

STABILISASI FREKUENSI DENGAN METODA HISTERISIS

Nundang Busaeri¹⁾, Asep Andang²⁾, Nurul Hiron³⁾

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Siliwangi
Email: nundangb@unsil.ac.id¹⁾, andhangs@gmail.com²⁾, hiron@unsil.ac.id³⁾

Abstrak

Pembangkit listrik saat ini, semakin diperlukan, baik dalam kapasitas yang kecil maupun yang besar. Hal ini menjadi lumrah, karena diprediksi bahwa konsumsi akan daya listrik semakin meningkat seiring pertambahan penduduk. Variabel penting pada kualitas daya listrik adalah tegangan, arus dan frekuensi. Frekuensi mempengaruhi kualitas pembangkit listrik, terutama pada sistem interkoneksi antar pembangkit listrik. Pada penelitian ini membahas mengenai pengaturan frekuensi dari pembangkit listrik dengan prime mover dari mesin diesel menggunakan metode hysteresis. Pengaturan menggunakan PLC sebagai kendali utama. Hasil dari penelitian ini adalah perubahan nilai frekuensi dapat mempengaruhi kinerja peralatan listrik dan mesin listrik khususnya motor listrik induksi. Adapun perubahan yang dapat diperbolehkan adalah $\pm 0,5$ Hz, sehingga diperlukan kontrol kecepatan suatu pembangkit listrik untuk mendapatkan frekuensi yang stabil terhadap perubahan beban. Kendali kecepatan dengan menggunakan PLC dapat mengoptimalkan kerja pembangkit listrik dengan penggerak diesel.

Kata Kunci : Frekuensi, PLC, Power, Hysteresis.

Abstract

Current power plant, the more necessary, both in the capacity of the small and great. It is becoming commonplace, as is predicted that consumption of electric power increases with population growth. An important variable in the power quality are the voltage, current and frequency. Frequency affect the quality of electric power, especially generator set at the interconnection topology. This research discusses about control the frequency of the power plant with the prime mover of the diesel engine using hysteresis method base on PLC as main control. The result of the study was the changing of frequency value can affect the performance of electrical equipment and electrical machinery in particular induction electric motor. As for the changes that can be allowed is ± 0.5 Hz. Frequency can be controlled by controlling the speed of prime mover of generator. Full speed using a PLC can optimize the work of power plants with diesel drive

Keywords: Frequency, PLC, Power, Hysteresis

I. PENDAHULUAN

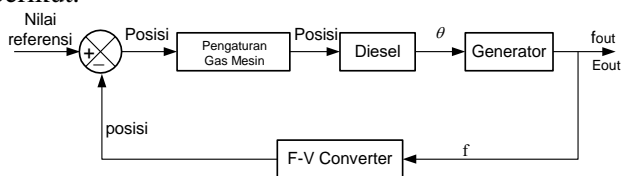
Kualitas sistem tenaga listrik dipengaruhi oleh kestabilan frekuensi dan tegangan sistem. Frekuensi sistem tenaga bergantung pada putaran generator yang diputar oleh penggerak mula. Oleh karena itu kendali frekuensi mengacu pada kendali putaran mesin stasiun pembangkit. Diperlukan kestabilan frekuensi berfungsi untuk interkoneksi antar pembangkit, pemeliharaan peralatan listrik seperti peralatan yang memerlukan putaran konstan, peralatan kedokteran. Sistem tenaga yang beroperasi pada frekuensi tertentu (50Hz) dengan perubahan frekuensi yang diijinkan $\pm 0,5$ Hz, perubahan yang lebih besar dari 50Hz akan menurunkan kualitas catu daya. Operasi yang demikian tidak dibenarkan karena jika kecepatan generator berkurang, maka frekuensi akan berkurang, pada kasus ini gaya gerak listrik

(GGL) yang dibangkitkan cenderung turun.

Umumnya, governor pembangkit digunakan untuk mengatur kecepatan prime-mover suatu pembangkit[1], dibutuhkan sebuah kondisi yang stabil pada sistem penggerak generator, sehingga mendapatkan frekuensi yang stabil. Kestabilan sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga listrik atau perangkat pendukungnya untuk mempertahankan sinkronisasi dan keseimbangan selama operasi atau secara cepat dapat kembali normal apabila terjadi gangguan[2]. Pengaturan frekuensi generator dapat dilakukan dengan metode kontrol fuzzy logic[3]. Sementara hasil penelitian Anggriani (2012) menyatakan bahwa kendali frekuensi generator dengan Kontrol Fuzzy Prediktif dapat mengurangi error sebesar 1,04%[4]. Meskipun demikian, pengaturan frekuensi dan

tegangan tidak harus dari kecepatan, tetapi juga dapat dilakukan melalui teknik pengaturan modulasi PWM yang dinamakan *Constant Voltage Constant Frequency (CVCF)*[5]. Penelitian mengenai kestabilan sistem pembangkit pada tegangan, kemudian pengaturan kestabilan dilakukan melalui kendali frekuensi. Meskipun perubahan frekuensi dapat diterima pada beberapa kondisi, tetapi bagi beban yang mengandalkan frekuensi, seperti motor listrik, komputer, power suplai sangat sensitif terhadap perubahan frekuensi[6].

Secara singkat sistem pengendalian frekuensi generator dengan mesin diesel sebagai prime-mover diperlihatkan pada blok diagram pada Gambar 1 berikut.

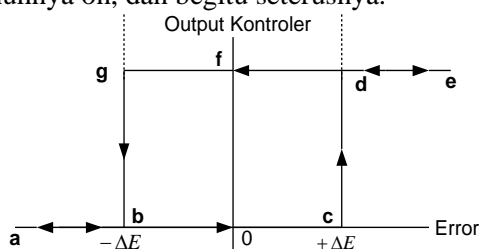


Gambar 1. Blok Diagram Pengendalian Frekuensi Generator Dengan Mesin Diesel Sebagai Prime-mover-nya.

Metode Hysteris

Suatu kontrol on-off memiliki deadband atau daerah hysteresis seperti yang terlihat pada gambar 2.2 ketika nilai error menjadi sangat negatif akan menyebabkan variabel proses (PV) bernilai lebih besar dari pada nilai set point (SP), hal ini akan menyebabkan output kontroler off, dan sesaat setelah nilai error menjadi positif (dari titik a,b, kemudian c) akan menghasilkan output kontroler on, hal ini akan berlanjut selama nilai error positif atau nilai $PV > SP$. Jika nilai error jatuh pada titik f yang bernilai nol, kontroler tidak langsung off, kontroler hanya akan off jika nilai error jatuh pada titik g dan b.

Dengan adanya deadband nilai error tidak akan pernah nol. Pada nilai minimum akan berfluktuasi diantara $\pm \Delta E$ dari sepenuhnya off menjadi sepenuhnya on, dan begitu seterusnya.



Gambar 2 Kurva Transfer Kontroler On-Off Dengan Daerah Hysteresis

Mengurangi jarak anranta $+\Delta E$ dan $-\Delta E$ adalah dengan cara mengurangi nilai deadband (hysteresis),

tetapi jika nilai deadband sangat kecil maka controller akan menjadi sangat peka.

Rangkaian kontrol elektronik on-off Gambar 2 terdiri dari U1 sebagai OpAmp amplifier, U2 sebagai komparator dengan hysteresis, U3 inverst output dari U2. Output U1 berupa signal error, ketika nilai Verror negatif, output U2 adalah saturasi positif. Resistor R1 dan R2 akan membagi tegangan ini dengan faktor β untuk menghasilkan tegangan referensi positif.

$$\beta = \frac{R2}{R1 + R2} \quad (1)$$

$$V_{error} = V_{sV} - V_{PV} \quad (2)$$

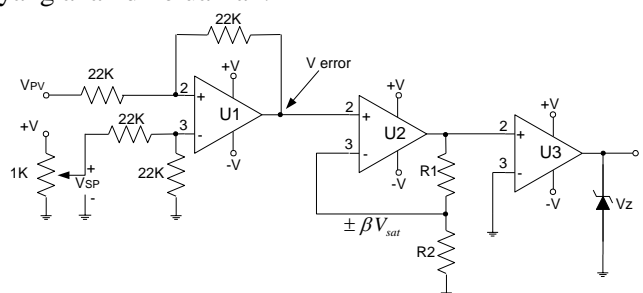
hanya saat nilai Verror menjadi positif dari pada βV_{sat} , output U2 saturasi negatif dan tegangan referensinya (pin 3 dari U2) menjadi bernilai

$$-\beta V_{sat} \quad (3)$$

dan jika Verror bernilai negatif dari pada βV_{sat} , sebelum U2 menghasilkan output saturasi positif, U2 pada pin 3 menghasilkan deadband atau batas daerah hysteresis, merujuk Gambar 1 dapat diketahui bahwa:

$$\pm \Delta E = \pm \beta V_{sat} \quad (4)$$

Zener pada op amp U3 berfungsi membatasi tegangan output U3 terhadap nilai maksimum dari output kontroler, artinya hanya tegangan positif saja yang akan dikeluarkan.



Gambar 3. Rangkaian Kontroler On-Off

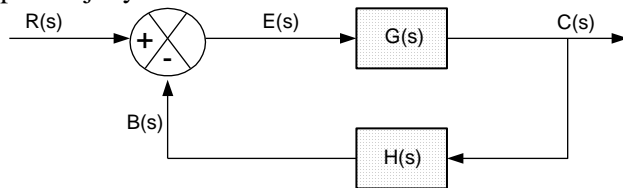
Fungsi Alih Loop Terbuka dan Fungsi Alih Umpan-Maju. Mengacu pada Gambar 4, rasio sinyal umpan balik B(s) terhadap sinyal kesalahan yang timbul E(s) disebut fungsi alih terbuka, karena itu, Fungsi alih loop terbuka adalah:

$$\frac{B(s)}{E(s)} = G(s)H(s) \quad (5)$$

Rasio keluaran C(s) terhadap sinyal kesalahan yang muncul E(s) disebut fungsi alih umpan-maju, sehingga, Fungsi alih umpan-maju adalah:

$$\frac{C(s)}{E(s)} = G(s) \quad (6)$$

Jika fungsi alih umpan-balik $H(s)$ berbentuk satuan, maka fungsi alih loop terbuka dan fungsi alih umpan majunya sama.



Gambar 4. Sistem Loop Tertutup

Fungsi Loop Tertutup

Kendali sistem merupakan loop tertutup. Untuk sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 4, keluaran $C(s)$ dan masukan $R(s)$ dihubungkan sebagai

$$C(s) = G(s)E(s) \quad (7)$$

$$E(s) = R(s) - B(s) \quad (8)$$

$$E(s) = R(s) - H(s)C(s) \quad (9)$$

dengan eliminasi $E(s)$ dari persamaan tersebut memberikan

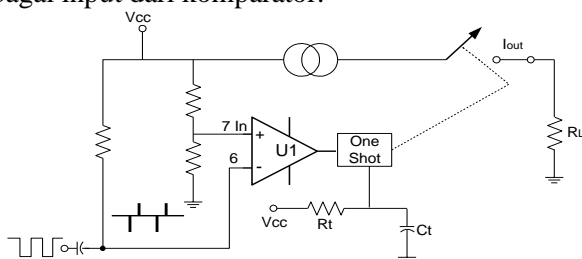
$$C(s) = G(s) [R(s) - H(s)C(s)] \quad (10)$$

Atau

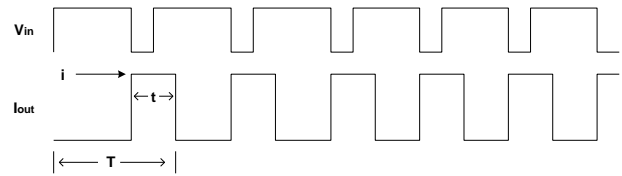
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad (11)$$

Fungsi alih yang menghubungkan $C(s)$ dengan $R(s)$ disebut fungsi alih loop tertutup. Fungsi alih ini menghubungkan dinamika sistem loop tertutup dengan dinamika elemen umpan-maju dan elemen umpan-balik.

Gambar 5 merupakan blok diagram dari operasional converter dari frekuensi menjadi tegangan yang terdiri dari komparator, one shot (monostable multivibrator), sumber arus, saklar elektronik, RD dan CD, R_t dan C_t , R_1 dan R_2 . input rangkaian dapat berupa pulsa atau gelombang persegi. Pada blok diagram RD dihubungkan ke V_{cc} dan sekaligus sebagai input dari komparator.



Gambar 5. Blok Diagram Dari Operasional Frequency-to-Voltage Converter



Gambar 6. Bentuk Gelombang Tegangan Input Dan Arus Output

Saat input dalam keadaan positif kapasitor terisi muatan tetapi tidak akan lebih dari V_{cc} , sehingga gelombang ada pada pin 6 bukan berupa persegi melainkan runcing, gelombang runcing ini akan dibandingkan dengan nilai referensi pada pin 7, hal ini akan membuat one shot (monostable multivibrator) bekerja sehingga sumber arus off atau dengan kata lain nilai pin 6 lebih besar dari pada nilai pin 7, dan jika nilai pin 7 lebih besar dari pada nilai pin 6, one shot bekerja sehingga sumber arus on dan I_{out} mengalir ke RL dengan timing;

$$t = 1.1 R_t C_t \quad (12)$$

Setelah gelombang runcing bernilai nol, one shot kembali off begitu juga terhadap sumber arus, dan kemudian menunggu triger berikutnya dari pin 6. kejadian ini akan menghasilkan suatu pulsa di RL dengan lebar pulsa (t) konstan dan frekuensinya sebanding terhadap input. Amplitudo pulsa adalah sebesar;

$$i = \frac{2V_{olt}}{R_s} \quad (13)$$

arus rata ratanya (I_{ave})

$$I_{ave} = \frac{it}{T} \quad (14)$$

$$I_{ave} = \frac{2 \times 1.1 R_t \times C_t}{R_s \times T} \quad (15)$$

dan

$$V_{ave} = 2 \times 1.1 R_t C_t \times \frac{R_L}{R_s} \times f_{in} \quad (16)$$

Karakteristik Frekuensi Terhadap Daya Generator Sinkron. Semua generator digerakkan oleh penggerak mula atau prime-mover, yang mana sebagai sumber daya mekanik generator. Prime-mover memiliki kecenderungan menurunkan kecepatannya saat dikenakan beban, dan penurunan tersebut umumnya bersifat nonlinear.

Apapun jenis governor yang digunakan pada prime-mover, selalu berfungsi untuk memperkecil penurunan karakteristik kecepatan saat dibebani. Penurunan kecepatan (SD) dari suatu prime-mover ditentukan oleh persamaan;

$$SD = \frac{n_{nL} - n_{fL}}{n_{fL}} \times 100\% \quad (17)$$

Dimana:

- SD = penurunan kecepatan (speed drop)
- n_{nL} = kecepatan prime-mover no load (rpm)
- n_{fL} = kecepatan prime-mover full load (rpm)

Hubungan frekuensi terhadap kecepatan generator dapat dinyatakan dengan persamaan;

$$f_e = \frac{n_m P}{120} \quad (18)$$

- n_m = kecepatan mekanik generator (rpm)
- P = jumlah kutub (pole) generator

Selama kecepatan prime-mover mempengaruhi nilai frekuensi elektrik generator, maka daya output generator juga berhubungan dengan frekuensi tersebut.

Ciri yang penting pada sistem governor adalah mekanisme pengendalian governor yang dapat mengubah dan mempertahankan kecepatan pada kecepatan nominal mesin. Akibat dari pengendalian kecepatan tersebut menghasilkan sekelompok karakteristik paralel seperti ditunjukkan pada gambar 2.8 dengan bantuan pengubah kecepatan, frekuensi dapat dikembalikan pada nilai awalnya (nominal) untuk beban yang berbeda beda.

Pada gambar 6-1 nilai frekuensi nominal (f_0) = 50 Hz pada beban nol (P_0) = terdapat pada titik "a". Dengan adanya peningkatan beban sebesar ΔP maka terjadi penurunan frekuensi hingga pada titik "b" dengan frekuensi f_1 pada karakteristik (3). Governor akan membaca nilai error tersebut dan meresponnya dengan menaikkan kecepatan mesin sehingga nilai frekuensi "b" digeser menjadi titik "c" pada karakteristik (2) dan sistem kembali beroperasi pada frekuensi nominal. Nilai regulasi kecepatan (R) dapat dinyatakan dalam nilai positif dengan persamaan sebagai berikut:

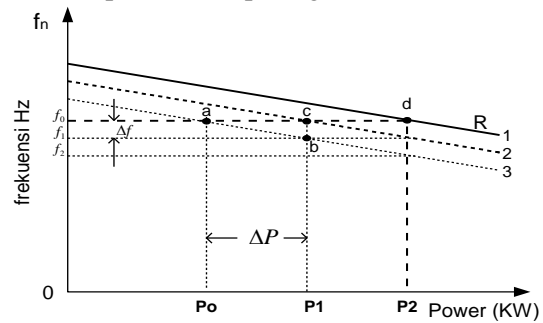
$$R = - \frac{\Delta f}{\Delta P} = \frac{f_0 - f_1}{P_1 - P_0} \quad (19)$$

Dimana:

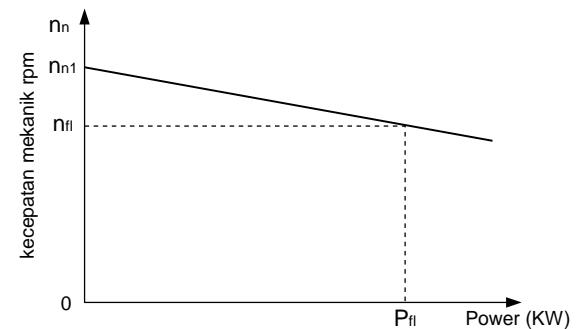
- Δf = perubahan frekuensi Hz
- ΔP = perubahan beban KW

Contoh plot frekuensi terhadap daya diperlihatkan pada gambar (7), dan plot kecepatan terhadap daya

generator diperlihatkan pada gambar (8).



Gambar 7. Plot Frekuensi Terhadap Daya Generator



Gambar 8. Plot Kecepatan Terhadap Daya Generator

Karakteristik frekuensi - daya merupakan hal yang pokok dalam melakukan operasi paralel generator sinkron. Hubungan antara frekuensi dan daya dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut;

$$P = s_p (f_{nL} - f_{sys}) \quad (20)$$

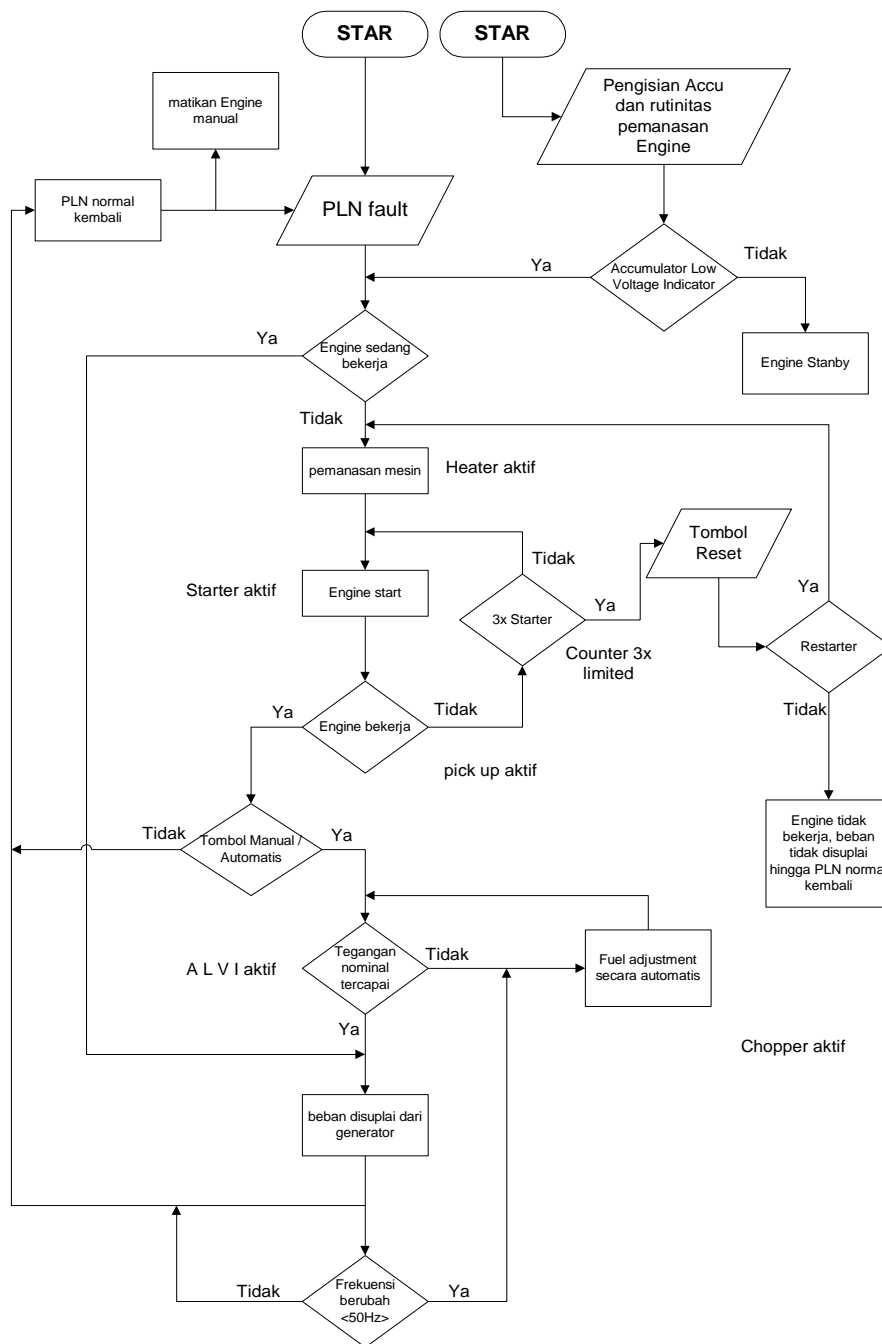
Dimana :

- P = daya output generator (W)
- f_{nL} = frekuensi generator tanpa beban (Hz)
- f_{sys} = frekuensi generator sistem beban (Hz)
- s_p = slop kurva KW/Hz

Hubungan yang sama dapat diberlakukan pada beban reaktif (Q) terhadap tegangan terminal generator VT.

II. BAHAN DAN METODE/METODOLOGI

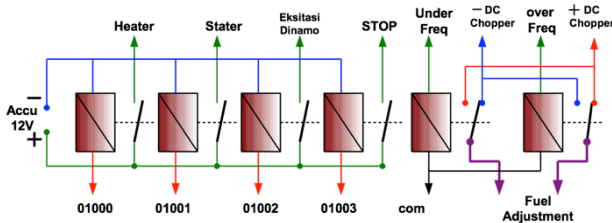
Pada diagram aliran kerja AMF memiliki tiga input, yaitu pada saat kondisi PLN gagal mensuplai listrik, pada saat kondisi PLN normal mensuplai listrik, dan pada saat kondisi AMF melakukan memanaskan mesin yang ditujukan untuk mengisi accu, sehingga accu selalu pada kondisi full charged, jika sewaktu waktu diperlukan. Adapun diagram flow proses sebagaimana pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Flow diagram sistem AMF

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dibawah ini merupakan diagram skematik output dan diagram line input output PLC.



Gambar 10 Diagram Skematik Relay Output

Adapun nilai nominal atau steady state dan grafik transien hasil pengujian UPS rotating tanpa beban adalah pada tegangan 370.5 volt, frekuensi 50 Hz diperoleh pada respon waktu 8 detik dengan kecepatan generator adalah 1500 rpm, sebagaimana pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Transient Hasil Pengujian Beban Nol

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa lama genset mencapai nilai frekuensi nominal saat mulai start tanpa beban, sedangkan nilai tegangan dalam hal ini dipengaruhi oleh AVR mengingat generator yang digunakan adalah generator eksitasi sendiri. Dari grafik di Gambar 10 Generator mulai berputar dari 0Hz dan membutuhkan waktu kurang dari 8 detik untuk mencapai nilai frekuensi nominalnya yaitu 50 Hz. Adapun tabel hasil pengujian UPS rotating beban bertingkat, adalah sebagai berikut. $V_{base} = 370,5V$, Frekuensi = 50Hz, Beban yang disupply generator bersifat bertingkat dengan total 6 kW.

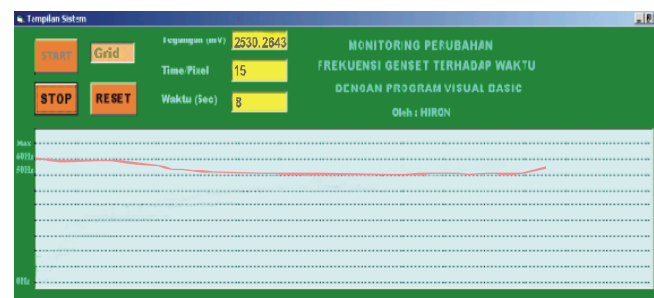
Tabel 1 Data Hasil Pengujian UPS Rotating Berbeban pada speed generator 1500 rpm.

| No | Beban (W) | V_{LL} Steady State (Volt) | V_{LL} Transient (Volt) | ftrans (Hz) | Time (sec) | S_{trans} (rpm) |
|----|-----------|------------------------------|---------------------------|-------------|------------|-------------------|
| 1 | 600 | 370,5 | 333 | 49,0 | 8 | 1470 |
| 2 | 1800 | 370,5 | 285 | 43,9 | 11 | 1317 |
| 3 | 3000 | 370,5 | 273 | 42,6 | 10 | 1278 |
| 4 | 4500 | 370,5 | 262 | 41,2 | 9 | 1236 |
| 5 | 6000 | 370,5 | 279 | 43,2 | 10 | 1296 |

Dari data di atas dapat ditentukan nilai frekuensi drop dan speed drop untuk setiap beban yang di suplay genset, sedangkan untuk voltage drop dalam hal ini tidak dibahas. Adapun tabel 2 hasil perhitungan adalah sebagai berikut:

Tabel 2 Perhitungan Speed Drop dan Frekuensi Drop untuk Setiap Beban

| No | Beban (W) | Speed Transient (rpm) | V_{LL} Transient (Volt) | F_{trans} (Hz) | Speed Drop (%) | Frekuensi Drop (%) |
|----|-----------|-----------------------|---------------------------|------------------|----------------|--------------------|
| 1 | 600 | 1470 | 333 | 49,0 | 2,04 | 2,04 |
| 2 | 1800 | 1317 | 285 | 43,9 | 13,8 | 13,8 |
| 3 | 3000 | 1278 | 273 | 42,6 | 17,37 | 17,3 |
| 4 | 4500 | 1236 | 262 | 41,2 | 21 | 21,3 |
| 5 | 6000 | 1296 | 279 | 43,2 | 15 | 15,7 |



Gambar 12 Grafik Transient Hasil Pengujian Beban 1 (600W)

Pada beban 600W frekuensi drop dari 50Hz menjadi 49Hz, artinya telah terjadi penurunan frekuensi (FD) sebesar 2,08%, nilai ini didapat dari mengadopsi persamaan (6-1) Bab II, dengan parameter kecepatan diganti oleh nilai frekuensi, sehingga persamaannya menjadi

$$fD = \frac{f_{nL} - f_{nJL}}{f_{nL}} \times 100\%$$

Dimana:

$$f_{nL} = 50\text{Hz}$$

$$f_{nJL} = 49\text{Hz}$$

didapat nilai frekuensi drop adalah

$$fD = \frac{50 - 49}{49} \times 100\%$$

$$fD = 2,04\%$$

sedangkan nilai speed drop SD, dari persamaan (6-1)

$$SD = \frac{n_{nL} - n_{nJL}}{n_{nL}} \times 100\%$$

Dimana:

$$n_{nL} = 1500\text{rpm}$$

$$n_{fL} = 1470\text{rpm}$$

sehingga nilai speed drop SD adalah

$$SD = \frac{1500 - 1470}{1470} \times 100\%$$

$$SD = 2,04\%$$

Waktu transien genset untuk kembali mencapai nilai frekuensi nominalnya 50Hz setelah mengalami drop frekuensi adalah 8 detik, nilai ini didapat dari setting waktu pada program visual basic.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pembahasan dan analisa hasil pengujian kinerja UPS rotating dengan stabilisasi frekuensi otomatis dapat disimpulkan sebagai bahwa pembangkit dengan primeover diesel sangat membutuhkan putaran yang stabil agar mendapatkan frekuensi yang setabil pula, sehingga speed Drop terjadi jika selisi nilai kecepatan antara nilai kecepatan yang sebelumnya dan yang baru di bagi dengan nilai kecepatan yang baru dikalikan 100%, dan hal ini berlaku pula untuk perubahan frekuensi drop. Time respons pada UPS rotating ini tidak terlalu cepat dikarenakan keadaan mesin diesel yang sudah tidak konstan putarannya dan torka yang tidak sinkronisasi lagi. Jika UPS rotating ini diberi beban dengan selisih beban yang sangat jauh dengan beban sebelumnya maka responnya akan sangat lambat untuk menuju nilai nominalnya. Frekuensi yang berayun dari 50 -60 Hz masih aman untuk digunakan oleh konsumen. Untuk aplikasi paralel dari dua pembangkit yang berbeda (interkoneksi) harus membutuhkan frekuensi, urutan fasa yang sama dan daya yang sama, frekuensi yang tidak sama akan mengakibatkan kerusakan pada kontak relay relay

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Marra, and J. Pomilio, "Induction-generator-based system providing regulated voltage with constant frequency," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 47 no.4, pp. 908-914, August 2000
- [2] Anderson, P.M., Fouad, A.A, "Power System Control and Stability", The Iowa State University Press. 1982.
- [3] A. Hafid, R. Widia. "Analisis Pengontrolan Frekuensi Generator PLTMH (Pusat Listrik Tenaga Listrik Mikrohidro) Dengan Governor

Sederhana". Elektron: Vol 2 No. 1, Edisi Juni 2010. ISSN:2085-6989

- [4] D. P. Anggriani, R. Effendie. "Pengendalian Frekuensi dengan Menggunakan Kontrol Fuzzy Prediktif pada Simulator Plant Turbin – Generator pada PLTU". Jurnal Teknik ITS Vol. 1, No. 1, (Sept. 2012) ISSN: 2301-9271
- [5] K. H. Youssef, M. A. Wahba, A. Omar. "A New Method for Voltage and Frequency Control of Stand-Alone Self-Excited Induction Generator Using PWM Converter with Variable DC link Voltage". American Control Conference. Westin Seattle Hotel, Seattle, Washington, USA June 11-13, 2008.
- [6] M. Karrari, W. Rosehart, O. Malik, "Comprehensive control strategy for a variable speed cage machine wind generation unit," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 20, no. 2, pp. 415- 423, June 2005.