RANCANG BANGUN IGC (*INDUCTION GENERATOR CONTROLLER*) SEBAGAI REGULATOR FREKUENSI PADA GENERATOR INDUKSI 3 FASA 5 KW

Aceng Daud, Ahmad Deni Mulyadi, Apip Pudin
Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung
Email : daud_polban@yahoo.com

Abstrak

PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) merupakan pembangkit listrik alternatif yang memanfaatkan aliran air sungai atau aliran irigasi sebagai sumber tenaga. Generator yang digunakan PLTMH bermacam-macam, salah satunya adalah dengan menggunakan motor induksi sebagai generator atau IMAG (*Induction Motor as Asynchronous Generator*). PLTMH yang menggunakan motor induksi sebagai generator memiliki kelemahan yaitu tegangan dan frekuensinya akan berubah ketika terjadi perubahan pada beban. Untuk mengatasi hal tersebut maka dibutuhkan sebuah IGC (*Induction Generator Controller*).

Bagian utama dari IGC ini terdiri dari panel kontrol dan ballast load. Prinsip pengaturannya adalah menyeimbangkan antara daya yang dihasilkan oleh generator dengan beban (daya) konsumen. Pada saat beban konsumen berkurang, kelebihan daya yang dihasilkan generator akan dipindahkan ke ballast load sehingga beban total pada generator tidak berubah. Dari hasil percobaan, IGC yang telah dibuat mampu menstabilkan frekuensi generator induksi di $50 \text{ Hz} \pm 1\%$ ketika terjadi perubahan daya di beban utama dari 0 kW sampai 4.25 kW.

Kata kunci: Kontrol Frekuensi, Generator Induksi.

I PENDAHULUAN

Di era globalisasi saat ini, manusia tidak terlepas dengan keberadaan energi listrik. Hampir semua aktivitas yang dilakukan menggunakan energi listrik, bahkan energi listrik menjadi penunjang utama dari terlaksananya suatu kegiatan. Banyaknya peralatan-peralatan elektronik yang semakin modern membutuhkan pasokan energi listrik yang tidak sedikit, sehingga beban yang ditanggung oleh sebuah pembangkit menjadi besar.

Pembangkitan energi listrik umumnya dilakukan dengan cara memutar generator sinkron [1] yang dikopel langsung dengan turbin atau mesin-mesin termal (Bensin dan Diesel) untuk menghasilkan energi listrik dengan tegangan bolak balik tiga fasa. Jika dilihat dari segi ekonomi, sistem semacam ini akan membutuhkan biaya yang besar dan penggunaannya untuk kapasitas pembangkitan yang besar pula. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah-daerah terpencil dengan kemampuan ekonomi masyarakat terbatas dan keperluan daya yang relatif rendah, salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah menggunakan motor induksi satu fasa sebagai penghasil energi listrik (generator induksi) yang dikopel dengan turbin atau mesin termal sebagai

penggerak mulanya. Sebagai contoh, motor induksi yang digunakan pada pompa-pompa air rumah tangga dapat digunakan sebagai generator. Pada penelitian ini akan dilakukan rancang bangun IGC (*Induction Generator Controller*) sebagai regulator frekuensi. Hasil rancangan ditujukan untuk generator induksi 3 fasa 5KW.

II TINJAUAN PUSTAKA

Motor induksi dapat digunakan sebagai generator induksi dengan cara memutar rotor diatas putaran medan stator atau bekerja pada slip negatif (didas putaran yang ada pada *nameplate*) [2]. Agar generator induksi dapat menghasilkan tegangan, syarat lain yang diperlukan adalah adanya arus eksitasi. Namun generator jenis ini mempunyai kelemahan, yaitu tegangan dan frekuensinya berubah-ubah jika terjadi perubahan beban. Oleh karena itu diperlukan suatu alat yang dapat mengatur tegangan dan frekuensi pada generator induksi. Bagian utama dari alat ini terdiri dari panel kontrol dan *ballast load*. Prinsip pengaturannya adalah menyeimbangkan antara daya yang dihasilkan oleh generator dengan beban (daya) konsumen. Pada saat beban konsumen berkurang, kelebihan daya yang dihasilkan generator akan dipindahkan ke *ballast load*

sehingga beban total pada generator tidak berubah.

Kurva karakteristik Kopel – Kecepatan mesin induksi untuk berbagai mode operasi terlihat pada Gambar 1 berikut [3];

Gambar 1. Kurva Karakteristik Kopel - Slip

Jika pada lengkung kopel-putaran, kopel dan putaran mempunyai tanda yang berlawanan sehingga perkalian kopel nominal, T_n dan putaran menjadi negatif, maka mesin induksi bekerja sebagai generator. Yang akan diperhatikan adalah harga kopel T negatif dan putaran positif, jadi pada slip negatif. Itu artinya motor induksi diputar melebihi kecepatan sinkronnya [4].

Pada motor induksi, kecepatan putaran rotor (n_r) selalu lebih kecil dari kecepatan sinkron (n_s). tetapi pada generator induksi, kecepatan putaran rotor (n_r) harus dibuat lebih besar dari kecepatan sinkron (n_s) sehingga energi listrik akan dikembalikan pada sistem jala-jala. Slip pada generator induksi selalu dalam harga negatif. Hal ini dapat dilihat dari persamaan berikut;

$$S = \left(\frac{n_s - n_r}{n_s} \right) \dots \dots \dots (2.1)$$

Jika $n_r > n_s$, maka harga S menjadi negatif.

Hubungan frekuensi dengan slip dapat dilihat sebagai berikut;

Bila f_1 = frekuensi jala-jala, $n_s = \frac{120 f}{p}$ atau

$f_1 = \frac{p n_s}{120}$ pada rotor berlaku hubungan:

$$\text{frekuensi arus rotor} = f_2 = \frac{p(n_s - n_r)}{120} \dots \dots \dots (2.2)$$

Atau

$$f_2 = \frac{p n_s}{120} \times \frac{(n_s - n_r)}{n_s} \dots \dots \dots (2.3)$$

Karena

$$S = \left(\frac{n_s - n_r}{n_s} \right) \text{ dan } f_1 = \frac{p n_s}{120} \dots \dots \dots (2.4)$$

Maka,

$$f_2 = f_1 \times S \dots \dots \dots (2.5)$$

Daya reaktif atau daya magnetisasi dibutuhkan untuk membangkitkan tegangan pada terminal keluarannya [5]. Dalam hali ini yang berfungsi sebagai penyedia daya reaktif adalah kapasitor yang besarnya disesuaikan dengan daya reaktif yang diperlukan. Besarnya kapasitor dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$X_c = \frac{V_n}{I_b} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \dots \dots \dots (2.7)$$

dimana:

- V_n = tegangan nominal
- I_b = arus buta
- X_c = reaktansi yang diperlukan untuk menyediakan arus buta
- C = kapasitor yang diperlukan untuk menyediakan arus buta
- F = frekuensi

Kebutuhan daya reaktif dapat dipenuhi dengan memasang suatu unit kapasitor pada terminal keluaran. Dimana kapasitor memberikan daya reaktif pada mesin induksi. Kerja dari kapasitor ini dapat dipandang sebagai suatu sistem penguat (eksitasi), sehingga generator induksi juga dikenal dengan sebutan generator induksi penguatan sendiri (*self excited induction generator*).

Gambar 2. Proses Pembangkitan Tegangan Pada Generator Induksi

Proses eksitasi sendiri pada generator induksi adalah adanya fluksi sisa atau medan

magnet pada kumparan stator. Tegangan induksi akan terinduksi pula pada sisi stator dan akan menimbulkan arus yang akan mengisi kapasitor hingga terjadi keseimbangan. Keseimbangan tersebut ditandai dengan titik pertemuan antara lengkung magnetisasi dengan garis reaktansi kapasitif seperti terlihat pada gambar 2. Lengkung magnetisasi tersebut terjadi akibat adanya kejenuhan inti besi dari mesin.

Penggunaan generator induksi pada kondisi *stand alone* mempunyai kelemahan yaitu tegangan dan frekuensi keluaran generator akan berubah ketika terjadi perubahan beban, hal ini terlihat pada grafik karakteristik generator induksi pada gambar 3, ketika beban berkurang kecepatannya bertambah dan akibatnya frekuensi berubah.

Gambar 3. Karakteristik Generator Induksi

Untuk mengatasi hal tersebut, maka diperlukan adanya IGC sebagai pengendali frekuensi [6]. Pengendalian frekuensi dimaksudkan untuk mengendalikan putaran (frekuensi) generator sehingga pengendalian putaran dalam PLTMH diutamakan berfungsi sebagai pengendali frekuensi generator. Jika daya air yang masuk ke turbin dibuat selalu konstan sehingga daya penggerak turbin selalu

konstan, maka frekuensi dan respon generator akan menjadi fungsi beban. Agar frekuensi yang dihasilkan oleh generator selalu konstan, maka besar beban dari generator harus selalu konstan. Untuk itu diperlukan beban tambahan yang besar bebannya dapat diatur sesuai dengan pengurangan beban dari PLTMH. Beban tambahan ini disebut beban komplemen atau *ballast load*. Pada suatu kondisi beban tertentu (misal pada beban sebesar 80% beban penuh), daya air yang masuk ke turbin diatur sehingga diperoleh putaran generator yang dikehendaki. Jika pada beban konsumen terjadi penurunan beban sebesar ΔL , maka beban komplemen akan dilewati arus yang rata-ratanya akan sebesar penurunan arus akibat turunnya beban konsumen (ΔL) sehingga generator akan dibebani dengan total beban yang selalu konstan. Diagram blok dari uraian tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4. Blok diagram pembagian beban komplemen

Daya yang masuk ke turbin dibuat konstan sehingga beban yang dirasakan oleh generator juga selalu konstan, maka putaran generator juga akan konstan. Jika debit air konstan, maka generator harus dibebani dengan daya yang konstan agar putaran generator selalu konstan.

Gambar 5. Blok Diagram Pengendalian Frekuensi Generator Induksi

Beban konsumen tidak selalu konstan, maka untuk menjaga kestabilan putaran turbin generator diperlukan beban komplemen yang besarnya diatur oleh IGC. Persamaan pengaturan beban oleh IGC, sebagai berikut :

$$Kapasitas\ Nominal\ Generator = Beban\ Konsumen + Beban\ Komplemen$$

III PERANCANGAN ALAT

Untuk mempermudah pemahaman mengenai prinsip kerja pengendali frekuensi Generator induksi maka terlebih dahulu mengetahui sistem kerja dari blok diagram kontrol pada gambar 5. Pada *set-point* diberikan sesuai dengan keinginan frekuensi yang kita inginkan, perintah yang diberikan pada pengendali analog berupa tegangan (0 – 8 volt). Umpan balik dari sensor frekuensi merupakan proses variabel yang juga merupakan masukan bagi *error detector* (0 – 8 volt). Keluaran dari *error detector* berupa tegangan yang akan diolah oleh pengendali (0 – 8 volt). Keluaran dari pengendali yang juga masih berupa tegangan akan memberikan masukan bagi rangkaian pembangkit pulsa (rangkaian *pulse width modulation*) yang dapat mempengaruhi besar kecilnya *duty cycle*.

Keluaran dari rangkaian pembangkit pulsa merupakan pulsa yang kemudian dikuatkan oleh rangkaian *Driver IGBT*. Kemudian keluaran dari *Driver IGBT* merupakan pulsa yang telah dikuatkan yang dapat mengatur waktu pensaklaran IGBT sehingga tegangan keluarannya dapat terkontrol dan diberikan pada *ballast load*. Hal ini akan membawa akibat pada perubahan frekuensi generator induksi.

Rangkaian *F to V Converter*

Rangkaian *F to V Converter* merupakan rangkaian yang berfungsi sebagai pengubah frekuensi menjadi tegangan. Rangkaian ini dirancang dengan menggunakan IC LM 2917N.

Gambar 6. Rangkaian *F to V Converter*

Frekuensi dideteksi melalui gelombang sinusoida AC yang masuk ke pin 1 yang kemudian gelombang tersebut di rubah menjadi gelombang kotak yang kemudian disearahkan. Untuk mengatur kelinieran perubahan tegangan *output* maka aturlah besarnya R_3 dan C_1 . Untuk lebih jelasnya lihat gambar 6.

Rangkaian ini mempunyai batas *input* frekuensi dari 10 – 10 kHz dengan tegangan pembawa sebesar 6V AC. Besar kecilnya *output* frekuensi. Frekuensi yang dideteksi pada perancangan ini berkisar antara 45 – 55 Hz dengan tegangan *output* sebesar 0.72 – 0.89 volt.

Rangkaian Span Zero

Rangkaian span zero, gambar 7. dirancang untuk memenuhi kebutuhan dari rangkaian kendali PI karena keluaran dari rangkaian *F to V Converter* tidak sesuai dengan yang dibutuhkan rangkaian pengendali PI yang membutuhkan masukan tegangan sebesar 0 – 8 volt.

Pada saat keluaran tegangan dari *F to V Converter* sebesar 0 volt, *input* tegangan yang dibutuhkan rangkaian pengendali PI adalah sebesar 8 volt. Sedangkan pada saat *output F to V Converter* sebesar 0.82 volt, *input* tegangan yang dibutuhkan oleh aktuatur adalah 0 volt.

Gambar 7. Rangkaian Span Zero

Persamaan untuk rangkaian diatas adalah

$$V_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_i} V_{in} + \frac{R_f}{R_{os}} V_{os}\right) \dots (3.1)$$

Jika nilai R_f dipastikan sebesar 330 k Ω dan $V_{os} = -5$ volt.

R_i yang dipilih $R = 20$ k Ω dan potensiometer = 20 k Ω

$$\frac{1}{R_{comp}} = \frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_{os}} + \frac{1}{R_i}$$

Rangkaian Pembangkit Gelombang Segitiga

Rangkaian pembangkit pulsa dirancang untuk memberikan keluaran berupa gelombang segitiga ac yang kemudian akan dibandingkan oleh rangkaian komparator setelah dirubah dari gelombang segitiga ac menjadi segitiga dc oleh rangkaian penguat penjumlah.

Gambar 8. Rangkaian Pembangkit Gelombang Segitiga

Gambar 9. Gelombang Segitiga

Persamaan untuk rangkaian diatas adalah;

$$f = \frac{R_3}{(2C R_4 (R_1 + R_2))} \dots \dots \dots (3.2)$$

Rangkaian Penguat Penjumlah

Rangkaian penguat penjumlah dirancang untuk merubah gelombang segitiga AC menjadi segitiga DC dengan menambahkan masukan berupa tegangan dc. Besar tegangan dc yang dimasukkan sebesar tegangan dari titik negatif menuju titik nol. Untuk lebih jelasnya lihat pada gambar 10.

Gambar 10. Rangkaian Penguat Penjumlah

Persamaan dari rangkaian diatas adalah :

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) x (V_{in1} + V_{in2}) \dots \dots \dots (3.3)$$

Rangkaian Komparator

Rangkaian komparator dirancang untuk membandingkan antara gelombang segitiga dengan tegangan DC, keluaran dari komparator berupa pulsa yang akan digunakan untuk trigger pensaklaran IGBT/MOSFET.

Gambar 11. Rangkaian Komparator

Rangkaian Penyearah Jembatan 3 Fasa

Rangkaian Penyearah Jembatan 3 Fasa dirancang sebagai penyearah tegangan ac 3 fasa menjadi tegangan dc. Besar tegangan dc dapat dihitung dengan persamaan 3.5.

Gambar 12. Rangkaian Penyearah Jembatan 3 Fasa

Pemilihan IGBT ditentukan dengan cara menghitung tegangan dc input yang akan dikontrol, tegangan dc ini berasal dari tegangan tiga fasa 380V sehingga dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Diketahui tegangan $V_{line-line} = 380V$,

$$V_m = V_{line-Neutral} x \sqrt{2} \dots \dots \dots (3.4)$$

V_m = Tegangan Maksimal

Maka tegangan dc dapat dihitung dengan persamaan berikut;

$$V_{DC} = V_m \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \dots \dots \dots (3.5)$$

Maka IGBT yang dipilih adalah IGBT yang mampu beroperasi pada tegangan diatas 513.18 V. dari *datasheet* IGBT yang beroperasi pada tegangan diatas 513.18V memerlukan tegangan *gate* (V_{GE}) lebih dari samadengan 15 V. sedangkan tegangan *gate* dari keluaran rangkaian pembangkit pulsa gerbang sebesar 11.26 V. Maka diperlukan rangkaian Driver IGBT supaya kebutuhan V_{GE} IGBT 15 V terpenuhi.

Rangkaian Driver IGBT

Rangkaian *driver* IGBT dirancang dengan menggunakan optoisolator TLP250 bertujuan untuk memenuhi kebutuhan tegangan *gate* IGBT yaitu sebesar 15 volt dan sebagai pemisah antara rangkaian kontrol dengan rangkaian daya. Suplai tegangan rangkaian ini terpisah dengan rangkaian kontrol.

Gambar 13. Rangkaian Driver IGBT

Rangkaian DC Controller

Rangkaian *DC controller* dirancang sebagai penyuplai daya pada ballast load. Besar kecilnya tegangan keluaran tergantung dari *duty cycle* yang pada tegangan *gate* yang diberikan pada IGBT.

Gambar 14. Rangkaian DC Controller

Rangkaian Error Detector

Rangkaian ini dirancang dengan menggunakan IC LM 324. Rangkaian ini berfungsi untuk melakukan pengkoreksian terhadap proses variabel yang terjadi di objek pengendali yaitu berupa frekuensi generator induksi. Rangkaian yang digunakan adalah rangkaian penguat pembeda tegangan (*difference amplifier*) yang dilengkapi dengan

rangkainan penyangga yang bertujuan untuk mencegah terjadinya *drop* tegagan masukan.

Gambar 15. Rangkaian Buffer dan Error Detector

Persamaan rangkaian diatas adalah:

$$V_{out} = \frac{R_4}{R_2} (V_{SP} - V_{PV}) \dots \dots \dots (3.6)$$

Dimana:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10 \text{ k}\Omega.$$

Rangkaian Proporsional

Perancangan rangkaian proporsional terlebih dahulu melakukan tuning dengan menggunakan metoda kurva reaksi. Perhitungan untuk menentukan nilai PB dan TR adalah sebagai berikut:

Gambar 16. Rangkaian Proporsional

Skala pada pengujian untuk tuning

$$T = 1 \text{ detik/cm}$$

$$V = 1 \text{ V/cm}$$

$$\text{Perubahan set point} = 5 \text{ volt} - 4.26 \text{ volt.}$$

Persentase kenaikan set point

$$= \frac{5 - 4.26}{5} \times 100\% = 14.8 \%$$

$$A = 0.8 \text{ detik}$$

$$B = 0.74 \text{ Volt}$$

$$L = 0.8 \text{ detik}$$

$$R = B/A$$

Nilai PB dan TR pengendali proporsional dan integral

$$P_B = (R \times L)/0.9$$

Rangkaian Integral

Perancangan untuk rangkaian integral merupakan kelanjutan dari hasil *tuning*. Jika pengendali akan dikombinasikan dengan pengendali proporsional maka besarnya $TR = 3.33 \times L$. sehingga besarnya nilai R dapat dihitung.

$$TR = 3.33 \times L \dots \dots \dots (3.7)$$

Besarnya nilai TR akan menentukan lamanya waktu dalam merespon terhadap suatu masukan. IC yang digunakan pada pengendali integral adalah TL084.

Gambar 17. Rangkaian Integral

Dari hasil *tuning* maka diperoleh besarnya $TR=2.664$ dengan nilai $C1$ yang dipilih $100\mu f$.

$$T_R = \frac{R \times C}{K_p}$$

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Motor induksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

3 Phase Squirrel Cage Asynchronous Motor

Type = DL2030/s $n^o = 068702$

Supply Voltage = 220/380 V

Rated Current = 20.8/12 A

Rated Power = 5.5 kW

Rated Speed = 2900 rpm

Frequency = 50 Hz

Insulation = F

$\cos \theta = 0.89$

Karakteristik generator induksi yang didapat melalui percobaan didapatkan seperti ditunjukkan pada Gambar 18.

Gambar 18. Grafik Karakteristik Motor Induksi Tanpa Beban

Gambar 19. Grafik Karakteristik Genrator Induksi

Gambar 20.1 Grafik Karakteristik Generator dengan menggunakan IG

Dari karakteristik tersebut di atas, maka nilai kapasitansi sesuai dengan Persamaan 2.6 dan 2.7 didapatkan sebesar 71.6 μF .

Karakteristik pembebanan generator induksi tanpa IGC ditunjukkan pada Gambar 19. Dari grafik di atas, terlihat bahwa frekuensi generator menurun terhadap peningkatan beban.

Karakteristik pembebanan generator induksi dengan IGC diperlihatkan pada Gambar 20.

Pada grafik diatas terlihat bahwa perubahan frekuensi terjadi pada batasan yang diinginkan yaitu sekitar 50 Hz $\pm 1\%$. Ketika beban turun dari 2.68 kW sampai 1.84 kW frekuensi naik dari 50 Hz sampai 50.2 Hz. IGC optimal ketika terjadi penurunan beban dari 1.84 kW sampai 1.28 kW, karena frekuensi tetap pada 50.2 Hz. Hal ini disebabkan terjadi pengalihan daya lebih yang seimbang dari generator yang semula menuju beban utama (Main Load) menjadi beralih ke beban komplemen (Ballast Load)..

Karakteristik generator induksi dengan dan tanpa menggunakan IGC diperlihatkan pada Gambar 21. di bawah

Gambar 21. Grafik Karakteristik Generator dengan dan tanpa Menggunakan IGC

Berdasarkan grafik diatas terbukti bahwa dengan adanya IGC frekuensi keluaran generator relatif konstan walaupun terjadi perubahan beban. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 22. Pada grafik pembebanan generator diatas, dapat dilihat bahwa ketika beban utama dalam keadaan nol, beban komplemen berada dititik puncak (maksimal) sedang kan ketika beban utama

maksimal maka daya pada beban komplemen sama dengan nol. Hal ini terbukti dengan hasil perhitungan dari data yang diperoleh bahwa ketika terjadi perubahan daya pada beban utama dan beban komplemen selalu terjadi keseimbangan yaitu daya keluaran generator relatif konstan sebesar 2.65 kW.

Gambar 22. Daya Pembebanan pada Generator

V KESIMPULAN

Perubahan beban sangat berpengaruh terhadap perubahan frekuensi generator penggunaan IGC mampu mengatasi perubahan frekuensi tersebut. Ketika beban bertambah maka IGC akan berusaha untuk menyeimbangkan beban sehingga berpengaruh pada frekuensi generator. Frekuensi stabil di 50 Hz $\pm 1\%$. Rangkaian kontrol IGC mampu mempertahankan frekuensi sampai generator menghasilkan daya sebesar 4.25 kW sedangkan harapannya di 5.5 kW, ini terjadi karena generator yang digunakan berasal dari motor induksi 5.5 kW sehingga terjadi rugi-rugi dan yang tercapai hanya 4.25 kW.

PUSTAKA

- [1] Djiteng Marsudi, "Pembangkitan Energi Listrik", Erlangga Jakarta, 2005
- [2] Machmud Effendy, "Rancang Bangun Motor Induksi Sebagai Generator (Misg) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro", TRANSMISI Jurnal Teknik Elektro, Volume 11, Nomor 2, Juni 2009, hlm. 71-76
- [3] Chairul Gagarin Irianto, "Suatu Studi Penggunaan Motor Induksi sebagai Generator: Penentuan Nilai Kapasitor Untuk

- Penyedia Daya Reaktif*", JETri, Volume 3, Nomor 2, Februari 2004, Halaman 1-16, ISSN 1412-0372
- [4] Djoekardi, Djuhana, "Mesin-mesin Listrik Motor Induksi" Universitas Trisakti, Jakarta, 1996
- [5] Rahmi Berlianti, "*Analisis Motor Induksi Fasa Tiga Tipe Rotor Sangkar Sebagai Generator Induksi Dengan Variasi Hubungan Kapasitor Untuk Eksitasi*", Jurnal Nasional Teknik Elektro, Vol: 4, No. 1, Maret 2015 ISSN: 2302 - 2949
- [6] Ana Ningsih, Oyas Wahyunggoro, M Isnaeni BS, "*Kendali Penstabil Frekuensi Dan Tegangan Untuk Pembangkit Listrik Mikrohidro Menggunakan Beban Komplemen Dengan Pengendali Pid Dan Pwm*", Seminar Nasional ke – 9: Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional (STTNAS) Yogyakarta, hal. 85-90