

KARAKTERISTIK TEGANGAN DAN FREKUENSI GENERATOR INDUKSI SATU FASE TEREKSITASI DIRI BERDAYA KECIL

Agus Supardi¹⁾, Aris Budiman²⁾

¹⁾Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
email: Agus.Supardi@ums.ac.id

²⁾Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
email: Aris.Budiman@ums.ac.id

Abstract

Generators used in remote areas often have to be purchased from another city so that the cost needed to be expensive. An alternative solution is to modify the induction motor available in the market into an induction generator. Therefore, it is necessary to conduct a research to observe the performance of induction generator resulting from the modification of the induction motor. The research was started by connecting the single phase induction generator and the prime mover. The rotational speed of induction generator was controlled by regulating the voltage of the motor used as a prime mover. After the rotational speed reach a certain value, the voltage and the frequency of induction generator were measured by using a multimeter. After that, the energy saving lamps of 24 to 120 watts were connected to terminals of induction generator. Under no-load condition, the results showed that the variation of rotational speed from 1000 to 1200 rpm causes voltage variation from 146,2 to 217,5 volts and frequency variation from 49,2 to 59,6 Hz. When the energy saving lamps were connected to induction generator, the test results showed that the variation of the load from 24 to 120 watts causes the voltage varies from 214,8 to 196 volts, the rotational speed varies from 1154 to 1096 rpm, and the frequency varies from 60,3 to 57,8 Hz.

Keywords: *induction generator, single phase, voltage, frequency, rotating speed*

1. PENDAHULUAN

Peningkatan permintaan energi listrik yang tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas pembangkit listrik telah mendorong timbulnya krisis energi listrik di Indonesia. Di sisi lain, program elektrifikasi masih banyak yang belum menyentuh daerah – daerah terpencil. Elektrifikasi daerah terpencil biasanya dianggap kurang ekonomis bila dilakukan dengan memperluas jaringan listrik yang sudah ada. Jarak yang jauh mengakibatkan tingginya nilai investasi dan rugi – rugi jaringan. Oleh karena itu, perlu dimanfaatkan potensi energi terbarukan yang tersedia di daerah tersebut, seperti surya, angin, mikro/pikohidro, biogas dan lain – lain.

Pembangkit listrik di daerah terpencil sebaiknya menggunakan teknologi yang sederhana, murah, dan mudah dioperasikan.

Pembangkit listrik berkapasitas kecil dan berjumlah banyak adalah lebih cocok untuk dibangun di daerah seperti itu, menyesuaikan dengan tempat tinggal penduduk yang jaraknya berjauhan. Sebagian besar peralatan listrik yang digunakan oleh konsumen di daerah terpencil adalah beban satu fase, sehingga pembangkit listrik satu fase lebih tepat untuk diterapkan di daerah terpencil tersebut.

Salah satu alternatif pembangkit listrik di daerah terpencil adalah dengan memanfaatkan generator induksi. Hal itu disebabkan karena harganya murah, sederhana, kokoh, dan mudah pembuatannya [1,2]. Banyak penelitian telah dilakukan terkait generator induksi tiga fase [3,4,5] tetapi tidak begitu banyak penelitian tentang generator induksi satu fase.

Generator yang digunakan di daerah terpencil seringkali harus didatangkan dari tempat yang sangat jauh sehingga biaya pengadaannya menjadi lebih mahal. Salah satu alternatif solusinya adalah dengan memodifikasi motor induksi yang tersedia di pasar menjadi generator induksi. Oleh karena itu perlu diamati kinerja generator induksi hasil dari modifikasi motor induksi tersebut. Dalam penelitian ini, sebuah motor induksi jenis kapasitor telah dimodifikasi menjadi generator satu fase berdaya kecil yang digunakan untuk memasok beban listrik berupa lampu hemat energi. Kapasitor eksitasi dihubungkan pada belitan bantuannya. Serangkaian pengujian dilakukan untuk mengamati tegangan dan frekuensi generator induksi satu fase ketika kecepatan putar dan bebannya diubah – ubah.

2. KAJIAN LITERATUR

Dasar Teori

Motor induksi merupakan salah satu jenis motor arus bolak-balik yang secara luas digunakan dalam industri maupun rumah tangga. Motor induksi memiliki harga unit yang murah, konstruksi yang kuat, handal, dan sederhana. Selain itu, efisiensi motor ini ketika diberi beban penuh juga cukup tinggi dan mudah dalam perawatannya.

Generator induksi merupakan mesin induksi yang dioperasikan sebagai generator sehingga keduanya memiliki konstruksi yang sama, baik untuk generator maupun untuk motor. Prinsip kerja dari motor induksi adalah kebalikan dari generator induksi. Pada saat mesin induksi difungsikan sebagai motor maka kumparan statornya dihubungkan dengan sumber listrik sehingga akan timbul medan magnet yang berputar dengan kecepatan tertentu. Namun jika mesin induksi difungsikan sebagai generator, maka rotornya harus dikopel dengan suatu penggerak mula yang akan berputar dengan kecepatan yang lebih besar daripada kecepatan putar medan magnetnya. Suatu tegangan akan dibangkitkan dalam suatu kumparan ketika di sekitarnya ada medan magnet yang berubah – ubah nilainya.

Arus yang mengalir pada rotor akan berinteraksi dengan medan magnet pada

kumparan stator sehingga arus akan mengalir sebagai reaksi dari gaya mekanik yang telah diberikan. Suatu generator induksi membutuhkan suplai daya reaktif agar tegangan dapat dibangkitkan pada terminal keluarannya. Kapasitor dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan daya reaktif tersebut dan kapasitasnya disesuaikan dengan daya reaktif yang diperlukan. Kapasitor ini dapat dipandang sebagai suatu penguat (eksitasi) pada generator induksi sehingga generatornya disebut dengan generator induksi tereksitasi diri (*self excited of induction generator*).

Hal penting yang harus diperhatikan dalam generator induksi adalah keberadaan fluks sisa atau medan magnet sisa pada belitan stator. Jika fluks sisa ini tidak ada maka tidak akan terjadi proses pembangkitan tegangan pada generator induksi. Tegangan induksi pada rotor akan timbul jika ada fluks sisa dan rotornya berputar. Tegangan rotor ini akan menginduksikan tegangan di stator sehingga akan timbul arus yang akan mengisi kapasitor eksitasi sampai tercipta suatu keseimbangan baru. Tanda keseimbangan tersebut adalah adanya titik pertemuan antara garis reaktansi kapasitif dan lengkung magnetisasi.

Dalam aplikasinya generator induksi diklasifikasikan menjadi generator induksi masukan ganda (*Doubly Fed Induction Generator - DFIG*) dan generator induksi tereksitasi diri (*Self Excited Induction Generator - SEIG*). Klasifikasi generator ini didasarkan pada asal dari sumber eksitasinya. Eksitasi pada generator induksi diperlukan untuk menciptakan medan magnet pada rotor yang selanjutnya akan menghasilkan induksi elektromagnetik pada stator. Eksitasi juga diperlukan untuk mengkompensasi daya reaktif yang dibutuhkan oleh generator dalam proses pembangkitan listrik.

Sumber eksitasi pada generator induksi masukan ganda diperoleh dari jaringan listrik yang terhubung dengan generator tersebut. Generator ini akan menyerap daya reaktif dari jaringan listrik dalam proses pembangkitan medan magnet. Terminal keluaran generator jenis ini akan

dihubungkan dengan inverter. Generator induksi masukan ganda ini banyak diterapkan pada pembangkit listrik energi terbarukan.

Keuntungan dari generator induksi masukan ganda adalah keluaran tegangan dan frekuensinya tetap konstan walaupun kecepatan putarnya berubah-ubah. Kerugiannya adalah generator jenis ini harus dilengkapi dengan inverter yang berfungsi sebagai pengatur tegangan pada rotor dan jenis rotornya harus rotor lilit. Dengan demikian, tidak semua mesin induksi dapat dimanfaatkan sebagai generator induksi jenis ini. Selain itu, jaringan listrik juga harus selalu dihubungkan pada generator ini agar tersedia daya reaktif yang digunakan dalam proses pembangkitan tegangan. Apabila tidak ada jaringan listrik selaku penyedia daya reaktif maka tidak ada tegangan yang dibangkitkan pada generator jenis ini. Sembarang gangguan yang terjadi pada jaringan listrik yang terhubung dengan generator ini juga akan menyebabkan terhentinya operasi dari generator.

Sumber eksitasi pada generator induksi tereksitasi diri diperoleh dari kapasitor yang dihubungkan secara paralel pada terminal generator. Generator induksi ini akan bekerja seperti mesin induksi pada daerah jenuh dengan bank kapasitor terpasang pada terminal statornya. Mesin induksi jenis rotor lilit atau rotor sangkar tupai dapat digunakan sebagai generator induksi tereksitasi diri karena sumber eksitasinya berasal dari kapasitor yang dipasang pada terminalnya.

Generator induksi tereksitasi diri mempunyai beberapa keuntungan antara lain : tidak membutuhkan inverter, rotornya tidak memerlukan pengaturan tegangan, desain peralatannya tidak rumit, biaya pembuatannya tidak mahal, mudah dalam perawatannya, tidak membutuhkan jaringan listrik agar dapat beroperasi.

Generator induksi tereksitasi diri dapat beroperasi bila dihubungkan dengan suatu jaringan listrik dan tetap beroperasi walaupun terjadi gangguan pada jaringan. Oleh karena itu, pengoperasian generator induksi jenis ini menjadi lebih fleksibel.

Generator induksi tereksitasi diri merupakan salah satu pilihan dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik di daerah – daerah terpencil yang belum ada infrastruktur jaringan listrik. Generator dapat memanfaatkan berbagai potensi energi terbarukan dalam skala kecil, seperti kincir air dan kincir angin.

Telaah Penelitian

Motor induksi 3 fase dapat difungsikan sebagai generator induksi. Hal ini ditunjukkan dari diagram lingkaran mesin ketika slipnya negatif. Hal ini berarti bahwa agar dapat beroperasi sebagai generator maka rotor mesin induksi 3 fase harus diputar lebih cepat dari kecepatan putar medan magnet stator. Pada kondisi ini, mesin akan mensuplai daya aktif, tetapi dalam waktu yang bersamaan mesin harus disuplai daya reaktifnya [6].

Generator induksi mempunyai beberapa keunggulan bila dibandingkan dengan generator sinkron antara lain kuat dan sederhana konstruksinya, murah harganya, mudah pengoperasiannya, sedikit perawatannya, dan tinggi keandalannya. Keunggulan lain dari generator induksi adalah tidak memerlukan sikat, tidak memerlukan sumber arus searah sebagai eksitasi, dan mempunyai kemampuan proteksi diri ketika terjadi hubung singkat dan beban lebih dan [6,7].

Generator induksi satu fase dapat dihasilkan dari mesin induksi 3 fase yang dioperasikan pada suatu sistem yang tidak terhubung dengan jaringan listrik (*stand alone*). Agar menghasilkan tegangan tertentu maka pada generator tersebut harus dihubungkan kapasitor eksitasi dengan ukuran tertentu [8].

Ukuran kapasitor eksitasi yang dibutuhkan oleh generator induksi dapat diperkirakan dengan menggunakan model matematis. Ukuran kapasitor eksitasi akan sangat menentukan karakteristik dari generator induksi 3 fase tereksitasi diri yang dimodelkan dalam kondisi tak seimbang dan seimbang. Frekuensi medan putar pada belitan stator generator induksi yang

dioperasikan dalam kondisi *stand alone* akan berubah seiring dengan perubahan kecepatan rotor dan slip yang dihasilkan nilainya tetap kecil [9].

Generator induksi konvensional dan generator magnet permanen dapat diterapkan dalam sistem pembangkit tenaga angin. Generator magnet permanen dapat membangkitkan tegangan dengan kecepatan angin yang lebih rendah sehingga dapat diterapkan secara luas. Kerugiannya adalah sulitnya untuk mengontrol arus eksitasi generatornya sehingga diperlukan suatu mekanisme khusus untuk mempertahankan kualitas tegangan generatornya [10].

3. METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan yang digunakan

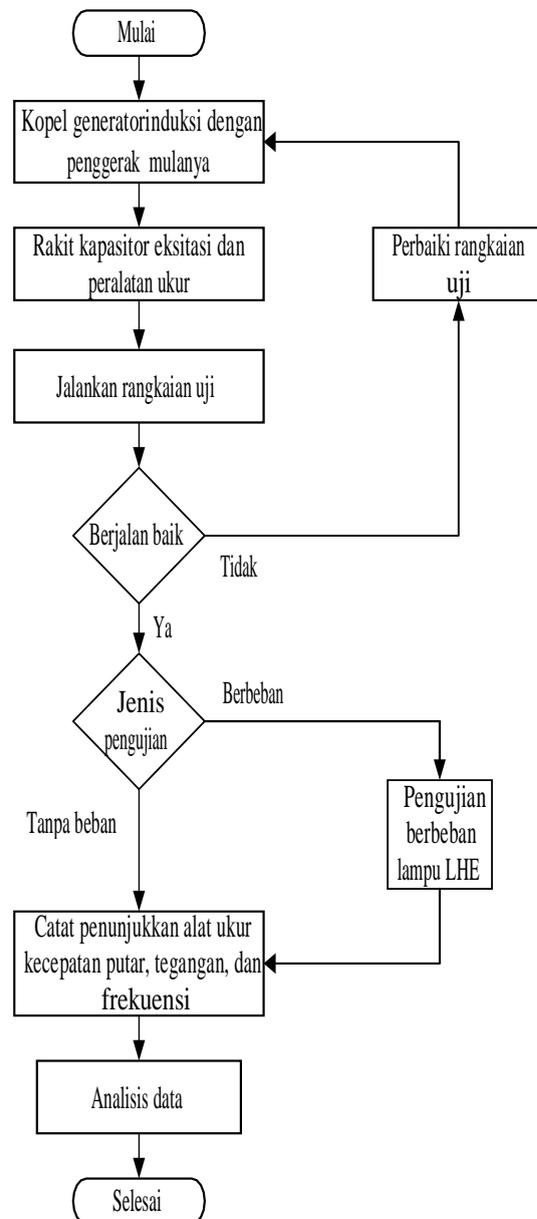
Bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Generator induksi 1 fase tereksitasi diri yang digunakan untuk membangkitkan listrik
- b. Motor listrik dan *voltage regulator* yang digunakan sebagai penggerak mula generator.
- c. Kapasitor yang digunakan sebagai sumber eksitasi generator.
- d. Sabuk (*v belt*) yang digunakan untuk mengkopel generator induksi dengan penggerak mulanya.
- e. Puli yang digunakan untuk memasang sabuk transmisi.
- f. Dudukan besi yang digunakan untuk menopang generator induksi dan penggerak mulanya.
- g. Mur baut yang digunakan untuk mengencangkan peralatan pada dudukan besi.
- h. Tachometer yang digunakan untuk mengukur kecepatan putar generator induksi.
- i. Multimeter yang digunakan untuk mengukur tegangan dan frekuensi generator induksi.

Langkah-langkah Pengujian

Langkah-langkah pengujian yang dilakukan untuk mengamati karakteristik generator induksi 1 fase tereksitasi diri

ditunjukkan dalam diagram alir pada gambar 1.

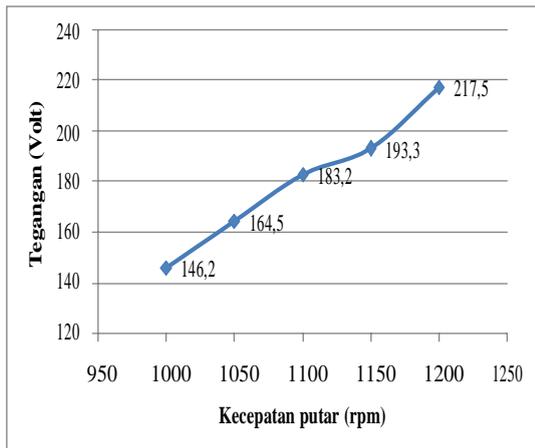


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

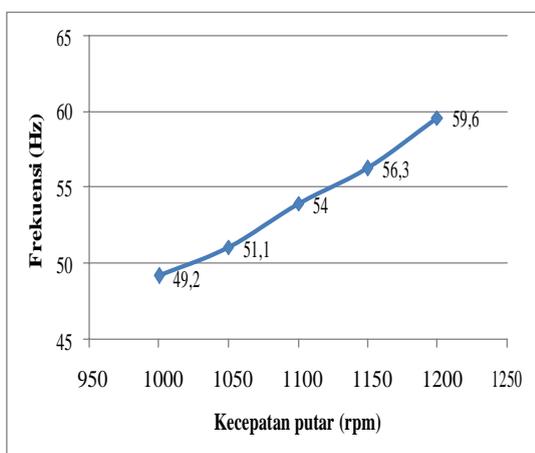
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Generator Induksi Satu Fase Dalam Kondisi Tanpa Beban

Hasil pengujian generator induksi satu fase dalam kondisi tanpa beban ditunjukkan pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 2 Hubungan antara kecepatan putar dan tegangan generator induksi satu fase dalam kondisi tanpa beban



Gambar 3 Hubungan antara kecepatan putar dan frekuensi generator induksi satu fase dalam kondisi tanpa beban

Pada saat rotor suatu mesin induksi diputar oleh suatu penggerak mula maka mesin tersebut akan beroperasi sebagai generator induksi. Suatu tegangan induksi akan dibangkitkan pada belitan stator ketika rotor telah diputar sampai kecepatan tertentu. Besarnya tegangan yang dibangkitkan akan ditentukan oleh fluks magnetik, jumlah belitan stator, dan kecepatan medan magnet memotong belitan stator.

Fluks magnetik sisa walaupun kecil nilainya harus selalu terdapat pada belitan stator agar generator induksi dapat membangkitkan tegangan. Adanya tegangan induksi akan membuat arus mengalir menuju ke kapasitor dan mengisi muatannya sampai terjadi suatu keseimbangan baru. Arus pada

kapasitor akan berlaku sebagai arus eksitasi generator induksi.

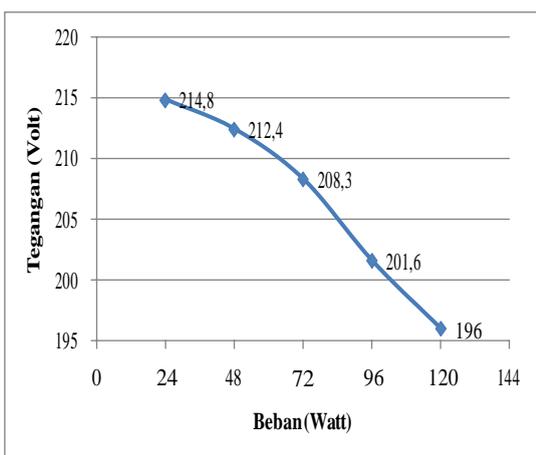
Gambar 2 menunjukkan hubungan antara kecepatan putar dan tegangan generator induksi dalam kondisi tanpa beban. Tegangan generator akan berbanding lurus dengan kecepatan putarnya dimana semakin tinggi kecepatan putarnya maka semakin tinggi tegangannya. Dalam pengujian ini, ukuran kapasitor yang dihubungkan pada belitan bantu generator induksi dipertahankan tetap sehingga arus eksitasinya juga akan tetap. Dengan demikian medan magnet yang dihasilkannya juga akan tetap. Sesuai dengan teori, tegangan generator akhirnya hanya dipengaruhi oleh kecepatan putarnya. Dalam pengujian ini, generator induksi yang dipakai adalah mesin induksi 1 fase 220 volt 6 kutub slip 10% sehingga kecepatan sinkron dari medan magnet stator adalah sebesar 1000 rpm untuk frekuensi sebesar 50 Hz. Dengan demikian bila mesin difungsikan sebagai generator induksi maka rotornya seharusnya diputar pada kecepatan 10% lebih tinggi dari kecepatan sinkronnya atau sebesar 1100 rpm. Hasil pengujian menunjukkan variasi kecepatan putar dari 1000 – 1200 rpm mengakibatkan variasi tegangan dari 146,2 – 217,5 volt.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara kecepatan putar dan frekuensi generator dalam kondisi tanpa beban. Frekuensi generator akan berbanding lurus dengan kecepatan putar dimana semakin tinggi kecepatan putar maka semakin tinggi frekuensinya. Hasil pengujian ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa frekuensi generator akan ditentukan oleh kecepatan putar rotor dari generator. Jumlah kutub generator yang diuji dibuat tetap yaitu sebesar 6 kutub. Oleh karena itu, frekuensi akan ditentukan oleh kecepatan putar mengikuti rumus $f = n_s \times p / 120$. Dengan adanya slip dalam mesin induksi maka kecepatan putar rotor tidak akan sama dengan kecepatan putar medan stator. Dengan demikian frekuensi yang dihasilkan oleh generator pada saat diputar pada kecepatan 1000 rpm sedikit lebih kecil dari 50 Hz. Hasil pengujian menunjukkan dengan kecepatan putar 1000 rpm akan dihasilkan

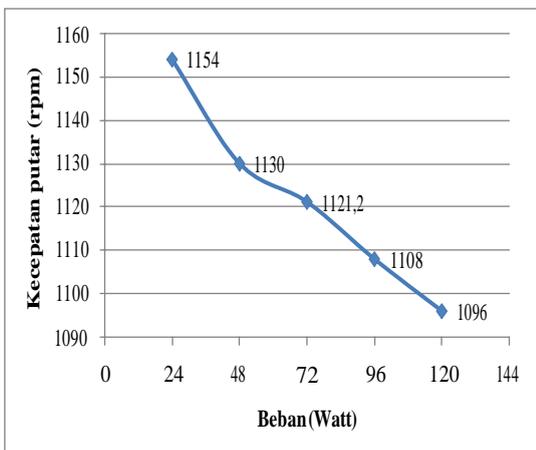
frekuensi sebesar 49,2 Hz. Variasi kecepatan putar dari 1000 – 1200 rpm mengakibatkan variasi frekuensi dari 49,2 – 59,6 Hz.

Hasil Pengujian Generator Induksi Satu Fase Dalam Kondisi Berbeban

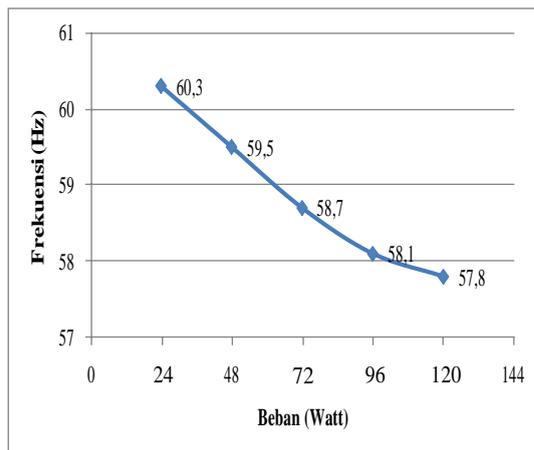
Hasil pengujian generator induksi satu fase pada saat dibebani dengan lampu hemat energi ditunjukkan pada gambar 4, gambar 5 dan gambar 6.



Gambar 4 Hubungan daya beban terhadap tegangan generator induksi satu fase



Gambar 5 Hubungan daya beban terhadap kecepatan putar generator induksi satu fase



Gambar 6 Hubungan daya beban terhadap frekuensi generator induksi satu fase

Pada saat beban mulai dihubungkan maka arus akan mulai mengalir pada generator induksi. Medan magnet pada belitan stator akan berinteraksi dengan arus beban sebagai reaksi dari gaya mekanik yang telah diberikan padarotornya.

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara daya beban dan tegangan generator induksi. Tegangan generator induksi hampir berbanding terbalik dengan daya beban dimana semakin tinggi daya bebannya maka semakin rendah tegangannya. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahawa semakin besar daya beban yang dihubungkan pada generator maka semakin tinggi arus beban yang harus disuplai oleh generator. Semakin tinggi arus generator maka semakin tinggi pula susut tegangan yang terjadi pada belitan stator. Hasil pengujian menunjukkan variasi beban dari 24 – 120 W mengakibatkan variasi tegangan generator dari 214,8 – 196 volt.

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara daya beban dan kecepatan putar generator induksi. Kecepatan putar generator induksi hampir berbanding terbalik dengan daya beban dimana semakin tinggi daya bebannya maka semakin rendah kecepatan putar generatornya. Semakin besar beban maka semakin besar torsi yang dibutuhkan untuk memutar generatornya. Dalam pengujian berbeban ini, tidak dilakukan pengaturan tegangan yang masuk ke motor penggerak mula sehingga daya mekanisnya tidak berubah. Pada saat daya beban

dinaikkan maka beban mekanis penggerak mula akan naik sehingga kecepatan putar generatornya akan turun. Hasil pengujian menunjukkan variasi beban dari 24 – 120 W mengakibatkan variasi kecepatan putar dari 1154 – 1096 rpm.

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara daya beban dan frekuensi generator induksi. Frekuensi generator induksi hampir berbanding terbalik dengan daya beban dimana semakin tinggi daya bebannya maka semakin rendah frekuensinya. Frekuensi generator sangat dipengaruhi oleh kecepatan putar generator induksi. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian pengaruh beban terhadap kecepatan putar generator induksi sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5. Semakin besar beban yang dipikul generator maka semakin rendah kecepatan putarnya. Penurunan kecepatan putar akan mengakibatkan penurunan frekuensi generator induksi. Hasil pengujian menunjukkan variasi beban dari 24 – 120 W mengakibatkan variasi frekuensi dari 60,3 – 57,8 Hz.

5. SIMPULAN

Dalam kondisi tanpa beban, hasil pengujian menunjukkan variasi kecepatan putar generator induksi dari 1000 – 1200 rpm mengakibatkan variasi tegangan dari 146,2 – 217,5 volt dan variasi frekuensi dari 49,2 – 59,6 Hz.

Dalam kondisi berbeban lampu hemat energi, hasil pengujian menunjukkan variasi beban generator induksi dari 24 – 120 watt mengakibatkan tegangan bervariasi dari 214,8 – 196 volt, kecepatan putar bervariasi dari 1154 – 1096 rpm, dan frekuensi bervariasi dari 60,3 – 57,8 Hz.

Penelitian ini sebaiknya dilanjutkan dengan mendesain suatu kontroler generator induksi sehingga diperoleh tegangan dan frekuensi yang memenuhi standard yang berlaku walaupun terjadi variasi pembebanan generator induksi.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kemenristek Dikti selaku penyandang dana penelitian hibah bersaing sehingga akhirnya kegiatan penelitian ini

dapat dilaksanakan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberikan dukungan terkait penelitian ini.

7. REFERENSI

- [1] Mipoung O.D., Pillay P. and Lopes L.A.C. 2011. Generator selection for rural electrification from renewable energy. *Proceeding on IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)*. Niagara Falls. Pp 306 – 311
- [2] Altawell N. 2012. Financing for rural electrification. *Proceeding on IEEE Conference on Computational Intelligence for Financial Engineering & Economics (CIFER)*. New-York. Pp 1 – 8
- [3] Ion C.P. and Marinescu C. 2013. Microhydro power plant with three-phase induction generator feeding single-phase consumers. *Proceeding on Fourth International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG)*. Istanbul. Pp. 1211 – 1216.
- [4] Ion C.P. and Marinescu C. 2013. Stability limits of three-phase induction generator supplying single-phase loads. *Proceeding on 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*. Bucharest. Pp. 1 – 6.
- [5] Haque M.H. 2008. Self-excited single-phase and three-phase induction generators in remote areas. *Proceeding on International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE)*. Dhaka. Pp. 38 – 42.
- [6] Bansal R.C. 2005. Three-phase self-excited induction generators : an overview. *IEEE Transaction on Energy Conversion*
- [7] Ouhrouche M.A. and Chaîne Q.M. 1995. EMTP based study of self excitation phenomenon in an induction

generator. *Proceeding on Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*. Pp 172 - 176

- [8] Fukami T. Kaburaki Y. Kawahara S. and Miyamoto T. 1999. Performance analysis of a self-regulated self-excited single phase induction generator using a three-phase machine. *IEEE Transaction on Energy Conversion*. 14(3) : 622 – 7
- [9] Boora S. 2010. Analysis of self-excited induction generator under balanced or unbalanced conditions. *ACEEE International Journal on Electrical and Power Engineering*. 1(3).
- [10] Chaaban F.B. Chedid R. And Ginzarly R. 2014. Design aspects of low-speed small-scale wind power permanent magnet generators. *Global Science and Technology Journal*. 2(1) : 1 - 11