuk fungsi kritis kendaraan (Mutaqqin *et al.*, 2017).

Sistem *dual battery*, konsep ini dapat diaplikasikan dengan menggunakan baterai pertama sebagai sumber daya utama untuk fungsi dasar kendaraan, sementara baterai kedua dimanfaatkan untuk kebutuhan listrik tambahan seperti lampu eksternal, peralatan listrik, atau sistem audio. Generator motor DC dapat membantu mengisi ulang baterai kedua saat baterai pertama digunakan untuk menjalankan fungsi utama kendaraan, sehingga memastikan pasokan daya tambahan tetap terjaga tanpa mengganggu fungsi *starter* dan daya dasar kendaraan. Pengosongan baterai menggunakan sistem *dual battery* dapat melibatkan penggunaan baterai utama untuk menjalankan kendaraan dan baterai tambahan untuk menyediakan daya pada sistem tambahan, sementara memastikan baterai utama tetap dalam kondisi yang baik (Lai *et al.*, 2017).

Pengosongan baterai dengan menggunakan generator motor DC merupakan proses di mana energi yang tersimpan dalam baterai dikonversi menjadi energi mekanik

oleh motor DC yang berfungsi sebagai generator. Proses ini umumnya terjadi ketika baterai digunakan untuk menyuplai daya pada motor DC, yang kemudian diubah menjadi generator ketika digunakan untuk mengisi ulang baterai atau memberikan daya ke sistem lain. Ketika baterai memberikan daya pada motor DC, energi kimia dalam baterai diubah menjadi energi listrik yang menggerakkan motor. Saat motor DC bekerja sebagai generator, energi mekanik yang dihasilkan oleh motor tersebut dikonversi kembali menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk mengisi ulang baterai atau menyuplai daya ke beban lain (Baker, 2018). Proses ini dapat menjadi bagian dari sistem pengisian baterai pada kendaraan listrik atau sistem penyimpanan energi yang terintegrasi. Generator motor DC digunakan untuk mengambil energi dari baterai, mengubahnya menjadi energi mekanik, dan kemudian mengubahnya kembali menjadi energi listrik untuk mengisi ulang baterai atau menyuplai daya ke peralatan atau sistem lainnya (Saputra *et al.*, 2016).

Penelitian ini merancang desain sistem mekanik dan sistem pengisian tegangan untuk Sistem *Dual Battery* menggunakan *Flywheel* untuk mengoptimalkan waktu yang dibutuhkan dalam pengisian baterai dengan memanfaatkan kecepatan *flywheel*. Akan dilakukannya pengujian stabilitas putaran *flywheel*, daya kecepatan, torsi pada putaran *flywheel*, pengukuran kecepatan putaran (RPM), serta waktu pengisian baterai dengan sistem *dual baterai* dan durasi baterai saat digunakan.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, rumusan masalah yang membatasi aspek utama dalam melakukan penelitian ini antara lain adalah:

1. Bagaimana cara merancang sistem mekanik untuk mengoptimalkan pengisian baterai menggunakan *flywheel*?
2. Bagaimana cara menentukan daya output dalam merancang sistem optimasi dengan menggunakan *flywheel assembly*?
3. Bagaimana cara mengetahui waktu yang diperlukan untuk pengisian baterai dengan mempertimbangkan kecepatan putaran *flywheel*?
4. Bagaimana cara menghitung waktu yang dibutuhkan untuk mengosongkan baterai dengan menggunakan motor DC penggerak?

### **I.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini antara lain adalah:

1. Mendapatkan data kecepatan putaran *flywheel* yang efisien dan optimal untuk mengisi baterai.
2. Meningkatkan kecepatan pengisian daya pada *dual battery*.

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

Manfaat penelitian ini antara lain adalah:

1. Membantu efisiensi penggunaan energi secara keseluruhan, mengurangi pemborosan energi, dan meningkatkan kinerja sistem dan membantu penghematan listrik untuk pengisian baterai pada motor listrik.
2. Desain ini menghasilkan pengisian yang lebih efisien dan meningkatkan kapasitas penyimpanan energi pada sistem baterai ganda.
3. Pengembangan teknologi yang lebih ramah lingkungan dan menggunakan sumber energi yang lebih berkelanjutan melalui penggunaan energi yang lebih efisien.

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

Manfaat penelitian ini antara lain adalah :

1. Menggunakan *flywheel* tipe *assy* L3000.
2. Pengisian baterai dilakukan dengan menggunakan kecepatan putaran pada *flywheel*.
3. Pengosongan pada baterai hanya dengan menggunakan penggerak motor DC.
4. Menggunakan *dual baterai* agar mengetahui perbandingan antara baterai satu yang menggunakan kecepatan putaran terus menerus pada *flywheel*, dan menggunakan kecepatan yang rendah.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terkait

Sakura *et al.*, (2017) melakukan penelitian tentang perencanaan pembangkit listrik berbasis *flywheel* (roda gila) ganda (*dual flywheel based power plant planning*). *Flywheel energy storage system* merupakan salah satu yang bisa dikembangkan, dengan adanya energi kinetik yang dimiliki pada roda gila memungkinkan untuk menaikkan kapasitas penyediaan energi. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan menguji pembangkit energi. Metode perencanaan adalah metode perhitungan elemen mesin. Berdasarkan hasil perhitungan perencanaan didapatkan kecepatan sudut pada roda gila sebesar 181,42 rad/s, torsi sebesar 4,28 nm dan energi kinetik sebesar 5.825 Joule. Daya perencanaan didapatkan sebesar 2,086 kW dan putaran poros generator sebesar 1.733 RPM. Perhitungan perbandingan *pulley* motor listrik dan roda gila sebesar 1,3 dan perbandingan *pulley flywheel*.

Untuk mengetahui ukuran sabuk-V yang digunakan dapat dihitung dengan membagi panjang sabuk ( $L$ ) yang didapatkan dibagi dengan satuan sabuk. Satu angka sabuk = 1 inchi atau 25,4 mm. Panjang sabuk yang didapatkan dari hasil perhitungan adalah 1,080 mm (motor listrik ke *flywheel*) dan 1,134 mm (*flywheel* ke generator) atau sabuk berukuran A-43 dan A-45. Kecepatan keliling/linear motor listrik dan roda gila didapatkan sebesar 9 m/s dan 7 m/s, gaya keliling motor listrik pada roda gila sebesar 23,1 kg dan *flywheel* generator 31 kg. Tegangan sabuk motor listrik 57,93 kg<sup>2</sup> dan 62,87 kg/cm<sup>2</sup>, jumlah putaran sabuk motor listrik sebesar 8,5

per detik dan generator 6,1 per detik. Hasil perhitungan perencanaan pembangkit listrik berbasis *flywheel* didapatkan 4 kecepatan sudut *flywheel* ( $\omega$ ) sebesar 181,42 rad/s, momen inersia 0,35 kg/m<sup>2</sup>, torsi 4,28 nm, energi kinetik 5.825 Joule. Perbandingan putaran motor listrik yang memakai roda gila sebesar 1,3 dan generator 1, ukuran V Belt motor listrik *flywheel* adalah A-43 dan *flywheel* generator A-45. Tangko *et al.*, (2021) melakukan penelitian tentang analisis pembangkit listrik berbasis *flywheel*. Pada pembangkit listrik berbasis *flywheel* dilakukan pengujian berupa putaran, daya pembangkitan generator dalam keadaan tanpa beban maupun keadaan berbeban, dan waktu yang dibutuhkan pembangkit ini untuk bertahan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan sistem pembangkit listrik berbasis dengan menggunakan roda gila pada kondisi tanpa suplai cadangan untuk motor dalam keadaan generator tanpa beban hanya mampu membangkitkan daya maksimum sebesar 860,1 W selama 22 s. Hal ini disebabkan tidak adanya suplai cadangan untuk motor sehingga dapat mengakibatkan terjadinya pengereman regeneratif pada generator. Kemampuan sistem pembangkit listrik berbasis *flywheel* pada kondisi tanpa suplai cadangan untuk motor dalam keadaan generator berbeban hanya mampu membangkitkan daya maksimum sebesar 708,75 W selama 18 s, hal ini menunjukkan dengan pemberian beban pada generator kemampuan pembangkit ini membangkitkan sembarain singkat. Rugi-rugi total pada pembangkit listrik berbasis *flywheel* adalah sebesar 2.817,87 W dengan efisiensi 30 %.

Ruslim, (2021) melakukan penelitian tentang perancangan pembangkit listrik alternatif dengan memanfaatkan roda gila sebagai penyimpan energi berdaya 1 kW. Pembangkit listrik yang berbasis *free energy* menjadi solusi alternatif dalam mencukupi ketersediaan energi listrik. *Free energy* merupakan metode pemanfaatan energi tanpa menggunakan bahan bakar. Salah satu yang dikembangkan adalah *flywheel* generator. Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem pembangkit listrik dengan pemanfaatan roda gila sebagai penyimpan energi.

Serta menghitung dan menganalisis daya pada roda gila. Penelitian dengan menggunakan simulator turbin angin *savonius prototype* menunjukkan bahwa roda gila yang digunakan memiliki momen inersia sebesar  $0,00121 \text{ kg.m}^2$ , dalam penggunaan roda gila menghasilkan kelebihan energi dengan persentase peningkatan rata-rata yaitu sebesar 58,0475% dan efisiensi dengan penggunaan roda gila di setiap penambahan beban tertinggi yaitu sebesar 0,004010%. Dalam penelitian ini mengukur daya serap motor penggerak ketika diberi pembebanan menunjukkan bahwa dalam penggunaan roda gila dapat menghemat penggunaan sumber daya listrik untuk suplai ke motor penggerak, di mana tanpa penggunaan roda gila daya serap motor penggerak 1.808 W, sedangkan dalam penggunaan roda gila daya serap motor hanya dibutuhkan 1.333 W dengan beban alternator yang sama, dikarenakan dalam penggunaan roda gila motor penggerak mendapatkan bantuan energi dari sehingga motor tidak perlu mengeluarkan yang tenaga besar.

Arifin, (2018) melakukan penelitian tentang rancang bangun *prototype* alat untuk meningkatkan energi listrik alternatif menggunakan *flywheel* generator. Rekayasa ini bertujuan untuk mengetahui kinerja *Free Energy Flywheel* Generator dalam menghasilkan energi listrik alternatif. Metode yang digunakan dalam rekayasa ini adalah rekayasa uji coba dengan analisis deskriptif kualitatif. Uji karakteristik kinerja alat ini meliputi putaran RPM roda gila 2.200 RPM dengan motor listrik 1 Hp, alternator 2.500 W dengan beban *dummy load* (alat listrik). Rekayasa ini dapat meningkatkan energi listrik alternatif menggunakan *flywheel* generator dengan massa 80 kg, putaran 2.200 RPM menggunakan penggerak 1 *handphone*, mampu meningkatkan energi listrik PLN 1.100 W menjadi 1.760 W dalam waktu kurang lebih dalam 1 menit.

Razali & Stephan., (2017) melakukan penelitian tentang rancang bangun mesin pembangkit listrik tanpa BBM berkapasitas 3 kW dengan memanfaatkan putaran roda gila. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan suatu konsep efisiensi daya meningkat, menstabilkan tegangan keluaran generator dan mulai proses pembangkit listrik. Proses pembuatan mesin aplikasi *flywheel* generator mulai dari perancangan mekanik roda gila, mencari jumlah rotasi per menit dari generator

dengan percobaan, menemukan elemen mesin yang menggunakan (poros, bantalan dan roda gila), nilai *output* generator. Diperlukan maksimal 2,5 kW - 3 kW dengan 3.000 RPM yang diberikan motor listrik. Massa roda gila 60 kg x 2 kg dan daya *output* maksimum dari generator 3 kW. Hasil pengujian kecepatan rotasi RPM *flywheel* yang dihasilkan sesuai dengan rancangan sebesar 1.450 RPM, kecepatan rotasi RPM *flywheel* yang dihasilkan sebesar 1.450 RPM diubah menjadi 3.000 RPM melalui perubahan diameter *pulley*, alat ini memiliki output daya listrik yang 2 kali lipat lebih besar dari input nya.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 *Flywheel*

*Flywheel* atau sering disebut roda gila adalah sebuah komponen yang terdapat pada semua kendaraan roda empat. Roda gila merupakan sebuah piringan yang karena beratnya dapat menahan perubahan kecepatan yang drastis sehingga gerak putaran poros mesin menjadi lebih halus. Fungsinya hampir sama dengan baterai yang membedakan hanya cara penyimpanannya yang mana pada baterai energi disimpan secara kimiawi sedangkan pada roda gila energi disimpan dengan cara memutar porosnya. Untuk dapat menyimpan energi poros roda gila harus berputar dengan sangat cepat sesuai dengan kecepatan maksimal penggerak utama. Roda gila menyimpan energi dalam massa yang berputar. Tergantung pada inersia dan kecepatan massa berputar, sejumlah energi kinetik disimpan sebagai energi rotasi (Syahfitri & Amin, 2023).



**Gambar 2. 1** *Flywheel* (Abriyanto,2021).

Fungsi roda gila pada mesin sama persis dengan fungsi gunung pada bumi. Ketika roda gila ini mengalami sedikit saja retakan pada permukaannya, maka putaran mesin menjadi tidak seimbang dan mempengaruhi *output* yang dihasilkan, dan bahkan ketika roda gila mengalami pengurangan massa baterai gesekan antar material atau sebab lain, maka keseimbangan pada mesin menjadi terganggu dan dapat menimbulkan getaran paksa pada mesin, baterai selain minimnya *output* yang dihasilkan karena putaran yang tidak teratur juga bisa menimbulkan getaran yang besar. Apabila kecepatan berkurang energi akan dilepaskan oleh *flywheel* dan bila kecepatan bertambah energi akan disimpan dalam *flywheel* (Alvianto *et al.*, 2021).

Mekanisme penyimpanan energi pada roda gila menggunakan prinsip gerak rotasi poros, energi disimpan dalam bentuk energi kinetik rotasi. Besarnya energi yang tersimpan pada roda gila tergantung pada momen inersia dan kecepatannya saat berputar, maka 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. Sebuah *flywheel* bisa berputar sampai puluhan ribu tergantung dari material yang menyusunnya, sementara itu padat dan keras material suatu poros roda gila akan bagus karena dengan volume yang kecil massanya sembarain besar dan selain itu juga akan tahan jika diputar dengan kecepatan tinggi. Dari fungsi tersebut dapat dikatakan roda gila digunakan untuk menghasilkan energi yang baru dari energi yang sudah terpakai (Rahmawati & Fajri, 2019).

Untuk mengetahui daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh roda gila langkah pertama adalah menghitung torsi. Sebelum menghitung torsi, perlu diketahui berapa berat dan jari-jari pada roda gila untuk dapat mengetahui besar momen inersianya. Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung momen inersia sesuai dengan bentuk bendanya. Roda gila biasanya terbuat dari baja dan berputar pada bantalan (*bearings*) konvensional, dan ini umumnya terbatas pada tingkat revolusi kurang dari 1.000 RPM. Beberapa roda gila modern terbuat dari bahan serat karbon dan menggunakan bantalan magnet, memungkinkan roda gila untuk berputar pada kecepatan sampai 60.000 RPM. Roda gila sering digunakan untuk menyediakan

energi yang terus menerus dalam sistem dimana sumber energi tidak kontinyu. Dalam kasus tersebut, dapat menyimpan energi ketika torsi diterapkan oleh sumber energi, dan melepaskan energi yang tersimpan ketika sumber energi tidak menerapkan torsi untuk itu. Misalnya, roda gila yang digunakan untuk mempertahankan kecepatan sudut konstan dalam mesin piston. Dalam hal ini, roda gila yang dipasang pada *crankshaft* menyimpan energi ketika torsi yang diberikan pada roda gila oleh piston yang sedang bergerak, dan melepaskan energi ke beban mekanik bila tidak ada piston yang menghasilkan daya (Truong *et al.*, 2017).

Ada dua jenis manfaat dari penggunaan *flywheel* :

1. Mesin sejenis pres pelubang, dimana operasi pelubangan dilakukan secara berkala. Energi diperlukan dalam sesaat dan hanya selama operasi pelubangan. Untuk kebutuhan seperti ini ada 2 pilihan yaitu :
  - a. Memakai satu motor besar yang mampu memberikan energi saat diperlukan.
  - b. Memakai satu motor kecil dan satu roda gila, dimana motor dapat memberikan energi secara berangsur-angsur selama waktu pelubangan tidak dilakukan.
2. Mesin sejenis mesin uap atau motor bakar, dimana energi disuplai ke mesin dengan laju yang hampir konstan. Jika sebuah motor menggerakkan sebuah generator listrik, maka kecepatan yang berubah-ubah, apalagi untuk sistem penerangan (Nurhadi, 2018).

Energi yang tersimpan dalam roda gila kemudian digunakan untuk menghitung dimensinya, fluktuasi energi yang digunakan untuk mencari berat roda gila, Untuk mencari fluktuasi berat pada roda gila menggunakan fluktuasi energi ( $\Delta E$ ), Massa *flywheel* ( $m$ ), Jari-jari ( $r$ ) dan kecepatan sudut ( $\omega$ ) dengan persamaan (2.1).

$$\Delta E = \frac{m}{g} r^2 \omega^2 C \quad (2.1)$$

Massa *flywheel* dapat dihitung menggunakan Massa *flywheel* ( $m$ ), Luas penampang *flywheel* ( $A$ ), Jari-jari ( $r$ ), Massa jenis bahan *flywheel* ( $\rho$ ) dengan persamaan (2.2).

$$W = A 2\pi r \rho \quad (2.2)$$

Daya dari motor mesin harus mampu menggerakkan *flywheel* itu sendiri, menggunakan daya untuk menggerakkan *flywheel* ( $P$ ), torsi ( $\tau$ ), kecepatan sudut ( $\omega$ ) dengan persamaan (2.3).

$$P = \tau \omega \quad (2.3)$$

Torsi dihitung dengan menggunakan Torsi ( $\tau$ ), momen inersia ( $I$ ), Percepatan ( $\alpha$ ) dengan persamaan (2.4).

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

Sedangkan untuk menentukan momen inersia, menggunakan momen inersia ( $I$ ), massa *flywheel* ( $m$ ), jari-jari ( $r$ ), gaya gravitasi ( $g$ ) dengan persamaan (2.5).

$$I = \frac{W}{g} r^2 \quad (2.5)$$

Energi disimpan secara mekanik di roda gaya dengan memutar porosnya sementara pada baterai biasa energi disimpan secara kimiawi. Roda gaya dapat menyimpan energi dengan cara memutarnya pada suatu tempat dimana gesekan yang terjadi relatif kecil. Untuk dapat menyimpan energi yang bermanfaat, roda gaya berputar sangat cepat. Jika energi yang tersimpan di roda gaya akan digunakan, sebuah generator dapat mengubah energi mekanik tersebut menjadi energi listrik berfungsi seperti layaknya baterai, roda gaya dapat diisi (*charged*) selama waktu beban listrik rendah dan melepaskan energi tersebut saat beban puncak. Dengan fungsi tersebut, roda gaya dapat menghemat biaya energi bagi pemiliknya (Panther & Chad, 2018).

### 2.2.2 Analisis *Flywheel*

Energi yang tersimpan dalam *flywheel* kemudian digunakan untuk menghitung dimensi *flywheel*. Untuk mencari kecepatan sudut ( $\omega_1$ ), putaran poros *flywheel* ( $n$ ) dengan persamaan (2.6).

$$\omega_1 = \frac{2\pi n}{60} \quad (2.6)$$

Momen inersia massa pada *flywheel* dapat dicari momen inersia ( $I$ ), massa *flywheel* ( $m$ ), jari-jari *flywheel* ( $r$ ) dengan persamaan (2.7).

$$I = \frac{1}{2} m r^2 \quad (2.7)$$

Energi Kinetik pada *flywheel* dapat menggunakan energi kinetik ( $E_k$ ), kecepatan sudut ( $\omega$ ), momen inersia ( $I$ ) dengan persamaan (2.8).

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (2.8)$$

Perencanaan daya adalah suatu hal yang penting dalam sebuah proses perencanaan agar beban dapat dipertimbangkan.

### 2.2.3 Motor DC

Motor DC adalah jenis motor yang dikendalikan searah atau DC (*direct current*). Motor DC merupakan sebuah motor listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor ini memiliki dua kabel, satu kabel dihubungkan ke tegangan positif, dan kabel kedua dihubungkan ke *ground*. Kabel yang ketegangan positif boleh yang mana saja. Arah putaran motor ditentukan oleh kabel yang terhubung ke tegangan positif (Amin & Rizky, 2019). Contoh bentuk motor DC dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



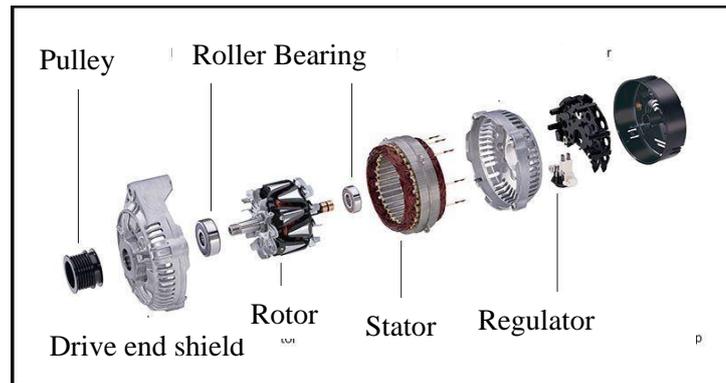
**Gambar 2. 2** Motor DC (Vadiska, 2015).

Motor ini menghasilkan sejumlah putaran per menit atau biasanya dikenal dengan istilah RPM (*Revolutions Per Minute*) dan dapat dibuat berputar searah jarum jam maupun berlawanan arah jarum jam apabila polaritas listrik yang diberikan pada pada motor DC tersebut dibalik. Alasan utama penggunaan mesin DC terutama pada industri modern, industri modern adalah kecepatan kerja motor DC yang mudah diatur dalam suatu rentang kecepatan yang luas, disamping banyaknya metode pengaturan kecepatan yang dapat digunakan (Angga, 2016). Oleh karena itu, kelebihan motor DC yaitu, mempunyai torsi dan tingkat kecepatan yang jauh lebih mudah untuk dikendalikan, memiliki sistem *control* yang mudah dipahami,

memiliki respon yang baik meskipun daya yang tersedia terbilang rendah, dan memiliki performa yang mendekati linier dan sejenisnya (Amin & Rizky, 2019).

#### 2.2.4 Bagian-Bagian Motor DC

Pada Motor DC memiliki bagian-bagian penting yaitu dapat dilihat pada gambar berikut pada **Gambar 2.3**.



**Gambar 2.3** Bagian-Bagian Motor DC (Setiawan, 2017).

##### 1. *Pulley*

*Pulley* adalah salah satu bagian pada mesin yang digunakan untuk mentransfer putaran dari satu poros ke poros lain. Ada beberapa fungsi *pulley* ini seperti mentransmisikan gerakan perputaran, ataupun menciptakan manfaat mekanis baik dalam sistem linier dan juga perputaran.

##### 2. **Badan Mesin (*Drive end Shield*)**

Badan mesin berfungsi sebagai tempat mengalirnya fluks magnet yang dihasilkan kutub magnet, sehingga harus terbuat dari bahan *ferromagnetic*. Fungsi lainnya yaitu untuk meletakkan alat-alat tertentu dan mengelilingi bagian-bagian dari mesin, yang terbuat dari bahan yang kuat, seperti dari besi tuang dan plat campuran baja.

##### 3. *Roller Bearing*

*Roller Bearing* pada motor DC berfungsi untuk mempercepat putaran pada poros, mengurangi gesekan putaran yang akan menstabilkan posisi pada poros terhadap gaya horizontal dan gaya vertikal.

#### 4. *Rotor*

*Rotor* adalah silinder laminasi *magnetic* yang diisolasi satu sama lain. Rotor berputar pada porosnya dan dipisahkan dari kumparan medan oleh celah udara, dan motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik.

#### 5. *Stator*

*Stator* pada motor DC berfungsi untuk membangkitkan medan magnet pada sekitar rotor, stator terdiri dari lempengan besi yang dililit oleh tembaga yang dihubungkan dengan sumber arus. Ketika lilitan tersebut dialiri arus listrik yang menyebabkan kemagnetan pada stator.

#### 6. *Regulator*

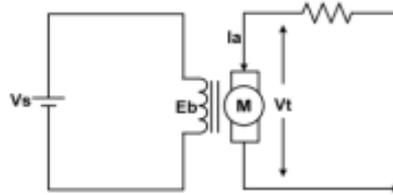
*Regulator* berfungsi untuk menghasilkan arus searah (DC) yang stabil untuk mengisi baterai sepeda motor, sehingga baterai selalu terisi penuh dan siap digunakan.

#### 7. *Rectifier*

*Rectifier* berfungsi mengurangi resiko konsleting dan kerusakan pada komponen elektronik pada motor DC yang mengakibatkan perubahan tegangan yang tidak stabil (Ruslim, 2021).

### 2.2.5 Prinsip Kerja Motor DC

Motor DC terdapat dalam berbagai ukuran dan kekuatan, masing-masing didesain untuk keperluan yang berbeda – beda namun secara umum memiliki fungsi yang sama yaitu mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Sebuah DC sederhana di bangun dengan menempatkan kawat yang dialiri arus di dalam medan magnet kawat yang dialiri arus di dalam medan magnet kawat yang membentuk *loop* ditempatkan sedemikian rupa diantara dua buah magnet permanen. Bila arus mengalir pada kawat, arus akan menghasilkan medan magnet sendiri yang arahnya berubah – ubah terhadap arah medan magnet permanen sehingga menimbulkan putaran. (Firmansyah & Marniati, 2017). Contoh ilustrasi rangkaian ekivalen motor DC dapat diilustrasikan seperti **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.4** Rangkaian ekivalen Motor DC (Farah, 2021).

Kontrol motor DC, terdiri dari pengaturan kecepatan dan pengaturan arah putar motor. Kecepatan putar motor DC dipengaruhi oleh gaya ( $F$ ) yang dihasilkan pada motor DC. Sesuai pada kaidah tangan kiri besarnya gaya dipengaruhi oleh medan magnet ( $B$ ) dan arus ( $I$ ) yang melewati rotor pada motor DC (Satria & Dhimas, 2019). Sementara itu kuat medan magnet yang melintas pada rotor atau pada besar arus yang melewati rotor, maka besarnya gaya yang memutar rotor akan berbanding lurus demikian juga sebaliknya, apabila medan magnet pada motor DC dihasilkan dari aliran arus Listrik pada kumparan medan.

Maka pengaturan arus yang melewati kumparan medan akan mempengaruhi kekuatan medan magnet yang melintasi rotor. Sedangkan untuk mengubah arah gaya atau mengubah arah putar motor dapat dilakukan dengan membalik arah medan magnet atau membalik arus yang mengalir melalui rotor motor DC (Sunarhati, 2018).

Melalui pendekatan rangkaian secara ekivalen dapat dibuat model matematika dari sebuah Motor DC. Model matematika motor DC dapat dihasilkan dari sebuah rangkaian ekivalen yang menggunakan prinsip-prinsip hubungan elektromekanik serta hukum dasar dari rangkaian Listrik (Qosim dan Mujirudin, 2017). Sebuah rangkaian ekivalen motor DC sangat bergantung dari nilai-nilai variabel yang mempengaruhinya seperti nilai resistansi *armature* ( $R_a$ ), Tegangan induktansi ( $E_a$ ), serta nilai induktansi dalam ( $L_a$ ) Input yang digunakan pada motor DC berupa energi listrik karena motor DC merupakan jenis transduser sehingga terjadinya pengkonversian energi dari energi listrik akan terkonversi hingga menjadi energi gerak (mekanik) dalam bentuk nilai torsi ( $T$ ) serta nilai kecepatan putar ( $\omega_m$ ) Apabila terdapat motor DC yang memiliki nilai hambatan serta induktansi kumparan masing-masing  $R$  dan  $L$  yang berputar tanpa beban dengan kelembaman.

Hukum Newton merupakan salah satu hukum yang digunakan sebagai patokan pada struktur mekanik sebuah motor DC yang diperoleh dengan momen inersia motor DC , konstanta sistem mekanik ( $B$ ) dengan persamaan (2.9).

$$\tau(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) = Ki_a \quad (2.9)$$

### 2.2.6 Baterai

Baterai adalah alat elektro kimia yang dibuat untuk menyuplai listrik ke sistem starter mesin, sistem pengapian, lampu – lampu dan komponen kelistrikan lainnya. Alat ini menyimpan listrik dalam bentuk energi kimia, yang dikeluarkannya bila diperlukan dan mensuplaynya ke masing – masing sistem kelistrikan atau alat yang memerlukannya. Karena di dalam proses baterai kehilangan energi kimia, maka alternator menyuplai nya kembali ke dalam baterai. Baterai menyimpan listrik dalam bentuk energi kimia. Siklus pengisian dan pengeluaran ini terjadi berulang kali dan terus menerus. (Hudati *et al.*, 2021). Terdapat dua jenis baterai, yaitu :

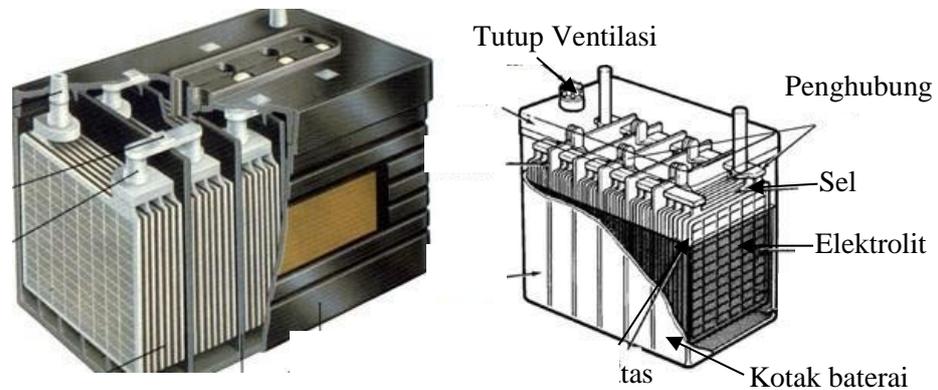
#### 1. Baterai Primer

Baterai primer adalah baterai yang hanya digunakan satu kali saja, dimana jenis baterai ini tidak dapat diisi ulang ketika daya yang ada pada baterai tersebut telah habis. Baterai primer ini terbuat dari sel-sel elektrokimia yang dapat digunakan sekali pakai, contoh baterai primer yang banyak digunakan adalah baterai alkaline. Baterai primer memiliki beberapa macam bentuk, diantaranya seperti sel koin dan baterai AA. Baterai primer selalu memiliki energi spesifik yang tinggi dengan sistem yang digunakan untuk mengkonsumsi daya yang rendah, sehingga baterai dapat bertahan sangat lama.

#### 2. Baterai Sekunder

Baterai sekunder adalah baterai yang digunakan berulang kali dengan menggunakan sistem *charge*. Baterai ini memiliki sel elektrokimia yang reaksi kimianya dapat diputar kembali dan memiliki tegangan tertentu, sehingga daya pada baterai sekunder dapat diisi ulang dan digunakan kembali. Baterai sekunder digunakan dalam peralatan elektronik yang menggunakan daya tinggi, sehingga tidak praktis jika harus menggunakan baterai primer yang hanya bisa sekali pakai. Baterai sekunder dengan kapasitas kecil digunakan untuk memberi daya

pada perangkat elektronik yang *portable*. Sementara untuk baterai dengan kapasitas kecil digunakan peralatan elektronik dengan tugas yang berat seperti kendaraan listrik.



**Gambar 2.5** Baterai (Lubudi, 2020).

## 1. **Komponen Baterai**

Di dalam baterai mobil terdapat elektrolit asam sulfat, elektroda positif dan negatif dalam bentuk plat. Ruangan didalam baterai dibagi menjadi beberapa sel, untuk baterai mobil dan di dalam masing – masing sel terdapat beberapa elemen yang terendam dalam elektrolit. Komponen utama baterai sebagai berikut :

### a. **Kotak Baterai**

Wadah yang menampung elektrolit dan elemen baterai disebut kotak baterai. Ruangan di dalamnya dibagi menjadi ruangan sesuai dengan jumlah selnya. Pada kotak baterai terdapat garis tanda *upper level* dan *lower level*, sebagai indikator jumlah elektrolit. Yang dibuat dari plastik, wadah untuk Accu 6 V yang terbagi menjadi 3 sel, dan untuk Accu 12 V terbagi menjadi 6 sel. Pada kotak baterai terdapat garis tanda permukaan atas dan bawah (*Upper* dan *Lower*). Pelat-pelat posisinya ditinggikan dari dasar dan diberi penyekat, tujuannya agar tidak terjadi hubungan singkat apabila ada bahan aktif (timah dan lain-lain) terjatuh dari pelat. Tutup baterai dibuat dari bahan yang sama seperti bak/wadah (Hidayat, 2019).

### **b. Tutup Ventilasi**

Tutup baterai berfungsi sebagai penutup lubang pengisian elektrolit baterai. Pada tutup baterai terdapat lubang ventilasi untuk keluarnya gas hidrogen yang terbentuk saat proses pengisian berlangsung. Karena jika gas hidrogen tidak dikeluarkan dari dalam baterai maka baterai dapat meledak (Hidayat, 2019).

### **c. Elektrolit Baterai**

Elektrolit baterai merupakan campuran antara air suling ( $H_2O$ ) dengan asam sulfat. Dari campuran tersebut diperoleh elektrolit baterai dengan berat jenis 1,270. Berat jenis elektrolit pada baterai saat ini dalam keadaan terisi penuh ialah 1,260 atau 1,280 pada temperatur  $20^{\circ}C$ . Perbedaan ini disebabkan adanya perbandingan antara air sulingan dengan asam sulfat pada masing – masing tipe berbeda. Elektrolit yang berat jenisnya 1,260 mengandung 65% air sulingan dan 35% asam sulfat, sedangkan elektrolit yang berat jenisnya 1,280 mengandung 63% air sulingan dan 37% asam sulfat (Mahreni, 2017).

Pelat-pelat baterai harus selalu terendam cairan elektrolit, sebaiknya tinggi cairan elektrolit 4-10 mm di atas bagian tertinggi dari pelat. Bila sebagian pelat tidak terendam cairan elektrolit maka bagian pada pelat yang tidak terendam tersebut akan langsung berhubungan dengan udara baterai akibatnya bagian tersebut akan rusak dan tak dapat dipergunakan dalam suatu reaksi kimia yang diharapkan, sebagai contoh sulfat tidak bisa lagi menempel pada bagian dari pelat yang rusak, sebab itu bisa ditemukan konsentrasi sulfat yang sangat tinggi dari ruang sel yang sebagian platnya sudah rusak baterai sulfat yang sudah tidak bisa lagi bereaksi dengan bagian yang rusak dari plat. Oleh karena itu kita harus memeriksa tinggi cairan elektrolit dalam baterai kendaraan bermotor setidaknya 1 bulan sekali (kalau perlu tiap 2 minggu sekali agar lebih aman) karena senyawa dari cairan elektrolit bisa menguap terutama baterai panas yang terjadi jika pada proses pengisian (*charging*), misalnya pengisian yang diberikan oleh *alternator* (Mahreni, 2017).

#### **d. Penghubung Sel**

Untuk menghubungkan tiap-tiap sel dari sel-sel baterai pada sel baterai (-) dan (+). Suatu baterai 12 V mempunyai 6 sel, sedangkan baterai berkekuatan 6 V mempunyai 3 sel. Sel merupakan unit dasar suatu baterai dan mempunyai sebesar 2 V. Penghubung antara sel ini terbuat dari paduan timbal-antimon. Ada dua cara menghubungkan sel-sel tersebut. Yang pertama melalui atas dinding penyekat (*Over The Partition*) dan yang kedua melalui dinding penyekat (*Through The Partition*). Terminal terdapat pada kedua sel ujung, satu bertanda positif (+) dan yang lain negatif (-) melalui kedua terminal dengan listrik yang dialirkan (Hidayat, 2019).

#### **2.2.7 Roda Gigi**

Roda gigi adalah roda yang berguna untuk mentransmisikan daya besar atau putaran yang cepat. Rodanya dibuat bergerigi dan berbentuk silinder atau kerucut yang saling bersinggungan pada kelilingnya agar jika salah satu diputar maka yang lain akan ikut berputar. Secara umum fungsi roda gigi yaitu untuk meneruskan gaya dari poros penggerak ke poros yang digerakkan, mengubah putaran tinggi ke putaran rendah atau sebaliknya, dapat juga memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat yang lain, seperti yang digunakan pada pompa roda gigi. Roda gigi dikelompokkan menjadi tiga kelompok, sesuai kedudukan yang diambil oleh poros yang dipergunakan dalam industri, yaitu posisi poros yang satu terhadap poros yang lain (Poetro, 2019). Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam perancangan roda gigi yaitu dimensi, gaya dan torsi dan tegangan yang bekerja pada roda gigi karena apabila hal ini tidak dilakukan maka akan menyebabkan roda gigi tidak dapat beroperasi dengan baik, seperti kontak antar gigi yang kasar mengakibatkan gerak antar gigi tidak sempurna sehingga mengakibatkan ketidak seragaman gaya kontak antara satu gigi dengan gigi lainnya (Mott, 2008).



**Gambar 2.6** Roda Gigi (Abriyanto, 2021).

Roda gigi digunakan untuk mentransmisikan torsi, dan putaran dari satu poros ke poros lain. Roda gigi sudah mempunyai sejarah yang panjang, kira kira sekitar 2.600 tahun sebelum Masehi, orang - orang Cina sudah menggunakan roda gigi sederhana, yang terbuat dari kayu. Pada abad ke XV Leonardo Da Vinci memperlihatkan berbagai susunan roda gigi dalam lukisannya. Sekarang ini, berbagai variasi dari jenis roda gigi telah dibuat yang beroperasi dengan tanpa suara berisik dan dengan kerugian gesek sangat rendah. Beroperasi dengan lancar dan tanpa getaran dengan membuat bentuk geometris sesuai dari permukaan gigi. Dibandingkan dengan berbagai alat transmisi daya seperti transmisi sabuk dan rantai, roda gigi mempunyai keunggulan tahan sangat lama dengan efisiensi yang sangat tinggi sekitar 98% (Suyadi *et al.*, 2018). Tapi roda gigi lebih mahal dibanding transmisi sabuk dan rantai. Roda gigi umumnya digunakan untuk satu dari empat alasan berbeda:

- a. untuk menambah atau mengurangi kecepatan torsi.
- b. Untuk mengubah jumlah gaya atau torsi.
- c. Untuk memindahkan gerakan rotasi ke sumbu yang berbeda.
- d. Untuk membalikkan arah rotasi.

### **2.2.8 Bentuk Roda Gigi**

Persyaratan utama dari bentuk gigi adalah untuk membentuk gerak putar yang berkelanjutan. Diasumsikan roda gigi mempunyai bentuk sempurna, Walaupun pada kenyataan ada ketidaksempurnaan proses pemesinan dan muncul sedikit penyimpangan dalam perbandingan kecepatan. kecepatan dua gigi yang berpasangan harus sama. Kondisi ini akan terpenuhi jika *pitch circle* ( $P_c$ ) dari

penggerak selalu bergerak dengan kecepatan konstan, dan kecepatan ( $P_c$ ) dari gigi yang digerakkan tidak naik turun saat dua permukaan kedua gigi saling bersentuhan. Hukum dasar dari roda gigi adalah saat roda gigi berputar, titik kontak permukaan antara kedua gigi harus terletak pada satu titik yang tetap. Titik tersebut disebut pitch point. Berdasarkan hukum dasar roda gigi ini, ( $P_c$ ) dari kedua gigi yang berpasangan akan saling menggelinding satu sama lain tanpa slip. Bagian atas dan bawah gigi terbagi oleh ( $P_c$ ) adalah jarak yang diukur pada sekeliling dari lingkaran ( $P_c$ ), pada satu titik dari satu gigi, dengan titik yang jika berhubungan pada gigi selanjutnya. Biasanya ( $P_c$ ). Besarnya ( $P_c$ ) tersebut ditunjukkan oleh persamaan 2.15:

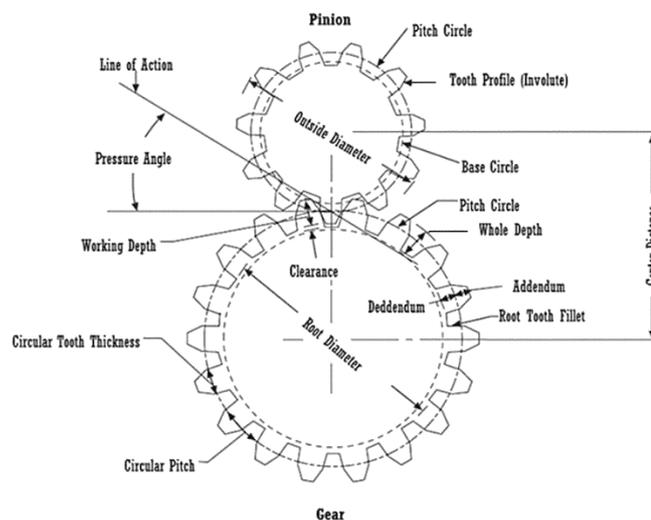
$$P_c = \frac{\pi d_0}{z} \quad (2.15)$$

*Diametral pitch* ( $P_d$ ), adalah rasio dari jumlah gigi dengan diameter lingkaran *pitch*, dalam milimeter. Biasanya dinotasikan dengan  $pd$ .

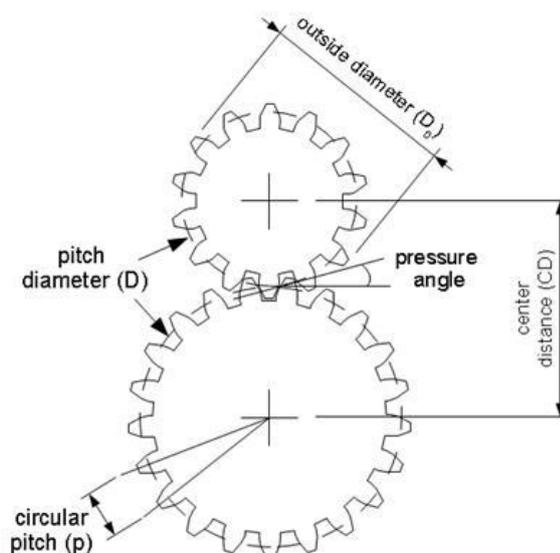
$$P_d = \frac{z}{d_0} \quad (2.16)$$

Kedua ( $P_c$ ) atau diameter digunakan dalam menentukan ukuran gigi *Circular pitch* ( $P_c$ ), *pitch of diameter* ( $P_d$ ), jumlah gigi ( $z$ ), diameter *pitch* ( $d_0$ ) dengan persamaan (2.15) dan (2.16) yang menunjukkan hubungan pada persamaan (2.17).

$$P_c \cdot P_d = \pi \quad (2.17)$$



**Gambar 2.7** Bagian - Bagian Roda Gigi (Fathul, 2018).



**Gambar 2.8** Bagian - Bagian *Circular pitch (Pc)*, *pitch of diameter (Pd)*  
(Nidum, 2017).

### Jenis Roda Gigi

Berdasarkan dari bentuk giginya roda gigi dapat dibedakan menjadi:

- a. Roda gigi lurus. Pada roda gigi jenis ini pemotongan giginya searah dengan poros gigi. Untuk permukaan memanjang.
- b. pemotongan giginya kadang-kadang dilakukan dengan arah membentuk sudut terhadap batang gigi *rack*.
- c. Roda gigi *helix*. Jenis gigi ini pemotongan giginya tidak lurus tetapi sedikit miring membentuk sudut di sepanjang badan gigi yang bentuknya silinder.
- d. Roda gigi payung. Pada jenis roda gigi ini pemotongan gigi-giginya pada bagian ujung yang berbentuk konis. Gigi-giginya dibentuk dengan arah lurus, searah dengan poros roda gigi.
- e. Roda gigi spiral. Gigi gigi roda gigi ini arahnya membentuk suatu kurva, biasanya pemotongan gigi-giginya juga pada permukaan yang berbentuk konis.
- f. Roda gigi cacing. Jenis roda gigi ini biasanya merupakan suatu pasangan yang terdiri dari batang berulir cacing dan roda gigi cacing.
- g. Roda gigi dalam. Pada jenis roda gigi ini pemotongan gigi-giginya adalah pada bagian dalam dari permukaan ring / lubang. Pada umumnya bentuk giginya adalah lurus seperti roda gigi lurus.

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April sampai dengan bulan Juli 2024. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan dimulai dari pengumpulan bahan dan alat, data komponen, perancangan sistem, hingga pengujian sistem. Penelitian ini dilakukan di Workshop Laboratorium Fisika Dasar.

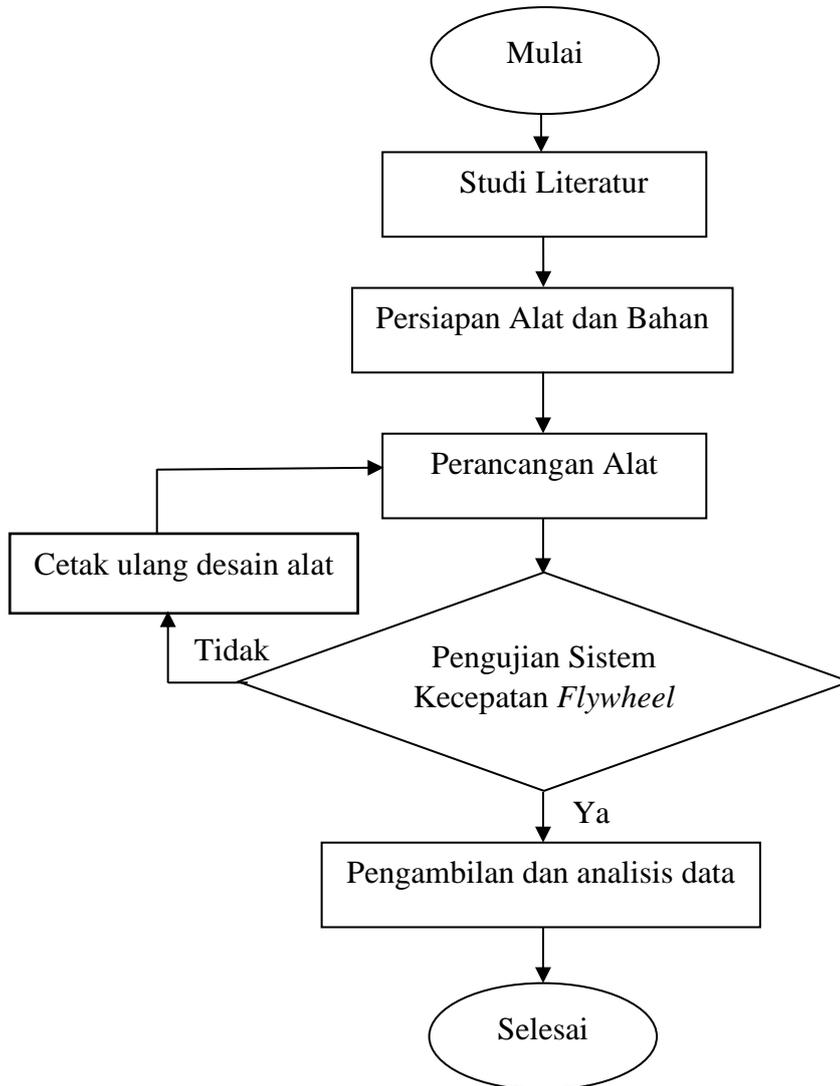
#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan penelitian ini yaitu :

**Tabel 3. 2** Alat dan Bahan Penelitian.

No.	Nama	Fungsi
1.	<i>Flywheel</i>	Menyimpan energi melalui momentum rotasi
2.	Generator	mengeluarkan energi beban mekanik pada piston dan menjaga kestabilan perputaran mesin. Mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.
3.	<i>Bearing</i>	Menjaga agar poros tidak bergesekan dengan roda.
4.	Rantai	Merupakan penghubung antara dua gir.
5.	Gir 14T	Membantu menggerakkan bagian roda belakang dan menghubungkan mesin motor.
6.	Mesin las	Untuk menghubungkan besi rangka satu ke yang lainnya
7.	Baterai	Sebagai sumber energi listrik yang disimpan dalam bentuk energi kimia yang kemudian diubah menjadi energi listrik.
8.	Tachometer	Untuk mengetahui kecepatan putaran (RPM) pada <i>flywheel</i> .
9.	Multimeter	merupakan sebuah alat pengukur yang digunakan untuk mengetahui ukuran tegangan listrik, resistansi, dan arus listrik.

### 3.3 Prosedur Penelitian



**Gambar 3.1** Diagram Alir.

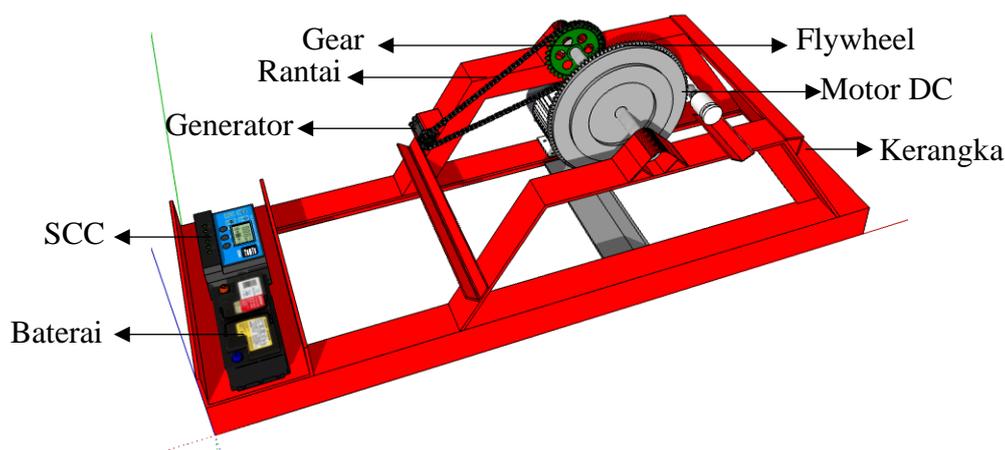
Pada **Gambar 3.1** menjelaskan tahapan proses penelitian atau pengembangan sistem kecepatan flywheel. Proses dimulai dengan tahap awal yang menjadi langkah inisiasi untuk seluruh kegiatan. Langkah pertama adalah melakukan studi literatur, di mana peneliti mempelajari referensi yang relevan untuk mendapatkan pemahaman teori dan praktik yang akan mendukung penelitian. Setelah studi literatur, peneliti melanjutkan ke tahap persiapan alat dan bahan, yang mencakup pengumpulan semua material dan peralatan yang diperlukan untuk perancangan. Langkah ini diikuti oleh perancangan alat, di mana sistem atau prototipe dirancang sesuai kebutuhan penelitian. Jika desain dianggap belum memenuhi spesifikasi yang diinginkan setelah pengujian, maka proses kembali ke tahap Pengecekan ulang desain alat yang telah dibuat untuk memperbaiki atau memperbarui desain.

Setelah desain alat selesai, langkah berikutnya adalah pengujian sistem kecepatan flywheel. Di tahap ini, sistem diuji untuk memastikan fungsinya sesuai dengan parameter yang diharapkan. Jika hasil pengujian belum terpenuhi, Namun, jika pengujian berhasil, peneliti melanjutkan ke tahap pengambilan dan analisis data. Pada tahap ini, data yang diperoleh selama pengujian dianalisis untuk mendapatkan hasil penelitian yang valid. Proses diakhiri dengan tahap selesai, menandai bahwa seluruh rangkaian kegiatan penelitian atau pengembangan sistem telah tuntas. Diagram ini menunjukkan pendekatan iteratif, di mana perbaikan dilakukan hingga desain alat dan sistem mencapai hasil yang optimal. Hal ini pada proses yang sistematis dan terstruktur dalam penelitian teknis.

### **3.4 Rancangan Penelitian**

Pada metodologi penelitian mengumpulkan beberapa referensi yang terkait dengan objek penelitian 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 kecepatan *flywheel*, setelah mendapatkan semua komponen-komponen maka mulai untuk memodifikasi alat dan bahan yang akan disatukan. Perancangan mekanik dimulai dari perancangan desain rangka. Pada tahap ini, semua komponen yang digunakan pada penelitian ini mulai dirbaterait sesuai

dengan desain dan rancangan yang telah dibuat. Tahap ini merupakan tahap terakhir dari perancangan generator listrik *flywheel*. Pada tahap ini dilakukan beberapa pengujian antara lain pengujian kestabilan putaran *flywheel*, daya kecepatan, torsi pada putaran *flywheel*, pengujian kecepatan putaran (RPM), kecepatan pengisian baterai motor listrik *dual baterai* dan berapa lama habis baterai saat digunakan.



**Gambar 3.2** Desain Motor Listrik *Dual Battery*.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan merancang sistem mekanik untuk mengisi tegangan motor listrik dengan efisien, dan optimal, meningkatkan kecepatan pengisian baterai motor listrik *dual battery* sehingga mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk mengisi daya. 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. Menggunakan *flywheel* dengan 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. Pada penelitian ini juga menggunakan *dual baterai* untuk menghitung berapa lama habis energi dan berapa lama pengisian pada baterai dengan kecepatan dan beban pada *flywheel* yang digunakan.

### 3.5 Pengujian Kestabilan Pada Putaran *Flywheel*

Pengukuran ini bertujuan untuk menentukan kecepatan maksimal motor yang digunakan, yang krusial dalam sistem ini karena motor merupakan penggerak utama. *Flywheel* harus terpasang dengan benar pada poros atau sistem yang sesuai sebelum pengujian dimulai. Mulai dengan kecepatan rendah untuk memastikan roda gendeng berputar dengan stabil tanpa getaran signifikan, sambil memeriksa fungsi sistem pelumasan jika ada. Secara bertahap tingkatkan kecepatan putaran roda gendeng dan amati responnya. Gunakan alat pengukur yang sesuai untuk memantau getaran, kecepatan, dan stabilitas pada setiap level kecepatan yang diuji, lalu bandingkan hasilnya dengan standar yang ditetapkan. Analisis data yang diperoleh untuk mengidentifikasi pola respons roda gendeng terhadap perubahan kecepatan dan kondisi operasional lainnya, serta pantau kondisinya secara terus-menerus selama pengujian untuk mendeteksi masalah potensial atau perubahan dalam kestabilan.

### 3.6 Pengukuran Kecepatan dan Tegangan pada *Flywheel*

Analisis data kecepatan dan tegangan pada *flywheel* melibatkan proses pengamatan untuk memahami hubungan antara tegangan yang diberikan kepada motor penggerak *flywheel* dengan kecepatan rotasinya. Langkah pertama adalah pengumpulan data, yang dilakukan melalui percobaan dengan alat ukur seperti multimeter untuk mencatat tegangan input dan tachometer untuk mengukur kecepatan putar *flywheel* dalam satuan RPM. Percobaan dilakukan dengan variasi waktu per 30 s. Agar didapatkan pemahaman yang menyeluruh tentang pola hubungan antara kecepatan dan tegangan. Pengukuran dilakukan setelah sistem mencapai kondisi stabil pada setiap tingkat tegangan untuk memastikan hasil yang konsisten. Maka hasil dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

**Tabel 3.3** Kecepatan Dan Tegangan *Flywheel*.

No.	Waktu (s)	Kecepatan Putaran (RPM)	Tegangan (V)
1	30		
2	60		
3	90		
4	120		
5	150		
6	180		

Setelah data diperoleh, pengolahan dilakukan untuk menemukan pola hubungan antara kecepatan dan tegangan. Data dalam tabel yang memuat tegangan, kecepatan, dan waktu pengukuran guna mempermudah analisis. Kemudian, data dibuat dalam grafik hubungan tegangan dan kecepatan, dengan tegangan pada sumbu x dan kecepatan pada sumbu y, untuk mengidentifikasi apakah hubungan tersebut bersifat linear atau non-linear. Selain itu, kinerja *flywheel* dapat dianalisis untuk menemukan tegangan optimal yang memberikan kecepatan tertinggi, atau menentukan batas kecepatan maksimum. Pengukuran pada berbagai tegangan juga dianalisis untuk mengevaluasi efisiensi energi. Setelah pengolahan dan analisis selesai, hasil diinterpretasikan untuk menentukan bagaimana tegangan mempengaruhi kecepatan *flywheel*, tegangan berapa performa optimal tercapai.

### 3.7 Analisis Pengisian dan Pengosongan Baterai Pada Sistem *Flywheel*

Metodologi analisis pengisian dan pengosongan baterai pada sistem *flywheel* ini melibatkan serangkaian prosedur yang dirancang secara sistematis untuk mengevaluasi efisiensi penyimpanan dan pelepasan energi oleh baterai yang terhubung dengan *flywheel*. Proses dimulai dengan pengaturan alat ukur seperti multimeter digital untuk memantau parameter tegangan dan arus yang dihasilkan selama proses pengisian dan pengosongan baterai. Dalam tahap pengumpulan data dalam pengisian dan pengosongan pada sistem *flywheel* Percobaan dilakukan dengan variasi waktu per 30 s. Agar didapatkan pemahaman yang menyeluruh tentang pola hubungan antara kecepatan dan tegangan. Pengukuran dilakukan setelah sistem mencapai kondisi stabil pada setiap tingkat tegangan untuk memastikan hasil yang konsisten. Maka hasil dapat dilihat pada **Tabel 3.4**.

**Tabel 3.4** Tegangan Pengisian dan Pengosongan Baterai.

No	Waktu (s)	Tegangan Baterai Setelah Pengisian (V)	Tegangan Baterai Setelah Pengosongan (V)	Kecepatan (RPM)	Arus (I)
1.	0				
2.	30				
3.	60				
4.	80				
5.	120				
6.	150				
7.	180				

Pengolahan data pengisian dan pengosongan pada baterai dilakukan untuk menganalisis kinerja dan efisiensi sistem penyimpanan energi pada baterai serta bagaimana energi tersebut digunakan dalam aplikasi seperti sistem *flywheel*. Langkah pertama dalam pengolahan data adalah melakukan pencatatan nilai tegangan dan arus pada baterai selama proses pengisian dan pengosongan. Saat proses pengisian, data tegangan dan arus diukur secara berkala untuk memantau perubahan yang terjadi, di mana tegangan baterai seharusnya naik secara bertahap hingga mencapai nilai tegangan maksimum yang aman sesuai dengan spesifikasi baterai tersebut. Arus pengisian, yang biasanya disarankan berada di kisaran 10-20% atau 10-20 A, juga perlu dipantau untuk memastikan tidak terjadi overcharge yang bisa merusak baterai. Setelah proses pengisian selesai, data tegangan baterai dicatat sebagai tegangan akhir pengisian. Selanjutnya, pada tahap pengosongan, dicatat secara bersamaan dengan pengisian dalam satu kecepatan *flywheel* yang sama. Data yang dikumpulkan selama pengosongan biasanya menunjukkan penurunan tegangan secara bertahap yang sesuai dengan energi yang dikeluarkan oleh baterai untuk menggerakkan beban. Pengukuran dilakukan hingga tegangan mencapai batas minimum yang aman untuk mencegah kerusakan baterai akibat pengosongan berlebih.

Setelah semua data terkumpul, langkah selanjutnya adalah pengolahan data yang meliputi pembuatan tabel lengkap yang memuat semua nilai dan dibuat grafik tegangan terhadap kecepatan dapat menunjukkan bagaimana performa baterai dalam mempertahankan daya, sedangkan grafik arus terhadap kecepatan. Dari analisis ini, kita dapat menentukan efisiensi pengisian, yaitu seberapa banyak energi

yang tersimpan di dalam baterai dibandingkan dengan energi yang diberikan, serta efisiensi pengosongan, yaitu seberapa efektif energi yang dikeluarkan digunakan oleh sistem.

### 3.8 Efisiensi Energi Pengisian dan Pengosongan Baterai

Efisiensi energi pengisian dan pengosongan baterai dimulai dengan merancang rangkaian percobaan analisis pengisian dan pengosongan pada sistem *flywheel*, di mana baterai diisi hingga mencapai kapasitas penuh. Proses pengisian dilakukan dengan putaran pada *flywheel* yang stabil, dan tegangan serta arus yang mengalir ke dalam baterai diukur secara berkala untuk memantau perubahan yang terjadi selama pengisian berlangsung.

**Tabel 3.5** Efisiensi Energi Pengisian dan Pengosongan Baterai.

Kondisi	Tegangan Awal (V)	Tegangan Akhir (V)	Perubahan Tegangan (V)	Waktu (s)	Efisiensi (%)
Pengisian					
Pengosongan					

Data ini dicatat dengan waktu yang ditentukan melihat pola peningkatan tegangan dan arus seiring dengan bertambahnya energi yang tersimpan dalam baterai. Untuk memastikan bahwa proses pengisian berlangsung secara efisien dan aman, menghindari *overcharge* yang dapat merusak struktur internal baterai. Setelah pengisian selesai, nilai tegangan terakhir dicatat sebagai tegangan puncak pengisian, yang kemudian digunakan sebagai acuan untuk menganalisis efisiensi energi yang tersimpan dalam baterai. Pada tahap pengosongan, baterai dihubungkan ke beban yang ditentukan, dan arus serta tegangan yang dikeluarkan oleh baterai diukur secara berkelanjutan. Perubahan tegangan yang terjadi selama pengosongan memberikan informasi tentang kapasitas energi yang dapat digunakan dari baterai sebelum mencapai batas minimum tegangan yang aman. Selama pengosongan, laju penurunan tegangan dan besar arus yang dikeluarkan memberikan gambaran tentang seberapa efektif energi dari baterai digunakan untuk menjalankan beban.

### 3.9 Energi Kinetik Pada *Flywheel*

Penelitian dilakukan dengan mengukur variabel-variabel utama seperti massa *flywheel*, jari-jari, dan kecepatan putaran, yang kemudian digunakan untuk menghitung energi kinetik rotasi. Proses ini melibatkan penggunaan rumus fisika dasar terkait energi kinetik serta eksperimen langsung untuk mendapatkan data empiris yang akurat. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman lebih mendalam tentang mekanisme penyimpanan dan pelepasan energi pada *flywheel* dalam aplikasi sistem mekanik. Mencari data energi kinetik pada *flywheel* dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$1. \text{ Kecepatan sudut} \quad \omega = 2\pi \frac{N}{60} \quad (3.1)$$

$$2. \text{ Momen Inersia} \quad I = \frac{1}{2}mr^2 \quad (3.2)$$

$$3. \text{ Energi Kinetik} \quad E_k = \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (3.3)$$

**Tabel 3.6** Energi Kinetik pada *Flywheel*.

No.	Massa (kg)	Jari-Jari (cm)	Kecepatan putaran (RPM)	Gaya Inersia (N)	Kecepatan sudut (rad/s)	Energi Kinetik (J)
1.	7					
2.	7					
3.	7					
4.	7					
5.	7					
6.	7					

Data ini dicatat dengan kondisi uji yang diketahui kecepatan putaran yang akan dilihat dari kecepatan putar *flywheel*, massa pada *flywheel*, dan jari-jari pada *flywheel*. Data yang diambil yaitu kecepatan putaran, momen gaya inersia, kecepatan sudut dan energi kinetik pada *flywheel*.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

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

1. Efisiensi energi dalam proses pengisian dan pengosongan baterai menunjukkan nilai yang sangat rendah, yaitu sebesar 1,3%. Selama proses pengisian, hanya 1,3% energi yang diberikan berhasil tersimpan secara efektif, sementara sisanya hilang sebagai energi panas atau bentuk energi lain. Begitu pula pada proses pengosongan, hanya 1,3% energi yang dilepaskan dimanfaatkan secara efektif, dengan sebagian besar energi hilang. Rendahnya efisiensi ini mengindikasikan bahwa baik proses pengisian maupun pengosongan baterai tidak sepenuhnya optimal, meskipun secara ideal diharapkan mendekati 100% untuk memaksimalkan penggunaan energi. Energi yang hilang terutama disebabkan oleh faktor internal dalam baterai, seperti pelepasan panas.
2. Analisis pengisian dan pengosongan baterai menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan pengisian dapat mengurangi waktu pengisian, namun berisiko menurunkan efisiensi energi. Pengisian dengan arus rendah lebih efisien, sementara pengisian cepat dan pengosongan pada beban berat mempercepat degradasi, sehingga menurunkan efisiensi. Untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi waktu pengisian, penting menjaga keseimbangan antara arus, tegangan, dan suhu agar baterai tetap stabil dan kinerja jangka panjangnya optimal.

## **5.2 Saran**

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah memaksimalkan pengisian pada baterai dengan waktu yang lebih singkat. Memilih alat dan bahan dengan kualitas yang baik dan merancang alat lebih detail penempatan generator, baterai, dan motor listrik. Dan menggunakan beberapa macam beban pada setiap pengambilan data yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abriyanto, Y. H. 2021. Flywheel Energy and Power Storage System. *Journal Renewable Sustainable Energy*. Vol. 2. No. 11. Hal. 235-258.
- Alvianto Y, Murdianto, & Sutantra. 2021. Pengembangan Model Regenerative Brake pada Sepeda Listrik untuk menambah jarak tempuh. *Jurnal Teknik Elektro*. Vol. 11. No. 4. Hal. 33-46.
- Amin. P. & Rizky. S. 2019. Analisa Cover Sub Assy Baterai untuk Kendaraan Bermotor Roda Empat. *Jurnal Energy Storage*. Vol. 19. No. 4. Hal. 19-29.
- Angga. S. 2016. Alat Kendali Kecepatan Motor Pada Penggerak Menggunakan Motor DC. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*. Vol. 12. No. 2. Hal. 116–117.
- Ariffaiuddin S, & Budijono AP. 2018. Rancang Bangun *Prototype* Alat Untuk Meningkatkan Energi Listrik Alternatif Menggunakan *Flywheel Generator*. *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol. 4. No. 1. Hal. 31–35.
- Arifin. S. 2018. Pengembangan Sistem Pengisian Baterai Menggunakan *Flywheel*: Pendekatan Teoritis dan Eksperimental. *Jurnal Energy Storage*. Vol. 3 No. 2. Hal. 101-112.
- Bagian - Bagian Circular pitch (Pc), pitch of diameter (Pd). *Calculation for Gear Rotation with Rack and Pinion*. 6 Februari 2017. <https://www.physicsforums.com/threads/radius-calculation-for-gear-rotation-with-rack-and-pinion.902916/>
- Bagian Bagian Roda Gigi. *Koleksi Cemerlang Gambar 2 Dimensi Roda Gigi*. 1 November 2019. <https://gambarrodagigi.blogspot.com/2019/11/15-koleksi-cemerlang-gambar-2-dimensi.html>.
- Baker. J. 2018 Teknologi baru dan kemungkinan maju dalam penyimpanan energi. Kebijakan Energi. *Jurnal Energi Baru Terbarukan*. Vol. 36. No. 12 Hal. 4368-4373.
- Darcovich, K., Recoskie, S., Ribberink, H., Pincet, F., & Foissac, A. 2017. Effect on baterai life of vehicle-to-home electric power provision under Canadian residential electrical demand. *Applied Thermal Engineering*. Vol.1. No.14. Hal. 1515-1522.

- Fauzin Govindaraj, 2014. Analisis Penyerapan Energi Kinetik pada Berbagai Variasi Kecepatan dan Inersia *Flywheel*. *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol. 5. No. 2. Hal. 67-78.
- Firmansyah, A., & Marniati, Y. 2017. Pemodelan Karakteristik Motor DC Shunt, Motor DC Seri, dan Motor DC Kompon Menggunakan Matlab Simulink sebagai Media Pembelajaran Modul Praktikum Mesin - mesin Listrik. *Jurnal Teknik Elektro ITP*. Vol. 6. No. 1. Hal. 63-73.
- Hidayat R. 2019 Dasar Perencanaan dan Elemen Mesin Menggunakan *Dual Battery*. *Jurnal Energi Baru Terbarukan*. Vol. 4. No. 2. Hal. 79-101.
- Hudati. I, Aji, A. P., & Nurrahma, S. 2021. Kendali Penggunaan Baterai dengan Menggunakan Kendali PID. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*. Vol. 2. No. 2. Hal. 22-45.
- Qosim. I & Mujirudin. 2017. Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*). *Jurnal Teknik Mesin* Vol. 2. No. 2. Hal. 89 – 94.
- Ibnu Faraji & Samsul junaidi. 2017. Rancang Bangun Fungsi Memperpanjang Pengisian Baterai menggunakan generator motor DC. *Jurnal Sains dan Teknologi* Vol. 2. No. 3. Hal. 110-123.
- Lai, C. M., Cheng, Y. H., Hsieh, M. H., & Lin, Y. C. 2017. Development of a bidirectional DC converter with dual-baterai energy storage for hybrid electric vehicle systems. *Transactions on Vehicular Technology*. Vol. 67. No. 2. Hal. 1036-1052.
- Liu, G., Ouyang, M., & Han, X. 2014. Analysis of the heat generation of lithium-ion batteries during charging and discharging considering different influencing factors. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol.1 No. 16. Hal. 1001-1010.
- Lubudi, M. N. H. 2020. Rancang Bangun Battery Management System Active Balancing Pada Baterai LI-ION 12V 2, 5Ah. *Jurnal Energi Baru Terbarukan*. Vol. 2. No. 12 Hal. 20-45.
- Mahreni, M. 2017. Sintesis Membran Nanokomposit Nafion-Sio<sub>2</sub> Menggunakan Metode Sol Gel. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Vol. 11. No. 2. Hal. 129-133.
- Masnur. 2021. Aplikasi Sistem Energi Kinetik Pada Putaran Roda Gila menjadikan energi listrik. *Jurnal Sintaks Logika*. Vol. 1. No. 2. Hal. 103–106.
- Mothilal B. S., Budnitz. H., Schwanen. T., & McCulloch, M. 2021. Impact of charging rates on electric vehicle baterai life. *Findings*. Vol.1 No. 2. Hal. 60-94.

- Mott L. R. 2008. Perancangan Elemen Mesin Menggunakan Pompa Roda Gigi. *Jurnal Mechanical*. Vol. 4. No. 1. Hal 16-20.
- Mutaqqin, M., Prawira, D. A., Darmawan, A., & Marsusiadi, E. N. S. 2017. Efisiensi Pengisian Baterai Menggunakan Flywheel dan Integrasi Sistem *Dual Baterai* pada Kendaraan Listrik. *Journal Of Social Science Research*. Vol. 4. No. 3. Hal. 2293-2308.
- Nurhadi. 2018. Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Output Tegangan Solar Cell Pengisi Baterai Kendaraan Listrik, *Prosiding Sentrinov*. Vol. 3. No. 2. Hal. 2477 – 2097.
- Panther. C & Chad. 2018. *Parasitic drag analysis of a high inertia flywheel rotating in an enclosure. Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports*. West Virginia University. United States.
- Poetro, K. H. 2019. Analisis Pengaruh Rasio Final Gear terhadap Kecepatan dan Konsumsi Bahan Bakar Mobil Hybrid Urban Kmhe. *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*. Vol. 8. No. 3. Hal. 59-69.
- Rahmawati, R. & Fajri M. A. 2019. Desain Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Menggunakan Program Arduino Uno pada Penambahan Variasi Aliran Air Dan Flywheel. *Applicable Innovation of Engineering and Science Research*. Vol. 1 No. 3. Hal. 357-362.
- Rangkaian Ekuivalen Motor DC. *Pengaruh Rangkaian Ekuivalen 22 Agustus 2021*. <https://farahmelinda.blogspot.com/2021/08/rangkaian-ekivalen-motor-dc-pengaruh.html>.
- Razali R, & Stephan S. 2017. Rancang Bangun Mesin Pembangkit Listrik tanpa BBM Berkapasitas 3600 Watt dengan Memanfaatkan Putaran *Flywheel*. *Jurnal Media Elektro*. Vol. 6. No. 2. Hal. 45– 48.
- Ruslim. 2021. Perancangan Pembangkit Listrik Alternatif Dengan Memanfaatkan *Flywheel* Sebagai Penyimpan Energi Berdaya 1000 Watt. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 5. No. 2. Hal. 67-98.
- Sakura, A., Nisa, K., & Syukri, M. 2017. Perencanaan Pembangkit Listrik Berbasis *Flywheel* Ganda. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 4. No. 3. Hal. 9-21.
- Saputra, W. N., Despa, D., Soedjarwanto, N., & Samosir, A. S. 2016. Pemanfaatan *Flywheel* dalam Pengisian Baterai: Studi Perbandingan Terhadap Metode Konvensional. *Jurnal Teknik*. Vol. 4. No. 2 Hal. 12-57.
- Satria. G & Dhimas. 2019. Analisa Perhitungan Energi Listrik Pada Sepeda Listrik Hybrid. *Jurnal Media*. Vol. 2. No. 3. Hal 9 – 19.

- Setiawan, D. 2017. Sistem Kontrol Motor Dc Menggunakan Pwm Arduino Berbasis Android System. *SITEKIN: Jurnal Sains Teknologi dan Industri*. Vol. 1. No. 1. Hal. 7-14.
- Sunarhati, M. 2018. Analisa Pengaturan Kecepatan Putaran Motor DC Penguat Dengan Menggunakan Thyristor. *Journal Of Social Science Research*. Vol. 8. No. 1. Hal. 24-34.
- Suyadi, S., Supriyono, S., & Amin, A. 2018. Rancang Bangun Model Mesin Penyembelih Sapi Modern Sistem Pneumatik Dengan Pemutar Motor Listrik. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol. 12. No. 2. Hal. 57-66.
- Syahfitri Rahmadani, N., & Amin Sulistyanto, S. T. 2023. Analisa Hubungan Massa Dengan Penyimpan Energi Menggunakan Variasi Massa Flywheel 30 Kg, 45 Kg Dan 60 Kg. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Vol. 2. No. 4. Hal 45-48.
- Syofiadi, R. 2022. Optimasi Pengisian Baterai Menggunakan Sistem *Flywheel* Analisis Efisiensi dan Kinerja, *Jurnal Energi Baru Terbarukan*. Vol. 1. No. 2. Hal. 110-133.
- Tangko J., Tandioga R., Djufri I., & Hardiyanti R. 2021. Analisis Pembangkit Listrik Berbasis *Flywheel*. *Jurnal EBTKE*. Vol. 17. No. 1. Hal. 77-83.
- Truong. L.V, Wolff. F.J, & Dravid. N.V. 2017 Simulation of *flywheel* electrical system for aerospace applications. Collection of Technical Papers. *35th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference and Exhibit (IECEC)*. Vol. 1. No. 2. Hal. 601–618.
- Vadiska, R.T. 2015 *Elektronika Dasar 1 : Komponen, Rangkaian dan Aplikasi*. Prenada Media. Jakarta.