

**PERENCANAAN GENERATOR AXIAL FLUKS MAGNET PERMANEN
JENIS NEODYMIUM (NdFeB) TANPA INTI STATOR
Pada Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)**

¹Petrus Setia Iwanda, ²Syafriyudin, S.T., M.T, ³Ir. Prastyono Eko Pambudi, M.T
¹Mahasiswa Teknik Elektro, ²Dosen Pembimbing I, ³Dosen Pembimbing II
Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

ABSTRACT

Electrical energy needs in Indonesia and around the world is increasing, while the majority of energy sources for power generation are still using fossil energy such as oil, natural gas and coal. Fossil fuels have a high level of pollution that is causing global warming, in addition to its own fossil energy is increasingly reduced, it is necessary to substitute fossil energy environmentally friendly, renewable energy. This requires intelligent solutions to overcome these problems. Micro hydro power plant (MHP). Unlike fossil power generation as Coal Fired Power Plant (steam power plant) that the turbine and the generator is spinning at 3000 rpm to generate electricity, the turbine at the MHP has a low speed rotational at about 200 rpm, and low torque rotary or no effect cogging torque.

So made Generator Axial Flux Permanent Magnet Type Neodymium (NdFeB) coreless stator, which is specifically designed for low speed of 200 rpm and does not have the effect of cogging torque or low torque rotary. And it is hoped the design of this generator can be used as needed MHP.

The results obtained, the generator can produce voltages at rotational speeds of 200 rpm and a frequency of 50 Hz is 100 VAC. Voltage and frequency can go up in accordance with the rotational speed of the generator. The power generated in the generator rotation speed of 200 rpm is 50 VA.

Keywords: Renewable Energy, generator low rotation, cogging torque, axial flux generator, NdFeB Neodymium permanent magnet, without the stator core.

INTISARI

Kebutuhan energi listrik di Indonesia dan seluruh dunia semakin meningkat, sedangkan sebagian besar sumber energi untuk pembangkit listrik masih menggunakan energi fosil seperti minyak, gas bumi dan batu bara. Energi fosil memiliki tingkat polusi yang tinggi yang merupakan penyebab terjadinya pemanasan global, selain itu energi fosil sendiri semakin hari semakin berkurang, maka diperlukan pengganti energi fosil yang ramah lingkungan, yaitu energi terbarukan. Untuk itu, dibutuhkan solusi yang cerdas guna mengatasi permasalahan-permasalahan tersebut. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Tidak seperti pembangkit listrik fosil seperti PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) yang turbin dan generatornya berputar cepat sebesar 3000 rpm untuk menghasilkan energi listrik, turbin pada PLTMH memiliki kecepatan putar yang rendah sekitar 200 rpm, dan memiliki torsi putar yang rendah atau tidak mempunyai efek cogging torque.

Maka dibuatlah Generator Axial Fluks Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Tanpa Inti Stator, yang dirancang khusus untuk kecepatan rendah yaitu 200 rpm dan tidak memiliki efek cogging torque atau torsi putar yang rendah. Dan diharapkan perancangan generator ini dapat digunakan sesuai kebutuhan PLTMH.

Hasil yang diperoleh, generator dapat menghasilkan tegangan pada kecepatan rotasi 200 Rpm dan frekuensi 50 Hz adalah 100 VAC. Tegangan dan frekuensi dapat naik sesuai dengan kecepatan rotasi pada generator. Daya yang dihasilkan generator pada kecepatan rotasi 200 Rpm adalah 50 VA.

Kata Kunci : Energi Terbarukan, putaran rendah, cogging torque, generator axial fluks, magnet permanen Neodymium NdFeB, tanpa inti stator.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia dan seluruh dunia semakin meningkat sedangkan sebagian energi untuk pembangkit listrik masih menggunakan energi fosil seperti minyak, gas bumi dan batu bara. Energi fosil memiliki tingkat polusi yang tinggi yang merupakan penyebab terjadinya pemanasan global (*global warning*), selain itu energi fosil sendiri semakin hari semakin berkurang, maka diperlukan pengganti energi fosil yang ramah lingkungan, yaitu energi terbarukan (*renewable energy*). Indonesia sampai dengan saat ini masih belum mampu memenuhi kebutuhan listrik masyarakat.

Untuk itu, dibutuhkan solusi yang cerdas guna mengatasi permasalahan-permasalahan tersebut. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu solusi alternatif untuk menjawab permasalahan-permasalahan tersebut. Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik tenaga air berskala kecil ini. Secara teknis PLTMH memiliki tiga komponen utama yaitu air (hidro), turbin, dan generator. Prinsip kerja dari PLTMH sendiri pada dasarnya sama dengan PLTA hanya saja berbeda kapasitasnya atau besarnya. PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian atau sudut kemiringan dan jumlah debit air per detik yang ada pada saluran irigasi atau sungai. Maka dibuatlah Generator Axial Fluks Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Tanpa Inti Stator, yang dirancang khusus untuk kecepatan rendah yaitu 200 rpm, karena menggunakan magnet permanen maka tidak dibutuhkan penguatan arus searah dari luar dan tidak memiliki efek *cogging torque* atau torsi putar yang rendah. Dan diharapkan perancangan generator ini dapat digunakan sesuai kebutuhan PLTMH.

RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang permasalahan, akan dibahas tugas perancangan system elektro yang dapat dirumuskan menjadi:

1. Bagaimana membuat generator kecepatan rendah yaitu 200 rpm ?
2. Bagaimana membuat generator dengan torsi putar rendah atau tanpa efek *cogging torque* ?
3. Bagaimana menganalisa kinerja generator tersebut ?

BATASAN MASALAH

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, skripsi hanya meneliti bagaimana merancang, membuat, menganalisa kinerja generator pada Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro sebagai sumber energi listrik terbarukan.

LANDASAN TEORI

Energi merupakan salah satu masalah utama yang dihadapi oleh hampir seluruh negara di dunia. Hal ini mengingat energi merupakan salah satu faktor utama bagi terjadinya pertumbuhan ekonomi suatu negara. Permasalahan energi menjadi semakin kompleks ketika kebutuhan yang meningkat akan energi dari seluruh negara di dunia untuk menopang pertumbuhan ekonominya justru membuat persediaan cadangan energi konvensional menjadi semakin sedikit. Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat pertumbuhan konsumsi energi terbesar di dunia. Berdasarkan data Direktorat Energi Baru-Terbarukan dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), peningkatan konsumsi energi Indonesia beberapa tahun belakangan ini mencapai tujuh persen per tahun. (DBS Bank, 2015). Untuk memenuhi kebutuhan itu, tak cukup hanya dengan mengandalkan energi fosil. Sebagai jawabannya, maka perlu upaya sistematis untuk mengembangkan potensi energi baru dan terbarukan, yang sesungguhnya jumlahnya sangat berlimpah di Indonesia. Potensi besar itu, antara lain berupa panas bumi, bahan bakar nabati, *coal bed methane* (CBM), tenaga air, matahari, hingga angin.

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (*head*). Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis (tata letak sungai),

tinggi jatuhnya air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. Mikrohidro bisa memanfaatkan ketinggian air yang tidak terlalu besar, misalnya dengan ketinggian air 2,5 meter dapat dihasilkan listrik 400 watt. Dengan demikian, sistem pembangkit mikrohidro cocok untuk menjangkau ketersediaan jaringan energi listrik di daerah-daerah terpencil dan pedesaan. Beberapa keuntungan yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga listrik mikrohidro adalah sebagai berikut:

1. Dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis yang lain, PLTMH ini cukup murah karena menggunakan energi alam.
2. Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit latihan.
3. Tidak menimbulkan pencemaran.
4. Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi dan perikanan.
5. Dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.

PRINSIP KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

Prinsip dasar mikrohidro adalah memanfaatkan energi potensial yang dimiliki oleh aliran air pada jarak ketinggian tertentu dari tempat instalasi pembangkit listrik. Sebuah skema mikrohidro memerlukan dua hal yaitu, debit air dan ketinggian jatuh (*head*) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Hal ini adalah sebuah sistem konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran (energi potensial) ke dalam bentuk energi mekanik dan energi listrik. Daya yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = Q \times H \times G \times \text{Eff}$$

Dengan :

- P : Daya terbangkit dalam Watt
 Q : Debit air dalam liter/ detik
 H : Beda Tinggi (Meter)
 G : Gravitasi 9,81 m/detik
 Eff = 0,54 – 0,8 (Efisiensi tergantung dari pengukuran menggunakan alat atau pengukuran manual).

MAGNET NEODYMIUM

Magnet Neodymium dikenal sebagai NdeFb, NIB atau Neo magnet, yang paling banyak

digunakan jenis magnet rare-earth adalah magnet permanen yang terbuat dari paduan dari Neodymium, besi dan boron untuk membentuk $Nd_2Fe_{12}B$ struktur kristal tetragonal.

KAWAT TEMBAGA EMAIL

Kawat Tembaga Email adalah Kawat tembaga yang dilapisi email, email merupakan bahan isolasi. Kawat tembaga email biasanya digunakan untuk melilit kumparan transformator, motor listrik dan generator.

FIBERGLASS

Fiberglass merupakan salah satu bahan komposit, yaitu campuran bahan kimia yang bereaksi dan mengeras dalam waktu tertentu. Bahan komposit terdiri dari dua atau lebih material yang memiliki sifat berbeda-beda dari masing-masing material pembentuknya. Bahan komposit secara umum terdiri dari bahan *reinforcement* yang berfungsi sebagai bahan utama penanggung beban pada komposit dan yang berfungsi sebagai mentransfer tegangan ke bahan *reinforcement*. Pada *fiberglass*, bahan *reinforcement*-nya adalah serat, sedangkan bahan matriksnya adalah campuran antara resin dan *hardener*.

GENERATOR

Konversi energi elektromagnetik yaitu perubahan energi dari bentuk mekanik ke bentuk listrik dan bentuk listrik ke bentuk mekanik. Generator sinkron (*alternator*) merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (*prime mover*), sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya. Generator sinkron dengan definisi sinkronnya, mempunyai makna bahwa frekuensi listrik yang dihasilkannya sinkron dengan putaran mekanis generator tersebut. Hubungan antara medan magnet pada mesin dengan frekuensi listrik pada stator ditunjukkan pada Persamaan dibawah ini:

$$f = \frac{p \cdot n}{120}$$

dimana:

f = frekuensi listrik (Hz)

n = Kecepatan putar medan magnet atau kecepatan putar rotor (rpm).

p = Jumlah kutub.

STATOR GENERATOR FLUKS AKSIAL

Melihat dari statornya, generator fluks aksial ini dapat dilihat dari berbagai macam variasi diantaranya adalah: Stator dengan inti besi, stator tanpa inti besi, dan jumlah kumparan. Jumlah kumparan yang ada pada stator tergantung oleh banyaknya fasa dan kutub yang ingin dihasilkan dan daya yang dihasilkan. Stator tanpa inti besi biasanya digunakan untuk putaran rendah dan torsi beban yang rendah. Tentunya hal ini disebabkan oleh tidak adanya inti besi yang terdapat didalamnya. Pada stator tanpa inti besi susunan kumparannya terbagi menjadi dua macam, ada yang tersusun secara *overlapping* dan *non-overlapping*.

ROTOR

Rotor pada generator jenis ini dari tatakan penyanggah magnet dan juga magnet permanen yang digunakan untuk menghasilkan medan magnet permanen. Tatakan penyanggahnya biasanya menggunakan inti besi lunak "*softcore iron*" sedangkan pada magnet permanennya menggunakan "Neodymium Iron Boron" (NdFeB). Untuk mencari luasan medan magnet pada rotor dapat menggunakan persamaan berikut:

$$A_{magnet} = \frac{\pi(ro^2 - ri^2) - \tau f(ro - ri)Nm}{Nm}$$

Dengan :

A_{magnet} : Luasan medan magnet (m^2)

τf : Jarak antar magnet (meter)

ro : Radius luar magnet (meter)

ri : Radius dalam magnet (meter)

π : Konstanta (3,14)

CELAH UDARA

Celah udara pada generator merupakan tempat berpindahnya fluks magnet pada magnet permanen dan menginduksikan ke kumparan stator. Sehingga pada celah udara ini terjadi mekanisme perpindahan atau konversi energi dari mekanik menjadi elektrik. Tentunya besar atau lebarnya celah udara ini mempengaruhi penginduksian medan magnet ke kumparan stator.

PRINSIP KERJA GENERATOR FLUKS AKSIAL

Prinsip kerja dari generator fluks aksial sebenarnya tidak jauh berbeda dengan prinsip kerja generator konvensional yang memiliki fluks radial. Hanya saja pada generator fluks aksial memiliki medan

magnet tetap yang berasal dari magnet permanen dirotornya sehingga tidak memerlukan pencatutan arus searah pada rotornya.

PERBANDINGAN GENERATOR FLUKS AKSIAL DENGAN GENERATOR FLUKS RADIAL

Pada dasarnya perbedaan yang mendasar antara generator fluks aksial dengan generator konvensional dengan fluks radial adalah aliran fluks yang menembus statornya. Pada generator konvensional dengan fluks radial, fluks yang terbentuk oleh rotor baik itu melalui magnet permanen atau pencatutan arus searah agar memotong kumparan di stator dan menimbulkan Gaya Gerak Listrik (GGL), tidak sepenuhnya tertangkap oleh kumparan stator tersebut. Akan tetapi, sebagian lepas dan menjadi rugi-rugi yang terdapat pada generator fluks aksial yang arah fluksnya diarahkan secara aksial ke kumparan stator sehingga fluks dapat ditangkap lebih baik oleh stator.

METODE PENELITIAN

1. Data primer
 - a. Metode observasi
Metode observasi yang dilakukan yaitu melakukan pengamatan dan pengambilan data dengan studi literatur dan studi pustaka.
 - b. Metode Survei
Dengan cara melakukan pengerjaan, pengamatan, dan pencatatan secara sistematis terhadap data yang diperoleh dari alat.
2. Data sekunder
 - a. Buku referensi
 - b. Laporan dan jurnal ilmiah

PERANCANGAN

1. Spesifikasi Generator

Generator axial fluks yang akan dibuat mempunyai spesifikasi:

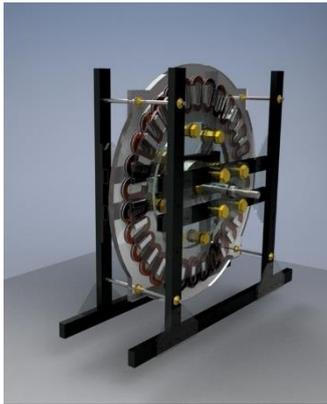
Jumlah Fasa	: 1
Jumlah Kutub	: 30
Frekuensi Kerja	: 50Hz
Kecepatan rotasi	: 200 rpm
Tegangan	: 128,94 Volt

Daya pada kecepatan 200 rpm : 74,4 VA

Jenis Magnet : Neodymium (NdFeB) grade 50, ukuran (PxLxT) 3x1x0,4 cm

2. Desain 3D Generator

Agar generator saat dibuat dapat presisi dan sesuai dengan rencana, maka dibuat terlebih dahulu desain dalam bentuk 3D, untuk mensimulasikan bentuk yang sebenarnya.



Gambar 1. Desain 3D Generator.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengukuran generator dilakukan diambil beberapa data diantaranya :

1. Generator tanpa beban, meliputi:
 - a. Frekuensi
 - b. Kecepatan rotasi
 - c. Tegangan
2. Generator berbeban, meliputi:
 - A. Dengan pengaturan generator 200Rpm, 50Hz, 100V
 - Arus
 - Daya
 - B. Dengan pengaturan generator 420rpm, 105Hz, 220V
 - Arus
 - Daya

Analisa data hasil pengukuran dibuat grafik perbandingan diantaranya: grafik perbandingan frekuensi dan kecepatan rotasi generator, grafik perbandingan frekuensi dan tegangan generator, grafik perbandingan frekuensi, kecepatan rotasi dan tegangan generator dan grafik karakteristik beban (pengaturan generator: 200rpm, 50hz, 100v). Sebelum data diinput pada tabel data pengukuran, sebelumnya sudah dilakukan tujuh kali pengukuran dan diambil nilai rata-ratanya agar data tersebut valid.

1. Pengukuran Generator Tanpa Beban

Pada pengukuran generator tanpa beban dilakukan pengukuran frekuensi, tegangan dan kecepatan rotasi generator.

Pengukuran Frekuensi, Tegangan dan Kecepatan Rotasi Generator

Pengukuran diambil sebelas pengukuran yaitu pada frekuensi generator 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 60, 90, 100 dan 110 dalam satuan revolusi per detik (Hz), tegangan pada satuan volt dan untuk kecepatan

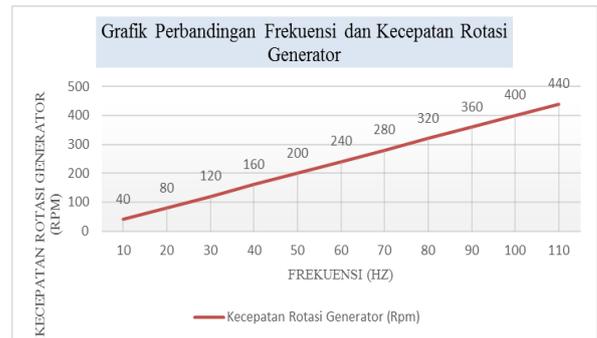
rotasi generator pada satuan rotasi per menit (Rpm).

Tabel 1. Data perbandingan Frekuensi dengan Frekuensi.

Frekuensi (Hz)	Tegangan Generator (VAC)	Kecepatan Rotasi Generator (Rpm)
10	22.5	40
20	40	80
30	60	120
40	85	160
50	100	200
60	134	240
70	150	280
80	171.6	320
90	193.4	360
100	215.2	400
110	236	440

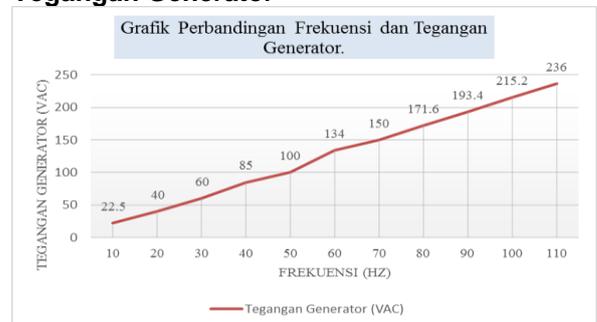
Analisa perbandingan frekuensi dan kecepatan rotasi generator.

Analisa perbandingan digunakan untuk mengetahui grafik karakteristik frekuensi generator dan rotasi generator dan dapat dilihat pada gambar grafik berikut:



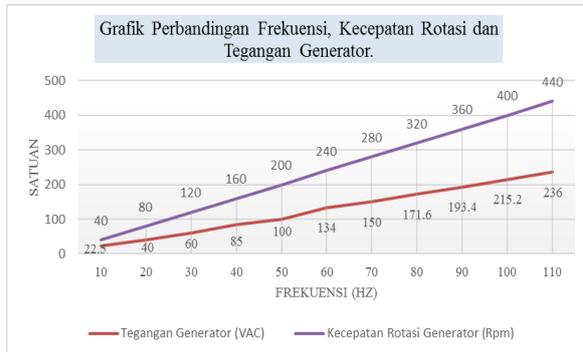
Gambar 2. Grafik Analisa Perbandingan Frekuensi dan Kecepatan Rotasi Generator.

Analisa Perbandingan Frekuensi Dan Tegangan Generator



Gambar 3. Grafik Perbandingan Frekuensi dan Tegangan Generator

Analisa Perbandingan Frekuensi, Kecepatan Rotasi Dan Tegangan Generator



Gambar 4. Grafik Perbandingan Frekuensi, Kecepatan Rotasi dan Tegangan Generator.

Pengukuran Generator Berbeban

Pada pengukuran generator berbeban dilakukan pengukuran arus dan daya generator. Generator berbeban, meliputi:

1. Dengan pengaturan generator 200Rpm, 50Hz, 100V, data yang diukur yaitu: Arus dan Daya. Beban yang dipakai berupa 3 buah lampu led yang dirangkai secara paralel.
2. Dengan pengaturan generator 420Rpm, 105Hz, 220V, data yang diukur yaitu: Arus dan Daya. Beban yang pakai berupa 1 buah lampu LED 18W.

Pengukuran dengan Pengaturan Generator 200Rpm, 50Hz, 100V

Diambil 2 parameter pengukuran diantaranya: arus dan daya. Data pengukuran dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Data Pengukuran dengan Pengaturan Generator 200Rpm, 50Hz, 100V

Beban	Arus(mA)	Daya(W)
1 buah LED 18W	20	2
2 buah LED 18W	51	5.1
3 buah LED 18W	90	9

Pengukuran dengan Pengaturan Generator 420Rpm, 105Hz, 220V

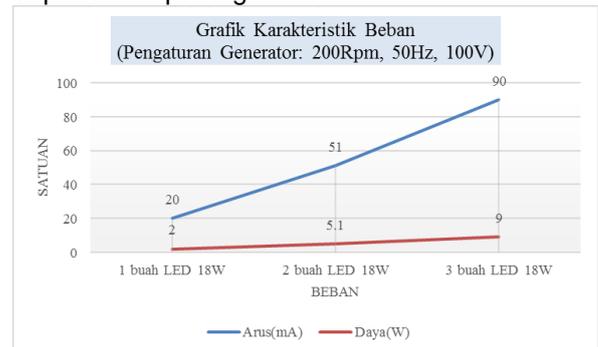
Diambil 2 parameter pengukuran diantaranya: arus dan daya. Data pengukuran dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Data Pengukuran dengan Pengaturan Generator 420Rpm, 105Hz, 220V

Beban	Arus(mA)	Daya(W)
1 buah LED 18W	120	26.4W

Analisa Pengukuran dengan Pengaturan Generator 200Rpm, 50Hz, 100V

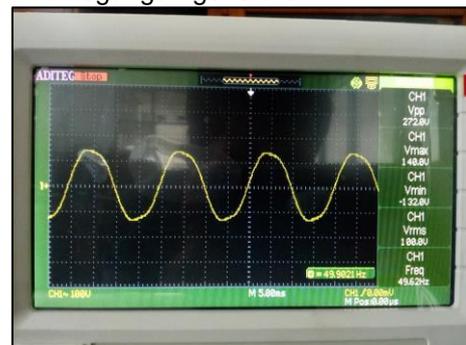
Analisa perbandingan digunakan untuk mengetahui karakteristik arus dan daya yang dihasilkkan generator terhadap beban, dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 5. Grafik karakteristik beban (pengaturan generator: 200Rpm, 50Hz, 100V).

Analisa Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang generator dianalisa menggunakan alat osiloskop dan dilihat bentuk gelombangnya. Alat osiloskop yang digunakan menggunakan tipe analog dan digital, cara menghubungkannya yaitu probe pada osiloskop dihubungkan langsung pada terminal tegangan generator.



Gambar 6. Bentuk Gelombang Generator.

PEMBAHASAN

Perencanaan generator axial flux sesuai dengan teori yang dipelajari, tegangan yang dapat dihasilkan generator ini pada kecepatan rotasi 200Rpm dan frekuensi 50 Hz adalah 100V. tegangan dapat naik sesuai dengan kecepatan rotasi pada

generator, seperti pada grafik Gambar 5.1, adanya perbedaan tegangan hasil perhitungan teori yaitu 128,94 Volt dengan hasil pengukuran yaitu 100 Volt pada kecepatan rotasi generator 200 Rpm dan frekuensi 50 Hz, penulis berpendapat disebabkan pengaruh ukuran dan bentuk kumparan terhadap nilai fluks dan hasil tegangan keluaran pada generator yang penulis belum dapat mencari secara teoritis.

Tegangan keluaran generator axial fluks dipengaruhi oleh beberapa parameter, diantaranya: kecepatan rotasi, jenis magnet, besar volume magnet, bentuk dan ukuran kumparan, banyak lilitan dalam satu kumparan dan *air gap* atau celah udara antara rotor dan stator.

Arus keluaran generator axial fluks dipengaruhi oleh ukuran diameter kawat tembaga email yang digunakan sesuai dengan Tabel 2.2 Kuat hantar arus kawat tembaga email.

Pemilihan jenis magnet permanen sangat berpengaruh terhadap hasil tegangan keluaran generator, pemilihan jenis magnet neodmium sangat tepat karena memiliki nilai daya magnet yang paling kuat dibandingkan dengan jenis magnet permanen lainnya, ukuran magnet juga sangat berpengaruh, semakin besar volume magnet semakin besar hasil tegangan generator.



Gambar 7. Generator Axial Fluks.

KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil pengamatan dan analisa data secara keseluruhan yang telah dilaksanakan, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Generator axial fluks magnet permanen merupakan generator penguatan tetap sehingga hasil pembangkitannya sudah tetap, atau dengan kata lain hasil

tegangan keluaran tidak bisa di rubah seperti pada generator penguatan luar, tetapi generator magnet permanen mempunyai efisiensi yang lebih baik karena tidak ada energi listrik yang dibutuhkan untuk penguatan.

2. Pemilihan jenis magnet permanen ukuran dan besar volume magnet pada generator axial fluks sangat berpengaruh terhadap hasil tegangan keluaran generator.
3. Untuk membuat generator axial fluks, dibutuhkan beberapa bahan utama diantaranya: magnet permanen jenis neodmium, kawat tembaga email ukuran diameter 0,5 mm, acylic, resin, katalis, fiber glass, ass dan baut.
4. Untuk membuat generator axial fluks yang memiliki torsi putar rendah atau tanpa cogging torque adalah dengan membuat stator tanpa inti (coreless).
5. Untuk menganalisa pembangkitan pada generator axial fluks yaitu dengan melakukan pengukuran pada gelombang, tegangan, arus, kecepatan rotasi dan frekuensi.
6. Tegangan yang dihasilkan generator kecepatan rotasi 200 Rpm adalah 100V dan berfrekuensi 50 Hz.
7. Arus yang dapat dihasilkan adalah 0,5 Amper.
8. Daya yang dapat dibangkitkan adalah 50 VA.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhmad, S. (1983). Sistem Eksitasi, Divisi Pemeliharaan PLTU Gresik. *Skripsi*.
- Jati, D. W., Sukmadi, T., & Karnoto. (2014). Perancangan Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Dengan Variasi Celah Udara. *Skripsi*.
- M.Nur, D. F., Siregar, R. H., & Syukri, M. (2013). Perancangan Prototype Generator Magnet Permanen Fluks Aksial Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin Untuk Penerangan Lampu Jalan. *Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro*.
- Nurhadi, A., Sukmadi, T., & Karnoto. (2010). Perancangan Generator Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis FE Fluks Aksial. *Skripsi*.
- Prasetijo, H. (2012). Generator Magnet Permanen Sebagai Pembangkit Listrik Putaran Rendah. *Dinamika Rekayasa*.
- Rossouw, F. G. (2009). *Analysis and Design of Axial Flux Permanent Magnet*

- Wind Generator System for Direct Battery Charging Applications*. South Africa: Departement of Electrical & Electronic Engineering Stellenbosch University.
- V, J., K, M., & Zeljko, S. K. (2010). *Excitation System Models of Synchronous Generator*. Croatia: Faculty of Electrical Engineering Osijek.
- Wijaya, A. A., Syarial, & Waluyo. (2016). *Perancangan Generator Magnet Permanen Dengan Arah Fluks Aksial untuk Aplikasi Pembangkit Listrik. Reka Elkomika*.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (2015). *Outlook Energi Indonesia 2015, Pengembangan Energi untuk Mendukung Pembangunan Berkelanjutan*. Jakarta.
- DBS Bank. (2015, 10 7). *Potensi Pengembangan Energi Baru-Terbarukan Indonesia - DBS Asian Insights*. Retrieved from www.dbsbank.com
- Renewable Energy Policy Network For 21st Century. (2016). *Renewable 2016 Global Status Report*.
- U.S Departement of Energy's National Renewable Energy Laboratory. (2015). *2014 Renewable Energy Data Book*.
- Wikipedia. (2016, Agustus 7). *Cogging torque*. Retrieved from Wikipedia: www.wikipedia.com