

TUGAS AKHIR

ANALISIS KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI TERBARUKAN DARI RODA GAYA MOTOR-GENERATOR TERHADAP VARIASI BEBAN

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

Disusun Oleh:

PRAYOGA DWI PANGESTU
1607220087



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Prayoga Dwi Pangestu
NPM : 1607220087
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan
Dari Roda Gaya Motor-Generator Terhadap Variasi
Beban
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, 05 April 2021

Mengetahui dan Menyetujui:

Dosen Pembimbing

Noorly Evalina, S.T., M.T

Dosen Penguji I

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

Dosen Penguji II

Elvy Sahrur Nst, S.T., M.Pd

Program Studi Teknik Elektro
Ketua,
Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Prayoga Dwi Pangestu
NPM : 1607220087
Tempat /Tgl Lahir : Medan / 13 November 1998
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa tugas akhir saya yang berjudul:

“ANALISIS KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI TERBARUKAN DARI RODA GAYA MOTOR-GENERATOR TERHADAP VARIASI BEBAN”,

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/kesarjanaan 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, 05 April 2021

Saya yang menyatakan,


Prayoga Dwi Pangestu

ABSTRAK

Energi listrik merupakan kebutuhan utama bagi manusia. 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. Ada beberapa energi alam sebagai energi alternatif pembangkit listrik yang persediannya tidak terbatas, bersih dan tidak menghasilkan limbah ataupun pencemaran lingkungan. Energi tersebut dinamakan energi terbarukan. Seperti, pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) , pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB), dan pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP). Meski sudah banyak inovasi energi terbarukan namun energi terbarukan tersebut selalu ketergantungan dengan alam dan krisis energi listrikpun masih belum teratasi. Penggunaan sumber energi terbarukan seperti angin dan air sering mengalami kendala berupa kecepatan alirannya yang bervariasi dan tidak konstan. Salah satu cara untuk dapat menghasilkan dan memanfaatkan energi alternatif adalah menggunakan Roda Gaya Motor-Generator. Peralatan utama dari Pembangkit Listrik Energi Terbarukan ini ialah Roda Gaya, Motor dan Generator dengan fungsi masing – masing peralatan ini yaitu, generator sebagai penghasil daya dan motor sebagai penggerak. Agar sistem berjalan, maka daya untuk penggerak harus lebih kecil dari penghasil daya. Pembangkit listrik energi terbarukan ini merupakan pembangkit listrik dengan sistem kerja awal pembangkit listrik mendapat pasokan listrik awal dari PLN, setelah motor berputar mencapai *Rotations per minutes* (RPM) yang dibutuhkan, maka secara otomatis generator akan mengeluarkan arus listrik. Setelah Generator mengeluarkan arus listrik, kemudian listrik dari PLN diputus dan arus listrik dari generator tersebut disirkulasikan kembali ke motor (penggerak awal) dan sisanya digunakan sebagai kebutuhan. Pembangkit listrik ini menggunakan massa roda gaya 62 kg dengan kecepatan putar 2699,6 rpm dan persentase daya yang didapatkan sebesar 171,67 % dibuktikan dengan torsi yang didapatkan 16,42 Nm dengan daya yang ditahan sebesar 5149,97 Watt dari torsi yang dibutuhkan generator sebesar 20,92 Nm.

Kata Kunci : Energi Terbarukan, Motor, Generator, Roda gaya, Torsi

ABSTRACT

Electrical energy is a major requirement for humans. Indonesia has created a 35000 MW power generation program. From the power generation program, many power plants use fossil fuels where the energy cannot be renewed and will run out if it is continuously used. There are several natural energies as alternative energy for electricity generation, whose supplies are unlimited, clean and do not produce waste or environmental pollution. This energy is called renewable energy. For example, hydroelectric power (PLTA), solar power plants (PLTS), wind power plants (PLTB), and geothermal power plants (PLTP). Although there have been many renewable energy innovations, renewable energy is always dependent on nature and the electricity crisis has not been resolved. The use of renewable energy sources such as wind and water often has problems in the form of variable and non-constant flow rates. One way to be able to generate and utilize alternative energy is to use a Motor-Generator Flywheel. The main equipment of this Renewable Energy Power Plant is a Flywheel, Motor and Generator with the function of each of these equipment, namely, a generator as a power producer and a motor as a driving force. In order for the system to run, the power for driving must be less than the power producer. This renewable energy power plant is a power plant with the power plant's initial work system getting an initial electricity supply from PLN, after the rotating motor reaches the required Rotations per minute (RPM), the generator will automatically issue an electric current. After the generator releases an electric current, the electricity from PLN is cut off and the electric current from the generator is recirculated to the motor (initial drive) and the rest is used as necessity. This power plant uses a flywheel mass of 62 kg with a rotating speed of 2699.6 rpm and the percentage of power obtained is 171.67% as evidenced by the torque obtained is 16.42 Nm with a power retained of 5149.97 Watts of the torque required by the generator is 20.92 Nm.

Keywords: *Renewable Energy, Motors, Generators, Flywheels, Torque*

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr. Wb

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini yang berjudul “**Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dari Roda Gaya Motor-Generator Terhadap Variasi Beban**” 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 penulisan tugas akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Ibunda tersayang Muharini dan Ayahanda tercinta Alm.Mulyadi Orang tua penulis, telah banyak membantu dalam menyelesaikan penulisan 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, Sekaligus Dosen Penguji I.
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. Ibu Elvy Sahnur Nst S.T, M.Pd Selaku Dosen Penguji II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis.

8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Kakak tercinta Mimi Octavia Sari dan Adik tercinta Arif Tri Nugraha yang selalu mendoakan 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, 05 April 2021

Penulis,



Prayoga Iwi Pangestu

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Ruang Lingkup	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
1.5.1. Masyarakat	2
1.5.2. Universitas	3
1.5.3. Mahasiswa	3
1.6. Metode Penelitian	3
1.7. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2. Landasan Teori	6
2.2.1. Pembangkit Energi Listrik	6
2.2.1.1. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)	7
2.2.1.2. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)	7
2.2.1.3. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	8
2.2.1.4. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)	8
2.2.2. Motor Induksi 1 Fasa	9
2.2.3. Generator Induksi 1 Fasa	12
2.2.4. Roda Gaya	15
2.2.5. Daya Listrik	19
2.2.6. Faktor Daya	23
2.2.7. Beban Listrik	23
BAB III METODOLOGI	27
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	27
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	27
3.3 Data Analisis	28
3.4 Jalannya Penelitian	30
3.4.1. Diagram Blok Proses Kerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan	30
3.4.2. Skema Kerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan	30

3.4.3. Diagram Alir Penelitian	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Kinerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dari Roda Gaya 62 Kg, Motor-Generator	33
4.1.1 Analisis Kecepatan Penggerak Awal (Motor Induksi) dan Generator Induksi	34
4.1.2 Analisis Terhadap Pulley	37
4.1.3 Analisis Tanpa Beban	41
4.1.4 Analisis Dengan Beban	43
4.2 Perbandingan Torsi Dan Daya Yang Dihasilkan Dari Roda Gaya Terhadap Variasi Massa Dan Kecepatan Putar Roda Gaya	49
4.2.1 Percobaan Menggunakan Massa Roda Gaya 32 Kg Dengan Kecepatan Putar 2416 Rpm	51
4.2.1.1 Analisis Kecepatan Putar Terhadap Penggerak Awal (Motor Induksi), Pulley Dan Generator Induksi Pada Roda Gaya 32 Kg	52
4.2.1.2 Analisis Tanpa Beban Pada Roda Gaya 32 Kg	58
4.2.1.3 Analisis Torsi Dan Daya Yang Dihasilkan Dari Massa Roda Gaya 32 Kg	59
4.2.2 Percobaan Menggunakan Massa Roda Gaya 62 Kg Dengan Kecepatan Putar 2699,6 Rpm	62
4.2.2.1 Analisis Torsi Dan Daya Yang Dihasilkan Dari Massa Roda Gaya 62 Kg	62
BAB V PENUTUP	68
5.1 Kesimpulan	68
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
LEMBAR ASISTENSI	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)	7
Gambar 2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH)	7
Gambar 2.3 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	8
Gambar 2.4 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP)	9
Gambar 2.5 Motor Induksi 1 Fasa	9
Gambar 2.6 Bagian Utama Motor Induksi 1 Fasa	10
Gambar 2.7 Dampak Adanya Arus Pada Stator	11
Gambar 2.8 Putaran Pada Rotor Akibat Fluks, Apabila Rotor Dibuka Sedikit	12
Gambar 2.9 Generator AC 1 Fasa	14
Gambar 2.10 Roda Gaya	18
Gambar 2.11 Nilai Tegangan RMS pada Grafik Sinusoidal Tegangan Listrik AC	20
Gambar 2.12 Segitiga Daya	22
Gambar 2.13 Beban Resistif, Gelombang Beban Resistif, dan Sudut Beban Resistif	24
Gambar 2.14 Beban Induktif, Gelombang Beban Induktif, dan Sudut Beban Induktif	25
Gambar 2.15 Beban Kapasitif, Gelombang Beban Kapasitif, dan Sudut Beban Kapasitif	25
Gambar 3.1 Diagram Blok Proses Kerja Pembangkit Energi Listrik Gratis	30
Gambar 3.2 Skema Proses Kerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dari Roda Gaya 62 Kg Motor-Generator	31
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 4.1 Bentuk Fisik Alat	33
Gambar 4.2 Beban Pembangkit Listrik	34
Gambar 4.3 Rpm Penggerak Awal (Motor Induksi) Pada Roda Gaya 62 Kg	35
Gambar 4.4 Rpm Generator Induksi Pada Roda Roda Gaya 62 Kg	35
Gambar 4.5 Rpm Pada Transmisi 1 Pada Roda Roda Gaya 62 Kg	38
Gambar 4.6 Rpm Pada Transmisi 2 (Roda Roda Gaya 62 Kg)	38
Gambar 4.7 Grafik Hasil Analisis Terhadap Pulley	41

Gambar 4.8 Tegangan PLN	41
Gambar 4.9 Frekuensi PLN	41
Gambar 4.10 Tegangan Keluaran Generator	42
Gambar 4.11 Frekuensi Generator	42
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Tegangan Terhadap Frekuensi Antara PLN dengan Generator	42
Gambar 4.13 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 5 Watt	43
Gambar 4.14 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 15 Watt	44
Gambar 4.15 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 5 Watt dan 15 Watt (20 Watt)	44
Gambar 4.16 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 25 Watt	44
Gambar 4.17 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 40 Watt	45
Gambar 4.18 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 5 Watt, 15Watt, 25 Watt (45 Watt)	45
Gambar 4.19 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 60 Watt	45
Gambar 4.20 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 5 Watt, 15Watt, 25 Watt, 40 Watt (85 Watt)	46
Gambar 4.21 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 100 Watt	46
Gambar 4.22 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 5 Watt, 15Watt, 25 Watt, 40 Watt, 60 Watt (145 Watt)	46
Gambar 4.23 Tegangan Keluaran Dan Frekuensi Generator Pada Beban Lampu Pijar 5 Watt, 15Watt, 25 Watt, 40 Watt, 60 Watt, 100 Watt (245 Watt)	47
Gambar 4.24 Grafik Perubahan Tegangan Terhadap Beban	48

Gambar 4.25 Grafik Perubahan Tegangan Keluaran, Arus, Dan Frekuensi Terhadap Beban	49
Gambar 4.26 Skema Proses Kerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dari Roda Gaya 32 Kg Motor-Generator	51
Gambar 4.27 Rpm Penggerak Awal (Motor Induksi) Pada Roda Gaya 32 Kg	52
Gambar 4.28 Rpm Generator Induksi Pada Roda Gaya 32 Kg	52
Gambar 4.29 Rpm Transmisi 1 Pada Roda Gaya 32 Kg	55
Gambar 4.30 Rpm Transmisi 2 (Pada Roda Gaya 32 Kg)	55
Gambar 4.31 Grafik Hasil Analisis Terhadap Pulley Pada Roda Gaya 32 Kg	58
Gambar 4.32 Grafik Perbandingan Tegangan Terhadap Frekuensi Antara PLN dengan Generator Pada Roda Gaya 32 Kg	59
Gambar 4.33 Grafik Perbandingan Energi Yang Tersimpan Dari Kedua Percobaan	65
Gambar 4.34 Grafik Perbandingan Torsi Roda Gaya Dari Kedua Percobaan	66
Gambar 4.35 Grafik Perbandingan Tegangan Dan Frekuensi Dari Kedua Percobaan	66
Gambar 4.36 Grafik Perbandingan Daya Yang Ditahan Roda Gaya Dari Kedua Percobaan	66

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Generator Induksi 1 Fasa	29
Tabel 3.2 Spesifikasi Motor Induksi 1 Fasa	29
Tabel 4.1 Hasil Analisis Motor Induksi Dan Generator Induksi	37
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Kecepatan Putar Semua Pulley	37
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Kecepatan Putar Semua Pulley	39
Tabel 4.4 Hasil Analisis Terhadap Pulley	40
Tabel 4.5 Hasil Analisis Tanpa Beban Pada Generator Induksi	42
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Generator Induksi Terhadap Beban	47
Tabel 4.7 Hasil Analisis Motor Induksi Dan Generator Induksi Pada Roda Gaya 32 Kg	54
Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Kecepatan Putar Semua Pulley Pada Roda Gaya 32 Kg	55
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Kecepatan Putar Semua Pulley Pada Roda Gaya 32 Kg	57
Tabel 4.10 Hasil Analisis Terhadap Pulley Pada Roda Gaya 32 Kg	58
Tabel 4.11 Hasil Analisis Tanpa Beban Pada Generator Induksi Pada Roda Gaya 32 Kg	59
Tabel 4.12 Data Hasil Kedua Percobaan	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 (Samsul, 2018).

Ada beberapa energi alam sebagai energi alternatif pembangkit listrik yang persediannya tidak terbatas, bersih dan tidak menghasilkan limbah ataupun pencemaran lingkungan. Energi tersebut dinamakan energi terbarukan. Seperti, pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB), dan pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP). Meski sudah banyak inovasi energi terbarukan namun energi terbarukan tersebut selalu ketergantungan dengan alam dan krisis energi listrikpun masih belum teratasi. Penggunaan sumber energi terbarukan seperti angin dan air sering mengalami kendala berupa kecepatan alirannya yang bervariasi dan tidak konstan (Berlianti, 2015).

Dari latar belakang diatas terlihat bahwa masih perlu kajian khusus untuk mencari solusi energi alternatif. Sudah dirancang energi alternatif yang terbarukan, yaitu Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Menggunakan Roda Gaya Motor-Generator. Pembangkit listrik tersebut dirancang dari sekian banyak energi alternatif yang ada (Alfaizin, 2015). Peralatan utama dari Pembangkit Listrik Energi Terbarukan ini ialah Roda Gaya, 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 (Shroti, 2017).

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimanakah kinerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dari Roda Gaya Motor-Generator ?
2. Bagaimana perbandingan torsi dan daya yang dihasilkan dari roda gaya terhadap variasi massa dan kecepatan putar roda gaya ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan Penelitian yang ingin dicapai adalah:

1. Mengetahui kinerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dari Roda Gaya Motor-Generator.
2. Mengetahui perbandingan torsi dan daya yang dihasilkan dari roda gaya terhadap variasi massa dan kecepatan putar roda gaya.

1.4 Ruang Lingkup

Yang menjadi ruang lingkup dalam penelitian ini adalah :

1. Pada pembahasan kinerja dari pembangkit listrik, penelitian ini hanya membahas kinerja menggunakan roda gaya 62 Kg.
2. Pada pembahasan perbandingan torsi dan daya yang dihasilkan, penelitian ini menghitung perbandingan torsi dan daya yang dihasilkan dari roda gaya 32 Kg dan 62 Kg.
3. Penelitian ini menggunakan generator Ac satu fasa sebagai generator, motor induksi satu fasa sebagai motor penggerak.
4. Penelitian ini menggunakan beban lampu pijar 1 fasa dengan daya 5 watt, 15 watt, 25 watt, 40 watt, 60 watt, dan 100 watt pada saat motor penggerak tidak menggunakan daya dari generator.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya analisis kinerja pembangkit listrik energi terbarukan dari roda gaya motor- generator ini, nantinya dapat mempunyai manfaat bagi:

1.5.1 Masyarakat

Beberapa manfaat dari analisis kinerja pembangkit listrik energi terbarukan dari roda gaya motor- generator ini bagi masyarakat adalah sebagai berikut:

1. Memberikan sumber energi terbarukan terhadap masyarakat sebagai penambah energi listrik rumah tangga yang terbarukan tanpa polusi dan merusak lingkungan.
2. Membuktikan bahwa pembangkit listrik energi terbarukan ini aman untuk peralatan listrik.

1.5.2 Universitas

Manfaat dari analisis kinerja pembangkit listrik energi terbarukan ini bagi universitas adalah untuk dapat dijadikan bahan acuan untuk meningkatkan ilmu pengetahuan teknologi.

1.5.3 Mahasiswa

Manfaat dari analisis kinerja pembangkit listrik energi terbarukan ini bagi mahasiswa agar dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian lanjutan dan dapat dikembangkan menjadi sistem yang lebih praktis dan ekonomis.

1.6 Metode Penelitian

Adapun beberapa metode penelitian yang penulis gunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Studi pustaka ini dilakukan untuk menambah pengetahuan bagi penulis dan referensi bahan dengan membaca literature maupun bahan-bahan teori atau buku, data, dan internet mengenai pembangkit listrik energi terbarukan dari roda gaya motor- generator.

2. Studi Konsultasi

Adapun didalam proses penyelesaian skripsi ini penulis terlebih dahulu melakukan konsultasi dengan dosen pembimbing yang sudah mempunyai pengalaman sehingga mampu mendukung skripsi ini.

3. Studi Analisa Perancangan Sistem

Menganalisa perancangan sistem pembangkit listrik energi terbarukan dari roda gaya motor- generator dengan bahan-bahan, serta peralatan yang dibutuhkan.

4. Studi Pengujian

Menguji sistem kerja pembangkit listrik energi terbarukan dari roda gaya motor- generator serta implementasinya.

5. Studi Analisa Seluruh Sistem

Menganalisa kinerja dan menyimpulkan hasil-hasil dari penelitian, serta mengaplikasikan fungsi skripsi ini ke sistem yang nyata.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika yang digunakan penulis dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, metode penyelesaian skripsi dan sistematika penulisan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan tentang tinjauan pustaka relevan. Yaitu, mengenai teori-teori untuk menunjang penyelesaian masalah pada skripsi ini. Serta, teori dasar yang berisikan tentang penjelasan mengenai dasar teori dan komponen utama yang digunakan dalam analisis kinerja serta implementasi.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisikan tentang lokasi penelitian, fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan dalam pengerjaan, tata cara pengujian, diagram alir dan menganalisa perancangan pembangkit listrik energi terbarukan dari roda gaya motor- generator yang sudah dibuat.

BAB IV ANALISIS DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini berisikan tentang analisis hasil dari pembangkit listrik energi terbarukan dari roda gaya motor- generator serta menghitung perbandingan torsi dan daya yang dihasilkan dari roda gaya terhadap variasi massa dan kecepatan putar roda gaya.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dari penulisan skripsi ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Pada saat ini era industrialisasi dan transportasi, energi yang digunakan sebagai bahan bakar utama penggerak sektor tersebut ialah energi listrik. Energi listrik diperoleh dari pembangkit listrik umumnya menggunakan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara. Ketiga bahan bakar tersebut merupakan pemasok energi terbesar didunia untuk pembangkit listrik. Padahal bahan bakar fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui dan akan habis jika terus menerus digunakan. Sebagai pengganti energi dari bahan bakar fosil tersebut ialah energi alternatif salah satunya seperti energi panas bumi (geotermal), tenaga matahari, tenaga angin, gelombang laut dan pasang surut. Namun, keberadaan energi alternatif tersebut terkendala oleh beberapa faktor, yaitu kondisi alam, musim dan lamanya paparan. Karena itu beberapa negara didunia mulai mengambil kebijakan untuk mencari sumber energi lain yang terbarukan (Alfaizin, 2015).

Untuk menghasilkan energi listrik yang terbarukan, telah diciptakan energi listrik terbarukan dari motor, generator dan roda gaya (Lwin, 2019). Motor yang digunakan yaitu motor induksi. Motor induksi terdiri dari kumparan rotor dan kumparan stator, apabila kumparan stator diberi sumber tegangan listrik maka akan timbul medan putar dengan kecepatan sinkron, rotor akan berputar searah sesuai medan statornya. Dan generator yang digunakan yaitu generator induksi. Generator induksi juga memiliki kumparan stator dan kumparan rotor, Generator induksi adalah kebalikan motor induksi, apabila kumparan rotor berputar maka kumparan stator akan menimbulkan energi listrik (Berlianti, 2015).

Motor induksi digunakan untuk menggerakkan roda gaya yang menghasilkan kecepatan putar yang lebih besar untuk generator. Roda gaya kurang berpotensi merusak lingkungan karena sebagian besar terbuat dari bahan yang tidak berbahaya. Namun, penggunaan Roda gaya saat ini terhambat oleh bahaya pecahnya roda karena kelebihan muatan. Ketika kekuatan tarik roda gaya melampaui, roda gaya akan hancur, ini biasanya disebut sebagai "ledakan roda

gaya" karena fragmen roda dapat mencapai energi kinetik yang sebanding dengan peluru. Sebagai akibatnya, sistem roda gaya membutuhkan dudukan yang kuat. Agar sistem berjalan daya untuk motor induksi harus lebih kecil dari daya generator (Shroti, 2017) (Lwin, 2019).

Indonesia memiliki perusahaan untuk menciptakan energi listrik yaitu Perusahaan Listrik Negara (PLN), perusahaan ini menyediakan energi listrik siap pakai dan tentunya harus membayar dengan biaya yang ditetapkan. Walaupun Indonesia memiliki perusahaan tersebut tetap saja sebagian besar wilayah di Indonesia masih belum merasakan energi listrik. Indonesia juga masih defisit energi listrik, maka dari itu rata – rata pengguna energi listrik seperti industry, sosial dan bisnis harus menyediakan pembangkit energi listrik sendiri yaitu Generator Set (Genset). Genset dipakai apabila PLN tidak mampu mensuplay energi listrik ke penggunaanya. Menurut (Bonifacius, 2018) dalam jurnalnya yang berjudul Komparasi Biaya Rutin antara BIPV, Genset dan PLN daya setara 900VA, biaya yang dikeluarkan per bulan (angsuran) untuk pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) masih lebih mahal dari tagihan bulanan listrik PLN, namun masih jauh lebih murah daripada menggunakan genset. Penggunaan genset juga menimbulkan polusi udara dan suara. Untuk penggunaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) pembayaran angsuran berhenti setelah 15 tahun dan untuk selanjutnya secara teoritik tidak ada pengeluaran. Disamping itu pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) tidak berpolusi sehingga lebih ramah lingkungan.

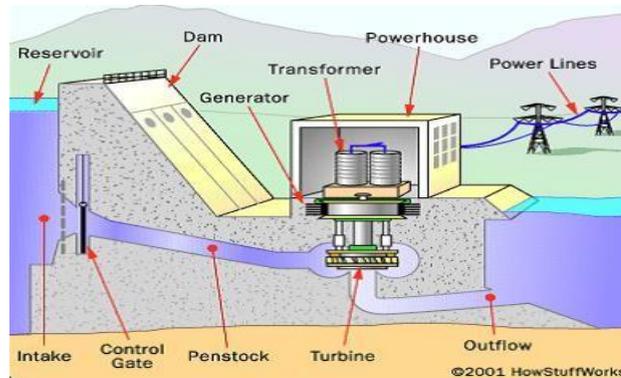
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Energi Listrik

Pembangkit listrik adalah suatu alat yang berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik dengan mengubah energi potensial menjadi energi mekanik kemudian menjadi tenaga listrik. Pembangkit listrik kita ketahui semakin berkembang dengan adanya penemuan berbagai sumber pembangkit listrik energi alternative yang terbarukan seperti pembangkit listrik tenaga air, mikrohidro,surya, panas bumi dan lain-lain.

2.2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

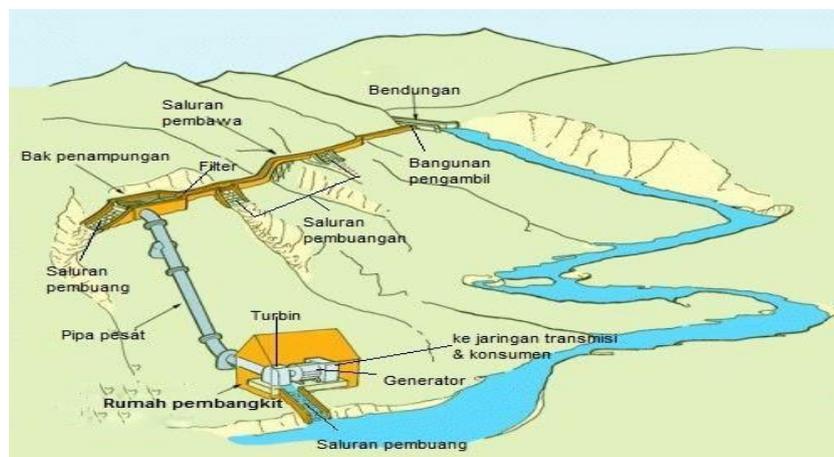
Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan pembangkit listrik yang sumber energinya berasal dari air yang nantinya akan memutar turbin yang dihubungkan dengan generator sehingga menghasilkan listrik (Taufik, 2014).



Gambar 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air (Taufik, 2014).

2.2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Mikrohidro atau dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Mikrohidro berasal dari kata micro yang berarti kecil dan hydro artinya air, arti keseluruhan merupakan suatu sistem pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan ketinggian dan debit air (Utama, 2018). PLTMH secara teknis terdiri dari tiga komponen utama yaitu air sebagai sumber energi untuk menggerakkan turbin yang disambungkan dengan generator sehingga generator tersebut menghasilkan sumber energi listrik. (Koswara, 2017)

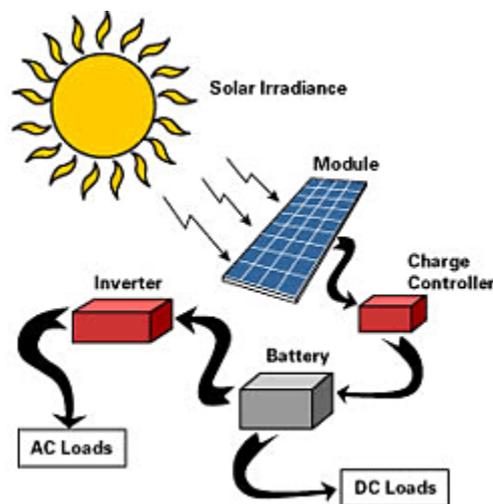


Gambar 2.2 Pembangkit Listrik Mikrohidro (Utama, 2018)

Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH) akan menjadi solusi alternatif energi listrik yang cukup efisien karena hanya memanfaatkan jatuhnya air yang tersedia. Disamping itu, program pembuatan PLTMH ini akan menjadikan Desa Mandiri yang bisa menghasilkan listrik dengan pemanfaatan air terjun.

2.2.1.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

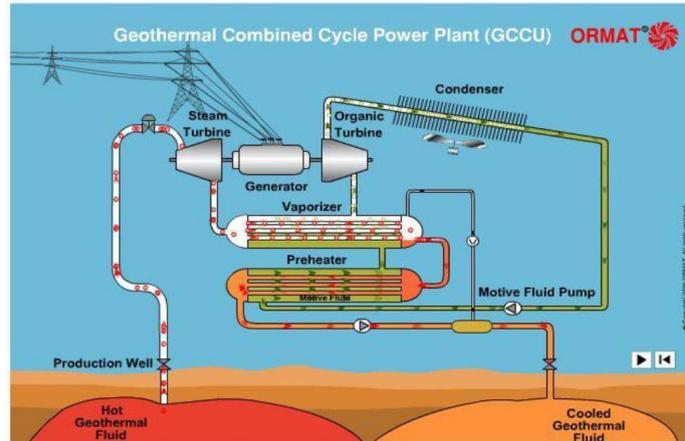
Pembangkit energi Fotovoltaik atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah perangkat yang merubah energi cahaya menjadi energi listrik dengan menggunakan efek foto listrik. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai pembangkit listrik diarahkan agar dapat dimanfaatkan oleh para pemakai daerah terpencil yang tidak mungkin dijangkau oleh jaringan PLN(Hafid, 2017).



Gambar 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Sampeallo, 2017)

2.2.1.4 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) adalah tenaga listrik yang dihasilkan dari turbin yang digerakkan oleh panas bumi. Cara pemanfaatannya adalah dengan membuat sumur yang kedalamannya mencapai titik panas bumi, lalu panas tersebut dialirkan ke lokasi turbin untuk menggerakkan turbin.(Dwiatmanto, 2015).



Gambar 2.4 Pembangkit listrik Panas Bumi (PLTP) (Dwiatmanto, 2015)

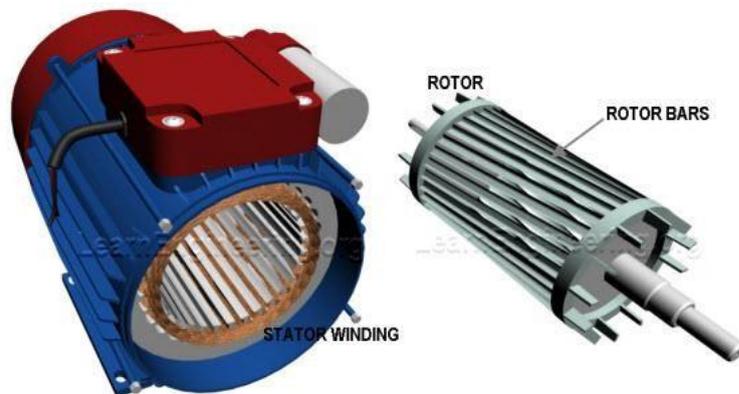
2.2.2 Motor Induksi 1 Fasa

Motor dalam dunia kelistrikan ialah mesin yang digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Salah satu motor listrik yang umum digunakan dalam banyak aplikasi ialah motor induksi. Motor induksi merupakan salah satu mesin sinkron karena mesin ini beroperasi pada kecepatan dibawah kecepatan sinkron. Kecepatan sinkron sendiri ialah kecepatan rotasi medan magnetik pada mesin. Kecepatan sinkron ini dipengaruhi oleh frekuensi mesin dan banyaknya kutub pada mesin. Motor induksi selalu berputar dibawah kecepatan sinkron karena medan magnet yang dibangkitkan stator akan menghasilkan fluks pada rotor sehingga rotor tersebut dapat berputar. Namun fluks yang terbangkitkan oleh rotor mengalami lagging dibandingkan fluks yang terbangkitkan pada stator sehingga kecepatan rotor tidak akan secepat kecepatan putaran medan magnet (Santoso, 2018).



Gambar 2.5 Motor Induksi 1 Fasa

1. Konstruksi Motor Induksi 1 Fasa



Gambar 2.6 Bagian Utama Motor Induksi 1 Fasa (Santoso, 2018)

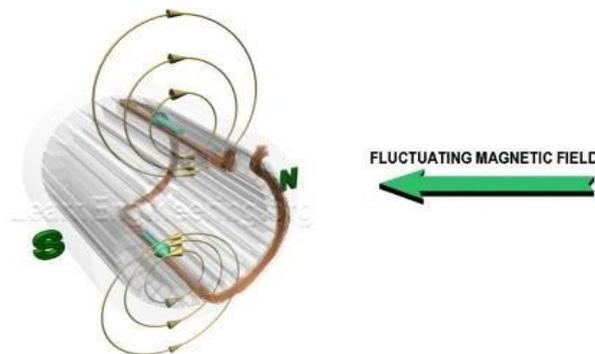
Terdapat 2 bagian penting pada motor induksi 1 fasa, yaitu rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang berputar dari motor dan stator merupakan bagian yang diam dari motor. Rotor umumnya berbentuk silinder dan bergerigi sedangkan stator berbentuk silinder yang melingkari seluruh badan rotor. Stator harus dilengkapi dengan kutub-kutub magnet dimana kutub utara dan selatan pada stator harus sama dan dipasang melingkari rotor sebagai suplai medan magnet dan kumparan stator untuk menginduksi kutub sehingga menciptakan medan magnet.

Stator umumnya dilengkapi dengan kumparan stator yang bertujuan membantu putaran rotor. Selain itu, stator juga dilapisi dengan lamina berbahan dasar silikon dan besi yang bertujuan untuk mengurangi tegangan yang terinduksi pada sumbu stator dan mengurangi dampak kerugian akibat munculnya arus eddy (eddy current) pada stator. Kemudian rotor umumnya dibuat dari alumunium dan dibuat bergerigi untuk menciptakan celah yang akan diisi konduktor berupa kumparan. Selain itu, rotor juga dilapisi dengan lamina untuk menambah kinerja dari rotor yang digunakan (Santoso, 2018).

2. Prinsip Kerja Motor Induksi 1 Fasa

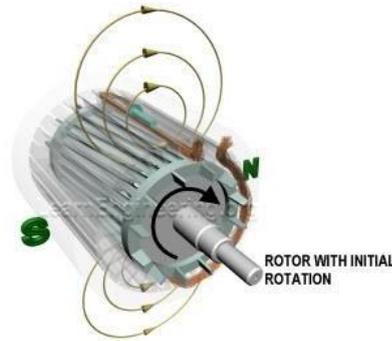
Ketika sumber AC (*Alternating Current*) diberikan pada kumparan stator dari motor, maka arus dapat mengalir pada kumparan stator. Fluks yang dihasilkan oleh sumber AC pada kumparan stator tersebut disebut sebagai fluks utama. Karena munculnya fluks utama ini maka fluks medan magnet dapat dihasilkan oleh stator. Arus stator akan menghasilkan fluks utama, sedangkan arus pada rotor

menghasilkan fluks pada rotor. Masing-masing fluks ini akan mempengaruhi arah putaran rotor, hanya saja arah keduanya berlawanan. Sesuai hukum Lorentz, apabila kita memiliki sebuah kabel yang dialiri arus dan terdapat fluks medan magnet disekitar kabel tersebut maka akan terjadi gaya pada kabel tersebut. Karena besarnya fluks pada stator dan rotor relatif sama maka gaya yang dihasilkan juga sama. Namun karena arah gaya yang berbeda mengakibatkan rotor tidak berputar akibat kedua gaya yang saling menghilangkan. Hal ini juga yang mengakibatkan motor induksi perlu diputar sedikit, agar salah satu gaya yang dihasilkan oleh fluks lebih besar daripada yang lainnya sehingga rotor dapat berputar.



Gambar 2.7 Dampak Adanya Arus Pada Stator (Santoso, 2018)

Apabila rotor dari motor tersebut sudah diputar sedikit. Karena rotor berputar maka dapat dikatakan bahwa konduktor pada rotor akan bergerak melewati kumparan stator. Karena konduktor pada rotor bergerak relatif terhadap fluks pada kumparan stator, akibatnya muncul tegangan ggl (gaya gerak listrik) pada konduktor rotor sesuai dengan hukum Faraday. Dan apabila motor terhubung dengan beban yang akan dioperasikan maka arus dapat mengalir pada kumparan rotor akibat adanya tegangan ggl pada rotor dan terhubungnya rotor dengan beban. Arus yang mengalir pada rotor ini disebut arus rotor. Arus rotor ini juga menghasilkan fluks yang dinamakan fluks rotor. Interaksi antara kedua fluks inilah yang menyebabkan rotor didalam motor dapat berputar sendiri (Santoso, 2018). Perlu diingat bahwa pada kondisi awal diasumsikan rotor sudah diberi gaya luar untuk menggerakkan konduktor pada rotor, karena jika tidak maka rotor akan diam terhadap fluks pada kumparan stator sehingga tidak terjadi tegangan ggl pada kumparan rotor, sesuai dengan hukum Faraday.



Gambar 2.8 Putaran Pada Rotor Akibat Fluks , apabila Rotor Diputar sedikit (Santoso, 2018)

2.2.3 Generator Induksi 1 Fasa

Generator Induksi adalah mesin listrik berputar yang mengubah energi mekanis diperoleh dari penggerak mula menjadi energi listrik berdasarkan induksi magnet. Unsur utama untuk membangkitkan listrik secara induksi adalah:

1. Medan magnet
2. Penghantar (kumparan)
3. Kecepatan relatif

Generator induksi disebut generator sinkron (juga disebut dengan alternator) terdiri dari dua bagian utama yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian dari generator sinkron yang diam, yang mana stator ini merupakan tempat dibangkitkannya tegangan induksi. Sedangkan rotor adalah bagian dari generator sinkron yang berputar secara mekanis yang digunakan untuk menghasilkan medan magnet dan menginduksi tegangan disekitar kumparan stator (Sukmahadi, 2018).

Dalam pemodelan mesin sinkron, medan magnet diciptakan oleh arus eksitasi karena melalui gulungan eksitasi. Oleh karena itu dapat dianggap sebagai masukan ke dalam mesin. Masukan lainnya adalah daya mekanis yang disediakan oleh penggerak mula. Penggerak mula dalam penelitian ini ialah Motor induksi. Istilah sinkron pada generator sinkron mengacu pada frekuensi listrik mesin yang serentak atau sinkron dengan laju putaran mekanis porosnya. Kecepatan putaran rotor memiliki hubungan dengan frekuensi listrik dan jumlah kutub yang dinyatakan dengan persamaan (Sukmahadi, 2018):

$$n = \frac{120f}{P} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

n = Kecepatan putar rotor (rpm)

f = Frekuensi (Hz)

P = Jumlah kutub

Jika n adalah kecepatan putar rotor dalam putaran per menit, maka $\frac{n}{60}$ adalah putaran per sekon, sehingga frekuensi dinyatakan dalam Hertz atau siklus per sekon .

1. Prinsip Kerja Generator Induksi

Berdasarkan Hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik yaitu bila suatu konduktor digerakkan dalam medan magnet, maka akan dibangkitkan gaya gerak listrik dalam konduktor tersebut. Jika rotor diputar pada penggerak mula (*prime mover*), maka kutub-kutub yang ada pada rotor akan berputar. Jika kumparan kutub diberi arus searah, maka pada kumparan kutub akan timbul medan magnet atau fluks yang bersifat bolak-balik atau fluks putar. Fluks putar ini akan memutar kumparan jangkar pada stator, sehingga pada ujung-ujung kumparan stator timbul gaya gerak listrik (ggl) atau tegangan induksi. Nilai dari tegangan yang dibangkitkan bergantung pada :

- a. Jumlah dari lilitan dalam kumparan.
- b. Kuat medan magnetik, makin kuat medan makin besar Tegangan yang diinduksikan
- c. Kecepatan putar dari generator itu sendiri.

2. Karakteristik Generator Sinkron

Dalam karakteristik generator sinkron berbeban terdapat arus yang mengalir pada kumparan jangkar, sehingga arus jangkar yang dihasilkan akan membentuk fluks jangkar. Terbentuknya fluks jangkar dapat mempengaruhi fluks arus medan yang menyebabkan besarnya tegangan terminal berubah-ubah. Terjadinya proses tersebut dikenal sebagai reaksi jangkar yang bersifat reaktif, dimana reaksi jangkar ini akan menimbulkan reaktansi bocor jangkar (X_L) dan reaktansi magnet (X_m) yang dinyatakan sebagai reaktansi sinkron (X_s).

Tegangan keluaran generator sinkron adalah selisih antara tegangan induksi dengan total rugi-rugi tegangan akibat reaksi jangkar ($jX_s I_a$), rugi tegangan akibat induktansi diri ($jX_a I_a$) dan penurunan tegangan akibat resistansi lilitan stator ($R_a I_a$). Tegangan keluaran generator sinkron dinyatakan dengan persamaan:

$$V_{Out} = E_a - jX_s I_a - R_a I_a \dots\dots\dots (2.2)$$

Resistansi jangkar (R_a) yang dialiri arus jangkar (I_a) akan menyebabkan jatuh tegangan. Namun pada praktiknya, jatuh tegangan ini diabaikan karena nilainya sangat kecil. Dari pernyataan tersebut diperoleh bahwa untuk menentukan tegangan induksi dinyatakan dengan persamaan:

$$E_a = V_{Out} + jX_s I_a \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

V_{Out} = Tegangan keluaran generator (V)

E_a = Tegangan induksi pada kumparan jangkar (V)

X_s = Reaktansi sinkron (Ω)

I_a = Arus jangkar (A)

R_a = Resistansi jangkar (Ω)



Gambar 2.9 Generator AC 1 Fasa

2.2.4 Roda Gaya

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 memutarnya 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 adalah sebuah massa yang berputar dan digunakan sebagai penyimpan tenaga didalam mesin. Tenaga yang disimpan pada Roda gaya berupa tenaga kinetik (E_k) yang besarnya:

$$E_k = \frac{1}{2} I \cdot \omega \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

$$I = \frac{1}{2} MR^2 \text{ adalah momen inersia roda gaya terhadap sumbu putarnya (kg.m}^2\text{).}$$

ω = Kecepatan sudut rata-rata roda gaya (rad/det)

Fluktuasi kecepatan maksimum yang diijinkan adalah sekitar 15-20% untuk mesin press, punch dan pompa, sedangkan untuk mesin generator lebih kecil hingga 0,3%. Fluktuasi kecepatan roda gaya (δ) biasa dirumuskan sebagai berikut:

$$\delta = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega} = \frac{v_1 - v_2}{v} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

ω_1 = Kecepatan sudut maksimum roda gaya (rad/det).

ω_2 = Kecepatan sudut minimum roda gaya (rad/det).

ω = Kecepatan sudut rata-rata roda gaya $\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}$ (rad/det).

v_1 = Kecepatan maksimal suatu titik pada roda gaya (m/det).

v_2 = Kecepatan minimum suatu titik pada roda gaya (m/det).

v = Kecepatan rata-rata suatu titik pada roda gaya (m/det).

Nilai koefisien fluktuasi yang biasa dipakai dalam praktek adalah berkisar antara 0,2 untuk mesin pembuat lubang (*punch*), mesin giling, mesin pemecah batu dan 0,002 untuk generator listrik.

Maka perubahan tenaga kinetic roda gaya, pada kecepatan maksimum dan kecepatan minimum dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$E = \frac{1}{2} I\sigma \cdot \omega_1^2 - \frac{1}{2} I\sigma \cdot \omega_2^2$$

$$E = \frac{1}{2} I\sigma \cdot (\omega_1^2 - \omega_2^2)$$

$$E = \frac{I\sigma}{2} (\omega_1 + \omega_2) (\omega_1 - \omega_2)$$

$$E = I\sigma \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega}$$

$$E = I\sigma \cdot \omega \cdot \delta \cdot \omega$$

$$E = I\sigma \cdot \delta \cdot \omega^2 \dots\dots\dots(2.6)$$

Maka :

$$E = \frac{W}{g} k^2 \cdot \delta \dots\dots\dots(2.7)$$

$$I\sigma = \frac{W}{g} k^2 \dots\dots\dots(2.8)$$

Sehingga :

$$W = \frac{g \cdot E}{k^2 \cdot \delta \cdot \omega^2} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

- ω_1 = Kecepatan sudut maksimum roda gaya (rad/det).
- ω_2 = Kecepatan sudut minimum roda gaya (rad/det).
- $I\sigma$ = Momen kelembaman roda gaya, terhadap sumbu putarnya (kgm²)
- k = Radius girasi roda gaya terhadap sumbu putarnya (m)
- W = Berat roda gaya (Kg)
- g = Gravitasi (m/s²) RPM₂

Adapun untuk mengetahui putaran RPM motor dan generator pada perancangan maka dilakukan dengan menggunakan rumus perbandingan sebagai berikut:

$$\frac{R_1}{RPM_2} = \frac{R_2}{RPM_1} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

R₁ = Jari-jari Pully 1 (inci)

R₂ = Jari-jari Pully 2 (inci)

RPM₁ = RPM Mesin 1 (RPM)

RPM₂ = RPM Mesin 2 (RPM)



Gambar 2.10 Roda Gaya

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.

2.2.5 Daya Listrik

Daya adalah jumlah energi listrik yang digunakan dalam rangkaian listrik tiap detik. Dengan kata lain daya listrik didefinisikan sebagai bilangan yang menunjukkan adanya perpindahan energi listrik dari sumber energi listrik (pembangkit) ke komponen beban listrik. Daya listrik menjadi pembeda antara beban dengan pembangkit listrik, dimana beban listrik bersifat menyerap daya sedangkan pembangkit listrik bersifat mengeluarkan daya. Berdasarkan kesepakatan universal, daya listrik yang mengalir dari rangkaian masuk ke komponen listrik bernilai positif. Daya listrik yang masuk ke rangkaian listrik dan berasal dari komponen listrik, maka daya tersebut bernilai negatif. Daya listrik terbagi dalam 3 macam, yaitu :

1. Daya Semu (S)

Daya semu (S) adalah hasil perkalian antara tegangan efektif (*root-mean-square*) dengan arus efektif (*root-mean-square*).

$$\text{L-N}_{1f} : \quad S = V_{RMS} \cdot I_{RMS} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$\text{L-L}_{3f} : \quad S = \sqrt{3} \cdot V_{RMS} \cdot I_{RMS} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

S = Daya Semu (VA)

V_{RMS} = Tegangan Efektif (*root-mean-square*) (Volt)

I_{RMS} = Arus yang mengalir pada penghantar efektif (*root-mean-square*) (Amper)

Tegangan RMS (V_{RMS}) adalah nilai tegangan listrik AC yang akan menghasilkan daya yang sama dengan daya listrik DC ekuivalen pada suatu beban resistif yang sama. Pengertian tersebut juga berlaku pada arus RMS. 220 volt tegangan listrik rumah kita adalah tegangan RMS (tegangan efektif). Secara sederhana, 220 volt tersebut adalah 0,707 bagian dari tegangan maksimum sinusoidal AC.

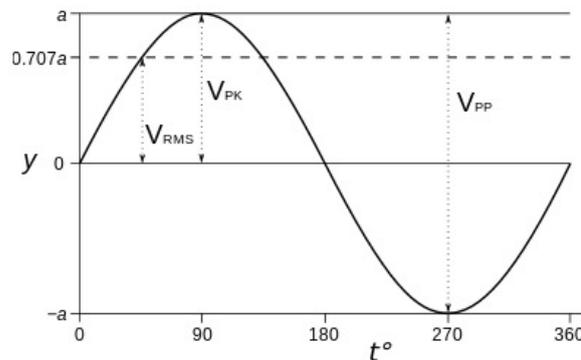
Berikut adalah rumus sederhana perhitungan tegangan RMS:

$$V_{RMS} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Demikian pula dengan rumus perhitungan arus RMS:

$$I_{RMS} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana V_{max} dan I_{max} adalah nilai tegangan maupun arus listrik pada titik tertinggi di grafik gelombang sinusoidal listrik AC.



Gambar 2.11 Nilai Tegangan RMS pada Grafik Sinusoidal
Tegangan Listrik AC

2. Daya aktif (P)

Daya aktif adalah daya yang dibutuhkan oleh beban resistif. Daya aktif secara efektif menghasilkan kerja yang nyata di sisi beban listrik. Daya aktif menunjukkan adanya aliran energi listrik dari pembangkit listrik ke jaringan beban untuk dapat dikonversikan menjadi energi lain. Sebagai contoh, daya aktif yang digunakan untuk menyalakan motor induksi. Energi listrik yang mengalir

dari jaringan dan masuk ke motor induksi, dikonversikan menjadi energi gerak oleh kumparan stator tersebut.

$$\text{L-N}_{1f} : P = V.I.\cos \varphi \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\text{L-L}_{3f} : P = \sqrt{3} .V.I.\cos \varphi \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

P = Daya Aktif (Watt)

$\cos \varnothing$ = Faktor Daya

3. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan untuk membangkitkan medan magnet di kumparan-kumparan beban induktif. Seperti pada motor listrik induksi misalnya, medan magnet yang dibangkitkan oleh daya reaktif di kumparan stator berfungsi untuk menginduksi rotor sehingga tercipta medan magnet induksi pada komponen rotor. Pada trafo, daya reaktif berfungsi untuk membangkitkan medan magnet pada kumparan primer, sehingga medan magnet primer tersebut menginduksi kumparan sekunder.

Satuan daya reaktif adalah *volt-ampere reactive* dan disingkat dengan *var*.

Berikut persamaan daya reaktif :

$$\text{L-N}_{1f} : Q = V.I.\sin \varphi \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\text{L-L}_{3f} : Q = \sqrt{3} .V.I.\sin \varphi \dots\dots\dots (2.18)$$

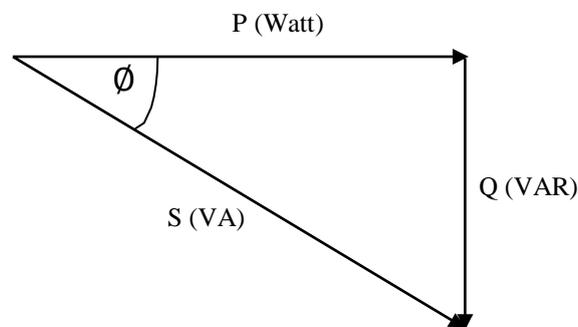
Keterangan :

Q = Daya Reaktif (VAR)

Mengapa satuan daya reaktif adalah var dan bukannya watt, disinilah bahasan mendalam mengenai daya reaktif kita butuhkan. Daya reaktif, sebenarnya bukanlah sebuah daya yang sesungguhnya. Sesuai dengan definisi dari daya listrik yang telah kita singgung di atas, bahwa daya listrik merupakan bilangan yang menunjukkan adanya perpindahan energi listrik dari sumber energi listrik (pembangkit) ke komponen beban listrik. Daya reaktif tidak menunjukkan adanya perpindahan energi listrik, daya nyata-lah yang menjadi bilangan penunjuk adanya perpindahan energi listrik.

Sekalipun daya reaktif hanya merupakan daya imajiner, pengendalian daya reaktif pada sistem jaringan distribusi listrik AC sangat penting untuk diperhatikan. Hal ini tidak lepas dari pengaruh beban reaktif terhadap kondisi jaringan listrik AC. Beban kapasitif yang bersifat menyimpan tegangan sementara, cenderung mengakibatkan nilai tegangan jaringan menjadi lebih tinggi daripada yang seharusnya. Sedangkan beban induktif yang bersifat menyerap arus listrik, cenderung membuat tegangan listrik jaringan turun. Berubah-ubahnya tegangan listrik jaringan tersebut sangat mengganggu proses distribusi energi listrik dari pembangkit ke konsumen. Perubahan tegangan jaringan berkaitan langsung dengan kerugian-kerugian distribusi listrik seperti kerugian panas dan emisi elektromagnetik yang terbentuk sepanjang jaringan distribusi. Semakin jauh nilai tegangan jaringan dari angka yang seharusnya, akan semakin besar kerugian distribusinya dan akan semakin mengganggu proses distribusi daya nyata listrik. Di sinilah peran kontrol daya reaktif jaringan listrik sangat perlu diperhatikan.

Hubungan antara daya nyata, daya reaktif dan daya semu dapat diilustrasikan ke dalam sebuah segitiga siku-siku dengan sisi miring sebagai daya semu, salah satu sisi siku sebagai daya nyata, dan sisi siku lainnya sebagai daya reaktif.



Gambar 2.12 Segitiga Daya

Sesuai dengan hubungan segitiga di atas maka hubungan antara daya aktif, daya reaktif dan daya semu dapat diekspresikan ke dalam sebuah persamaan pitagoras.

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (2.19)$$

2.2.6 Faktor Daya

Faktor daya atau faktor kerja adalah perbandingan antara daya aktif (Watt) dengan daya semu (VA) atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu. Dibuktikan dalam persamaan (2.15) :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Maka :

$$\cos \varphi = \frac{P}{V \cdot I}$$

Sehingga :

$$\cos \varphi = \frac{P(\text{Watt})}{S(\text{VA})} \dots\dots\dots(2.20)$$

Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi.

Dibuktikan dalam persamaan :

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos \varphi} \dots\dots\dots(2.21)$$

Perbaikan faktor daya ini menggunakan kapasitor, sehingga faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu.

Secara teoritis, jika seluruh beban daya yang dipasok oleh perusahaan listrik memiliki faktor daya satu, maka daya maksimum yang ditransfer setara dengan kapasitas sistim pendistribusian. Dan jika faktor daya berkisar dari 0,2 hingga 0,5 maka kapasitas jaringan distribusi listrik menjadi tertekan. Jadi, daya reaktif (VAR) harus serendah mungkin untuk keluaran daya aktif (Watt) yang sama dengan maksud untuk meminimalkan kebutuhan daya semu (VA).

2.2.7 Beban Listrik

Beban Listrik adalah segala sesuatu membutuhkan tenaga/daya listrik yang ditanggung dari pembangkit listrik agar dapat digunakan / dioperasikan. Beban listrik dikatakan juga sebagai hambatan yang dinyatakan pada hukum Ohm :

“Besarnya arus listrik (I) yang mengalir melalui sebuah penghantar atau Konduktor akan berbanding lurus dengan tegangan (V) yang diterapkan kepadanya dan berbanding terbalik dengan hambatannya (R)”.

Ada 2 jenis beban listrik berdasarkan sumbernya :

- Beban Listrik Tegangan Searah

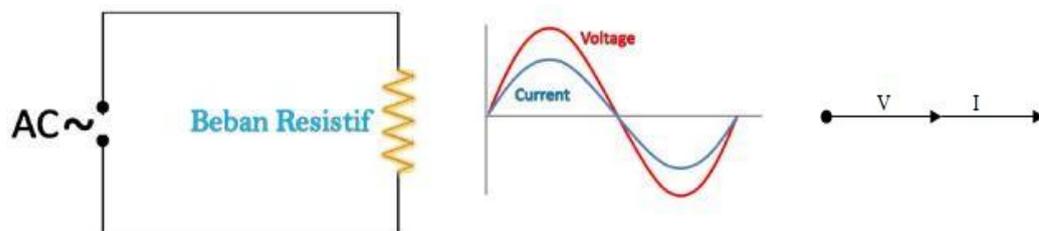
Pada tegangan searah, semua beban adalah resistif (tidak ada pergeseran fase atau sudut) maka rumus yang digunakan adalah rumus pada hukum Ohm.

- Beban Listrik Tegangan bolak-balik

Dalam sistem listrik arus bolak-balik, jenis beban dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu :

1. Beban Resistif (R)

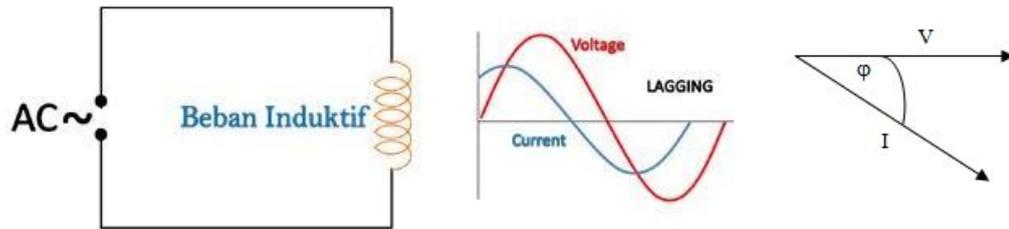
Beban resistif (R) yaitu beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm saja (resistance), seperti elemen pemanas (heating element) dan lampu pijar. Beban jenis ini hanya mengkonsumsi beban aktif saja dan mempunyai faktor daya (Pf) / $\cos \varphi = 1$. Tegangan dan arus sefasa. Persamaan daya dapat dilihat pada persamaan (2.11) dan (2.12).



Gambar 2.13 Beban Resistif, Gelombang Beban Resistif dan Sudut Beban Resistif

2. Beban Induktif (L)

Beban induktif (L) yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti : Coil, Transformator, dan Selenoida. Beban ini mengakibatkan pergeseran fasa pada arus sehingga bersifat *lagging*. Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis akan mengakibatkan fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban ini menyerap daya aktif dan daya reaktif.



Gambar 2.14 Beban Induktif, Gelombang Beban Induktif dan Sudut Beban Induktif

Untuk menghitung besarnya Reaktansi Induktif (X_L) dapat digunakan rumus sebagai berikut :

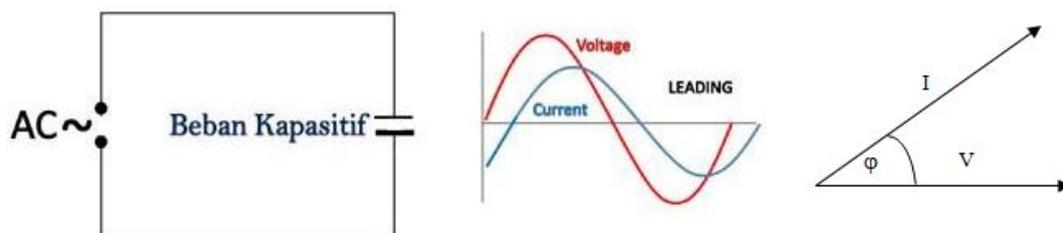
$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :

- X_L = Reaktansi Induktif (Ω)
- π (pi) = 3,142 atau $\frac{22}{7}$
- f = Frekuensi (Hz)
- L = Induktansi Induktor (H)

3. Beban Kapasitif (C)

Beban kapasitif (C) yaitu beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) pada suatu sirkuit. Komponen ini dapat menyebabkan arus *leading* terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif.



Gambar 2.15 Beban Kapasitif, Gelombang Beban Kapasitif dan Sudut Beban Kapasitif

Untuk menghitung besarnya Reaktansi Kapasitif (X_C) dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana :

X_C = Reaktansi Kapasitif (Ω)

π (pi) = 3,142 atau $\frac{22}{7}$

f = Frekuensi (Hz)

C = Kapasitansi Kapasitor (F)

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, analisa perancangan sistem, hingga analisa 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 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 energi listrik terbarukan.
2. Generator Induksi 1 fasa digunakan sebagai generator dari pembangkit energi listrik terbarukan.
3. Roda gaya 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 Roda Gaya
7. Panel Listrik digunakan untuk melindungi komponen sistem kontrol listrik dari pembangkit energi listrik terbarukan.
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 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 energi listrik gratis
12. *Pilot Lamp* digunakan sebagai lampu tanda adanya arus listrik pada panel sistem kontrol listrik dari pembangkit energi listrik gratis
13. *Rel Ohmega* digunakan sebagai dudukan komponen sistem kontrol ke panel.

3.3 Data Analisis

Berdasarkan kebutuhan dari kinerja pembangkit listrik terhadap variasi beban, maka data – data analisis kinerja pembangkit listrik energi terbarukan dari *flywheel* terhadap variasi beban adalah sebagai berikut :

1. Generator Induksi 1 fasa

Berikut tabel data teknis generator yang digunakan pada analisis kinerja pembangkit listrik energi terbarukan.

Tabel 3.1 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. Motor Induksi 1 Fasa

Motor induksi 1 fasa sebagai penggerak mula dari pembangkit listrik energi terbarukan. Berikut tabel data teknis motor induksi 1 fasa yang digunakan pada analisis kinerja pembangkit listrik energi terbarukan.

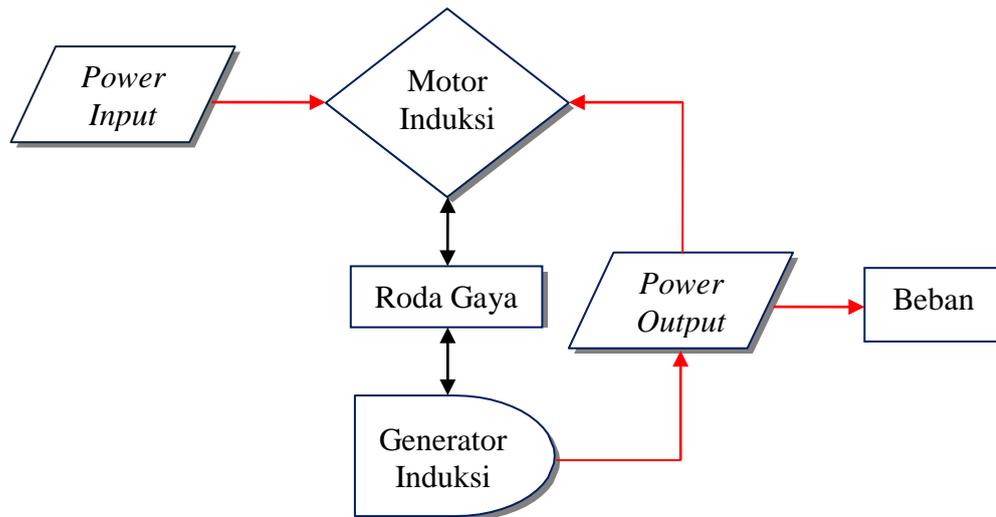
Tabel 3.2 Spesifikasi Motor Induksi 1 fasa

FAMOZE PRO			
MOTOR ASINKRON SATU PHASE			
TYPE : GMYL-90L2-4 B3			
Daya	1.5 KW	NO SERI	VP041377
Tegangan	220 V	Cos φ	0.95
Arus	9.7 A	N	74 %
Frekuensi	50 Hz	Weight	16 Kg
RPM	1410 r/min	Rating S1	IP 55
Phase	1	INS CLASS	F
Date 10-2019			

3.4 Jalannya Penelitian

3.4.1 Diagram Blok Proses Kerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan

Untuk mempermudah dalam hal menganalisis kinerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dari Roda Gaya Motor-Generator, maka dibuat diagram blok proses kerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dari Roda Gaya Motor-Generator. Dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.

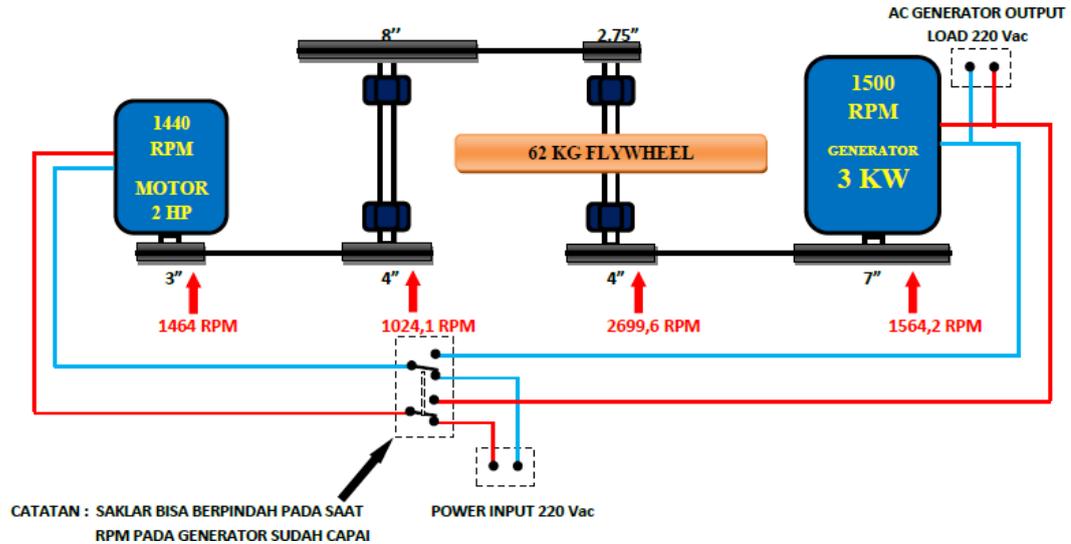


Gambar 3.1 Diagram Blok Proses Kerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dari Roda Gaya Motor-Generator

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 *Electric* sebagai kelengkapan sistem pembangkit.

3.4.2 Skema Proses Kerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan

Untuk mempermudah dalam hal menganalisis kinerja pembangkit listrik energi terbarukan dari roda gaya motor-generator, maka dibuat skema proses kerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dari Roda Gaya Motor-Generator. Dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini.

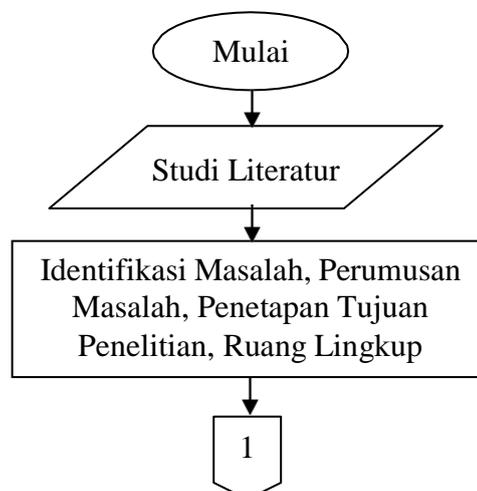


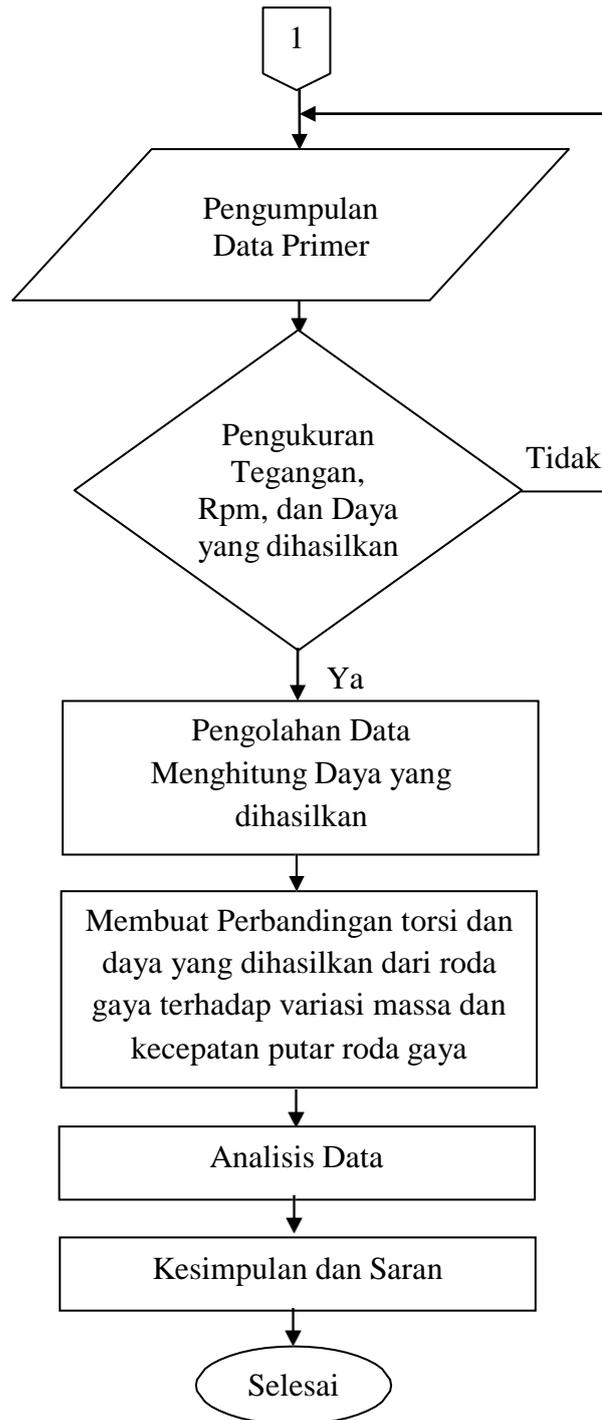
Gambar 3.2 Skema Proses Kerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dari Roda Gaya 62 kg Motor-Generator

Skema 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 – komponen *Electric* sebagai kelengkapan sistem pembangkit.

3.4.3 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir ini dimaksudkan untuk memberikan suatu gambaran dan penjelasan yang lebih terperinci sebagai pemahaman terhadap penelitian. Dibawah ini dapat dilihat diagram air penelitian.



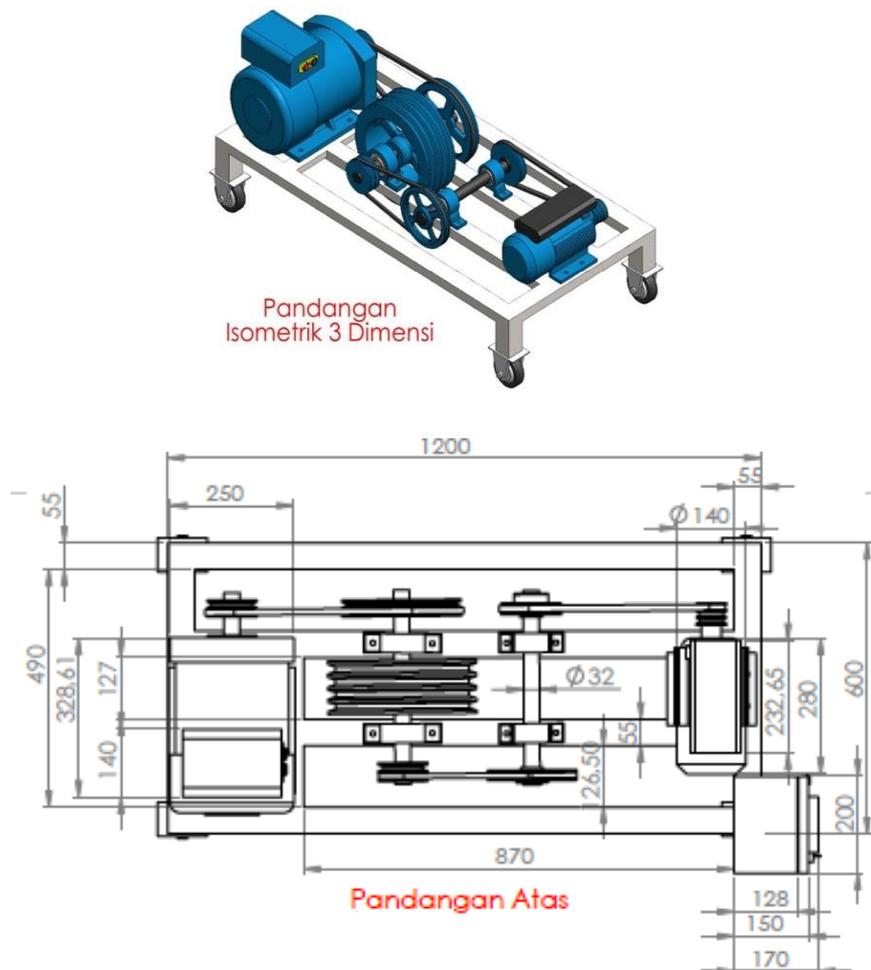


Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kinerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dari Roda Gaya 62 kg, Motor dan Generator

Pembangkit listrik energi terbarukan ini merupakan pembangkit listrik dengan sistem kerja awal pembangkit listrik mendapat pasokan listrik awal dari PLN, setelah motor berputar mencapai *Rotations per minutes* (RPM) yang dibutuhkan, maka secara otomatis generator akan mengeluarkan arus listrik. Setelah Generator mengeluarkan arus listrik, kemudian listrik dari PLN diputus dan arus listrik dari generator tersebut disirkulasikan kembali ke motor (penggerak awal) dan sisanya digunakan sebagai kebutuhan sesuai dengan gambar 3.1 dan gambar 3.2 pada sub bab 3.4



Gambar 4.1 Bentuk Fisik Alat

Pembebanan sistem Pembangkit Listrik ini dibuat terpisah dari generator induksi agar lampu pijar yang digunakan sebagai beban tidak rusak oleh getaran yang dihasilkan sistem Pembangkit Listrik ini. Variasi beban yang digunakan untuk pembebanan pembangkit listrik ini adalah lampu pijar 5 watt, 15 watt, 25 watt, 40 watt, 60 watt, dan 100 watt. Beban Generator induksi ditunjukkan pada gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2 Beban Pembangkit Listrik

Alasan digunakannya lampu pijar sebagai beban, karena daya yang diserap lampu pijar pasti, dalam kata lain terang dan redupnya lampu pijar menyesuaikan tegangan yang diberikan ke lampu pijar dibandingkan dengan lampu lainnya.

Analisis Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dari Roda Gaya 62 kg, Motor dan Generator dilakukan dengan 4 jenis analisis, yaitu Analisis kecepatan putar penggerak awal (Motor Induksi) dan Generator Induksi, Analisis terhadap pully, Analisis tanpa beban, dan Analisis dengan beban.

4.1.1 Analisis Kecepatan Penggerak Awal (Motor Induksi) dan Generator Induksi

Analisis kecepatan penggerak awal (motor induksi) dan generator induksi dilakukan dengan cara mengukur kecepatan putar rotor motor induksi dan rotor generator induksi dengan tachometer. Hasil pengukuran didapat kecepatan rotor motor induksi sebesar 1464.0 Rpm dan kecepatan rotor generator induksi sebesar 1564.2 Rpm dengan frekuensi PLN terukur 50 Hz ditunjukkan pada gambar 4.3 dan 4.4



Gambar 4.3 Rpm penggerak awal (Motor Induksi) pada roda gaya 62 Kg



Gambar 4.4 Rpm Generator Induksi pada roda gaya 62 Kg

Proses Analisis ini bertujuan untuk mengetahui slip kecepatan penggerak awal (motor induksi) dan generator induksi. Berikut adalah perhitungannya :

- Slip kecepatan penggerak awal (motor induksi)

$$n_r = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ Rpm}$$

$$S = \frac{1500 - 1464}{1500} \times 100\%$$

$$S = 2.4 \%$$

Untuk motor induksi, slipnya bernilai positif karena kecepatan statornya (Ns) lebih besar dibandingkan kecepatan rotornya (Nr).

- Slip kecepatan generator induksi

$$n_r = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ Rpm}$$

$$S = \frac{1500 - 1564.2}{1500} \times 100\%$$

$$S = -4.28 \%$$

Pada generator induksi slipnya bernilai negatif karena kecepatan statornya (N_s) lebih kecil dibandingkan kecepatan rotornya (N_r). Hal ini akan mempengaruhi besaran-besaran lainnya seperti daya, torsi dan lain-lain.

Slip penggerak awal (motor induksi) adalah 2.4 % dan generator induksi adalah -4.28% hal tersebut membuktikan bahwa motor induksi dan generator induksi tidak berputar pada kecepatan sinkron. Motor induksi dan generator induksi berputar pada kecepatan sinkron pada saat kecepatan rotor sama dengan kecepatan medan putar yang dihasilkan stator atau motor dan generator dalam keadaan diam, sehingga slip motor sebesar 0%.

Pada pengukuran penggerak awal (motor induksi) terukur kecepatan rotor 1464 rpm dan pada pengukuran generator induksi terukur kecepatan rotor 1564.2 rpm, sedangkan pada *nameplate* motor tercatat kecepatan putar rotor 1410 rpm dan pada generator untuk mendapatkan tegangan 220V *nameplate* generator tercatat kecepatan putar rotor 1500 rpm. Dari kedua pengukuran tersebut, dapat dihitung besarnya persentase *error* yang terjadi. Berikut perhitungannya :

- Persentase *error* kecepatan penggerak awal (motor induksi)

$$Error = \frac{\text{nilai pengujian} - \text{nilai nameplate}}{\text{nilai nameplate}} \times 100\%$$

$$Error = \frac{1464 - 1410}{1410} \times 100\%$$

$$Error = 3.83 \%$$

- Persentase *error* kecepatan generator induksi

$$Error = \frac{\text{nilai pengujian} - \text{nilai nameplate}}{\text{nilai nameplate}} \times 100\%$$

$$Error = \frac{1564 - 1500}{1500} \times 100\%$$

$$Error = 4.27 \%$$

Data hasil perhitungan dari Analisis kecepatan putar penggerak awal (motor induksi) dan generator induksi ditunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Analisis Motor Induksi dan Generator Induksi

	ω_s (Kecepatan Stator)	ω_r (Kecepatan Rotor)	Nilai <i>Nameplate</i>	Persentase Slip	Persentase <i>Error</i>
Motor Induksi	1500 Rpm	1464 Rpm	1410 Rpm	2.4%	3.83%
Generator Induksi	1500 Rpm	1564.2 Rpm	1500 Rpm	-4.28%	4.27%

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.

4.1.2 Analisis Terhadap *Pully*

Analisis terhadap *pully* dilakukan dengan cara membuat perbandingan antara pengukuran kecepatan putar semua *pully* yang diukur dengan menggunakan tachometer dan perhitungan rumus 2.10.

Data hasil pengukuran kecepatan putar semua *pully* dengan menggunakan tachometer dengan frekuensi PLN terukur 50 Hz ditunjukkan pada gambar 4.3, 4.4, 4.5 dan 4.6 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



Gambar 4.5 Rpm pada Transmisi 1 roda gaya 62 Kg



Gambar 4.6 Rpm pada Transmisi 2 (Roda Gaya 62 Kg)

Proses Analisis 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 mengitung dengan rumus 2.10 dari data yang didapat dari gambar 3.2. Berikut perhitungannya :

- Perhitungan antara *pully* motor induksi dan transmisi 1 unruk 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* (8:2.75)

$$\frac{R3}{RPM4} = \frac{R4}{RPM3}$$

$$\frac{8}{RPM4} = \frac{2.75}{1098}$$

$$RPM4 = \frac{8 \times 1098}{2.75}$$

$$RPM4 = 3194.2 \text{ Rpm}$$

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

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

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

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

$$RPM6 = 1825.3 \text{ Rpm}$$

Dari beberapa perhitungan, maka data hasil pengukuran kecepatan putar semua *pully* ditunjukkan pada tabel 4.3

Tabel 4.3 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

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

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

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

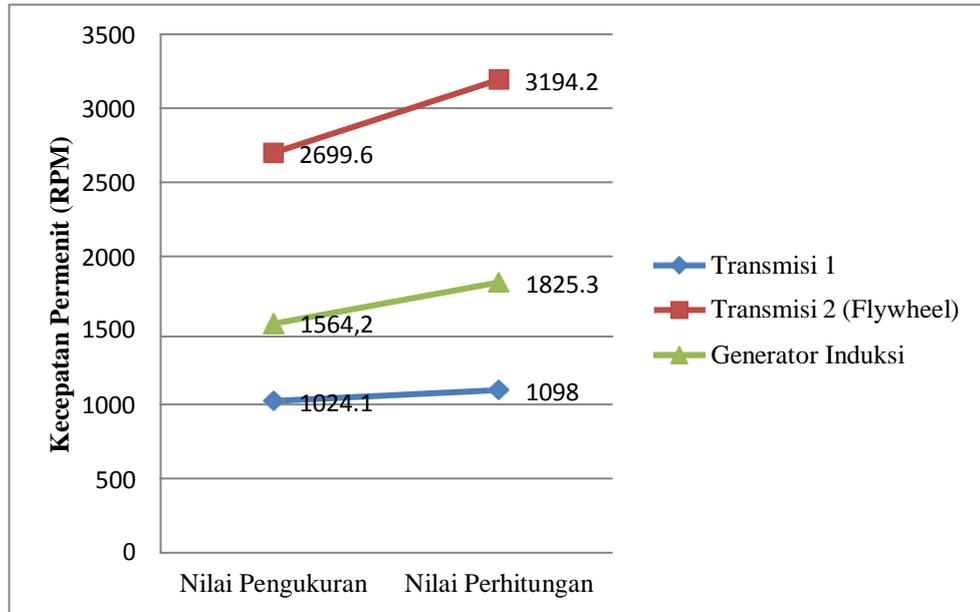
$$S = 14,3 \%$$

Data hasil perhitungan dari Analisis terhadap *pully* ditunjukkan pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Analisis Terhadap *Pully*

	Nilai Perhitungan (Rpm)	Nilai Pengukuran (Rpm)	Perbandingan Pulley (Inchi)	Slip
Transmisi 1	1098	1024,1	(3) : (4)	6,73%
Transmisi 2 (<i>Flywheel</i>)	3194,2	2699,6	(8) : (2,75)	15,5%
Generator Induksi	1825,3	1564.2	(4) : (7)	14,3%

Berdasarkan Tabel 4.4, dapat dibuat grafik hasil Analisis terhadap *pully* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Grafik hasil Analisis terhadap *Pully*

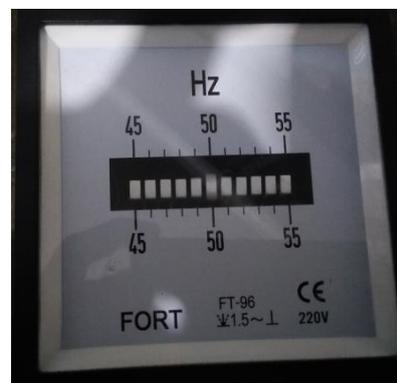
Pada analisis terhadap pulley ini, slip yang terjadi disebabkan gesekan yang terjadi antara pulley dengan v-belt, persentase slip tersebut terlalu besar karena type v-belt dan type pulley yang digunakan adalah type A, seharusnya type yang digunakan type B agar persentase slip yang digunakan tidak terlalu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

4.1.3 Analisis Tanpa Beban

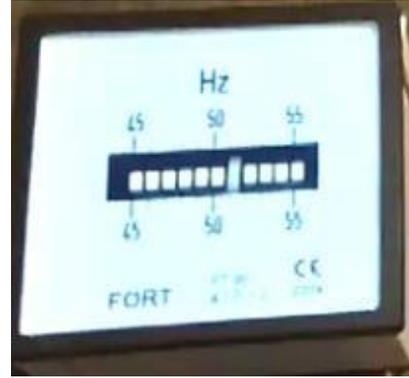
Analisis tanpa beban dilakukan dengan cara mengukur tegangan dan frekuensi pada PLN dan tegangan keluaran dan frekuensi yang dihasilkan oleh generator. Pengukuran pada tegangan menggunakan Multitester Digital dan frekuensi menggunakan Hz Meter yang ditunjukkan pada gambar 4.8 dan 4.9 untuk tegangan dan frekuensi PLN dan gambar 4.10 dan 4.11 untuk tegangan keluaran dan frekuensi generator.



Gambar 4.8 Tegangan PLN



Gambar 4.9 Frekuensi PLN

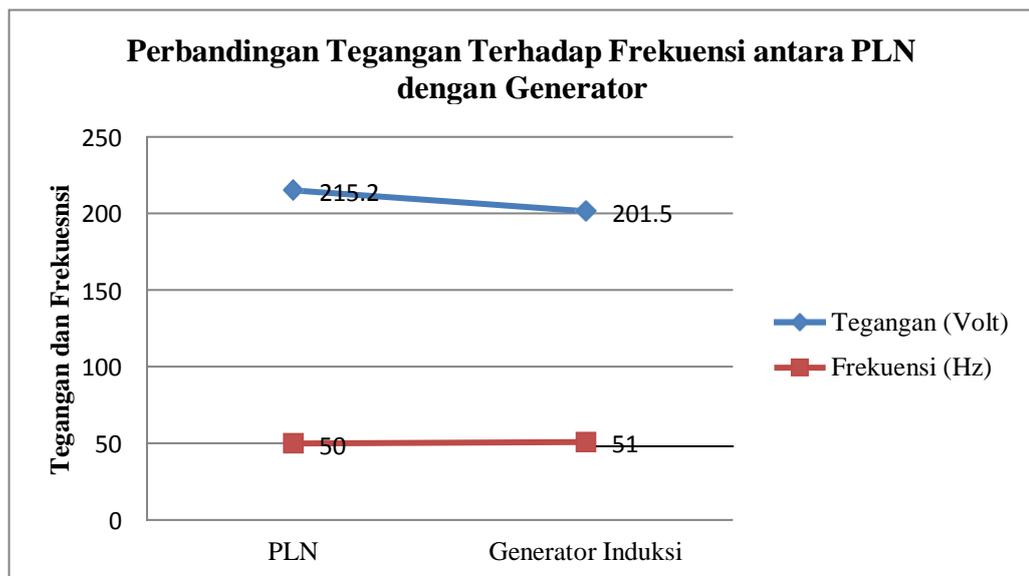


Gambar 4.10 Tegangan keluaran Generator Gambar 4.11 Frekuensi Generator

Tabel 4.5 Hasil Analisis 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	1564,2	215,2	50,0	201,5	51,0

Berdasarkan Tabel 4.5 , dapat dibuat grafik perbandingan tegangan terhadap frekuensi antara PLN dan generator induksi pada saat Rpm motor induksi 1464,0 dan Rpm generator induksi 1564,2.



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Tegangan terhadap Frekuensi antara PLN dengan Generator

4.1.4 Analisis Dengan Beban

Analisis 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 4.13 – Gambar 4.23



Gambar 4.13 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 5 watt



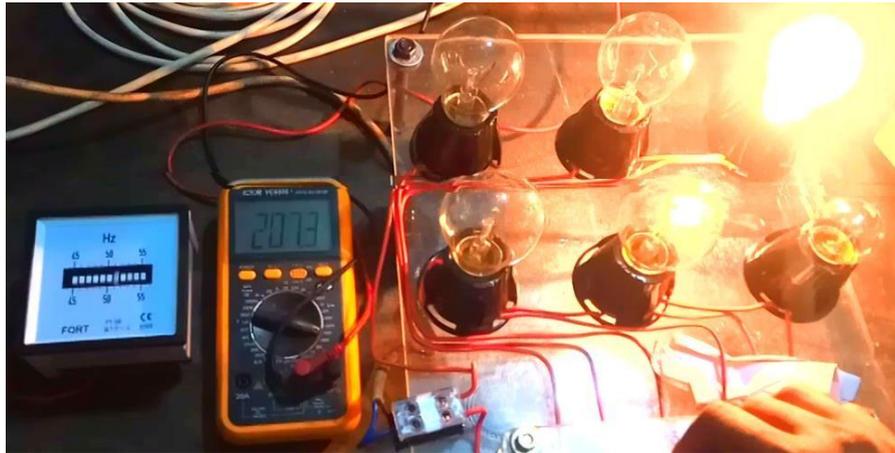
Gambar 4.14 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 15 watt



Gambar 4.15 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 5 watt dan 15 watt (20Watt)



Gambar 4.16 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 25 watt



Gambar 4.17 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 40 watt



Gambar 4.18 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 5 watt, 15 watt, 25 watt (45 watt)



Gambar 4.19 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 60 watt



Gambar 4.20 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 5 watt, 15 watt, 25 watt, 40 watt (85 watt)



Gambar 4.21 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 100 watt



Gambar 4.22 Tegangan keluaran dan Frekuensi Generator pada Beban Lampu Pijar 5 watt, 15 watt, 25 watt, 40 watt, 60 watt (145 watt)



Gambar 4.23 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 4.6

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Generator Induksi terhadap Beban

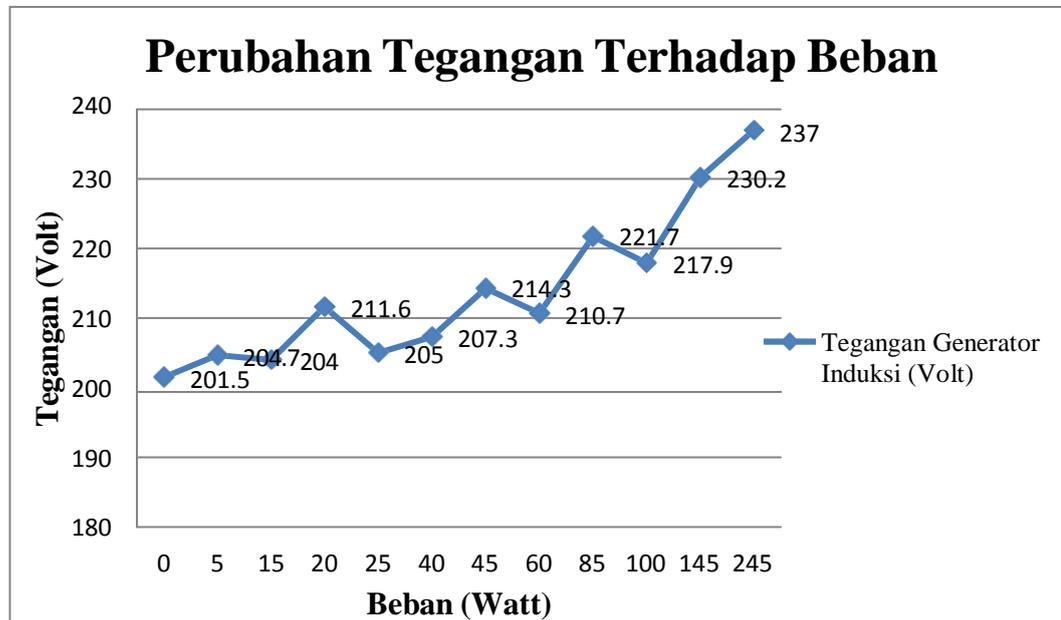
No	Beban Generator Induksi (Watt)	Tegangan Generator Induksi (Volt)	Arus Generator Induksi (mA)	Frekuensi Generator Induksi (Rpm)
1	0	201,5	0	51,0
2	5	204,7	24,43	51,0
3	15	204,0	73,53	51,0
4	20 (5+15)	211,6	94,52	51,0
5	25	205,0	123,76	51,0
6	40	207,3	192,96	51,0
7	45 (5+15+25)	214,3	209,99	51,0
8	60	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 4.6, 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.

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.

Grafik perubahan tegangan terhadap beban ditunjukkan pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Grafik Perubahan Tegangan Terhadap Beban

Dilihat dari Gambar 4.24, 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

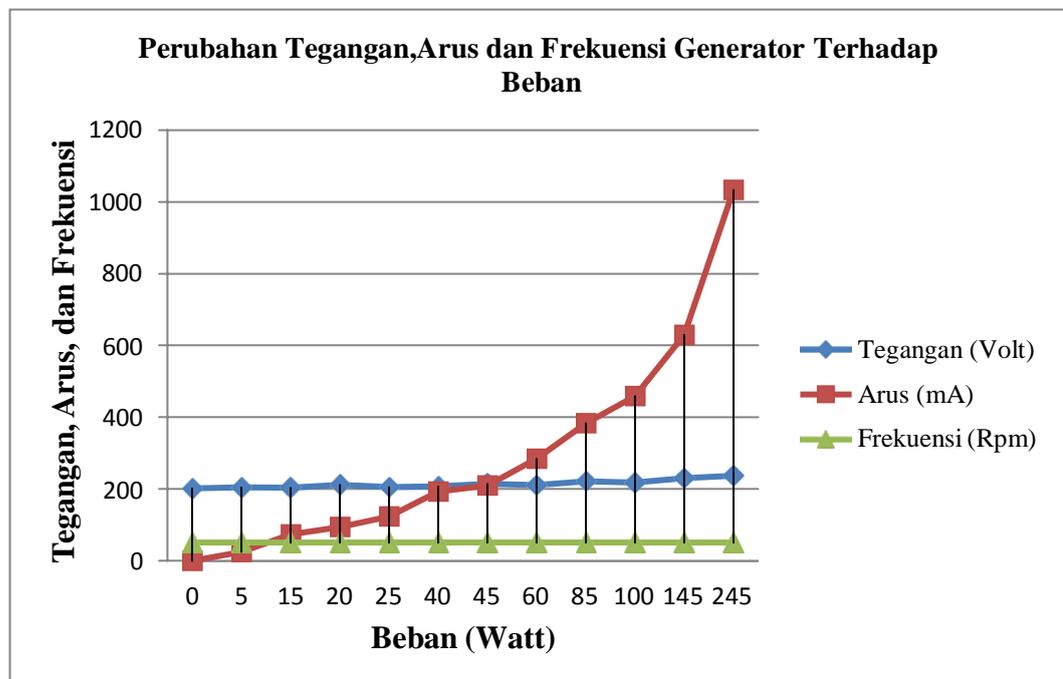
(Automatic Voltage Regulator) yang berfungsi untuk menstabilkan tegangan dan mencegah terjadinya perubahan tegangan yang signifikan pada generator. Besar tegangan jatuh pada generator dihitung sebagai berikut:

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

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

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

Grafik perubahan tegangan, arus dan frekuensi terhadap beban ditunjukkan pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25 Grafik Perubahan Tegangan, arus, dan Frekuensi terhadap Beban

4.2 Perbandingan Torsi Dan Daya Yang Dihasilkan Dari Roda Gaya Terhadap Variasi Massa Dan Kecepatan Putar Roda Gaya

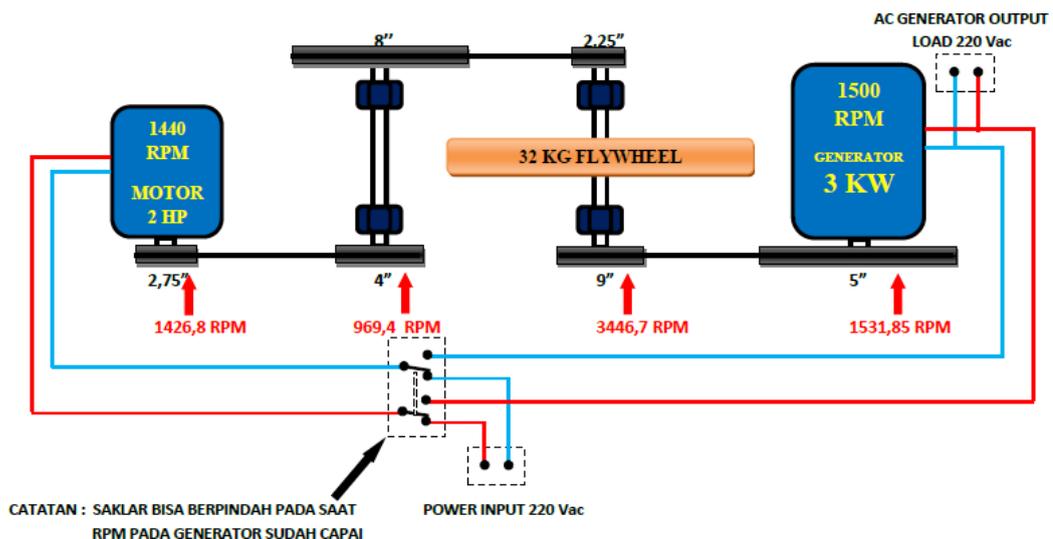
Pembangkit listrik energi terbarukan dari roda gaya motor-generator ini melakukan 2 jenis percobaan, percobaan menggunakan massa roda gaya 32 kg dengan kecepatan putar roda gaya 2416 Rpm dan percobaan menggunakan massa roda gaya 62 kg dengan kecepatan putar roda gaya 2996,6 Rpm. Kedua percobaan diatas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

Berikut ini merupakan perhitungan total masukan daya pada penggerak awal (motor induksi) sesuai dengan data teknis pada tabel 3.2

$$\begin{aligned}
 V_{\text{nameplate}} &= 220 \text{ V} \\
 V_{\text{rate}} &= 215,2 \text{ V} \\
 I_{\text{nameplate (220 V)}} &= 9,7 \text{ A} \\
 I_{\text{in (215,2 V)}} &= \frac{215,2 \times 9,7}{220} \\
 &= 9,49 \text{ A} \\
 P_{\text{in (215,2 V)}} &= V \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi \\
 &= 215,2 \times 9,49 \times 0,95 \\
 &= 1940,1 \text{ Watt} \\
 &= 1,94 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

4.2.1 Percobaan Menggunakan Massa Roda Gaya 32 Kg dengan Kecepatan Putar 2416 Rpm

Pada percobaan menggunakan massa roda gaya 32 kg dengan kecepatan putar 2416,0 Rpm dilakukan 3 jenis Analisis, yaitu Analisis kecepatan putar terhadap penggerak awal (motor induksi), *pully* dan generator, Analisis tanpa beban, dan Analisis torsi dan daya yang dihasilkan dari massa roda gaya 32 kg dengan kecepatan putar 2416,0 Rpm.



Gambar 4.26 Skema Proses Kerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dari Roda Gaya 32 kg Motor-Generator

4.2.1.1 Analisis Kecepatan Putar Terhadap Penggerak Awal (Motor Induksi), Pully dan Generator Induksi Pada Roda Gaya 32 Kg

Analisis kecepatan penggerak awal (motor induksi) dan generator induksi dilakukan dengan cara mengukur kecepatan putar rotor motor induksi dan rotor generator induksi dengan tachometer. Hasil pengukuran didapat kecepatan rotor motor induksi sebesar 1426,8 Rpm dan kecepatan rotor generator induksi sebesar 1409,9 Rpm dengan frekuensi PLN terukur 50 Hz.



Gambar 4.27 Rpm penggerak awal (motor induksi) pada roda gaya 32 Kg



Gambar 4.28 Rpm generator induksi pada roda gaya 32 Kg

Proses Analisis ini bertujuan untuk mengetahui slip kecepatan penggerak awal (motor induksi) dan generator induksi. Berikut adalah perhitungannya :

- Slip kecepatan penggerak awal (motor induksi)

$$n_r = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ Rpm}$$

$$S = \frac{1500 - 1426,8}{1500} \times 100\%$$

$$S = 4,88 \%$$

Untuk motor induksi, slipnya bernilai positif karena kecepatan statornya (N_s) lebih besar dibandingkan kecepatan rotornya (N_r).

- Slip kecepatan generator induksi

$$n_r = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ Rpm}$$

$$S = \frac{1500 - 1409,9}{1500} \times 100\%$$

$$S = 6 \%$$

Pada generator induksi slipnya bernilai negatif seharusnya karena kecepatan statornya (N_s) lebih kecil dibandingkan kecepatan rotornya (N_r). Hal ini akan mempengaruhi besaran-besaran lainnya seperti daya, torsi dan lain-lain.

Slip penggerak awal (motor induksi) adalah 4,88 % dan generator induksi adalah 6% hal tersebut membuktikan bahwa motor induksi dan generator induksi tidak berputar pada kecepatan sinkron. Motor induksi dan generator induksi berputar pada kecepatan sinkron pada saat kecepatan rotor sama dengan kecepatan medan putar yang dihasilkan stator atau motor dan generator dalam keadaan diam, sehingga slip motor sebesar 0%.

Pada pengukuran penggerak awal (motor induksi) terukur kecepatan rotor 1426,8 rpm dan pada pengukuran generator induksi terukur kecepatan rotor 1409,9 rpm, sedangkan pada *nameplate* motor tercatat kecepatan putar rotor 1410 rpm dan pada generator untuk mendapatkan tegangan 220V *nameplate* generator tercatat kecepatan putar rotor 1500 rpm. Dari kedua pengukuran tersebut, dapat dihitung besarnya persentase *error* yang terjadi. Berikut perhitungannya :

- Persentase *error* kecepatan penggerak awal (motor induksi)

$$Error = \frac{\text{nilai pengujian} - \text{nilai nameplate}}{\text{nilai namplate}} \times 100\%$$

$$Error = \frac{1426,8 - 1410}{1410} \times 100\%$$

$$Error = 1,19 \%$$

- Persentase *error* kecepatan generator induksi

$$Error = \frac{\text{nilai pengujian} - \text{nilai nameplate}}{\text{nilai nameplate}} \times 100\%$$

$$Error = \frac{1409,9 - 1500}{1500} \times 100\%$$

$$Error = 6 \%$$

Data hasil perhitungan dari Analisis kecepatan putar penggerak awal (motor induksi) dan generator induksi ditunjukkan pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil Analisis Motor dan Generator Induksi Pada Roda Gaya 32 Kg

	\square_s (Kecepatan Stator)	\square_r (Kecepatan Rotor)	Nilai Nameplate	Persentase Slip	Persentase Error
Motor	1500 Rpm	1426,8 Rpm	1410 Rpm	4,88%	1,19%
Generator	1500 Rpm	1409,9 Rpm	1500 Rpm	6%	6%

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 1,19 %, 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 6 %, jadi sistem pada generator induksi masuk dalam kategori kegagalan sistem.

Analisis terhadap *pully* pada roda gaya 32 Kg dilakukan dengan cara membuat perbandingan antara pengukuran kecepatan putar semua *pully* yang diukur dengan menggunakan tachometer dan perhitungan rumus 2.10.

Data hasil pengukuran kecepatan putar semua *pully* dengan menggunakan tachometer dengan frekuensi PLN terukur 50 Hz ditunjukkan pada tabel 4.8

Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Kecepatan semua *Pully* Pada Roda Gaya 32 Kg

Motor Induksi (Rpm)	Transmisi 1 (Rpm)	Transmisi 2 / Flywheel (Rpm)	Generator (Rpm)
1426,8	748,3	2416,0	1409,9



Gambar 4.29 Rpm pada transmisi 1 roda gaya 32 Kg



Gambar 4.30 Rpm pada transmisi 2 (roda gaya 32 Kg)

Proses Analisis 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 mengitung dengan rumus 2.10 dari data yang didapat dari gambar 4.29. Berikut perhitungannya :

- Perhitungan antara *pully* motor induksi dan transmisi 1 unruk mendapatkan kecepatan putar transmisi 1 dengan perbandingan *pully* (2,75:4)

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

$$\frac{2,75}{RPM2} = \frac{4}{1426,8}$$

$$RPM 2 = \frac{2,75 \times 1426,8}{4}$$

$$RPM 2 = 980,9 \text{ Rpm}$$

- Perhitungan antara *pully* transmisi 1 dan transmisi 2 (*flywheel*) untuk mendapatkan kecepatan putar transmisi 2 (*flywheel*) dengan perbandingan *pully* (8:2,25)

$$\frac{R3}{RPM4} = \frac{R4}{RPM3}$$

$$\frac{8}{RPM4} = \frac{2,25}{980,9}$$

$$RPM 4 = \frac{8 \times 980,9}{2,25}$$

$$RPM 4 = 3487,7 \text{ Rpm}$$

- Perhitungan antara *pully* transmisi 2 (*flywheel*) dan generator induksi untuk mendapatkan kecepatan putar generator induksi dengan perbandingan *pully* (4:9)

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

$$\frac{4}{RPM6} = \frac{9}{3487,7}$$

$$RPM 6 = \frac{4 \times 3487,7}{9} = 1550,1 \text{ Rpm}$$

Dari beberapa perhitungan, maka data hasil pengukuran kecepatan putar semua *pully* ditunjukkan pada tabel 4.9

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Kecepatan Semua *Pully* Pada Roda Gaya 32 Kg

Motor Induksi (Rpm)	Transmisi 1 (Rpm)	Transmisi 2 / Flywheel (Rpm)	Generator (Rpm)
1426,8	980,9	3487,7	1550,1

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

- Slip kecepatan putar transmisi 1

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

$$S = \frac{980,9 - 748,3}{980,9} \times 100\%$$

$$S = 23,7 \%$$

- Slip kecepatan putar transmisi 2 (*flywheel*)

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

$$S = \frac{3487,7 - 2416,0}{3487,7} \times 100\%$$

$$S = 30,7 \%$$

- Slip kecepatan putar generator induksi

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

$$S = \frac{1550,1 - 1409,9}{1550,1} \times 100\%$$

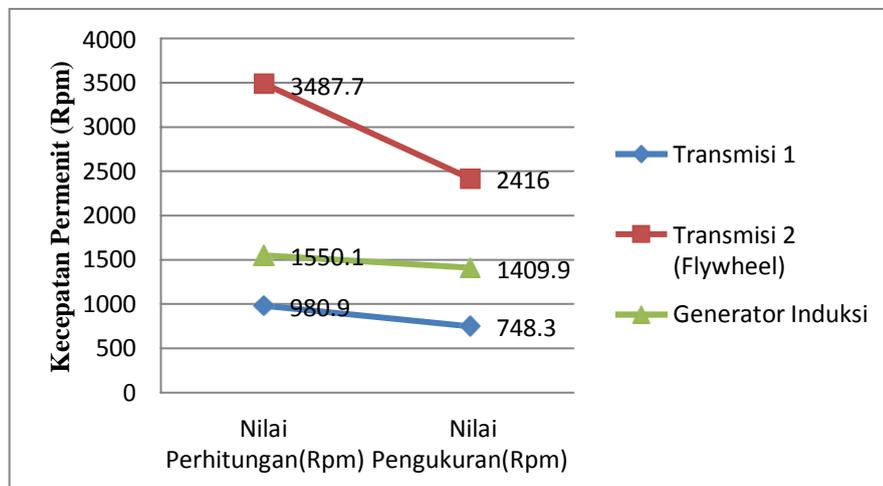
$$S = 9,04 \%$$

Data hasil perhitungan dari Analisis terhadap *pully* ditunjukkan pada tabel 4.10

Tabel 4.10 Hasil Analisis Terhadap *Pully* Pada Roda Gaya 32 Kg

	Nilai Perhitungan (Rpm)	Nilai Pengukuran (Rpm)	Perbandingan Pulley (Inchi)	Slip
Transmisi 1	980,9	748,3	(2,75) : (4)	23,7%
Transmisi 2 (<i>Flywheel</i>)	3587,7	2416,0	(8) : (2,25)	30,7%
Generator Induksi	1550,1	1409,9	(4) : (9)	9,04%

Berdasarkan Tabel 4.10, dapat dibuat grafik hasil Analisis terhadap *pully* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.31

Gambar 4.31 Grafik hasil Analisis terhadap *Pully* Pada Roda Gaya 32 Kg

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 terlalu besar.

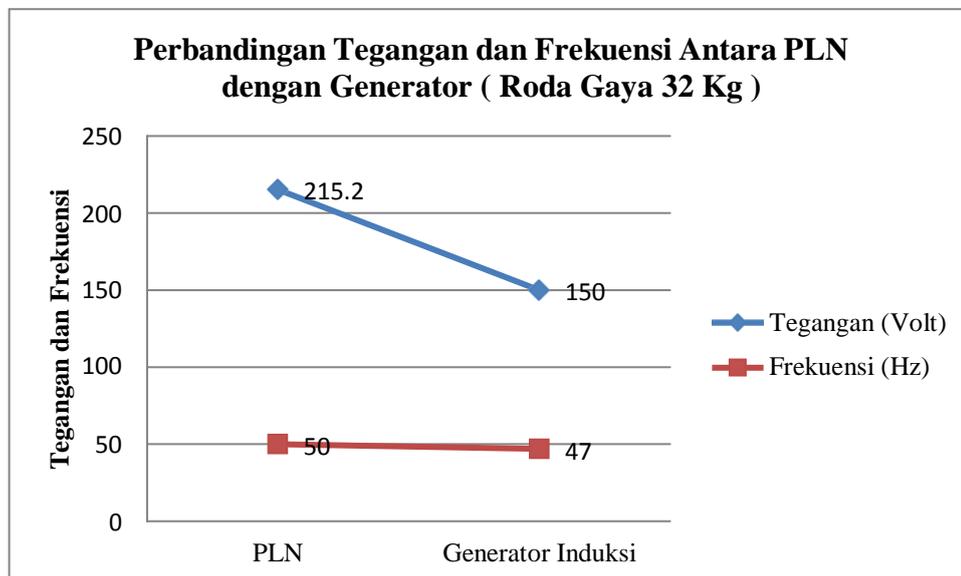
4.2.1.2 Analisis Tanpa Beban Pada Roda Gaya 32Kg

Analisis tanpa beban dilakukan dengan cara mengukur tegangan dan frekuensi pada PLN dan tegangan keluaran dan frekuensi yang dihasilkan oleh generator. Pengukuran pada tegangan menggunakan Multitester Digital dan frekuensi menggunakan Hz Meter .

Tabel 4.11 Hasil Analisis Tanpa Beban Pada Roda Gaya 32 Kg

Putaran Motor Induksi (Rpm)	Putaran Generator Induksi (Rpm)	Tegangan PLN (Volt)	Frekuensi PLN (Hertz)	Tegangan Generator Induksi (Volt)	Frekuensi Generator Induksi (Hertz)
1426,8	1409,9	215,2	50,0	150,0	47

Berdasarkan Tabel 4.11, dapat dibuat grafik perbandingan tegangan terhadap frekuensi antara PLN dan generator induksi pada saat Rpm motor induksi 1426,8 rpm dan generator induksi 1409,9 rpm.



Gambar 4.32 Grafik Perbandingan Tegangan terhadap Frekuensi antara PLN dengan Generator Pada Roda Gaya 32 Kg

4.2.1.3 Analisis Torsi dan Daya yang dihasilkan dari Massa Roda Gaya 32 kg

Analisis torsi dan daya yang dihasilkan dari massa roda gaya 32 kg dengan kecepatan putar 2416,0 rpm yang diawali dengan cara menghitung total keluaran dan efisiensi pada generator dan kemudian menghitung torsi serta menghitung energi yang tersimpan pada roda gila, berikut perhitungannya:

- Perhitungan Total Keluaran Pada Generator

$$V_{\text{nameplate}} = 230 \text{ V}$$

$$V_{\text{rate}} = 150 \text{ V}$$

$$P_{\text{nameplate}} = 3000 \text{ Watt}$$

$$P_{\text{out}(150 \text{ V})} = \frac{3000 \times 230}{150}$$

$$= 4600 \text{ Watt}$$

$$\text{Generator Output} = 4,6 \text{ kW}$$

- Perhitungan Torsi Pada Generator

$$\text{Rpm Generator} = 1409,9 \text{ rpm}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot \text{Rpm Generator}}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \times 3,14 \times 1409,9}{60}$$

$$\omega = 147,57 \text{ rad/s}$$

$$\text{Torsi} = P / \omega$$

$$\text{Torsi} = \frac{4600}{147,57}$$

$$\text{Torsi} = 31,17 \text{ Nm}$$

- Perhitungan Torsi dan Daya Pada Roda Gaya 32 Kg

$$\text{Rpm Roda Gaya} = 2416 \text{ rpm}$$

$$\text{Kecepatan Sudut } (\omega) = \frac{2 \cdot \pi \cdot \text{Rpm Roda Gaya}}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \times 3,14 \times 2416}{60}$$

$$\omega = 252,87 \text{ rad/s}$$

$$\text{Percepatan Sudut } (\alpha) = \Delta\omega : \Delta t$$

$$\alpha = \frac{252,87 \text{ rad/s}}{60 \text{ s}}$$

$$\alpha = 4,21 \text{ rad/s}^2$$

$$\text{Momen Inersia } (I) = M \cdot R^2 \quad (\text{Roda Gaya Berongga})$$

$$I = 32 \text{ kg} \times (0,225 \text{ m})^2$$

$$I = 1,62 \text{ Kgm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Torsi} \quad (T) &= I \cdot \alpha \\
 T &= 1,62 \text{ Kgm}^2 \times 4,21 \text{ rad/s}^2 \\
 T &= 6,82 \text{ Nm} \\
 \text{Daya} \quad (P) &= T \cdot \omega \\
 P &= 6,82 \text{ Nm} \times 252,87 \text{ rad/s} \\
 P &= 1724,57 \text{ Watt} \\
 \text{Persentase Daya} &= \frac{\text{Daya yang ditahan Roda Gaya}}{\text{Daya nameplate}} \times 100\% \\
 &= \frac{1724,57}{3000} \times 100\% \\
 &= 57,49 \%
 \end{aligned}$$

- Perhitungan yang Tersimpan (Energi Kinetik) Pada Roda Gaya 32 Kg

$$\text{Rpm Roda Gaya (n)} = 2416 \text{ rpm}$$

$$\text{Diameter (D)} = 0,45 \text{ m}$$

$$\text{Massa Roda Gaya(M)} = 32 \text{ Kg}$$

$$\text{Kec. Roda Gaya (v)} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}$$

$$v = \frac{3,14 \times 0,45 \times 2416}{60} = 56,9 \text{ m/s}$$

$$\text{Energi Kinetik (E}_k) = \frac{M \cdot V^2}{2}$$

$$E_k = \frac{32 \times 56,9^2}{2} = 51801,76 \text{ J or Kgm}^2/\text{s}^2$$

Dapat dilihat dari perhitungan di atas, bahwa torsi roda gaya 6,82 Nm jauh lebih kecil dari torsi generator 31,17 Nm. Jika torsi roda gaya 6,82 Nm maka generator hanya sanggup menahan daya sebesar 1724,57 Watt. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pada massa roda gaya 32 Kg dengan kecepatan putar 2416 Rpm tidak dapat dipakai pada pembangkit listrik ini karena daya yang digunakan pada penggerak awal sebesar 1940 Watt sementara generator dengan daya 3000 Watt hanya mampu menahan beban 1724,57 Watt dan ini sangat tidak efisien karena persentase daya yang ditahan sebesar 57,49% dari *nameplate* generator.

4.2.2 Percobaan Menggunakan Massa Roda Gaya 62 Kg dengan Kecepatan Putar 2996,6 Rpm

Analisis kecepatan putar terhadap penggerak awal (Motor Induksi), generator induksi dan analisis terhadap beban pada roda gaya 62 Kg dengan kecepatan putar 2996,6 rpm sudah tertera pada sub bab 4.1. Disini hanya membahas analisis torsi dan daya yang dihasilkan pada roda gaya 62 kg.

4.2.2.1 Analisis Torsi dan Daya yang dihasilkan dari Massa Roda Gaya 62 kg

Analisis torsi dan daya yang dihasilkan dari massa roda gaya 62 kg dengan kecepatan putar 2996,6 rpm yang diawali dengan cara menghitung total keluaran dan efisiensi pada generator dan kemudian menghitung torsi serta menghitung energi yang tersimpan pada roda gila, berikut perhitungannya:

- Perhitungan Total Keluaran Pada Generator

$$V_{\text{nameplate}} = 230 \text{ V}$$

$$V_{\text{rate}} = 201,5 \text{ V}$$

$$P_{\text{nameplate}} = 3000 \text{ Watt}$$

$$P_{\text{out}}(201,5 \text{ V}) = \frac{3000 \times 230}{201,5}$$

$$= 3424,3 \text{ Watt}$$

$$\text{Generator Ouput} = 3,424 \text{ kW}$$

- Perhitungan Torsi Pada Generator

$$\text{Rpm Generator} = 1564,2 \text{ rpm}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot \text{Rpm Generator}}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \times 3,14 \times 1564,2}{60}$$

$$\omega = 163,72 \text{ rad/s}$$

$$\text{Torsi} = P / \omega$$

$$\text{Torsi} = \frac{3424,3}{163,72}$$

$$\text{Torsi} = 20,92 \text{ Nm}$$

- Perhitungan Torsi Pada Roda Gaya 62 Kg

$$\text{Rpm Roda Gaya} = 2996,6 \text{ rpm}$$

$$\text{Kecepatan Sudut } (\omega) = \frac{2 \cdot \pi \cdot \text{Rpm Roda Gaya}}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \times 3,14 \times 2996,6}{60}$$

$$\omega = 313,64 \text{ rad/s}$$

$$\text{Percepatan Sudut } (\alpha) = \Delta\omega : \Delta t$$

$$\alpha = \frac{313,64 \text{ rad/s}}{60 \text{ s}}$$

$$\alpha = 5,23 \text{ rad/s}^2$$

$$\text{Momen Inersia } (I) = M \cdot R^2 \quad (\text{Roda Gaya Berongga})$$

$$I = 62 \text{ kg} \times (0,225 \text{ m})^2$$

$$I = 3,14 \text{ Kgm}^2$$

$$\text{Torsi} \quad (T) = I \cdot \alpha$$

$$T = 3,14 \text{ Kgm}^2 \times 5,23 \text{ rad/s}^2$$

$$T = 16,42 \text{ Nm}$$

$$\text{Daya} \quad (P) = T \cdot \omega$$

$$P = 16,42 \text{ Nm} \times 313,64 \text{ rad/s}$$

$$P = 5149,97 \text{ Watt}$$

$$\text{Persentase Daya} = \frac{\text{Daya yang ditahan Roda Gaya}}{\text{Daya nameplate}} \times 100\%$$

$$= \frac{5149,97}{3000} \times 100\%$$

$$= 171,67 \%$$

- Perhitungan yang Tersimpan (Energi Kinetik) Pada Roda Gaya 32 Kg

$$\text{Rpm Roda Gaya } (n) = 2996,6 \text{ rpm}$$

$$\text{Diameter} \quad (D) = 0,45 \text{ m}$$

$$\text{Massa Roda Gaya } (M) = 62 \text{ Kg}$$

$$\text{Kec. Roda Gaya } (v) = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}$$

$$v = \frac{3,14 \times 0,45 \times 2996,6}{60} = 70,57 \text{ m/s}$$

$$\text{Energi Kinetik } (E_k) = \frac{M.V^2}{2}$$

$$E_k = \frac{62 \times 70,57^2}{2} = 154383,87 \text{ J or Kgm}^2/\text{s}^2$$

Dapat dilihat dari perhitungan di atas, bahwa torsi roda gaya 16,42 Nm, Nilai tersebut mendekati torsi generator 21,16 Nm. Jika torsi roda gaya 16,42 Nm maka generator sanggup menahan daya sebesar 5149,97 Watt. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pada massa roda gaya 62 Kg dengan kecepatan putar 2996,6 Rpm dapat dipakai pada pembangkit listrik ini karena daya yang digunakan pada penggerak awal sebesar 1940 Watt sementara generator dengan daya 3000 Watt mampu menahan beban 5149,97 Watt dan ini efisien karena persentase daya yang ditahan sebesar 171,67 % dari *nameplate* generator.

Dari kedua percobaan diatas, Pada roda gaya 32 kg dengan kecepatan putar 2416 rpm tidak efisien karena persentase daya yang didapatkan hanya 57,49 % dibuktikan dengan torsi yang didapatkan 6,82 Nm dengan daya yang ditahan sebesar 1724,57 Watt dari torsi yang dibutuhkan generator sebesar 31,17 Nm. Pada roda gaya 62 kg dengan kecepatan putar 2699,6 rpm dan persentase daya yang didapatkan 171,67 % dibuktikan dengan torsi yang didapatkan 16,42 Nm dengan daya yang ditahan sebesar 5149,97 Watt dari torsi yang dibutuhkan generator sebesar 20,92 Nm.

Berikut data hasil dari kedua percobaan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.12

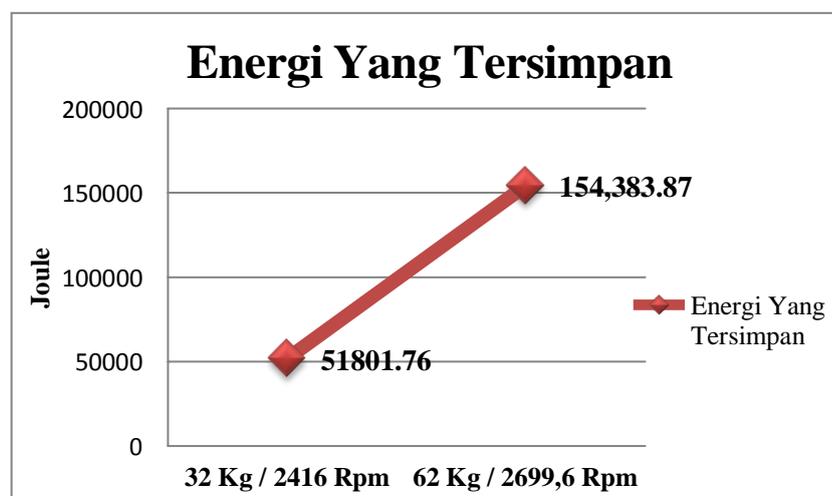
Tabel 4.12 Data Hasil Kedua Percobaan

	Percobaan Roda Gaya 32 Kg	Percobaan Roda Gaya 62 Kg
Putaran Motor Induksi	1426,8 Rpm	1464,0 Rpm
Putaran Transmisi 1	748,3 Rpm (2,75 : 4)	1024,1 Rpm (3 : 4)
Putaran Roda Gaya	2416,0 Rpm (8 : 2,25)	2699,6 Rpm (8 : 2,75)
Putaran Generator Induksi	1409,9 Rpm (4 : 9)	1564,2 Rpm (4 : 7)

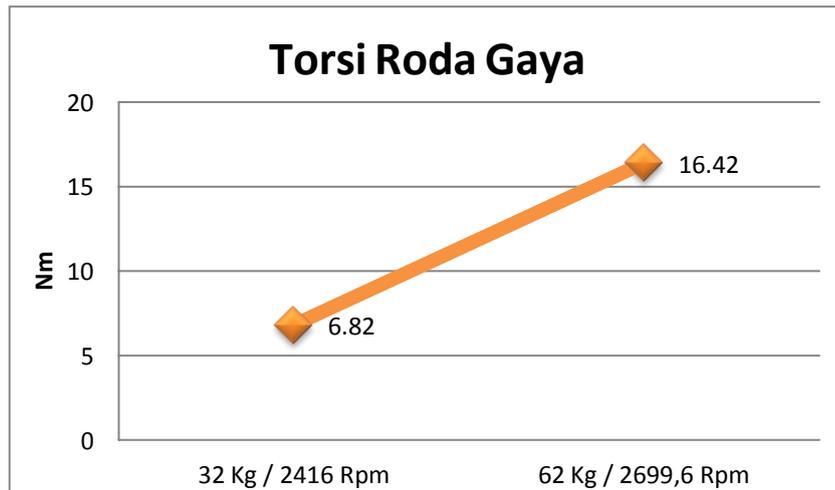
Energi Yang Tersimpan	51801,76 J	154.383,87 J
Torsi Roda Gaya	6,82 Nm	16,42 Nm
Torsi Generator Induksi	31,17 Nm	20,92 Nm
Tegangan Keluaran Generator Induksi	150 Volt	201,5 Volt
Frekuensi Generator Induksi	47 Hz	51 Hz
Daya yang ditahan Roda Gaya	1724,57 Watt	5149,97 Watt
Persentase Daya	57,49 %	171,67 %

Dari tabel diatas dilihat bahwa tegangan keluaran generator induksi pada roda gaya 32 kg lebih kecil dari roda gaya 62 kg disebabkan karena pada roda gaya 32 kg kecepatan putar generator sebesar 1409,9 rpm sedangkan pada roda gaya 62 kg kecepatan putar generator sebesar 1564,2 rpm. Kecepatan putar generator tersebut berbeda karena pengaruh dari kecepatan putar roda gaya dan perbandingan pulley pada percobaan roda gaya 32 kg berbeda dengan percobaan roda gaya 62 Kg.

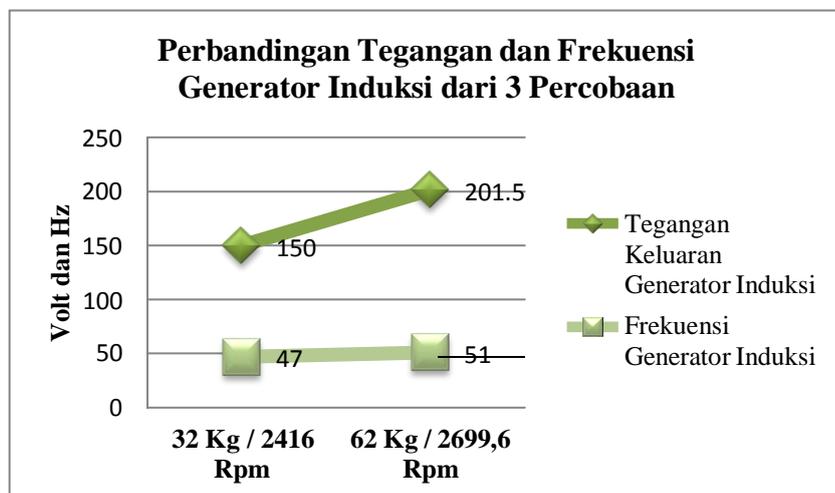
Berdasarkan Tabel 4.12 dapat dibuat beberapa grafik dari ketiga percobaan tersebut dilihat pada gambar 4.33, gambar 4.34, gambar 4.35, gambar 4.36



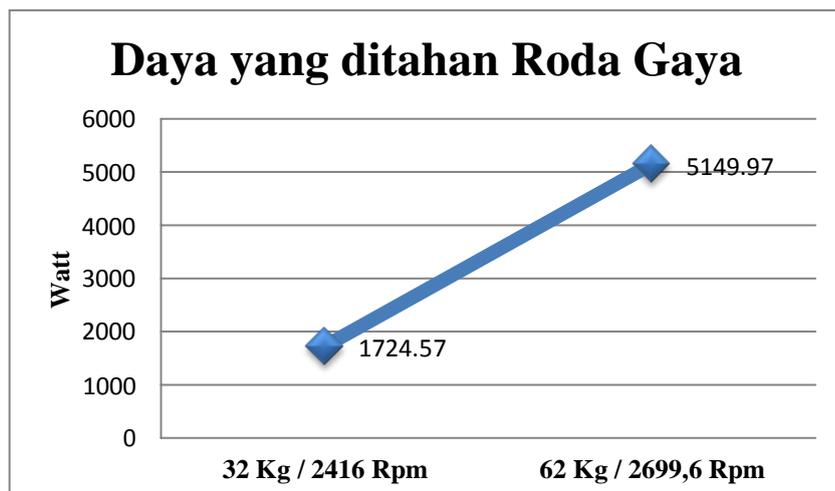
Gambar 4.33 Grafik Perbandingan Energi yang Tersimpan dari Kedua Percobaan



Gambar 4.34 Grafik Perbandingan Torsi Roda Gaya dari Kedua Percobaan



Gambar 4.35 Grafik Perbandingan Tegangan dan Frekuensi dari Kedua Percobaan



Gambar 4.36 Grafik Perbandingan Daya yang ditahan Roda Gaya dari Kedua Percobaan

Dari beberapa grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa, semakin besar massa roda gaya dan semakin tinggi kecepatan putar yang didapat 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.

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 energi terbarukan dari roda gaya 62 kg 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. Pada roda gaya 32 kg dengan kecepatan putar 2416 rpm tidak efisien karena persentase daya yang didapatkan hanya 57,49 % dibuktikan dengan torsi yang didapatkan 6,82 Nm dengan daya yang ditahan sebesar 1724,57 Watt dari torsi yang dibutuhkan generator sebesar 31,17 Nm. Pada roda gaya 62 kg dengan kecepatan putar 2699,6 rpm dan persentase daya yang didapatkan 171,67 % dibuktikan dengan torsi yang didapatkan 16,42 Nm dengan daya yang ditahan sebesar 5149,97 Watt dari torsi yang dibutuhkan generator sebesar 20,92 Nm. 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.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diajukan oleh peneliti adalah sebagai berikut :

1. 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.

2. Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan generator magnet permanen dengan kecepatan putar 1500 rpm agar naik dan turunnya tegangan tergantung kecepatan putar (rpm) dari generator tersebut.
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

- Alfaizin, R. (2015). *Desain Pembangkit Listrik Sirkulasi Energi Motor Generator Dengan Sistem Roda Gaya*. Riau : Program Studi Teknik Industri, Universitas Islam Negeri Suska Riau.
- Berlianti, R. (2015). *Analisis Motor Induksi Fasa Tiga Tipe Rotor Sangkar Sebagai Generator Induksi Dengan Variasi Hubungan Kapasitor Untuk Eksitasi*. Jurnal Nasional Teknik Elektro 4(1): 110–19.
- 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.
- Dwiatmanto, L. (2015). *Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Dan Kendala Pembangunannya*. Jurnal Orbith 11(1): 60–67.
- Hafid, A. Zainal, A. Saddam, H. dan Rahmat, U. (2017). *Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pulau Balang Lompo*. Jurnal Litek 14(1): 6–12.
- Koswara, E. Dony, S. Asep, R. dan Ii, Supiandi. (2017). *Kaji Analitik Potensi Daya Listrik PLTMH Di Air Terjun Muara Jaya Desa Argamukti Kabupaten Majalengka Provinsi Jawa Barat*. Seminar Nasional Sains Dan Teknologi, Jakarta, 1–5.
- Lwin, J. (2019). *Design Calculation of Flywheel Free Energy Generating System with Motor-Generator*. IJISSET 6(8): 167–71.
- Sampeallo, Agusthinus, S. Wellem, F. dan Fredyrick, M. (2017). *Analisis Kinerja PLTS 25 KWP Di Gedung Laboratorium Riset Terpadu Lahan Kering Kepulauan Undana Terhadap Variasi Beban*. Jurnal Media Elektro VII(1): 13–21.
- Samsul, A. dan Budijono, A. (2018). *Rancang Bangun Prototype Alat Untuk Meningkatkan Energi Listrik Alternatif Menggunakan Flywheel Generator*. Jurnal Nasional 04(03): 31–35.
- Santoso, A. Rini, N. dan Hadi, S. (2018). *Pengaruh Tipe Belitan Terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi Satu Fasa*. EECCIS 12(2): 65–71.
- Shroti, S. (2017). *Free Energy Generation Advanced Research*. IJIR 3(4): 909–17.
- Sukmahadi, A. (2018). *Simulasi Pemodelan Sistem Eksitasi Statis Pada Generator Sinkron Terhadap Perubahan Beban*. Laporan Tugas Akhir, Yogyakarta : Program Studi teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia.

Taufik, A. (2014). *Evaluasi Kinerja Pemeliharaan PLTA Dengan Pendekatan Maintenance Scorecard Dan Objective Matrix (OMAX) (Studi Kasus Unit Pembangkit Listrik Tenaga Air Maninjau)*. Jurnal Optimasi Sistem Industri 13(1): 561–74.

Utama, H. dan Medilla, K. (2018). *Pembangkit Mikrohidro Terintegrasi Beban Komplemen*. Jurnal Teknoin 24(1): 55–66.

LAMPIRAN

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK



PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK



PENGUKURAN RPM DAN TEGANGAN



NAMEPLATE GENERATOR



NAMEPLATE MOTOR



PENGUKURAN RPM MOTOR



PENGUKURAN RPM TRANSMISI 1



PENGUKURAN RPM RODA GAYA



PENGUKURAN RPM GENERATOR



LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Analisis Kinerja Pembangkit Energi Listrik Gratis Dari Flywheel Terhadap Variasi Beban

Nama : Prayoga Dwi Pangestu
NPM : 1607220087

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

No	Hari/Tanggal	Uraian Asistensi	Paraf	Keterangan
1	Rabu / 8-1-2020	- Pilih kutipan kajian literatur	<i>[Signature]</i>	
2	Juin / 27-1-2020	- Pilih kutipan yang salah, rumus dan gambar. pelajari kembali teori pendahuluan yg digunakan!	<i>[Signature]</i>	
3	Rabu / 11-2-2020	- Pilih Aludely.	<i>[Signature]</i>	
4	Kamis / 13-2-2020	- Ace cek lembar Proposal.	<i>[Signature]</i>	

[Signature]
Ace
Semua Proposal

Dosen Pembimbing,

[Signature]
Noorly Evalina S.T, M.T



LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dari Roda Gaya
Motor- Generator Terhadap Variasi Beban

Nama : Prayoga Dwi Pangestu
NPM : 1607220087

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

No	Hari/Tanggal	Uraian Asistensi	Paraf	Keterangan
	Kamis Selasa, 10-10-2020	- Ace Judul - tabel bagian teori - Pictorial flowchart - Plotting Rudi		
	Jumat 27-11-2020	- Revisi Analisis		
	Kamis 11/2 2021	Ace Seminar Hasil		

11/2 Ace
Seminar Hasil

Dosen Pembimbing,

Noorly Evalina S.T, M.T



**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

**Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dari Roda Gaya
Motor- Generator Terhadap Variasi Beban**

**Nama : Prayoga Dwi Pangestu
NPM : 1607220087**

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

No	Hari/Tanggal	Uraian Asistensi	Paraf	Keterangan
	18/3 - 2021	Revisi TA		

Dosen Pembimbing,

Noorly Evalina S.T, M.T

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA DIRUPESERTA

Nama Lengkap : Prayoga Dwi Pangestu
Panggilan : Yoga
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 13 November 1998
Jenis Kelamin : Laki - laki
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Alamat Sekarang : Jl. Paku Ujung Gg.Rahmat Link VI, Kel.
Tanah Enam Ratus, Kec. Medan Marelan
20245
No. Handphone/ Wa : +6282399264944
Email : yoga2165@gmail.com



PENDIDIKAN FORMAL

No.	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1.	Sekolah Dasar	SD Swasta Budi Mulia	2004 – 2010
2.	Sekolah Menengah Pertama	SMP Swasta Laksamana Martadinata	2010 – 2013
3.	Sekolah Menengah Kejuruan	SMK Swasta Sinar Husni 2 TR	2013 – 2016
4.	Perguruan Tinggi / Strata 1	Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2016 -2021