

KARAKTERISTIK KELUARAN GENERATOR INDUKSI 1 FASE PADA SISTEM PEMBANGKIT PIKOHIDRO

Agus Supardi^{1*}, Dedi Ary Prasetya², Nur Aklis³

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura Surakarta

*Email: Agus.Supardi@ums.ac.id

Abstrak

Potensi tenaga air yang terdapat pada suatu daerah dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Generator induksi 1 fase dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif untuk pembangkit listrik skala kecil. Dalam pengimplementasiannya pada sistem pembangkit pikohidro, generator induksi akan beroperasi dengan kondisi debit air yang tidak konstan akibat perubahan musim. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik keluaran generator induksi. Penelitian diawali dengan menghubungkan generator induksi 1 fase dengan kincir air sebagai penggerak mulanya. Setelah generator induksi berputar dengan kecepatan tertentu, selanjutnya dilakukan pengukuran tegangan dan frekuensi. Pengujian dilanjutkan dengan menghubungkan sejumlah kapasitor dan beban listrik pada terminal generator induksi. Ukuran kapasitor divariasi dari 24 – 64 μF sedangkan daya beban divariasi dari 0 – 240 W. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar ukuran kapasitor maka semakin rendah kecepatan putar dan frekuensinya, sedangkan tegangannya akan naik hingga mencapai nilai maksimum tertentu setelah itu akan cenderung turun. Ukuran kapasitor yang optimal untuk diterapkan adalah 32 – 40 μF . Semakin besar daya beban maka semakin rendah kecepatan putar, frekuensi dan tegangan generator induksinya. Daya beban yang optimal untuk dihubungkan pada generator induksi pada sistem pembangkit listrik pikohidro di Etasia Umbul Tlatar adalah sebesar 120 W. Tegangan generator induksi akan bervariasi antara 210 – 225,5 volt dan frekuensinya bervariasi antara 55,6 – 59,1 Hz ketika bebannya divariasi antara 0 -120 W.

Kata kunci: frekuensi, generator, induksi, tegangan

1. PENDAHULUAN

Tidak meratanya pembangunan infrastruktur kelistrikan di Indonesia mengakibatkan sejumlah daerah terpencil belum mendapatkan pasokan listrik. Seringkali pada daerah – daerah tersebut tersimpan potensi tenaga air yang dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Pembangkit listrik yang cocok dibangun di daerah seperti itu adalah pembangkit listrik berkapasitas kecil tetapi jumlah unitnya banyak untuk menyesuaikan dengan persebaran rumah penduduk.

Turbin air biasanya digunakan untuk memutar generator pada suatu sistem pembangkit listrik tenaga air. Turbin air didesain dengan kecepatan putar tertentu. Turbin air tipe *cross-flow* yang diuji dapat menghasilkan kecepatan putar sebesar 68 rpm pada saat generatornya tidak dihubungkan dengan beban (Mafrudin dan Dwi Irawan, 2012). Menurut Simarmata (2015), unjuk kerja kincir air tipe sudu lengkung *undershot* yang diputar dengan kecepatan putar 50 rpm akan dipengaruhi oleh jumlah sudunya. Efisiensi tertinggi diperoleh pada variasi 5 sudu. Menurut Sule dan Timbayo (2012), torsi, daya dan efisiensi maksimum dari roda air arus bawah untuk sudu plat datar diperoleh untuk sudu plat datar dengan 8 sudu dan kecepatan putar 19 rpm.

Generator induksi bisa dipakai sebagai salah satu alternatif pilihan untuk aplikasi sistem pembangkit listrik skala kecil. Motor induksi 3 fase dapat dioperasikan sebagai generator induksi jika rotornya diputar pada kecepatan tertentu (Bansal, 2005). Menurut Fukami et al (1999), generator induksi 1 fase dapat dihasilkan dari mesin induksi 3 fase yang dioperasikan sebagai generator. Ouhroche (1995) memaparkan manfaat yang diperoleh dari pemanfaatan generator induksi antara lain konstruksinya kuat dan sederhana, harga unitnya murah, mudah dalam pengoperasiannya, memerlukan sedikit perawatan, dan mempunyai keandalan yang tinggi.

Agar terminal generator menghasilkan tegangan, maka harus disediakan eksitasi. Daya eksitasi ini bisa berasal dari jaringan listrik atau dari suatu bank kapasitor untuk sistem terisolasi (*stand-alone*). Ukuran kapasitor eksitasi yang diperlukan dapat diprediksi dengan melakukan

Pemodelan matematis. Boora (2010) memaparkan bahwa karakteristik generator induksi 3 fase tereksitasi diri yang dimodelkan pada kondisi seimbang dan tak seimbang sangat ditentukan oleh nilai kapasitor eksitasi. Karena generator induksi yang dianalisis dalam kondisi *stand alone* maka frekuensi medan putar di belitan statornya akan berubah seiring dengan perubahan kecepatan rotor dan menghasilkan slip yang nilainya tetap kecil. Hasil lainnya menunjukkan efisiensi generator induksi mempunyai nilai yang tinggi.

Generator induksi merupakan mesin induksi yang dioperasikan sebagai generator. Oleh karena itu, mesin induksi mempunyai persamaan dan konstruksi yang sama untuk generator maupun untuk motor. Prinsip kerja generator induksi merupakan kebalikan dari motor induksi. Pada saat mesin berfungsi sebagai motor, kumparan stator diberi tegangan sehingga akan timbul medan putar dengan kecepatan sinkron. Pada saat mesin berfungsi sebagai generator, maka rotor diputar oleh sumber penggerak dengan kecepatan tertentu. Bila suatu konduktor diputar di dalam medan magnet maka akan dibangkitkan tegangan. Arus rotor ini akan berinteraksi dengan medan magnet pada kumparan stator sehingga akan timbul arus pada kumparan stator sebagai reaksi dari gaya mekanik yang diberikan padanya. Pengoperasian mesin induksi sebagai generator membutuhkan daya reaktif atau daya magnetisasi untuk membangkitkan tegangan pada terminal keluarannya.

Kebutuhan daya reaktif dapat dipenuhi dengan memasang suatu unit kapasitor pada terminal keluaran. Kerja dari kapasitor ini dapat dipandang sebagai suatu sistem penguat (eksitasi) sehingga generator induksi juga dikenal dengan sebutan generator induksi penguatan sendiri (*self excited of induction generator*). Hal terpenting yang harus diperhatikan terkait pengoperasian generator induksi adalah adanya fluks sisa atau medan magnet sisa pada kumparan stator. Tanpa adanya fluks sisa maka proses pembangkitan tegangan tidak akan terjadi. Dengan adanya fluks sisa dan perputaran rotor akan dibangkitkan tegangan induksi pada rotor. Tegangan induksi ini akan terinduksi pula pada sisi stator dan akan menimbulkan arus yang akan mengisi kapasitor.

Dalam pengimplementasian generator induksi sebagai pembangkit listrik terisolasi (*stand-alone*) juga tidak dapat dilepaskan dari kendala di lapangan. Generator induksi yang diterapkan pada suatu sistem pembangkit listrik di daerah terpencil akan dihadapkan pada kenyataan bahwa potensi tenaga penggerak mula yang digunakan untuk memutar generator adalah tidak konstan. Pada sistem pembangkit listrik pikohidro, debit airnya seringkali berubah-ubah akibat pengaruh musim. Besarnya beban listrik yang akan disuplai oleh sistem pembangkit juga tidak konstan. Kondisi tersebut akan berdampak terhadap tegangan dan frekuensi pembangkit. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu penelitian untuk mengetahui karakteristik tegangan dan frekuensi generator induksi 1 fase yang diterapkan pada daerah – daerah tersebut.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan pada sistem pembangkit listrik pikohidro di Etasia Umbul Tlatar Boyolali Jawa Tengah. Bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

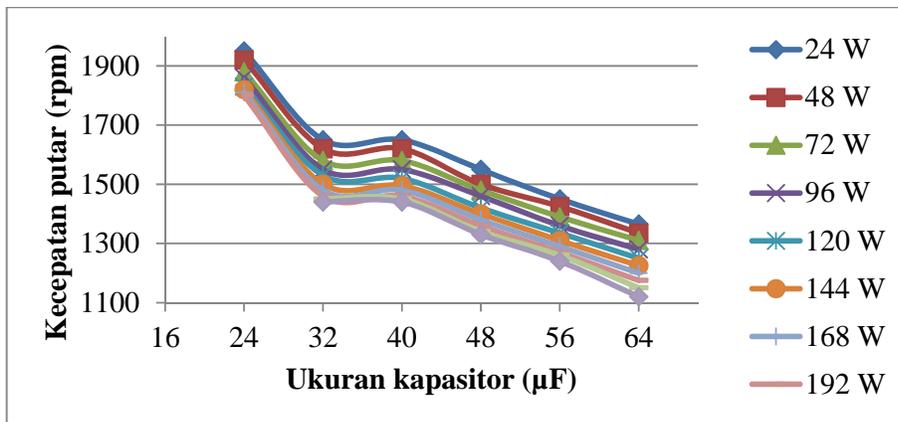
- a. Generator induksi 1 fase yang digunakan untuk membangkitkan listrik skala kecil.
- b. Kincir air yang digunakan sebagai penggerak mula generator induksi.
- c. Sabuk (*v belt*) yang digunakan untuk menghubungkan generator induksi dengan kincir air.
- d. *Pully* dan *gearbox* untuk meningkatkan kecepatan putar kincir air.
- e. Tachometer yang digunakan untuk mengukur kecepatan putar generator induksi.
- f. Multimeter yang digunakan untuk mengukur tegangan dan frekuensi generator induksi.
- g. Kapasitor bank yang digunakan sebagai sumber eksitasi generator induksi.
- h. Lampu hemat energi (LHE) yang digunakan sebagai beban listrik
- i. Kontroler yang digunakan untuk mengatur tegangan dan frekuensi generator induksi

Penelitian diawali dengan menghubungkan generator induksi 1 fase dengan kincir air sebagai penggerak mulanya. Pintu air pada saluran pelimpah ditutup sehingga semua air akan mengalir ke kincir dan memutar generator. Setelah debit airnya konstan, kapasitor dan beban dihubungkan pada terminal generator dan dilakukan pengukuran kecepatan putar, tegangan dan frekuensi generator induksi. Pengujian dilanjutkan dengan menghubungkan sejumlah kapasitor dan beban listrik pada terminal generator induksi. Ukuran kapasitor divariasikan dari 24 – 64 μF , sedangkan daya beban divariasikan dari 0 – 240 W. Suatu kontroler elektronik juga diuji kinerjanya untuk mengendalikan

tegangan dan frekuensi generator. Pada setiap pengujian dilakukan pengukuran besaran listrik.
HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1 Pengaruh Ukuran Kapasitor Terhadap Kecepatan Putar Generator Induksi

Pengaruh variasi ukuran kapasitor terhadap kecepatan putar generator induksi ditunjukkan pada gambar 1.

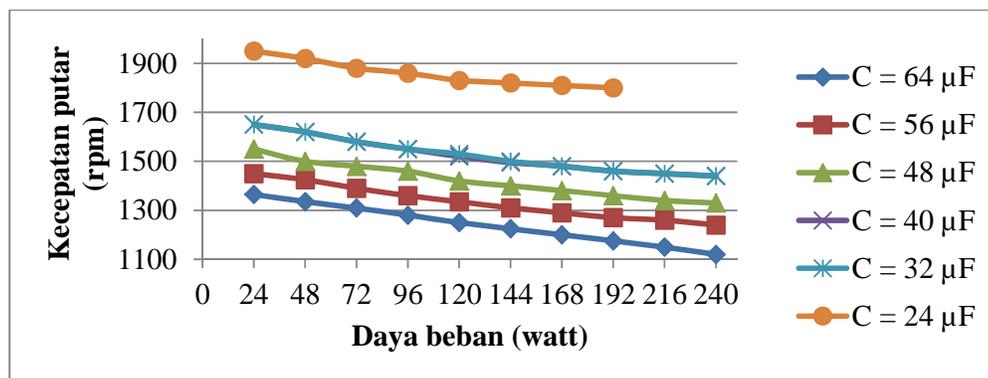


Gambar 1. Hubungan ukuran kapasitor dengan kecepatan putar generator induksi pada saat berbeban untuk debit air 50,49 dm³/detik

Gambar 1 menunjukkan bahwa untuk debit air yang konstan maka perubahan ukuran kapasitor akan mengakibatkan perubahan kecepatan putar generator induksi dalam kondisi berbeban. Kecepatan putar minimal sebesar 1120 rpm terjadi ketika generator induksi dihubungkan dengan kapasitor berukuran 64 µF. Kecepatan putar maksimal sebesar 1950 rpm terjadi ketika generator induksi dihubungkan dengan kapasitor berukuran 24 µF. Gambar 1 juga menunjukkan untuk debit air dan daya beban yang konstan akan berlaku kecenderungan bahwa semakin besar ukuran kapasitor maka semakin kecil kecepatannya. Oleh karena itu, dalam pengoperasiannya generator induksi harus dihubungkan dengan kapasitor berukuran tertentu agar kecepatan putarnya sesuai dengan desainnya. Generator induksi yang dipakai dalam penelitian ini adalah generator induksi 1 fase 4 kutub sehingga sesuai teori sebaiknya generator ini dioperasikan dengan kecepatan putar sekitar 1500 rpm. Berdasarkan hasil pengujian, untuk menghasilkan kecepatan putar tersebut sebaiknya generator induksi dihubungkan dengan kapasitor berukuran 32 – 48 µF tergantung pada daya beban yang dihubungkan pada generatornya.

2.2 Pengaruh Daya Beban Terhadap Kecepatan Putar Generator Induksi

Pengaruh variasi daya beban terhadap kecepatan putar generator induksi ditunjukkan pada gambar 2.

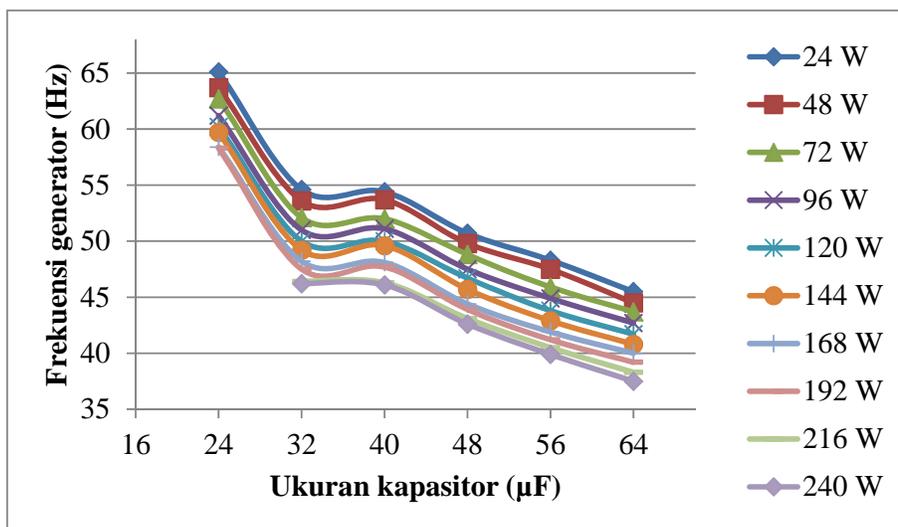


Gambar 2. Hubungan daya beban dengan kecepatan putar generator induksi untuk debit air 50,49 dm³/detik

Gambar 2 menunjukkan bahwa untuk debit air yang konstan maka perubahan daya beban akan mengakibatkan perubahan kecepatan putar generator induksi. Kecepatan putar minimal sebesar 1120 rpm terjadi ketika generator induksi dibebani dengan lampu LHE berdaya 240 W. Kecepatan putar maksimal sebesar 1950 rpm terjadi ketika generator induksi dibebani dengan lampu LHE berdaya 24 W. Gambar 2 juga menunjukkan untuk debit air dan ukuran kapasitor yang tetap akan berlaku kecenderungan bahwa semakin besar daya beban maka semakin rendah kecepatannya. Oleh karena itu, dalam pengoperasiannya generator induksi harus dibebani dengan daya tertentu agar kecepatannya sesuai dengan desainnya. Generator induksi yang dipakai dalam penelitian ini adalah generator induksi 1 fase 4 kutub sehingga sesuai teori sebaiknya generator dioperasikan agar kecepatan putarnya sekitar 1500 rpm. Berdasarkan hasil pengujian, untuk menghasilkan kecepatan putar tersebut sebaiknya generator induksi dibebani dengan beban sebesar 24 – 168 W tergantung pada ukuran kapasitor yang dihubungkan pada generatornya.

2.3 Pengaruh Ukuran Kapasitor Terhadap Frekuensi Generator Induksi

Pengaruh variasi ukuran kapasitor terhadap frekuensi generator induksi ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Hubungan ukuran kapasitor dengan frekuensi generator induksi pada saat berbeban untuk debit air 50,49 dm³/detik

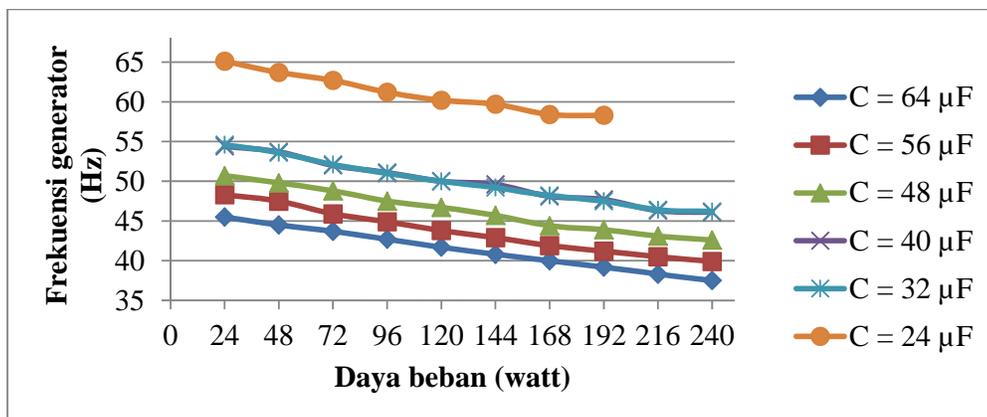
Gambar 3 menunjukkan bahwa untuk debit air yang konstan maka perubahan ukuran kapasitor akan mengakibatkan perubahan frekuensi generator dalam kondisi berbeban. Frekuensi minimal sebesar 37,5 Hz dapat dihasilkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 64 µF. Frekuensi maksimal sebesar 65,1 Hz dapat dihasilkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 24 µF. PLN menetapkan standar kualitas frekuensi berkisar antara 0,95 – 1,05 kali frekuensi nominal (50 Hz) sehingga range frekuensi yang masih berkualitas adalah 47,5 – 52,5 Hz. Berdasarkan hasil pengujian, untuk menghasilkan frekuensi tersebut maka generator induksi sebaiknya dihubungkan dengan kapasitor berukuran 32 – 56 µF tergantung pada daya beban yang dihubungkan pada generator.

Gambar 3 juga menunjukkan untuk debit air dan beban yang tetap maka diperoleh kecenderungan bahwa semakin besar ukuran kapasitornya maka semakin kecil frekuensi generator induksinya. Hal ini dapat dikaitkan dengan hasil pengujian kecepatan putar generator induksi yang menunjukkan bahwa semakin besar ukuran kapasitornya maka semakin kecil kecepatan putar generatornya. Sesuai dengan teori, frekuensi generator akan dipengaruhi oleh jumlah kutub dan kecepatan putarnya. Dalam pengujian ini, kutub generatornya dibuat tetap yaitu 4 kutub dan

kecepatan putarnya bervariasi. Dengan demikian secara teoritis akan dihasilkan frekuensi 50 Hz ketika generatornya diputar pada kecepatan 1500 rpm.

2.4 Pengaruh Daya Beban Terhadap Frekuensi Generator Induksi

Pengaruh variasi daya beban listrik terhadap frekuensi generator induksi ditunjukkan pada gambar 4.

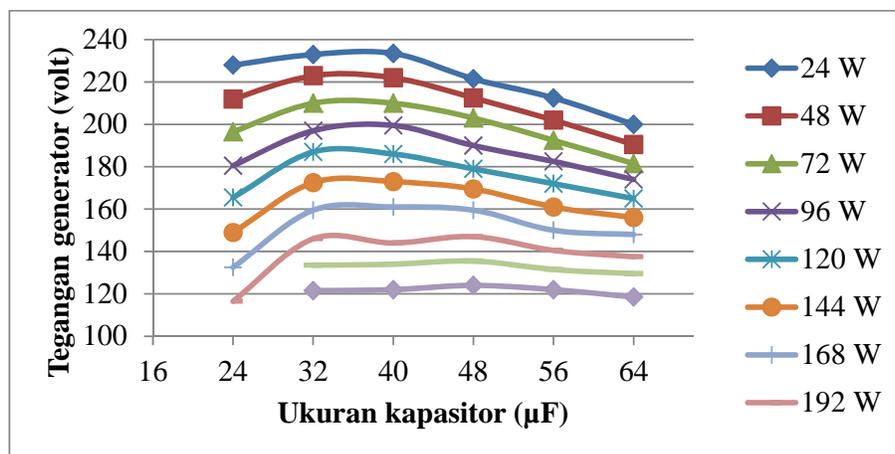


Gambar 4. Hubungan daya beban dengan frekuensi generator induksi untuk debit air 50,49 dm³/detik

Gambar 4 menunjukkan bahwa perubahan daya beban akan mengakibatkan perubahan frekuensi generator induksi. Frekuensi minimal sebesar 37,5 Hz dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan lampu LHE berdaya 240 W. Frekuensi maksimal sebesar 65,1 Hz dapat dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan lampu LHE berdaya 24 W. Gambar 4 juga menunjukkan untuk debit air dan ukuran daya beban yang tetap akan berlaku kecenderungan bahwa semakin besar daya beban maka semakin rendah frekuensinya. Oleh karena itu, dalam pengoperasiannya generator induksi harus dibebani dengan daya tertentu agar frekuensinya sesuai dengan desainnya. Generator induksi yang dipakai dalam penelitian ini adalah generator induksi 1 fase 4 kutub 50 Hz. Berdasarkan hasil pengujian maka untuk menghasilkan frekuensi tersebut sebaiknya generator induksi dibebani sebesar 24 – 168 W tergantung pada ukuran kapasitor yang dihubungkan pada generatornya.

2.5 Pengaruh Ukuran Kapasitor Terhadap Tegangan Generator Induksi

Pengaruh variasi ukuran kapasitor terhadap tegangan generator induksi ditunjukkan pada gambar 5.

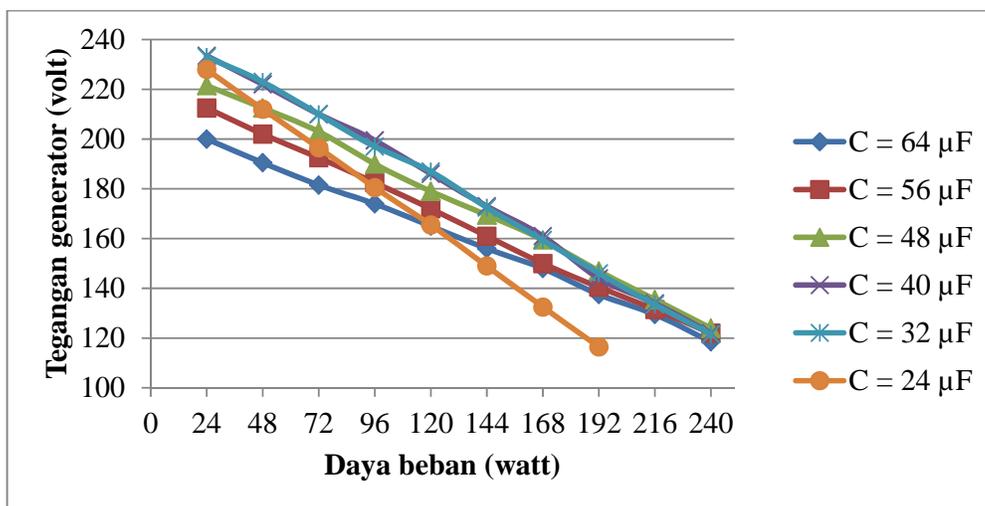


Gambar 5. Hubungan ukuran kapasitor dengan tegangan generator induksi dalam kondisi berbeban untuk debit air 50,49 dm³/detik

Gambar 5 menunjukkan bahwa untuk debit air yang konstan maka ukuran kapasitor akan berpengaruh terhadap tegangan generator induksi dalam kondisi berbeban. Tegangan minimal sebesar 116,5 volt dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 24 µF. Tegangan maksimal sebesar 233,5 volt dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dihubungkan dengan kapasitor berukuran 40 µF volt. Gambar 5 juga menunjukkan kecenderungan bahwa untuk debit air dan beban yang tetap maka kenaikan ukuran kapasitor sampai suatu nilai tertentu akan menaikkan tegangan generator. Jika ukuran kapasitornya dinaikkan lagi maka tegangannya akan cenderung turun. Hasil pengujian menunjukkan untuk debit air sebesar 50,49 dm³/detik maka ukuran kapasitor yang optimal dihubungkan pada generator induksi adalah berkisar antara 32 – 40 µF. Berdasarkan data hasil pengujian tersebut maka generator induksi harus dioperasikan dengan kapasitor yang tepat. Bila hal ini tidak dilakukan maka tegangan generatornya bisa sangat kecil atau sangat besar. Tegangan yang terlalu kecil atau terlalu besar dapat mengakibatkan kegagalan bahkan kerusakan dari peralatan listrik yang dihubungkan padanya.

2.6 Pengaruh Daya Beban Terhadap Tegangan Generator Induksi

Pengaruh variasi daya beban terhadap tegangan generator induksi ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Hubungan daya beban dengan tegangan generator induksi untuk debit air 50,49 dm³/detik

Gambar 6 menunjukkan bahwa untuk debit air yang konstan maka perubahan beban akan mengakibatkan perubahan tegangan generator induksi. Tegangan minimal sebesar 116,5 V akan dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dibebani dengan beban lampu LHE berdaya 192 W. Tegangan maksimal sebesar 233,5 V akan dibangkitkan oleh generator induksi pada saat dibebani dengan lampu LHE berdaya 24 W. Gambar 6 juga menunjukkan untuk debit air dan ukuran kapasitor yang tetap maka akan berlaku kecenderungan bahwa semakin besar daya bebannya maka semakin kecil tegangan generatornya. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi bebannya maka semakin besar arus yang mengalir pada belitan generator. Semakin tinggi arus yang mengalir maka semakin tinggi pula susut tegangan yang terjadi pada belitan generatornya. Kenaikan beban yang cukup besar dapat mengakibatkan penurunan tegangan yang cukup besar sehingga lampu LHE tidak dapat menyala dan generator induksi akan kehilangan eksitasinya. Dampaknya tegangan generator akan turun drastis menjadi mendekati nol. Pada saat hal tersebut terjadi, kecepatan generatornya akan melonjak drastis karena generator kehilangan arus eksitasi dan kehilangan beban secara tiba – tiba. Oleh karena itu, dalam pengoperasiannya beban yang dihubungkan pada

generator induksi harus dibatasi dayanya dalam rangka menjaga tegangan generator induksi tetap dalam batas – batas nilai yang memenuhi standar kualitas yang ditetapkan.

Data juga menunjukkan bahwa untuk debit air yang konstan maka ukuran kapasitor akan berpengaruh terhadap beban maksimal yang dapat disuplai oleh generator induksi sebelum tegangannya turun di bawah ambang batas standar. Generator induksi dapat dibebani sampai 48 W ketika dihubungkan dengan kapasitor 24 μF , sampai 72 W ketika dihubungkan dengan kapasitor 32 μF , sampai 96 W ketika dihubungkan dengan kapasitor 40 μF , sampai 72 W ketika dihubungkan dengan kapasitor 48 μF , sampai 48 W ketika dihubungkan dengan kapasitor 56 μF , sampai 24 W ketika dihubungkan dengan kapasitor 64 μF . Hal ini karena kapasitor dipakai sebagai sumber eksitasi pada generator induksi. Oleh karena itu, berdasarkan hasil pengujian di lapangan untuk debit air sebesar 50,49 dm^3/detik maka sebaiknya generator induksi dibebani sebesar 96 W dengan ukuran kapasitor sebesar 40 μF .

2.7 Pengujian Generator Induksi dengan Menggunakan Kontroler

Pengujian dilakukan dengan debit air maksimum sebesar 52,41 dm^3/detik . Ukuran kapasitor yang dihubungkan pada generator induksi sebesar 32 μF . Kontroler elektronis dan beban komplemen dihubungkan pada terminal keluaran generator induksi. Hasil pengujiannya ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 Hasil pengujian generator induksi dengan menggunakan kontroler

Debit air (dm^3/detik)	Daya beban (watt)	Tegangan (volt)	Frekuensi (Hz)	Kecepatan putar (rpm)
52,41	0	218	59,1	1780
52,41	24	222	58,7	1770
52,41	48	225	58,1	1770
52,41	72	225,5	57,9	1760
52,41	96	222,5	57,8	1730
52,41	120	210	55,6	1700

Dengan mempertimbangkan hasil pengujian sebelumnya yang mana daya beban akan mempengaruhi tegangan dan frekuensi generator maka dalam pengujian kontroler ini, daya beban yang dihubungkan pada generator induksi dibatasi sehingga tegangannya masih dalam batas ambang kualitas yang ditetapkan oleh PLN. Untuk keperluan itu, daya beban divariasi dari 0 – 120 W. Kontroler yang diuji secara otomatis akan mengatur alokasi daya yang dihubungkan ke beban komplemen sehingga daya beban total yang dipikul oleh generator induksi tidak terlalu banyak berubah. Tabel 1 menunjukkan bahwa kontroler telah bekerja untuk mengendalikan beban generator induksi sehingga kecepatan putar, frekuensi dan tegangan generator induksi tidak terlalu banyak bervariasi walaupun bebannya divariasi dari 0 – 120 W. Hasil pengujian menunjukkan kecepatan putar generator bervariasi dari 1700 – 1780 rpm, frekuensi generator bervariasi dari 55,6 – 59,1 Hz dan tegangan generator bervariasi dari 210 – 225,5 volt.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Ukuran kapasitor akan mempengaruhi kecepatan putar, tegangan dan frekuensi generator induksi. Untuk debit air yang konstan akan berlaku kecenderungan bahwa semakin besar ukuran kapasitornya maka semakin rendah kecepatan putar dan frekuensinya, sedangkan tegangannya akan naik hingga mencapai nilai maksimum setelah itu akan turun. Ukuran kapasitor yang optimal untuk diterapkan pada sistem pembangkit listrik pikohidro di Etasia Umbul Tlatar dengan debit air 52,41 dm^3/detik adalah 32 – 40 μF .
2. Daya beban akan mempengaruhi kecepatan putar, tegangan dan frekuensi generator induksi. Semakin besar daya beban maka semakin rendah kecepatan putar, frekuensi dan tegangan generator induksinya. Daya beban yang optimal untuk dihubungkan pada sistem pembangkit pikohidro di Etasia Umbul Tlatar dengan debit 52,41 dm^3/detik adalah sebesar 120 W. Ketika

bebannya divariasi dari 0 – 120 W maka tegangannya akan bervariasi antara 210 – 225,5 volt dan frekuensinya akan bervariasi antara 55,6 – 59,1 Hz.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada DIKTI selaku penyandang dana hibah penelitian hibah bersaing sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada LPPM UMS yang telah memfasilitasi penyelenggaraan berbagai kegiatan terkait hibah penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bansal, R.C., 2005, Three-Phase Self-Excited Induction Generators: An Overview, *IEEE Transactions On Energy Conversion*
- S. Boora, 2010, Analysis of Self-Excited Induction Generator under Balanced or Unbalanced Conditions, *ACEEE Int. J. on Electrical and Power Engineering*, Vol. 01, No. 03, Dec 2010
- Fukami T, Kaburaki Y, Kawahara S, Miyamoto T., 1999, Performance Analysis of a Self-Regulated Self-Excited Single Phase Induction Generator Using a Three-Phase Machine". *IEEE Trans Energy Conver* 1999, 14(3):622–7
- Mafrudin, Irawan D., 2012, Pembuatan Turbin Mikrohidro Tipe Cross-Flow Sebagai Pembangkit Listrik Di Desa Bumi Nabung Timur, *Jurnal Turbo*, Vol. 3 No. 2, 2012, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Metro
- Ouhrouche M.A. and Chaine Q.M., 1995, EMTP Based Study of Self Excitation Phenomenon in an Induction Generator
- Simarmata, M.Y., 2015, Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Undershot, *Jurnal Mahasiswa Mesin*, Volume V No 041.29.I.79 2015, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Sule,L., Timbayo, E.S., 2012, Analisa Performance Roda Air Arus Bawah Untuk Sudu Plat Datar Dengan Variasi Jumlah Sudu Laju, *Prosiding Hasil Penelitian Fakultas Teknik*, Volume 6 Desember 2012