

WISNU SATRIA
JAYA_3332170041_CP..pdf
by Zukét Printing

Submission date: 16-Aug-2024 02:54PM (UTC+0800)

Submission ID: 2407917115

File name: WISNU_SATRIA_JAYA_3332170041_CP..pdf (2.36M)

Word count: 13043

Character count: 88407

**DESAIN ULANG *GENERATOR MAGNET PERMANENT*
DENGAN MEMANFAATKAN MOTOR POMPA AIR BEKAS**

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)



Disusun oleh
Wisnu Satria Jaya
3332170041

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2024

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya penulis Skripsi sebagai berikut

Judul : Desain Ulang Generator Magnet Permanent Dengan
Memanfaatkan Motor Pompa Air Bekas
Nama Mahasiswa : Wisnu Satria Jaya
NPM : 3332170041
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penulis skripsi tersebut berdasarkan hasil penelitian, pemikiran, hasil karya asli saya sendiri dan merupakan bukan plagiasme, pencurian hasil karya milik orang lain, dan hasil karya kerja orang lain bila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa Sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia diproses atau dituntut melalui hukum yang berlaku. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran dan tidak ada tekanan ataupun paksaan dari pihak maupun demi menegakkan integritas akademik di institusi ini dan saya bersedia menanggung segala akibat hukum yang saya nyatakan melalu lembar ini.

Cilegon, 22 Juli 2024



Wisnu Satria Jaya

3332170041

LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini saya penulis Skripsi sebagai berikut

Judul : Desain Ulang Generator Magnet Permanent Dengan
Memanfaatkan Motor Pompa Air Bekas
Nama Mahasiswa : Wisnu Satria Jaya
NPM : 3332170041
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal 22 Juli 2024 melalui Sidang Skripsi di
Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan
~~LULUS/TIDAK LULUS.~~

Dewan Penguji

Tanda Tangan

Pembimbing I : HM. Hartono, S.T.,M.T


.....

Pembimbing I : -


.....

Penguji I : Dr. Eng. Rocky Alfan, S.T., M.Sc.

Penguji II : Adi Nugraha, S.Pd., M.T

02-07-2024

Mengetahui,

Ketua Program Studi



Dr. Eng. Rocky Alfan, S.T., M.Sc.
NIP. 198103282010121001

PRAKATA

Penulis bersyukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulisan skripsi ini dapat diselesaikan sebagai syarat untuk gelar Sarjana Teknik Elektro (S1) dari universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang memberikan dukungan dan bantuan dalam proses penyusunan skripsi ini. Penulis sangat menyadari bahwa skripsi ini tidak akan berhasil tanpa bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Kedua Orang Tua tercinta yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk perhatian, kasih sayang, semangat dan do'a yang tak henti hentinya mengalir demi kelancaran dan kesuksesan dalam menyelesaikan penulisan skripsi.
2. Dr. Eng. Rocky Alfan, S.T., M.Sc., sebagai Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, yang telah membantu memberikan arahan serta saran dan masukan kepada penulis selama proses menyelesaikan skripsi.
3. HM. Hartono, S.T., M.T yang telah membantu atas segala bimbingan, arahan, serta saran yang diberikan kepada penulis selama proses menyelesaikan skripsi.
4. Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan studi selama masa perkuliahan di Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
5. Seluruh Dosen, Staf Akademik dan teman-teman Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan banyak dukungan dan semangat kepada penulis.
6. Risti Pratiwi yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk perhatian, semangat, dan support dalam menyelesaikan penulisan skripsi.
7. Seluruh teman-teman yang telah banyak membantu saya berupa semangat, kritik, dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan terdapat kekurangan, meskipun penulis sudah berusaha menyelesaikan skripsi

ini dengan maksimal dan sebaik mungkin. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik serta saran yang membangun untuk menyempurnakan segala kekurangan dalam penulisan skripsi. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan pihak-pihak yang sekiranya membutuhkan.

Cilegon, 22 Juli 2024



Penulis

(Wisnu Satria Jaya)

ABSTRAK

Wisnu Satria Jaya
Teknik Elektro

Desain Ulang *Generator Magnet Permanent* dengan Memanfaatkan Motor Air Bekas Pompa Air

\ 36

Indonesia perlu melakukan transisi energi baru dan terbarukan (EBT) yang *sustainable* dan ramah lingkungan. Perubahan menuju sistem pembangkit listrik yang ramah lingkungan sangat penting untuk mencapai tujuan dekarbonisasi perekonomian. Pada industri kelistrikan, generator sinkron permanen sudah banyak dikembangkan. Motor induksi adalah contoh generator sinkron permanen dan sering kita temui pada peralatan rumah tangga maupun industri seperti pompa air, mesin cuci, dan kipas angin. Motor induksi juga mempunyai konstruksi yang hampir mirip dengan generator sinkron serta lebih mudah untuk dimodifikasi untuk menghasilkan tegangan keluaran. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi motor induksi pompa air bekas sebagai pengganti bahan perancangan generator. Dalam memodifikasi motor induksi magnet dimasukkan ke dalam rotor. Sementara itu, diameter kawat dan jumlah belitan pada stator dimodifikasi untuk meningkatkan rentang kerja tegangan. Magnet permanen yang digunakan yaitu magnet permanen dengan jenis material *Neodymium Iron Boron*. Hasil dari penelitian ini yaitu, melakukan modifikasi motor asinkron bekas pompa air menjadi *Generator Magnet Permanent*. Dengan mengubah jumlah dan bentuk dimensi geometri rotor motor induksi untuk dapat dipasang magnet permanent, motor induksi dapat berfungsi sebagai generator listrik. Hasil pengujian generator saat kondisi tidak menggunakan beban menunjukkan pada kecepatan putar rotor 1482 RPM, *Generator Magnet Permanent* menghasilkan tegangan sebesar 24.4 V. Dengan tegangan terbesar menghasilkan nilai sebesar 80.2 V dengan kecepatan putar motor sebesar 6150 RPM dengan hasil gelombang tegangan keluaran berbentuk 1 gelombang sinusoidal murni (Sinewave). Karakteristik dari GMP hasil modifikasi layak digunakan pada kecepatan tinggi, karena semakin tinggi kecepatan putar rotor maka semakin besar juga tegangan keluaran GMP yang dihasilkan

Kata kunci : Pembangkit listrik, Motor Induksi, GMP (Generator Magnet Permanen), *Magnet Neodymium Iron Boron*, Tegangan Keluaran.

ABSTRACT

Wisnu Satria Jaya
Electrical Engineering

Redesign of the Permanent Magnet Generator by Utilizing a Used Water Pump Water Motor

Indonesia needs to make a transition to new and renewable energy (EBT) that is sustainable and environmentally friendly. A shift towards an environmentally friendly power generation system is essential to achieving the goal of decarbonizing the economy. In the electrical industry, permanent synchronous generators have been widely developed. Induction motors are an example of permanent synchronous generators and we often encounter them in household and industrial equipment such as water pumps, washing machines and fans. Induction motors also have a construction that is almost similar to a synchronous generator and are easier to modify to produce an output voltage. In this research, a used water pump induction motor was modified as a replacement for generator design materials. In modifying an induction motor a magnet is inserted into the rotor. Meanwhile, the wire diameter and number of windings on the stator are modified to increase the voltage working range. The permanent magnet used is a permanent magnet with Neodymium Iron Boron material. The results of this research are, modifying a used water pump asynchronous motor into a Permanent Magnet Generator. By changing the number and geometric dimensions of the induction motor rotor so that permanent magnets can be installed, the induction motor can function as an electric generator. The generator test results in no-load conditions show that at a rotor rotation speed of 1482 RPM, the Permanent Magnet Generator produces a voltage of 24.4 V. With the largest voltage it produces a value of 80.2 V with a motor rotation speed of 6150 RPM with the resulting output voltage wave being 1 pure sinusoidal wave. (Sine wave). The modified GMP characteristics are suitable for use at high speeds, because the higher the rotor rotation speed, the greater the GMP output voltage produced.

Keywords : *Power Generation, Induction Motor, GMP (Permanent Magnet Generator), Neodymium Iron Boron Magnet, Output Voltage*

¹ DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat penelitian	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Motor Induksi	6
² 2.1.1 Konstruksi Motor Induksi	7
2.2 Generator	8
2.2.1 Generator Sinkron Magnet Permanen.....	9
⁵ 2.2.1 Kontruksi Generator Sinkron Magnet Permanen.....	11
2.3 Hukum Faraday	15
2.4 Hukum Lenz	15

2.5	Rugirugi pada Generator	16
2.6	Perhitungan Matematis Generator Magnet Permanen.....	17
2.6.1	Perhitungan Jumlah Kutub.....	18
2.6.2	Perhitungan Dimensi Rotor pada Generator	18
2.6.3	Perhitungan Derajat Mekanik Generator	18
2.7	Lilitan Generator Magnet Permanen	19
2.7.1	Perhitungan Jumlah Lilitan	20
2.7.2	Metode Belitan.....	21
2.8	Kajian Pustaka.....	22
2	BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1	Alur Penelitian.....	25
3.2	Penentuan Motor Induksi	26
3.3	Perancangan Motor Induksi Bekas Pompa Air Menjadi GMP	27
3.3.1	Menentukan KHA konduktor Tembaga.....	29
3.3.2	Material Magnet Permanen	29
3.3.3	Pemasangan Komponen GMP	30
3.4	Pengambilan Data pada GMP	31
	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1	Pembongkaran Motor Induksi	34
4.2	Perancangan dan Perakitan GMP	35
4.2.1	Menentukan Jumlah Pole Generator	35
4.2.2	Perhitungan Derajat Elektrik Generator.....	35
2	4.2.3 Perhitungan Diameter Rotor	36
4.2.4	Perhitungan Jumlah Lilitan	36
4.2.5	Perhitungan Induksi GGL Generator	37
4.2.6	WINDING.....	37

4.2.7	Pembubutan Rotor	38
4.2.8	Pemasangan Magnet.....	39
4.2.9	Konstruksi GMP.....	40
4.3	Pengukuran Resistansi, Induktansi dan RPM GMP	41
4.3.1	Pengukuran Resistansi pada Kawat	41
4.3.2	Pengukuran RPM terhadap dimer	43
4.4	Pengujian GMP	45
4.4.1	Pengujian GMP Tanpa Beban.....	45
4.4.2	Pengujian dengan Beban	47
4.4.3	Perbandingan Nilai Tegangan GMP Tanpa Beban dan dengan Beban	49
4.4.4	Perbandingan nilai Tegangan Tidak Berbeban, Berbeban dengan tegangan V_p -p	51
4.5	Daya pada GMP	52
BAB V PENUTUP.....		54
5.1	KESIMPULAN	54
5.2	Saran	54
DAFTAR PUSTAKA		56
LAMPIRAN		59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kontruksi Motor Induksi	6
Gambar 2.2 Stator atau Jangka Motor Induksi.....	7
Gambar 2.3 Rotor.....	7
Gambar 2.4 Air Gap atau Celah Udara	8
Gambar 2.5 Generator 1 Fasa.....	9
Gambar 2.6 Stator	12
Gambar 2.7 Rotor dengan Magnet Permanen	12
Gambar 2.8 Air Gap	13
Gambar 2.9 Magnet Neodymium Iron Boron.....	13
Gambar 2.10 Arah Arus Induksi Berdasarkan Hukum Lenz	16
Gambar 2.11 Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron.....	16
Gambar 2.12 (a) Belitan Dua Lapis (b) Belitan Satu Lapis	21
Gambar 2.13 Ilustrasi Bentang Lilitan 1 Fasa.....	22
Gambar 3.1 Flowchart Alur Penelitian	25
Gambar 3.2 Nameplate Motor Induksi.....	26
Gambar 3.3 Flowchart Perancangan GMP.....	27
Gambar 3.4 Tabel KHA	29
Gambar 3.5 Flowchart Perakitan GMP	30
Gambar 3.6 Flowchart Proses Pengambilan Data.....	32
Gambar 4.1 Bagian Dalam Motor Induksi	34
Gambar 4.2 Bagian Motor Induksi yang Dibongkar.....	34
Gambar 4.3 Perhitungan Derajat Mekanik Menggunakan Ms.Excel	35
Gambar 4.4 Lilitan Kawat dan Proses Winding.....	37
Gambar 4.5 Proses Pembubutan Rotor	38
Gambar 4.6 Perbandingan Rotor Sebelum dan Sesudah Pembubutan.....	39
Gambar 4.7 Pemasangan Magnet pada Rotor	39
Gambar 4.8 Hasil konstruksi GMP	40
Gambar 4.9 Proses Pengukuran Resistansi pada Kawat	41
Gambar 4.10 Grafik Nilai Tegangan Tanpa Beban dan Frekuensi	46
Gambar 4.11 Gelombang Sinusoidal	47

Gambar 4.12 Grafik Nilai Tegangan Berbeban dan Frekuensi 48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Percobaan Magnet Permanen pada Generator	14
Tabel 2. 2 Sifat Kemagnetan Magnet Permanen.....	15
Tabel 3.1 Spesifikasi Motor Pompa Air.....	26
Tabel 3. 2 Dimensi Geometri Motor Induksi	27
Tabel 3. 3 Parameter Perancangan Awal GMP	28
Tabel 3. 4 Data Sheet Magnet Neodymium Iron Boron	30
Tabel 4. 1 Resistansi dan Induktansi Kawat	42
Tabel 4.2 Hasil pengukuran RPM dengan dimer	43
Tabel 4.3 Hasil pengujian tegangan tanpa beban dan frekuensi	45
Tabel 4.4 Hasil pengujian tegangan berbeban	47
Tabel 4.5 Hasil pengujian tegangan berbeban	49
Tabel 4.6 Tabel perbandingan Vpeak dengan Vrms pada Saat Tanpa Beban dan Berbeban	51
Tabel 4.7 Hasil pengujian tegangan berbeban	52

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor tenaga listrik memegang peranan penting dalam pertumbuhan dan pembangunan ekonomi setiap negara di dunia [1]. Di Indonesia, permintaan listrik di kalangan masyarakat semakin meningkat setiap hari. Hampir semua aktivitas manusia saat ini sangat bergantung pada listrik. Hingga kini, sumber energi utama untuk pembangkit listrik masih didominasi oleh energi fosil [2]. Proses pembentukan energi fosil memakan waktu jauh lebih lama dibandingkan dengan kecepatan konsumsi sumber daya tersebut. Pembakaran energi fosil untuk menghasilkan listrik juga mengakibatkan emisi yang merugikan lingkungan. Oleh karena itu, Indonesia harus beralih dari energi fosil ke energi baru dan terbarukan (EBT) yang berkelanjutan dan ramah lingkungan [3].

Transisi menuju sistem pembangkit listrik yang ramah lingkungan sangat krusial untuk mencapai tujuan dekarbonisasi ekonomi [4]. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menyatakan bahwa pengembangan energi baru dan terbarukan (EBT) adalah langkah transisi menuju energi yang lebih bersih, rendah emisi, dan ramah lingkungan [5]. Generator magnet permanen merupakan salah satu jenis generator yang populer dalam sistem energi terbarukan [6]. Namun, tingginya biaya bahan untuk membuat generator masih menjadi kendala bagi masyarakat saat ini, sehingga mereka lebih memilih menggunakan listrik konvensional dari PLN. Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini adalah dengan memanfaatkan motor induksi sebagai bahan alternatif untuk dijadikan generator listrik. Dengan mengubah bentuk kumparan jangkar dan menambahkan magnet permanen pada rotor, motor induksi dapat diubah menjadi generator listrik

Motor induksi satu fasa atau *single phase induction motor* pada saat ini sering kali digunakan di lingkungan rumah tangga, karena motor induksi ini dapat memudahkan berbagai pekerjaan rumah tangga yang dapat memakan waktu lama jika dikerjakan manual oleh manusia [7]. Motor induksi adalah motor listrik bolak-balik (ac) yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi gerak mekanik [8]. Penggunaan motor induksi satu fasa sendiri dapat dijumpai pada

beberapa alat elektronik yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti kipas angin, pompa air, mesin cuci, kompresor *Air Conditioning* (AC) dan lain-lain [9]. Motor induksi merupakan motor listrik bolak-balik (ac) yang pada umumnya tegangan motor listrik dihasilkan oleh gaya sentrifugal yang dihasilkan pada saat rotor berputar [10]. Pemberian nama motor induksi berasal dari prinsip kerjanya yaitu arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator [11].

Modifikasi motor induksi menjadi generator magnet permanen membutuhkan medan magnet agar bisa mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Ketika eksitasi terpisah dari generator sinkron dan dilakukan oleh magnet permanen, generator tersebut disebut *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) [12]. Magnet permanen jenis *Neodymium Iron Boron* menjadi bahan yang paling baik dari bahan-bahan magnet permanen lainnya dalam pembuatan generator. *Neodymium Iron Boron* mempunyai nilai fluks remanen yang paling besar dibandingkan bahan feromagnetik yang lain. Keunggulan lain dari magnet permanen jenis ini yaitu memiliki volume dan dimensi yang lebih kecil dibanding magnet permanen lain, serta itu memiliki harga yang cukup terjangkau bila dibandingkan dengan magnet permanen *Samarium Cobalt* [13]. Dengan mengubah bentuk, arah dan jumlah kumparan serta menambahkan magnet permanen pada rotor, maka motor induksi dapat dijadikan sebagai generator untuk menghasilkan tegangan keluaran.

Pada penelitian sebelumnya pembuatan atau perancangan generator membutuhkan sebuah software yang dapat mempermudah ketika pengerjaannya. Software yang digunakan adalah software yang berbasis *Finite Element Method* (FEM). FEM merupakan metode yang dapat memecahkan satu persatu perhitungan ke yang lebih kecil lalu dihitung parameternya satu persatu ke setiap bagian atau menyelesaikan suatu problem dengan membagi bagian bagian objek untuk di analisa ke bagian yang kecil [14]. Kemudian penelitian (Pipiq, 2019) melakukan rancang bangun Generator Sinkron Magnet Permanen dengan menggunakan material magnet permanen *Neodymium Iron Boron* untuk keluaran listrik AC 1 fasa dengan menggunakan motor kipas angin gantung.

Pada penelitian kali ini dilakukan modifikasi motor induksi pompa air bekas sebagai pengganti bahan perancangan generator, dalam memodifikasi motor induksi atau pompa motor, magnet harus dimasukkan ke dalam rotor. Sementara itu, diameter kawat dan jumlah belitan pada stator dimodifikasi untuk meningkatkan rentang kerja tegangan [15]. Motor induksi digunakan karena memiliki konstruksi yang hampir mirip dengan generator magnet permanen serta mudah dimodifikasi untuk menghasilkan tegangan keluaran. Magnet permanen yang digunakan yaitu magnet permanen dengan jenis material *Neodymium Iron Boron*, material magnet permanen ini digunakan sebagai pengganti pembangkit medan magnet pada generator selain menggunakan eksitasi. Kemudian bentuk, arah dan jumlah kumparan di ubah untuk dapat menghasilkan keluaran listrik AC 1 fasa.

Berdasarkan permasalahan latar belakang diatas, penelitian ini akan merancang sebuah modifikasi Motor Asinkron bekas pompa air menjadi Generator Magnet Permanen AC 1 fasa dan nantinya rancangan akan digunakan untuk menghasilkan listrik 1 fasa dengan keluaran rendah.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini untuk mengetahui :

1. Bagaimana proses perancangan dan modifikasi motor induksi bekas pompa air menjadi Generator Magnet Permanen (GMP) keluaran listrik AC 1 fasa?
2. Bagaimana nilai tegangan keluaran Generator Magnet Permanen hasil modifikasi saat dilakukan pengujian generator tidak berbeban dengan menggunakan variasi kecepatan putar rotor?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan adanya penelitian ini untuk menguji dan mengetahui tentang :

1. Dapat mengetahui proses perancangan Generator Magnet Permanen keluaran listrik AC 1 fasa dengan memanfaatkan Motor Induksi bekas pompa air.
2. Dapat mengetahui nilai tegangan keluaran Generator Magnet Permanen hasil rancangan saat dilakukan pengujian generator tidak berbeban dengan menggunakan variasi kecepatan putar rotor.

1.4 Manfaat penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi awal untuk penelitian-penelitian selanjutnya mengenai rancang bangun Generator Magnet Permanen 1 fasa.
2. Dapat digunakan pada pembangkit listrik yang bersumber Energi Baru Terbarukan (EBT) untuk menghasilkan listrik AC 1 fasa.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang terdapat pada rumusan masalah, terdapat batasan masalah, diantaranya :

1. Material magnet permanen yang digunakan yaitu *Neodymium Iron Boron*
2. Jumlah 24 slot dan 2 Pole
3. Variabel variasi beban yang digunakan sebesar daya 5 Watt
4. Variabel kecepatan putar rotor divariasikan mulai dari 1482 rpm, 1645 rpm, 1801 rpm, dan 6150.
5. Perancangan GMP tidak menggunakan simulasi *software*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan merupakan urutan garis besar penulisan skripsi. Berikut ini tulisan pokok bahasan untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai susunan materi yang dibahas dari tiap-tiap bab.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang penjelasan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan struktur manfaat penelitian dan sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini mencakup teori dasar dan studi literatur yang mendasari ide desain generator magnet permanen (GMP).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan cara membuat tugas akhir. Dijelaskan pula bagaimana tugas akhir tersebut akan diselesaikan. Pemecahan masalah atau analisis data dengan diagram

alur untuk menyederhanakan konsep. Data pendukung yang digunakan untuk membuat tugas akhir ini juga ditampilkan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil pengujian generator dan analisis hasil desain GMP (generator magnet permanen) yang dimodifikasi dari motor induksi asinkron bekas.

BAB V PENUTUP

Bab akhir ini menyimpulkan hasil perancangan GMP (permanent magnet generator) dan juga memberikan saran pendukung untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

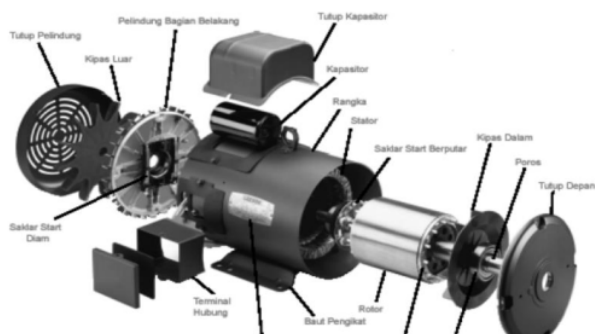
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi

Motor induksi adalah mesin yang digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi sering disebut dengan motor asinkron. Motor induksi ini terdiri dari dua bagian yang paling penting adalah stator dan rotor, dimana stator merupakan bagian motor yang diam dan berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan lilitan – lilitan [16]. Motor induksi merupakan motor yang sangat umum dipakai dalam banyak penerapan, salah satunya yaitu motor pompa air.

Prinsip kerja motor induksi yaitu listrik dipasok ke stator yang akan menghasilkan medan magnet. Medan magnet ini bergerak dengan kecepatan sinkron disekitar rotor. Arus rotor menghasilkan medan magnet kedua, yang berusaha untuk melawan medan magnet stator, yang menyebabkan rotor berputar. Berdasarkan sumber inputnya, motor induksi dibedakan menjadi dua jenis, yaitu motor induksi input tiga fasa dan motor induksi input satu fasa.

Konstruksi motor induksi satu fasa hampir sama dengan konstruksi motor induksi tiga fasa, yaitu terdiri dari dua bagian utama yaitu stator dan rotor. Keduanya merupakan rangkaian magnetik yang berbentuk silinder dan simetris. Di antara rotor dan stator ini terdapat celah udara yang sempit. Konstruksi dari motor induksi satu fasa seperti pada gambar 2.1 [17].



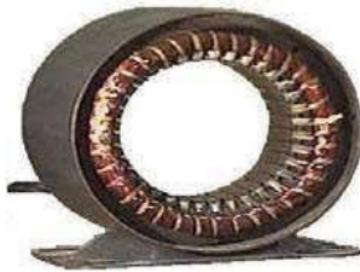
Gambar 2.1 Kontruksi Motor Induksi [17]

Penggunaan motor induksi satu fasa sendiri dapat dijumpai pada beberapa alat elektronik yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti kipas angin, pompa air, mesin cuci, kompresor Air Conditioning (AC) dan lain-lain [9].

2.1.1 Konstruksi Motor Induksi

Motor induksi ini terdiri dari dua bagian yang paling penting adalah stator dan rotor. Kedua bagian utama Motor induksi tersebut mempunyai peran dan fungsi utama, diantaranya yaitu :

a. Stator



Gambar 2.2 Stator atau Jangka Motor Induksi

Stator merupakan komponen bagian paling luar dari motor yang merupakan bagian yang tidak bergerak dan berfungsi mengalirkan arus listrik. Stator terdiri dari: inti stator, kumparan stator, dan alur stator [17]. Bagian ini tersusun dari plat stator yang mempunyai alur-alur (slot) sebagai tempat disimpannya kumparan kawat tembaga dililitan.

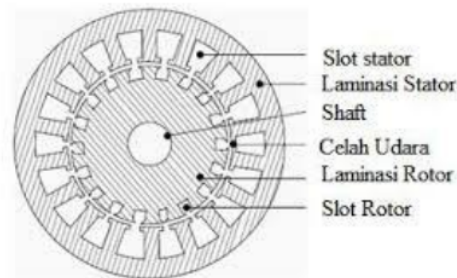
b. Rotor



Gambar 2.3 Rotor

Rotor ialah bagian komponen motor induksi yang bergerak akibat adanya induksi magnet yang bersumber dari kumparan stator kemudian diinduksikan kepada rotor. Bagian rotor ini terdiri dari: inti rotor, kumparan rotor dan alur rotor. Pada umumnya ada dua jenis rotor yang sering digunakan pada motor induksi, yaitu rotor belitan (*wound rotor*) dan rotor sangkar (*squirrel cage rotor*) [17].

c. Air Gap



Gambar 2.4 Air Gap atau Celah Udara

Di antara rotor dan stator ini terdapat celah udara yang sempit atau ruangan udara antara stator dan rotor, celah udara atau *Air gap* pada motor induksi ialah tempat lewatnya *fluks* induksi yang di bangkitkan oleh arus AC melalui kumparan [18].

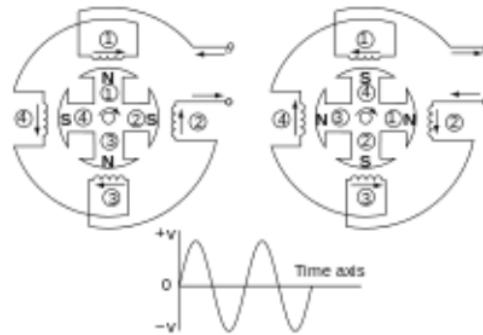
2.2 Generator

Generator merupakan sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik dengan proses elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkitan listrik dimana terciptanya suatu energi listrik karena adanya pergerakan relatif antara medan magnet dengan kumparan generator. Generator bekerja berdasarkan hukum Faraday dimana suatu penghantar diputar pada suatu medan magnet, sehingga memotong garis-garis gaya magnet maka pada ujung penghantar tersebut akan menimbulkan GGL dalam satuan volt [18].

Magnet dapat diputar dengan menggunakan energi lain, misalnya energi air yang sumbuanya sama dengan kincir air, atau energi angin yang memutar roda yang dihubungkan dengan poros generator. Daya generator yang dihasilkan berupa arus

bolak-balik/AC (*alternating current*). Generator arus bolak-balik dibagi menjadi dua jenis: generator keluaran satu fasa dan generator keluaran tiga fasa.

Generator AC yang menghasilkan listrik fasa tunggal ialah generator yang mempunyai 1 kumparan jangkar atau beberapa kumparan jangkar dengan tersusun secara seri sehingga menghasilkan 1 gelombang sinusoidal. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 yang merupakan ilustrasi kumparan jangkar yang disusun secara seri dan menghasilkan listrik AC 1 fasa.



Gambar 2.5 Generator 1 Fasa

Generator berdasarkan kecepatannya dibagi menjadi dua jenis generator yaitu generator sinkron dan generator asinkron. Generator sinkron bekerja di kecepatan dan frekuensi yang konstan dengan kondisi *steady state*. Jumlah putaran rotor generator sinkron mempunyai jumlah putaran yang sama dengan jumlah putaran medan magnet.

2.2.1 Generator Sinkron Magnet Permanen

Generator Sinkron Magnet Permanen adalah generator dengan kutub dalam atau kutub internal yang dimana kumpulan kutub terdapat pada rotor dan kumparan jangkar terdapat pada stator, sehingga reaksi induksi medan magnet dibangkitkan oleh magnet permanen pada rotor dan menghasilkan tegangan bolak-balik melalui kumparan pada stator atau dengan kata lain ada prinsipnya generator sinkron merupakan mesin sinkron yang digunakan sebagai generator arus bolak balik (*alternating current generators*) [19]. Berdasarkan struktur Berdasarkan arah fluksi yang dihasilkan magnet

permanen, maka generator magnet permanen dapat dikategorikan atas fluksi aksial dan fluksi radial [20].

1. Generator Fluksi Radial

Generator Fluksi Radial merupakan generator permanen magnet yang memiliki arah Fluksi Radial terhadap sumbu putar sehingga arah fluksi searah dengan arah putaran rotor [20], hal ini dikarenakan fluksi dihasilkan oleh magnet permanen yang letaknya melingkari bagian rotor, sedangkan lilitan melekat pada inti yang terhubung pusat stator. Generator Fluksi Radial memiliki keunggulan yaitu mudah dalam pemasangan magnet permanen ke rotor. Fluksi radial permanen ini strukturnya mirip dengan motor DC maupun motor AC yang digunakan sehari-hari.

2. Generator Fluksi Aksial

Generator fluksi aksial merupakan generator permanen magnet yang memiliki arah medan fluksi sejajar dengan sumbu putar. Fluksi tersebut merupakan hasil dari gaya tarik menarik antara dua buah magnet permanen yang memiliki kutub yang berbeda. Penggunaan dua buah magnet yang terletak diantara dua buah slot disk rotor sehingga bahan stator merupakan bahan non-magnetik. Generator fluksi aksial memiliki sejumlah keunggulan yang berbeda dengan fluksi radial, yaitu dirancang untuk memiliki daya tinggi, sehingga rasio bahan inti berkurang, mudah disesuaikan dengan kondisi udara, mengurangi kebisingan dan tingkat getaran [20].

Prinsip kerja sebuah generator umumnya berdasarkan hukum Faraday. Hukum Faraday mengemukakan dengan adanya perubahan fluksi magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan GGL induksi pada ujung-ujung kumparan. Hal tersebut sesuai dengan persamaan berikut :

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$e = - \frac{d(N\phi)}{dt} = - \frac{d}{dt} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

E = Tegangan Induksi (V)

N = Banyaknya Lilitan

$d\Phi$ = Perubahan Fluks Magnet (T)

dt = Perubahan Waktu (s)

Simbol (-) merupakan simbol dari hukum Lenz yang menyatakan bahwa arah polaritas tegangan/arus yang diinduksikan pada kumparan akan menghasilkan arah aliran yang berlawanan dengan arah aliran yang menginduksi tegangan. λ adalah hasil perkalian jumlah kumparan dengan jumlah fluks magnet yang ditangkap setiap kumparan pada waktu tertentu.

Persamaan Faraday tidak dapat mewakili persamaan generator secara keseluruhan. Persamaan Faraday hanya menggambarkan dua kutub dan satu pengenalan. Ini tidak dapat digunakan untuk menghitung total ggl induksi generator. Oleh karena itu dilakukan konversi sedemikian rupa sehingga rumus yang dapat digunakan untuk menentukan tegangan induksi yang dihasilkan generator ditunjukkan pada persamaan 2.3 sebagai berikut :

$$e = B \cdot l \cdot V \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

E = Gaya Gerak Listrik (V)

B = Medan Magnet Relatif (T)

l = Panjang Konduktor pada Kumparan (m)

V = Kecepatan Relatif Putar Rotor (rp.s)

2.2.1 Kontruksi Generator Sinkron Magnet Permanen

Desain generator magnet permanen yang dijelaskan di sini adalah generator desain fluks radial. Generator fluks radial mengadopsi desain stator yang menutupi rotor. Rotor berisi magnet permanen dan stator berisi kumparan kawat tembaga.

1. Stator



Gambar 2.6 Stator [21]

Pada rancangan generator sinkron magnet permanen, statornya bersifat stasioner dan merupakan komponen utama generator yang berfungsi sebagai tempat penempatan kumparan penghantar. Inti stator terbuat dari bahan besi yang tersusun rapi dari sejumlah besi berbentuk lapisan tipis dengan tujuan, untuk pengurangan rugi-rugi besi akibat arus pusar. Inti stator sebagai tempat penanaman kumparan, dimana kumparan sebagai tempat keberlangsungan gaya gerak listrik (GGL) [21].

2. Rotor

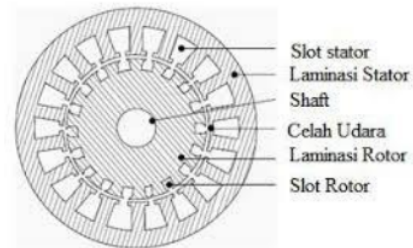


Gambar 2.7 Rotor dengan Magnet Permanen [21]

Generator sinkron magnet permanen mempunyai rotor dengan magnet permanen sebagai pembangkit fluks magnet. Ada dua cara untuk memasang magnet permanen: satu dengan memasang magnet permanen pada permukaan rotor (magnet permanen yang dipasang di permukaan), dan yang lainnya adalah dengan memasang magnet permanen pada inti rotor yang dirancang (magnet permanen internal). Diameter inti rotor harus lebih kecil dari diameter dalam inti stator dengan tujuan, agar diperoleh celah udara (*air gap*)

antara inti rotor dan stator [21].

3. *Air Gap*



Gambar 2.8 *Air Gap*

Komponen rotor dan stator dipisahkan oleh celah udara atau *air gap*. Medan magnet dan induksi elektromagnetik bergerak dalam celah udara di dalam stator. Lebar celah udara, besar atau kecil, mempengaruhi nilai induksi elektromagnetik yang diperoleh.

4. **Magnet Permanen**

Generator yang umum diproduksi di pasaran adalah generator induksi berkecepatan tinggi. Generator jenis ini memerlukan energi listrik terlebih dahulu untuk menghasilkan reaksi fluksi magnet, sedangkan pembangkit listrik yang menggunakan turbin angin pada awalnya tidak memerlukan energi listrik untuk menghasilkannya. Medan magnet adalah energi alternatif. Sumber energi yang dapat menghasilkan energi dalam skala kecil. Magnet permanen tidak mempunyai kumparan penguat atau eksitasi luar, sehingga tidak terjadi kehilangan daya (*power loss*). Bahan magnet permanen yang biasa digunakan pada desain pembangkit listrik kecil adalah *neodymium Iron Boron* atau magnet permanen *NdFeB*.



Gambar 2.9 *Magnet Neodymium Iron Boron*

NdFeB mempunyai kekuatan magnetisasi tinggi, material magnet jenis ini merupakan material magnetik tipe permanen *rare earth* (tanah jarang), sebab tercipta oleh 2 atom dari suatu unsur *rare earth* neodymium (Nd), 14 atom besi (Fe) serta 1 atom boron (B), sehingga rumus molekul yang didapatkan merupakan Nd₂Fe₁₄B [13]. Keunggulan lain dari magnet permanen *Neodymium Iron Boron* yaitu memiliki dimensi yang kecil dan harga relatif terjangkau bila dibandingkan dengan magnet permanen samarium kobalt.

Tabel 2.1 Hasil Percobaan Magnet Permanen pada Generator

Arus (A)		Tegangan (V)		Daya (W)	
Barium Ferit	NdFeB	Barium Ferit	NdFeB	Barium Ferit	NdFeB
0,02337	0,95	33,60	365,40	0,79	1038,65
0,05680	1,25	33,30	350,50	1,89	1317,53
0,10060	1,50	33,00	337,50	3,32	1523,00
0,15450	2,00	32,60	306,00	5,04	1838,85
0,20800	2,25	32,50	286,99	6,76	1938,20
0,22600	2,50	32,00	265,00	7,23	1988,93
0,28600	2,67	31,00	244,00	8,87	1951,51
0,33000	2,72	26,00	236,00	8,58	1923,42

Kekurangan dari magnet permanen *Neodymium Iron Boron* ini yaitu tidak dapat digunakan pada suhu tinggi, yaitu hanya berkisar 200 C. Hal tersebut dibuktikan dari tabel 2.1 yang merupakan tabel hasil percobaan penggunaan magnet pada generator. Tegangan generator magnet permanen dengan menggunakan Magnet barium ferit tidak dapat mencapai tegangan 220 V sementara generator magnet permanen dengan NdFeB menghasilkan lebih dari 220 V pada beban tertentu [13].

Rendahnya tegangan yang dihasilkan magnet permanen barium ferit disebabkan oleh kerapatan fluks sisa magnet Br yang lebih rendah yaitu 600 Gauss dibandingkan dengan kerapatan fluks NdFeB sebesar 10.000 Gauss. Dapat disimpulkan bahwa generator yang menggunakan NdFeB dapat

memberikan daya keluaran yang jauh lebih tinggi dibandingkan generator yang menggunakan magnet BaFe12O19 [22]. Keunggulan magnet permanen NdFeB adalah memiliki sisa magnet yang paling kuat dibandingkan magnet permanen lainnya. Seperti terlihat pada Tabel 2.2 dibawah ini :

Tabel 2. 2 Sifat Kemagnetan Magnet Permanen

Nama Material	Induksi Remanen (Br) T	Koersivitas (Hc) MA/m	Energi Produk (BH max)
<i>Sr Ferit</i>	0.43	0.20	34
<i>Alnico 5</i>	1.27	0.05	44
<i>Sm2Co17</i>	1.05	1.30	208
<i>Nd2Fe14b</i>	1.36	1.03	350

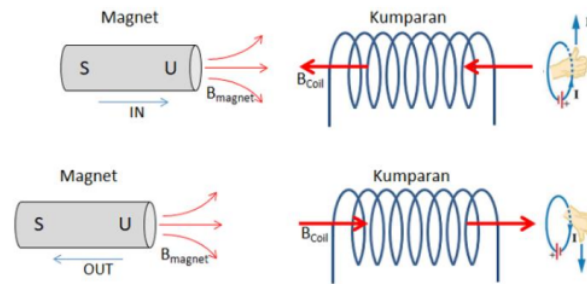
2.3 Hukum Faraday

Hukum Faraday adalah sebuah hukum yang ditemukan oleh Michael Faraday, seorang ahli kimia dan fisika asal Inggris. Hukum induksi Faraday adalah hukum dasar elektromagnetisme yang memprediksi bagaimana medan magnet berinteraksi dengan rangkaian listrik untuk menghasilkan gaya gerak listrik fenomena yang disebut sebagai induksi elektromagnetik. Hukum ini adalah prinsip dasar operasi transformator, induktor, dan banyak tipe motor listrik, generator listrik, dan solenoid. Bunyi hukum Faraday “GGL induksi yang terjadi pada loop tertutup sebanding dengan negatif kecepatan perubahan fluks magnet terhadap waktu yang melalui loop itu” [22].

2.4 Hukum Lenz

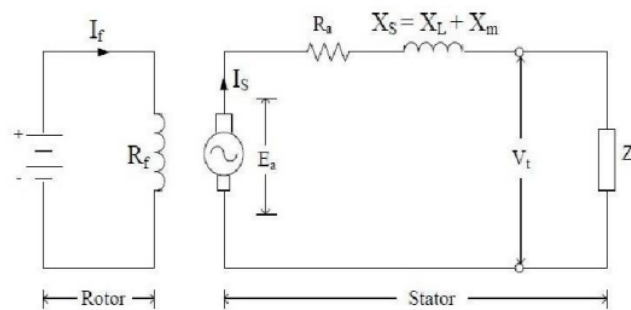
Selain Hukum Faraday terdapat pula Hukum Lenz yang merupakan alternatif untuk arah induksi atau GGL induksi. Hukum ini dibuat pertama kali pada tahun 1834 oleh seorang fisikawan asal Rusia bernama Heinrich Friedrich Emil Lenz. Hukum Lenz adalah hukum fisika yang menjelaskan tentang arah arus induksi. Arus induksi selalu menimbulkan medan magnet induksi yang berlawanan dengan perubahan medan magnet aslinya. Hukum Lenz berbunyi “Arus dan GGL Induksi

timbul pada suatu arah yang mencegah terjadinya perubahan fluks magnet netto yang melalui kumparan” [22]. Dalam hukum ini, arah arus induksi selalu mempunyai arah tertentu. Arah arus induksi selalu menghindari dari medan magnet yang menimbulkan. Hukum Lenz juga dapat dipandang dari sisi medan magnet. Arah gaya magnet yang dikemukakan oleh hukum lenz ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Arah Arus Induksi Berdasarkan Hukum Lenz

2.5 Rugirugi pada Generator



Gambar 2.11 Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron

Gambar 2.11 menjelaskan tegangan induksi E_a yang dibangkitkan pada generator sinkron. Pada umumnya tegangan induksi E_a tidak sama dengan tegangan terminal generator. Tegangan induksi dan tegangan terminal dapat bernilai sama ketika kondisi generator tidak menggunakan beban atau tidak terdapat arus yang mengalir pada kumparan jangkar. Ada beberapa faktor yang menyebabkan rugi-rugi pada generator, diantaranya yaitu :

a. Faktor Mekanis

1. Suhu yang disebabkan oleh perputaran magnet pada generator.
2. Kualitas inti besi yang digunakan generator.
3. Hasil manufaktur yang telah dilakukan.

b. Faktor Elektris

1. Induktansi kumparan jangkar.
2. Resistansi kumparan jangkar.
3. Kuat medan magnet yang menginduksi kumparan jangkar.

Untuk persamaan dari rangkaian ekuivalen generator sinkron adalah sebagai berikut :

$$E_a = V_t + I_a Z \dots\dots\dots(2.4)$$

$$E_a = V_t + I_a(R_a + jX)$$

$$V_t = E_a - I_a(R_a + jX) \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

V_t = Tegangan terminal (V)

E_a = Tegangan terbangkit (V)

jX = Reaktansi kumparan jangkar (Ω)

R_a = Tahanan kumparan jangkar (Ω)

I_a = Arus pada kumparan jangkar (A)

Persamaan 2.4 dan 2.5 diatas dapat digunakan untuk menganalisa kondisi generator tanpa harus mengoperasikannya secara nyata. Sehingga dapat diketahui karakteristik generator dalam berbagai kondisi tanpa merusak generator.

2.6 Perhitungan Matematis Generator Magnet Permanen

Perhitungan matematis merupakan pekerjaan dasar yang perlu dilakukan sebelum merancang sebuah generator. Perhitungan matematis dalam perancangan generator digunakan untuk menentukan nilai-nilai parameter yang diketahui dalam perancangan generator.

2.6.1 Perhitungan Jumlah Kutub

Perhitungan jumlah kutub pada rotor saling berkaitan satu sama lain, untuk menentukan jumlah kutub pada sebuah generator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Np = \frac{120 \cdot f}{n_r} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

n_r = Putaran rotor (RPM)

Np = Jumlah kutub magnet

f = Frekuensi (Hz)

2.6.2 Perhitungan Dimensi Rotor pada Generator

Perhitungan dimensi rotor dilakukan untuk mengetahui celah udara (*Airgap*) dan menentukan pemasangan magnet permanen pada rotor, Dimensi rotor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.7, sebagai berikut :

$$D_r = D - 2 \cdot \delta \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

D_r = Diameter Rotor

D = Diameter dalam stator

δ = Celah udara (*Airgap*)

2.6.3 Perhitungan Derajat Mekanik Generator

Perhitungan untuk mengetahui berapa derajat mekanik yang dibutuhkan untuk mencapai putaran 360° derajat elektrik pada suatu generator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut :

a. Perhitungan Derajat Kutub

$$\theta_p = \frac{(2 \cdot \pi)}{Np} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

θ_p = Derajat kutub

Np = Jumlah kutub

$$\pi = 180^\circ$$

b. Perhitungan Derajat Slot

$$\theta_s = \frac{(2\pi)}{N_s} \dots\dots\dots(2.9)$$

θ_s = Derajat slot

N_s = Jumlah kutub

$$\pi = 180^\circ$$

c. Perhitungan Derajat Mekanik

$$\theta_m = 2 \times \theta_p \dots\dots\dots(2.10)$$

θ_m = Derajat Elektrik

θ_p = Derajat Pole/Kutub

d. Perhitungan Derajat Elektrik

$$\theta_e = \frac{Np}{2} \times \theta_m \dots\dots\dots(2.11)$$

Np = Jumlah kutub

θ_m = Derajat 360 Elektrik

θ_e = Derajat Elektrik

2.7 Lilitan Generator Magnet Permanen

Jumlah kumparan konduktor pada stator GMP dengan keluaran AC satu fasa bergantung pada jumlah kutub rotor. Secara umum, jumlah kumparan konduktor atau jumlah slot pada keluaran GMP satu fasa akan sama dengan jumlah kumparan dan jumlah kutub. Gulungan GMP ditempatkan secara seri di antara keluaran dua konduktor, di antara saluran dan dari saluran ke titik netral. Jumlah lilitan pada setiap kumparan stator generator mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tegangan yang dihasilkan. Oleh karena itu, menentukan jumlah belitan pada suatu generator memerlukan perhitungan dan metode belitan yang benar. Jumlah kawat

kumparan berpengaruh terhadap daya dan efisiensi linear permanent magnet generator yaitu semakin banyak jumlah kawat kumparan maka semakin tinggi daya dan efisiensi yang dihasilkan [23].

2.7.1 Perhitungan Jumlah Lilitan

Melilit pada sebuah generator diperlukan perhitungan dan metode melilit kumparan yang benar sehingga keluaran yang dihasilkan merupakan keluaran yang paling baik. Untuk menentukan jumlah lilitan pada setiap kumparannya dapat dihitung dengan menggunakan beberapa persamaan 2.12 berikut :

$$Luas\ alur = \frac{(B1+B2).t}{2} \dots\dots\dots(2.12)$$

Untuk yang pertama mencari luas dari 1 alur pada stator, karena bentuk ruang alur hampir menyerupai bentuk trapezium, maka dari itu digunakan perhitungan dengan menggunakan rumus mencari luas trapezium seperti pada persamaan 2.13

$$Luas\ Prespan = Tebal\ prespan \times Keliling\ alur \dots\dots\dots(2.13)$$

Setelah itu prespan digunakan untuk menghindari hubung singkat diantara konduktor kawat yang digunakan, maka dari itu luas prespan dan tebal prespan harus di ketahui, luas prespan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan di atas.

$$Luas\ efektif\ alur = luas\ alur - luas\ prespan \dots\dots\dots(2.14)$$

Luas efektif alur digunakan untuk menentukan luas alur yang efektif sehingga dapat digunakan pada pemasangan konduktor atau kawat email pada alur/stator.

$$\theta = \frac{i}{tabel\ pembagi} \dots\dots\dots(2.15)$$

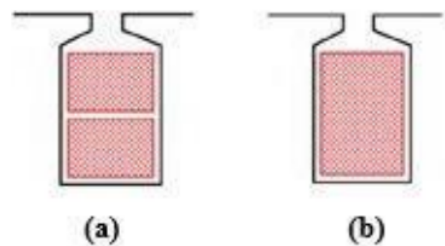
$$jumlah\ lilitan = \frac{Luas\ Efektif\ Alur}{Luas\ Penampang\ Kawat} \dots\dots\dots(2.16)$$

Pada persamaan-persamaan diatas merupakan persamaan berdasarkan (Goeritno, 2016) [21]. untuk menentukan luas penampang konduktor dan jumlah lilitan di setiap kumparan jangkar pada stator.

2.7.2 Metode Belitan

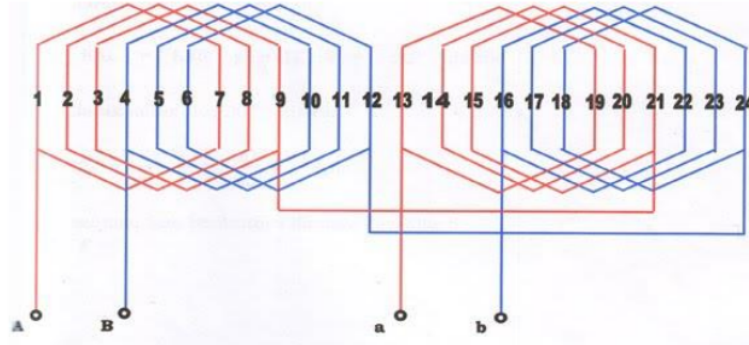
Cara kumparan generator sinkron dililitkan mempengaruhi tegangan keluaran generator. Nilai tegangan yang dihasilkan harus mendekati gelombang sinus. Untuk memenuhi persyaratan elektromekanis, setiap slot stator harus diisi dengan gulungan kumparan. Belitan generator sinkron satu fasa biasanya mempunyai jumlah kumparan yang sama dengan jumlah kutubnya. Ada dua metode belitan untuk generator sinkron magnet permanen: belitan terdistribusi dan belitan terkonsentrasi.

Belitan terkonsentrasi merupakan belitan yang mengisi gigi stator dengan kumparan dengan tujuan memaksimalkan setiap slot pada kumparan konduktor. Belitan terdistribusi adalah belitan yang kumparannya melewati beberapa gigi stator. Setiap alur dapat diisi dengan satu kumparan, dua kumparan, atau lebih. Slot yang diisi satu kumparan disebut belitan satu lapis, dan slot yang diisi dua kumparan disebut belitan lapis ganda. Gambar 2.12 di bawah menunjukkan belitan dua lapis dan belitan satu lapis



Gambar 2.12 (a) belitan dua lapis (b) belitan satu lapis

Gambar 2.13 dibawah menunjukkan bentang lilitan Generator sinkron keluaran listrik AC 1 fasa, dengan menggunakan kombinasi 12 kutub dan 12 kumparan konduktor yang disusun secara seri.



Gambar 2.13 Ilustrasi Bentang lilitan 1 fasa

2.8 Kajian Pustaka

Pada penelitian yang dilakukan oleh Krisdiantoro, et al. tahun 2021 melakukan penelitian dengan judul Unjuk Kerja Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) 3 Fasa Fluks Radial dari Modifikasi Motor Induksi. Pada industri kelistrikan saat ini generator sinkron magnet permanen sudah banyak dikembangkan. Komponen utama dari generator ini adalah rotor, stator dan penggerak utama. Generator sinkron magnet permanen ini menggunakan magnet permanen untuk menghasilkan medan magnet pada kumparan sehingga tidak memerlukan arus eksitasi. Modifikasi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan menambahkan magnet permanen pada rotor yang telah di bubut dan mengubah lilitan asli dari motor. Pengujian generator dilakukan dengan memberikan beban 400 Ohm dengan melakukan variasi kecepatan putar 200-1600 rpm. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan generator mampu menghasilkan daya paling rendah sebesar 0.7 Watt pada kecepatan 200 rpm dan daya paling tinggi sebesar 41.8 watt pada kecepatan 1600 rpm. Efisiensi terbaik pada pengujian terjadi saat menggunakan kecepatan 400 rpm dengan nilai efisiensi 75.78% [2].

Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Yusuf dan Umar tahun 2023 memodifikasi motor induksi menjadi *permanent magnet synchronous generator*. Dipilihnya *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)* karena keunggulannya dibandingkan perangkat lain, seperti penggunaan magnet permanen, yang meningkatkan efisiensi daya generator yang tinggi sekaligus menurunkan nilai kerugiannya. Penelitian *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)* 36 slot dan 12 pole dibuat dengan memodifikasi motor induksi.

Pengujian pada penelitian dilakukan tanpa beban dan menggunakan beban. Pengujian tanpa beban dengan kecepatan tertinggi yaitu 533 rpm menghasilkan nilai tegangan sebesar 57,92 Volt. Kemudian Pengujian dengan beban dengan kecepatan tertinggi yaitu 507 rpm menghasilkan nilai tegangan sebesar 20,12 Volt. Pada penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa kecepatan putar generator mempengaruhi keluaran tegangan, arus, dan daya. Bertambah cepat rotasi berlangsung, semakin tinggi pula tegangan, arus, dan daya [12].

Selanjutnya pada penelitian yang dilakukan Rahayu et.al tahun 2020, melakukan penelitian tentang pemanfaatan motor pompa air yang sudah tidak terpakai (*reuse*) dengan mengkarakterisasi ulang motor beracuan pada spesifikasi bawaan motor dari pabrik. Perubahan motor induksi menjadi modul pembangkitan energi listrik telah berhasil dibuat dengan memodifikasi rotor yang ditambahkan magnet *neodymium* N53. Hasilnya didapat total daya output pada putaran 2385rpm yaitu sebesar 133.5mVA yang diantaranya 49.5 mVA adalah daya output dari lilitan main dan sisanya 84 mVA adalah daya output dari lilitan sekunder. hasil dari modul pembangkitan energi listrik pada penelitian ini memiliki daya yang kecil, hal ini disebabkan karena lilitan yang dipakai dibuat untuk motor bukan untuk generator [9].

Penelitian yang dilakukan oleh Goeritno et al. tahun 2016 melakukan penelitian tentang Pemanfaatan kembali rangka dan inti stator bekas dari motor induksi fase-tiga (3Φ) melalui pengkondisian ulang terhadap rangka dan inti stator untuk perolehan alternator fase-tunggal. Pengkondisian ulang terhadap inti stator digunakan untuk pembentukan belitan stator pada inti stator. Struktur belitan stator digunakan untuk pabrikasi struktur rotor dengan magnet permanen fluks radial. Keberadaan struktur belitan stator dan rotor dengan magnet permanen fluks radial pada alternator fase-tunggal digunakan sebagai dasar perhitungan untuk perolehan daya listrik teoritis yang dihasilkan alternator fase-tunggal. Keberadaan struktur rotor dengan magnet permanen fluks radial pada alternator fase-tunggal digunakan sebagai dasar perhitungan daya mekanis teoritis yang diperlukan dari penggerak mula. Struktur belitan stator terbentuk oleh enam grup kumparan (koil) tipe jerat (lap winding) satu lapis pada rentang 6 (enam) aluran yang terhubung seri. Struktur rotor berbentuk silinder berongga berdimensi 60 mm, 30 mm, dan 85 mm yang

dilengkapi dengan 12 buah magnet permanen. Nilai daya listrik teoritis yang dihasilkan alternator sebesar 81 VA, sedangkan daya mekanis teoritis yang diperlukan dari penggerak mula sebesar 350 watt [21].

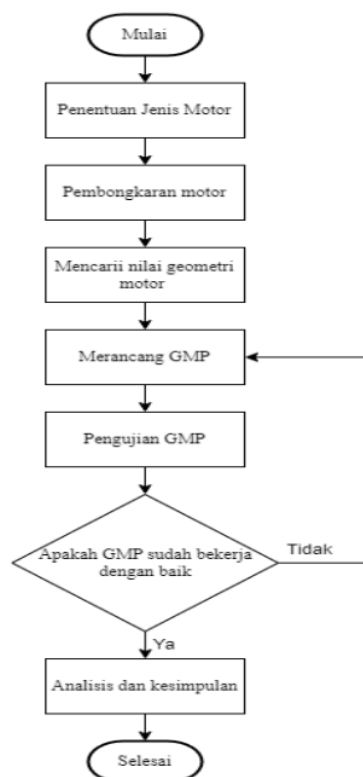
Penelitian yang dilakukan oleh Nugroho tahun 2016 yang membahas tentang perancangan generator magnet permanen dengan memanfaatkan kipas angin serta melakukan analisa pengaruh belitan terhadap keluaran generator. Kipas angin yang dipakai adalah jenis kipas angin yang menggunakan magnet permanen sebagai rotornya. Dilakukan perancangan ulang rotor generator dengan mengganti magnet permanen jenis ferit dari kipas angin dengan magnet permanen jenis neodymium sebanyak 6 magnet dan menggunakan akrilik sebagai frame nya. Frame stator menggunakan frame bawaan kipas angin 1 slot dengan jumlah belitan 4100. Generator ini mampu menghasilkan tegangan keluaran maksimal pada frekwensi 50 Hz 8,4v pada kecepatan 300 rpm, dan tegangan terendah 3,5v pada kecepatan 100 rpm, pada frekwensi 60 Hz tegangan keluaran tertinggi mencapai 9,1v pada kecepatan 350 rpm. Generator ini mampu membangkitkan daya 12,194 mW pada kecepatan 350 rpm. Dalam penelitian ini dijelaskan bahwa Untuk dapat memperoleh daya keluaran yang lebih besar dapat dengan merubah jumlah dan ukuran belitan, memvariasi magnet permanen neodymium dengan ukuran tertentu serta memperkecil jarak rotor dengan stator, sehingga dapat dicapai daya yang lebih besar.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Pada penelitian ini ada beberapa Langkah yang harus dilalui oleh penelitian dengan d dsari latar belakang masalah, rumusalah masalah, tujuan penelitian dan manfaat penelitian. Alur penelitian modifikasi motor induksi bekas motor pompa air untuk menjadi generator Magnet Permanen keluaran satu fasa digambarkan pada diagram alur penelitian pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Flowchart Alur Penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan Langkah-langkah dalam penelitian, Langkah pertama menentukan jenis motor, jenis motor yang dipakai adalah motor induksi. Langkah selanjutnya melakukan pembongkaran pada motor induksi untuk mencari

nilai geometri motor, setelah mencari nilai geometri motor dilakukan perancangan GMP.

Perancangan Generator Magnet Permanen dan modifikasi motor induksi menjadi Generator Magnet Permanen disesuaikan dengan perancangan dan perhitungan. Langkah selanjutnya, melakukan pengujian terhadap Generator Magnet Permanen yang dimodifikasi dari Motor induksi 1 fasa. Pengujian yang dilakukan yaitu generator magnet permanen dilakukan yaitu pengujian generator tidak menggunakan beban dan menggunakan beban. Melakukan analisis data hasil pengujian terhadap generator magnet permanen, hal tersebut bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan, daya dan arus pada proses modifikasi perakitan GMP.

3.2 Penentuan Motor Induksi

Motor yang digunakan pada penelitian ini jenis motor induksi dengan spesifikasi dan dimensi geometri dari gambar 3.2



Gambar 3.2 Nameplate Motor Induksi

Gambar 3.2 adalah Nameplate motor induksi yang dipakai dengan tipe JET-108BIT, secara lengkap spesifikasi motor dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi Motor Pompa Air

A	Tegangan	220 V
B	Frekuensi	50Hz
C	Kecapatan Putar Rotor	2900/48,33 RPM/RPS
D	Phase	1 fasa
E	Tipe	JET-108BIT

Tabel 3.1 menunjukkan spesifikasi motor yang dipakai untuk dimodifikasi sebagai GMP, selanjutnya dilakukan pengukuran dimensi geometri pada motor induksi, data tersebut diperlukan untuk perhitungan awal modifikasi motor induksi

jadi generator magnet permanen sehingga dapat dilakukan untuk mendapatkan data perancangan. Nilai dimensi geometri motor induksi dapat dilihat pada table 3.2.

Tabel 3. 2 Dimensi Geometri Motor Induksi

Dimensi Geometri Motor Induksi Bekas Motor Pompa Air		
Nama Bagian	Ukuran	Satuan
Jumlah Slot	24	Mm
Tebal Stator	42.14	Mm
Diameter Luar Stator	113.8	Mm
Diameter Dalam Stator	60.76	Mm
Diameter Rotor	59.1	Mm
Panjang Rotor	46	Mm
Lebar Teeth	5.12	Mm
Tinggi Teeth	10.62	Mm
<i>Airgrap</i>	1	Mm

Nilai dimensi geometri motor induksi berisi ukuran jumlah slot, tebal stator, diameter luar stator, diameter dalam stator, diameter rotor, Panjang rotor, lebar teeth, tinggi teeth, airgrap.

3.3 Perancangan Motor Induksi Bekas Pompa Air Menjadi GMP

Perancangan motor induksi dilakukan sebagai tahap pertama dalam membuat Generator Magnet Permanent (GMP). Langkah-langkah perancangan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Flowchart Perancangan GMP

- Langkah pertama perancangan GMP yaitu menentukan jenis kawat dan ukuran kawat sebagai komponen penting pada proses perancangan, selanjutnya menentukan jenis magnet yang digunakan untuk proses perancangan sebagai komponen sebagai penghantar medan elektromagnetik.
- Langkah kedua perancangan melakukan proses winding atau penggulangan kawat pada suatu inti atau kerangka tertentu untuk membentuk komponen yang dapat menghasilkan medan magnet atau memiliki karakteristik listrik tertentu.
- Langkah ketiga yaitu proses pembubutan rotor dilakukan untuk mempunyai hasil yang diinginkan dari segi dimensi agar rotor dengan dimensi dan kerangka baru dapat dipasang jenis magnet yang diperlukan.
- Langkah keempat yaitu proses pemasangan komponen dengan cara menyatukan seluruh komponen stator yang dipasang kumparan kawat dan rotor yang sudah dipasang medan magnet. Proses menyatukan komponen dalam satu rumah jangkar agar GMP dapat bekerja dan mempunyai nilai tegangan.

Perancangan konversi motor induksi bekas pompa air menjadi Generator Magnet Permanen memiliki parameter perancangan awal Generator Magnet Permanen ditunjukkan pada table sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Parameter Perancangan Awal GMP

Parameter awal perancangan GMP	
Kecepatan Putar rotor	250 RPM/4.17 RP.S
Medan Magnet Relatif	1.2 T
Faktor Belitan	0.945
Kerapatan medan magnet pada air gap	1.1 T

Tabel 3.3 merupakan parameter awal perancangan Generator Magnet Permanent dengan Kecepatan Putar Rotor sebesar 250 RPM/4.17 RPS, Medan Magnet Relatif sebesar 1.2 T, Faktor Belitan sebesar 0.945, Kerapatan Medan Magnet pada Airgap sebesar 1.1 T.

3.3.1 Menentukan KHA konduktor Tembaga

Pengaruh luas penampang tembaga terhadap resistansi dan jumlah lilitan yang bisa digunakan pada setiap kumparan. Untuk menentukan suatu tembaga yang digunakan pada kumparan, luas penampang tembaga harus sesuai dengan berdasarkan Tabel KHA, tabel KHA tersebut ditunjukkan pada tabel 3.5 dibawah.

Conductor Size					Current Rating
A.W.G.	C.M.A.	Diameter (mm)	mm	Size	
#32	63	0.20	0.03	*	0.3A
#30	101	0.26	0.05	•	0.5A
#28	160	0.32	0.08	•	0.7A
#26	254	0.41	0.13	•	1.0A
#24	404	0.51	0.20	•	2.0A
#22	643	0.64	0.33	•	3.0A
#20	1,020	0.81	0.52	•	5.0A
#18	1,624	1.02	0.82	•	7.0A
#16	2,583	1.29	1.31	•	10.0A
#14	4,106	1.63	2.08	•	20.0A
#12	6,530	2.05	3.31	•	30.0A
#10	10,384	2.59	5.26	•	50.0A

Gambar 3. 4 Tabel KHA

Luas penampang tembaga 0.5 mm merupakan diameter tembaga yang di gunakan. Luas penampang tembaga tersebut dipilih dengan melalui pertimbangan. Yaitu pertimbangan resistansi dalam tembaga dan maksimal jumlah lilitan dalam satu *slot* sehingga arus yang dilalui tidak terjadi banyak rugi-rugi tembaga.

3.3.2 Material Magnet Permanen

Magnet permanen yang digunakan pada penelitian ini adalah material magnet permanen NdFeb (*Neodymium Iron Boron*) dengan *grade* N35, material magnet permanen dengan *grade* tersebut banyak ditemukan di pasar penjualan indonesia, karena memiliki sifat kemagnetan yang kuat dan harga yang cukup terjangkau. Dimensi magnet permanen tersebut berukuran 20x5x3 mm berjumlah 10 buah dengan teknik pemasangan *Surface mounted* 2 kutub. Dimensi magnet permanen yang digunakan sangat cocok dengan dimensi geometri rotor yang sudah dirancang, sehingga memudahkan dalam pemasangan magnet permanen pada

permukaan rotor. Sifat kekuatan dari material magnet NdFeb Tipe N35 dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut :

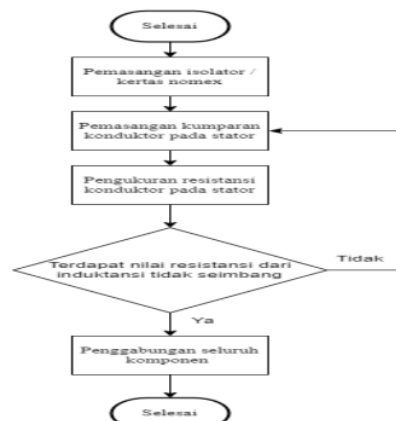
Tabel 3. 4 Data Sheet Magnet Neodymium Iron Boron

Material	Br		Hc (Hcb)		Hci (Hcj)		BHmax	
	mT	G	kA/m	Oe	kA/m	Oe	kJ/m ³	MGOe
N27	1,030	10,300	796	10,000	955	12,000	199	25
N30	1,080	10,800	796	10,000	955	12,000	223	28
N33	1,130	11,300	836	10,500	955	12,000	247	31
N35	1,170	11,700	867	10,900	955	12,000	263	33
N38	1,210	12,100	899	11,300	955	12,000	287	36
N40	1,240	12,400	923	11,600	955	12,000	302	38
N42	1,280	12,800	923	11,600	955	12,000	318	40
N45	1,320	13,200	875	11,000	955	12,000	342	43
N48	1,380	13,800	836	10,500	875	11,000	366	46
N50	1,400	14,000	796	10,000	875	11,000	382	48
N52	1,430	14,300	796	10,000	875	11,000	398	50

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa magnet Neodymium dengan grade N35 mempunyai nilai Br (mT/G) sebesar 1.130/11.700, nilai Hc(Hcb)(kA/m/Oe) sebesar 867/10.900, nilai Hci(Ka/m/Oe) 955/12.000 dan BHmax (kl/m3/MGoe) sebesar 263/33.

3.3.3 Pemasangan Komponen GMP

Perakitan Generator Magnet Permanent Pada penelitian ini terbagi menjadi beberapa Langkah. Langkah-langkah perakitan dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.5 Flowchart Perakitan GMP

- Langkah pertama yaitu pemasangan kertas nomex dilakukan dengan cara mengukur area pada stator, lalu potong kertas nomex sesuai ukurannya, kemudian potongan kertas nomex diletakkan pada area stator.
- Langkah kedua yaitu melakukan pemasangan kumparan dilakukan dengan cara mengukur kawat sesuai perhitungan, lalu potong kawat sesuai Panjang yang dibutuhkan. Kawat dipasang pada inti kumparan dengan rapi, ikat ujung kawat dengan erat dan gunakan pita isolasi. Lakukan pengujian untuk memastikan kumparan berfungsi dengan baik. Pasang Kembali motor dan lakukan uji fungsional sebelum penggunaan penuh.
- Langkah ketiga yaitu pengukuran resistansi konduktor dilakukan dengan cara mengukur seberapa mudah arus listrik mengalir melalui kumparan stator pada motor listrik, kemudian menyiapkan alat pengukur dan menghubungkan alat tersebut ke kumparan stator. Setelah nilai resistansi terbaca membandingkan dengan nilai yang normal. Hasilnya dapat menunjukkan kondisi Kesehatan stator, membantu mendeteksi masalah seperti kerusakan isolasi atau gangguan konsentrisitas kumparan.
- Langkah keempat yaitu terdapat nilai resistansi dan induktansi tidak seimbang dengan mencari hasil nilai dari jumlah lilitan kawat jika sesuai tidak sesuai dilakukan winding ulang dan jika sesuai dilakukan tahap selanjutnya.
- Langkah kelima yaitu penggabungan seluruh komponen yang sudah dibuat, penggabungan komponen sebagai Langkah terakhir dalam pembuatan GMP.

3.4 Pengambilan Data pada GMP

Pengambilan data pada GMP dilakukan untuk mengetahui apakah GMP dapat berfungsi dengan baik. Proses pengambilan data dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Flowchart Proses pengambilan data

Gambar 3.6 Menunjukkan proses pengambilan data dengan input berupa putaran motor dihasilkan dari motor penggerak dengan bantuan dimmer sebagai alat pengaturan variasi putaran motor.

- Langkah pertama pengaturan kecepatan variasi GMP menggunakan dimer. Dimer mempunyai 8 variasi tingkat kecepatan ditunjukkan dengan angka nol sampai delapan. Pengambilan data dilakukan pada setiap variasi angka kecepatan.
- Langkah kedua penentuan beban dengan variasi tidak berbeban dan berbeban. Pada saat pengujian variasi tidak berbeban menguji dengan variasi dimer untuk mendapatkan nilai. Pada saat pengujian variasi berbeban menguji dengan variasi dimer dan menggunakan beban lampu .

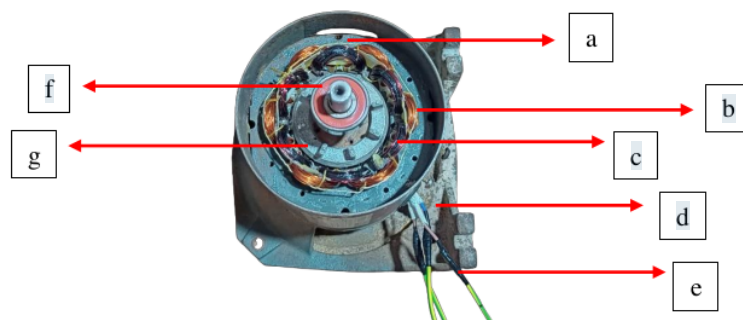
- Langkah ketiga pengukuran data
- Langkah keempat menampilkan gelombang sinusoidal dengan menggunakan osiloskop untuk melihat perbandingan gelombang tegangan AC dengan nilai tegangan V_{p-p} .
- Langkah kelima yaitu melakukan validasi hasil pengujian dengan hasil perhitungan untuk dianalisa tegangan, arus, daya dan frekuensi. setelah dianalisa maka akan diketahui kinerja dari GMP bekerja dengan baik atau tidak.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembongkaran Motor Induksi

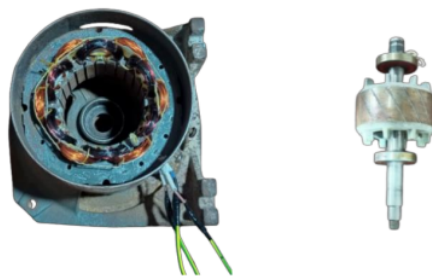
Motor induksi yang dipakai tipe JET-108BIT, pembongkaran motor dilakukan untuk mendapatkan hasil nilai dimensi geometri dan spesifikasi motor. Proses pembongkaran motor dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Bagian dalam motor induksi

Gambar 4.1 adalah bagian dalam motor yang sudah dibongkar. Bagian a menunjukkan bagian stator, bagian b menunjukkan bagian kumparan kawat, bagian c menunjukkan bagian slot pada stator, bagian d menunjukkan bagian jangkar pada motor, bagian e menunjukkan bagian kabel input pada motor, bagian f menunjukkan bagian briering, bagian g menunjukkan bagian rotor.

Motor dibongkar dengan cara memisahkan bagian stator dan bagian rotor, proses pemisahan stator dan motot dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Bagian motor induksi yang dibongkar

Gambar 4.2 bagian motor yang dibongkar adalah bagian stator dan rotor, selanjutnya dicari nilai dimensi geometri pada bagian stator dan bagian rotor sesuai dengan table 3.2.

4.2 Perancangan dan Perakitan GMP

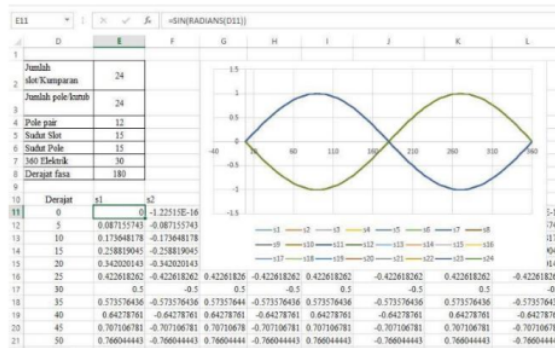
Perancangan GMP dilakukan melalui perhitungan untuk mengetahui nilai jumlah pole GMP, derajat elektrik GMP, diameter rotor, perhitungan jumlah lilitan, induksi GGL GMP, setelah perhitungan dilakukan perakitan dengan cara winding, pembubutan rotor, pemasangan magnet dan tahap akhir konstruksi GMP.

4.2.1 Menentukan Jumlah Pole Generator

Jumlah kutub GMP untuk keluaran listrik AC 1 fasa ditentukan melalui perhitungan untuk menentukan jumlah kutub diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.6 menghasilkan jumlah pole sebanyak 2 kutub.

4.2.2 Perhitungan Derajat Elektrik Generator

Untuk mengetahui berapa derajat mekanik yang diperlukan untuk mencapai putaran 360° Derajat elektrik pada generator, maka dihitung derajat kutub (θ_p) dengan persamaan 2.8 dengan nilai 90°, dihitung slot (θ_s) dengan persamaan 2.9 dengan nilai 90°, dihitung derajat mekanik (θ_m) dengan persamaan 2.10 dengan nilai 180°, dihitung derajat elektrik (θ_e) dengan persamaan 2.11 dengan nilai 240°, kemudian nilai derajat dihitung menggunakan perangkat lunak Microsoft Eel. Hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Perhitungan Derajat Mekanik Menggunakan Ms.Eel

gambar 4.3 menunjukkan hasil gelombang *Flux linkage* dari masing-masing kumparan. Dari gelombang Flux linkage tersebut dapat dijadikan acuan untuk menentukan arah lilitan pada setiap kumparan.

4.2.3 Perhitungan Diameter Rotor

Rotor yang digunakan pada penelitian ini merupakan rotor dari Motor Induksi bekas pompa air. Persamaan dibawah merupakan cara menghitung diameter rotor untuk mendapatkan *Airgap* 1 mm menggunakan persamaan 2.7 menghasilkan nilai 59.1 mm. Jumlah tersebut akan dikurangi lagi dengan dimensi magnet karena rotor akan dipasangkan magnet permanen dengan dimensi 20x5x2 mm sehingga hasil akhir diameter rotor yang dibutuhkan yaitu 26,26 mm. Dengan pengukuran nilai bubut rotor sebesar 32.64.

4.2.4 Perhitungan Jumlah Lilitan

Melilit pada suatu generator wajib melakukan perhitungan serta metode melilit yang benar sehingga keluaran generator dihasilkan optimal. Jumlah lilitan, luas slot dan keliling slot pada jangkar generator mempengaruhi hasil tegangan dengan persamaan 2.12 dengan hasil nilai yang didapatkan.

Diketahui :

Luas alur/Slot : 65.36 mm²

Keliling alur/Slot : 33.55 mm

Setelah diketahui luas dan keliling alur pada setiap slot. Langkah selanjutnya yaitu mencari luas prespan terhadap kertas prespan/nomex yang akan digunakan untuk mengisolator lilitan kawat tembaga dengan persamaan 2.13 dengan nilai luas prespan sebesar 3.69

Selain untuk mengisolator kawat tembaga kertas prespan/nomex berfungsi untuk menghindari hubung singkat diantara kawat tembaga yang digunakan, untuk Langkah selanjutnya agar jumlah lilitan diketahui maka dari itu dihitung terlebih dahulu luas efektif alur dengan menggunakan perhitungan persamaan 2.14 dengan nilai luas efektif sebesar 61.67

Luas efektif alur digunakan untuk menentukan luas alur efektif Ketika digunakan kumparan jangkar sehingga pemasangan konduktor atau kawat email pada alur/slot dapat dilakukan dengan persamaan 2.16 dengan nilai jumlah lilitan sebesar 73 lilitan.

4.2.5 Perhitungan Induksi GGL Generator

Besar tegangan generator yang diinduksikan pada setiap kumparan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.3 menghasilkan nilai sebesar 179.3 V. Nilai tegangan generator hasil perhitungan akan menjadi pembandingan bagi hasil pengukuran tegangan GMP untuk menilai kinerja GMP berfungsi dengan baik atau tidak.

4.2.6 WINDING

Winding atau melilit kumparan jangkar pada inti stator. Pada proses winding Generator Magnet Permanen (GMP) ini menggunakan konfigurasi 24 slot dengan menyesuaikan kerangka motor induksi dan menggunakan metode *Concentrated Winding*. Proses winding dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Lilitan Kawat dan Proses Winding

Winding digunakan berdasarkan pertimbangan untuk menghindari rugi-rugi tembaga yang lebih besar dibandingkan distributed, kemudian penggunaan konduktor tembaga yang lebih sedikit dibandingkan dengan distributed winding dan juga untuk menekan biaya produksi kawat tembaga yang digunakan, karena tidak membutuhkan panjang kawat diameter yang berlebih. Teknik belitan dilakukan dengan melilit konduktor tembaga diluar

stator dengan menggunakan cetakan mal, kemudian setelah itu setiap kumparan jangkar di masukkan kedalam masing-masing slot.

4.2.7 Pembubutan Rotor

Pada tahap ini dilakukan proses pembubutan untuk mengurangi dimensi diameter rotor agar dapat dilakukan pemasangan magnet. Bubut diameter rotor disesuaikan dengan ukuran yang telah ditentukan pada saat perhitungan dan perancangan. Proses pembubutan dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Proses Pembubutan Rotor

Gambar 4.5 diatas merupakan proses bubut rotor. Bubut rotor dilakukan dengan memperhitungkan besar *Airgap* atau celah udara antara rotor dan stator. Semakin kecil *Airgap* maka akan semakin mempermudah perpindahan fluks magnet yang terjadi dan arus hubung singkat tidak terlampau besar, namun ukuran *airgap* terlalu kecil membuat proses perakitan sulit dilakukan, karena jarak antara magnet dan gigi stator terlalu dekat. Sebaliknya apabila celah udara yang terlalu besar menyebabkan induksi GGL yang terjadi rendah. Perbandingan rotor sebelum dan sesudah pembubutan dapat dilihat pada gambar 4.6

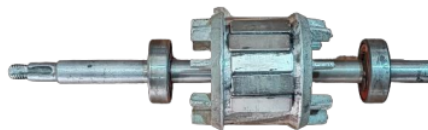


Gambar 4.6 Perbandingan Rotor Sebelum dan Sesudah Pembubutan

Gambar 4.6 menunjukkan rotor sebelum proses pembubutan lebih tebal dibandingkan setelah proses pembubutan. Diameter rotor saat sebelum dilakukan bubut yaitu sebesar 59.1 mm. kemudian rotor dibubut dengan sebesar 32.64 mm, sehingga diameter rotor menjadi sebesar 26.46 mm

4.2.8 Pemasangan Magnet

Pemasangan magnet ini dilakukan dengan cara merekatkan magnet permanen pada rotor yang telah dibubut menggunakan lem agar magnet menempel sempurna, kemudian beri jarak antara magnet N dan S. Berikan isolator berupa kertas Prespan atau nomex dan serbuk kayu diantara magnet N dan S. Pemberian jarak tersebut bertujuan untuk menjaga jarak magnet agar tidak terjadi pergerakan centrifugal atau berpindah- pindah tempat ketika rotor generator diputar. Rotor yang sudah dipasang magnet dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Pemasangan Magnet pada Rotor

Gambar 4.7 menunjukkan hasil pemasangan magnet pada rotor. Teknik pemasangan magnet yang di pasang pada permukaan inti rotor ini disebut *surface mounted*. Teknik pemasangan magnet permanen *surface mounted* dilakukan karena tidak membutuhkan biaya yang mahal untuk konstruksi rotor, tapi kekurangan dari teknik ini yaitu sulit dilakukan pada saat proses

perakitan atau assembly semua komponen generator. pemasangan magnet permanen pada rotor dilakukan dengan memperhatikan magnet utara (N) dan magnet (S)

4.2.9 Konstruksi GMP

Konstruksi Generator Magnet Permanent adalah tahap akhir yaitu pemasangan komponen-komponen berupa GMP, terminal, Ampermeter, Avometer, dan motor penggerak pada sebuah papan dalam. Hasil konstruksi GMP dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Hasil konstruksi GMP

Gambar 4.8 adalah bagian hasil konstruksi GMP. Bagian a menunjukkan bagian multimeter untuk mengukur tegangan pada GMP, bagian b menunjukkan bagian GMP yang tersambung pada alat ukur pengukuran tegangan, daya dan arus, bagian c menunjukkan bagian bor sebagai motor penggerak untuk menggerakkan GMP, bagian d menunjukkan bagian alat dimer untuk mengatur kecepatan motor penggerak, bagian e menunjukkan bagian tachometer untuk pengukuran RPM pada GMP, bagian f menunjukkan bagian pada alat ukur osiloskop untuk menampilkan gambar sinusoidal.

4.3 Pengukuran Resistansi, Induktansi dan RPM GMP

Pengukuran GMP dilakukan dengan mengukur nilai resistansi pada kumparan kawat, nilai induktansi pada kumparan kawat, dan nilai RPM dengan skala dimer pada GMP.

4.3.1 Pengukuran Resistansi pada Kawat

Pengukuran resistansi dan induktansi bertujuan untuk memastikan apakah resistansi dan induktansi dari *winding* yang sudah dilakukan memperoleh nilai yang seimbang. Pengukuran resistansi dan induktansi ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur RLC Meter untuk mengukur induktansi dan Micro-Ohm Meter untuk mengukur resistansi. Pengukuran Resistansi (Ω) dan Induktansi (mH) dilakukan ketika masing-masing Kumparan belum terpasang dan sesudah terpasang dengan setiap slot pada stator seperti pada gambar 4.9.



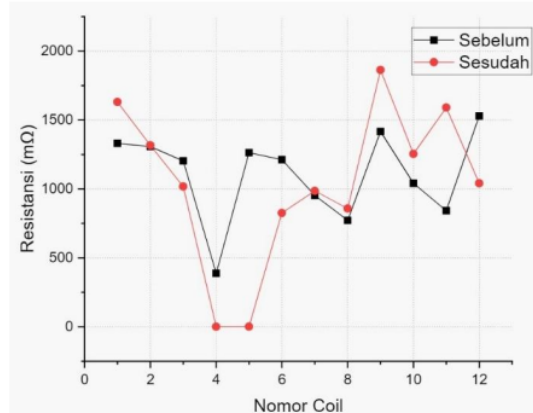
Gambar 4.9 Proses Pengukuran Resistansi pada Kawat

Gambar 4.9 merupakan proses pengukuran resistansi pada kumparan kawat pada setiap slot generator. Hasil pengukuran kumparan kawat dapat dilihat pada table 4.1.

Tabel 4. 1 Resistansi dan Induktansi Kawat

No.Coil	Sebelum Kumparan Konduktor dilakukan Pemasangan Pada <i>Stator</i> / Jangkar	Sebelum Kumparan Konduktor dilakukan Pemasangan Pada <i>Stator</i> / Jangkar
	Resistansi (mΩ)	Resistansi (mΩ)
1	1331	1631
2	1308	1316
3	1204	1018
4	388	0,677
5	1263	1,041
6	1212	825
7	953	986
8	772	858
9	1417	1863
10	1041	1254
11	842	1591
12	1529	1041
Jumlah	13.260	14.101
Hasil Pengukuran pada Input dan Output		

Pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa nilai resistansi dan induktansi sebelum dan sesudah kumparan konduktor tembaga dipasang pada stator. Setiap kumparan konduktor tembaga memiliki nilai yang sama, hal tersebut menunjukkan bahwa tidak ada kumparan short saat dilakukan proses winding. Grafik Resistansi Kawat sebelum dan sesudah dipasang dapat dilihat pada Gambar 4.10



Gambar 4.10 Resistansi Kawat sebelum dan sesudah dipasang

Pada Gambar 4.10 menunjukkan hasil nilai pada kumparan kawat sebelum dimasukkan ke jangkar mempunyai nilai terendah pada coil 4 dengan hasil nilai resistansi sebesar 388 mOhm dan nilai sesudah dimasukkan ke jangkar sebesar 0.677 mOhm. Pada nilai resistansi kawat tertinggi sebelum dimasukkan mempunyai nilai sebesar 1529 pada nomor coil skala 12 dan memiliki nilai resistansi kawat sesudah dimasukkan ke jangkar sebesar 1863 pada nomor coil skala 9.

4.3.2 Pengukuran RPM terhadap dimer

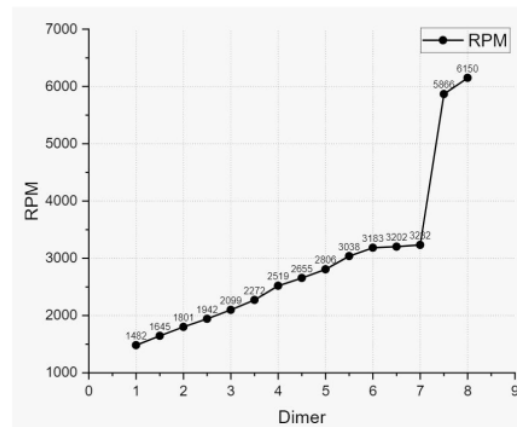
RPM merupakan satuan yang digunakan mengukur kecepatan rotasi atau kecepatan berputar dari sebuah dynamo motor. Putaran pada motor GMP dihasilkan dari motor penggerak yaitu bor, karena bor memiliki kecepatan putar sebesar 3200 rpm tetapi dalam penggunaannya memiliki kecepatan yang tidak dapat dikontrol. Digunakan dimer agar putaran kecepatan bor dapat dikontrol. Telah dilakukan pengukuran rpm motor GMP dengan bantuan dimer sebagai pengontrol kecepatan, hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil pengukuran RPM dengan dimer

No	Dimer	RPM
1	1	1482

2	1.5	1645
3	2	1801
4	2.5	1942
5	3	2099
6	3.5	2272
7	4	2519
8	4.5	2655
9	5	2806
10	5.5	3038
11	6	3183
12	6.5	3202
13	7	3232
14	7.5	5866
15	8	6150

Pada tabel 4.2 percobaan pertama dengan skala dimer 1 dapat menghasilkan Rpm sebesar 1482, dengan skala 2 dapat menghasilkan Rpm sebesar 1801, dengan skala 3 dapat menghasilkan Rpm sebesar 2099, dengan skala 4 menghasilkan Rpm sebesar 2519, dengan skala 5 menghasilkan rpm sebesar 2806. Dari hasil pengukuran setiap skala dimer dinaikkan maka nilai rpm semakin naik. Grafik pengaruh skala dimer pada RPM dapat dilihat Gambar 4.11



4.11 Grafik Pengaruh Skala Dimer pada RPM

Pada Gambar 4.11 menunjukkan hasil Grafik pengaruh skala dimer pada RPM dengan menunjukkan nilai terendah pada skala dimer 1 dengan nilai RPM 1482 dan memiliki nilai tertinggi pada skala dimer pada nilai RPM tertinggi sebesar 6150.

4.4 Pengujian GMP

Pengujian GMP dilakukan dengan mengukur nilai tegangan tanpa dan dengan beban, nilai frekuensi, nilai arus dan nilai daya.

4.4.1 Pengujian GMP Tanpa Beban

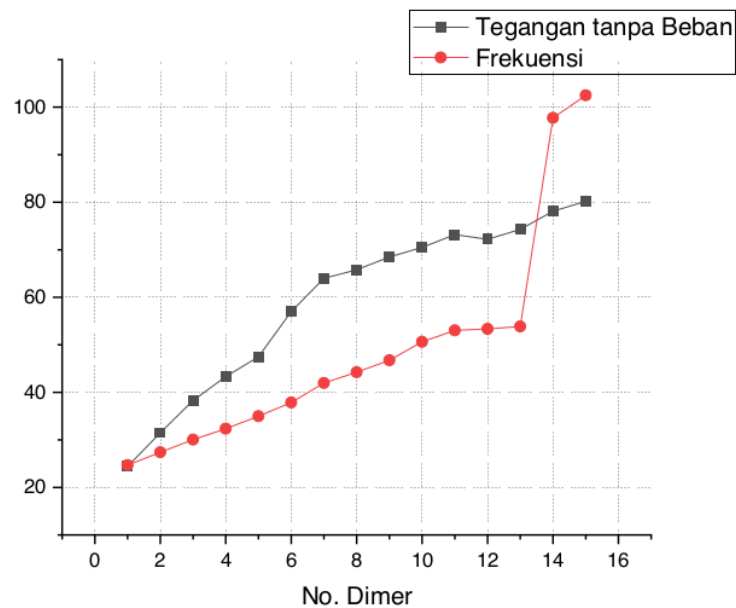
GMP bisa bekerja jika dapat menghasilkan tegangan, arus jika diberi beban, nilai frekuensi dan nilai daya hasil dari nilai tegangan dikali nilai arus yang didapat. Pengujian pertama dilakukan tanpa menggunakan beban, ini dilakukan agar dapat mengetahui alat bisa bekerja atau tidak, sesuai nilai perhitungan menggunakan persamaan 2.3. hasil pengujian nilai tegangan dan nilai frekuensi dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil pengujian tegangan tanpa beban dan frekuensi

No. dimer	Tegangan Tanpa beban	Frekuensi
1	24.4	24.7
2	31.5	27.41
3	38.3	30.06
4	43.3	32.36
5	47.5	34.98
6	57	37.86
7	64	41.98
8	65.8	44.25
9	68.5	46.76
10	70.5	50.63

11	73.2	53.05
12	72.2	53.36
13	74.3	53.86
14	78.1	97.76
15	80.2	102.5

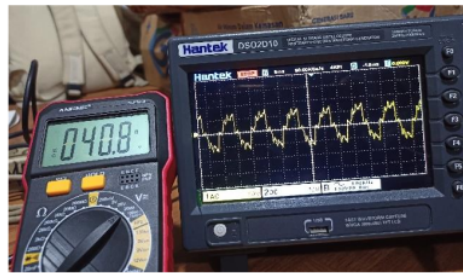
Pada tabel 4.3 pengujian pertama GMP menghasilkan nilai tegangan tanpa beban dengan nilai tegangan sebesar 24.2 menghasilkan nilai frekuensi sebesar 24.7, dengan nilai tegangan sebesar 31.5 menghasilkan nilai frekuensi sebesar 27.41, dengan nilai tegangan sebesar 38.3 menghasilkan frekuensi sebesar 30.06, dengan nilai tegangan sebesar 43.3 menghasilkan nilai frekuensi sebesar 32.36, dengan nilai tegangan sebesar 78.1 menghasilkan nilai frekuensi sebesar 97.76 dan pengujian yang menghasilkan nilai paling besar ada pada pengujian ke 15 dengan nilai tegangan sebesar 80.2 menghasilkan nilai frekuensi sebesar 102.5. Hasil pengujian mengalami kenaikan, kenaikan nilai tegangan dan frekuensi dapat ditampilkan dengan grafik pada gambar 4.10.



Gambar 4.12 Grafik nilai tegangan tanpa beban dan frekuensi

Pada gambar 4.12 menunjukkan nilai tegangan tanpa beban ditandai dengan warna hitam dan nilai frekuensi ditandai dengan warna merah. Dari gambar 4.12 nilai tegangan dan nilai frekuensi berbandi lurus lalu mengalami kenaikan disetiap pengujian, jadi semakin besar nilai tegangan semakin besar nilai frekuensinya.

Sebagai batasan nilai tertinggi dan terendah pada GMP dilakukan pengujian menggunakan osiloskop untuk menampilkan gambar gelombang AC dan mencari tegangan V_{p-p} . hasil penampilan gelombang osiloskop dapat dilihat pada gambar 4.13



Gambar 4.13 Gelombang Sinusoidal

Pada gambar 4.13 menampilkan gelombang sinusoidal dengan nilai V_{p-p} terendah sebesar 100 dan hasil nilai V_{p-p} tertinggi sebesar 200. Dengan nilai tegangan 40.8 Volt

4.4.2 Pengujian dengan Beban

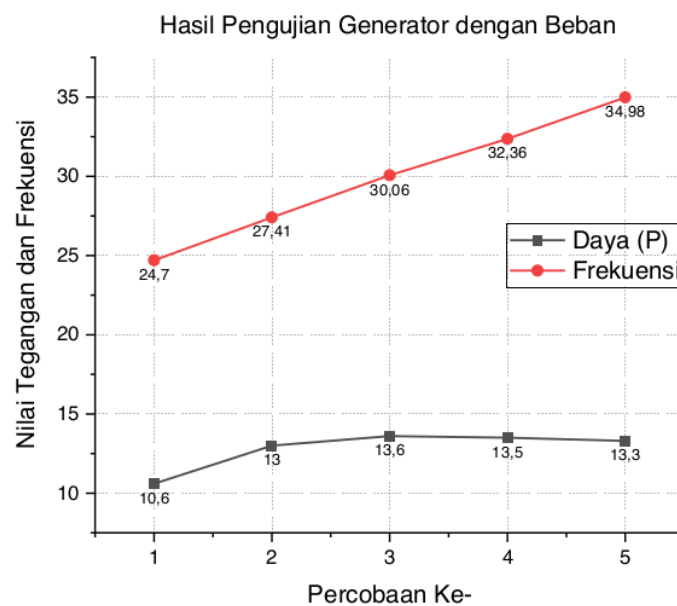
Pengujian kedua menggunakan beban lampu sebesar 5 Watt pengujian dilakukan sebanyak 5 kali sesuai dengan tingkatan skala dimer. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan, frekuensi, arus dan daya. Hasil pengujian ditampilkan pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil pengujian tegangan berbeban

No	Tegangan berbeban	Frekuensi
1	10.6	24.7
2	13.	27.41

3	13.6	30.06
4	13.5	32.36
5	13.3	34.98

Pada tabel 4.4 pengujian pertama GMP menghasilkan nilai tegangan berbeban dengan nilai tegangan sebesar 10.6 menghasilkan nilai frekuensi sebesar 24.7, dengan nilai tegangan sebesar 13 menghasilkan nilai frekuensi sebesar 27.41, dengan nilai tegangan sebesar 13.6 menghasilkan frekuensi sebesar 30.06, dengan nilai tegangan sebesar 13.5 menghasilkan nilai frekuensi sebesar 32.36, dengan nilai tegangan sebesar 13.3 menghasilkan nilai frekuensi sebesar 34.98. Hasil pengujian mengalami kenaikan, kenaikan nilai tegangan dan frekuensi dapat ditampilkan dengan grafik pada gambar 4.12.



Gambar 4.14 Grafik nilai tegangan berbeban dan frekuensi

Pada gambar 4.14 menunjukkan nilai tegangan tanpa beban ditandai dengan warna hijau dan nilai frekuensi ditandai dengan warna biru. Dari gambar 4.14 nilai tegangan dan nilai frekuensi berbandi lurus lalu

mengalami kenaikan disetiap pengujian, jadi semakin besar nilai tegangan semakin besar nilai frekuensinya.

4.4.3 Perbandingan Nilai Tegangan GMP Tanpa Beban dan dengan Beban

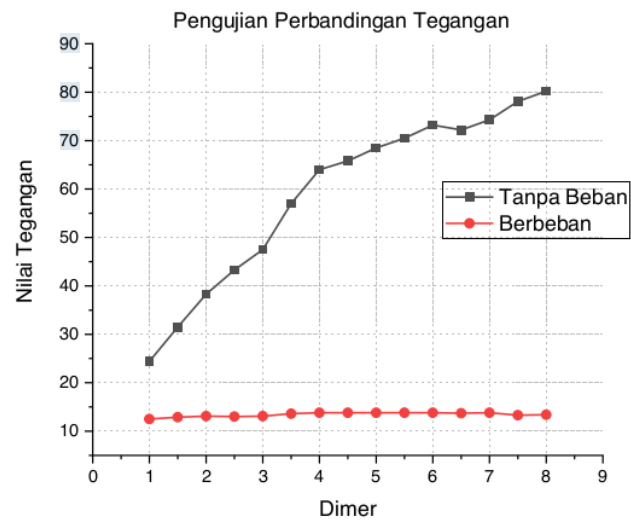
Hasil pengujian sebelumnya telah menunjukkan nilai tegangan GMP tanpa beban dan dengan beban. Nilai tegangan yang terukur mengalami penurunan nilai. Perbandingan nilai tegangan GMP tanpa beban dan dengan beban dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil pengujian tegangan berbeban

Dimer	Tegangan Tanpa beban	Tegangan dengan beban
1	24.4	12.5
1.5	31.5	12.9
2	38.3	13.1
2.5	43.3	13.0
3	47.5	13.1
3.5	57	13.6
4	64	13.8
4.5	65.8	13.8
5	68.5	13.8
5.5	70.5	13.8
6	73.2	13.8
6.5	72.2	13.7
7	74.3	13.8
7.5	78.1	13.3
8	80.2	13.4

Pada tabel 4.5 menunjukkan perbandingan antara tegangan tanpa beban dan tegangan dengan beban. Pada percobaan pertama menggunakan skala dimer 1 menghasilkan tegangan tanpa beban sebesar 24.4 sedangkan dengan beban 12.5. Pada percobaan kedua menggunakan skala dimer 2 menghasilkan

tegangan tanpa beban sebesar 38.3 sedangkan dengan beban 13.1. Pada percobaan ketiga menggunakan skala dimer 3 menghasilkan tegangan tanpa beban sebesar 47.5 sedangkan dengan beban 13.1. Pada percobaan keempat menggunakan skala dimer 4 menghasilkan tegangan tanpa beban sebesar 64 sedangkan dengan beban 13.8. nilai tegangan dengan beban mengalami penurunan dikarenakan adanya arus yang mengalir melalui resistansi internal sumber dan resistansi kabel penghantar yang menyebabkan tegangan menurun sesuai dengan hukum Ohm. Grafik pengujian tegangan tanpa beban dan berbeban dapat dilihat pada Gambar 4.15



Gambar 4.15 Grafik Pengujian Tegangan Tanpa Beban dan Berbeban

Pada Gambar 4.15 Grafik pengujian tegangan tanpa beban dan berbeban menunjukkan hasil nilai yang berbeda, dengan pengujian tegangan tanpa beban memiliki nilai tegangan terendah 24.4 Volt dan tegangan tertinggi memiliki nilai sebesar 80.2 Volt. Pada tegangan terendah memiliki nilai tegangan sebesar 12.5 Volt dan tegangan tertinggi 13.4 Volt.

4.4.4 Perbandingan nilai Tegangan Tidak Berbeban, Berbeban dengan tegangan Vp-p

Hasil pengujian sebelumnya menunjukkan hasil dari pengujian tegangan tidak berbeban dengan berbeban dengan mempunyai nilai frekuensi. Nilai pengujian mengalami penurunan saat tegangan diberi beban. Nilai perbandingan tegangan tanpa beban dan berbeban dengan tegangan Vp-p dapat dilihat pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Tabel perbandingan Vpeak dengan Vrms pada saat tanpa beban dan berbeban

Variasi Kecepatan	Hasil simulasi Tegangan Tanpa beban		Hasil Pengujian Tegangan Berbeban	
	Vpeak (V)	Vrms (V)	Vpeak (V)	Vrms (V)
RPM				
1482	34.5	24.4	17.67	12.5
1645	44.54	31.5	18.24	12.9
1801	54.15	38.3	18.52	13.1
1942	61.22	43.3	18.38	13.0
2099	67.16	47.5	18.52	13.1
2272	80.59	57	19.23	13.6
2519	90.49	64	19.51	13.8
2655	93.04	65.8	19.51	13.8
2806	96.85	68.5	19.51	13.8
3038	99.68	70.5	19.51	13.8
3183	103.5	73.2	19.51	13.8
3202	102.09	72.2	19.37	13.7
3232	105.06	74.3	13.51	13.8
5866	110.43	78.1	18.8	13.3
6150	113.4	80.2	18.94	13.4

Pada tabel 4.6 menunjukkan hasil variasi kecepatan dengan nilai terendah sebesar 1482 RPM dengan menghasilkan tegangan Vrms sebesar 24.4 dengan hasil tegangan Vpeak sebesar 34.5, dan hasil tegangan berbeban dengan tegangan Vrms sebesar 12.5 dengan tegangan Vpeak sebesar 17.67.

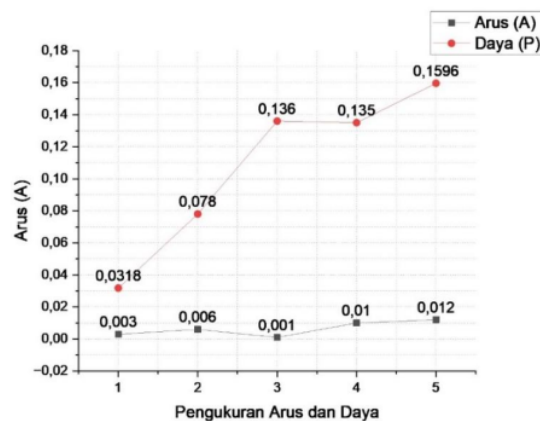
4.5 Daya pada GMP

Daya dihasilkan dari perkalian nilai Arus dan nilai Tegangan. Diukur nilai Arus menggunakan multimer saat GMP diberikan beban lampu sebesar 5 Watt. Nilai Daya yang dihasilkan dari perkalian antara nilai Arus dan nilai tegangan dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil pengujian tegangan berbeban

No	Tegangan berbeban	Ampere	Daya
1	10.6	0.003	0.0318
2	13	0.006	0.078
3	13.6	0.0010	0.136
4	13.5	0.010	0.0135
5	13.3	0.012	0.1596

Pada tabel 4.7 menunjukkan hasil hasil nilai tegangan berbeban dikali nilai arus menghasilkan nilai daya. Daya yang dihasilkan GMP pada penelitian ini sangat rendah dikarenakan hasil nilai tegangan dan nilai arus sangat rendah. Nilai tegangan dan nilai arus rendah dikarenakan ukuran GMP skala kecil membuat kapasitas kumparan pada kawat yang dihasilkan kecil. Kapasitas magnet dengan dimensi kecil membuat hasil kecepatan putaran GMP rendah sehingga menghasilkan nilai tegangan dan nilai arus rendah. Grafik pengujian arus dan daya dapat dilihat pada Gambar 4.16



Gambar 4.16 Grafik Pengukuran Arus dan Daya

Gambar 4.16 menunjukkan nilai tegangan dengan beban yang mempunyai nilai arus terendah dengan nilai sebesar 0.003 Ampere dengan hasil daya terendah sebesar 0.0318 Watt dan nilai arus tertinggi sebesar 0.012 Ampere dengan hasil daya tertinggi sebesar 0.1596 Watt.

BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Penelitian ini menentukan tentang Desain Ulang Generator Magnet Permanent Dengan Memanfaatkan Motor Pompa Air Bekas 24 slot dan 2 pole dengan variasi putaran rpm tanpa beban dan berbeban. Hasil dari penelitian ini berupa perancangan dan implementasi yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Perancangan GMP listrik AC 1 fasa memanfaatkan motor induksi bekas pompa air memiliki spesifikasi 24 slot, 2 kutub, penambahan medan magnet Neodymium Iron Boron tipe N35 pada rotor dan 70 lilitan kawat pada setiap slot stator.
2. Pada pengujian tanpa beban, Generator Magnet Permanen (GMP) menghasilkan tegangan 24.4 Vrms dan 34.5 Vpeak pada kecepatan rotor 1482 RPM, serta 80.2 Vrms dan 113.4 Vpeak pada kecepatan 6150 RPM. Pada pengujian berbeban, GMP menghasilkan 12.5 Vrms dan 0.0318 Watt pada 1482 RPM, serta 13.4 Vrms dan 0.1596 Watt pada 6150 RPM.

5.2 Saran

hasil yang didapatkan pada penelitian ini tidak lepas dari adanya kekurangan. Adapun saran dari penulis untuk pengembangan penelitian selanjutnya yaitu.

1. Menggunakan kombinasi *slot* dan *pole* yang berbeda untuk mengurangi torsi awal yang besar dan perlu dibuat kontruksi rotor dengan menyesuaikan dimensi magnet serta menggunakan magnet permanen yang berkualitas. Akan tersebut mempunyai kelemahan, yaitu magnet permanen harus dibuat kustom.
2. Memperhitungan nilai resistansi pada penggunaan konduktor dan jumlah lilitan untuk mengurangi nilai impedansi pada kumparan jangkar sehingga dapat mengoptimalkan kinerja generator.
3. Menggunakan alat torsi meter pada proses pengujian untuk mendapatkan data daya input, sehingga bisa didapatkan efisiensi dari generator.

4. Membuat cetakan lilitan untuk mempermudah proses penelitian tembaga. Sehingga lilitan menjadi lebih rapih dan efeiensi dalam pengerjaannya.
5. Membuat media pengujian yang lebih baik dari media yang sudah dibuat, agar mempermudah proses pengujian Generator .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Strielkowski, L. Civín, E. Tarkhanova, M. Tvaronavičienė, and Y. Petrenko, “Renewable energy in the sustainable development of electrical power sector: A review,” *Energies*, vol. 14, no. 24. MDPI, Dec. 01, 2021. doi: 10.3390/en14248240.
- [2] J. Teknik Elektro, H. Krisdiantoro, U. Jember, and U. Jember Widnyono Hadi, “Unjuk Kerja Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) 3 Fasa Fluks Radial dari Modifikasi Motor Induksi.” *Jurnal Arus Elektro Indonesia(JAEI)*,vol.7,no.23.Apr,12,2021. <https://doi.org/10.19184/jaei.v7i3.28113>
- [3] A. Diar *et al.*, “ANALISIS PENGARUH KETEBALAN MAGNET DAN JUMLAH LILITAN TERHADAP KARAKTERISTIK GENERATOR MAGNET PERMANEN 18 SLOT 16 POLE,” *Multitek Indones. J. Ilm.*, no. 1, pp. 1907–6223, 2023, [Online]. Available: <http://journal.umpo.ac.id/index.php/multitek>
- [4] Y. Rivera-Durán, C. Berna-Escriche, Y. Córdova-Chávez, and J. L. Muñoz-Cobo, “Assessment of a Fully Renewable Generation System with Storage to Cost-Effectively Cover the Electricity Demand of Standalone Grids: The Case of the Canary Archipelago by 2040,” *Machines*, vol. 11, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/machines11010101.
- [5] Zaini Miftach, 14 september 2022. Accessed 07 Mei 2024 [Online]. Available: [https://ebtke.esdm.go.id/post/2022/09/14/3260/energi.baru.terbanyakan.berperan.besar.dalam.upaya.penurunan.emisi.di.sektor.energi](https://ebtke.esdm.go.id/post/2022/09/14/3260/energi.baru.terbentukan.berperan.besar.dalam.upaya.penurunan.emisi.di.sektor.energi)
- [6] Asral dan Yuli Handika, “CYCLOTRON: Jurnal Teknik Elektro Pembuatan Generator Magnet Permanen 12 Kutup Menggunakan Motor Induksi,” vol.6, no.2 Juli 2023.
- [7] H. V. Coutinho, J. A. Toledo, L. A. R. Silva, and T. A. C. Maia, “Design and Implementation of a Low-Cost and Low-Power Converter to Drive a Single-Phase Motor,” *Machines*, vol. 11, no. 7, Jul. 2023, doi: 10.3390/machines11070673.
- [8] Hanifah Alfi and Irwanto, “Komparasi Konsumsi Energi Listrik Pada Motor

- Listrik Di HAR Unit 4 PT. Indonesia Power Suralaya,” *J. Tek. Mesin, Ind. Elektro Dan Inform.*, vol. 2, pp. 217–239, 2023.
- [9] S. Rahayu, T. A. Wiharso, and M. Rizkan, “PROTOTYPING MODUL PRAKTIKUM PEMBANGKITAN ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN DAUR ULANG MOTOR INDUKSI SATU FASA,” 2020.
- [10] M. J. Jeong, K. B. Lee, H. J. Pyo, D. W. Nam, and W. H. Kim, “A study on the shape of the rotor to improve the performance of the spoke-type permanent magnet synchronous motor,” *Energies*, vol. 14, no. 13, Jul. 2021, doi: 10.3390/en14133758.
- [11] D. Kumala, W. Hadi, and S. Bachri, “RANCANG BANGUN KUMPARAN STATOR MOTOR INDUKSI 1 FASA 4 KUTUB DENGAN METODE KUMPARAN JERAT,” *Artik. Ilm. Has. Penelit. Mhs.*, 2014.
- [12] T. Yusuf and ; Umar, “MODIFIKASI MOTOR INDUKSI MENJADI PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR (PMSG) 36 SLOT 12 POLE.” 21,Nov, 2023
- [13] “Aplikasi Magnet Permanen BaFe 12 O 19 dan NdFeB pada Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Skala Kecil (Pudji Irasari) TEORI Magnet Barium Ferit (BaFe 12 O 19).” [Online]. Available: <http://www.duramag.com/magnet-materials/>
- [14] T. P. Zaputra and N. Gusnita, “Analisis Pengaruh Jumlah Lilitan dan Kecepatan Putar Terhadap Efisiensi Pada Permanent Magnet Synchronous Generator 18 Slot 16 Pole,” *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 8, no. 2, p. 411, Sep. 2022, doi: 10.24036/jtev.v8i2.117875.
- [15] D. L. Zariatina, S. N. Fitria, Y. Dewanto, Ismail, and D. Rahmalina, “The performance of the modified pump motor as a generator on the Pump as Turbine (PAT) power plant,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2019. doi: 10.1088/1755-1315/277/1/012016.
- [16] S. Pengajar Program Studi Teknik Elektro, U. Sains dan Teknologi Jayapura Jln Raya Sentani Padang Bulan Jayapura -Papua, and S. Pengajar Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri dan Kebumihan, “Corresponding Author PENGUJIAN DAN ANALISIS MOTOR

ASINKRON TIGA FASA PADA LABORATORIUM ELEKTRO.”

- [17] E. Zondra and H. Yuwendius, “Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Satu Fasa Akibat Perubahan Besaran Kapasitor,” *J. Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 4, no. 2, pp. 40–47, 2020.
- [18] S. Mustafa, dan Irvawansyah “Rancang Bangun Trainer Mesin Listrik AC.” *Journal Of Electrical Engginering (Joule)*, Vol. 1, No. 2, Bulan Agustus Tahun 2020, POLITEKNIK BOSOWA
- [19] J. Teknik Elektro, R. Ayu Mustikasari, U. Jember, and U. Jember Widyo Hadi, “Analisis Generator Sinkron Permanen Magnet (PMSG) Tipe Radial 3 Fasa dengan Hubungan Kumputan Delta.” *Jurnal Arus Elektro Indonesia(JAEI)*,vol.7,no.23.Apr,12, 2021.
- [20] M. Yuhendri, D. Doni, and A. Fadia Ikhfa, “RANCANG BANGUN GENERATOR MAGNET PERMANEN FLUKSI AKSIAL SINGLE STATOR SINGLE ROTOR,” *J. SIMETRIS*, vol. 14, no. 2, 2023.
- [21] A. Goeritno and A. Hidayat, “STRUKTUR BELITAN STATOR DAN ROTOR BERMAGNET PERMANEN FLUKS RADIAL UNTUK ALTERNATOR FASE TUNGGAL,” 2016.
- [22] I. Prastyaningrum, S. Kartikawati, and R. Antika, “PENGARUH MEDIA KIT GGL INDUKSI ELEKTROMAGNETIK TERHADAP KEMAMPUAN PEMAHAMAN KONSEP GGL INDUKSI,” *Unira Malang l*, vol. 3, no. 2, 2020.
- [23] S. Herman and Ansori. Aris, “PENGARUH JUMLAH LILITAN KAWAT PADA KUMPUTAN GENERATOR LINIER TERHADAP PERFORMA GENERATOR LINIER,” *J. Tek. Mesin*, vol. 10, pp. 7–12, 2022.
- [24] Nugroho “DESAIN GENERATOR MAGNET PERMANEN RPM RENDAH DENGAN MEMANFAATKAN MOTOR KIPAS.” 2016.

LAMPIRAN

LAMPIRAN PERHITUNGAN

a) Perhitungan Rumus GGL (Gerak Gaya Listrik)

$$E = B.I.V$$

Keterangan :

E = Gaya Gerak Listrik (V)

B = Medan Magnet Relatif (T)

l = Panjang Konduktor pada Kumparan (m)

V = Kecepatan Relatif Putar Rotor (rp.s)

$$E = B.I.V$$

$$E = 1.1 \times$$

$$E =$$

b) Perhitungan Jumlah Kutub

$$Np = \frac{120.f}{Nr}$$

Keterangan:

n_r = Putaran rotor (RPM)

Np = Jumlah kutub magnet

f = Frekuensi (Hz)

$$Np = \frac{120.50}{3000}$$

$$= 2 \text{ pole}$$

c) Perhitungan Dimensi Rotor Pada Generator

$$D_r = D - 2.\delta$$

Keterangan :

D_r = Diameter Rotor

D = Diameter dalam stator

δ = Celah udara (*Airgap*)

$$59,10 = 34,37 - 2,1$$

$$59,10 = 32,37$$

d) Perhitungan Derajat Mekanik Generator

1. Perhitungan Derajat Kutub

$$\theta_P = \frac{(2 \cdot \pi)}{N_p}$$

Keterangan :

θ_P = Derajat kutub

N_p = Jumlah kutub

$$\pi = 180^\circ$$

$$\begin{aligned} \theta_P &= \frac{(2 \cdot 180^\circ)}{4} \\ &= \frac{360^\circ}{4} \\ &= 90^\circ \end{aligned}$$

2. Perhitungan Derajat Slot

$$\theta_S = \frac{(2 \cdot \pi)}{N_s}$$

Keterangan :

θ_S = Derajat slot

N_s = Jumlah kutub

$$\pi = 180^\circ$$

$$\begin{aligned} \theta_S &= \frac{(2 \cdot 180^\circ)}{4} \\ &= \frac{360^\circ}{4} \\ &= 90^\circ \end{aligned}$$

3. Perhitungan Derajat Mekanik

$$\theta_m = 2 \times \theta_P$$

Keterangan :

θ_m = Derajat Elektrik

θ_P = Derajat Pole/Kutub

$$\theta_m = 2 \times \theta_P$$

$$\theta_m = 2 \times 4$$

$$\theta_m = 8$$

4. Perhitungan Derajat Elektrik

$$\theta_e = \frac{Np}{2} \times \theta_m$$

Keterangan:

 Np = Jumlah kutub θ_m = Derajat 360 Elektrik θ_e = Derajat Elektrik

$$\theta_e = \frac{Np}{2} \times \theta_m$$

$$\theta_e = \frac{4}{2} \times 360^\circ$$

$$\theta_e = 720^\circ$$

e) Perhitungan Jumlah Lilitan

1. Luas Alur

$$\begin{aligned} \text{Luas alur} &= \frac{(B_1+B_2).t}{2} \\ &= \frac{(7.09+5.22) \times 10.62}{2} \\ &= \frac{12.31 \times 10.62}{2} \\ &= 65.3661 \end{aligned}$$

Rumus Keliling Alur/ Slot

$$\begin{aligned} &(B_1+B_2 + (2 \times H)) \\ &= (7.09 + 5.22) + (2 \times 10.62) \\ &= 12.31 + 21.24 \\ &= 33.55 \end{aligned}$$

2. Luas Prespan = Tebal prespan x Keliling alur

$$\begin{aligned} &= 0.11 \times (7.09 + 5.22) + (2 \times 10.62) \\ &= 3.6905 \end{aligned}$$

3. Luas efektif alur = luas alur – luas prespan

$$\begin{aligned} &= 65.3661 - 3.6905 \\ &= 61.6705 \end{aligned}$$

Luas efektif alur (luas alur yang dapat dimasuki kawat)

$$4. \theta = \frac{i}{\text{tabel pembagi}}$$

$$\theta = \frac{1.6}{2.9}$$
$$= \mathbf{0.84}$$

$$5. \text{ Jumlah lilitan} = \frac{\text{Luas Efektif Alur}}{\text{Luas Penampang Kawat}}$$
$$= \frac{61.67}{0.84}$$
$$= 73.4 \text{ lilitan}$$

Jumlah lilitan (Jumlah lilitan dalam 1 slot)

LAMPIRAN DOKUMENTASI





ORIGINALITY REPORT

10%

SIMILARITY INDEX

10%

INTERNET SOURCES

5%

PUBLICATIONS

%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	eprints.untirta.ac.id Internet Source	2%
2	repository.its.ac.id Internet Source	1%
3	journal.uniga.ac.id Internet Source	1%
4	123dok.com Internet Source	1%
5	repository.uin-suska.ac.id Internet Source	1%
6	mbkm.unila.ac.id Internet Source	<1%
7	core.ac.uk Internet Source	<1%
8	dspace.uii.ac.id Internet Source	<1%
9	repositori.uma.ac.id Internet Source	<1%

10	www.scribd.com Internet Source	<1 %
11	id.123dok.com Internet Source	<1 %
12	repository.usd.ac.id Internet Source	<1 %
13	etd.umy.ac.id Internet Source	<1 %
14	repository.upnvj.ac.id Internet Source	<1 %
15	es.scribd.com Internet Source	<1 %
16	repository.umy.ac.id Internet Source	<1 %
17	D L Zariatin, S N Fitria, Y Dewanto, Ismail, D Rahmalina. "The performance of the modified pump motor as a generator on the Pump as Turbine (PAT) power plant", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019 Publication	<1 %
18	eprints.undip.ac.id Internet Source	<1 %
19	Wibowo, Ari. "Sistem Deteksi Keberadaan Manusia pada Tempat Duduk Menggunakan Sensor Passive Infra Red Berderet dan	<1 %

Mikrokontroler Atmega 16", Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia), 2024

Publication

20	docplayer.info Internet Source	<1 %
21	repository.dinamika.ac.id Internet Source	<1 %
22	repository.upnjatim.ac.id Internet Source	<1 %
23	www.djkn.kemenkeu.go.id Internet Source	<1 %
24	pt.scribd.com Internet Source	<1 %
25	artikelpendidikan.id Internet Source	<1 %
26	repository.mercubuana.ac.id Internet Source	<1 %
27	repository2.unw.ac.id Internet Source	<1 %
28	text-id.123dok.com Internet Source	<1 %
29	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
30	ebtke.esdm.go.id Internet Source	<1 %

31	repository.ub.ac.id Internet Source	<1 %
32	adoc.pub Internet Source	<1 %
33	eprints.umm.ac.id Internet Source	<1 %
34	jurnal.unej.ac.id Internet Source	<1 %
35	repository.teknokrat.ac.id Internet Source	<1 %
36	www.sumselnian.com Internet Source	<1 %
37	Charles Ronald Harahap. "APLIKASI PERANCANGAN GENERATOR SINKRON MAGNET PERMANEN MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK", Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 2024 Publication	<1 %
38	eprints.ukmc.ac.id Internet Source	<1 %
39	repository.uhamka.ac.id Internet Source	<1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography On