

PENGATURAN TEGANGAN DAN FREKUENSI PADA MOTOR INDUKSI SEBAGAI GENERATOR

Andriani Parastiwi¹

Abstrak

Motor induksi yang bila digunakan secara terbalik dapat digunakan sebagai generator (MISG). Motor induksi tiga fase dapat digunakan sebagai generator induksi satu fase dengan penambahan 3 kapasitor dengan konfigurasi delta. Pada kondisi tanpa pengaturan, perubahan beban yang terpasang pada MISG dapat mengakibatkan perubahan tegangan dan frekuensi yang dihasilkan dari 185VAC sampai 220VAC. Dengan pengaturan tegangan dan frekuensi MISG menggunakan rangkaian elektronika diprediksi dapat meningkatkan kestabilannya. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan rangkaian elektronika untuk pengaturan tegangan dan frekuensi MISG telah berhasil meningkatkan kestabilan tegangan yang dihasilkan. Pengujian pada motor induksi 4KW 3fase yang digunakan sebagai generator 1fase digunakan kapasitor 75 μ F400VAC dengan mikrokontroler sebagai pengontrol MISG dengan beban resistif berupa lampu 500W sampai 3KW dihasilkan luaran tegangan 1fase 220Volt 50Hertz yang bervariasi dari 205VAC sampai 222VAC sehingga dapat digunakan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

Kata-kata kunci: Mikrohidro, Generator Induksi, Pengaturan, Tegangan.

Abstract

Induction motor when used in reverse can be used as a generator (MISG). Three-phase induction motor can be used as a single-phase induction generator with the addition of three capacitors with delta configuration. In the condition without control-system, load change in MISG can lead to changes in voltage and frequency generated from 185VAC to 220VAC. Additional voltage and frequency control using electronic circuit in MISG was predicted to increase voltage stability. The results of this study concluded that the use of electronic circuits for

¹Andriani Parastiwi. Dosen Program Studi Teknik Elektronika Politeknik Negeri Malang

voltage and frequency settings MISG has managed to increase the generated voltage stability. Tests on 3fase 4KW induction motor used as a generator using 3 capacitor 75 μ F400VAC used with a microcontroller as MISG controller with resistive loads such as light-bulbs 500W to 3KW generated output voltage 220Volt50Hertz varying from 205VAC to 222VAC so it can be used on microhydro power plant.

Keywords: *microhydro, induction generator, control, voltage.*

1. PENDAHULUAN

Peningkatan pelestarian lingkungan dan pengaturan pengairan telah meningkatkan peluang untuk mengembangkan pemakaian energi aliran irigasi/sungai. Aliran irigasi/sungai dapat dipakai sebagai sumber energi terbarukan dengan pengembangan pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang menghasilkan listrik dibawah 10KWatt biasanya menggunakan generator induksi. Kelebihan generator induksi diantaranya adalah konstruksinya yang membuatnya lebih handal dibandingkan dengan generator sinkron. Namun demikian memiliki kelemahan dalam hal regulasi tegangan dan frekuensi[1].

Motor induksi dapat digunakan sebagai generator (MISG) dimana besarnya frekuensi dan tegangan yang dihasilkan tergantung dari kecepatan rotor, kapasitansi dari kapasitor eksitasi, dan beban terpasang[2]. Dibutuhkan kecepatan minimum untuk menghasilkan tegangan yang diharapkan dan kecepatan maksimum untuk menghindari kerusakan mekanis MISG[1,3]. Pemakaian komponen semikonduktor dalam mengatasi permasalahan regulasi tegangan dan frekuensi MISG telah dibahas dalam berbagai penelitian [4].

Penelitian-penelitian tersebut di atas tidak membahas efek dari perubahan beban MISG terhadap tegangan yang dihasilkan. Dalam artikel ini dipaparkan hasil penelitian berupa metode untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang membangkitkan listrik menggunakan MISG dimana tegangan yang dihasilkan diharapkan lebih stabil melalui pengaturan tegangan dan frekuensi.

2. KAJIAN PUSTAKA

Generator pada pembangkit listrik tenaga hidro dapat berupa generator sinkron maupun generator asinkron. Pada pembangkit dengan kapasitas besar biasanya digunakan generator sinkron, sebaliknya pada pembangkit dengan kapasitas daya terbangkit orde mikro maupun orde piko digunakan generator asinkron. Salah satu jenis generator asinkron adalah generator induksi. Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik yang paling luas digunakan dapat digunakan sebagai generator. Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3-fase dan motor induksi 1-fase.

2.1 Prinsip Kerja MISG

Untuk mengoperasikan MISG, generator induksi harus dieksitasi menggunakan tegangan yang leading. Ini biasanya dilakukan dengan menghubungkan generator kepada sistem tenaga yang ada. Pada generator induksi yang beroperasi stand-alone, kapasitor harus digunakan untuk memberikan daya reaktif. Daya reaktif yang diberikan harus sama atau lebih besar daripada daya reaktif yang diambil mesin ketika beroperasi sebagai motor. Tegangan terminal generator akan bertambah dengan penambahan kapasitansi.

Mesin induksi dapat dioperasikan sebagai motor maupun sebagai generator. Bila dioperasikan sebagai motor, mesin induksi harus dihubungkan dengan sumber tegangan (jala-jala) yang akan memberikan energi mekanis pada mesin tersebut dengan mengambil arus eksitasi dari jala-jala dan mesin bekerja dengan slip lebih besar dari nol sampai satu ($0 \leq s \leq 1$). Sedangkan, jika mesin dioperasikan sebagai generator, maka diperlukan daya mekanis untuk memutar rotornya searah dengan arah medan putar melebihi kecepatan sinkronnya dan sumber daya reaktif untuk memenuhi kebutuhan arus eksitasinya. Kebutuhan daya reaktif dapat diperoleh dari jala-jala atau dari kapasitor. Bila menggunakan kapasitor, maka kapasitor tersebut dihubungkan paralel dengan terminal keluaran generator.

Dalam pengoperasiannya, MISG mengonsumsi daya reaktif sehingga sumber daya reaktif eksternal harus terhubung kepada generator sepanjang waktu untuk menjaga medan magnet statornya. Sumber daya reaktif eksternal ini juga harus mengontrol tegangan generator. Tanpa arus medan, MISG tidak dapat mengontrol tegangan keluarannya sendiri. Bila suatu konduktor yang berputar didalam medan magnet (kumparan stator) akan membangkitkan tegangan sebesar:

$$e = B.l.v \quad (1)$$

dimana

e : tegangan induksi yang dihasilkan (volt)

B: fluks magnetik (weber)

l : panjang konduktor yang dilewati medan magnet (m)

v : kecepatan medan magnet melewati konduktor (m/s)

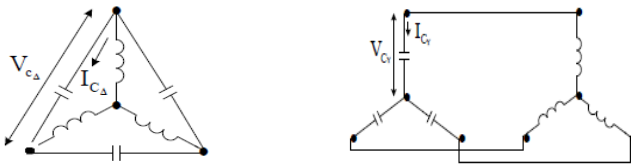
Syarat utama terbangkitnya tegangan MISG adalah adanya muatan kapasitor di rotor atau kapasitor eksitasi yang digunakan harus mempunyai muatan listrik terlebih dahulu. Muatan kapasitor merupakan tegangan awal yang diperlukan untuk proses pembangkitan tegangan selanjutnya. Proses pembangkitan tegangan akan terjadi bila salah satu syarat di atas dipenuhi.

Dengan menghubungkan kapasitor di terminal stator, akan terbentuk suatu rangkaian tertutup. Dengan adanya tegangan awal tadi, di rangkaian akan mengalir arus. Arus tersebut akan menghasilkan fluksi di celah udara, sehingga di stator akan terbangkit tegangan induksi.

2.2 Pemasangan Kapasitor Pada MISG

Nilai kapasitor yang dipasang sangat menentukan terbangkitnya tegangan, untuk terbangkitnya tegangan MISG, nilai kapasitor yang dipasang harus lebih besar dari nilai kapasitor minimum yang diperlukan untuk proses eksitasi. Jika kapasitor yang dipasang lebih kecil dari kapasitor minimum yang diperlukan, maka proses pembangkitan tegangan tidak akan berhasil.

Kapasitor eksitasi adalah salah satu sumber eksitasi yang digunakan sebagai penghasil daya reaktif pada MISG. Dengan eksitasi yang mencukupi, akan diperoleh kondisi optimal pengoperasian pembangkit dalam bentuk faktor daya dan efisiensi yang tinggi, regulasi tegangan yang rendah dan pada gilirannya akan memperbaiki keseluruhan performansi sistem. Sebaliknya kekurangan eksitasi akan mengakibatkan MISG dapat kehilangan tegangan (*voltage collapse*) dan ketidak-stabilan sistem. Pemasangan kapasitor sebagai sumber eksitasi yang dirangkai secara paralel pada sistem dapat dilakukan dengan hubungan Delta (Δ) ataupun hubungan Wye (Y) seperti terlihat pada gambar 1.

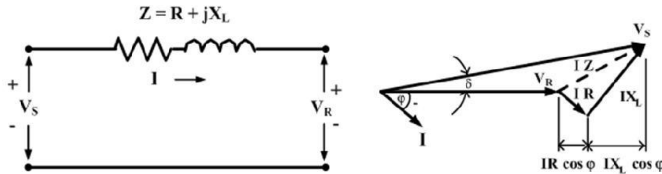


a)Kapasitor Delta

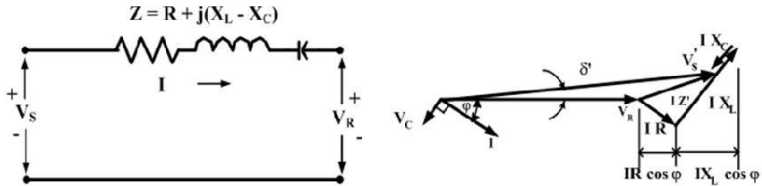
b)Kapasitor Wye

Gambar 1 Kapasitor Terhubung Delta dan Terhubung Wye

Jatuhnya tegangan keluaran yang dihasilkan MISG seiring dengan bertambahnya beban merupakan salah satu kekurangan yang sering dijumpai, sehingga menyebabkan nilai regulasi tegangan juga meningkat. Metode umum yang banyak digunakan untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan memasang kapasitor yang dihubungkan secara seri pada sistem. Pemasangan kapasitor tersebut dikenal juga dengan kapasitor kompensasi tegangan seperti pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2 Rangkaian Ekuivalen dan Diagram Phasor Tanpa Kapasitor Kompensasi



Gambar 3 Rangkaian Ekuivalen dan Diagram Phasor Dengan Kapasitor Kompensasi

MISG bekerja dengan slip yang lebih kecil dari nol ($s < 0$). Motor induksi tiga fasa dapat dioperasikan sebagai generator dengan cara memutar rotor pada kecepatan di atas kecepatan medan putar ($n_r > n_s$) dan atau mesin bekerja pada slip negatip ($s < 0$)

$$n_s = 120f/p \quad (2)$$

dengan:

- n_s : Kecepatan medan putar, rpm
- f : Frekuensi sumber daya, Hz
- p : Jumlah kutub motor induksi.

Sehingga :

$$n_s = N_s - N_r / N_s \cdot 100 \% , n_r > n_s \quad (3)$$

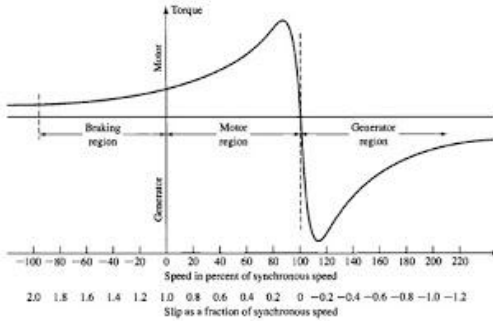
dengan :

- s : slip
- n_s : Kecepatan medan putar
- n_r : Kecepatan putar rotor

MISG bekerja sendiri maka mesin ini memerlukan kapasitor untuk membangkitkan arus eksitasi. Fungsi pemasangan kapasitor pada MISG ini adalah untuk menyediakan daya reaktif.

Pada mesin induksi tidak terdapat hubungan listrik antara stator dengan rotor, karena arus pada rotor merupakan arus induksi. Jika kumpulan stator diberi tegangan tiga fasa, maka pada stator akan dihasilkan arus tiga fasa, arus ini kemudian akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron (n_s) dan kemudian akan melakukan pengisian muatan ke kapasitor (C) yang dipasang paralel dengan stator yang

tujuannya untuk memberikan tegangan ke stator untuk mempertahankan kecepatan sinkron (ns) motor induksi pada saat dilakukan pelepasan sumber tegangan tiga fasa pada stator.



Gambar 4 Karakteristik Torsi – Kecepatan Mesin Induksi

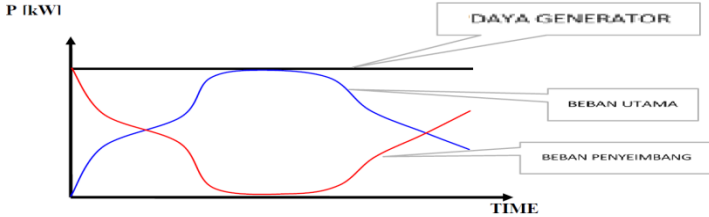
Dari kurva karakteristik antara kecepatan dan kopel motor induksi pada Gambar 4 dapat dilihat, jika sebuah motor induksi dikendalikan agar kecepatannya lebih besar daripada kecepatan sinkron oleh penggerak mula, maka arah kopel yang terinduksi akan terbalik dan akan beroperasi sebagai generator. Semakin besar kopel pada penggerak mula, maka akan memperbesar pula daya listrik yang dihasilkan.

2.3 Pengaturan Pembebanan Pada MISG

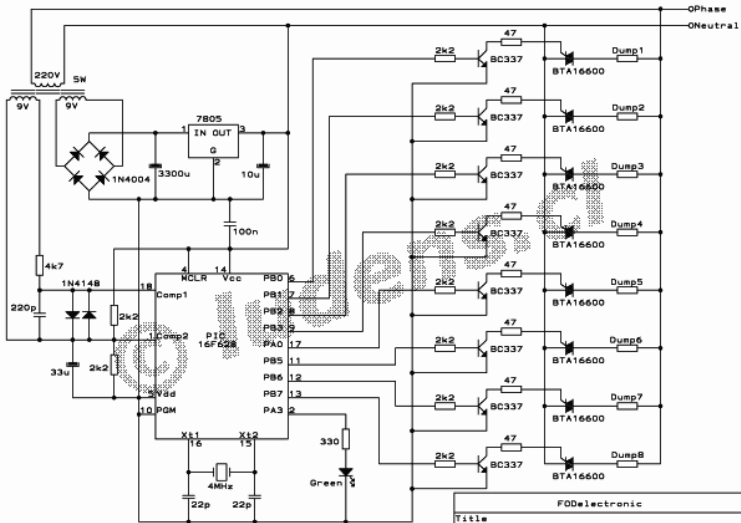
Pengaturan pembebanan pada PLTMH skala kecil dengan menggunakan generator induksi menjadi sesuatu yang harus dilakukan. Hal tersebut dilakukan dengan memasang beban penyeimbang yang paralel terhadap beban utama. Beban penyeimbang adalah suatu sistem yang berfungsi sebagai regulator tegangan dan arus pada sebuah generator listrik. Beban penyeimbang ini cocok untuk sebuah pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang menggunakan generator induksi. Ada beberapa keuntungan dari pengontrolan beban penyeimbang ini, yaitu:

1. Menghindari peralatan mekanik atau listrik yang mahal.
2. Alat pengontrol beban relatif lebih sederhana dan lebih murah.
3. Pengontrol beban ini digunakan untuk menerima perubahan beban.
4. Perawatannya sederhana.

Beban penyeimbang atau disebut *Dummy Load* merupakan sebuah beban terkontrol yang dalam aplikasinya digunakan untuk meratakan nilai beban total generator dengan beban utama. Dengan kata lain daya keluaran dari generator akan stabil meskipun terjadi perubahan konsumsi daya pada beban utama seperti tampak pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5 Grafik Pemakaian Daya pada Beban Utama dan Beban Penyeimbang



Gambar 6 Pengaturan Pembebanan Secara Elektronik Karya Luden[5]

$$P_{gen} = P_{bu} + P_{bp} = P_{konstan}$$

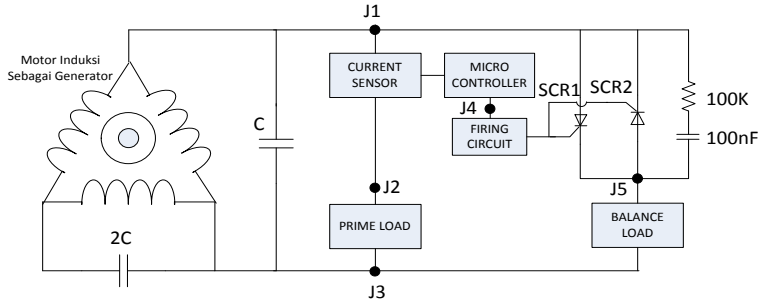
Beban penyeimbang dapat berupa komponen yang bersifat resistif. Pengaturan beban penyeimbang dapat digunakan

beberapa nilai yang nantinya dapat dipilih dengan menggunakan saklar atau dapat juga menggunakan sebuah beban variabel dengan pengontrolan secara elektronik. Pengontrolan dapat menggunakan komponen elektronika aktif atau dapat juga menggunakan mikrokontroler seperti yang dirancang oleh Luden pada Gambar 6. Besar daya yang dikonsumsi pemakai PLTMH yaitu beban utama dideteksi dengan menggunakan pembagi tegangan pada transformator step down 9Volt yang dimasukkan sebagai input komparator 1 dan komparator 2 pada mikrokontroler PIC16F628. Zero crossing detector dilakukan dengan menggunakan software. Beban penyeimbang berupa 8 beban resistif yang masing-masing dinyalakan dengan menggunakan TRIAC.

Pengaturan pembebanan cara Luden ini menggunakan lampu sebagai beban. Pemakaian transformator sebagai detektor daya utama memiliki kelemahan pada adanya pergeseran fase antara sinyal pada kumparan primer dan sekunder yang mengakibatkan kurang tepatnya hasil deteksi zero crossing.

3. METODE

Sistem pengaturan pembebanan pada PLTMH skala kecil dengan menggunakan MISG pada penelitian ini dilakukan dengan memasang beban penyeimbang yang paralel terhadap beban utama sebagai pengaturan tegangan dan frekuensi pada MISG. Beban penyeimbang merupakan sebuah beban terkontrol digunakan untuk meratakan nilai beban total generator dengan beban utama, sehingga daya keluaran dari generator akan stabil meskipun terjadi perubahan konsumsi daya pada beban utama. Blok diagram sistem pengaturan pembebanan seperti tampak pada Gambar 7.



Gambar 7 Blok Diagram Sistem Pengaturan Tegangan dan Frekuensi MISG

Motor induksi yang digunakan sebagai generator dipasangkan 3 kapasitor C dan 2C pada kumparannya. Pengujian pada motor induksi 4KW 3fase yang digunakan sebagai generator 1fase digunakan kapasitor $75\mu\text{F}400\text{V}_{\text{AC}}$ dengan mikrokontroler sebagai pengontrol MISG dengan beban resistif berupa lampu 500W sampai 3KW dihasilkan luaran tegangan 1fase 220Volt 50Hertz sehingga dapat digunakan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

Beban utama (*prime-load*) dipasangkan pada output MISG dengan sensor arus (*current-sensor*) berfungsi sebagai pengukur arus yang mengalir ke beban utama. MISG digerakkan di sekitar 1445RPM sehingga didapatkan tegangan sekitar 220VAC. Tegangan dan frekuensi diamati dengan menggunakan alat ukur oscilloscope dan voltmeter AC untuk beban utama yang bervariasi.

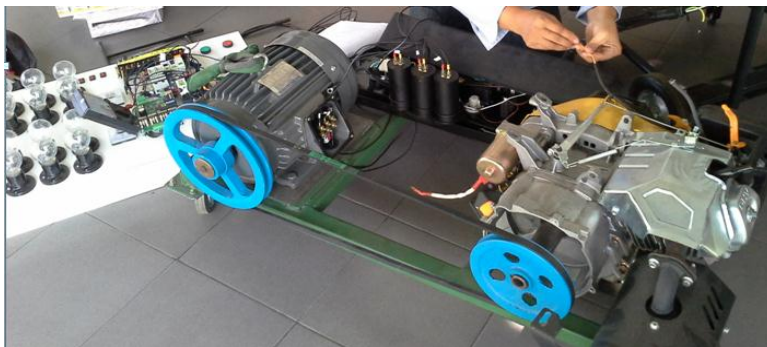
4. PEMBAHASAN DAN ANALISIS

Motor induksi 3 fase dapat digunakan sebagai generator dengan penambahan kapasitor pada terminal-terminalnya sedemikian hingga arus magnetisasi dapat menghasilkan tegangan saat MISG belum terpasang beban. Motor induksi dan kapasitor yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 8 dimana kapasitor dipasangkan pada MISG seperti pada Gambar 7.

Sedangkan Gambar 9 merupakan foto seting peralatan dalam penelitian ini. Dalam penelitian digunakan motor penggerak dengan putaran yang dapat diatur untuk menggerakkan MISG. Oscilloscope dengan probe 10:1 digunakan untuk mengukur tegangan dan frekuensi yang dihasilkan MISG. Motor penggerak diatur untuk memberikan kecepatan dari 1115RPM sampai 1450RPM dengan beban utama (*prime load*) berupa bola lampu dan beban penyeimbang (*balance load*) berupa filament pemanas. Rangkaian kontrol menggunakan mikrokontroler ATmega16 dengan sensor arus ACS712.



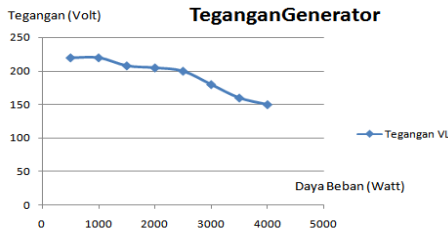
Gambar 8 Motor Induksi dan Kapasitor yang Dipakai Dalam Penelitian



Gambar 9 Foto Seting Peralatan Penelitian

Output dari sensor arus berupa tegangan DC yang berubah sesuai dengan arus yang lewat yang selanjutnya tegangan ini digunakan sebagai inputan ADC mikrokontroler yang akan mengkonversikannya menjadi 8 bit data yang digunakan sebagai masukan dari PWM mikrokontroler yang akan mengubah *duty-cycle* dari pulsa yang dihasilkan. Output PWM ini selanjutnya digunakan untuk menyalakan SCR melalui *firing-circuit* sehingga beban penyeimbang (*balance-load*) akan menyala sesuai dengan besar arus pada beban utama.

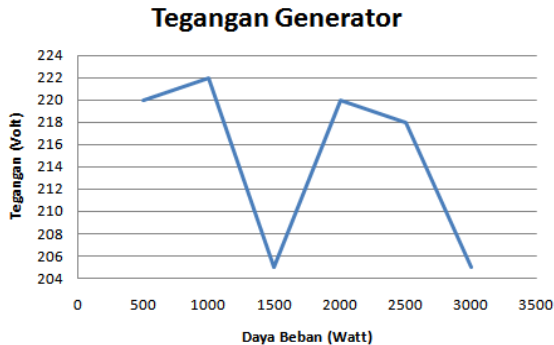
Pengubahan beban utama (*prime load*) diberikan pada MISG yang tanpa pengaturan dimana beban utama berupa lampu dengan daya bervariasi dari 500W sampai 4000W. Hasil percobaan dapat dilihat pada Gambar 10 dimana pada saat tanpa rangkaian pengaturan besar tegangan MISG 220VAC saat beban sampai 1000W. Sedangkan saat beban 3500W tegangan MISG turun menjadi 159W. Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa tegangan MISG semakin menurun pada saat daya beban semakin tinggi.



Gambar 10 Tegangan Generator Saat Tanpa Pengaturan

Hasil pemakaian rangkaian elektronika untuk pengaturan MISG seperti pada Gambar 7 dengan beban utama yang bervariasi dapat dilihat pada Gambar 11. Pada saat beban utama sebesar 500W didapatkan tegangan MISG sebesar 220VAC, tegangan MISG paling rendah didapatkan saat daya 1500W maupun 3000W sebesar 195VAC. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan rangkaian elektronika untuk pengaturan tegangan dan frekuensi MISG telah berhasil meningkatkan kestabilan tegangan yang dihasilkan. Pengujian pada motor induksi 4KW 3fase yang digunakan sebagai generator 1fase digunakan kapasitor $75\mu\text{F}400\text{V}_{\text{AC}}$ dengan mikrokontroler

sebagai pengontrol MISG dengan beban resistif berupa lampu 500W sampai 3KW dihasilkan luaran tegangan 1fase 220Volt 50Hertz sehingga dapat digunakan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro.



Gambar 11 Tegangan Generator Menggunakan Pengaturan Tegangan dan Frekuensi

5. PENUTUP

1. Motor induksi tiga fase dapat digunakan sebagai generator induksi satu fase dengan penambahan 3 kapasitor dengan konfigurasi delta.
2. Perubahan beban pada Generator Induksi berpengaruh terhadap tegangan dan frekuensi yang dihasilkan.
3. Pemakaian pengaturan MISG dengan rangkaian elektronika dapat mengurangi pengaruh beban terpasang yang berpengaruh terhadap tegangan dan frekuensi yang dihasilkan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Singh, G. 2004. Self-excited induction generator research-a survey. *Electric Power Systems Research*, 69, 2004, pp.107-114.
- [2] Gatte, M. Kadhim, R. & Rasheed, F. 2011. Using Water Energy for Electrical Energy Conservation by Building of Micro hydroelectric Generators on The Water Pipelines That

Depend on The Difference in Elevation. *Iraq J. Electrical and Electronic Engineering* Vol.7 No.2, 2011

- [3] Joshi, D. Sandhu, K. dan Soni, M. 2009. Voltage Control of Self-Excited Induction Generator using Genetic Algorithm. *Turk J Elec Eng & Comp Sci*, Vol.17, No.1, 2009. Online <http://journals.tubitak.gov.tr/elektrik/issues/elk-09-17-1/elk-17-1-6-0610-1.pdf>.
- [4] Farrag, M. dan Putrus, G. 2014. Analysis of the Dynamic Performance of Self-Excited Induction Generators Employed in Renewable Energy Generation. *Energies* 2014, 7, 278-294; doi:10.3390/en7010278
- [5] Ludens. 2009. *Electronic Load Controller for Microhydro System*. Online <http://ludens.cl/Electron/picelc/picelc.html> diakses 2 Juli 2013.