

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK MENGGUNAKAN
FLYWHELL
MOTOR - GENERATOR**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

DARWANTO

1607220003



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Darwanto
NPM : 1607220003
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Rancang Bangun Pembangkit Listrik Menggunakan
Flywheel Motor - Generator
Bidang ilmu : Energi Baru Terbarukan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Maret 2021

Mengetahui dan Menyetujui:

Dosen Pembanding I



Rimbawati, S.T., M.T

Dosen Pembanding II



Partaonan Harahap, S.T., MT

Dosen Pembimbing



Noorly Evalina, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Darwanto
NPM : 1607220003
Tempat /Tgl Lahir : Medan / 10 Juli 1970
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Skripsi saya yang berjudul:

“RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK MENGGUNAKAN FLYWHEEL MOTOR-GENERATOR”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Skripsi saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/ keserjanaan saya

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Maret 2021

Saya yang menyatakan,



Darwanto

ABSTRAK

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting dan vital yang tidak dapat dilepaskan dari keperluan sehari-hari. Manusia hampir tidak bisa melakukan aktivitas yang ada dengan baik ataupun memenuhi kebutuhannya. Kekurangan energi listrik dapat mengganggu aktivitas manusia. Oleh sebab itu kesinambungan dan ketersediaan energi listrik harus dipertahankan. Saat ini kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan kemajuan teknologi serta informasi. Seiring makin dirasakannya terbatasnya sumber daya energi maka peran dari sebuah alat penyimpan energi menjadi sangat penting akibat kebutuhan akan penggunaan energi yang efisien. Dari sekian banyak media penyimpan energi yang ada salah satu media yang dapat menyimpan energi yang berlebih kemudian menggunakannya kembali saat diperlukan adalah menggunakan *flywheel* (roda gaya). Penyimpan energi *flywheel* memperoleh energi kinetik dalam bentuk inersia putar, dan menyimpannya dalam bentuk energi kinetik, kemudian melepaskannya ketika dibutuhkan. dari hasil yang diperoleh dari penyimpanan energi kinetik tersebut dengan sangat menarik dan signifikan. Faktor yang mempengaruhi kemampuan penyimpan energi *flywheel* antarlain material, geometri, panjang dari *flywheel*. *Flywheel* atau sering juga disebut roda gaya seperti yang kita ketahui adalah sebuah komponen yang merupakan sebuah piringan yang karena beratnya dapat menahan perubahan kecepatan yang drastis sehingga gerak putaran poros mesin menjadi lebih halus. Yang jarang diketahui adalah *Flywheel* memiliki kepadatan.

Kata kunci : pembangkit listrik, Roda Gaya, Motor, Generator.

ABSTRACT

Electrical energy is one of the most important and vital human needs that cannot be released from daily needs. Humans can hardly do activities that meet their needs. Lack of electrical energy can release human activity. Therefore perfection and energy must be expended. At present the need for electricity increases with population growth and advances in technology and information. As energy resources become increasingly limited, the role of an energy storage becomes very important the need for efficient energy use. Of the many energy storage media that exist, one of the media that can store excess energy is then reused when needed using a flywheel (flywheel). Flywheel energy stores obtain kinetic energy in the form of rotating inertia, and store it in the form of kinetic energy, then release the required compilation. from the results obtained from this energy storage with very interesting and significant. The force that influences the flywheel's energy storage capability includes other materials, geometry, length of the flywheel. Flywheel or often also called flywheel as we know it is a component which is a disc caused by its weight can withstand drastic changes in speed so that the movement of the engine shaft becomes smoother. What is rarely known is Flywheel which has a density.

Keywords: power plants, Flywheel, Motor, Generator

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr. Wb

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Rancang Bangun Pembangkit Listrik Menggunakan *Flywheel Motor* – Generator”** sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Skripsi ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Ibunda tersayang Sakini dan Ayahanda tercinta Paikun Orang tua penulis, telah banyak membantu dalam menyelesaikan Skripsi ini baik dukungan, motivasi, nasihat, materi maupun do'a. .
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T, M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Partaonan Harahap S.T, M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Noorly Evalina S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Istri tercinta yang selalu mendoakan agar terselesainya Skripsi ini.

9. Yang tersayang anakku Panji dan Delia yang terus menerus selalu memberi semangat dan motivasi agar terselesainya Skripsi ini.
10. Sahabat A3 Malam Stambuk 2016 yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu-persatu, semua teman-teman saya yang telah banyak memberikan saya semangat, dukungan, motivasi dan do'a.
11. Seluruh pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu terima kasih atas bantuan doa serta masukan kepada penulis.

Semoga ALLAH SWT memberikan balasan yang berlipat ganda kepada semuanya. Demi perbaikan selanjutnya, saran dan kritikan yang membangun akan penulis terima dengan senang hati. Akhir kata hanya kepada ALLAH SWT penulis serahkan mudah-mudahan dapat bermanfaat khususnya bagi penulis, dan umumnya bagi kita semua.

Wassalamualaikum Wr. Wb

Medan, Maret 2021

Penulis,



Darwanto



LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Gridless Menggunakan
Flywheel Motor-Generator

Nama : Darwanto
NPM : 1607220003

Dosen Pembimbing : Noorly Evalina, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Uraian Asistensi	Paraf	Keterangan
1	Juni 19 / 2020	- Riset cara kerja kapasitor dan induktor - rumus pemilih - kerangka skema	[Signature]	
2	Desember 1 - 2020	- Riset kapasitor - rumus induktor - rumus EYD	[Signature]	
3	12-2-2021 Kerangka skema	- Riset: B467 dan pelipis	[Signature]	
4	Skema 1/2-2021	- Riset: B467, kaji kembali: program skema	[Signature]	

Dosen Pembimbing,

Noorly Evalina S.T., M.T



LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Gratis Menggunakan
Flywheel Motor - Generator

Nama : Darwanto
NPM : 1607220003

Dosen Pembimbing : Noorty Evalina, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Urutan Asistensi	Paraf	Keterangan
5	Kamis / 13-2-2020	Revisi format Pual Pilih buku Alasan yg digital. Ade Simi Proposal	Sut Sut	

Ade Simi
Proposal
13
2020

Dosen Pembimbing,

Noorty Evalina S.T., M.T



LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Menggunakan *Flywheel*
Motor-Generator

Nama : Darwanto
NPM : 1607220003

Dosen Pembimbing : Noorly Evalina, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Uraian Asistensi	Paraf	Keterangan
	Juniat/27/11-2020	- Perbaiki tabel dan flowchart		
	11/2-2021	Ace Senior Skid		

Dosen Pembimbing,

Noorly Evalina S.T., M.T

11/2/2021
Ace Senior Skid



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Kampus Utama Jl. Kapt. Mucktar Basri No.3 Medan - 20238, Telp. (061) 661059

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Menggunakan *Flywheel*
Motor-Generator

Nama : Darwanto
NPM : 1607220003

Dosen Pembimbing : Noorly Evalina, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Uraian Asistensi	Paraf	Keterangan
	15/ 3 - 2021	Acc untuk sidang TA		

Dosen Pembimbing,

Acc untuk
sidang
TA

Noorly Evalina S.T., M.T

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Ruang Lingkup.....	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Metode Penelitian	5
1.7. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan	7
2.2. Landasan Teori	9
2.3. Generator	10
2.3.1. Pengertian Generator	11
2.4. Motor Listrik	12
2.4.1. Pengertian Motor Listrik	12
2.4.2. Prinsip kerja Motor AC Satu Fasa	13
2.5. Frekuensi	15
2.6. Daya Listrik	15
2.7. Hubungan Putaran, Torsi dan Daya	15
2.8. <i>Pulley</i> Penggerak	16
2.9. <i>Van Belt</i>	17

2.10. <i>Flywheel</i>	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	24
3.3 Jalannya Penelitian	25
3.3.1 Diagram Blok Proses Kerja Pembangkit Energi Listrik Dengan <i>Flywheel</i> Motor Generator	25
3.3.2 Rancangan Alat Penelitian	26
3.3.3 Bagan Alir Penelitian	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Rancang bangun Pembangkit Listrik Menggunakan <i>Flywheel</i> Motor Generator	28
4.2 Karakteristik Pembangkit Listrik Menggunakan <i>Flywheel</i> Motor Generator	31
4.2.1 Rangka Mesin	31
4.2.2 Determinasi Konversi RPM Menggunakan Sistem Pulley .	37
4.3 Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Menggunakan <i>Flywheel</i> Motor Generator	43
4.3.1 Pengujian Tanpa Beban	43
4.3.2 Pengujian Dengan Beban	45
BAB V PENUTUP	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Generator AC 1 Fasa.....	11
Gambar 2.2	Motor Induksi 1 Fasa	13
Gambar 2.3	Prinsip Medan Magnet Utama Dan Medan Magnet Bantu Motor 1 Fasa	13
Gambar 2.4	<i>Pulley</i> Tipe V	16
Gambar 2.5	<i>Van Belt</i>	17
Gambar 2.6	Penampang <i>Flywheel</i>	17
Gambar 3.1	Diagram Blok Proses Kerja Pembangkit Listrik Dengan <i>Flywheel</i> Motor Generator	25
Gambar 3.2	Diagram Alir Rancang Bangun Pembangkit Listrik Menggunakan <i>Flywheel</i> Motor Generator	27
Gambar 4.1	Skema Proses Kerja Pembangkit Listrik Menggunakan <i>Flywheel</i> Motor Generator	29
Gambar 4.2	Bentuk Keseluruhan Pembangkit Listrik.....	30
Gambar 4.3	Pandangan Depan Kerangka Mesin	32
Gambar 4.4	Pandangan Bawah Kerangka Mesin	33
Gambar 4.5	Pandangan Atas Kerangka Mesin	34
Gambar 4.6	Pandangan Samping Kanan Kerangka Mesin	35
Gambar 4.7	Pandang Tampak Kiri	36
Gambar 4.8	Rpm Pada Penggerak Awal (Motor Induksi)	39
Gambar 4.9	Rpm Pada Transmisi 1	40
Gambar 4.10	Rpm Pada Transmisi 2 (<i>Flywheel</i>)	40
Gambar 4.11	Rpm Pada Generator Induksi	41
Gambar 4.12	Grafik Hasil Perhitungan Dan Pengukuran Terhadap Pulley	43
Gambar 4.13	Tegangan PLN	43
Gambar 4.14	Frekuensi PLN	43
Gambar 4.15	Tegangan Keluaran Generator	44
Gambar 4.16	Frekuensi Generator	44
Gambar 4.17	Grafik Perbandingan Tegangan terhadap Frekuensi antara PLN dengan Generator	44

Gambar 4.18 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 5 Watt	45
Gambar 4.19 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 15 Watt	46
Gambar 4.20 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 5 Watt dan 15 Watt (20 Watt)	46
Gambar 4.21 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 25 Watt	46
Gambar 4.22 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 40 Watt	47
Gambar 4.23 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 5 Watt, 15Watt, 25 Watt (45 Watt)	47
Gambar 4.24 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 60 Watt	47
Gambar 4.25 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 5 Watt, 15Watt, 25 Watt, 40 Watt (85 Watt)	48
Gambar 4.26 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 100 Watt	48
Gambar 4.27 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 5 Watt, 15Watt, 25 Watt, 40 Watt, 60 Watt (145 Watt).....	48
Gambar 4.28 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 5 Watt, 15Watt, 25 Watt, 40 Watt, 60 Watt, 100 Watt (245 Watt)	49
Gambar 4.29 Grafik Perubahan Tegangan Terhadap Beban	50
Gambar 4.30 Grafik Perubahan Tegangan Keluaran, Arus, Dan Frekuensi Terhadap Beban	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Generator Induksi 1 Fasa	12
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Kecepatan Putar Semua Pulley	38
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Kecepatan Putar Semua Pulley	39
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan dan Pengukuran Terhadap Pulley	42
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Tanpa Beban Pada Generator Induksi	44
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Generator Induksi Terhadap Beban	49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting yang tidak dapat dilepaskan dari keperluan sehari-hari. Energi listrik banyak digunakan untuk menggerakkan, menghidupkan peralatan listrik. Oleh sebab itu kesinambungan dan ketersediaan energi listrik harus dipertahankan. Saat ini kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan penambahan jumlah penduduk dan kemajuan teknologi serta informasi. Seiring dengan krisis sumber daya energi maka peran dari sebuah alat penyimpan energi menjadi sangat penting. Dari sekian banyak media penyimpan energi yang ada salah satu media yang dapat menyimpan energi yang berlebih kemudian menggunakannya kembali saat diperlukan adalah menggunakan *flywheel* (roda gaya). Penyimpan energi *flywheel* memperoleh energi kinetik dalam bentuk inersia putar, dan menyimpannya dalam bentuk energi kinetik, kemudian melepaskannya ketika dibutuhkan. Dari hasil yang diperoleh dari penyimpanan energi kinetik tersebut dengan sangat menarik dan signifikan. Faktor yang mempengaruhi kinerja penyimpan energi *flywheel* Antara lain, ketebalan, panjang jari-jari dari *flywheel*. *Flywheel* atau sering juga disebut roda gaya seperti yang kita ketahui adalah sebuah komponen yang merupakan sebuah piringan yang karena beratnya dapat menahan perubahan kecepatan yang drastis sehingga gerak putaran poros mesin menjadi lebih halus. Yang jarang diketahui adalah *Flywheel* memiliki kepadatan. [1]

Pada umumnya generator digunakan untuk pengganti daya utama (*secondary power*). Namun mayoritas generator yang mengkonsumsi bahan bakar fosil kurang efisien atau boros bahan bakar dalam menghasilkan daya yang diperlukan. Kekurangan dari generator yang ada sekarang adalah tidak stabilnya tegangan dan efisiensi yang rendah. Dari permasalahan tersebut dirancang sebuah alat yaitu “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Gratis Menggunakan *Flywheel* Motor-Generator” yang nantinya dapat memecahkan masalah mengenai ketidak stabilan tegangan dan efisiensi daya yang rendah. Dengan adanya roda gaya

(*flywheel*) yang merupakan sebuah komponen berbentuk piringan bertujuan untuk menjaga kestabilan putaran yang terjadi pada poros utama ketika terjadi penurunan putaran akibat pemakaian listrik yang melebihi beban secara mendadak. Selain itu roda gaya (*flywheel*) juga merupakan suatu alat penyimpan energi pada pembangkit yang akan memberikan tambahan energi jika diperlukan sewaktu untuk mempertahankan putaran generator dan meningkatkan torsi-nya. Roda gaya (*flywheel*) dapat memperbaiki kualitas daya listrik yang dihasilkan sehingga mencegah terjadinya pemadaman listrik (*black out*) akibat beban puncak tidak dapat dipenuhi. [2]

Peningkatan penggunaan energi listrik dapat dijadikan sebagai indikator meningkatnya kemakmuran suatu masyarakat. Namun pada waktu yang sama timbul masalah dalam upaya penyediaannya. Hal ini disebabkan semakin menipisnya persediaan minyak bumi di Indonesia. Perkembangan teknologi dan perindustrian serta pertumbuhan penduduk yang pesat membuat kebutuhan akan listrik terus meningkat setiap tahunnya. Dua abad lalu manusia menjadi amat bergantung kepada bahan bakar fosil seperti minyak, batu bara, dan gas alam untuk menghasilkan energi listrik. Ketika sumber BBM itu mulai menipis (terlihat dari harganya yang semakin mahal), manusia berusaha mencari energi alternatif. Beberapa energi alternatif yang dapat digunakan diantaranya, energi angin, pembangkit microhydro, bahan bakar biodiesel, bioethanol, pembangkit listrik solar cell dan lain – lain. Untuk mengembangkan salah satu energi alternatif tersebut, maka dalam Tugas Akhir ini akan dirancang Peningkatan Energi Listrik Alternatif dengan memanfaatkan putaran Flywheel. Putaran Flywheel menyimpan momen inersia. Saat berputar momen ini akan dikonversi menjadi bentuk energi kinetik. Ketika dibandingkan dengan alat penyimpan energi lainnya (seperti baterai elektromagnet), Flywheel memiliki daya yang tinggi, pengisian energinya lebih besar dan siklus kerjanya.[3]

Sumber energi baru dan yang terbarukan di masa mendatang akan semakin mempunyai peran yang sangat penting. Energi listrik merupakan kebutuhan utama bagi setiap kalangan. Peningkatan Energi Listrik Alternatif dengan memanfaatkan putaran *Flywheel*. Alat pengonversi energi lainnya yang sangat dapat digunakan adalah generator. Alat ini dapat mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik, untuk mengembangkan salah satu energi alternatif tersebut, yaitu Rancang Bangun Pembangkit Listrik” dengan memanfaatkan putaran *Flywheel* Putaran *Flywheel*

menyimpan momen inersia. Saat berputar momen ini akan dikonversi menjadi bentuk energi kinetik. Ketika dibandingkan dengan alat penyimpan energi lainnya (seperti baterai *elektromagnet*), *Flywheel* memiliki daya yang tinggi, pengisian energinya lebih besar dan siklus kerjanya bertahan lama. Untuk mengembangkan salah satu energi alternatif tersebut, kerja dari motor starter ini dikendalikan oleh sirkuit sistem starter yang akan memberi kemudahan kepada operator untuk menghidupkan *engine*. [4]

Analisa data yang dilakukan pada Rancang Bangun Alat pembangkit listrik yaitu proses atau cara kerja pembangkit listrik yaitu dengan sumber listrik dari PLN untuk menggerakkan motor, dan motor menggerakkan transmisi 1 dan *flywheel*. Selanjutnya *flywheel* menggerakkan pemindah daya out put dan menggerakkan generator. Daya listrik dari generator akan disalurkan menuju panel dan *out put*. Kinerja dari pembangkit listrik dengan *flywheel* yaitu, pada beban *flywheel* 64 kg, tegangan 220 volt menghasilkan 2378,5 Rpm pada generator. [5]

Hal itu menunjukkan bahwa pada proses pengambilan data pada Pembangkit Listrik yaitu Beban *flywheel* yang ideal yang digunakan dalam pembangkit listrik yaitu 64 kg dan tegangan listrik motor sebesar 220 volt. *Flywheel* merupakan salah satu alat mekanik yang berputar, yang umumnya digunakan pada kendaraan roda empat. *Flywheel* memiliki momen inersia yang mampu menahan perubahan kecepatan rotasi. Energi dalam *flywheel* adalah energi mekanik. Energi mekanik ini akan diubah oleh generator menjadi energi listrik. Pada PLTU berbasis *flywheel* dilakukan pengujian berupa putaran, daya genset dari genset dalam kondisi tanpa beban atau beban, dan waktu yang dibutuhkan genset tersebut untuk bertahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan pembangkit listrik berbasis *flywheel* dalam kondisi tanpa suplai cadangan ke motor dalam kondisi generator tanpa beban mampu menghasilkan daya untuk pembangkit listrik.[5]

Sebagian besar teknologi baru ditemukan seiring waktu yang menyebabkan perubahan serius dalam persepsi energi listrik. Tetapi pada saat yang sama ada kesalahpahaman tentang "ENERGI TERBARUKAN". Energi menjadi bebas biaya hanya pada tahap yang setelah itu kita tidak perlu membayar untuk pembangkitan setelah menugaskan unit. Dalam penelitian ini, penggunaan energi bebas diperhatikan dengan menggunakan sistem *flywheel*. Motor dengan kapasitas 1,5 tenaga kuda digunakan untuk menggerakkan kombinasi penggerak sabuk dan katrol yang membentuk rangkaian pulley dan menghasilkan lebih dari dua kali rpm pada

poros alternator. Fakta menarik tentang sistem ini adalah bahwa daya keluaran listrik yang lebih tinggi dapat diperoleh dari keluaran alternator daripada yang tampaknya diambil dari motor masukan. Ini dilakukan dengan bantuan roda Gravity atau roda gila. Studi detail dilakukan dengan berbagai parameter flywheel untuk mendapatkan energi bebas maksimum dari system.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana rancang bangun pembangkit listrik menggunakan *flywheel* Motor - Generator?
2. Bagaimana karakteristik kerja dari pembangkit listrik *flywheel* Motor – Generator?
3. Berapa besar daya yang dikeluarkan dari pembangkit listrik *flywheel* Motor – Generator

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penulisan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Merancang pembangkit listrik gratis menggunakan *flywheel* Motor – Generator.
2. Mengetahui karakteristik dari pembangkit listrik gratis menggunakan *flywheel* Motor – Gerator.
3. Mengetahui besar daya yang dikeluarkan dari pembangkit listrik *flywheel* Motor-Generator.

1.4 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini meliputi sebagai berikut:

1. Motor penggerak yang digunakan adalah motor induksi satu fasa.
2. Sistem transmisi terdiri dari *pully* (control dan sabuk), *flywheel*.
3. Generator yang dipakai adalah generator ac satu fasa.
4. Tidak memperhitungkan rugi-rugi daya.
5. Start awal masih menggunakan energy dari PLN.
6. Pengujian hanya dilakukan selama 600 detik.

1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang dapat diambil dari penulisan laporan akhir ini yang berjudul Rancang Bangun Pembangkit Listrik dengan menggunakan *Flywheel* Motor-Generator, yaitu:

1. Dapat memberikan informasi mengenai mekanisme kerja dari pembangkit listrik gratis dengan menggunakan *flywheel* motor dan generator.
2. Dapat menginformasikan mengenai pembangkit listrik tersebut.
3. Dapat memberikan pengetahuan tambahan dan pembelajaran bagi kalangan mahasiswa tentang pembangkit listrik dengan menggunakan *flywheel*.

1.6 Metode Penelitian

Dalam penulisan skripsi ini, menggunakan beberapa metode untuk mengumpulkan data-data yang akan diperlukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

1. Metode Studi Pustaka

Penulis melakukan studi pustaka untuk memperoleh data-data yang berhubungan dengan tugas akhir dari berbagai sumber bacaan seperti: Jurnal, Buku dan website yang berkaitan dengan judul yang di angkat sebagai referensi.

2. Metode Eksperimen

Yaitu membuat alat dan bahan secara langsung dan menguji apakah alat dan bahan tersebut bekerja sesuai dengan keinginan.

3. Metode Pengujian sistem

Yaitu melakukan pengujian alat dan bahan yang bertujuan untuk mengetahui apakah kinerja alat yang di buat sesuai dengan apa yang diharapkan atau belum.

1.7 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini tersusun atas beberapa bab pembahasan secara garis besar, tentang, *flywheel*, motor, generator.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan secara singkat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasa masalah dan metodologi penelitian

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan pembahasan secara garis besar tentang *flywheel*, motor, dan generator.

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini akan menerangkan tentang lokasi penelitian, diagram alir/flowchart serta jadwal kegiatan dan hal-hal lain yang berhubungan dengan proses perancangan.

BAB IV ANALISA DAN PENGUJIAN

Pada bab ini berisi hasil perancangan material dan pengujiannya.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari penulisan skripsi.

LAMPIRAN

Lampiran berisikan gambar rangka mesin dan proses perakitan material.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Peningkatan penggunaan energy listrik dapat dijadikan sebagai indikator meningkatnya kemakmuran suatu masyarakat. Namun pada waktu yang sama timbul masalah dalam upaya penyediaannya. Hal ini disebabkan semakin menipisnya persediaan minyak bumi di Indonesia. Perkembangan teknologi dan perindustrian serta pertumbuhan penduduk yang pesat membuat kebutuhan akan listrik terus meningkat setiap tahunnya. Dua abad lalu manusia menjadi amat bergantung kepada bahan bakar fosil seperti minyak, Batu bara, dan gas alam untuk menghasilkan energi listrik. Ketika sumber BBM itu mulai menipis (terlihat dari harganya yang semakin mahal), manusia berusaha mencari energi alternatif. Beberapa energi alternatif yang dapat digunakan diantaranya, energi angin, pembangkit microhydro, bahan bakar biodiesel, bioethanol, pembangkit listrik solar cell dan lain-lain. Untuk mengembangkan salah satu energi alternatif tersebut, maka dalam Tugas Akhir ini akan dirancang Peningkatan Energi Listrik Alternatif dengan memanfaatkan putaran *Flywheel*. Putaran *Flywheel* menyimpan momen inersia. Saat berputar momen ini akan dikonversi menjadi bentuk energi kinetik. Ketika dibandingkan dengan alat penyimpan energi lainnya (seperti baterai elektromagnet), *Flywheel* memiliki daya yang tinggi, pengisian energinya lebih besar dan siklus kerjanya bertahan lama [9] (*Flywheel Energy Storage System(FESS)*). *Flywheel* rotor dilengkapi oleh bantalan magnetik non-contact yang menghasilkan kerugian gesek yang rendah. [7]

Energi listrik merupakan kebutuhan utama bagi manusia. Energi listrik yang digunakan dari masa ke masa sangatlah besar. Indonesia telah membuat program pembangkit listrik 35000 MW. Dari program pembangkit listrik tersebut, banyak pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar energi fosil dimana energi yang tidak dapat diperbaharui dan akan habis jika terus menerus digunakan. Ketika sumber energi fosil itu mulai menipis (terlihat dari harganya yang semakin mahal), manusia berusaha memanfaatkan energi alternative [9]

Ada listrik di mana-mana hadir tanpa batas dan jumlah dapat menggerakkan peralatan dunia tanpa membutuhkan gas, batubara atau minyak. Energi gratis berarti energi tanpa biaya. Energi mekanik yang menggerakkan kincir angin atau

energi surya dalam sel surya yang diubah menjadi arus DC, energi lain diperoleh dari tenaga angin, tenaga air, dan tenaga surya. Generator energi gratis adalah proses untuk menghasilkan jenis energi ini. Penggunaan energi gratis adalah dengan sengaja menekan teknologi yang dapat menyediakan energi dengan biaya yang sangat rendah. Kekuatan alam yang tak tersentuh lainnya yang akrab dengan literatur ilmiah termasuk baterai bumi, listrik atmosfer dan perubahan sistem tekanan. Energi dari gerakan abadi dianggap sebagai kekuatan fantastik. Jumlah daya yang dapat diperoleh bisa sangat tinggi dan beberapa kW yang dibutuhkan untuk memberi daya pada sebuah rumah tangga sudah pasti dalam jangkauan. Beberapa energy alternatif yang dapat digunakan adalah sebagai berikut:

1. Biomasa
2. Panas bumi
3. Energi angin
4. Energi pasang surut
5. Motor Tanpa Bahan Bakar
6. Energi ombak
7. Energi surya
8. Energi air

Telah digunakan Roda gaya yang lalu sekitar ribuan tahun. Aplikasi awal adalah roda pembuat tembikar. Mungkin aplikasi yang paling umum digunakan dalam beberapa tahun terakhir adalah di mesin pembakaran internal. Roda gaya adalah bentuk mekanis yang sederhana perangkat penyimpanan energi. Energi itu disimpan untuk memutar generator. Energi itu sebanding dengan massanya dan kuadrat dari kecepatan rotasinya. Kemajuan dalam bantalan magnetik, elektronik daya, Dan bahan roda gaya ditambah dengan integrasi dari mekanisme telah menghasilkan DC pasokan sistem penyimpanan energi roda gaya yang dapat digunakan sebagai suplemen atau tambahan untuk baterai dalam sistem UPS. Pengantar Penyimpanan Energi Roda gaya (Kinetik penyimpanan), juga dikenal sebagai FES, digunakan di banyak bidang teknis. Rotor roda gaya digabungkan dengan generator motor integral yang terkandung dalam perumahan. Generator motor digunakan untuk menyimpan dan kemudian memanfaatkan energi dari roda gaya yang berputar. Penggunaan sistem tenaga roda gaya dapat meningkatkan pengecasan baterai, mengatur daya frekuensi dan menyediakan konversi energi berkelanjutan. Sistem penyimpanan energi roda gaya (FES) dirancang untuk

aplikasi pengereman regeneratif, untuk melengkapi sumber DC dalam UPS (sistem daya tidak terputus). Roda roda sistem pengereman menggunakan rem regeneratif atau KERS (Kinetic Energy Recovery Sistem). Pengereman roda gaya sistem mengurangi konsumsi daya dalam derek seluler, rel transportasi, mobil dan motor rotary bantalan beban signifikan lainnya. Massa inersia adalah meningkatkan kecepatan ke kecepatan putaran yang sangat tinggi dan mempertahankan energi dalam sistem sebagai energi rotasi. Energi diubah kembali dengan memperlambat roda gaya. Performa yang tersedia berasal dari efek Inersia dan kecepatan rotasi. Roda gaya adalah perangkat penahan beban utama di dalam sistem tenaga roda gaya. Roda gaya umumnya dibuat dari baja atau serat karbon. Roda gaya serat karbon memiliki kepadatan energi yang lebih tinggi karena bobotnya yang ringan dan tinggi kekuatan. Baja rotor aluminium dan komposit harganya lebih murah dibandingkan dengan ser'at karbon. [9]

Disebut motor satu fasa, karena untuk menghasilkan tenaga mekanik, pada motor tersebut dimasukkan tegangan satu fasa. Di dalam praktek sering dijumpai motor satufasa dengan lilitan dua fasa. Dikatakan demikian, karena di dalam motor satu fasa lilitan statornya terdiri dari dua jenis lilitan, yaitu lilitan pokok dan lilitan Bantu. Kedua jenis lilitan tersebut dibuat sedemikian rupa, sehingga walaupun arus yang mengalir pada motor adalah arus/tegangan satu fasa, akan mengakibatkan arus yang mengalir pada masing-masing lilitan mempunyai perbedaan fasa. Atau dengan kata lain, bahwa arus yang mengalir pada kumparan utama dan bantu tidak sefasa dan penyalaan TRIAC dilakukan dengan perbedaan urutan fasa 120^o dengan mengatur sudut penyalaan α terhadap perpotongan sumbu nol sedemikian rupa, akan diperoleh suatu pengaturan antara $0 < V < V_m$. [6]

2.2 Landasan Teori

Menyimpan energi yang berlebih kemudian menggunakannya kembali saat diperlukan adalah menggunakan *flywheel* (roda gaya). Penyimpan energi *flywheel* memperoleh energi kinetik dalam bentuk inersia putar, dan menyimpannya dalam bentuk energi kinetik, kemudian melepaskannya ketika dibutuhkan. Dari hasil yang diperoleh dari penyimpanan energi kinetik tersebut dengan sangat menarik dan signifikan. Faktor yang mempengaruhi kinerja penyimpan energi *flywheel* antara lain material, geometri, panjang dari *flywheel*. Peningkatan penggunaan energi listrik dapat dijadikan sebagai indikator meningkatnya kemakmuran suatu

masyarakat. Perkembangan teknologi dan perindustrian serta pertumbuhan penduduk yang pesat membuat kebutuhan akan listrik terus meningkat setiap tahunnya. Semakin lama semakin krisis karena sumber bahan bakarnya semakin menipis dan di samping itu tidak ramah lingkungan, karena mencemari udara dan perairan sekitar. Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (mixer, bor listrik, fan angin) dan di industri. Motor listrik kadang kala disebut kuda kerjanya industri. Diperkirakan motor-motor menggunakan sekitar 70% total energi listrik di industri.

Pembangkit Listrik adalah bagian dari alat Industri yang dipakai untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber tenaga. Bagian utama dari pembangkit listrik adalah generator, yakni mesin yang berputar yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip medan magnet dan penghantar listrik. Mesin generator ini diaktifkan dengan menggunakan berbagai sumber energi yang sangat bermanfaat dalam suatu pembangkit listrik.

2.3 Generator

Generator merupakan sebuah alat yang mampu menghasilkan tegangan listrik. salah satu jenis generator adalah generator arus bolak balik. Generator arus bolak-balik berfungsi mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik arus bolak-balik.

Generator Arus Bolak-balik sering disebut juga sebagai alternator atau generator AC (alternating current) atau juga generator sinkron. Alat ini sering dimanfaatkan di Industri untuk menggerakkan beberapa mesin yang menggunakan arus listrik sebagai sumber penggerak.

Generator arus bolak-balik dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- a. Generator arus bolak balik 1 fasa
- b. Generator arus bolak balik 3 fasa

2.3.1 Prinsip Kerja Generator

Prinsip dasar generator arus bolak-balik menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik. Besar tegangan generator bergantung pada:

- a. Kecepatan putaran(N)
- b. Jumlah kawat pada kumparan yang memotong fluk (Z)
- c. Banyaknya fluk magnet yang dibangkitkan oleh medan magnet (f)
- d. Konstruksi Generator

Generator arus bolak-balik ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu:

- a. Stator merupakan bagian diam dari generator yang mengeluarkan tegangan bolak-balik.
- b. Rotor merupakan bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator.

Stator terdiri dari badan generator yang terbuat dari baja yang berfungsi melindungi bagian dalam generator, kotak terminal dan name plate pada generator. Inti Stator yang terbuat dari bahan ferromagnetic yang berlapis-lapis dan terdapat alur-alur tempat meletakkan lilitan stator.

Lilitan stator yang merupakan tempat untuk menghasilkan tegangan. Sedangkan, rotor berbentuk kutub sepatu (salient) atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder).



Gambar 2.1 Generator AC 1 Fasa

Tabel 2.1 Spesifikasi Generator Induksi 1 fasa

ATOMIC POWER			
AC.SYNCHRONOUS GENERATOR			
TYPE : ST			
Output	3 KW	NO SERI	AS1811143
Teg.Out	230 V	Cos φ	1
Arus Output	13 A	Tegangan Eksitasi	42 V
Frekuensi	50 Hz	Arus Eksitasi	2A
RPM	1500 r/min	Rating S1	IP 21
Phase	1	INS CLASS	B
IEC60034-1:2010			

2.4 Motor Listrik

2.4.1 Pengertian Motor Listrik

Motor listrik adalah mesin listrik yang mampu mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Mesin induksi sebagai motor listrik cukup banyak digunakan, hal ini karena motor listrik mempunyai keuntungan sebagai berikut:

- a. Bentuknya sederhana, konstruksinya cukup kuat
- b. Biayanya murah dan dapat diandalkan
- c. Efisiensi tinggi pada keadaan normal tidak memerlukan sikat, sehingga rugi-rugi gesekan dapat dikurangi
- d. Perawatan yang minimum
- e. Pada waktu mulai beroperasi tidak memerlukan tambahan peralatan khusus.

Namun disamping hal tersebut diatas, perlu juga diperhatikan hal-hal yang tidak menguntungkan, yaitu:

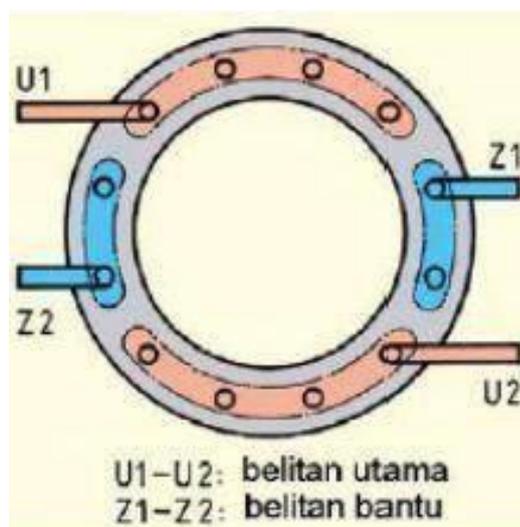
- a. Pengaturan kecepatannya sangat mempengaruhi efisiensinya
- b. Kecepatannya akan berkurang jika bebannya bertambah
- c. Kopel mulanya lebih rendah daripada mesin arus searah paralel.



Gambar 2.2 Motor Induksi 1 Fasa

2.4.2 Prinsip kerja Motor

Motor AC satu fasa berbeda cara kerjanya dengan motor AC tiga fasa, dimana pada motor AC tiga fasa untuk belitan statornya terdapat tiga belitan yang menghasilkan medan putar dan pada rotor sangkar terjadi induksi dan interaksi torsi yang menghasilkan putaran. Sedangkan pada motor satu fasa memiliki dua belitan stator, yaitu belitan fasa utama (belitan U1-U2) dan belitan fasa bantu (belitan z1 – z2).



Gambar 2.3 Prinsip Medan Magnet Utama dan Medan magnet Bantu Motor 1 fasa

Belitan menggunakan penampang kawat tembaga lebih besar sehingga memiliki impedansi lebih kecil. Sedangkan belitan bantu dibuat dari tembaga

berpenampang kecil dan jumlah belitannya lebih banyak, sehingga impedansinya lebih besar dibanding impedansi belitan utama.

Belitan bantu Z1-Z2 pertama dialiri arus (Ibantu) menghasilkan fluks magnet Φ tegak lurus, beberapa saat kemudian belitan utama U1-U2 dialiri arus utama (Iutama) yang bernilai positif. Hasilnya adalah medan magnet yang bergeser sebesar 45° dengan arah berlawanan jarum jam. Kejadian ini berlangsung terus sampai satu siklus sinusoida, sehingga menghasilkan medan magnet yang berputar pada belitan statornya. Rotor motor satu fasa sama dengan rotor motor tiga fasa yaitu berbentuk batang-batang kawat yang ujung-ujungnya dihubung singkatkan dan menyerupai bentuk sangkar tupai, maka sering disebut rotor sangkar.

Belitan rotor yang dipotong oleh medan putar stator, menghasilkan tegangan induksi, interaksi antara medan putar stator dan medan magnet rotor akan menghasilkan torsi putar pada rotor. Apabila kumparan-kumparan motor induksi satu fasa dialiri arus bolak-balik satu fasa, maka pada celah udara akan dibangkitkan medan yang berputar. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor. Sehingga pada kumparan rotor (medan) timbul tegangan induksi Gaya Gerak Listrik (GGL) sebesar:

$$E_2 = 4,44 \cdot f_2 \cdot N_2 \cdot \Phi_m \text{ (per fasa) } \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

E_2 = Tegangan pada rotor (V)

f_2 = Frekuensi motor (Hz)

N_2 = Kecepatan medan (rpm)

Φ_m = Fluks magnet

Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka ggl akan menghasilkan arus (I). Adanya arus didalam medan magnet menimbulkan gaya pada rotor. Bila kopel (torque) mula yang dihasilkan oleh gaya (F) tersebut pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator. Dari pernyataan diatas, bahwa syarat terbentuknya tegangan induksi haruslah ada perbedaan kecepatan relatif (disebut sebagai “slip”) antara kecepatan medan putar stator (N_s) dan kecepatan putar rotor (N_r). Kecepatan relatif dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

$S = \text{Slip (\%)}$

$N_r = \text{Kecepatan perputaran medan rotor (rpm)}$

$N_s = \text{Kecepatan medan stator (rpm)}$

2.5. Frekuensi

Berubah–ubahnya kecepatan putar rotor akan mengakibatkan berubah–ubahnya nilai slip dari saat start (100%) sampai saat berputar pada kecepatan normal atau stasioner (0%), yaitu $N_s = N_r$. Rotor dalam keadaan stasioner, frekuensi arus rotor sama dengan frekuensi arus sumber. Jika motor mulai bergerak, frekuensi arus rotor tergantung pada slip atau kecepatan slip ($N_s - N_r$).

2.6. Daya Listrik

Satuan daya listrik adalah Watt. Dalam satuan SI watt didefinisikan sebagai energi yang dikeluarkan atau kerja yang dilakukan setiap detik oleh arus 1A yang konstan pada tegangan 1 volt, Sehingga:

$$P = I \cdot V \cdot \cos \phi \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

$P = \text{Daya (watt)}$

$I = \text{Arus (A)}$

$V = \text{Tegangan (volt)}$

2.7. Hubungan Putaran, Torsi dan Daya

Jika hasil jari-jari suatu benda diberikan kecepatan putaran, maka:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n / 60 \dots \dots \dots (2.4)$$

Sehingga besarnya torsi yaitu:

$$T = F \cdot r \dots \dots \dots (2.5)$$

Maka didapatkan besarnya daya motor:

$$P_m = F \cdot \omega \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

$r = \text{Jari-jari (m)}$

$n = \text{Putaran (rpm)}$

$F = \text{Gaya (N)}$

ω = Kecepatan putar (Rad/s)

T = Momen putar/torsi (N.m)

Pm = Daya motor (Watt)

2.8. Pulley Penggerak

Pulley adalah suatu alat mekanis yang digunakan sebagai pendukung pergerakan belt atau sabuk lingkar untuk menjalankan sesuatu kekuatan alur yang berfungsi menghantarkan suatu daya. Cara kerja pulley sering digunakan untuk mengubah arah dari gaya yang diberikan dan mengirimkan gerak rotasi. Pulley pada

Belt Conveyor sangat berperan penting dalam menggerakkan sabuk atau Belt dengan memberikan gaya rotasi (putar) dan angkut dari satu titik ke titik lain.

Ada beberapa tipe pulley, yaitu:

1. Pulley type V
2. Pulley timing
3. Pulley variable (pulley V bisa disetting besar kecil)
4. Pulley round (alur U)
5. Loss pulley (biasa sebagai adjustment)



Gambar 2.4 Pulley tipe A

Dengan menggunakan perbandingan diameter pulley penggerak sebagai transmisi kita dapat menaikkan atau menurunkan kecepatan putaran sehingga dari perbandingan diameter 2 buah pulley penggerak didapat.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Dp_2}{Dp_1} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

N_1 = Motor Penggerak (rpm)

N_2 = Mesin yang digerakkan (rpm)

D_{P1} = Diameter pulley pada poros motor listrik

D_{P2} = Diameter pulley pada poros pisau pemotong

2.9. Van Belt

V-Belt digunakan untuk mentransmisikan daya dari poros yang satu ke poros yang lainnya melalui pulley yang berputar dengan kecepatan sama atau berbeda. Puli V-belt merupakan salah satu elemen mesin yang berfungsi untuk mentransmisikan daya seperti halnya sproket rantai dan roda gigi.

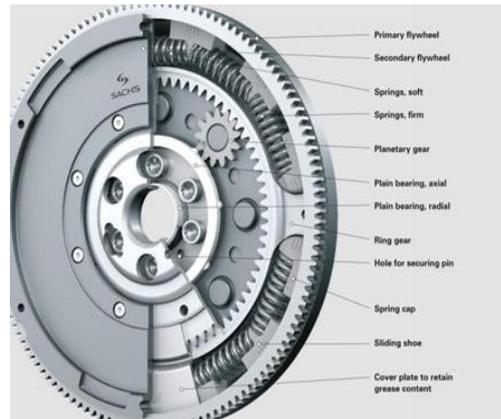


Gambar 2.5 Van Belt

2.10. Flywheel

Flywheel atau Roda Gila atau Roda Penyeimbang Gaya adalah salah satu elemen mesin yang berbentuk bulat dengan bobot massa yang besar, yang terhubung langsung dengan poros engkol dan biasanya terletak sebelum atau setelah alat penghubung untuk out-put. *Flywheel* ini berfungsi sebagai penyeimbang gaya dan mengatur putaran mesin sehingga putaran mesin dapat berjalan dengan baik. Prinsip kerja dari *Flywheel* ini adalah menjaga putaran mesin agar tetap berjalan normal dan tidak kaku sehingga out-put yang dihasilkan bisa dikontrol.

Dalam artian bahwa ketika putaran mesin tinggi maka *flywheel* ini menyimpan energi potensial yang kemudian dialirkan saat putaran mesin rendah, sehingga saat putaran mesin rendah out-put yang dihasilkan tetap konstan, karena dengan bobot massa yang besar memungkinkan *Flywheel* tetap berputar sekalipun mesin secara tiba-tiba dimatikan. Hali ini mengindikasikan bahwa peranan *flywheel* pada mesin sangat berarti.



Gambar 2.6 Penampang *Flywheel*

Keterangan gambar:

1. Primary flywheel.
2. Secondary flywheel.
3. Spring, soft.
4. Spring, firm.
5. Planetary gear.
6. Plain bearing, axial.
7. Plain bearing, radial.
8. Ring gear.
9. Hole for securing pin.
10. Spring cap.
11. Sliding shoe.
12. Cover plate to retain grease content.

Fungsi *Flywheel* pada mesin sama persis dengan fungsi gunung pada bumi. Ketika *Flywheel* ini mengalami sedikit saja retakan pada permukaannya, maka putaran mesin menjadi tidak seimbang dan mempengaruhi out-put yang dihasilkan, dan bahkan ketika *flywheel* mengalami pengurangan massa akibat gesekan antar material atau sebab lain, maka keseimbangan pada mesin menjadi terganggu dan dapat menimbulkan getaran paksa pada mesin, akibatnya selain minimnya out-put 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*.

Flywheel biasanya terbuat dari baja dan berputar pada bantalan (bearings) konvensional, dan ini umumnya terbatas pada tingkat revolusi kurang dari 1000 RPM. Beberapa *flywheel* modern terbuat dari bahan serat karbon dan

menggunakan bantalan magnet, memungkinkan *flywheel* untuk berputar pada kecepatan sampai 60.000 RPM. *Flywheel* sering digunakan untuk menyediakan energi yang terus menerus dalam sistem dimana sumber energi tidak kontinyu. Dalam kasus tersebut, *flywheel* menyimpan energi ketika torsi diterapkan oleh sumber energi, dan melepaskan energi yang tersimpan ketika sumber energi tidak menerapkan torsi untuk itu. Misalnya, *flywheel* yang digunakan untuk mempertahankan kecepatan sudut konstan crankshaft dalam mesin piston. Dalam hal ini, *flywheel* yang dipasang pada crankshaft menyimpan energi ketika torsi yang diberikan pada *flywheel* oleh piston yang sedang bergerak, dan melepaskan energi ke beban mekanik bila tidak ada piston yang menghasilkan daya.

Ada 2 jenis manfaat dari penggunaan *flywheel* yaitu:

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 *flywheel*, 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 bakar menggerakkan sebuah generator listrik, maka kecepatan yang berubah-ubah tidak dikehendaki, apalagi untuk sistem penerangan.

Energi yang tersimpan dalam *flywheel* kemudian digunakan untuk menghitung dimensi *flywheel*, mencari besarnya fluktuasi energi dengan cara, yaitu:

$$\Delta E = 2 \cdot C_s \cdot E \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

ΔE = Fluktuasi energi (kg. m)

C_s = Koefisien speed, mesin crusher = 0,2

E = Energi yang disimpan dalam *flywheel* (kg. m)

Fluktuasi energi digunakan untuk mencari berat *flywheel*, berikut ini uraian rumusnya yaitu:

$$\Delta E = \frac{W}{g} \cdot r^2 \cdot \omega^2 \cdot Cs \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

ΔE = Fluktuasi energi (kg. m)

W = Massa flywheel (kg)

r = Jari-jari (m)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

Massa *flywheel* dapat dihitung menggunakan rumus:

$$W = A \cdot 2\pi r \cdot \rho \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

W = Massa *flywheel* (kg)

A = Luas penampang *flywheel* (cm²)

r = Jari-jari (cm)

ρ = Massa jenis bahan *flywheel* (kg/cm³)

massa jenis besicor = 0,0072 kg /cm³

Daya dari motor mesin harus mampu menggerakkan *flywheel* itu sendiri, untuk mengetahuinya dapat dicari dengan rumus:

$$P = T \cdot \omega \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

P = Daya untuk menggerakkan *flywheel* (HP) T = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan sudut (rad / s)

Torsi dihitung dengan menggunakan rumus:

$$T = I \cdot a \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

T = Torsi (Nm)

I = Momen inersia (kg. m / s)

a = Percepatan (rad / s²)

Sedangkan untuk menentukan momen inersia, perhitungannya adalah:

$$I = \frac{W}{g} \cdot r^2 \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

I = Momen inersia (kg m / s)

W = Massa *flywheel* (kg)

r = Jari-jari (m)

g = Gaya gravitasi

Flywheel atau Roda Gila atau Roda Penyeimbang Gaya adalah salah satu elemen mesin yang berbentuk bulat dengan bobot massa yang besar, yang terhubung langsung dengan poros engkol dan biasanya terletak sebelum atau setelah alat penghubung untuk out-put. Roda gaya ini berfungsi sebagai penyeimbang gaya dan mengatur putaran mesin sehingga putaran mesin dapat berjalan dengan baik. Prinsip kerja dari Roda gaya ini adalah menjaga putaran mesin agar tetap berjalan normal dan tidak kaku sehingga out-put yang dihasilkan bisa dikontrol. Jarang diketahui adalah Roda gaya memiliki kepadatan energi hingga ratusan kali lebih banyak dibandingkan dengan baterai yang ada saat ini serta dapat menyimpan dan melepaskan energi dengan lebih cepat. Energi yang berlebih dari pembangkit listrik harus disimpan dalam bentuk tertentu atau energi tersebut akan terbuang percuma. Salah satu cara yang dilakukan untuk menyimpan energi yang berlebih kemudian menggunakannya kembali saat diperlukan (*power on demand*) adalah menggunakan Roda gaya.

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 memutarinya pada suatu tempat di mana 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. Penggunaan roda gaya pada perkantoran atau perumahan dapat menghindari keharusan membangun pembangkit listrik baru untuk memenuhi kebutuhan akan energi yang terus meningkat. Sebuah unit roda gaya dapat berukuran kecil dan berbobot ringan untuk ditempatkan di lingkungan perumahan. Sebuah unit berkapasitas 50 kilowatt-hour (KWh) yang dapat memberikan daya listrik sebesar 10 KW (Alfaizin, 2015), suatu daya yang lebih dari cukup untuk sebuah rumah, hanya berukuran sebesar teko air.

Perkembangan teknologi terbaru telah memungkinkan dirancangnya roda gaya yang ekonomis, yaitu biaya murah, kontrol elektronik yang ringkas sehingga memperkecil ukuran komponen, serta mengurangi gesekan yang terjadi. Pada penerapannya di daerah komersial dan industri, pemasangan sistem roda gaya dilakukan di bawah tanah atau di atas lantai suatu bangunan. Roda gaya berumur sepuluh kali lebih lama dibandingkan dengan baterai konvensional. Tidak menggunakan bahan kimia yang berbahaya, dapat beroperasi pada suhu lingkungan yang ekstrem dan mudah dalam perawatan. Umur roda gaya dapat mencapai 20 hingga 40 tahun (Alfaizin, 2015). Roda gaya merupakan sebuah benda dengan berbagai macam bentuk yang berputar terhadap titik pusat massa. Pada umumnya roda gaya berbentuk silinder pejal atau cakram yang memiliki massa dan jari-jari tertentu. Mekanisme penyimpanan energinya menggunakan prinsip gerak rotasi, energi disimpan dalam bentuk energi kinetik rotasi. Besarnya energi yang tersimpan pada roda gaya tergantung pada momen inersia dan kecepatannya saat berputar, roda gaya 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 roda gaya bisa berputar sampai puluhan ribu RPM tergantung dari material yang menyusunnya, semakin padat dan keras material suatu roda gaya semakin bagus karena dengan volume yang kecil massanya semakin besar dan selain itu juga akan semakin tahan jika diputar dengan kecepatan tinggi.

Kalau dalam gerak lurus, gerakan benda dipengaruhi oleh gaya, maka dalam gerak rotasi, gerakan benda dipengaruhi oleh torsi. Semakin besar torsi, semakin cepat benda berotasi. Sebaliknya semakin kecil torsi, semakin lambat benda berotasi. misalnya mula-mula benda diam (kecepatan sudut = 0). Jika pada benda itu dikerjakan torsi, benda itu berotasi dengan kecepatan sudut tertentu. Dalam hal ini benda mengalami perubahan kecepatan sudut (dari diam menjadi berotasi).

Perubahan kecepatan sudut sama dengan percepatan sudut, semakin besar torsi semakin besar percepatan sudut. Sebaliknya semakin kecil torsi, semakin kecil percepatan sudut. Dengan kata lain, torsi berbanding lurus dengan percepatan sudut.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian direncanakan berlangsung selama 6 (enam) bulan, dimulai dari pengumpulan data bahan dan alat, data komponen, perancangan sistem, hingga pengujian sistem. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Glugur Darat II Medan.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam analisis kinerja pembangkit listrik energi terbarukan dari roda gaya motor-generator ini adalah sebagai berikut:

a. Alat Penelitian

1. *Hands Tools* (Alat tangan, seperti : Obeng, Tang, Kunci Pass/ring dan lain sebagainya).
2. Alat ukur Multitester digunakan untuk mengukur tegangan yang dihasilkan dan mengukur terhubung tidaknya rangkaian listrik pada pembangkit listrik.
3. Alat ukur Tang Ampere digunakan untuk mengukur arus listrik pembangkit.
4. Alat ukur Tacometer digunakan untuk mengukur kecepatan putar dari generator, motor dan roda gaya

b. Bahan Penelitian

1. Motor Induksi 1 fasa digunakan sebagai penggerak mula dari pembangkit listrik.
2. Generator Induksi 1 fasa digunakan sebagai generator dari pembangkit listrik.
3. *Flywheel* digunakan untuk menjaga kecepatan putar pada motor dan generator agar tetap konstan
4. *Pulley* digunakan untuk pemindah kecepatan putar antara motor, generator dan Roda gaya.
5. *V-Belt* berfungsi sebagai penghubung antara pulley yang satu ke pulley yang lainnya

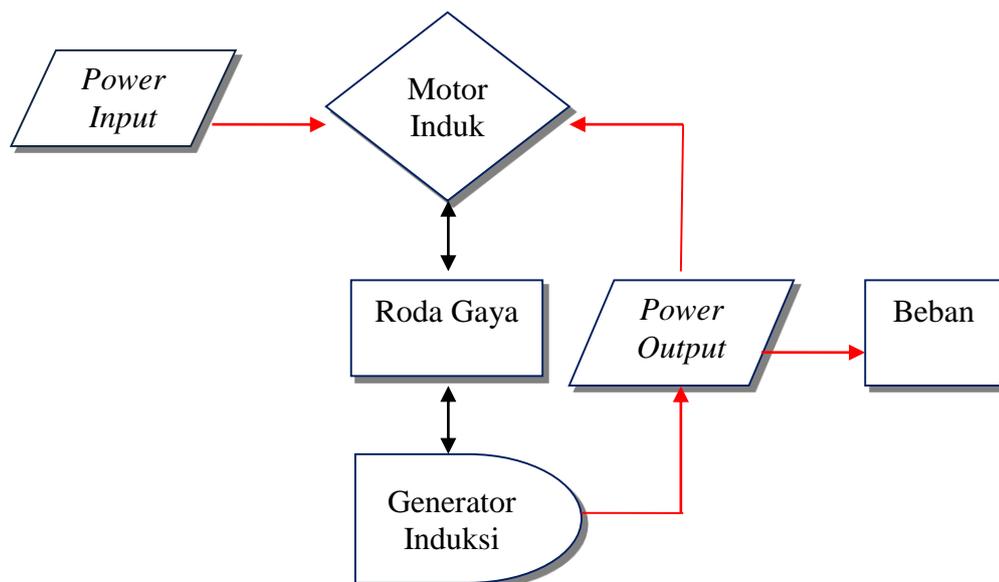
6. Bearing UCP berfungsi sebagai tumpuan dari *flywheel*.
7. Panel Listrik digunakan untuk melindungi komponen sistem kontrol listrik dari pembangkit listrik.
8. MCB 1 fasa digunakan sebagai pengaman dari arus beban lebih, pengaman motor induksi dan generator induksi, serta *short circuit*.
9. Saklar Togle digunakan sebagai saklar pemindah manual antara arus listrik generator dengan arus listrik PLN.
10. Kontaktor digunakan sebagai saklar pemindah otomatis antara arus listrik generator dengan arus listrik penggerak mula.
11. *Selector Switch* digunakan sebagai saklar ON/OFF sistem kontrol listrik dari pembangkit listrik.

3.3 Jalannya Penelitian

3.3.1 Diagram Blok Proses Kerja Pembangkit Energi Listrik Dengan Flywheel Motor Generator.

Untuk mempermudah dalam hal perancangan pembangkit energi listrik *Flywheel* Motor-Generator maka dibuat diagram blok proses kerja pembangkit energi listrik gratis.

Dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.



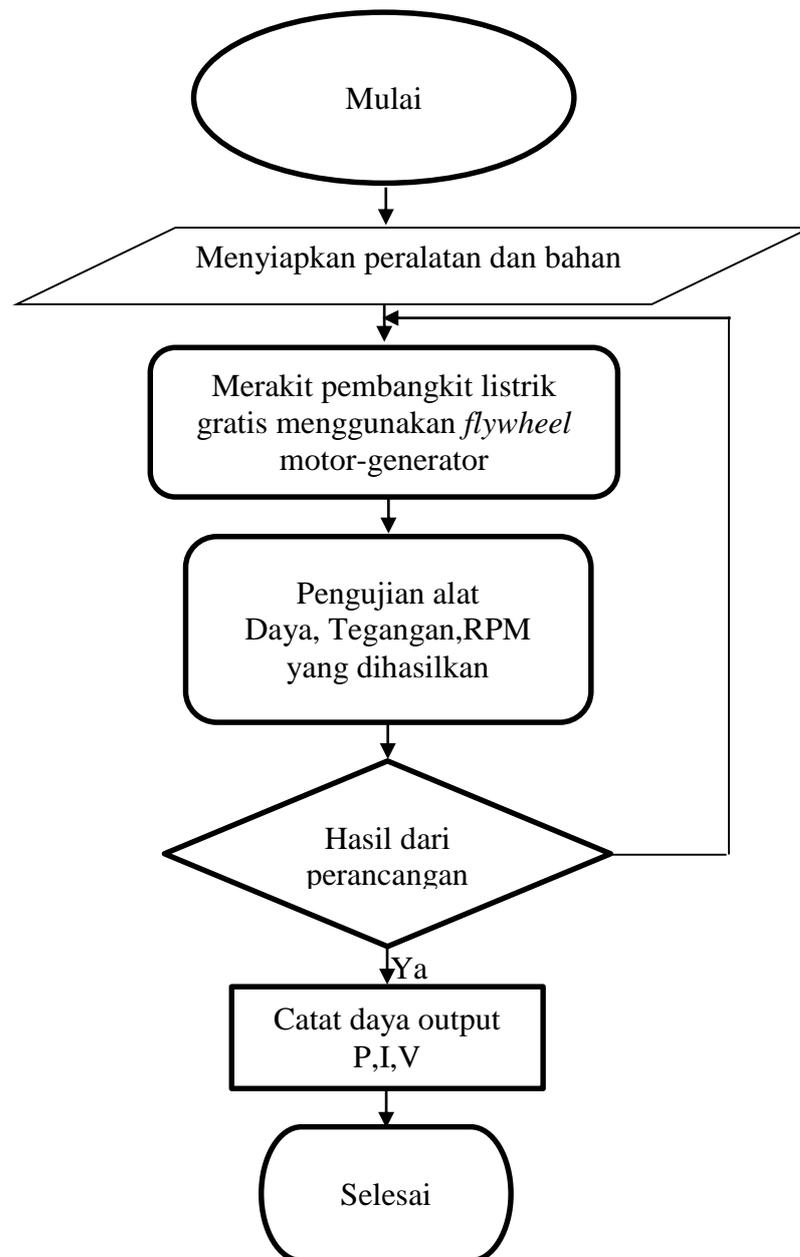
Gambar 3.1 Diagram Blok Proses Kerja Pembangkit Listrik Dengan Flywheel Motor – Generator

Diagram blok diatas memberi gambaran mengenai proses kinerja antara motor dan generator sampai menghasilkan energi listrik, proses ini menggunakan sistem *Manual Electrical*, dan sistem ini menggunakan beberapa jenis komponen *Elektrik* sebagai kelengkapan sistem pembangkit.

3.3.2 Rancangan Alat Penelitian

Metodologi Penelitian Mengumpulkan beberapa referensi yang terkait dengan objek penelitian yang digunakan dan mempelajari dasar-dasar teori pada penelitian tugas akhir ini Pemilihan komponen-komponen merupakan tahapan awal dari proses perancangan generator listrik, pada tahap ini peneliti mulai memilih komponen-komponen apa saja yang dapat di gunakan mulai menggunakan barang bekas dan menggunakan barang baru. Setelah mendapatkan semua komponen-komponen peneliti mulai memodifikasi alternator agar putaran low, alternator dapat menghasilkan rpm lebih cepat walau pun arus yang di gunakan sedikit, serta tidak menguras energi pada baterai, sehingga lebih efisien di gunakan dalam generator listrik *flywheel* ini. Perancangan mekanik dimulai dari perancangan desain rangka, peneliti buat dari bahan besi ump 8 dan ump 5 dengan menggunakan alat yang sudah disediakan seperti gergaji, bor listrik dan beberapa alat pendukung lainnya. Pada tahap ini, semua komponen yang digunakan pada penelitian ini mulai dirakit sesuai dengan desain dan rancangan yang telah dibuat sebelumnya. Tahap ini merupakan tahap terakhir dari perancangan generator listrik *flywheel*. Pada tahap ini dilakukan beberapa pengujian antara lain pengujian kestabilan putaran, pengujian kecepatan putaran (RPM), pengujian beban listrik dari beban tidak ada, beban sedang, hingga beban berat. Apakah generator ini masih dapat bekerja dengan semestinya. Penyusunan laporan dilakukan selama prosesn penelitian ini dilaksanakan, mulai dari tahap pengumupulan reverensi sampai proses pengujian alat. Pada tahap ini digunakan agar pada saat proses penelitian dapat terdokumentasi dalam bentuk karya ilmiah dan akademis.

3.3.3 Bagan Alir Penelitian



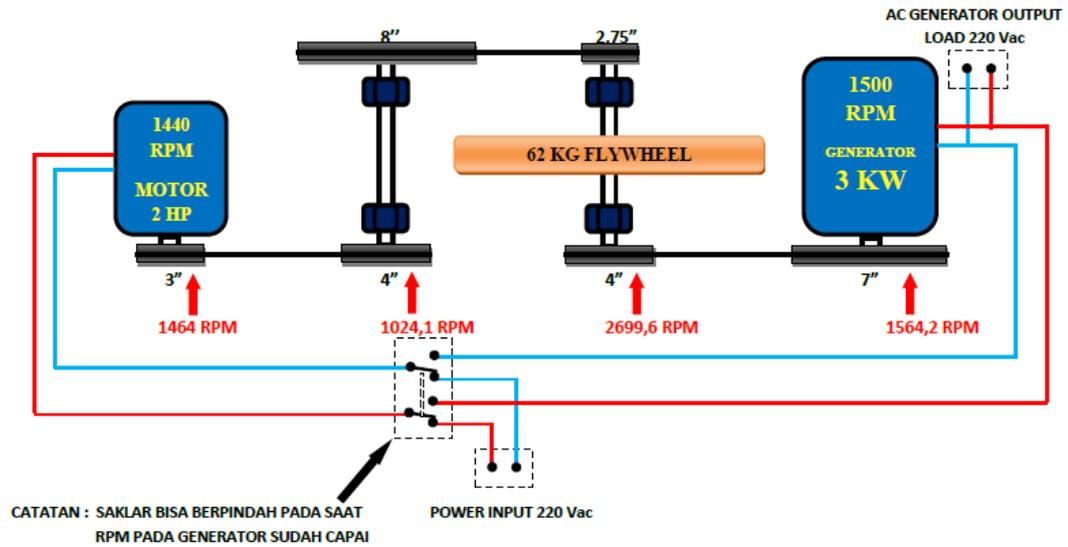
Gambar 3.2 Diagram Alir Rancang Bangun Pembangkit Listrik Menggunakan *Flywheel* Motor-Generator.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Rancang Bangun Pembangkit Listrik Menggunakan *Flywheel* Motor – Generator

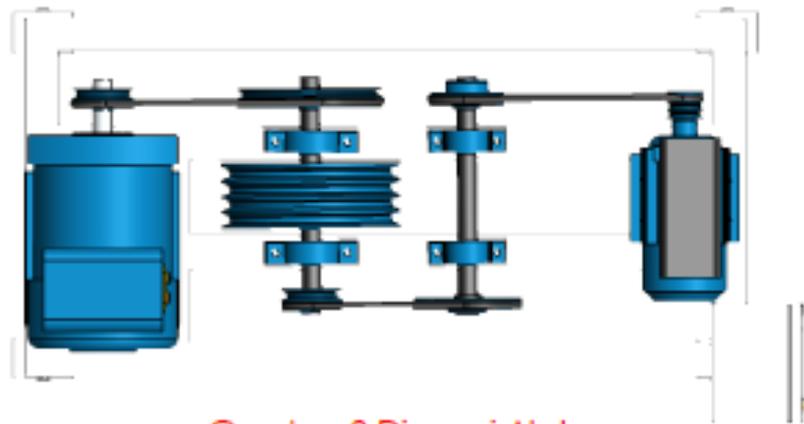
Perancangan pembangkit listrik ini dilakukan guna mewujudkan pembangkit listrik *Flywheel* Motor-Generator untuk memperbesar arus dalam pemenuhan kebutuhan listrik sehari-hari. Dengan adanya mesin pembangkit listrik ini kita bisa menambah arus listrik tanpa adanya biaya tambahan membeli bahan bakar karena mesin pembangkit listrik ini dirancang sistem kerjanya dengan sistem sirkulasi energi dimana kita hanya membutuhkan listrik sebagai tenaga penggerak awal.

Mesin pembangkit listrik beroperasi diawali dengan tenaga penggerak awal dari PLN, setelah kecepatan motor dan generator sudah capai maka sumber energi dari PLN diputus, selanjutnya mesin ini akan hidup dengan sistem sirkulasi energi dari pembangkit itu sendiri. Yang mana listrik yang dihasilkan generator digunakan sebagai *input* listrik motor penggerak dan sisanya digunakan untuk kebutuhan. Perancangan mesin berdasarkan diagram pada gambar 3.1 telah menggunakan generator 3KW yang beroperasi pada 1500-1700 *Rotations per minutes* (RPM), hal ini dilakukan karena yang sebagian ($2755\text{Watt} - 1500\text{Watt} = 1255\text{Watt}$) dapat digunakan untuk keperluan lain. Perancangan pembangkit listrik ini telah menggunakan motor listrik 1 fasa dengan daya 2 *Horse power* (HP) yang berfungsi sebagai mesin penggerak dari mesin pembangkit listrik menggunakan *Flywheel* motor-generator. Apabila motor tersebut dialiri listrik maka motor akan mentransfer energi gerak ke generator melalui sistem *pully-pully* dan *Flywheel*. Dimana sistem-sistem *pully* ini dibuat selain untuk mentransfer energi gerak dari motor ke generator, sistem-sistem *pully* ini juga berfungsi sebagai alat untuk mengkonversi kecepatan rotasi putaran motor yang dibutuhkan oleh generator supaya mesin dapat beroperasi. Adapun gambar tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1

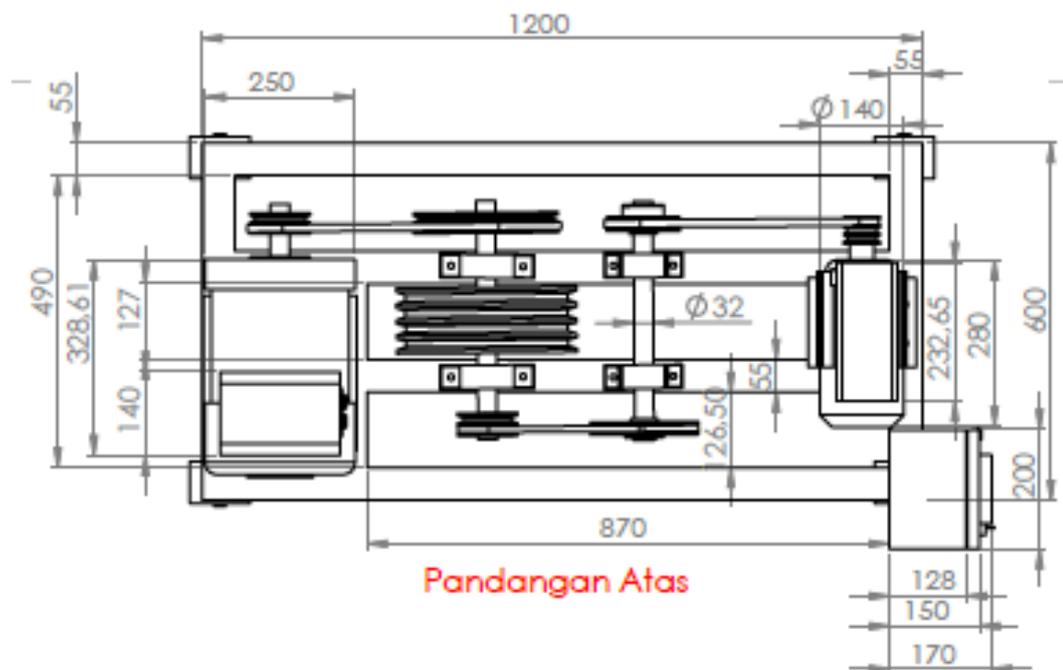


Gambar 4.1 Skema Proses Kerja Pembangkit Listrik Menggunakan *Flywheel* Motor-Generator

Rancang bangun pembangkit listrik ini juga menggunakan *Flywheel*. Penggunaan *Flywheel* dalam rancang bangun ini bertujuan sebagai penyimpan energi yang nantinya digunakan untuk menjaga putaran pada generator agar konstan. Energi yang disimpan pada *Flywheel* berbentuk energi mekanik yaitu energi kinetik rotasi. Dengan penggunaan komponen tersebut pada rancang bangun pembangkit listrik maka pembangkit listrik dapat berjalan sistem-sistemnya sesuai dengan tujuan awal perancangan. Dengan demikian adanya rancangan ini diharapkan dapat mengoptimalkan efisiensi dari daya *output* pembangkit listrik.



Gambar 3 Dimensi Alat Pengalir Energi Listrik



Pandangan Atas

Gambar 4.2 Bentuk Keseluruhan Pembangkit Listrik

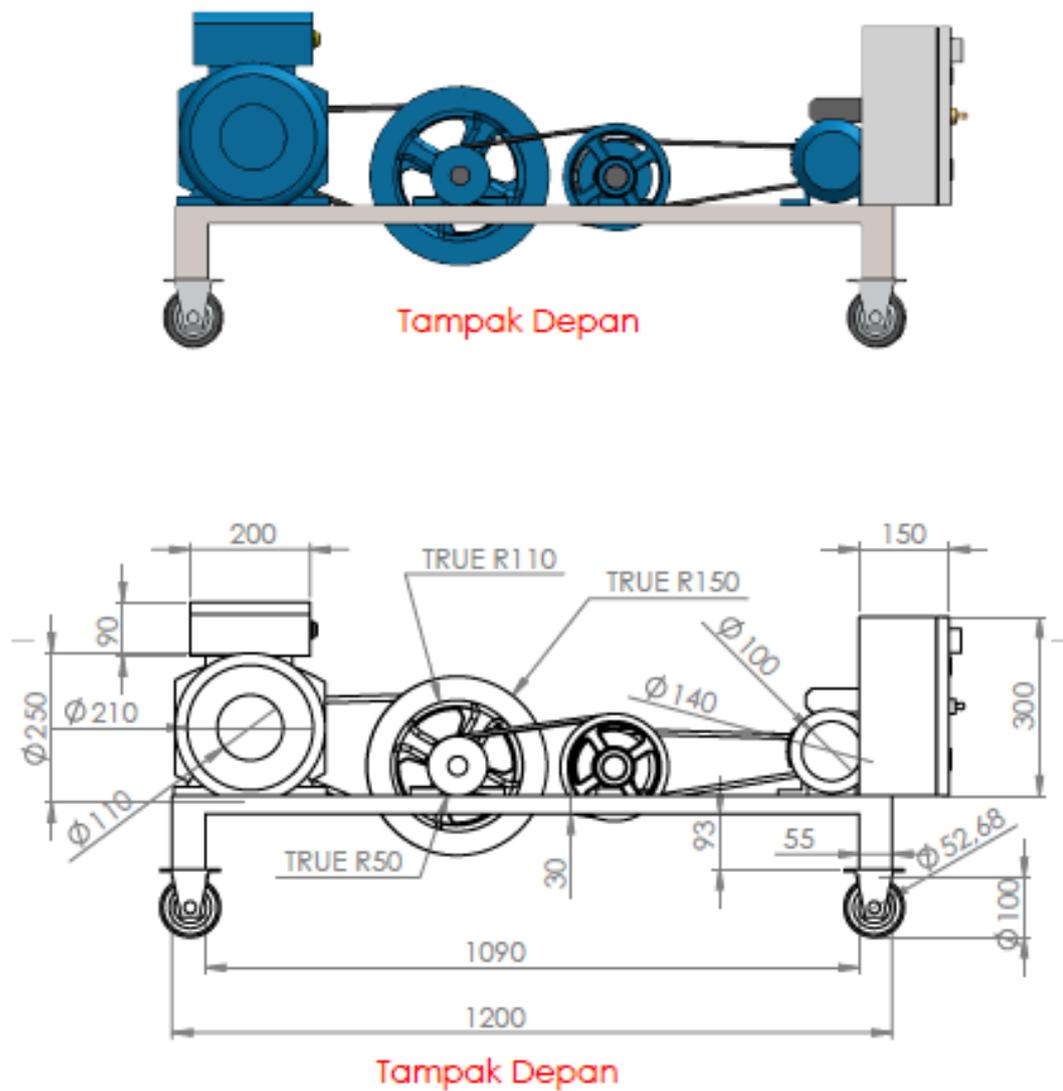
Adapun hasil perancangan pembangkit listrik menggunakan *Autocad* diperlihatkan pada gambar 4.2 . Peralatan utama dari Pembangkit Listrik ini ialah *Flywheel*, Motor dan Generator dengan fungsi masing – masing peralatan ini yaitu, generator sebagai penghasil daya, motor sebagai penggerak dan roda gaya sebagai pembantu putaran motor dan generator. Agar sistem berjalan, maka daya untuk penggerak harus lebih kecil dari penghasil daya.

4.2 Karakteristik Pembangkit Listrik Menggunakan *Flywheel* Motor – Generator

4.2.1 Rangka mesin

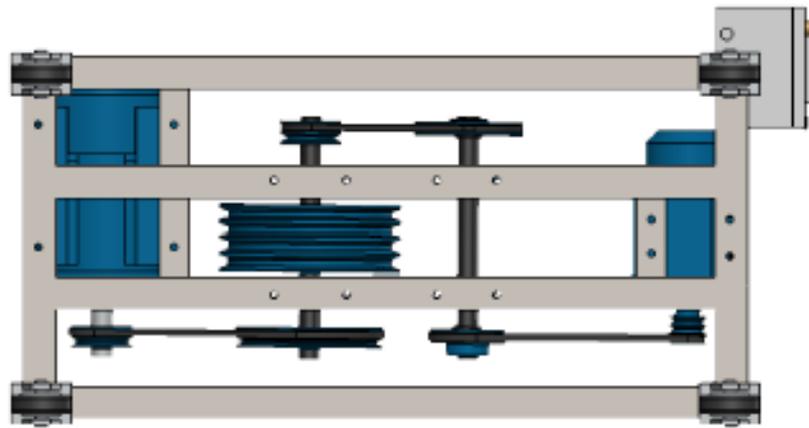
Dalam perancangan pembangkit listrik pembuatan kerangka dilakukan dengan ketelitian tinggi supaya presisi dan sesuai dengan ukuran yang telah dibuat. Dalam pembuatan kerangka ini panjang kerangka 120cm dengan lebar 60cm dan tinggi nya 12 cm. Penentuan panjang, lebar dan tinggi kerangka bukan semata karena perkiraan tetapi ditentukan dengan memperhitungkan komponen – komponen yang digunakan. Hal tersebut dilakukan supaya pada saat dirangkai sesuai dengan dudukannya.

Setelah ditentukan ukuran panjang, lebar, dan tinggi kerangkanya maka juga telah dilakukan pengukuran jarak dudukan setiap komponen seperti komponen motor, generator, roda gaya, dan pully. Jarak kerangka dudukan motor dan generator dibuat dengan jarak panjang 97cm dan lebar 5,2cm sesuai dengan dudukan motor dan generator yang digunakan. Setelah melakukan pengukuran jarak dudukan motor dan generator juga telah dilakukan pengukuran kerangka dudukan roda gaya dan pully, Jarak dudukan pully dan roda gaya 26,1cm. Dengan ukuran tersebut roda gaya dan pully dapat dipasang dalam satu poros sehingga roda gaya tidak keluar dari rantai mesin. Hasil perancangan telah memperlihatkan roda gaya berada ditengah. Maka setelah selesai melakukan pengukuran kerangka sesuai dengan komponen tersebut maka hal selanjutnya dilakukan perakitan kerangka dengan menggunakan mesin las sesuai dengan ukuran dan gambar yang telah dirancang. Adapun kerangka mesin setelah dilakukan perakitan seperti pada gambar berikut:

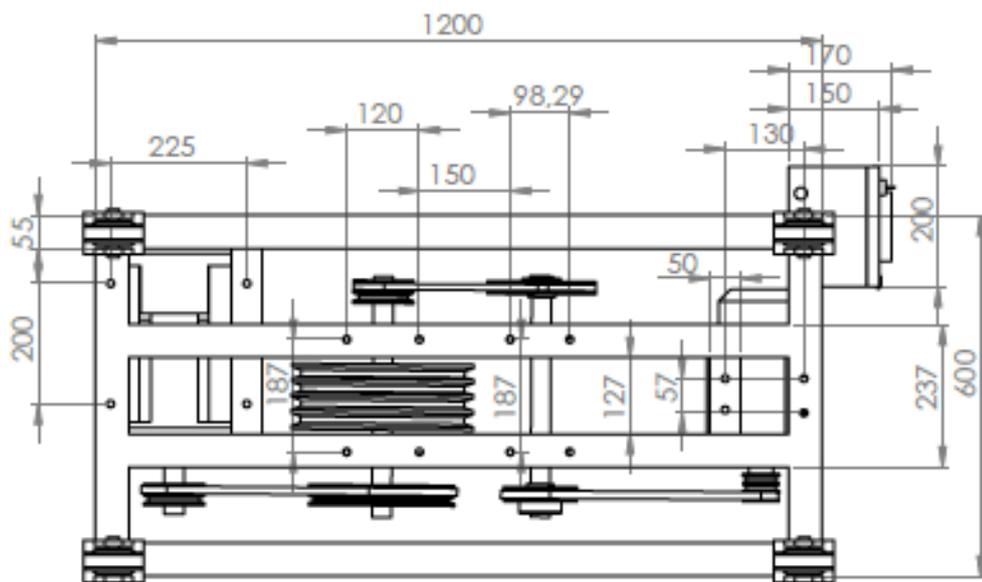


Gambar 4.3 Pandangan Depan Kerangka Mesin

Pada sistem ini menggunakan konsep generator listrik untuk memutar alternator. Dengan memanfaatkan energi yang tersimpan pada *flywheel*, generator listrik ini akan terus berputar selagi tenaga pada alternator mencukupi untuk mensuplai energi listrik ke motor.

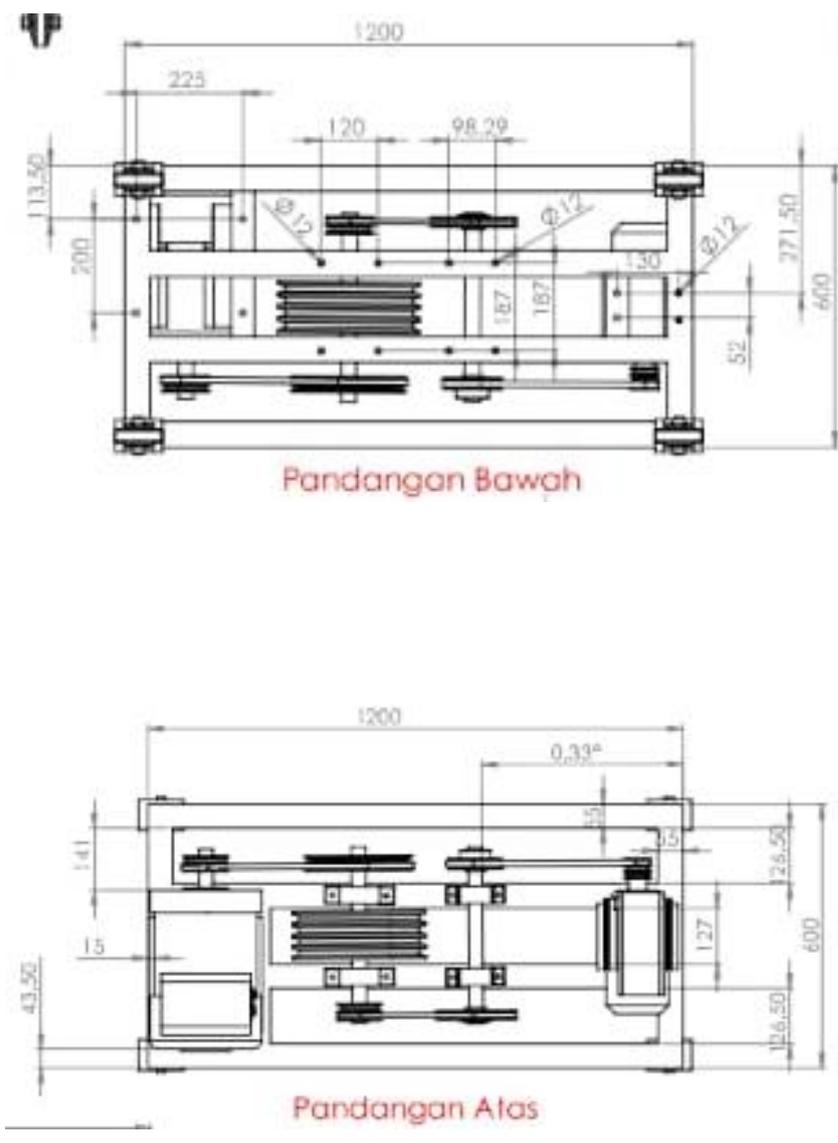


Pandangan Atas

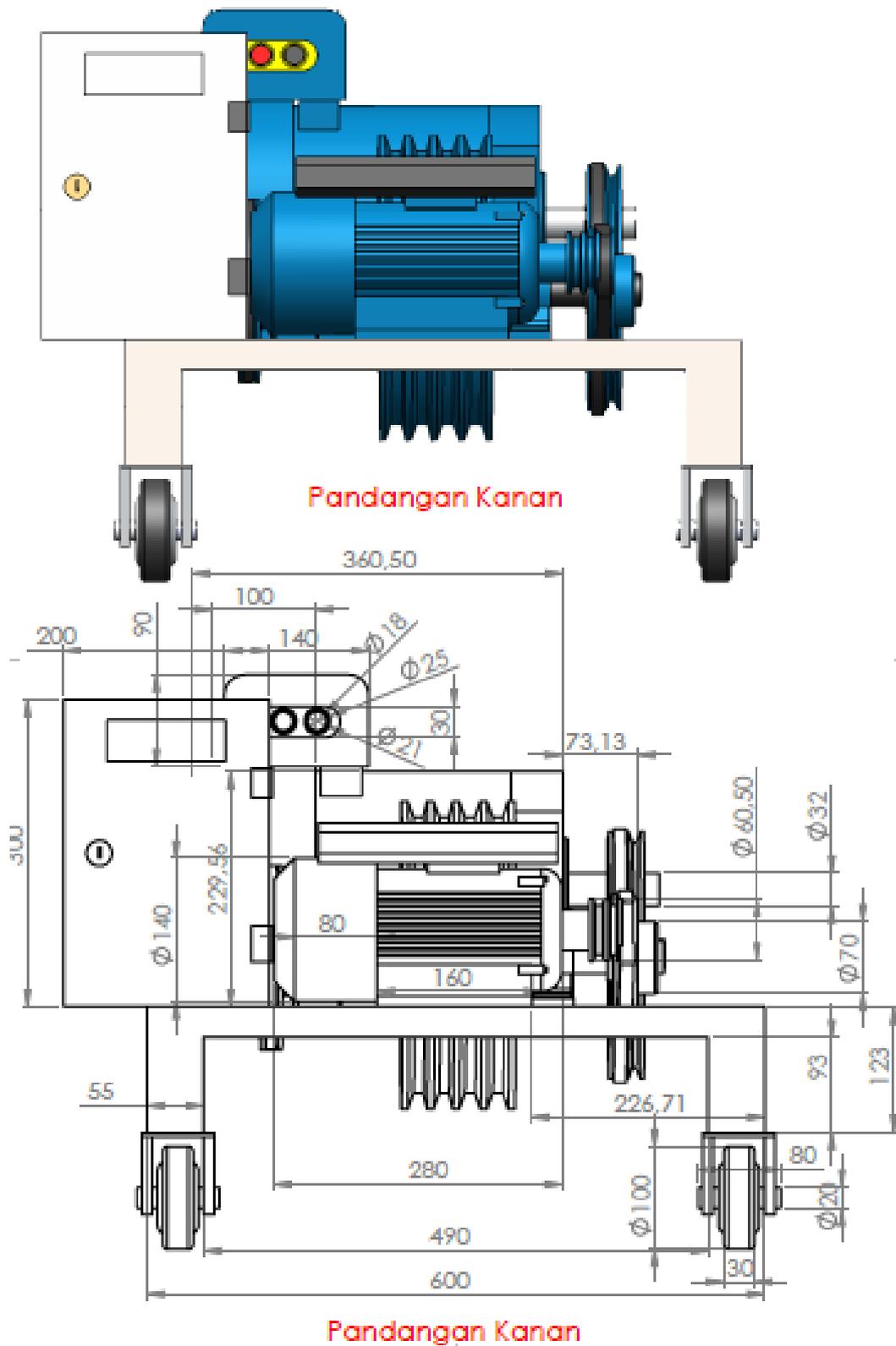


Gambar 4.4. Pandang Bawah Kerangka Mesin

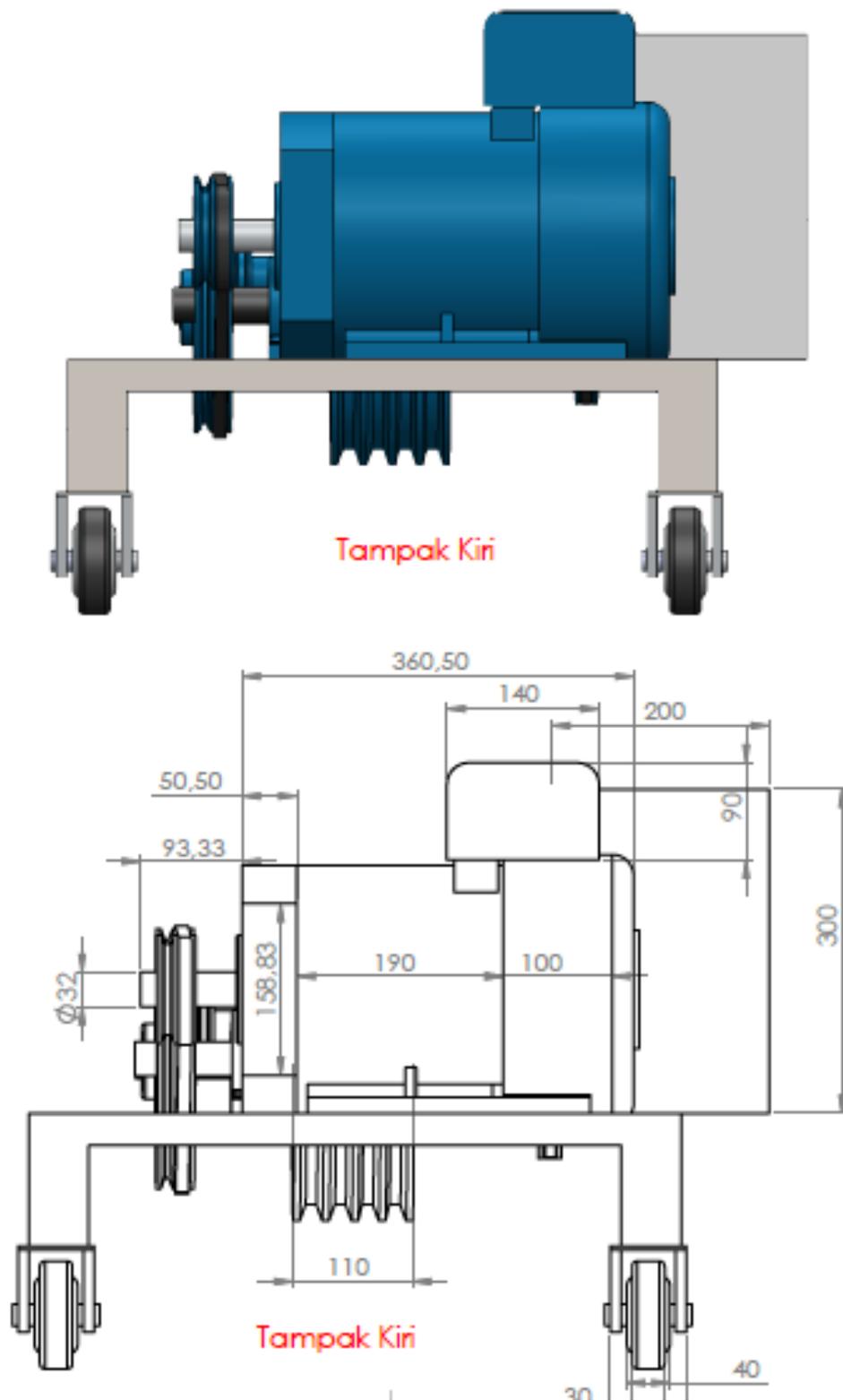
Pengujian sistim secara keseluruhan dilakukan untuk menguji sistim apakah berjalan dengan baik tanpa ada kendala. Pengujian sistim dilakukan dalam beberapa tahap. Tahap pertama adalah pengujian out put alternator, apakah mampu mensuplai energy listrik.



Gambar 4.5 Pandangan Atas Kerangka Mesin



Gambar 4.6 Pandangan Samping Kanan Kerangka Mesin



Gambar 4.7 Pandang Tampak Kiri

4.2.2 Determinasi Konversi RPM Menggunakan Sistem Pully

Pada tahap ini dilakukan perhitungan pully yang sudah ditetapkan bertujuan untuk mengetahui putaran RPM yang dikeluarkan oleh pembangkit listrik *Flywheel* Motor-Generator menggunakan generator dengan daya motor penggerak awal yang lebih kecil menggunakan sistem roda gaya. Dengan dilakukan perhitungan determinasi RPM akhir maka dapat diketahui pully-pully berapa saja yang digunakan dalam perancangan pembangkit listrik karena dengan penentuan pully dan melakukan perhitungan peneliti dapat mengetahui RPM berapa yang dibutuhkan agar mesin dapat berputar dan sistem sirkulasi motor generator dapat berjalan. Apabila pully yang digunakan tidak tepat maka RPM yang diinginkan tidak bisa diperoleh sehingga akan berdampak buruk pada komponen. Dalam hal ini diketahui rpm motor sesuai nameplat motor yang digunakan 1410 putaran per menit. Tetapi pada perhitungannya peneliti menggunakan putaran RPM motor sebesar 1464 karena pada percobaan yang dilakukan ternyata putaran RPM motor lebih dari 1464. Hal ini disebabkan oleh tegangan dan frekuensi dari PLN pada saat percobaan dan juga kualitas kapasitor pada motor sehingga berpengaruh terhadap RPM motor. Berikut perhitungannya :

- Perhitungan antara *pully* motor induksi dan transmisi 1 untuk mendapatkan kecepatan putar transmisi 1 dengan perbandingan *pully* (3:4)

$$\frac{R1}{RPM2} = \frac{R2}{RPM1}$$

$$\frac{3}{RPM2} = \frac{4}{1464}$$

$$RPM 2 = \frac{3 \times 1464}{4}$$

$$RPM 2 = 1098 \text{ Rpm}$$

- Perhitungan antara *pully* transmisi 1 dan transmisi 2 (*flywheel*) untuk mendapatkan kecepatan putar transmisi 2 (*flywheel*) dengan perbandingan *pully* (8 : 75)

$$\frac{R3}{RPM2} = \frac{R4}{RPM1}$$

$$\frac{8}{RPM2} = \frac{2,75}{1098}$$

$$RPM 4 = \frac{8 \times 1098}{2.75}$$

$$\text{RPM 4} = 3194.2 \text{ Rpm}$$

- Perhitungan antara *pully* transmisi 2 (*flywheel*) dan generator induksi untuk mendapatkan kecepatan putar generator induksi dengan perbandingan *pully* (4 : 7)

$$\frac{R5}{\text{RPM6}} = \frac{R6}{\text{RPM5}}$$

$$\frac{4}{\text{RPM6}} = \frac{7}{3194.2}$$

$$\text{RPM 6} = \frac{4 \times 3194.2}{7}$$

$$\text{RPM 6} = 1825.3 \text{ Rpm}$$

Dari beberapa perhitungan, maka data hasil pengukuran kecepatan putar semua *pully* ditunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Kecepatan Putar Semua *Pully*

Motor Induksi (Rpm)	Transmisi 1 (Rpm)	Transmisi 2 / <i>Flywheel</i> (Rpm)	Generator (Rpm)
1464.0	1098	3194.2	1825.3

Pada tahap ini bertujuan untuk mengetahui slip yang terjadi pada kecepatan putar penggerak awal (motor induksi), transmisi 1, transmisi 2 (*Flywheel*) dan generator induksi. Sebelum mengetahui slip yang terjadi pada kecepatan putar semua *pully* terlebih dahulu mengukur kecepatan putar semua *pully* yang diukur dengan menggunakan tachometer. Data hasil pengukuran kecepatan putar semua *pully* dengan menggunakan tachometer dengan frekuensi PLN terukur 50 Hz ditunjukkan pada gambar 4.7, 4.8, 4.9 dan 4.10 yang diringkas tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Kecepatan Putar Semua *Pully*

Motor Induksi (Rpm)	Transmisi 1 (Rpm)	Transmisi 2 / <i>Flywheel</i> (Rpm)	Generator (Rpm)
1464.0	1024.1	2699.6	1564.2

Pada tahapan ini hasil pengukuran kecepatan pully mendapatkan hasil putaran pada moptor induksi 1464,0 dengan besar pulley 3 Inchi Dan transmisi satu 1024,1 dengan besar pully $Z_1 = 4$ Inchi .dan $Z_2 = 8$ Inchi kemudian pada transmisi dua yaitu Rpm pada pully 2699,6 dengan besar pully pada $Z_3 = 2,75$ inchi Dan $Z_4 = 4$ inchi sedangkan pada generator yang merupakan putaran yang maximal dan harus konstan diukur dengan menggunakan tacho meter menunjukkan angka 1564,2 dengan besar pully= 7 inchi



Gambar 4.8 Rpm pada penggerak awal (Motor Induksi)

Pengukuran Rpm pada penggerak awal (motor induksi) untuk mengetahui apakah putaran yang ada sesuai dengan petunjuk name plate yang tertera pada elektro motor. Proses Analisis ini bertujuan untuk mengetahui slip yang terjadi pada kecepatan putar penggerak awal (motor induksi), transmisi 1, transmisi 2 (*Flywheel*) dan generator induksi.



Gambar 4.9 Rpm pada Transmisi 1

Pengukuran Rpm pada transmisi satu untuk mengetahui apakah putaran sesuai dengan hasil perhitungan yang telah dilakukan untuk mendapatkan putaran yang sesuai yaitu: 1020 Rpm.



Gambar 4.10 Rpm pada Transmisi 2 (*Flywheel*)

Pengukuran Rpm pada transmisi dua (*Flywheel*) untuk mengetahui apakah putaran sesuai dengan yang diinginkan pada posisi *flywheel* sesuai dengan perhitungan yang ada yaitu : 2690.



Gambar 4.11 Rpm Generator Induksi

Dari perhitungan dan pengukuran diatas , dapat dihitung besarnya slip yang terjadi. Berikut perhitungannya :

- Slip kecepatan putar transmisi 1

$$s = \frac{\text{nilai perhitungan} - \text{nilai pengukuran}}{\text{nilai perhitungan}} \times 100\%$$

$$s = \frac{1098 - 1024.1}{1098} \times 100\%$$

$$s = 6,73 \%$$

- Slip kecepatan putar transmisi 2 (*flywheel*)

$$s = \frac{\text{nilai perhitungan} - \text{nilai pengukuran}}{\text{nilai perhitungan}} \times 100\%$$

$$s = \frac{3194.2 - 2699.6}{3194.2} \times 100\%$$

$$s = 15,5 \%$$

- Slip kecepatan putar generator induksi

$$s = \frac{\text{nilai perhitungan} - \text{nilai pengukuran}}{\text{nilai perhitungan}} \times 100\%$$

$$s = \frac{1825.3 - 1564.2}{1825.3} \times 100\%$$

$$s = 14,3 \%$$

Data hasil perhitungan dan pengukuran terhadap *pully* ditunjukkan pada tabel 4.3

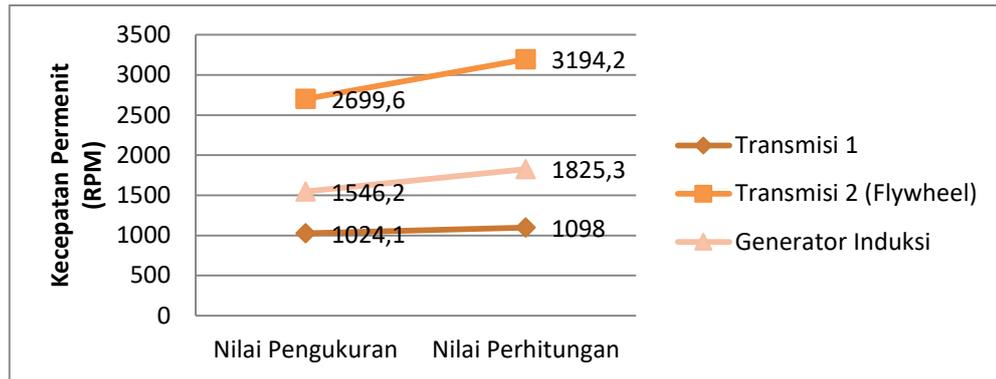
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan dan Pengukuran Terhadap *Pully*

	Nilai Perhitungan (Rpm)	Nilai Pengukuran (Rpm)	Slip
Transmisi 1	1098	1024,1	6,73%
Transmisi 2 (Flywheel)	3194,2	2699,6	15,5%
Generator Induksi	1825,3	1546.2	14,3%

Berdasarkan perhitungan jumlah Pole pada motor yaitu 4 Pole yang kecepatan seharusnya 1500 Rpm maka pada motor induksi maksimal persentase *error* kecepatan putar yang diperbolehkan sebesar 6,5%, pada sistem ini persentase error yang didapat sebesar 3,83 %, jadi sistem pada motor induksi masuk dalam kategori layak.

Berdasarkan *nameplate* generator tegangan keluaran sebesar 230VAC dengan kecepatan putar 1500 RPM, Tegangan yang diizinkan untuk peralatan listrik sebesar 200 VAC – 240 VAC. Dari tegangan yang diperbolehkan tersebut, kecepatan putar seharusnya di jarak 1435,2 Rpm – 1564,8 Rpm. Maka pada generator induksi maksimal persentase *error* kecepatan putar yang diperbolehkan sebesar 4,32%, pada sistem ini persentase error yang didapat sebesar 4,27 %, jadi sistem pada generator induksi masuk dalam kategori layak.

Berdasarkan Tabel 4.3, dapat dibuat grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12



Gambar 4.12 Grafik hasil perhitungan dan pengukuran terhadap *Pully*

Pada analisis terhadap pulley ini, slip yang terjadi disebabkan gesekan yang terjadi antara pulley dengan v-belt, persentase slip tersebut terlalu besar karena type v-belt dan type pulley yang digunakan adalah type A, seharusnya type yang digunakan type B agar persentase slip yang digunakan tidak besar.

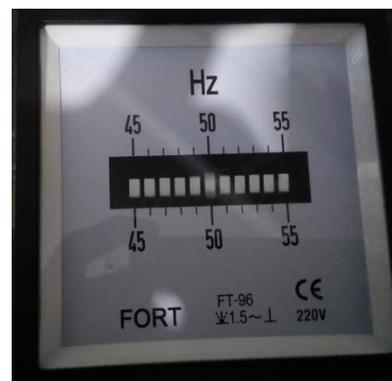
4.3 Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Menggunakan *Flywheel* Motor – Generator

4.3.1 Pengujian Tanpa Beban

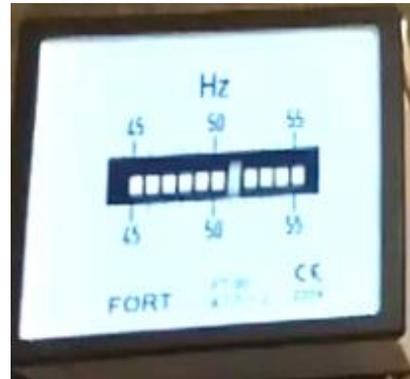
Pengujian tanpa beban dilakukan dengan cara mengukur tegangan dan frekuensi pada PLN dan tegangan keluaran, frekuensi yang dihasilkan oleh generator. Pengukuran pada tegangan menggunakan Multitester Digital dan frekuensi menggunakan Hz Meter yang ditunjukkan pada gambar 4.13 dan 4.14 untuk tegangan dan frekuensi PLN dan gambar 4.15 dan 4.16 untuk tegangan keluaran dan frekuensi generator.



Gambar 4.13 Tegangan PLN



Gambar 4.14 Frekuensi PLN

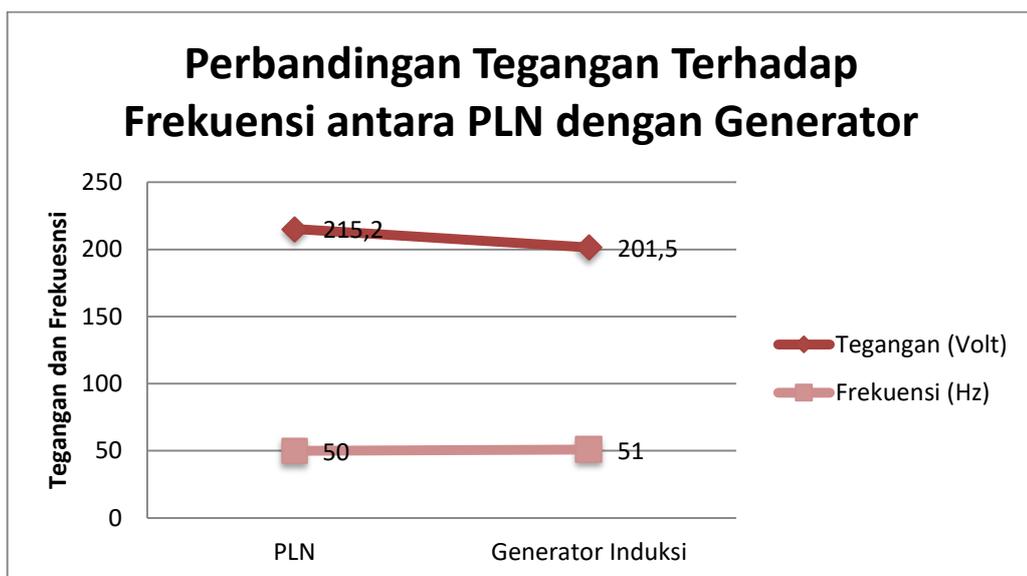


Gambar 4.15 Tegangan keluaran Generator Gambar 4.16 Frekuensi Generator

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Tanpa Beban Pada Generator Induksi

Putaran Motor Induksi (Rpm)	Putaran Generator Induksi (Rpm)	Tegangan PLN (Volt)	Frekuensi PLN (Hertz)	Tegangan Generator Induksi (Volt)	Frekuensi Generator Induksi (Hertz)
1464,0	1546,2	215,2	50,0	201,5	51,0

Berdasarkan Tabel 4.4 , dapat dibuat grafik perbandingan tegangan terhadap frekuensi antara PLN dan generator induksi pada saat Rpm motor induksi 1464,0 dan Rpm generator induksi 1546,2.



Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Tegangan terhadap Frekuensi antara PLN dengan Generator

4.3.2 Pengujian Dengan Beban

Pengujian terhadap beban dilakukan dengan cara memberikan variasi beban yang berbeda pada tegangan keluaran generator induksi. Hasil pengukuran memperlihatkan generator induksi diberikan beban bervariasi menggunakan lampu pijar 5 watt, 15 watt, 25 watt, 40 watt, 60 watt, dan 100 watt. Hasil pengukuran generator induksi pada saat diberikan beban yang bervariasi dapat disimpulkan bahwa kinerja generator induksi dinyatakan tidak sesuai dengan generator induksi yang sebenarnya. Dikatakan sesuai apabila generator tersebut saat diberi beban maka tegangan keluaran generator tetap dan saat diberi beban yang tinggi penurunan tegangan tidak terlalu signifikan. Generator induksi pada pembangkit listrik ini saat diberi beban tegangan keluaran generator tidak tetap dan tidak turun tetapi tegangan keluaran naik, makin besar beban maka tegangan semakin naik. Hal tersebut yang membuat generator tersebut dinyatakan tidak sesuai dengan generator induksi yang sebenarnya.

Adapun pengukuran tegangan keluaran generator menggunakan alat ukur multimeter digital dan frekuensi menggunakan alat ukur frekuensi meter dapat dilihat pada Gambar 4.18 – Gambar 4.28



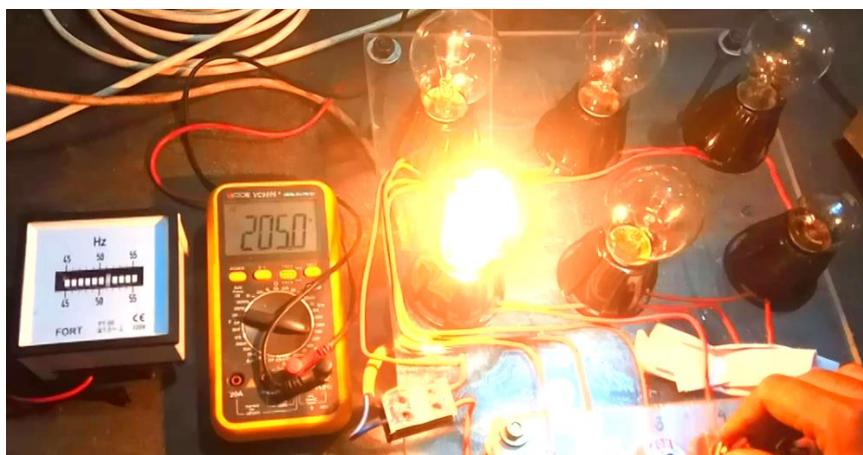
Gambar 4.18 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 5 watt



Gambar 4.19 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 15 watt



Gambar 4.20 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 5 watt dan 15 watt (20Watt)



Gambar 4.21 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 25 watt



Gambar 4.22 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 40 watt



Gambar 4.23 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 5 watt, 15 watt, 25 watt (45 watt)



Gambar 4.24 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 60 watt



Gambar 4.25 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu
Pijar 5 watt, 15 watt, 25 watt, 40 watt (85 watt)



Gambar 4.26 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu
Pijar 100 watt



Gambar 4.27 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu
Pijar 5 watt, 15 watt, 25 watt, 40 watt, 60 watt (145 watt)



Gambar 4.28 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 5 watt, 15 watt, 25 watt, 40 watt, 60 watt dan 100 watt (245 watt)

Dari beberapa gambar diatas, adapun hasil pengukuran generator induksi terhadap beban dilihat pada Tabel 4.5

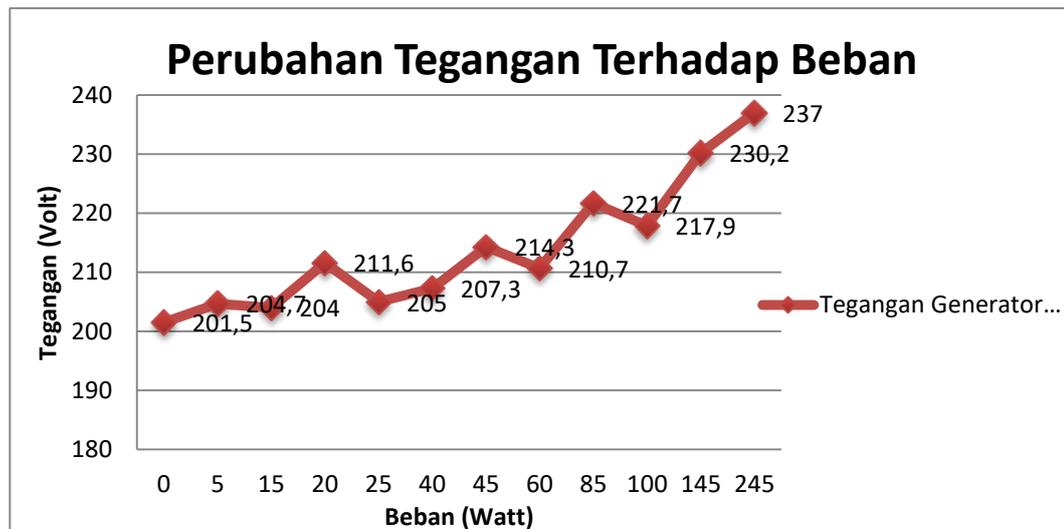
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Generator Induksi terhadap Beban

No	Beban Generator Induksi (Watt)	Tegangan Generator Induksi (Volt)	Arus Generator Induksi (mA)	Frekuensi Generator Induksi (Rpm)
1	0	201,5	0	51,0
2	5	204,7	24,43	51,0
3	15	204,0	73,53	51,0
4	20 (5+15)	211,6	94,52	51,0
5	25	205,0	123,76	51,0
6	40	207,3	192,96	51,0
7	45 (5+15+25)	214,3	209,99	51,0
8	60	210,7	284,77	51,0

9	85 (5+15+25+40)	221,7	383,40	51,0
10	100	217,9	458,93	51,0
11	145 (5+15+25+40+60)	230,2	629,89	51,0
12	245 (5+15+25+40+60+100)	237,0	1033,76	51,0

Berdasarkan Tabel 4.5, dapat dilihat besar tegangan minimum yang dihasilkan generator adalah 201,5 volt pada beban 0 watt dan besar tegangan maksimum yang dihasilkan generator adalah 237,0 volt pada beban 245 watt.

Grafik perubahan tegangan terhadap beban ditunjukkan pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29 Grafik Perubahan Tegangan Terhadap Beban

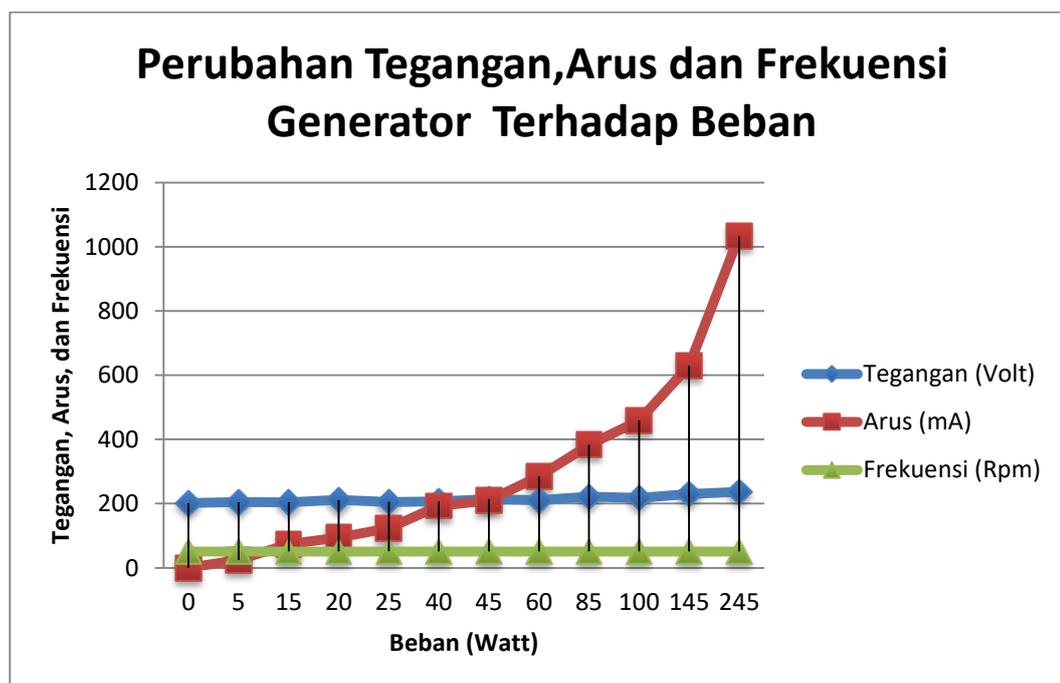
Dilihat dari Gambar 4.29, grafik menunjukkan semakin besar beban yang diberikan tegangan keluaran generator semakin besar karena pada sistem ini tidak terdapat alat pengatur tegangan. Pada generator, biasanya terdapat AVR (*Automatic Voltage Regulator*) yang berfungsi untuk menstabilkan tegangan dan mencegah terjadinya perubahan tegangan yang signifikan pada generator. Besar tegangan jatuh pada generator dihitung sebagai berikut:

$$\text{Tegangan jatuh} = \frac{\text{tegangan maksimal} - \text{tegangan minimal}}{\text{nilai perhitungan}} \times 100\%$$

$$\text{Tegangan jatuh} = \frac{237,0 - 201,5}{237,0} \times 100\%$$

$$\text{Tegangan jatuh} = 14,98 \%$$

Grafik perubahan tegangan, arus dan frekuensi terhadap beban ditunjukkan pada Gambar 4.30.



Gambar 4.30 Grafik Perubahan Tegangan, arus, dan Frekuensi terhadap Beban

Dari pengujian generator dengan beban disimpulkan bahwa semakin besar beban yang diberikan, maka semakin besar tegangan yang dihasilkan dengan frekuensi yang sama yaitu 51 Hz. Hal tersebut merupakan ketidaksesuaian dari kinerja generator induksi yang sebenarnya yang apabila diberi beban bervariasi, tegangan keluaran generator tetap dan saat diberi beban yang tinggi terjadi penurunan tegangan bukan terjadi kenaikan tegangan. Simpulan ini merupakan indikasi dari penyebab kegagalan pada sistem pembangkit listrik ini.

Pembangkit listrik energi terbarukan dari roda gaya motor-generator ini melakukan 2 jenis percobaan, percobaan menggunakan massa roda gaya 32 kg dengan kecepatan putar roda gaya 2416 Rpm dan percobaan menggunakan massa roda gaya 62 kg dengan kecepatan putar roda gaya 2996,6 Rpm. Kedua percobaan diatas dilakukan untuk mendapatkan perbandingan torsi dan daya yang dihasilkan dari masing – masing massa dan kecepatan roda gaya.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis kinerja pembangkit listrik energi terbarukan dari roda gaya motor-generator dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada pembahasan kinerja pembangkit listrik dari *Flywheel* motor-generator menyimpulkan bahwa semakin besar beban yang diberikan, maka semakin besar tegangan yang dihasilkan dengan frekuensi yang sama yaitu 51 Hz. Hal tersebut merupakan ketidaksesuaian dari kinerja generator induksi yang sebenarnya yang apabila diberi beban bervariasi, tegangan keluaran generator tetap dan saat diberi beban yang tinggi terjadi penurunan tegangan bukan terjadi kenaikan tegangan, ini merupakan indikasi dari penyebab kegagalan pada sistem pembangkit listrik ini.
2. Semakin besar massa roda gaya dan semakin tinggi kecepatan putar yang didapat serta semakin besar diameter roda gaya maka torsi pada roda gaya semakin besar, secara otomatis daya yang ditahan roda gaya juga semakin besar yang diikuti energi yang tersimpan juga semakin besar.
3. Pully dan belt disarankan untuk menggunakan tipe B

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diajukan oleh peneliti adalah sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan generator magnet permanen dengan kecepatan putar 1500 rpm agar naik dan turunnya tegangan tergantung kecepatan putar (rpm) dari generator tersebut.
2. Penelitian selanjutnya diharapkan agar menggunakan roda gaya dengan diameter yang lebih besar dan massa yang lebih besar serta kecepatan putar roda gaya yang lebih tinggi karena mempengaruhi torsi dan daya yang dihasilkan.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan transformator 220 VAC ke 220 VAC atau menggunakan AVR (*Auto Voltage Regulator*) agar tegangan yang dihasilkan generator induksi tetap stabil walaupun beban yang diberi berbeda – beda .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Razali and Stephan, “Rancang Bangun Mesin Pembangkit Listrik Tanpa BBM Berkapasitas 3000 Watt Dengan Memanfaatkan Putaran Flywheel,” *Media Elektro*, vol. 4, no. pp. 45–48, 2017.
- [2] P. Yuniarsih and F. Bachtiyar, “Flywheel Generator,” pp. 2–4.
- [3] Samsul, A. dan Budijono, A. (2018). *Rancang Bangun Prototype Alat Untuk Meningkatkan Energi Listrik Alternatif Menggunakan Flywheel Generator*. Jurnal Nasional 04(03): 31–35.
- [4] J. Tangko, R. Tandioaga, I. Djufri, and R. Haardiyanti, “Analisis Pembangkit Listrik Berbasis Flywheel,” *J. Sinergi Jur. Tek. Mesin*, vol. 17, no. 1, p. 95, 2019, doi: 10.31963/sinergi.v17i1.1598.
- [5] J. T. Lwin, “Design Calculation of Flywheel Free Energy Generating System with Motor-Generator,” *J. Artic.*, vol. 6, no. 8, pp. 167–171, 2019.
- [6] M. A. Novianta, “Analisis Motor Induksi Satu Fasa dengan Metode Cycloconverter Berbasis Mikrokontroler AT89C51.”
- [7] Thakre SB, Zode SH, Singh AS, Ingole SR. “Self Generator Free Energy Flywheel” *l. Int Res J Eng Technol*. 2018;05(01):1062-1065.
- [8] Khakare GS, Pathade JM, Khomane ND, Belikar PW. “Design of Hardware Model for Electricity Generation by Speed Breaker through Rack And Pinion Mechanism.” 2018;05(06):1-6.
- [9] Shrotri, S. (2017). *Free Energy Generation Advanced Research*. IJIR 3(4): 909–17.
- [10] Deshmukh DS, Patil PD, Patil RB. *Design and Development of Human Operated Flywheel to Generate Electricity*. 2017;(4):205-214.
- [11] Bonifacius, N. Fransiskus, A. Razqyan, M. dan Bimatyugra, J. (2018). *Komparasi Biaya Rutin Antara BIPV, Genset Dan PLN Daya Setara 900VA*. Jurnal Arsitektur 19(2): 67–74.
- [12] Santoso, A. Rini, N. dan Hadi, S. (2018). *Pengaruh Tipe Belitan Terhadap Ujuk Kerja Motor Satu Fasa EECCIS* 12(2):65-71.
- [13] Utama, H dan Medilla, K. (2018). *Pembangkit Mikrohidro Terintegrasi Beban Kompalasi*. Jurnal Teknoin 24(1): 55-66
- [14] Lwin, J. (2019). *Design Calculation of Flywheel Free Energy Generating*

System with Motor-Generator.IJISET 6(8): 167-71.

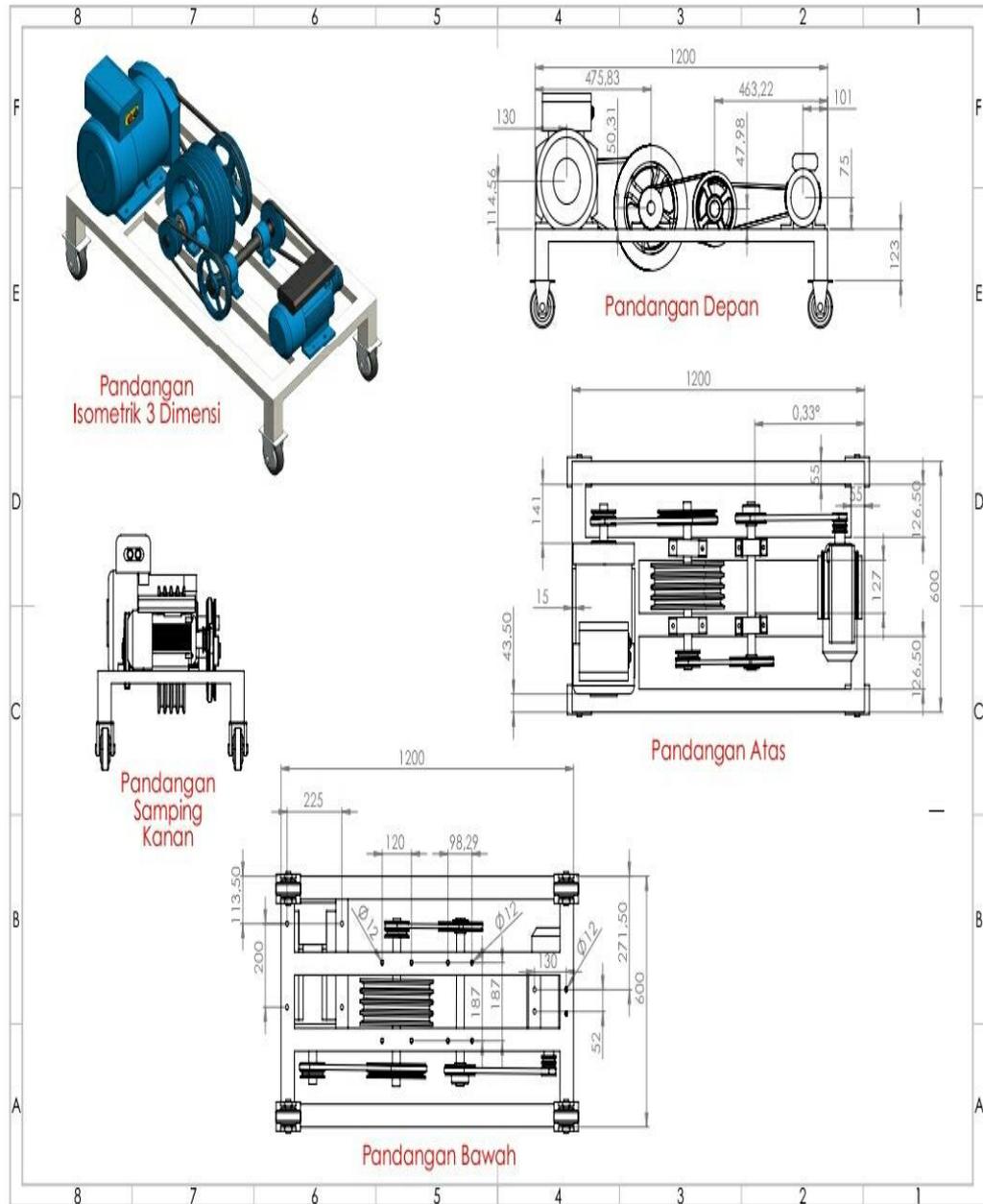
- [15] Hafid, A.Dony, S. Asep, R. dan Rahmat, U. (2017). *Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pulau Balang Lombo*. Jurnal Litek 14(1):6-12.

LAMPIRAN

Gambar Rangka Mesin Dan Proses Perakitan Material



Gambar. Bentuk Keseluruhan Pembangkit Listrik





Gambar. Proses Perakitan Material



Gambar. Pengukuran RPM



Gambar. Pengukuran Keluaran Dari Generator

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

a. BIODATA DIRI



Nama : Darwanto
 Tempat, Tanggal Lahir: Cinta Rakyat, 10 Juli 1970
 Jenis Kelamin : Laki-Laki
 Agama : Islam
 Status : Menikah
 Alamat Sekarang : Desa Cinta Rakyat, Gang Laksana,
 DSN VIII
 No. Handphone/whatsapp : 085261333211
 Email : darwantoanto056@gmail.com

b. RIWAYAT PENDIDIKAN

No. Induk mahasiswa : 1607220003
 Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro
 Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
 Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 (20238)

Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
Sekolah Dasar (SD)	SD Inpres No 104208	1983
Sekolah Menengah Pertama (SMP)	SMP Swasta Almaksum	1986
Sekolah Menengah Atas (SMA)	SMA Negeri Sampali	1989
Perguruan Tinggi/ Strata I	Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2021