

Generator Sinkron 1 Fasa menggunakan Magnet Permanen

Radhiah*, Supri Hardi, Fauzan, Atika Lefyana Nur
Jurusan Teknologi Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

*radhiah@pnl.ac.id

Abstrak — Diversifikasi energi di bidang energi baru terbarukan (EBT) salah satu yang potensial adalah pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Banyak sumber energi air kecil yang belum dimanfaatkan sehingga pembangkit ini mampu memenuhi kebutuhan energi listrik skala rumah tangga. Permasalahannya yaitu bagaimana pemilihan magnet permanen yang sesuai, bentuk rancangan jumlah kutub dan bentuk lilitan stator, dan pengujian karakteristik generator hasil rancangan sesuai spesifikasi yang diharapkan. Tujuan penelitian yaitu menghasilkan generator sinkron hasil modifikasi lilitan stator dengan menggunakan magnet permanen pada rotor. Untuk mengetahui kinerjanya hasil rancangan generator sinkron 1 fasa dengan melakukan pengujian. Hasil yang didapat dalam penelitian ini yaitu magnet yang dipilih jenis neodymium N52 dengan kekuatan magnet secara pengukuran rata-rata 5 titik pengukuran sebesar sebesar 0,0745mWb dengan luas bidang magnet 50x10mm untuk rotor motor induksi 125 watt dan 0,927 mWb dengan luas bidang 60x50mm untuk rotor motor induksi 400 watt. Motor induksi 125 watt, kutub rotor 6, 24 slot stator, 4 slot per kutub, 600 lilitan. Motor induksi 400 watt, 4 kutub rotor, 21slot stator, 4 slot per kutub, 960 lilitan. Jumlah lilitan sangat tergantung ukuran slot dan ukuran kawat email yang digunakan. Karakteristik Generator 125 watt menghasilkan tegangan 16 volt kondisi frekuensi 50 Hz pada beban 10 watt. Karakteristik generator 400 watt menghasilkan tegangan 359 volt kondisi frekuensi 50 Hz pada beban 120 watt.

Kata kunci: generator sinkron, motor induksi, magnet permanen

Abstract— One of the potential areas of energy diversification in the field of new renewable energy (EBT) is the development of Microhydro Power Plants (PLTMH). There are many small water energy sources that have not been utilized so that this generator is able to meet household scale electrical energy needs. The problems that will be studied are how to select the appropriate permanent magnet, the design form, the number of poles and the shape of the stator winding, and testing the characteristics of the designed generator according to the expected specifications. In this research, a synchronous generator was used as a model, the result of modified stator windings using fixed magnets on the rotor. To find out the performance of the design results of a single phase synchronous generator by carrying out testing. The results obtained in this research were that the magnet chosen was neodymium N52 type with an average magnetic strength measured at 5 measurement points of 0.0745mWb with a magnetic field area of 50x10mm for the 125 watt induction motor rotor and 0.927 mWb with a field area of 60x50mm for the motor rotor. 400 watt induction. 125 watt induction motor, 6 pole rotor, 24 stator slots, 4 slots per pole, 600 turns. 400 watt induction motor, 4 pole rotor, 21 stator slots, 4 slots per pole, 960 turns. The number of turns really depends on the size of the slot and the size of the email wire used. Characteristics: The 125 watt generator produces a voltage of 15 volts at a frequency of 50 Hz at a load of 10 watts. Characteristics: The 400 watt generator produces a voltage of 359 volts at a frequency of 50 Hz at a load of 120 watts.

Keywords— Synchronous generator, induction motor, permanent magnet

I. PENDAHULUAN

Pada saat ini hampir terjadi krisis energi dengan menggunakan sumber energi fosil, sehingga menuntut pemerintah melakukan diversifikasi energi di bidang energi baru terbarukan (EBT). Salah satu yang potensial adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) karena mengingat banyak sungai - sungai dan air terjun yang kecil di Indonesia. Pembangkit ini mampu memenuhi kebutuhan energi listrik skala kecil, ≤ 500 watt, tegangan 220 volt, 50 Hz. Konsep sebuah generator sinkron dalam mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik ada 3 variabel yang berkaitan erat yaitu, besar magnet pada rotor, jumlah dan bentuk lilitan pada stator, dan jumlah putaran yang diterima generator.

Untuk mendapatkan sebuah kapasitas tertentu, maka harus dirancang 3 variabel tersebut, yang pertama pemilihan magnet permanen yang kuat, jumlah lilitan yang sesuai hitungan, dan putaran sesuai jumlah kutub dengan frekuensi standar 50 HZ [1]. Generator berkapasitas kecil ≤ 500 watt tidak ada dijual dipasaran, dengan tegangan 220 volt dan tidak ada generator putaran rendah serta harganya yang cukup mahal. Permasalahannya adalah bagaimana pemilihan magnet

permanen yang sesuai, bentuk rancangan Jumlah kutub dan bentuk lilitan stator, dan karakteristik generator hasil rancangan sesuai spesifikasi yang diharapkan.

Generator jenis ini jarang ditemui di Indonesia, sehingga peneliti untuk memodifikasi motor induksi satu fasa yang ada untuk dapat digunakan sebagai generator putaran rendah yaitu di bawah 1000 rpm. Pada penelitian ini sebagai model digunakan generator sinkron hasil modifikasi lilitan stator dengan menggunakan magnet tetap pada rotor. Untuk mengetahui kinerjanya hasil rancangan generator sinkron 1 fasa dengan melakukan pengujian pada putaran rentang 0 s/d 1000 rpm dengan magnet permanen. Tujuan penelitian yaitu menghasilkan generator sinkron 1 fasa rotor magnet tetap yang dimodifikasi dari motor induksi 1 fasa. Generator modifikasi tersebut mampu menghasilkan daya ≤ 500 watt, 220 volt dengan putaran dibawah 1000 RPM yang dapat diproduksi untuk kebutuhan masyarakat.

Penelitian berkaitan dengan mengubah motor induksi menjadi generator sinkron sudah dilakukan. Tetapi daya dan tegangan yang dihasilkan masih terlalu kecil sehingga penggunaan untuk kebutuhan beban tidak terpenuhi secara efektif. Sebuah penelitian dengan modifikasi yang dilakukan yaitu menambahkan magnet permanen pada rotor yang telah

di bubut dan mengubah lilitan asli dari motor. Selanjutnya dilakukan pengujian generator dengan memberikan beban 40 Ohm pada variasi kecepatan putar 200-1600 rpm. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan generator mampu menghasilkan daya paling rendah sebesar 0.7 Watt pada kecepatan 200 rpm dan daya paling tinggi sebesar 41.8 watt pada kecepatan 1600 rpm. Efisiensi terbaik pada pengujian terjadi saat menggunakan kecepatan 400 rpm dengan nilai efisiensi 75.78% [2].

Pengujian ini hanya melihat tingkat efisien pada putaran tertentu, tanpa melihat kualitas dayanya. Kemudian sebuah perancangan dari hasil pemodelan *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) yang dilakukan mempunyai spesifikasi 24 slot 16 pole, slot dengan diameter kawat tembaga 0.5 mm serta lilitan tiap coil yaitu 60 lilitan, dengan jumlah 16 buah magnet jenis *neodymium N35*, serta bahan dari stator dan rotor menggunakan M800-50A steel dengan ketebalan bahan rotor dan stator yaitu 42,4 mm mendapatkan hasil performa tertinggi di kecepatan 700 Rpm pada beban 30 Ω dengan mendapatkan tegangan 82.9 Vdc, arus sebesar 2.8 A dan daya output yaitu 313,24 Watt dengan efisiensi mencapai 79 % [3].

Penelitian ini menitik beratkan pada karakteristik dari generator tersebut. Pengubahan bentuk Lilitan stator sangat mempengaruhi tegangan dan efisiensi yang dihasilkan generator, dimana bentuk lilitan stator yang dipilih, tegangan yang dihasilkan berbeda sebesar 1.02 V dan arus 0.03 A, dari data yang dihasilkan terlihat bahwa teknik lilitan pada stator mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh generator. Desain pemodifikasian motor induksi sebagai generator magnet permanen adalah pemodifikasian bagian stator dan rotor. Hasil validasi yang didapatkan rata-rata efisiensi sebesar 81,25%, dan kriteria kualitatif yang didapatkan adalah bagus [4].

Penentuan generator sinkron menggunakan rotor 4 kutub magnet neodymium dengan ukuran 40x20x4 mm, dan stator memiliki 9 slot setiap slot memiliki 72 belitan. Selama pengaplikasian, generator pada saat output menghasilkan rata-rata 3,6886 volt. Perancangan generator magnet permanen menghasilkan spesifikasi generator 3 fase hubungan belitan (delta), tegangan 12,1vac, daya aktif 300 watt, frekuensi 50 HZ pada putaran nominal 250 rpm [5].

Perancangan dengan merubah bentuk geometrinya mampu menghasilkan dengan kecepatan putar sekitar 100 rpm sampai 150 rpm pada beban 5 ohm yaitu 125,86 Watt sampai 231,59 Watt. Tegangan DC rata-rata sebesar 33,5 volt, arus DC rata-rata sebesar 6,65 Ampere, Torsi sebesar 23,24 Nm, Daya input sebesar 365,14 Watt, Daya output sebesar 231,59 Watt dan efisiensi rentang 58% sampai 79% [6].

Pada posisi ini peneliti melakukan perancangan dan pembuatan generator berkapasitas kecil dibawah 500 watt dengan putaran 1000 Rpm, dengan tegangan 220 volt 50 Hz. Setelah dirancang dan dibuat selanjutnya generator hasil rancangan ini diuji terkait kapasitas daya, tegangan, dan frekuensi sesuai standar kebutuhan energi listrik. Magnet permanen diukur sehingga kesesuaian kebutuhan tegangan dengan jumlah lilitan dapat tercapai. Frekuensi diukur berdasarkan jumlah kutub dan frekuensi yang diharapkan yaitu 50 Hz. Peneliti menjelaskan pengujian dengan metode

yang sesuai terkait pengujian hasil rancangan dengan masalah yang dibahas.

Generator adalah beban yang harus digerakkan oleh turbin untuk menghasilkan tegangan pada frekuensi tertentu. Kebutuhan putaran generator harus dipenuhi sesuai jumlah kutub dan frekuensi yang di inginkan. Sebuah generator AC memiliki lilitan dalam masing-masing fasa yang terdistribusi pada masing-masing alur stator. Kemudian rotor generator sebagai pembangkit medan magnet diputar oleh turbin, maka fluks medan rotor akan mengimbaskan magnet ke kumparan stator, sehingga terbangkit tegangan induksi [7 8].

Besar tegangan induksi yang dibangkitkan sebesar persamaan 1,

$$E = 4,44 \times f \times N \times \Phi \tag{1}$$

Dimana E adalah tegangan dibangkitkan, f adalah frekuensi yang tergantung kecepatan turbin memutar generator, N adalah jumlah lilitan generator, fluksi magnet yang dihasilkan oleh pengaturan tegangan eksitasi. Kecepatan rotor dan frekuensi dari tegangan yang dibangkitkan oleh suatu generator sinkron berbanding lurus. Satu putaran rotor dalam satu detik menghasilkan satu siklus per detik atau 1 Hertz (Hz). Bila kecepatannya 60 Revolution per menit (Rpm), frekuensi 1 Hz. Maka untuk frekuensi $f = 60$ Hz, rotor harus berputar 3600 Rpm. Untuk kecepatan rotor n rpm, rotor harus berputar pada kecepatan $n/60$ revolution per detik (rps). Bila rotor mempunyai lebih dari 1 pasang kutub, misalnya P kutub maka masing-masing revolution dari rotor menginduksikan $P/2$ siklus tegangan dalam lilitan stator. Frekuensi dari tegangan induksi sebagai sebuah fungsi dari kecepatan rotor, dan diformulasikan dengan persamaan 2 [9], [10]:

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{n}{60} \text{ (hertz)} \tag{2}$$

Ketentuan standar nilai tegangan, dan frekuensi, pada system memiliki batas yang ditentukan oleh standar IEEE-519 tentang Aturan Distribusi Tenaga Listrik dimana ketentuan tersebut yaitu,

1. Tegangan dalam peraturan disebutkan bahwa tegangan pada distribusi tenaga listrik dibatasi pada fluktuasi max +5% dan minimal -10%
2. Frekuensi nominal 50 Hz dibatasi dalam rentang 49.5 -50.5 Hz

Penentuan standar tegangan dan frekuensi tentunya memiliki tujuan yaitu,

1. Tujuan tegangan harus tetap konstan pada berbagai kondisi dan perubahan beban yaitu,
 - a. Untuk menghindari kerusakan peralatan sumber tegangan dan beban pada sisi konsumen
 - b. Kenyamanan pengguna energi listrik
2. Tujuan frekuensi harus tetap konstan pada berbagai kondisi dan perubahan beban terlebih-lebih pada saat beban lepas yaitu,
 - a. untuk menyelamatkan peralatan mekanik pada sisi pembangkit
 - b. untuk menyelamatkan peralatan dari perubahan putaran pada sisi konsumen
 - c. untuk menyelamatkan peralatan dari over load pada saat kecepatan rendah

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang dilakukan pada penelitian ini sesuai masalah yang dibahas yaitu metode perancangan, pembuatan dan pengujian. Fokus penelitian yaitu melakukan modifikasi motor induksi menjadi generator sinkron 1 fasa berdaya dan kecepatan rendah dibawah 500 watt dengan kecepatan dibawah 1500 RPM. Tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian ini yaitu mengubah motor induksi 125 watt dan 400 watt menjadi generator dengan model magnet yang berbeda yang dijelaskan di metode penelitian ini.

Membuat generator sinkron dengan mengubah motor induksi 125 watt dan 400 watt, selanjutnya menguji generator sinkron 1 fasa tersebut terkait karakteristik generator terhadap tegangan, frekuensi, dan daya kondisi variasi beban.

A. Perancangan dan pembuatan generator 1 fasa

Dalam merancang generator sinkron yang harus dihitung jumlah kutub, kekuatan magnet permanen yang dihasilkan, rancangan kumparan induksi di stator dengan kapasitas daya dibawah 500 watt, dengan putaran dibawah 1500 RPM yang akan dibuat yaitu,

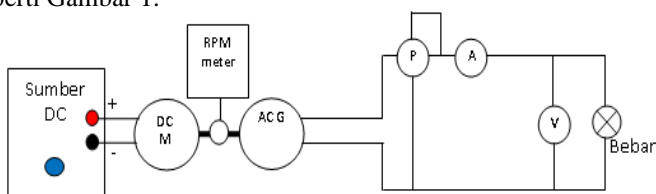
1. Merancang magnet permanen pada sisi rotor
Melakukan pengikisan rotor sangkar setebal 7 mm, sebagai penempatan magnet permanen. Kemudian dicor dengan resin agar tidak lepas magnet tersebut, selanjutnya dibubut agar sesuai dengan ruang stator.
2. Merancang kumparan 220 volt dengan frekuensi 50 Hz
 - a. Melakukan pembongkaran kumparan stator motor induksi, kemudian dirancang terkait jumlah kutub, langkah kumparan, jumlah kumparan dan ukuran kawat yang digunakan.
 - b. Melakukan penggulangan ulang (rewinding) kumparan stator sesuai rancangan yang dilakukan.

B. Pengujian generator sinkron 1 fasa

Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik generator sinkron 1 fasa terkait variasi beban. Pengujian dilakukan untuk melihat;

- a. Kekuatan magnet yang dihasilkan
- b. Mengetahui besar tegangan dan frekuensi yang dibangkitkan
- c. Mengetahui besar daya yang mampu dihasilkan oleh generator sinkron 1 fasa.

Metode pengujian yang akan dilakukan yaitu dengan memutar generator dengan variasi Putaran. Generator dikoplingkan dengan motor DC sebagai penggerak utamanya seperti Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian pengujian generator

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rancangan magnet pada rotor motor induksi 125 watt

Rancangan magnet pada rotor terkait dengan jumlah magnet dan jumlah kutub yang harus dibentuk. Setelah dipilih ukuran magnet 50mm panjang batangan magnet, 10mm lebar magnet dan 5mm ketebalan magnet. Selanjutnya magnet tersebut di letakkan pada rotor sebagai pembangkit fluksi magnet.

B. Rancangan magnet pada rotor motor induksi 400 watt

Ukuran magnet dipilih 60 mm panjang batangan magnet, 50 mm lebar magnet dan 3 mm ketebalan magnet. Ukuran rotor awal dengan diameter 60 mm, maka harus dibubut dengan diameter sebesar 55 mm. hal ini dimaksudkan untuk penempelan magnet pada rotor tersebut.

C. Data pengukuran magnet 50x10x5mm

Data hasil pengukuran merata dalam 5 titik pada bentangan magnet kutub selatan dengan alat ukur yang digunakan adalah gausse meter type TD8620 dalam satuan T (Tesla). Rata rata magnet selatan di lima titik pengukuran sebesar 74,6 mTesla atau 75×10^{-3} Tesla. Rata rata magnet kutub utara sebesar 74 mTesla atau 74×10^{-3} Tesla. Dari hasil pengukuran rata-rata magnet setiap batang di luas permukaan magnet tersebut yaitu: $(75 + 74)/2 = 74,5$ mTesla atau $74,5 \times 10^{-3}$ Tesla.

Luas permukaan magnet sebanyak 2 buah per kutub yaitu $P \times L \times 2 = 50 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 2 = 1000 \text{ mm}^2 = 0.001 \text{ m}^2$. Sehingga fluksi magnet dapat dihitung yaitu;

$$1 \text{ T} = 1 \text{ wb/m}^2$$

$$\Phi = B (\text{Wb/m}^2) \times A (\text{m}^2) = (\text{weber})$$

$$\Phi = 74,5 \times 10^{-3} \text{ Wb/m}^2 \times 0,001 \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,0745 \text{ mWb} \text{ atau } 0,0745 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

D. Data pengukuran magnet 60x50x3mm

Rata rata magnet selatan di lima titik pengukuran sebesar 293 mTesla atau 293×10^{-3} Tesla. Rata rata magnet kutub utara sebesar 325 mTesla atau 325×10^{-3} Tesla. Dari hasil pengukuran rata-rata magnet setiap batang di luas permukaan magnet tersebut yaitu: $(293 + 325)/2 = 309$ mTesla atau 309×10^{-3} Tesla.

Luas permukaan magnet $P \times L = 60 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} = 3000 \text{ mm}^2 = 0,003 \text{ m}^2$. Sehingga fluksi magnet dapat dihitung yaitu;

$$1 \text{ Tesla} = 1 \text{ wb/m}^2$$

$$\Phi = B (\text{Wb/m}^2) \times A (\text{m}^2) = (\text{weber})$$

$$\Phi = 309 \times 10^{-3} (\text{Wb/m}^2) \times 0,003 \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,927 \times 10^{-3} \text{ waber}$$

E. Rancangan Kumparan stator motor induksi 125 watt

Rancangan kumparan stator motor induksi 125 watt, 24 alur akan terkait dengan jumlah kutub, ukuran kawat dan jumlah lilitan yang harus digunakan dalam melilit alur stator. Jumlah kutub yang dapat dibentuk sebanyak 6 kutub dengan 4 alur per kutub. Ukuran kawat emil terkait erat dengan kapasitas arus yang mampu dilalui oleh kawat tersebut. Jumlah lilitan akan terkait erat dengan besar tegangan induksi yang dihasilkan. Sesuai dengan masalah yang akan dibahas yaitu terkait dengan besar tegangan yang akan dihasilkan sebesar 220 volt AC, frekuensi 50 Hz, 6 kutub, maka jumlah

lilitan terkait dengan magnet hasil pengukuran sebesar $0,0745 \times 10^{-3}$ Wb yaitu,

$$N = \frac{220}{4,44 \times 50 \times 0,0745 \times 10^{-3}} = 13300 \text{ lilitan}$$

Hal ini tidak memungkinkan dilakukan dengan jumlah lilitan yang demikian besar. Dengan ukuran slot yang tersedia maka jumlah lilitan dengan ukuran kawat 0,55 yaitu 100 lilitan per kutub, sehingga jumlah lilitan keseluruhannya dalam 6 kutub sebesar $6 \times 100 = 600$ lilitan. Dengan demikian tegangan induksi yang dihasilkan untuk jumlah 600 lilitan pada nilai fluks magnet 112 mTesla dengan luas permukaan magnet $0,001 \text{ m}^2$, maka tegangan yang dihasilkan sebesar;

$$e = 4,44 \times 50 \times 600 \times 112 \times 10^{-3} \times 0,001 = 14,92 \text{ volt}$$

atau dibulatkan menjadi 15 volt.

Inovasi generator dari motor induksi 125 watt tidak dapat tercapai tegangan dan frekuensi yang diharapkan. Karena begitu kecil magnet yang dihasilkan dan banyaknya lilitan yang harus digunakan pada alur stator tersebut.

F. Rancangan Kumputan stator motor induksi 400 watt

Rancangan kumputan stator motor induksi 400 watt 21 alur dengan jumlah kutub rotor magnet permanen sebanyak 4 kutub. Jumlah kutub stator akan terkait jumlah kutub rotor magnet yang terpasang. Kapasitas kumputan stator akan terkait dengan ukuran kawat dan jumlah lilitan yang harus digunakan dalam melilit alur stator. Ukuran kawat email terkait erat dengan kapasitas arus yang mampu dilalui oleh kawat tersebut. Jika tegangan yang diharapkan 220 volt AC, frekuensi 50 Hz, Maka jumlah lilitan dengan magnet dari hasil pengukuran sebesar $0,927 \times 10^{-3}$ waber yaitu,

$$N = \frac{220}{4,44 \times 50 \times 0,927 \times 10^{-3}} = 1069 \text{ lilitan}$$

Lilitan dilakukan sesuai ukuran slot atau alur yaitu sebanyak 240 lilitan per kutub dengan ukuran kawat sebesar 0,7mm, sehingga jumlah lilitan keseluruhannya dalam 4 kutub sebesar $4 \times 240 = 960$ lilitan. Selisih lilitan antara perhitungan dengan implementasi jumlah lilitan slot stator sebesar 109 lilitan.

Tegangan induksi rata-rata yang dihasilkan untuk jumlah 960 lilitan pada nilai rata-rata magnet sebesar 384 mT dengan luas permukaan magnet $0,003 \text{ m}^2$, maka tegangan yang dihasilkan sebesar;

$$e = 4,44 \times 50 \times 960 \times 384 \times 10^{-3} \times 0,003 = 245,5 \text{ volt}$$

Inovasi generator dari motor induksi 400 watt dapat tercapai tegangan dan frekuensi yang diharapkan. Tercapainya tegangan dan frekuensi yang dihasilkan karena besar magnet dan banyaknya lilitan yang harus digunakan pada alur stator tersebut tercapai.

G. Hasil Pengujian generator

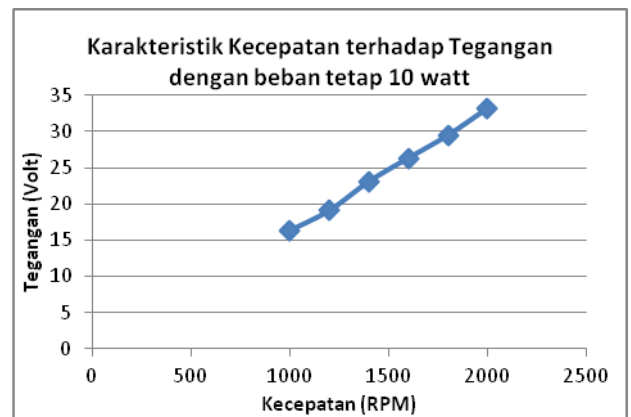
Pengujian dilakukan terhadap 2 buah generator hasil rancangan dengan magnet permanen. Masing-masing merupakan inovasi mengubah kerja dari motor induksi 125 watt dan motor induski 400 watt menjadi generator sinkron

pembangkit energi listrik. Dalam pengujian ini yang hanya diatur adalah putaran dan variasi beban terhadap kedua generator tersebut.

H. Karakteristik generator rotor magnet permanen

Dari hasil rancangan, pembuatan dan pengujian yang telah dilakukan terhadap 2 buah generator sinkron magnet permanen. Satuan kuat magnet dapat berupa tesla dan gauss, sementara weber adalah rapat kuat magnet persatuan meter persegi.

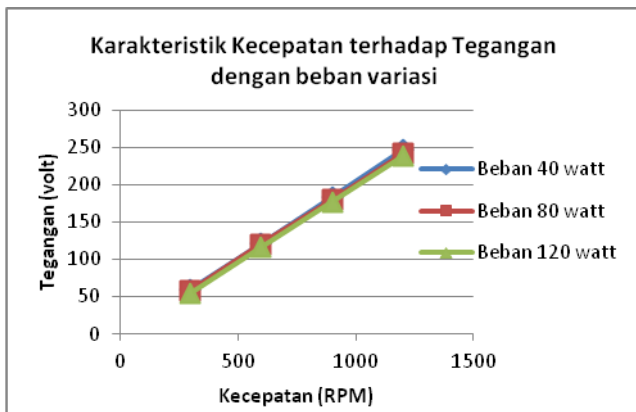
Karakteristik antara kecepatan dengan tegangan yang dihasilkan terhadap motor induksi 125 watt magnet permanen $0,000075 \text{ wb}$, 6 kutub, 24 alur, 600 lilitan dengan variasi putaran seperti Gambar 2.



Gambar 2. Karakteristik kecepatan terhadap tegangan

Kemampuan dari rancangan generator berdasarkan karakteristik Gambar 2 yaitu generator bekerja pada frekuensi 50 Hz diputar 1000 RPM hanya mampu menghasilkan tegangan 16 volt. Tegangan dapat ditingkatkan dengan cara menaikkan putaran generator tersebut. Kecepatan putaran generator dinaikan sehingga frekuensi, tegangan dan daya yang dihasilkan juga meningkat. Selisih antara perhitungan dengan data pengujian tidak terlalu signifikan yaitu 1 volt dengan menggunakan fluks magnet tertinggi yaitu 112 mWb. Tegangan yang dibangkitkan oleh generator sangat terkait erat dengan besar fluks magnet, jumlah lilitan stator dan putaran yang diberikan. Jika putaran tetap 1000 RPM pada frekuensi 50 Hz dan jumlah lilitan tidak dapat ditambah lagi, maka yang berperan besar menaikkan tegangan adalah fluksi magnet. Jika fluksi magnet kecil tegangan juga kecil, demikian sebaliknya.

Karakteristik antara kecepatan terhadap tegangan yang dihasilkan oleh motor induksi 400 watt dengan magnet permanen $0,927 \times 10^{-3}$ weber, 4 kutub, 21 alur, 960 lilitan dengan variasi putaran seperti Gambar 3.



Gambar 3. Karakteristik kecepatan terhadap tegangan

Pada pengujian ini frekuensi 50 Hz tidak dapat dilakukan karena tegangan yang dibangkitkan melebihi rating beban sebesar 220 volt. Kemampuan dari rancangan generator berdasarkan karakteristik Gambar 3 yaitu generator di uji dan bekerja pada frekuensi 40 Hz diputar 1200 RPM. Generator diberi beban 40 watt menghasilkan tegangan 246 volt, beban 80 watt menghasilkan tegangan 241 volt, dan beban 120 watt menghasilkan tegangan 238 volt. Kelemahan dari generator magnet permanen ini yaitu fluks magnet tidak dapat diatur sehingga tegangan yang dihasilkan juga tidak dapat diatur pada kecepatan tetap.

IV. KESIMPULAN

1. Magnet yang dipilih jenis neodymium N52 dengan kekuatan magnet secara pengukuran rata-rata 5 titik pengukuran sebesar sebesar $0,0745 \times 10^{-3}$ Wb dengan luas bidang $50 \times 10 \text{ mm}$ untuk rotor motor induksi 125 watt dan $0,927 \times 10^{-3}$ Wb dengan luas bidang $60 \times 50 \text{ mm}$ untuk rotor motor induksi 400 watt.
2. Jumlah kutub sesuai jumlah alur stator sebanyak 6 kutub, 24 alur, 4 alur per kutub dengan jumlah lilitan sebanyak 600 lilitan dan 4 kutub, 21 alur, 4 alur per kutub dengan jumlah lilitan 960. Jumlah lilitan sangat tergantung ukuran alur, ukuran kawat email yang digunakan.
3. Karakteristik Generator sinkron dari motor induksi 125 watt menghasilkan tegangan 16 volt kondisi frekuensi 50 Hz dan 33 volt kondisi diputar dengan frekuensi 100 Hz pada beban 10 watt.
4. Karakteristik Generator sinkron dari motor induksi 400 watt menghasilkan tegangan 238 volt kondisi frekuensi 40 Hz pada beban 120 watt dan 359 volt kondisi frekuensi 50 Hz.

REFERENSI

- [1] Zuriman Anthony, 2018, *Mesin Listrik Dasar*, ITP Press Jl. Gajah Mada Kandis Nanggal Padang 25143 Sumatera Barat, Indonesia, ISBN: 978-602-70570-8-1.
- [2] Heni Krisdiantoro, dkk, *Unjuk Kerja Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) 3 Fasa Fluks Radial dari Modifikasi Motor Induksi*, Jurnal Arus Elektro Indonesia (JAEDI).
- [3] Deni Arianto Barus, 2022, *Analisa modifikasi motor induksi menjadi Permanent Magnet Synchronous Generator tiga fasa dengan Menggunakan Finite Element Method (FEM)*, Universitas Medan Area
- [4] Ely Purwanto, 2020, *Pemodifikasian Motor Listrik Induksi Sebagai Generator Magnet Permanen Rpm Rendah*, Institut Agama Islam Negeri Palangka Raya.
- [5] Syaiful Mustopa, Gusti Rusydi Furqon, Abdurahim Sidiq, *Pengaplikasian Generator Untuk Turbin Angin Savonius Sebagai*

Pembangkit Listrik Median Penerangan Jalan, Univesitas Muhammad Arsyad Al Banjari

- [6] Muhammad Irfan, Erwin Erwin dan Slamet Wiyono, 2021, *Sultan Wind Turbine V-5 Permanent Magnet Synchronous Generator Design*, Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi.
- [7] Ion Boldea, 2006, *Synchronous Generators*, The Electric Generators Handbook, Polytechnical Institute Timisoara, Romania.
- [8] Valéria Hrabovcová, Pavol Rafajdus and Pavol Makyš, 2020, *Analysis of Electrical Machines*, Published in London, United Kingdom.
- [9] I Nyoman Bagia & I Made Parsa, 2018, *MOTOR-MOTOR LISTRIK*, penerbit CV. Rasi.
- [10] Berker Bilgin and Anand Sathyan, 2015, *Fundamentals of Electric Machines*, International Standard Book Number-13: 978-1-4665-9770-9 (eBook - PDF).