

**PENGARUH PEMAKAIAN INTI BELITAN STATOR
TERHADAP EFISIENSI
PADA GENERATOR MAGNET PERMANEN FLUKSI
AKSIAL**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Pada Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia**



DISUSUN OLEH :

Nama : RAHMAD DWI CAHYO

NIM : 12524112

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2017

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING
PENGARUH PEMAKAIAN INTI BELITAN STATOR TERHADAP
EFISIENSI PADA GENERATOR MAGNET PERMANEN FLUKSI

AKSIAL

Oleh:

Nama : Rahmad Dwi Cahyo

No. Mahasiswa : 12524112

Yogyakarta, 10 April 2017

Pembimbing I

Pembimbing II



Warindi, ST., M.Eng.



Wahyudi Budi Pramono, S.T., M. Eng

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini.

Nama : Rahmad Dwi Cahyo

No. Mahasiswa : 12524112

Menyatakan bahwa tugas akhir ini adalah hasil pekerjaan Saya sendiri dan sepanjang sepengetahuan Saya, tidak berisi materi yang ditulis oleh orang lain sebagai persyaratan penyelesaian studi di Universitas Islam Indonesia atau perguruan tinggi lain, kecuali bagian-bagian tertentu yang saya ambil sebagai acuan dengan mengikuti tata cara dan etika penulisan karya ilmiah yang lazim. Jika ternyata terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab Saya.

Yogyakarta, 10 April 2017



Rahmad Dwi Cahyo

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI
PENGARUH PEMAKAIAN INTI BELITAN STATOR TERHADAP
EFISIENSI PADA GENERATOR MAGNET PERMANEN FLUKSI

AKSIAL

TUGAS AKHIR

Oleh:

Nama : Rahmad Dwi Cahyo

No. Mahasiswa : 12524112


**Telah dipertahankan di Depan Dewan Penguji Sebagai Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia**

Yogyakarta, Agustus 2017

Tim Penguji,
Wahyudi Budi Pramono, S.T., M.Eng.
Ketua

Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Eng., Ph.D.
Anggota I

Ir.,H. Suyanto
Anggota II



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro
Universitas Islam Indonesia



Dr. Eng. Hendra Setiawan, S.T., M.Eng.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rahmad Allah yang Maha pengasih lagi maha penyayang, dengan ini penulis persembahkan Tugas Akhir ini untuk:

“Bapak, Mamak dan Mas Nico

yang selalu memberikan dukungan dan nasihat yang menjadi semangat tersendiri

untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.”

“Terima kasih atas doa dan segalanya.”

MOTTO

“Ridho Allah Terletak pada keridhoan orang tua dan Kemarahan Allah terletak pada kemarahan orang tua.”

“Masalah itu dihadapi bukan di hindari.”

“Tetap semangat dan jangan lupa senyum”

“Malas dilawan bukan didiamkan, karena malas musuh terbesar dalam dirimu”

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat, hidayah dan inayah-Nya, sehingga penulisan laporan tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Pemakaian Inti Belitan Stator Terhadap Efisiensi Pada Generator Magnet Permanen” dapat penulis selesaikan dengan baik.

Laporan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro pada Universitas Islam Indonesia. Juga sebagai sarana untuk mempraktekkan secara langsung ilmu dan teori yang telah diperoleh selama menjalani masa studi di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Selama mengerjakan tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dukungan, fasilitas dan kemudahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, Tuhan bagi seluruh alam yang melimpahkan rahmat dan karunianya sehingga penulis selalu diberi kesehatan dan kemudahan selama pembuatan tugas akhir ini.
2. Kedua orangtua yang telah memberikan do'a dan restu, serta dorongan materi sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.

3. Bapak Warindi, S.T.,M.Eng selaku dosen pembimbing I dan Bapak Wahyudi Pramono, S.T.,M.Eng selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, serta masukan selama pelaksanaan tugas akhir dan penulisan laporan.
4. Dosen-dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu pengetahuan, motivasi, serta inspirasinya.
5. Keluarga Apartemen Uye, Anis A'yadi Daswir, Gustama C. Nugraha, Alfio, Ibnu Razak, Bambang Dwi Putra, Bang Rei, Dilla Clara Atika, Rendi Septiandi dan Kurcaci yang selalu menemani dalam suka dan duka, terima kasih atas dukungan, semangat, dan doanya. Semoga kita semua menjadi orang sukses.
6. Nadya Perwita Sari yang selalu marah dan memaksa untuk tetap semangat mengerjakan skripsi, terima kasih atas segalanya .
7. Saudara seperjuangan di Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia angkatan 2012, terimakasih banyak atas kenangan, bantuan, dan kebersamaannya. Serta adik – adik tercinta di Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia, terima kasih atas semangatnya.
8. Pihak – pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan seluruhnya yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya penulisan laporan tugas akhir ini semoga Allah SWT memerintahkan malaikatnya untuk mencatat semua amalan kalian.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih banyak terdapat ketidak sempurnaan. Untuk itu penulis menyampaikan

terimakasih atas segala kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk penyempurnaan di masa mendatang.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, 10 April 2017



Penulis

ABSTRAK

Generator ialah suatu mesin yang mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Generator jenis radial membutuhkan transmisi *gearbox* untuk mendapatkan putaran tinggi dan juga membutuhkan energi listrik awal untuk membuat medan magnetnya. Generator magnet permanen aksial tidak membutuhkan transmisi *gearbox* untuk membangkitkan medan magnet, karena medan magnet dibangkitkan dari kutub magnet yang terletak di rotor. Pada generator aksial sebuah stator merupakan bagian terpenting karena dapat divariasikan bentuknya mulai jumlah lilitan yang digunakan ataupun inti belitan pada stator tersebut. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian untuk melihat keluaran dari generator saat generator menggunakan stator yang terdapat inti ferit di dalamnya dengan tidak berinti yang akan dihitung untuk mendapatkan nilai efisiensinya. Pada pengujian ini dilakukan beberapa tahap yakni pengujian tanpa beban, pengujian dengan beban resistif kemudian dilanjutkan dengan pengujian beban induktif. Pada pengujian tanpa inti dihasilkan tegangan keluaran tanpa beban sebesar 107 volt, untuk nilai efisiensi optimum pada pembebanan resistif sebesar 15,3% dan untuk pembebanan induktif sebesar 16,68%. Sedangkan pada pengujian inti tegangan keluaran generator sebesar 129 volt, untuk pembebanan resistif efisiensi dari generator ini sebesar 15,8% dan pembebanan induktif nilai efisiensi dari generator sebesar 19,35%.

Kata kunci : Generator aksial, inti belitan stator, efisiensi

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 Generator Sinkron	8
2.2.2 Generator Magnet Permanen Fluksi Aksial (GMPFA).....	9

2.2.3	Konstruksi Generator Magnet Permanen	10
2.2.4	Prinsip Kerja Generator Magnet Permanen Fluksi Aksial (GMPFA)....	13
2.2.5	Beban Pengujian.....	15
2.2.6	Daya.....	16
2.2.7	Efisiensi	16
2.2.8	Pengujian Tanpa Beban.....	17
2.2.9	Pengujian Berbeban.....	18
BAB III	20
METODE PENELITIAN	20
3.1	Metode Pengujian.....	20
3.1.1	Peralatan Yang Digunakan.....	21
3.1.2	Pengujian GMPFA	26
3.1.2.1	Pengujian Tanpa Beban.....	26
3.1.2.2	Pengujian Berbeban	27
3.2	Blok Diagram	27
BAB IV	29
HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1	Konfigurasi Tanpa Inti Belitan Stator	29
4.1.1	Pengujian Tanpa Beban.....	29
4.1.2	Pengujian Beban Resistif.....	30
4.1.3	Pengujian Beban Induktif	33
4.2	Konfigurasi Dengan Inti Belitan Stator.....	36
4.2.1	Pengujian Tanpa Beban.....	36
4.2.2	Pengujian Beban Resistif.....	36
4.2.3	Pengujian Beban Induktif	39

4.3 Pembahasan.....	42
BAB V.....	45
PENUTUP.....	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN.....	49



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konstruksi Generator (a) Fluks Radial (b) Generator Magnet Permanen Fluksi Aksial [3].....	10
Gambar 2.2 Stator Generator Magnet Permanen Fuksi Aksial(GMPFA) [2].....	11
Gambar 2.3 Stator dengan Inti Ferit.....	12
Gambar 2.4 Rotor GMPFA.....	13
Gambar 2.5 Rangkaian ekivalen generator tanpa beban [7]	18
Gambar 3.1 Rangkaian Pengujian GMPFA.....	21
Gambar 3.2 <i>Variable Speed Drive</i> / Pengatur kecepatan motor	21
Gambar 3.3 Motor Induksi 3 phasa.....	22
Gambar 3.4 <i>Ampere meter</i>	23
Gambar 3.5 <i>Multimeter Digital</i>	23
Gambar 3.6 <i>Tachometer</i>	24
Gambar 3.7 Kabel Jumper.....	24
Gambar 3.8 <i>Cos ϕ Meter</i>	25
Gambar 3.9 RLC Load.....	25
Gambar 3.10 Generator Magnet Permanen Fluksi Aksial (GMPFA).....	26
Gambar 3.11 Skema pengujian tanpa beban	27
Gambar 3.12 Skema pengujian berbeban.....	27
Gambar 3.13 Diagram alir penelitian.....	28
Gambar 4.1 Grafik hubungan arus dan beban.....	30
Gambar 4. 2 Grafik hubungan tegangan dan beban.....	31
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Efisiensi dan Beban.....	32

Gambar 4.4 Grafik Hubungan Arus dan Beban	33
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Tegangan dan Beban	34
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Efisiensi dan Beban.....	35
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Arus dan Beban	37
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Tegangan dan Beban.....	38
Gambar 4.9 Grafik hubungan daya output terhadap efisiensi.....	39
Gambar 4.10 Grafik Hubungan Arus dan Beban	40
Gambar 4.11 Grafik Hubungan Tegangan dan Beban	41
Gambar 4.12 Grafik hubungan Efisiensi dan Beban.....	42



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Generator ialah suatu mesin yang mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Tenaga mekanik digunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar dalam medan magnet maupun sebaliknya memutar magnet di antara kumparan kawat penghantar. Tenaga mekanik dapat berasal dari tenaga panas, tenaga potensial air, motor diesel, motor bensin bahkan ada yang berasal dari motor listrik.

Generator yang banyak dikenal dimasyarakat adalah tipe radial yang memiliki putaran tinggi. Generator jenis ini membutuhkan transmisi *gearbox* untuk mendapatkan putaran tinggi dan juga membutuhkan energi listrik awal untuk membuat medan magnetnya. Selain itu juga sebagian besar turbin angin menggunakan generator *slip-ring* dan *high speed induction* generator, yang mempunyai kekurangan antara lain, biaya tambahan untuk *slip-ring* itu sendiri, perawatan *brush-gears*, termasuk penggantian *brush* pada periode tertentu. Disamping generator dengan tipe radial ada tipe aksial yang lebih sederhana mulai dari bentuk sampai perawatannya.

Generator magnet permanen aksial tidak membutuhkan transmisi *gearbox* untuk membangkitkan medan magnet, karena medan magnet dibangkitkan dari kutub magnet yang terletak di rotor. Generator jenis ini biasa digunakan untuk pembangkit

yang bersifat putarannya rendah, seperti contohnya pembangkit tenaga air yang memanfaatkan kincir air sebagai penggerakannya.

Generator magnet permanen fluksi aksial ini terus dikembangkan agar menghasilkan tingkat efisiensi yang bagus untuk sumber daya alam yang tersedia. Kinerja dari sebuah generator ini dipengaruhi oleh jumlah kutub magnet, semakin banyak kutub magnet maka putaran semakin tinggi sehingga tegangan keluaran cukup besar. Pada generator aksial sebuah stator merupakan bagian terpenting karena dapat divariasikan bentuknya mulai jumlah lilitan yang digunakan ataupun inti belitan pada stator tersebut. Inti belitan pada stator sebuah generator biasanya berupa celah udara, besi, ferit atau material lainnya. Masing-masing inti mempunyai karakteristik berbeda untuk kinerja generator, sehingga output yang dihasilkan generator pun berbeda-beda baik itu tegangan generator maupun yang lainnya sehingga dari keluaran didapatkan nilai efisiensi untuk kinerja generator tersebut. Hal inilah yang menginspirasi penulis untuk mengkaji pengaruh pemakaian inti belitan stator terhadap efisiensi pada generator magnet permanen fluksi aksial.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di sub bab 1.1, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan dibahas dan diselesaikan dalam penelitian ini adalah pengaruh pemakaian inti belitan stator terhadap efisiensi pada generator magnet permanen.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini ditentukan batasan-batasan masalah yang meliputi:

1. Beban yang digunakan adalah beban induktif dan resistif pada RLC Load yang berada di laboratorium Sistem Ketenagaan TE UII.
2. Pengaruh inti belitan stator terhadap efisiensi pada generator.
3. Generator Magnet Permanen Fluksi Aksial (GMPFA) adalah sebuah prototipe.

1.4 Tujuan Penelitian

Mengetahui pengaruh pemakaian inti belitan stator terhadap efisiensi generator magnet permanen fluksi aksial melalui studi eksperimental.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini agar menambah ilmu pengetahuan mengenai efisiensi dan kinerja dari generator magnet permanen fluksi aksial saat stator terdapat inti pada belitannya dan stator tanpa inti belitan.

1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun dengan sistematika penulisan skripsi sebagai berikut:

1. Bagian pendahuluan skripsi, yang berisi halaman judul, halaman pengesahan, halaman motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar dan daftar tabel.
2. Bagian skripsi ini yang terdiri dari lima bab diantaranya adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan diuraikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang penelitian penelitian yang terdahulu dan juga dasar teori mengenai penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini melakukan tahapan-tahapan pengujian generator magnet permanen fluksi aksial dan dicatat output atau parameter yang dicari dan yang akan dibahas.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan hasil dari pengujian generator dan pengaruh frekuensi, tegangan, dan daya terhadap arus dan kemudian dianalisis.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dari apa yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya, keterbatasan penelitian dan saran-saran untuk perbaikan pengembangan lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang pernah ada sebelumnya diantaranya memiliki kesinambungan terhadap penelitian ini. Berikut adalah penelitian yang pernah ada:

Penelitian yang dilakukan oleh Dharma [2] tentang perancangan dan pengujian generator magnet permanen satu fase berbasis motor induksi yang dilakukan pada tahun 2013. Penelitian ini dilakukan dengan mengubah rotor dari suatu motor induksi sehingga didapatkan sebuah generator. Rotor yang digunakan adalah rotor dengan magnet permanen, sehingga generator ini dapat dioperasikan pada putaran rendah. Pada penelitian ini dilakukan beberapa variasi pengujian seperti pengujian tanpa beban, pengujian berbeban pada frekuensi konstan, dan pengujian berbeban dengan penggerak mula konstan. Dari pengujian ini, didapatkan hasil bahwa generator ini mampu menghasilkan tegangan keluaran 31,38 V pada frekuensi 50 Hz dengan kecepatan putaran rotor 333 RPM. Generator ini memiliki karakteristik terhadap beban yakni ketika beban bertambah yang ditandai dengan naiknya arus akan mengakibatkan drop tegangan yang sangat besar karena rugi-rugi pada stator cukup besar. Nilai tegangan keluaran generator dapat lebih dimaksimalkan dengan memaksimalkan kuat medan magnet, jumlah kumparan, serta jumlah lilitan per kumparan pada stator.

Penelitian yang selanjutnya dilakukan oleh Wijaya dkk [4], mengenai perbandingan generator sinkron fluksi aksial magnet permanen tanpa inti besi dengan inti besi pada putaran rendah dan perbandingan bentuk belitan pada stator pada tahun 2014. Terdapat parameter yang akan diuji, yakni membandingkan unjuk kerja generator dengan bentuk belitan lingkaran tanpa inti terhadap unjuk kerja generator dengan belitan segi enam tanpa inti, kemudian dilakukan pengujian unjuk kerja belitan segi enam tanpa inti dengan belitan segi enam dengan penambahan inti pada belitan stator. Dari hasil pengujian, diperoleh data unjuk kerja generator belitan lingkaran tanpa inti terhadap belitan segi enam tanpa inti dengan mendapatkan data kapasitas daya belitan segi enam dan tegangan belitan segi enam yang lebih besar dibanding belitan lingkaran. Pada pengujian belitan stator segi enam tanpa inti dengan inti diperoleh hasil dengan kapasitas daya pada generator dengan inti lebih besar dibanding belitan stator segi enam tanpa inti dengan rugi daya yang semakin besar pula akibat arus *eddy* dan arus histerisis.

Penelitian yang dilakukan oleh Najaseti [5], mengenai pembuatan dan pengujian stator generator fluksi aksial dengan diameter kawat email 1,6 milimeter pada tahun 2010. Pada penelitian sebelumnya telah dirancang generator fluksi aksial dengan magnet permanen untuk turbin angin daya 1000 watt, namun dalam pengujiannya ternyata masih belum sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Dengan putaran 400 RPM hanya bisa menghasilkan ± 200 watt saja. Sedangkan putaran yang diinginkan dengan kecepatan 400 RPM diharapkan menghasilkan daya 1000 watt. Dalam pembuatan generator sebelumnya masih banyak kekurangan yang

harus di perbaiki, seperti tebalnya lapisan stator sehingga membuat jarak antara rotor dan stator semakin jauh sehingga membuat gaya tarik-menarik medan magnet menjadi lemah, dan penempatan magnet yang kurang baik, sehingga membuat jarak antara magnet saling berselisihan. Dari hasil pembuatan dan pengujian stator generator fluksi aksial dengan diameter kawat email 1,6 mm dapat ditarik kesimpulan bahwa pada pengujian generator dengan beban 200 watt dihasilkan tegangan 10 volt pada putaran 225 RPM dan 14 volt pada putaran 291 RPM, pada beban 300 watt dihasilkan tegangan 11,5 volt pada putaran 232 RPM dan 15 volt pada putaran 289 RPM, pada beban 400 watt dihasilkan tegangan 11,6 volt pada putaran 223 RPM dan 18 volt pada putaran 326 RPM , pada beban 500 watt dihasilkan tegangan 14 volt pada putaran 258 RPM dan 24,4 volt pada putaran 404 RPM. Dari hasil pembuatan dan pengujian stator generator fluksi aksial dengan diameter kawat email 1,6 mm dapat ditarik kesimpulan dengan mengubah lapisan fiberglass dan diameter kawat email telah dihasilkan stator generator fluksi aksial putaran rendah yang diharapkan bisa menghasilkan daya 1000 watt. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang pengaruh luas permukaan pada kumparan, pengaruh panjang penghantar, pemilihan diameter kawat email, jarak antar *coil*, dan jumlah lilitan yang digunakan sehingga diharapkan bisa menghasilkan daya yang sesuai dengan perencanaan dan perhitungan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Generator Sinkron

Generator sinkron adalah sebuah mesin listrik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Dikatakan sinkron karena banyaknya putaran rotor sama dengan putaran magnet stator [5].

Generator sinkron dapat dibedakan dengan generator sinkron 1 fasa dan generator sinkron 3 fasa yang memiliki bagian yaitu rotor (bergerak) dan stator (diam). Perbedaan generator sinkron tanpa magnet permanen dengan generator sinkron magnet permanen terletak pada eksitasinya, jenis magnet permanen gulungan rotor diganti oleh magnet permanen (*NdFeB*) sehingga medan eksitasi dapat dibangkitkan oleh magnet permanen itu sendiri [3].

Prinsip kerja generator berdasarkan hukum induksi *Faraday* yang menyatakan bahwa sebuah magnet yang digerakan dengan cepat melalui suatu konduktor belitan akan menginduksikan suatu tegangan ke belitan itu, yang besarnya sama dengan kecepatan magnet itu. Bilamana belitan itu merupakan suatu rangkaian tertutup, tegangan induksi itu akan menyebabkan mengalirnya arus listrik. Arah arus listrik itu akan sedemikian rupa, sehingga akan menghasilkan gaya yang akan berlawanan dengan arah gerakan semula. Hukum *Faraday* dapat dinyatakan dengan:

$$e = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (2.1)$$

Dengan:

e = GGL induksi yang dibangkitkan (volt)

N = Banyaknya jumlah lilitan

$\Delta\phi$ = Perubahan fluks magnetik (Wb)

Δt = Perubahan waktu (detik)

Berdasarkan rumus hukum *Faraday* di atas terdapat tiga hal yang menyebabkan Gaya Gerak Listrik (GGL), yaitu:

1. Banyaknya jumlah lilitan kawat atau kumparan.
2. Kecepatan magnet dalam menginduksi kumparan
3. Kekuatan magnet yang digunakan.

2.2.2 Generator Magnet Permanen Fluksi Aksial (GMPFA)

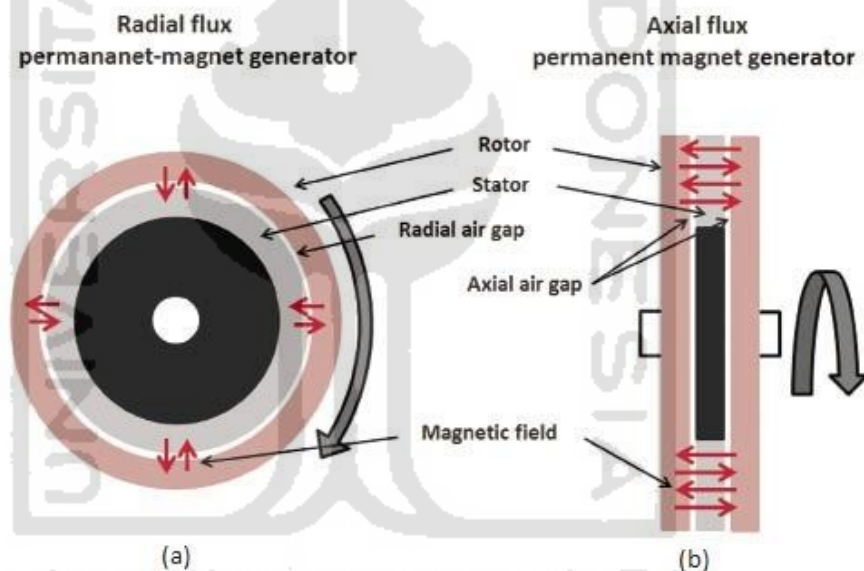
Generator magnet permanen fluksi aksial ini adalah sebuah mesin yang dapat merubah energi mekanis menjadi energi listrik yang menghasilkan arus bolak-balik yang terdiri dari stator dan rotor dengan arah aliran fluks yang memotong stator secara aksial. Generator fluksi aksial ini mempunyai ukuran yang jauh lebih kecil dari generator fluks radial yang lainnya dan biasanya dimanfaatkan untuk pembangkitan tenaga angin. Beberapa kelebihan generator fluks aksial dibandingkan dengan generator fluks radial yang lain, seperti :

1. Generator fluks aksial memiliki panjang rotor yang lebih pendek pada sumbu aksialnya, sehingga konstruksi mesin menjadi lebih pendek dan lebih kompak.
2. Adanya tingkat efisiensi yang cukup tinggi dikarenakan generator fluks aksial menggunakan magnet permanen, sehingga rugi-rugi daya pada stator tidak terlalu besar.
3. Memiliki densitas daya yang lebih tinggi dengan ukuran yang lebih kecil.

4. Memiliki struktur mesin yang lebih kuat dibandingkan dengan generator fluks radial.[3]

2.2.3 Konstruksi Generator Magnet Permanen

Secara garis besar konstruksi dari generator magnet permanen atau generator fluks aksial sama dengan generator konvensional atau generator fluks radial yakni terdiri dari dua komponen yaitu stator dan rotor yang membedakan terletak pada aliran fluksnya dan diameter aksial lebih besar agar memperbesar daya keluarannya.



Gambar 2.1 Konstruksi Generator (a) Fluks Radial (b) Generator Magnet Permanen

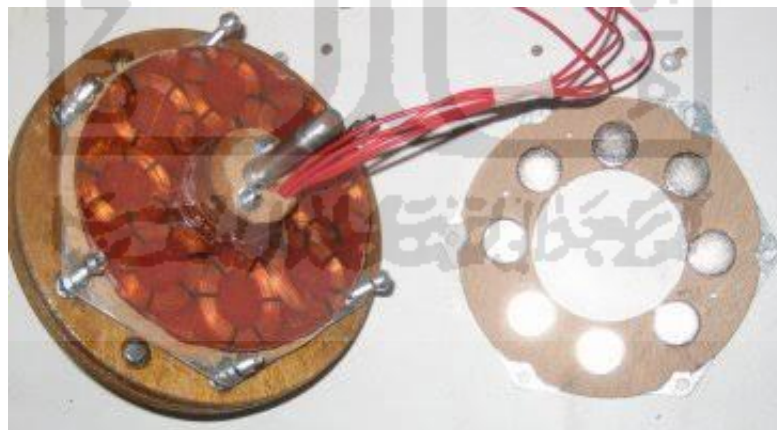
Fluksi Aksial [3]

Pada gambar 2.1 terlihat perbedaan bentuk generator jenis radial dengan jenis aksial, pada generator jenis aksial dua buah rotor yang berbentuk cakram di kopling langsung dengan poros dan mengapit stator. Sedangkan pada generator fluks radial letak rotor berada di dalam kumparan stator. Dari konstruksi tersebut juga akan

mempengaruhi arah fluks dari generator, pada generator aksial arah fluksnya sejajar dengan dengan poros (aksial), sedangkan pada jenis generator radial arah fluksnya mengarah secara menyebar (radial).

A. Stator

Stator adalah bagian yang diam dari sebuah generator. Secara garis besar prinsip generator magnet permanen sama dengan generator konvensional, tetapi untuk konstruksinya yang membedakan stator pada generator magnet permanen lebih melebar daripada generator konvensional [6]. Stator terdiri dari beberapa koil atau kumparan dari kawat tembaga yang dilapisi isolator, di mana jumlah kumparan tersebut akan menentukan besarnya tegangan yang dikeluarkan generator. Kumparan-kumparan tersebut dipasang secara seri. Stator berfungsi sebagai kumparan jangkar yang menghasilkan listrik saat terpotong medan magnet dari rotor.



Gambar 2.2 Stator Generator Magnet Permanen Fuksi Aksial(GMPFA) [2]

Dapat dilihat pada gambar 2.2 stator GMPFA tersebut tidak terdapat inti dalam belitannya atau kumparannya. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui kawat penghantar atau kumparan yang terhubung seri pada stator.

B. Stator dengan inti ferit

Stator dengan jenis inti ferit terbuat dari bahan bubuk keramik yang dipadatkan.



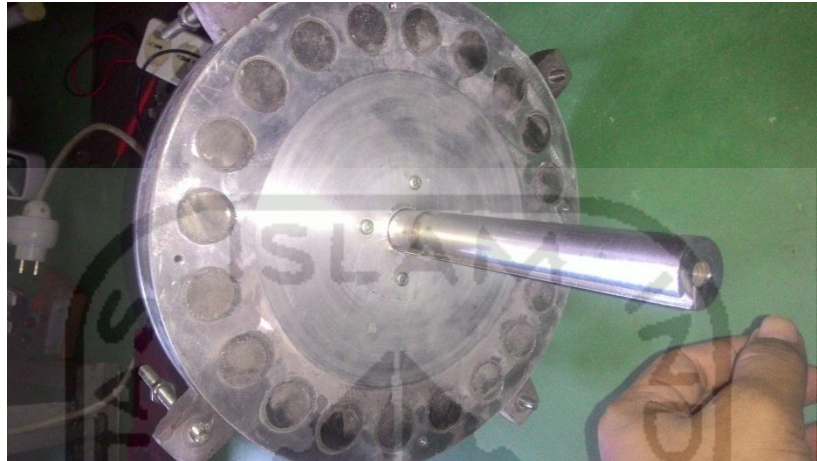
Gambar 2.3 Stator dengan Inti Ferit

Berdasarkan pada Gambar 2.3 stator dengan inti ferit dalam belitannya akan membantu menguatkan sifat magnetis pada alternator sehingga keluaran pada generator cukup besar. Jumlah kutub pada stator dengan inti ferit dalam belitannya berjumlah 20 kutub.

C. Rotor

Rotor adalah bagian bergerak dari sebuah generator yang menghasilkan medan magnet. Perputaran rotor akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh magnet permanen. Kutub magnet antara rotor yang berhadapan dibuat berlawanan arahnya, agar arah fluks magnetnya memotong sempurna terhadap *coil* stator. Arah fluks

magnet yang dihasilkan tidak menyebar, melainkan mengarah secara aksial atau sejajar dengan poros.



Gambar 2.4 Rotor GMPFA

Rotor GMPFA ini menggunakan magnet dengan jenis *Neodymium* sebagaimana pada gambar 2.4, magnet *Neodymium* berbentuk bulat dengan jumlah 20 buah magnet. Magnet permanen *Neodymium* mempunyai keuntungan kuat secara fisik dan sifat kemagnetannya permanen (sulit hilang)[3].

2.2.4 Prinsip Kerja Generator Magnet Permanen Fluksi Aksial (GMPFA)

Prinsip kerja dari generator fluksi aksial tidak berbeda jauh dengan generator fluksi radial pada umumnya yakni merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Semua prinsip kerja generator dibuat berdasarkan hukum *faraday*, tidak terkecuali generator jenis ini. Gaya Gerak Listrik (GGL) yang dibangkitkan dapat diperbesar dengan memodifikasi bagian-bagian dari genertaor. Modifikasi pada rotor, peningkatan GGL yang dihasilkan dapat dicapai dengan cara memperluas permukaan permanen magnet yang digunakan sehingga semakin banyak pula fluks magnetik

untuk memotong kumparan kumparan stator. Dari sisi stator dapat dilakukan modifikasi dengan cara memperbanyak jumlah belitan stator atau kumparan dan menambahkan inti pada kumparannya. Di mana kumparan tersebut dihubung secara seri untuk generator 3 fase kumparan dihubung seri menghasilkan 3 fase tegangan. Sehingga masing-masing fase terdiri dari $n/3$ kumparan yang dipasang seri dengan n merupakan banyaknya koil atau kumparan, namun jika dirancang 1 fase maka fase tersebut terdiri dari n kumparan yang disusun seri, atau dengan kata lain semua kumparan disusun seri yang bermuara pada satu titik [7].

Garis gaya medan magnet yang dihasilkan magnet permanen pada rotor akan memotong kumparan yang ada pada stator. Perpotongan garis gaya medan magnet dengan kumparan stator akan menghasilkan fluks magnetis yang melingkupi kumparan kawat stator. Pada saat rotor generator berputar, terjadi perubahan pada sudut perpotongan garis gaya medan magnet rotor dengan kumparan jangkar di stator dan akan menghasilkan tegangan induksi. Hubungan frekuensi terhadap kecepatan putar generator 1 fase dapat dibuat dengan persamaan berikut:

$$f = \frac{n p}{120} \quad (2.2)$$

Dengan:

f = frekuensi generator [Hz]

n = kecepatan putar generator [RPM]

p = jumlah kutub magnet

Dari rumus di atas dapat dilihat jumlah kutub magnet akan mempengaruhi perubahan dari kecepatan putar generator. Semakin banyak jumlah kutub magnet yang digunakan maka putaran generator akan semakin lambat yang nantinya akan mempengaruhi keluaran generator tersebut. Di mana frekuensi yang dihasilkan adalah frekuensi AC yakni 50 Hz.

2.2.5 Beban Pengujian

1. Beban Resistif

Beban resistif (R) yaitu beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm saja (*resistance*), seperti elemen pemanas (*heating* elemen) dan lampu pijar. Beban jenis ini hanya mengonsumsi beban aktif saja dan mempunyai faktor daya sama dengan satu. Sehingga apabila untuk mencari nilai daya dari beban ini dapat dirumuskan ada persamaan:

$$P = V.I \quad (2.3)$$

Dengan:

P = daya nyata (W)

V = tegangan (V)

I = arus (A)

2. Beban Induktif

Beban Induktif (L) yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti seperti *coil*, transformator, dan selenoida. Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (*phasa shift*) pada arus sehingga bersifat *lagging*. Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis akan

mengakibatkan fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan daya reaktif.

2.2.6 Daya

Daya adalah energi persatuan waktu. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan watt atau *Hourspower* (HP). Satu HP sama dengan 746 watt. Sedangkan watt merupakan unit daya listrik hasil perkalian dari ampere dan tegangan. Daya dinyatakan dengan huruf P. Pada sistem listrik AC satu fase dirumuskan pada persamaan:

$$P = V.I.\cos \phi \quad (2.4)$$

Dengan :

P = daya aktif yang diserap beban (watt)

V = tegangan yang mencatu beban (volt)

I = arus yang mengalir pada beban (A)

ϕ = sudut antara arus dan tegangan

Dari persamaan 2.4 dapat diketahui besar kecilnya daya dapat dihitung dengan menghitung tegangan dan arus yang dipengaruhi oleh $\cos \phi$, semakin besar tegangan maka semakin besar pula daya yang dihasilkan.

2.2.7 Efisiensi

Efisiensi dari sebuah generator merupakan hubungan antara daya output dengan daya input suatu generator. Efisiensi dari sebuah generator tidak mencapai 100% bahkan lebih dikarenakan adanya rugi-rugi pada saat terjadinya konversi energi

dari energi mekanis menjadi listrik. Persamaan dari efisiensi generator dapat dirumuskan dengan :

$$\eta = \frac{P_{output (G)}}{P_{input(M)}} \times 100\% \quad (2.5)$$

$$P_{input} = P_{output} + P_{loss} \quad (2.6)$$

Dengan,

$P_{output (G)}$ = daya keluaran generator

$P_{input(M)}$ = daya input generator

P_{loss} = rugi-rugi daya

Untuk persamaan di atas adalah persamaan efisiensi sistem (generator) yang dipengaruhi oleh P_{output} daya keluaran generator yang hasilnya dapat dihitung dengan perkalian tegangan dan arus dan bisa juga diukur dengan alat watt meter. Selain itu efisiensi dipengaruhi juga oleh P_{input} yang didapat dari perhitungan antara P_{output} dengan P_{loss} .

2.2.8 Pengujian Tanpa Beban

Apabila sebuah mesin sinkron difungsikan sebagai alternator dengan diputar pada kecepatan sinkron maka pada kumparan jangkar stator akan diinduksikan tegangan tanpa beban (E_a). Saat tanpa beban, tidak ada arus mengalir di stator, sehingga tidak ada pengaruh dari reaksi jangkar. Untuk pengujian ini didapatkan hubungan pada persamaan berikut :

$$E_o = k.n. \Phi \quad (2.7)$$

Dengan,

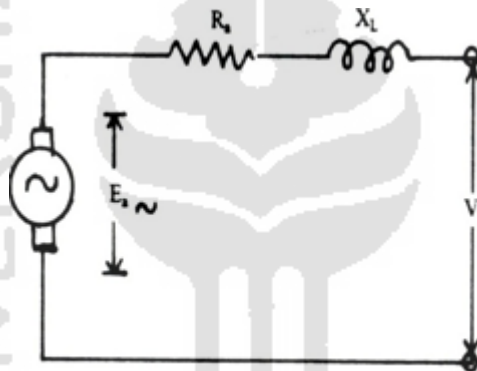
E_o = Tegangan saat tanpa beban (volt)

k = Konstanta mesin

n = Kecepatan putar sinkron (RPM)

Φ = fluks yang dihasilkan oleh magnet (Wb)

Kondisi alternator tanpa beban dapat digambarkan dalam rangkaian ekivalennya pada gambar 2.4 sebagai berikut:



Gambar 2.5 Rangkaian ekivalen generator tanpa beban [7]

Berdasarkan gambar 2.5 tampak bahwa tegangan keluarannya hanya dipengaruhi oleh R_a (resistansi jangkar/tahanan stator) dan X_L (fluks bocor), namun karena tanpa beban di mana tidak ada arus yang mengalir, sehingga besarnya tegangan terminal akan sama dengan GGL yang dibangkitkan [3].

2.2.9 Pengujian Berbeban

Dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar bersifat reaktif karena ini dinyatakan sebagai reaktansi dan disebut reaktansi magnetisasi (X_m). Reaktansi pemagnet (X_m)

ini bersama-sama dengan reaktansi fluks bocor (X_a) dikenal sebagai reaktansi sinkron (X_s). Hubungan yang terjadi antara GGL keluaran, tegangan terminal, resistansi jangkar dan reaktansi dapat ditulis [3]:

$$E_a = V + I \cdot R_a + jI \cdot X_s \quad (2.9)$$

$$X_s = X_m + X_a \quad (2.10)$$

Dengan,

E_a = Tegangan induksi pada jangkar (V)

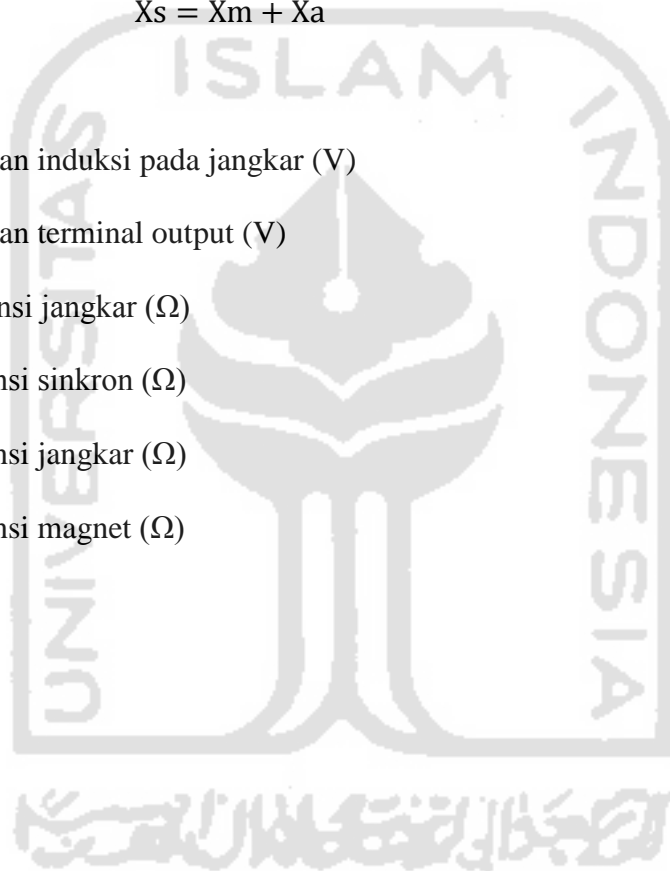
V = Tegangan terminal output (V)

R_a = Resistansi jangkar (Ω)

X_s = Reaktansi sinkron (Ω)

X_a = Reaktansi jangkar (Ω)

X_m = Reaktansi magnet (Ω)



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Pengujian

Adapun metode pengujian ini dilakukan dengan bertahap dimulai dari merangkai semua peralatan dan alat ukur yang menunjang jalannya pengujian ini. Pengujian generator dilakukan menggunakan alat ukur yang sebagian besar peralatan yang digunakan meminjam dari Laboratorium Ketenagaan Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia. Setelah semua terangkai pengujian diawali dengan pengujian tanpa beban yang kemudian dilanjutkan dengan menguji pada konfigurasi stator tanpa inti, pengujian dilakukan dengan menggunakan beban resistif dan induktif yang nantinya dicatat hasil keluaran generator yakni tegangan, arus, daya, dan RPM baik itu inputan generator yang berasal dari motor induksi maupun keluaran generator itu sendiri. Tahapan selanjutnya ke konfigurasi kedua yakni stator dengan inti belitan stator (inti ferit) pada konfigurasi ini tidak jauh berbeda dengan konfigurasi pertama yaitu mencatat inputan dan keluaran generator. Setelah semua tahapan selesai hasil yang dicatat tadi akan dihitung semua mulai dari daya keluaran generator, daya pada generator tidak diukur karena minimnya alat yang berada di Laboratorium, sehingga perlu dihitung daya keluaran generator berdasarkan perkalian tegangan, arus dan $\cos \phi$. Setelah mendapatkan daya keluaran generator maka akan dilakukan perhitungan efisiensi dari sistem yang didapat dari pembagian nilai output dengan nilai input dikali 100%. Gambar rangkaian pengujian generator magnet pemanen fluksi aksial dapat dilihat pada gambar 4.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 Rangkaian Pengujian GMPFA

3.1.1 Peralatan Yang Digunakan

1. Pengatur Kecepatan Motor

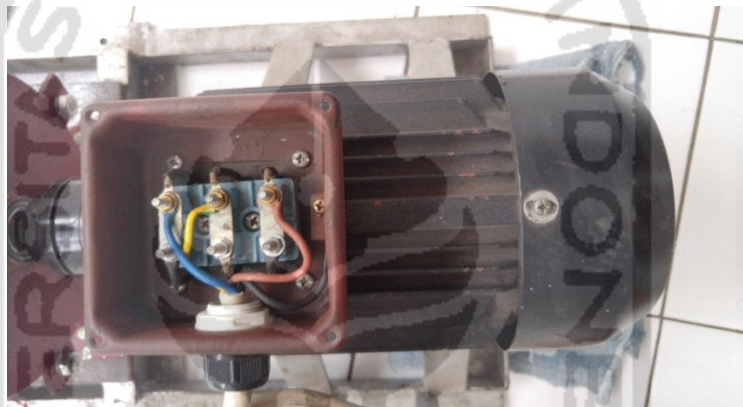
Pengatur kecepatan motor adalah suatu alat kontrol yang dengan digunakan untuk mengatur kecepatan putar dari sebuah motor AC 3 fasa agar dapat berputar sesuai kecepatan yang diinginkan. Pengatur kecepatan motor atau VSD (*Variable Speed Drive*) ini memiliki prinsip kerja yakni mengubah tegangan AC dari jala-jala menjadi tegangan DC dan kemudian diubah lagi ke tegangan AC tetapi dengan frekuensi yang diinginkan.



Gambar 3.2 *Variable Speed Drive* / Pengatur kecepatan motor

2. Motor Induksi 3 phasa

Motor sebagai penggerak utama yang digunakan pada penelitian ini adalah motor induksi 3 phasa yang telah memenuhi spesifikasi, sesuai dengan generator yang digunakan membutuhkan putaran sebesar 300 RPM dan putaran dari motor tersebut sebesar 1500 RPM yang nantinya putaran tersebut akan diatur oleh VSD atau *inverter*.



Gambar 3.3 Motor Induksi 3 phasa

3. Amperemeter

Amperemeter adalah alat ukur yang digunakan khusus untuk mengukur arus. Penggunaan *amperemeter* yakni untuk membaca arus yang kecil pada keluaran generator karena pada skala pada *wattmeter* terbaca 10 A. Sehingga diperlukan *amperemeter* analog yang skalanya variasi dari 1- 25 A. *Amperemeter* ini adalah *amperemeter* AC.



Gambar 3.4 Ampere meter

4. *Multimeter Digital*

Merupakan alat ukur digital yang di dalamnya sudah mencakup *amperemeter, voltmeter, ohmmeter, kwhmeter, wattmeter, cosphimeter.*

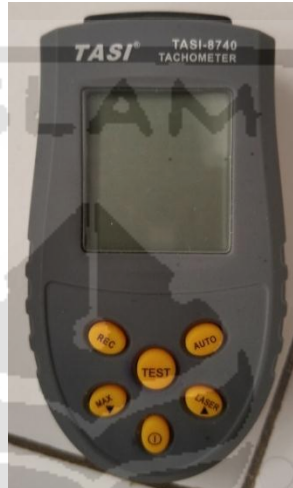
Alat ini dihubung paralel ke alat yang akan diukur.



Gambar 3.5 *Multimeter Digital.*

5. *Tachometer*

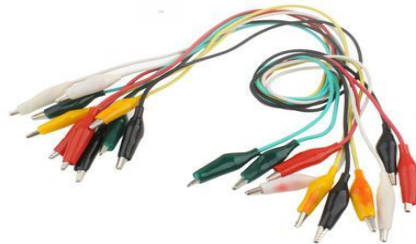
Tachometer adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur kecepatan putaran atau rotasi dari mesin. Kecepatan putaran ini biasanya dinyatakan dalam satuan RPM (*revolutions per minute*).



Gambar 3.6 *Tachometer*

6. Kabel Jumper

Digunakan untuk menghubungkan antara generetaor dengan alat ukur dan beban.



Gambar 3.7 Kabel Jumper

7. *Cos ϕ Meter*

Digunakan untuk mengukur faktor daya dari beban inductor.



Gambar 3.8 *Cos ϕ Meter*

8. *RLC Load*

Digunakan sebagai beban dalam pengujian ini yang di dalamnya sudah terdapat beban *Resistif, Induktif, dan Kapasitif*.



Gambar 3.9 *RLC Load*

9. Generator Magnet Permanen Fluksi Aksial

Generator yang akan diuji adalah generator magnet permanen fluksi aksial dengan jumlah kutubnya sebanyak 20 buah kutub, keliling dari generator ini sebesar 60 cm dimana diameter magnet yang digunakan sebesar 2cm dan jenis magnet nya adalah *Neodymium*, untuk diameter dari sator dan rotornya sebesar 19 cm.



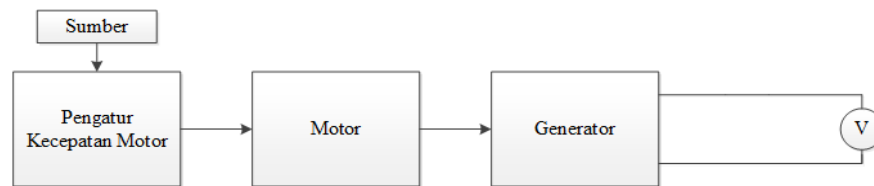
Gambar 3.10 Generator Magnet Permanen Fluksi Aksial (GMPFA)

3.1.2 Pengujian GMPFA

3.1.2.1 Pengujian Tanpa Beban

Generator Magnet Permanen Fluksi Aksial yang telah di kopling dengan motor kemudian dirangkai keluaran generator kepada alat ukur yang telah ada di Laboratorium Sistem Ketenagaan TE UII. Kemudian RPM diatur sesuai dengan dengan persamaan.

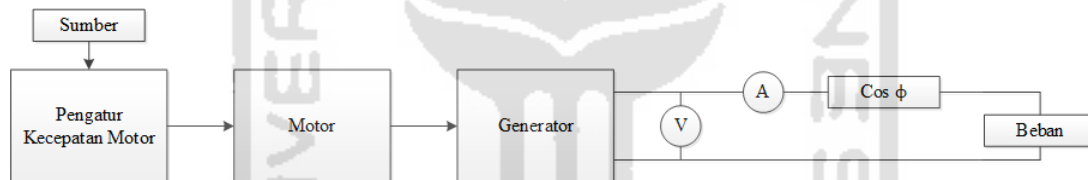
Hasil dari pengujian ini dicatat agar mengetahui tegangan awal dari generator saat tidak diberi beban dan dilakukan sebanyak 2 kali konfigurasi dan 3 kali pengujian.



Gambar 3.11 Skema pengujian tanpa beban

3.1.2.2 Pengujian Berbeban

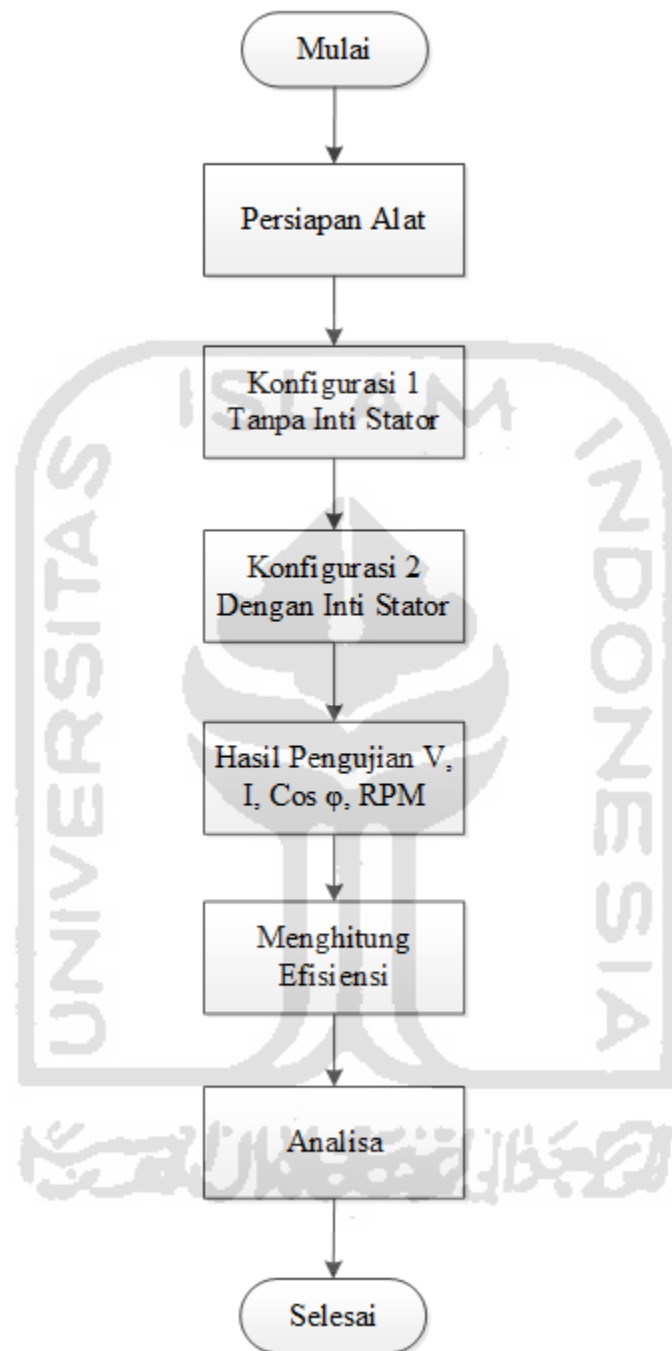
Pengujian berbeban ini bertujuan untuk melihat kinerja generator magnet permanen fluksi aksial saat diberi beban induktif dan resistif yang nantinya diamati keluaran generator pada saat stator dengan inti dan stator tanpa inti untuk dihitung efisiensi dari generator. Yang di mana kecepatan mula generator sama saat tanpa beban.



Gambar 3.12 Skema pengujian berbeban

3.2 Blok Diagram

Adapun langkah-langkah pengujian GMPFA dapat dilihat dari gambar diagram alir dibawah ini :



Gambar 3.13 Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian generator magnet permanen ini untuk melihat efisiensi generator magnet permanen fluksi aksial saat stator generator terdapat inti dan tidak ada inti. Pada pengujian ini penggerak mula dari generator adalah motor induksi yang diatur kecepatannya menggunakan pengatur kecepatan motor, dua buah stator yang berbeda jenisnya, dan alat ukur seperti *multimeter*, *tachometer*, *ampermeter*, dan *cos phi meter* untuk mengukur hasil keluaran dari generator.

Pada pengujian ini akan dilihat perbedaan keluaran generator pada saat generator dengan inti belitan stator dan tanpa inti belitan stator. Adapun data yang dicatat yakni tegangan, arus, dan daya. Beban yang digunakan adalah *RLC load* di laboratorium ketenagaan Teknik Elektro UII, yang nantinya keluaran ini akan dihitung untuk mendapatkan nilai efisiensi sistem generator. Tahapan pengujian ini dilakukan sebanyak tiga kali, yakni tanpa beban, berbeban resistif, dan beban induktif dengan dua kali konfigurasi yaitu konfigurasi tanpa inti belitan stator dan dengan inti belitan stator yang masing masing pengujian inidilakukan sebanyak 3 kali pengujian.

4.1 Konfigurasi Tanpa Inti Belitan Stator

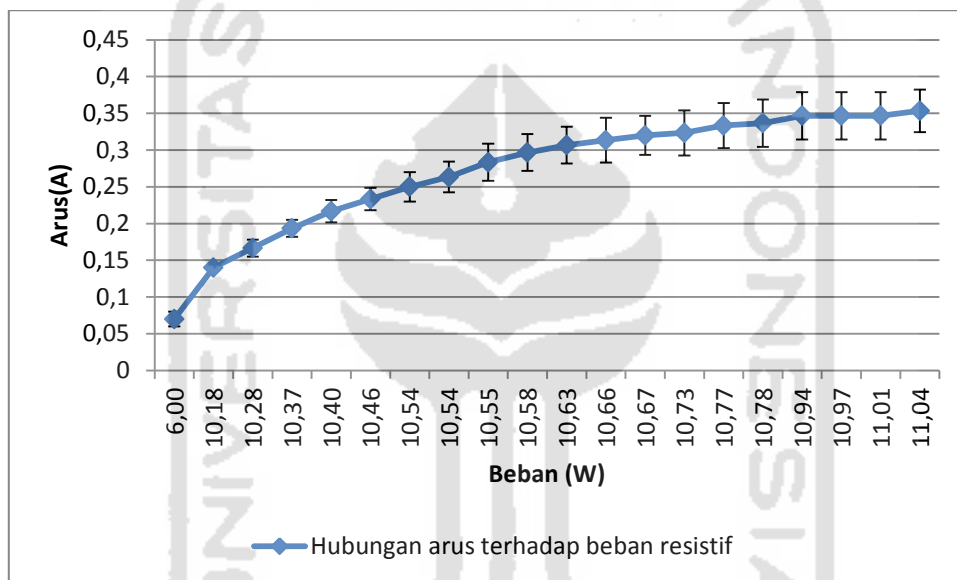
4.1.1 Pengujian Tanpa Beban

Pada pengujian ini menguji keluaran generator dalam konfigurasi tanpa inti belitan stator saat tanpa beban. Pengujian ini akan dilakukan sebanyak 3 kali pengujian, sehingga akan terlihat rata-rata keluaran murni generator adalah sebesar 107 Volt.

4.1.2 Pengujian Beban Resistif

1. Hubungan Arus dan Beban

Pada pengujian ini digunakan beban *RLC Load* dan dilakukan sebanyak 3 kali untuk melihat keluaran dari generator saat diberi beban resistif dengan jumlah beban sebanyak 20 panel beban resistif. Berikut adalah data grafik dari hubungan arus terhadap beban.

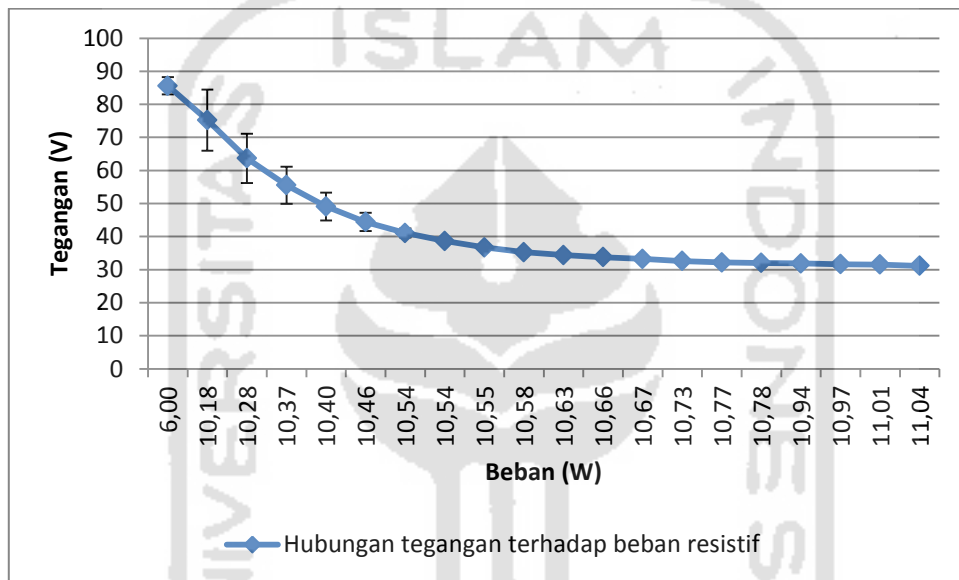


Gambar 4.1 Grafik hubungan arus terhadap beban resistif

Dapat dilihat dari hasil Gambar grafik 4.1 dari rata-rata 3 kali pengujian hubungan arus terhadap beban tersebut adalah arus akan terus naik seiring dengan bertambahnya beban pada pengujian, begitu juga sebaliknya apabila beban berkurang maka arus yang mengalir juga berkurang. Arus pada pengujian ini mencapai puncaknya pada 0,35 A dengan beban 11,04 W. Arus pada pengujian ini belum mencapai arus maksimum karena keterbatasan beban pada pengujian.

2. Hubungan Tegangan dan Beban

Pada pengujian ini akan dilihat pengaruh perubahan tegangan terhadap perubahan beban. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban resistif pada RLC Load. Dari pengujian yang dilakukan diperoleh data seperti pada grafik berikut :



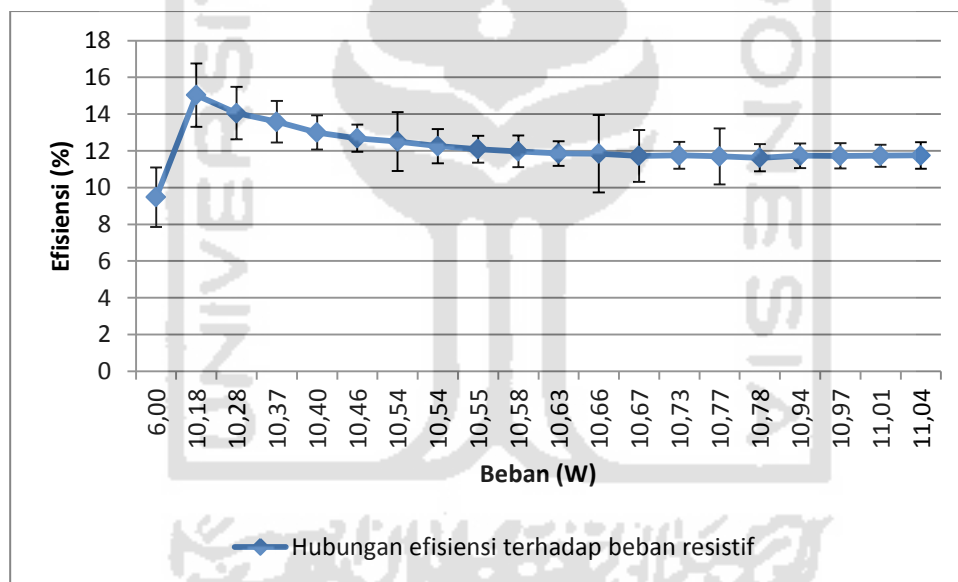
Gambar 4. 2 Grafik hubungan tegangan terhadap beban resistif

Dari Gambar 4.2 diatas, hubungan antara tegangan terhadap beban tersebut dapat dikatakan bahwa tegangan akan terus menurun seiring dengan bertambahnya nilai beban. Grafik penurunan nilai tegangan berbentuk tidak linier karena adanya drop tegangan yang terjadi saat pembebanan, dapat dilihat ketika tanpa beban, tegangan keluaran rata-rata sebesar 107 volt, saat diberi beban sebesar 6 watt tegangan turun menjadi sebesar 85 volt. Sampai pada beban terakhir tegangan terus menurun menjadi sebesar 31,1 volt. Dari gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa rata-rata pengujian ini sesuai

dengan persamaan 2.1 bahwa ketika kecepatan berkurang karna pembebanan maka GGL yang ditimbulkan oleh stator akan berkurang.

3. Hubungan Efisiensi dan Beban

Pada pengujian ini adalah melihat efisiensi sistem generator pada saat generator dalam konfigurasi tanpa inti stator dengan pembebanan resistif. Efisiensi ini di dapat berdasarkan perhitungan keluaran generator sesuai pada persamaan 2.5. Dari perhitungan yang dilakukan didapatkan data pada grafik berikut:



Gambar 4.3 Grafik hubungan efisiensi terhadap beban resistif

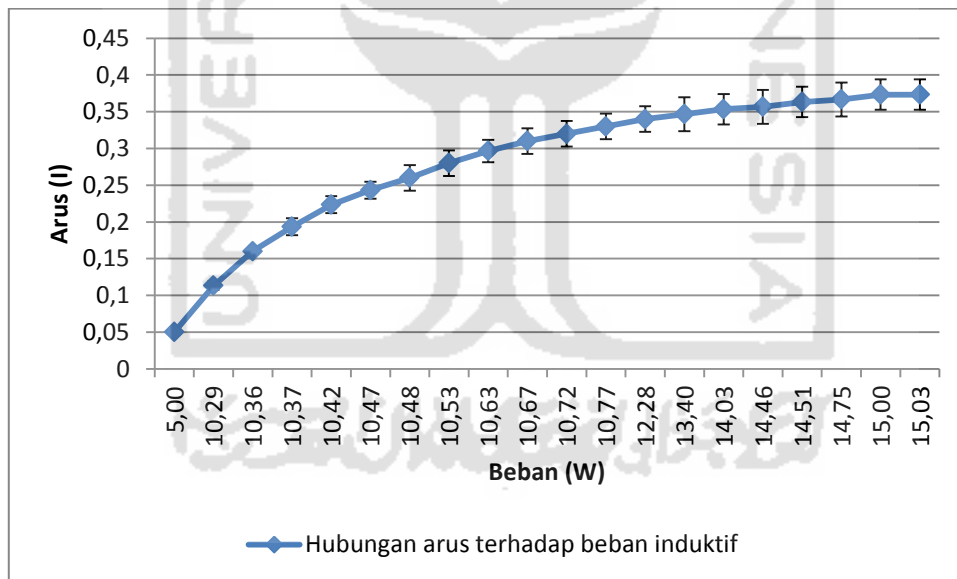
Dilihat dari Gambar 4.3 saat pembebanan resistif dengan konfigurasi tanpa inti belitan stator efisiensi generator awalnya meningkat pada beban pertama 6 watt dan beban kedua 10,18 watt dengan efisiensinya 9,4 % dan 15,3 % tetapi saat pembebanan ketiga sampai beban terakhir efisiensi

menurun sampai 11,74 %, penurunan ini atau nilai efisiensi yang kecil ini dipengaruhi oleh rugi-rugi motor.

4.1.3 Pengujian Beban Induktif

1. Hubungan Arus dan Beban

Pada pengujian ini masih menggunakan konfigurasi stator tanpa inti dengan pembebanan induktif. Tahapan pengujian ini tidak jauh berbeda dengan pembebanan resistif, dimulai dengan pengukuran sebanyak 3 kali untuk melihat keluaran dari generator saat diberi beban induktif dengan jumlah beban sebanyak 20 panel beban induktif pada *RLC Load*. Dari pengujian ini didapatkan data pada grafik berikut ini:



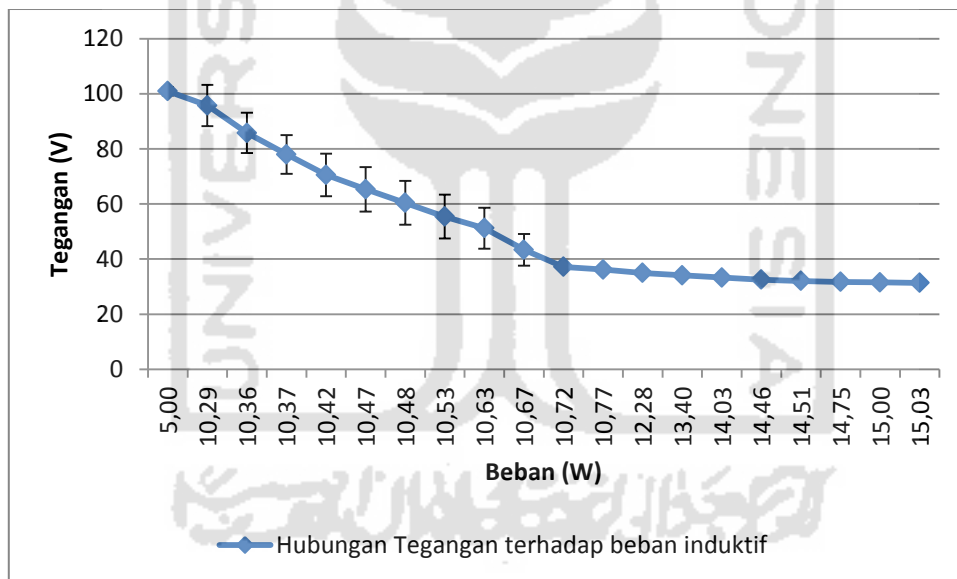
Gambar 4.4 Grafik hubungan arus terhadap beban induktif

Dari Gambar grafik 4.4 menunjukkan bahwa hubungan arus terhadap beban. Beban bertambah maka arus akan meningkat pula, kenaikan ini walaupun tidak linier tetapi bertahap mulai beban 5 watt sampai beban 15,03

watt, ketika beban 5 watt, arus pada generator bernilai 0,05 ampere dan saat beban bernilai 15,03 watt, arus bernilai 0,37 Ampere. Sesuai pada persamaan 2.4 arus berbanding lurus dengan daya, dan untuk beban induktif terdapat pengaruh nilai $\cos \phi$.

2. Hubungan Tegangan dan Beban

Pada pengujian ini akan dilihat hubungan tegangan terhadap beban. Pembebanan masih menggunakan beban induktif pada RLC *Load* dengan konfigurasi stator tanpa inti. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan data pada grafik sebagai berikut:



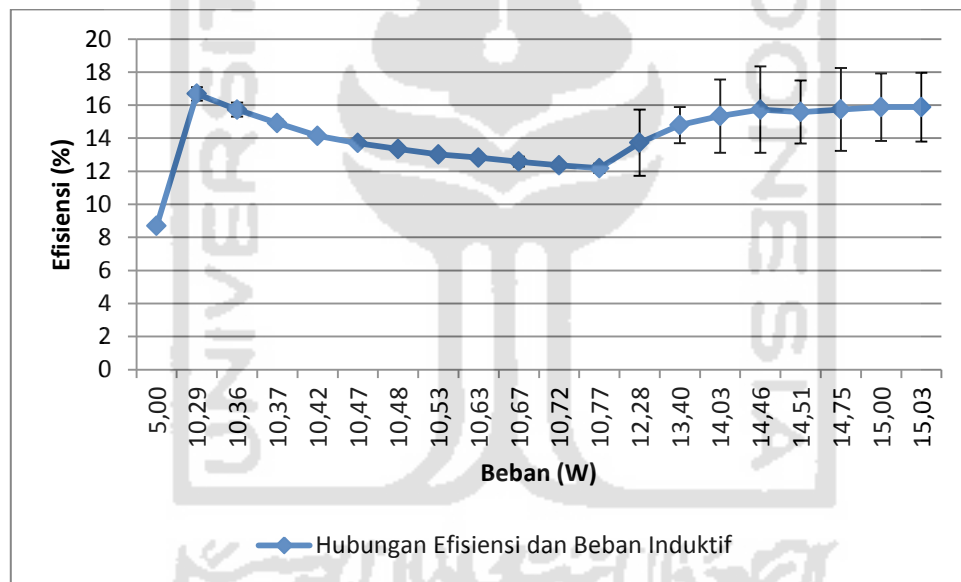
Gambar 4.5 Grafik hubungan tegangan terhadap beban induktif

Dari Gambar grafik 4.5 dapat dilihat bagaimana pengaruh pembebanan induktif dengan tegangan pada generator dengan konfigurasi tanpa inti belitan stator, tegangan saat bernilai 100,9 volt dengan beban bernilai 5 watt sampai

ke tegangan 31,3 volt dengan beban bernilai 15,03 watt ini mengalami penurunan karena pengaruh pembebanan yang bertahap naik.

3. Hubungan efisiensi dan Beban

Pada pengujian ini adalah melihat efisiensi sistem generator pada saat generator dalam konfigurasi tanpa inti stator dan pembebanan induktif. Efisiensi ini di dapat berdasarkan perhitungan keluaran generator sesuai pada rumus 2.5. Dari perhitungan yang dilakukan di dapatkan data pada grafik berikut:



Gambar 4.6 Grafik hubungan efisiensi terhadap beban

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat grafik hubungan efisiensi dan beban, nilai efisiensi sistem saat dibebani induktif terus meningkat, saat pembebanan pertama dan kedua dengan beban 5 watt dan 10,29 watt, nilai efisiensi sistem sebesar 8,96 % dan 16,68 % sedangkan pada beban ketiga nilai efisiensi menurun sampai ke beban 12,28 watt. Efisiensi meningkat kembali sampai ke

beban terakhir yang bernilai 15,03 watt dengan efisiensi sebesar 15,87 %, kenaikan pada saat pembebanan 10,77 watt dipengaruhi oleh nilai $\cos\phi$ yang berubah saat pengujian beban induktif, tetapi pada pengujian ini nilai $\cos\phi$ kembali meningkat saat penambahan beban ini disebabkan *error*, baik *error* dari alat ukur maupun *human error*.

4.2 Konfigurasi Dengan Inti Belitan Stator

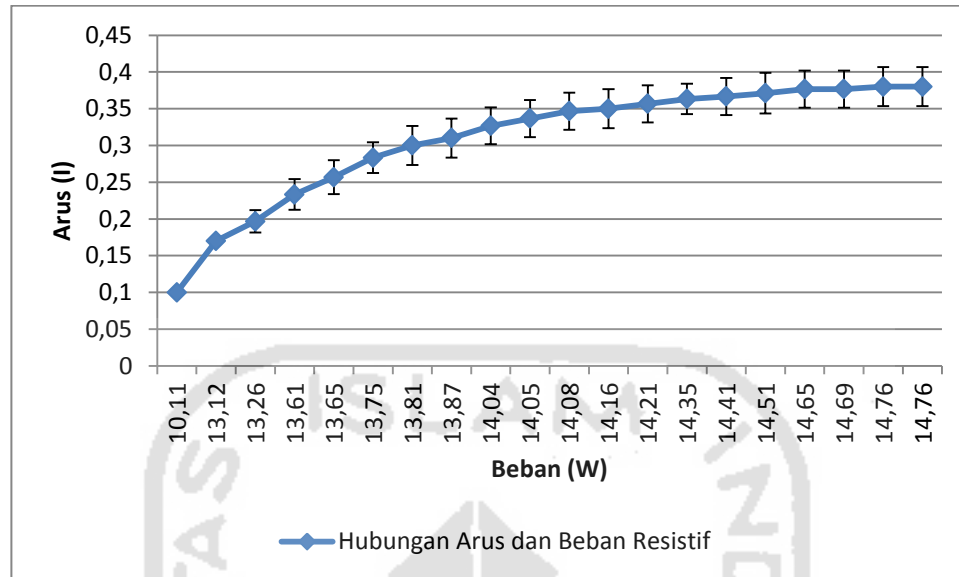
4.2.1 Pengujian Tanpa Beban

Pada pengujian tanpa beban untuk konfigurasi dengan inti belitan stator tidak jauh berbeda dengan pengujian tanpa inti belitan stator yakni dilakukan sebanyak 3 kali pengujian untuk melihat keluaran generator yakni rata-rata sebesar 129 volt.

4.2.2 Pengujian Beban Resistif

1. Hubungan Arus dan Beban

Pada pengujian ini konfigurasi yang digunakan yakni menggunakan inti belitan stator. Tahapan pengujian ini dimulai dengan merangkai keluaran generator ke beban yang akan diuji. Beban yang digunakan pada pengujian ini adalah beban resistif yang ada pada *RLC Load* yang nantinya akan dilihat keluaran generator saat pembebanan. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan data pada grafik berikut ini:

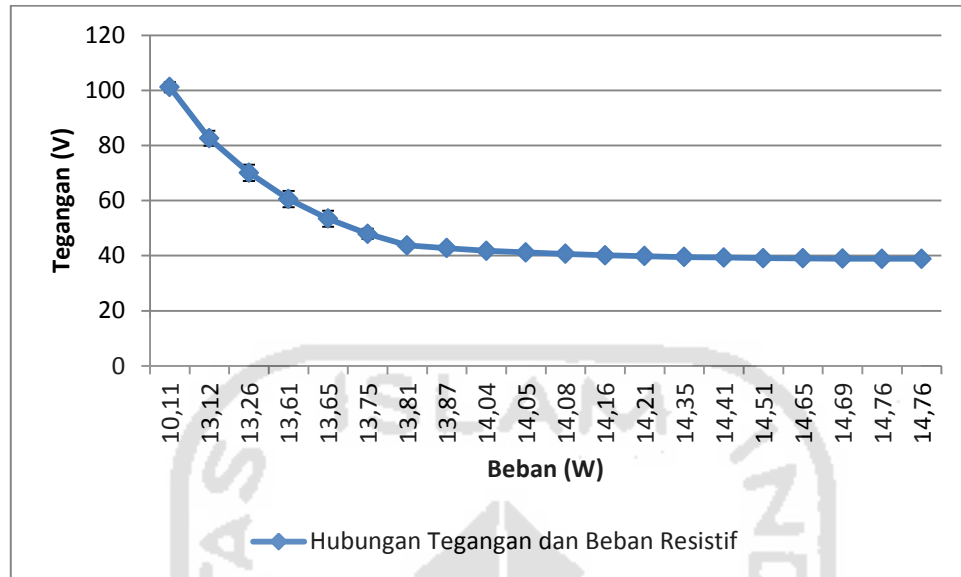


Gambar 4.7 Grafik hubungan arus terhadap beban

Dapat dilihat pada Gambar 4.7 grafik hubungan arus dan beban. Saat beban bernilai 10,11 watt, arus dari generator bernilai 0,1 Ampere, kenaikan ini akan terus bertambah karena beban juga bertambah sampai beban ke 20 sebesar 14,76 W dan arus bernilai 0,36 Ampere. Pada pengujian ini arus tidak dipengaruhi oleh nilai $\cos\phi$.

2. Hubungan Tegangan dan Beban

Pada pengujian ini akan dilihat pengaruh perubahan tegangan generator dengan stator yang terdapat inti terhadap perubahan beban. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban resistif. Dari pengujian yang dilakukan diperoleh data seperti pada grafik berikut:



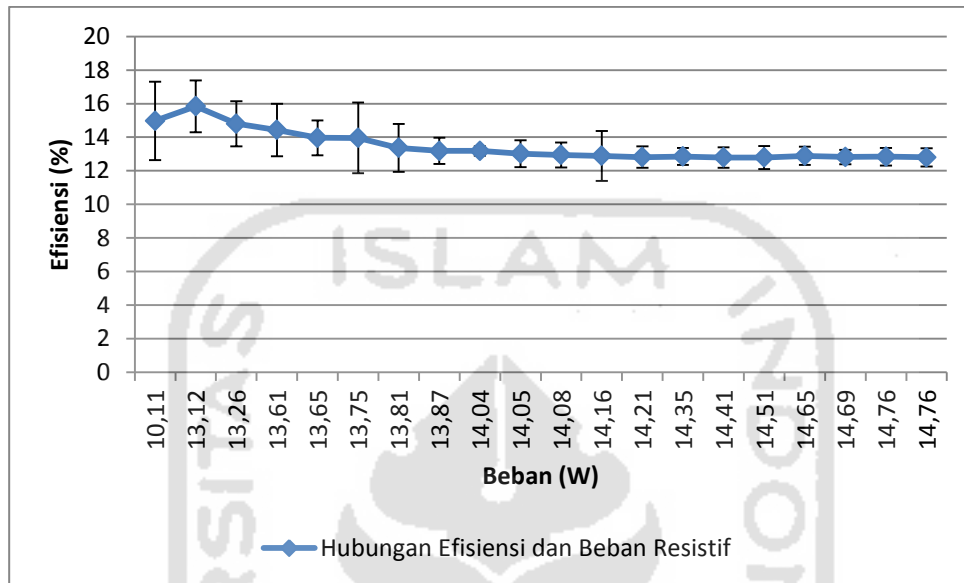
Gambar 4.8 Grafik hubungan tegangan terhadap beban

Dapat dilihat dari gambar 4.8 grafik hubungan tegangan dan beban, pengujian ini menunjukkan penurunan tegangan generator saat diberi beban resistif, walaupun penurunan tegangan tidak linier tetapi penurunan nilai tegangan ini akan mempengaruhi efisiensi dari kerja sistem generator. Dimulai dari beban pertama sebesar 10,11 watt dengan tegangannya 101,3 volt sampai ke beban terakhir sebesar 14,76 watt dengan tegangannya sebesar 38,8 volt.

3. Hubungan Efisiensi dan Beban

Pada pengujian beban resistif yang digunakan sama seperti pada konfigurasi tanpa inti belitan stator yakni menggunakan beban RLC Load dan juga dengan menggunakan metode pengukuran yang sama yakni mengukur beban resistif sebanyak 3 kali pengujian dengan jumlah panel beban sebanyak

20 buah dan dengan alat ukur yang sama pula, tetapi yang membedakan adalah stator yang digunakan berbeda yakni stator dengan inti belitan.



Gambar 4.9 Grafik hubungan efisiensi terhadap beban resistif

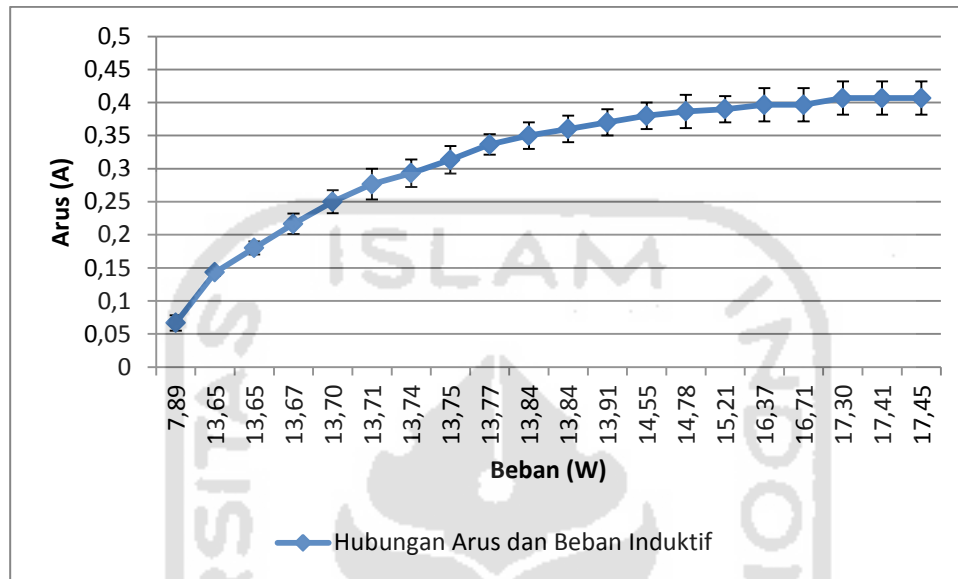
Berdasarkan pada grafik 4.9 dapat dilihat hubungan efisiensi terhadap beban resistif dengan konfigurasi inti stator ini, efisiensi pada beban 10,11 watt sebesar 14,97 %, tetapi pada beban 13,12 watt efisiensi meningkat menjadi 15,8 % tetapi untuk beban ketiga sampai ke beban terakhir efisiensi menurun menjadi 12,8%, penurunan efisiensi ini disebabkan oleh rugi rugi pada motor.

4.2.3 Pengujian Beban Induktif

1. Hubungan Arus dan Beban

Pada pengujian ini digunakan beban RLC *Load* dan dilakukan sebanyak 3 kali untuk melihat keluaran dari generator saat diberi beban

induktif dengan jumlah beban sebanyak 20 panel beban. Dari pengujian yang dilakukan di dapatka data pada grafik berikut:



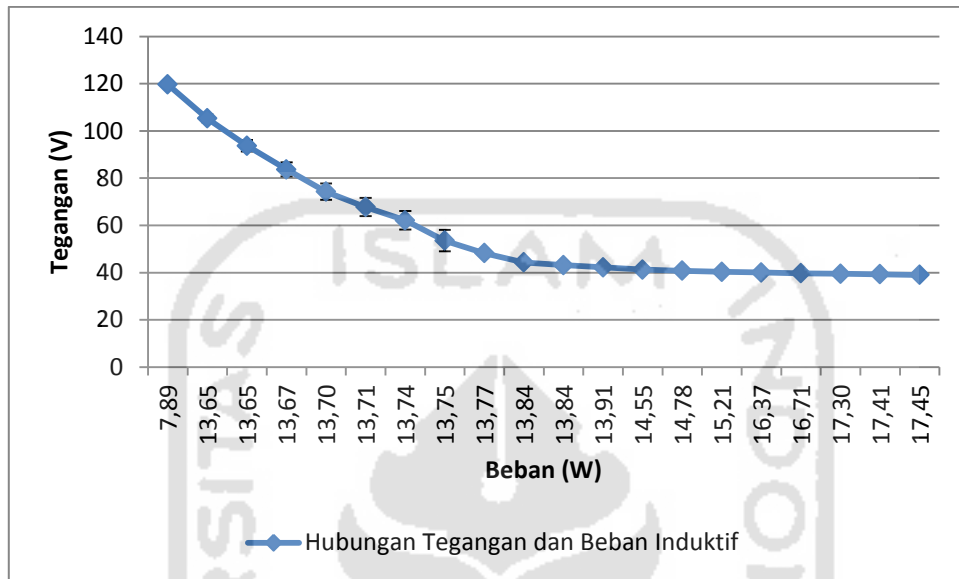
Gambar 4.10 Grafik hubungan arus terhadap beban

Dapat dilihat dari gambar 4.10 grafik hubungan arus terhadap beban induktif, hasil data tersebut menunjukkan pengaruh pembebanan induktif terhadap arus dari generator dengan konfigurasi inti stator. Pada beban pertama bernilai 7,89 watt dan arus bernilai 0,06 ampere, sama seperti pada pengujian sebelumnya arus akan terus meningkat seiring dengan penambahan beban sampai ke pembebanan terakhir yang bernilai 17,45 watt dan arus bernilai 0,4 ampere.

2. Hubungan Tegangan dan Beban

Pada pengujian ini akan dilihat hubungan antar tegangan terhadap beban. Pembebanan di sini masih menggunakan beban induktif pada RLC

Load dengan konfigurasi stator tanpa inti. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan data pada grafik sebagai berikut:

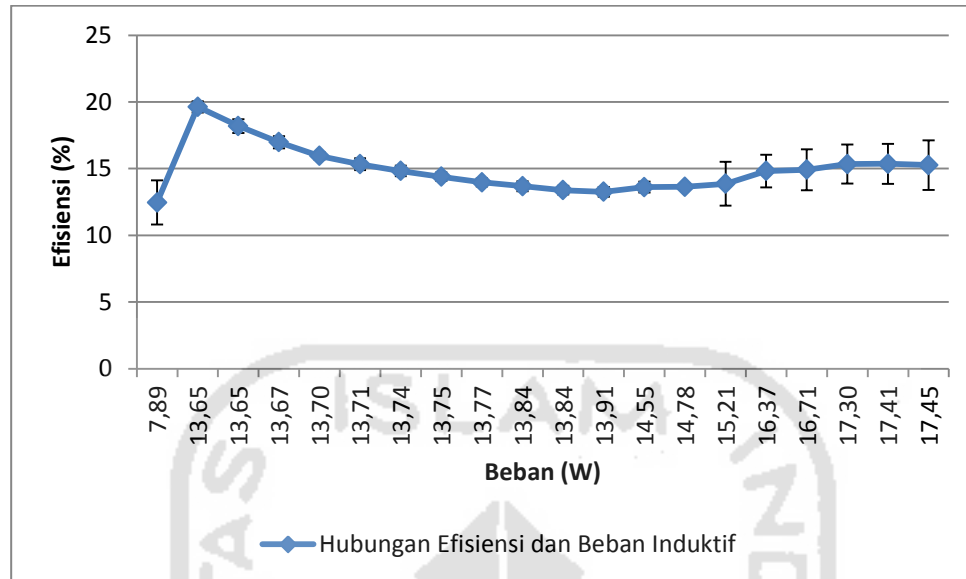


Gambar 4.11 Grafik hubungan tegangan terhadap beban induktif

Dari Gambar 4.11 grafik hubungan tegangan terhadap beban induktif dapat dilihat bahwa, pengaruh pembebanan terhadap tegangan keluaran generator yang saat tanpa beban tegangan keluaran generator bernilai 120 volt, ketika diberi beban induktif pertama yang bernilai 7,89 watt tegangan pun turun menjadi 105 volt, nilai tegangan ini turun sampai ke pengujian beban terakhir 17,45 watt dan tegangan bernilai 39 volt.

3. Hubungan Efisiensi dan Beban

Pada pengujian ini akan dilihat hasil perhitungan keluaran generator saat konfigurasi inti belitan stator dengan pembebanan induktif. Dari perhitungan yang dilakukan dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4.12 Grafik hubungan efisiensi terhadap beban

Dapat dilihat dari gambar 4.12 grafik hubungan efisiensi terhadap beban yang dihasilkan pada pengujian menggunakan beban induktif cukup tinggi, dari pengujian beban pertama efisiensi sebesar 12,46% berbeda saat konfigurasi tanpa inti belitan stator efisiensi yang dihasilkan sebesar 8,6% semua itu karena pengaruh dari inti belitan stator yang meningkatkan daya keluran pada generator. Konfigurasi ini mencapai puncaknya saat beban 13,65 watt dengan efisiensi sebesar 19,35%.

4.3 Pembahasan

Pengujian pertama yang dilakukan pada stator tanpa inti adalah melakukan uji tanpa beban untuk dilihat keluaran generator sebanyak 3 kali pengujian, sehingga di dapat keluaran generator sebesar 107 volt. Sedangkan pada stator dengan inti pengujian yang sama dilakukan untuk melihat tegangan keluaran pada generator, sehingga di dapat keluaran generator sebesar 129 volt. Dari pengujian tanpa beban

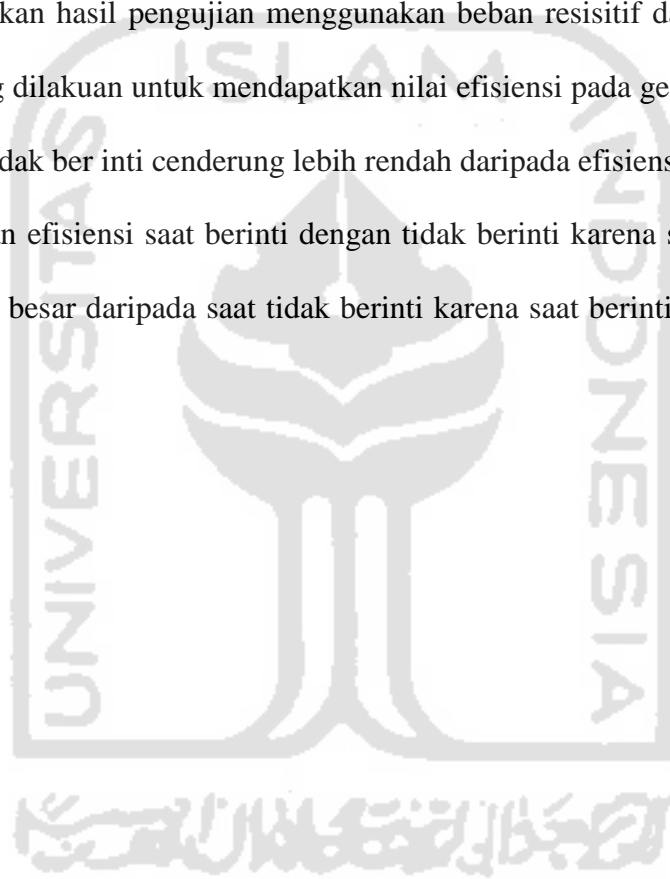
yang telah dilakukan tegangan keluaran generator lebih besar pada saat menggunakan stator ber inti karena stator yang terdapat inti belitannya akan membantu menguatkan sifat magnetis pada saat garis gaya medan magnet yang dihasilkan magnet permanen pada rotor dan memotong kumparan yang ada pada stator sehingga tegangan keluarannya menjadi lebih besar.

Pengujian selanjutnya adalah pengujian berbeban, tujuannya untuk mengetahui kinerja dari generator saat di beri beban yang nantinya akan dihitung untuk mendapatkan nilai efisiensi dari generator, efisiensi disini yang diambil adalah efisiensi optimal saat pengujian karena pada pengujian ini tidak didapatkan daya maksimal yang disebabkan keterbatasan beban pada pengujian. Pengujian berbeban ini dibedakan menjadi 2 beban, yakni menggunakan beban resistif dan beban induktif. Berdasarkan persamaan 2.5 untuk mendapatkan nilai efisiensi maka didapatkan hasil, pada pengujian beban resistif dengan konfigurasi tanpa inti belitan dengan efisiensi optimum 15,3 % pada keadaan beban senilai 10,18 watt, sedangkan pada konfigurasi dengan inti belitan stator efisiensi dari sistem bernilai 15,8 % pada keadaan beban 13,12 watt. Selisih efisiensi pada pengujian menggunakan beban resistif pada saat tidak berinti dengan berinti ini sebesar 0,5%.

Pada pengujian pembebanan kedua yakni menggunakan beban induktif, dari pengujian yang dilakukan dan perhitungan menggunakan persamaan yang sama pada pengujian beban resistif yakni persamaan 2.5 terhadap keluaran generator untuk mendapatkan nilai efisiensi sistem pada generator saat menggunakan beban induktif, didapatkan hasil efisiensi optimum dalam kondisi tanpa inti sebesar 16,68 % dengan

beban sebesar 10,29 watt. Sedangkan pada saat berinti efisiensi dari pengujian ini didapatkan hasil sebesar 19,35 % dengan beban sebesar 13,65 watt, dari hasil tersebut dapat dilihat kenaikan nilai efisiensi saat tidak berinti dengan berinti. Selisih dari efisiensi generator saat tidak berinti dengan berinti sebesar 2,67 %.

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan beban resistif dan induktif serta perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai efisiensi pada generator, efisiensi dalam keadaan tidak berinti cenderung lebih rendah daripada efisiensi dalam keadaan berinti. Perbedaan efisiensi saat berinti dengan tidak berinti karena sifat magnetisasi saat berinti lebih besar daripada saat tidak berinti karena saat berinti terdapat ferit di dalamnya.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pengujian pengaruh pemakaian inti belitan stator terhadap efisiensi pada generator magnet permanen yang telah dilakukan maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pembebanan resistif efisiensi optimum yang dihasilkan adalah 15,3% dengan beban 10,18 watt dalam kondisi tanpa inti belitan stator. Sedangkan dalam kondisi terdapat inti belitan stator dengan beban 13,12 watt efisiensi optimum sistem sebesar 15,8%. Dengan pembebanan resistif, kondisi menggunakan inti belitan stator lebih tinggi efisiensinya sebesar 0,5% daripada kondisi tanpa inti.
2. Pada pembebanan induktif efisiensi pada beban 10,29 watt adalah sebesar 16,68% dalam kondisi tanpa inti belitan stator. Sedangkan dalam kondisi terdapat inti belitan stator dengan beban 13,65 watt efisiensi optimum generator sebesar 19,35%. Dengan pembebanan induktif, kondisi menggunakan inti belitan stator lebih tinggi efisiensinya sebesar 2,67% daripada kondisi tanpa inti.
3. Efisiensi sebuah generator dipengaruhi oleh jenis belitan statornya yaitu stator dengan inti ferit dalam belitannya lebih besar efisiensinya dikarenakan sifat magnetisasi yang dibangkitkan di stator lebih besar dibandingkan dengan

stator yang tidak terdapat inti dalam belitannya. Perbedaan bahan inti pada stator akan mempengaruhi kemampuan hantar magnetis pada generator.



5.2 Saran

Untuk pengujian pada generator hendaknya menggunakan alat ukur yang memiliki tingkat keakuratan tinggi dan ketelitian yang bagus agar lebih maksimal yang dihasilkan dari pengujiannya.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. H. Prisandi, *Studi desain kumparan stator pada generator sinkron magnet permanen fluks aksial tanpa inti stator*. Jakarta: Jurusan Teknik Elektro – Universitas Indonesia, 2011
- [2] S. Dharma, *Perancangan dan Pengujian Generator Magnet Permanen 1 Fase Berbasis Motor Induksi*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi – Universitas Gadjah Mada, 2013.
- [3] H. Ramadhan, *Pengujian Generator Magnet Permanen Fluksi Aksial*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Elektro – Universitas Islam Indonesia, 2016.
- [4] F. D. Wijaya, *Studi Perbandingan Generator Sinkron Fluks Aksial Magnet Permanen Tanpa Inti Besi Dan Dengan Inti Besi Pada Putaran Rendah dan Perbandingan Bentuk Belitan Pada Stator*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi – Universitas Gadjah Mada, 2014.
- [5] Z. T. Najaseti, *Pembuatan Stator Generator Fluksi Aksial Dengan Diameter Kawat Email 1,6 MM*. Malang: Teknik Mesin - Universitas Muhammadiyah Malang, 2010.
- [6] Fahey, Steven . *Basic Principle of the Hommade Axial Flux Alternator*. 2006.
- [7] Sumanto., "Mesin Sinkron," Andi Offset, Yogyakarta, 1992.

LAMPIRAN

KONFIGURASI DENGAN INTI BELITAN STATOR

PENGUJIAN 1 OUTPUT GENERATOR (Beban Resistif)

Jumlah Variabel	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	128,9	99,2	79,7	66,9	57,4	50,4	46	43,7	42,6	41,7	41,2
I		0,1	0,17	0,18	0,21	0,23	0,26	0,27	0,28	0,3	0,31
P		9,92	13,549	12,042	12,054	11,592	11,96	11,799	11,928	12,51	12,772
Rpm	301,6	299,7	297,3	296,7	295,6	294,9	294,4	292,5	290	289,2	288,8

Jumlah Variabel	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	40,7	40,2	39,8	39,6	39,3	39,1	39	38,9	38,9	38,9
I	0,32	0,32	0,33	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35
P	13,024	12,864	13,134	13,464	13,362	13,294	13,65	13,615	13,615	13,615
Rpm	287,9	287,4	287	286,4	286,1	285,9	285,7	284,9	284,3	284

PENGUJIAN 2 OUTPUT GENERATOR (Beban Resistif)

Jumlah Variabel	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	129,4	103	85,1	72,7	63,2	56,2	49,8	44	42,8	41,9	41,2
I		0,1	0,17	0,2	0,24	0,27	0,3	0,32	0,33	0,35	0,36
P		10,3	14,467	14,54	15,168	15,174	14,94	14,08	14,124	14,665	14,832
Rpm	302,5	299,5	298,9	298,3	292,2	291,6	291,1	290,1	288,5	288	287,9

Jumlah Variabel	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	40,5	40	39,8	39,4	39,2	39	39	38,9	38,7	38,7
I	0,37	0,37	0,38	0,38	0,39	0,393	0,4	0,4	0,4	0,4
P	14,985	14,8	15,124	14,972	15,288	15,327	15,6	15,56	15,48	15,48
Rpm	287	286,7	286,2	285,9	285,5	285,3	284,9	284,4	284	283,9

PENGUJIAN 3 OUTPUT GENERATOR (Beban Resistif)

Jumlah Variabel	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	129	101,2	82,9	70,7	61	53,6	48	43,5	42,9	41,7	41,2
I		0,1	0,17	0,21	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,33	0,34
P		10,12	14,093	14,847	15,25	14,472	13,92	13,485	13,728	13,761	14,008
Rpm	300,7	299,2	296,9	295,3	292,6	292,3	291,7	291	290,8	289,7	289,4

Jumlah Variabel	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	40,7	40,2	39,9	39,5	39,4	39,2	39	38,9	38,9	38,9
I	0,35	0,36	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38	0,39	0,39
P	14,245	14,472	14,364	14,615	14,578	14,896	14,82	14,782	15,171	15,171
Rpm	289	288,7	288,2	287,9	287,5	287,3	286,8	286,6	286,1	285,7

PENGUJIAN 1 INPUT MOTOR (Beban Resistif)

Jumlah Variabel	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	208,8	209	209,3	209,6	209,4	209,4	209,5	209,3	209,5	209,6	209,9
I	0,62	0,74	0,81	0,86	0,89	0,92	0,95	0,96	0,97	0,99	0,99
P	61	74,9	83,7	89,9	94,3	97,5	100,2	102,4	103,6	105,3	106,3
Cos ϕ	0,45	0,47	0,47	0,47	0,47	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Rpm	301,6	299,7	297,3	296,7	295,6	294,9	294,4	292,5	290	289,2	288,8

Jumlah Variabel	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	209,9	210,2	210,5	210	210	210,1	210,3	210,5	211,5	211,6
I	1	1	1,01	1,021	1,022	1,025	1,027	1,04	1,03	1,03
P	107,6	107,6	108,6	109,6	110,5	110,8	110,9	110,6	110,6	111,2
Cos ϕ	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,49	0,49
Rpm	287,9	287,4	287	286,4	286,1	285,9	285,7	284,9	284,3	284

PERCOBAAN 2 INPUT MOTOR (Beban Resistif)

Jumlah Variasi	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	212	212,1	212,6	212,6	212,7	213,2	213,1	211,1	211,7	211,7	211,2
I	0,71	0,79	0,86	0,9	0,94	0,97	0,99	1,01	1,03	1,04	1,05
P	72,8	58,4	82,6	89,9	95,3	98,7	102,7	104,9	106,9	108,5	110,4
Cos ϕ	0,45	0,47	0,47	0,47	0,47	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,0,49
Rpm	302,5	299,5	298,9	298,3	292,2	291,6	291,1	290,1	288,5	288	287,9

Jumlah Variasi	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	211	211,1	211,1	211,5	211,9	212	212,1	213,2	213,1	212,9
I	1,04	1,05	1,05	1,06	1,07	1,07	1,09	1,092	1,092	1,099
P	110,8	112,6	114,1	114,8	116	116,4	116,7	120,2	120,4	120,5
Cos ϕ	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,5	0,51	0,51	0,51
Rpm	287	286,7	286,2	285,9	285,5	285,3	284,9	284,4	284	283,9

PERCOBAAN 3 INPUT MOTOR (Beban Resistif)

Jumlah Variasi	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	213,3	212,9	212,6	212,3	212	212,1	211	211,6	211,5	211,3	211,5
I	0,59	0,71	0,78	0,84	0,88	0,91	0,94	0,97	0,99	1,007	1,01
P	58,2	72,1	82,3	89	93,2	96,8	93,2	102,6	104,8	105,5	106,7
Cos ϕ	0,44	0,47	0,47	0,47	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Rpm	300,7	299,2	296,9	295,3	292,6	292,3	291,7	291	290,8	289,7	289,4

Jumlah Variasi	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	211,6	211,8	210,8	210,9	210,9	210,8	211,2	211,3	211,2	211,6
I	1,02	1,05	1,04	1,05	1,06	1,07	1,072	1,075	1,075	1,078
P	107,8	108,9	109,6	110,4	111,1	112,8	113,1	112,7	113,6	113,8
Cos ϕ	0,49	0,49	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Rpm	289	288,7	288,2	287,9	287,5	287,3	286,8	286,6	286,1	285,7

PERCOBAAN 1 OUTPUT GENERATOR (Beban Induktif)

Jumlah Variabel	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	129,5	119,5	103,4	90,9	80,2	70,3	63,3	57,6	51,6	48,2	45
I		0,08	0,15	0,17	0,2	0,23	0,25	0,27	0,29	0,32	0,33
P		9,46	15,19	14,98	15,39	15,36	15,03	14,77	14,06	14,34	13,95
Cos ϕ		0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94	0,93	0,94
Rpm	301,5	300,5	299,5	298	297,4	295,8	295,6	295,2	293	291,4	290,9

Jumlah Variabel	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	43,2	42	41,4	40,8	40,5	40,1	39,8	39,5	39,4	39,1
I	0,34	0,35	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38
P	13,8	13,81	14	13,8	14,23	14,09	14,13	14,4	14,37	14,26
Cos ϕ	0,94	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96
Rpm	289,4	289,1	288,6	287,9	287,5	286,8	286,3	285,8	285,6	285,3

PERCOBAAN 2 OUTPUT GENERATOR (Beban Induktif)

Jumlah Variasi	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	129	119,8	106,5	95	85,6	76,4	70,2	64,7	58,7	48,6	44
I		0,06	0,14	0,18	0,22	0,26	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37
P		7,116	14,612	16,587	17,890	18,474	18,729	18,051	17,240	14,969	14,164
Rpm	301,1	300,1	299,6	298,6	298,4	295,8	295,3	293,8	293,5	292,2	291,1
Cos ϕ		0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,92	0,9	0,89	0,88	0,87

Jumlah Variasi	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	43,1	42,3	41,1	40,6	40,2	40	39,6	39,4	39,1	38,9
I	0,38	0,39	0,4	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43
P	14,085	14,022	13,810	13,816	13,680	13,944	13,638	13,892	13,787	13,716
Rpm	290,3	289	288,9	288,1	287,9	287,1	286,6	285,8	285,3	285
Cos ϕ	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,82

PERCOBAAN 3 OUTPUT GENERATOR (Beban Induktif)

Jumlah Variasi	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	128,8	119,6	106	95,2	85,2	76,1	69,7	64,1	50,3	47,9	44
I		0,06	0,14	0,19	0,23	0,26	0,29	0,3	0,32	0,34	0,35
P		7,104	14,543	17,545	18,616	18,401	18,596	17,307	14,325	14,332	13,398
Rpm	300,9	300,7	299,9	298,7	298	297,3	296	295,8	294	292,1	292
Cos ϕ		0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,92	0,9	0,89	0,88	0,87

Jumlah Variasi	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	43,1	42,3	41,2	40,9	40,3	40	39,7	39,5	39,3	39
I	0,36	0,37	0,38	0,39	0,39	0,4	0,4	0,41	0,41	0,41
P	13,344	13,303	13,151	13,399	13,202	13,280	13,180	13,442	13,374	13,272
Rpm	290,7	289	288,1	287,6	287,4	287,1	286,6	286,1	285,8	285,3
Cos ϕ	0,86	0,85	0,84	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83

PENGUJIAN 1 INPUT MOTOR (Beban Induktif)

Jumlah Variabel	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	211,6	213,1	212,8	212,8	212,8	213	213,5	213,6	213,6	213,9	214,9
I	0,65	0,68	0,73	0,78	0,82	0,86	0,89	0,93	0,95	0,96	0,97
P	61,2	65,8	72,7	77,9	83,3	88,9	91,7	94,8	97,2	100,5	102,7
Cos ϕ	0,42	0,44	0,44	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Rpm	301,5	300,5	299,5	298	297,4	295,8	295,6	295,2	293	291,4	290,9

Jumlah Variabel	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	214,6	214,2	214,4	214,5	214,8	214,9	214,9	214,8	214,9	215,1
I	0,98	1	1,02	1,03	1,04	1,045	1,05	1,055	1,062	1,068
P	104,6	105,8	108,1	109,2	110,8	110,9	111,9	112,5	112,7	114,5
Cos ϕ	0,46	0,46	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Rpm	289,4	289,1	288,6	287,9	287,5	286,8	286,3	285,8	285,6	285,3

PENGUJIAN 2 INPUT MOTOR (Beban Induktif)

Jumlah Variasi	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	212,7	212,7	212,8	213,2	214,3	214	213,9	213,9	214,1	214,2	214,2
I	0,6	0,63	0,68	0,73	0,78	0,83	0,86	0,88	0,9	0,93	0,95
P	58,2	61,8	67,8	73,5	79,1	84,5	88,5	92,1	94,8	97,9	100,5
Cos ϕ	0,44	0,44	0,44	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,49	0,49
Rpm	301,1	300,1	299,6	298,6	298,4	295,8	295,3	293,8	293,5	292,2	291,1

Jumlah Variasi	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	214,1	214	213,9	214,2	214	214,2	214,3	214,1	214,1	214,3
I	0,96	0,98	1,002	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07
P	103,6	104,6	106,5	108,2	109,5	110,5	111,9	112,6	113,5	114,1
Cos ϕ	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Rpm	290,3	289	288,9	288,1	287,9	287,1	286,6	285,8	285,3	285

PENGUJIAN 3 INPUT MOTOR (Beban Induktif)

Jumlah Variasi	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	213,6	213,6	213,6	213,6	213,4	212,5	212,4	212,1	212,4	212,2	212,3
I	0,57	0,6	0,66	0,71	0,76	0,82	0,85	0,88	0,9	0,92	0,94
P	58,2	61,8	68,1	73,8	79,2	84,3	88,2	91,2	94,5	97,3	100,3
Cos ϕ	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47	0,49	0,49
Rpm	300,9	300,7	299,9	298,7	298	297,3	296	295,8	294	292,1	292

Jumlah Variasi	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	212,7	213,1	213	213	212,2	212,2	211,7	211,5	211,7	211,9
I	0,95	0,97	0,98	0,99	1,007	1,01	1,04	1,045	1,049	1,05
P	102,1	104,3	106,1	107,7	108,9	110,1	112,3	113,1	113,8	114,5
Cos ϕ	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Rpm	290,7	289	288,1	287,6	287,4	287,1	286,6	286,1	285,8	285,3

KONFIGURASI TANPA INTI BELITAN STATOR

PERCOBAAN 1 OUTPUT GENERATOR (Beban Resistif)

Jumlah Variabel	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	107	82,6	67,3	56,6	50	44,8	41,8	40	38,2	36,8	35,8
I		0,06	0,14	0,16	0,18	0,2	0,22	0,23	0,24	0,26	0,27
P		4,95	9,42	9,05	9	8,96	9,19	9,2	9,16	9,56	9,66
Rpm	302,4	295,9	295,4	293,4	292,7	292,5	291,7	291,4	291	290,5	290

Jumlah Variabel	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	34,4	33,9	33,5	32,9	32,5	32,3	32,2	32,1	32,1	31,5
I	0,28	0,28	0,29	0,29	0,3	0,3	0,31	0,31	0,31	0,32
P	9,63	9,49	9,71	9,54	9,75	9,69	9,98	9,95	9,95	10,08
Rpm	289,5	289,4	288,9	288,7	288,3	287,9	287,6	286,9	286,7	286,5

PERCOBAAN 2 OUTPUT GENERATOR (Beban Resistif)

Jumlah Variasi	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	107	87	73,1	63	55,4	49,3	44,2	40,7	38,7	36,6	35
I		0,08	0,14	0,16	0,2	0,23	0,25	0,27	0,28	0,31	0,32
P		6,96	10,234	10,08	11,08	11,339	11,05	10,989	10,836	11,346	11,2
Rpm	302,7	300,6	299	298,9	296,9	296,5	295,7	295,2	295,3	294,7	293,5

Jumlah Variasi	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	34,2	33,8	33,4	32,7	32,4	32,3	32,2	32,1	32	31,8
I	0,33	0,34	0,34	0,35	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37
P	11,286	11,492	11,356	11,445	11,664	11,628	11,914	11,877	11,84	11,766
Rpm	293	292,7	291,9	291,6	291,1	290,7	290	289,7	289,5	289,3

PERCOBAAN 3 OUTPUT GENERATOR (Beban Resistif)

Jumlah Variasi	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	107,2	87,2	85,4	71,4	61,2	53,2	47,3	42,6	39,1	36,8	35,1
I		0,07	0,14	0,18	0,2	0,22	0,23	0,25	0,27	0,28	0,3
P		6,104	11,956	12,852	12,24	11,704	10,879	10,65	10,557	10,304	10,53
Rpm	301,9	300,7	299,8	299,4	297,8	296,6	295,7	295,4	295,1	294,7	294,2

Jumlah Variasi	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	34,6	33,6	32,8	32,2	31,7	31,5	31,2	30,8	30,6	30,2
I	0,31	0,32	0,33	0,33	0,34	0,35	0,36	0,36	0,36	0,37
P	10,726	10,752	10,824	10,626	10,778	11,025	11,232	11,088	11,016	11,174
Rpm	293,8	293,1	292,9	292,6	292	291,4	291	290,7	290,4	289,4

PERCOBAAN 1 INPUT MOTOR (Beban Resistif)

Jumlah Variabel	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	211,3	211,4	211,8	211,6	212,2	212,2	212,2	212,2	212,2	212,2	212,2
I	0,52	0,58	0,64	0,67	0,71	0,73	0,74	0,75	0,75	0,76	0,77
P	54,7	63,7	69,7	74	74,6	79,7	81,6	83,3	84,9	85,6	86,2
Cos ϕ	0,49	0,49	0,49	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
Rpm	302,4	295,9	295,4	293,4	292,7	292,5	291,7	291,4	291	290,5	290

Jumlah Variabel	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	212,2	212,2	212,3	212,3	212,1	212	212	212,4	212,2	212,2
I	0,77	0,78	0,78	0,79	0,79	0,8	0,79	0,79	0,8	0,81
P	87,3	87,6	88,3	88,5	88,9	89,6	89,9	90,2	90,6	90,6
Cos ϕ	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
Rpm	289,5	289,4	288,9	288,7	288,3	287,9	287,6	286,9	286,7	286,5

PERCOBAAN 2 INPUT MOTOR (Beban Resistif)

Jumlah Variasi	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	213,6	213,3	213,6	213,5	214	214,4	214,4	211,2	211,5	211,6	212,1
I	0,53	0,61	0,67	0,71	0,75	0,76	0,78	0,81	0,83	0,84	0,85
P	53,6	63,3	70,2	75,3	79,4	82	84,5	86,2	87,7	89,2	90,5
Cos ϕ	0,46	0,46	0,46	0,46	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Rpm	302,7	300,6	299	298,9	296,9	296,5	295,7	295,2	295,3	294,7	293,5

Jumlah Variasi	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	212,1	211,8	212,1	212,1	212,4	212,7	212,9	213,1	213,2	212,9
I	0,86	0,87	0,872	0,876	0,88	0,884	0,89	0,893	0,893	0,9
P	91,3	92	93,3	93,4	93,9	94,7	95,4	95,7	95,5	95,6
Cos ϕ	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Rpm	293	292,7	291,9	291,6	291,1	290,7	290	289,7	289,5	289,3

PERCOBAAN 3 INPUT MOTOR (Beban Resistif)

Jumlah Variasi	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	213,2	213,1	212,6	212,5	212,5	212,5	212,1	212,3	212,4	212,4	212,8
I	0,5	0,6	0,62	0,68	0,72	0,74	0,77	0,79	0,81	0,82	0,83
P	54,1	63,1	63,9	70,4	75	78,3	81,2	83,4	85,2	86,8	88,1
Cos ϕ	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Rpm	301,9	300,7	299,8	299,4	297,8	296,6	295,7	295,4	295,1	294,7	294,2

Jumlah Variasi	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	212,6	213,7	213,4	213,3	213,6	213,7	213,5	213,7	213,6	213,2
I	0,84	0,84	0,85	0,86	0,86	0,879	0,87	0,88	0,891	0,893
P	90,2	90,2	90,9	91,7	93	93,6	94	94,5	95,1	95,5
Cos ϕ	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Rpm	293,8	293,1	292,9	292,6	292	291,4	291	290,7	290,4	289,4

PERCOBAAN 1 OUTPUT GENERATOR (Beban Induktif)

Jumlah Variabel	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	106,8	99,2	87,1	77,3	69,9	61,6	56	51,2	46,2	42,6	40,1
I		0,05	0,12	0,16	0,18	0,21	0,23	0,24	0,26	0,28	0,29
P		4,91	10,34	12,12	12,2	12,41	12,36	11,79	11,53	11,45	11,04
Cos ϕ		0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95
Rpm	301	300,8	299,9	299,7	299	298,7	297,8	297,6	294,7	293,7	293,2

Jumlah Variabel	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	38	36,4	35,2	34	33,2	32,3	31,8	31,3	31,1	30,9
I	0,3	0,31	0,32	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34	0,35	0,35
P	10,83	10,71	10,7	10,44	10,51	10,23	10,48	10,32	10,55	10,49
Cos ϕ	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97
Rpm	293	291,8	291,4	291,1	290,5	289,9	289,4	288,7	288,5	288,2

PERCOBAAN 2 OUTPUT GENERATOR (Beban Induktif)

Jumlah Variasi	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	108,9	102,1	100	90	83	75	70	65	60	55	40
I		0,05	0,11	0,16	0,2	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32
P		5,05	10,78	13,97	15,77	16,22	16,28	16,15	15,83	15,35	11,39
Cos ϕ		0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,9	0,89
Rpm	302,1	301,1	300,6	299,2	298,8	297,9	297,3	297	296,3	295,6	294,6

Jumlah Variasi	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	36,5	36,3	35,1	34,3	33,1	32,2	31,6	31,4	31,2	31
I	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38	0,39	0,39
P	10,60	10,74	10,69	10,62	10,53	10,13	10,21	10,14	10,34	10,28
Cos ϕ	0,88	0,87	0,87	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Rpm	294,2	293,9	293,4	292,8	292,4	291,8	291,4	290,5	289,8	289

PERCOBAAN 3 OUTPUT GENERATOR (Beban Induktif)

Jumlah Variasi	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	108,7	101,5	100,1	90	81	75	70	65	60	56	50
I		0,05	0,11	0,16	0,2	0,23	0,25	0,27	0,29	0,3	0,32
P		5,02	10,90	14,11	15,55	16,39	16,45	16,32	16,01	15,29	14,40
Cos ϕ		0,99	0,99	0,98	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,9
Rpm	301,8	301,4	300,8	299,4	299	298,2	297,9	296,9	296	294,8	294,3

Jumlah Variasi	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	37	35,8	34,5	34	33,5	33	32,8	32,5	32,3	32,1
I	0,33	0,34	0,35	0,36	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38
P	10,87	10,71	10,51	10,53	10,37	10,50	10,44	10,62	10,56	10,49
Cos ϕ	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Rpm	293,9	293,6	293	292,8	292,6	291,6	291,4	291,1	290,8	290,6

PERCOBAAN 1 INPUT MOTOR (Beban Induktif)

Jumlah Variabel	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	212,6	212,6	212,7	212,9	212,8	212,9	212,7	212,6	212,8	213,2	213,2
I	0,52	0,53	0,57	0,61	0,64	0,67	0,69	0,71	0,73	0,74	0,76
P	55,1	57,7	62,2	66,3	70,1	74,4	76,9	78,7	81	82,8	84,4
Cos ϕ	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
Rpm	301	300,8	299,9	299,7	299	298,7	297,8	297,6	294,7	293,7	293,2

Jumlah Variabel	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	213,2	213,4	213,7	213,6	213,8	214,2	214,1	214,7	214,5	215
I	0,78	0,78	0,78	0,79	0,8	0,8	0,8	0,8	0,81	0,82
P	86,5	87	88,4	89,5	89,6	90,6	91,2	91,7	91,7	91,7
Cos ϕ	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
Rpm	293	291,8	291,4	291,1	290,5	289,9	289,4	288,7	288,5	288,2

PERCOBAAN 2 INPUT MOTOR (Beban Induktif)

Jumlah Variasi	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	213,3	213,2	213,1	213	212,9	214,1	214,1	213,5	213,9	213,9	213,9
I	0,54	0,57	0,6	0,63	0,66	0,69	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79
P	55,2	57,4	61,6	65,8	69,5	73,3	76,2	78,2	80,7	82,8	84,9
Cos ϕ	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Rpm	302,1	301,1	300,6	299,2	298,8	297,9	297,3	297	296,3	295,6	294,6

Jumlah Variasi	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	213,7	213,7	213,6	213,7	213	213,9	213,3	213,2	213,2	213
I	0,8	0,82	0,83	0,84	0,85	0,859	0,87	0,874	0,88	0,89
P	86,7	89,1	90,1	91,2	92,2	93,2	94,3	95	95,8	96,2
Cos ϕ	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Rpm	294,2	293,9	293,4	292,8	292,4	291,8	291,4	290,5	289,8	289

PERCOBAAN 2 INPUT MOTOR (Beban Induktif)

Jumlah Variasi	~	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	212,8	212,3	212,3	211,6	211,4	211,4	211,7	211,6	211,4	211,3	211,3
I	0,55	0,56	0,6	0,63	0,66	0,7	0,72	0,74	0,77	0,79	0,8
P	55,1	57,2	61,2	65,5	69,1	73,3	76,1	78,7	80,9	83,2	85,1
Cos ϕ	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Rpm	301,8	301,4	300,8	299,4	299	298,2	297,9	296,9	296	294,8	294,3

Jumlah Variasi	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	211,3	211	210,7	210,8	210,6	210,3	210,1	209,8	209,9	209,5
I	0,82	0,84	0,86	0,87	0,88	0,887	0,9	0,91	0,92	0,93
P	86,9	89	89,8	90,9	92,1	91,6	93,4	94	95,3	95,4
Cos ϕ	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Rpm	293,9	293,6	293	292,8	292,6	291,6	291,4	291,1	290,8	290,6