

PENGENDALIAN BEBAN GENERATOR SECARA OTOMATIS DENGAN ALGORITMA PID PADA PLTMH BERBASIS PLC

Hardiansyah , Eka Firmansyah , M Isnaeni BS
Jurusan Teknik Elektro FT UGM
Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

ABSTRACT

Micro-hydro Power Plant (MHP) is a center that utilizes the flow of water. To stabilize the flow of electricity generated by the generator, it is necessary to control the use of the load on the generator. MHP currently only using the control using electronic devices have some drawbacks such as its stability is still lacking and should do the monitoring on the MHP directly and continuously so that will cost money and effort very much. Given the weakness of this study was then performed, which are expected to perform automatic control of the MHP with a good stability. This control using Programmable Logic controller (PLC) twido TWDLMDA 20 DRT with Proportional Integral Derivative algorithm (PID) to produce a stable and fast control in stabilizing the voltage and frequency when the load changes. The system also provides a modbus port, allowing the network to connect with Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) so that the bias controlling and monitoring of remote MHP.

Key words: MHP, PID, SCADA.

INTISARI

Pusat Listrik Tenaga Mikro-hydro (PLTMh) adalah pusat yang memanfaatkan aliran air untuk menghasilkan tenaga listrik. Dalam menstabilkan aliran listrik yang dihasilkan oleh generator, perlu dilakukan sebuah pengontrolan penggunaan beban pada generator. PLTMh yang ada pada saat ini hanya menggunakan pengontrolan dengan perangkat elektronis yang memiliki beberapa kelemahan antara lain : kestabilannya yang masih kurang baik dan harus dilakukannya pemantauan pada PLTMh secara langsung dan terus menerus, sehingga akan membutuhkan biaya dan tenaga yang sangat banyak. Dengan adanya kelemahan tersebut maka dilakukanlah penelitian ini, yang bisa melakukan pengontrolan pada PLTMh secara otomatis dengan kestabilan yang bagus. Pengontrolan ini menggunakan *Programmable Logic controller (PLC) twido TWDLMDA 20 DRT* dengan menggunakan algoritma *Proportional Integral Derivative (PID)*, maka pengontrolan yang dihasilkan sangatlah cepat dan stabil, walaupun sering terjadi perubahan pada beban. Sistem ini juga menyediakan port modbus sehingga memungkinkan dapat terhubung dengan jaringan *Supervisory control and Data Acquisition (SCADA)* sehingga bisa melakukan pengontrolan dan pemantauan PLTMh dari jarak jauh.

Kata kunci : PLTMh, PID, SCADA.

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat utama bagi penduduk dan industri, baik yang berada di pedesaan maupun yang di perkotaan. Tanpa energi listrik sulit rasanya untuk penduduk maupun industri menjalankan aktifitasnya. Oleh sebab itu penyediaan tenaga listrik merupakan suatu hal yang sangat penting dalam suatu industri yang berfungsi sebagai penyaluran tegangan dan pembangkitan tenaga listrik untuk kebutuhan mengoperasikan mesin-mesin listrik sebagai penunjang aktifitas kerja di industri tersebut. Karena penyediaan tenaga listrik membutuhkan biaya tinggi, misalnya : dengan menggunakan mesin diesel membutuhkan biaya operasional untuk bahan bakar. Selain hal itu, letak geografis Indonesia yang susah yang menyebabkan tidak meratanya penyebaran beban, sehingga menjadikan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-hydro

(PLTMh) sebagai sumber energi yang paling ekonomis. PLTMh adalah wadah yang tepat untuk penyediaan energi, khususnya untuk daerah terpencil dengan populasi yang rendah dan jauh dari jaringan PLN.

PLTMh pada saat ini banyak menggunakan pengontrolan dengan perangkat elektronis dan kontrol mekanis. Kontrol elektronis yang memiliki beberapa kelemahan antara lain harus dilakukan pemantauan pada PLTMh tersebut secara langsung dan terus menerus sehingga akan memakan biaya dan tenaga yang sangat banyak dan juga memiliki respon yang kurang baik karena tidak dilengkapi dengan algoritma PID. Sedangkan kontrol mekanis merupakan sesuatu yang kurang diinginkan karena mengontrol aliran air secara langsung akan menghasilkan reaksi yang lambat bila variasi bebannya berubah dengan cepat, dan juga akan menyulitkan ketika menggunakan beban yang sensitif yang

tidak dapat mentolerir perubahan meskipun fluktuasi dayanya pendek. Kontrol mekanik juga mengandung banyak bagian yang bergerak, yang pasti akan membutuhkan perawatan. Dengan adanya kelemahan tersebut maka dilakukan penelitian ini yang diharapkan bisa mengontrol dan memonitoring PLTMh dari jarak jauh dengan dimungkinkannya dapat dikombinasikan dengan jaringan *Supervisory control and Data Acquisition (SCADA)*.

Penelitian selanjutnya telah dilakukan oleh Mbabazi dan leary (2010) yaitu analisis dan desain elektronik load control untuk sistem mikro-hydro pada daerah berkembang. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah *metode hummingbird* dan *metode Homo Luden's* dengan kontrol PI. Pada penelitian hanya membandingkan penggunaan *metode Homo Luden's* yang lebih baik dibandingkan dengan *metode Hummingbird*, karena dengan *metode Homo Luden's* akan mempermudah masyarakat dalam melakukan perawatan dan perbaikan pada rangkaian ELC tersebut. Pada penelitian ini juga dijelaskan penstabilan kerja generator dengan cara bervariasi pemberian beban tipuan tanpa menjelaskan seberapa cepat dan akurat kestabilan yang akan dicapai. Masalah yang ada pada pengontrolan PLTMh adalah pengontrolannya belum berstandar industri sehingga kehandalannya masih diragukan dan juga kerumitan dalam memprogramingnya. Dengan menggunakan twido TWDLMDA 20DRT harganya cukup terjangkau, pemrogramannya mudah dipahami dan kualitasnya sudah berstandar industri sehingga kehandalan dan keakurasiannya dapat diandalkan. Namun menggunakan twido TWDLMDA 20 DRT memiliki berbagai kekurangan antara lain ketidak sanggupannya melakukan komputasi dengan sangat cepat sehingga akan mengalami kesulitan dalam memprogram untuk mendapatkan nilai VRMSnya.

RANCANGAN SISTEM

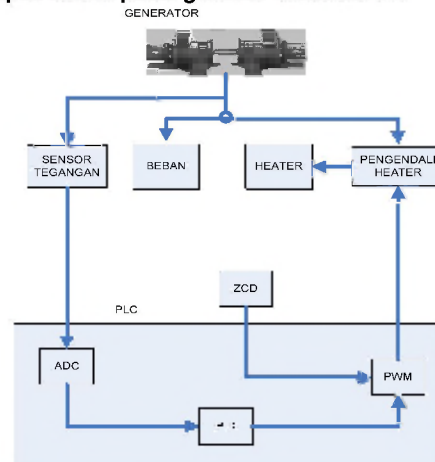
Plant yang dimodelkan untuk menstabilkan tegangan generator. Plant tersebut kemudian dimodelkan dan dirancang menggunakan sebuah generator dan motor penggerak yang berfungsi sebagai pengganti aliran air.

Sistem pengendalian kecepatan generator yang dimodelkan memiliki beberapa bagian sebagai berikut.

1. Kecepatan motor dipengaruhi oleh perubahan yang terjadi pada beban penggunaan.
2. Heater merupakan objek yang akan diatur

3. Jumlah arus yang menuju heater akan berbanding lurus dengan jumlah arus yang dilepaskan oleh beban penggunaan.
4. Sensor tegangan menunjukkan tegangan kerja generator apakah stabil atau tidak.

Pada dasarnya sistem ini bekerja sebagai pengendali kalang tertutup. Hal ini dimaksudkan agar pemakaian daya dapat ditekan seefektif mungkin. Selain itu, hal yang lebih penting, sistem ini diharapkan dapat mencapai kestabilan tegangan output pada generator sesuai dengan set point dengan osilasi sekecil mungkin. Adapun rancangannya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar.1 Rancangan Hardware PLTMh

Hal yang pertama dilakukan sistem adalah membaca nilai tegangan yang dihasilkan oleh generator menggunakan rangkaian sensor tegangan. Sinyal keluaran sensor ini masih berupa sinyal analog. Kemudian sinyal ini diubah menjadi sinyal diskret. Proses ini dilakukan oleh sebuah *Analog to Digital Converter (ADC)*. Nilai tersebut dijadikan sebagai masukan bagi blok PID.

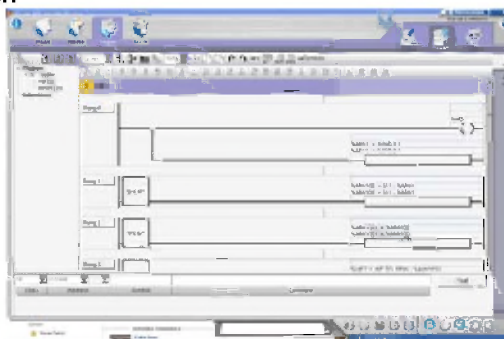
Algoritma PID menjadikan masukan ini sebagai komponen proporsional. Disatukan dengan penjumlahan masukan-masukan sebelumnya dan kecepatan perubahan nilai masukan, algoritma ini menjalankan perhitungan proposional, integral dan derivatif. Algoritma PID ini akan menghasilkan sebuah nilai keluaran. Kemudian hasil perhitungan algoritma diubah menjadi sebuah besaran, besaran ini kemudian dijadikan sebagai parameter sebuah sinyal *Pulsa Wide Modulation (PWM)*. Parameter tersebut akan dipergunakan untuk menentukan nilai duty cycle dari sinyal PWM yang dibangkitkan. Memanfaatkan fungsi pembangkit sinyal PWM maka akan dihasilkan sinyal keluaran dari PLC.

Selanjutnya melalui sebuah perangkat zero cross detector PLC membaca kapan terjadinya fase nol dari tegangan jala-jala 220 volt AC. Ketika fase nol ini terjadi, akan dijadikan waktu acuan yang menentukan kapan sinyal PWM akan dibangkitkan. Menggunakan rangkaian foto triac dan triac, sinyal PWM ini akan digunakan untuk memicu tegangan jala-jala pada fase tertentu. Kemudian tegangan yang terpotong ini digunakan sebagai pencatu heater.

Pengukuran nilai error

Pengukuran nilai error dilakukan oleh sensor tegangan. Resolusi dari sensor ini adalah 10mv/1volt AC. Keluaran dari rangkaian ini kemudian dihubungkan dengan pin analog input pada PLC. Nilai hasil pengukuran yang masih berupa besaran analog kemudian diubah oleh rangkaian *analog to digital converter (ADC)* yang sudah tersedia dalam PLC. Piranti ADC yang terintegrasi dalam PLC memiliki jangkauan pengukuran sebesar 10 volt. Piranti ADC ini memiliki jangkauan nilai keluaran antara 0-511 atau 512 skala. Sehingga resolusi dari pin masukan analog ini adalah 10 volt/512 skala atau sekitar 20mV/skala. Nilai hasil pengukuran yang telah diubah menjadi nilai diskret ini akan tersimpan pada memori PLC. Nilai ini selanjutnya dibandingkan dengan nilai setpoint dan akan menghasilkan nilai error yang terbaca.

Berikut ini adalah diagram ladder yang digunakan sebagai tahap pengukuran nilai error.



Gambar. 2 Diagram Ladder Input PLC

Pin analog input PLC memiliki alamat standar pada alamat %IW0.0.1 nilai ini merupakan nilai tegangan analog yang terbaca pada pin analog yang telah dikonversi menjadi format diskret oleh ADC yang ada pada PLC. Nilai ini menjadi nilai pengurang dari maksimum nilai yang mampu di baca oleh PLC. Karena PLC ini inputnya 9 bit, maka nilai maksimumnya adalah sebesar 511. Jadi nilai 511 ini akan dikurangi dengan dengan nilai yang terbaca. selanjutnya hasil dari

pengurangan ini akan disimpan pada memori dengan alamat %MW1. Hal ini dilakukan agar nilai tersebut dapat dengan mudah digunakan sebagai parameter dari tahapan program selanjutnya. Nilai yang tersimpan pada memori beralamat %MW1 ini adalah nilai yang terbaharui setiap saat sesuai dengan nilai yang terbaca pada pin analog.

Algoritma PID

Pada simulasi pengendalian generator ini, menggunakan jenis pengendali PID. Pengendali PID bertugas untuk menentukan respon dari perubahan pada generator dan mengatur besarnya arus yang masuk ke dalam heater dengan melakukan pengaturan nilai KP, KD, dan KI yang terbaik.

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk menentukan nilai Ki, Ti dan Td adalah dengan metode Ziegler dan Nichols. Pada metode ini hal yang harus dilakukan adalah:

1. Buat sebuah system mendekati sebuah operasi normal atau operasi pada titik operasi tertentu dengan mengatur sinyal kendali secara manual sedemikian rupa sehingga system berada pada kondisi yang stabil.
2. Membuat system suatu sistem loop tertutup dengan kontroler P dan plant di dalamnya.
3. Pastikan bahwa pengendali merupakan kendali proporsional dengan nilai $K_p=0$ dan dengan nilai $T_i=$ tak terhingga dan $T_d=0$.
4. Tambahkan nilai K_p sampai sistem beresilasi berkesinambungan dan teratur.
 - Nilai K_p saat itu disebut penguatan kritis (K_{cr}).
 - Periode saat itu disebut periode kritis (P_{cr}).
 - Pada percobaan ini dilakukan penentuan nilai K_p dari 30 sampai 100
5. Menentukan nilai K_p , T_i , dan T_d berdasar tabel berikut

Tabel.1 Tuning Ziegler-Nichols

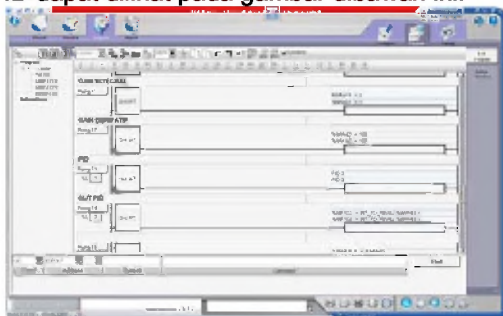
Tipe alat kontrol	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$1/1.2 P_{cr}$	0
PID	$0.6 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

6. Dari hasil percobaan diatas maka dapat disimpulkan bahwa nilai K_{cr} yang mendekati nilai ideal adalah sebesar 50 sedangkan untuk nilai P_{cr} sebesar 10.

Sehingga nilai $K_p = 50 \times 0,6 = 30$
 $T_i = 10 \times 0,5 = 5$
 $T_d = 10 \times 0,125 = 1,25$

- Langkah selanjutnya adalah pemeriksaan stabilitas system. Hal ini dapat dilakukan dengan mengganti setpoint atau beban. Apabila stabilitas system yang didapatkan buruk maka kita dapat menurunkan nilai gain proporsionalnya sedikit demi sedikit dan mengkombinasikannya dengan mengatur nilai waktu integral dan derivatifnya.

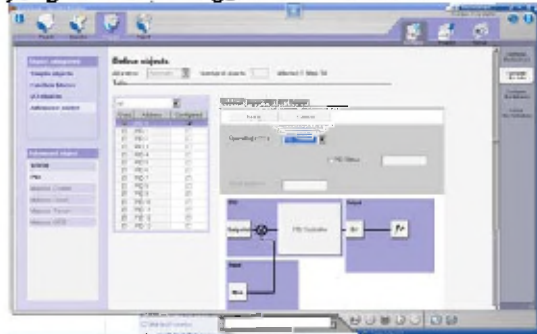
Nilai error yang sudah terbaca dan dirubah kedalam nilai diskret akan di proses menggunakan algoritma PID dengan nilai gain proporsional, gain integral dan gain derivatif yang sudah ditentukan, algoritma akan menghasilkan nilai keluaran. Nilai keluaran ini selanjutnya akan digunakan sebagai penentu nilai duty cycle dari sebuah pembangkit gelombang PWM. Memanfaatkan sinyal dari zero cross detector sebagai sinyal pengaktifan sinyal PWM, maka system akan menghasilkan sinyal berupa sinyal PWM dengan nilai duty cycle sebagai tanggapan atas error system. Adapun gambar diagram ladder pada kontrol PID dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar. 3 Diagram ladder pengaktifan PID

Perintah diatas adalah perintah untuk menentukan nilai dari memori alamat %MW40. Alamat ini nantinya akan digunakan sebagai alamat gain proporsional yang akan digunakan oleh algoritma PID. Selanjutnya perintah untuk menentukan nilai dari memori alamat %MW41. Alamat ini nantinya akan digunakan sebagai alamat gain integral yang akan digunakan oleh algoritma PID. Selanjutnya perintah untuk menentukan nilai dari memori alamat %MW42. Alamat ini nantinya akan digunakan sebagai alamat gain derivatif yang akan digunakan oleh algoritma PID. Kemudian leader yang paling bawah adalah leader untuk mengaktifkan PID pada PLC.

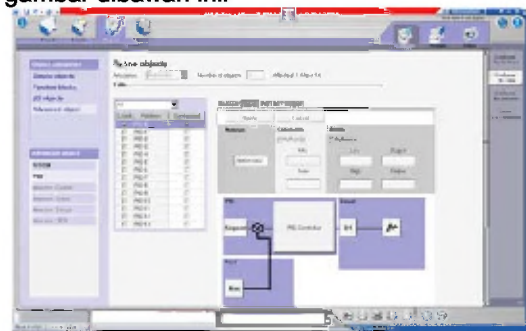
Hal selanjutnya adalah mengatur nilai dari atribut dari blok PID yang digunakan seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar.4 Pengaturan umum pada blok PID

Pada gambar pengaturan umum PID seperti yang terlihat diatas yaitu dilakukan pengaktifan PID yang akan gunakan yang pada penelitian ini menggunakan PID 0. Selanjutnya melakukan pengaturan operating mode yaitu dengan memilih operasi PID.

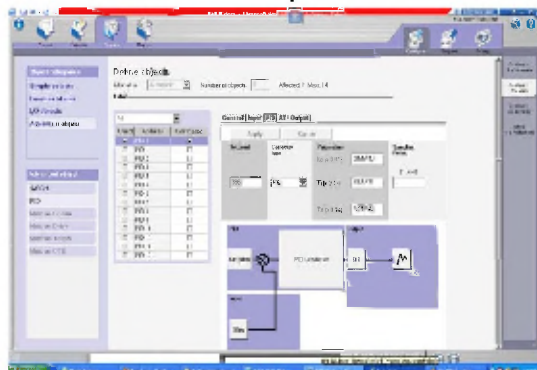
Selanjutnya melakukan pengaturan input untuk blok PID seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar.5 Pengaturan Input Blok PID

Pada pengaturan input pada blok PID adalah menentukan alamat memori yang pada penelitian ini menggunakan alamat %MW1002 sebagai masukan sebuah blok PID.

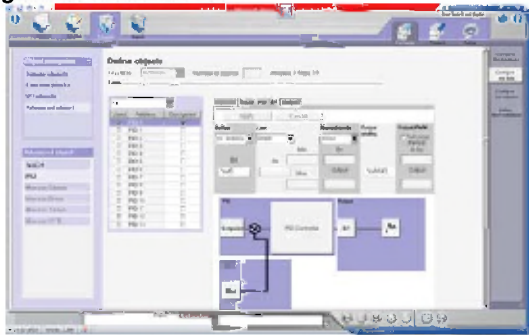
Selanjutnya melakukan pengaturan PID seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar. 6 Pengaturan PID

Pada pengaturan PID pada blok PID adalah menentukan setpoint pada nilai yang akan distabilkan yang pada penelitian ini setpointnya adalah tegangan 220 volt. Kemudian melakukan pengaturan pada corrector type yaitu dengan memilih PID. Selanjutnya menentukan alamat untuk pengisian parameter gain proporsional, gain integral dan gain derivative. Dan yang terakhir mengisi waktu sampling period sesuai dengan kebutuhan.

Selanjutnya melakukan pengaturan output pada blok PID seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar.7 Pengaturan output pada blok PID

Pada pengaturan output ini adalah menentukan alamat memori yang akan digunakan sebagai output hasil pengolahan PID.

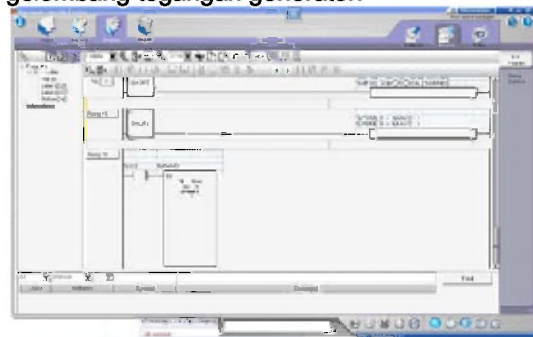
Pembacaan persimpangan titik nol

Pembacaan titik nol ini dilakukan terhadap tegangan sinus jala-jala. Pembacaan persimpangan titik nol tegangan jala-jala ini dilakukan untuk menentukan waktu yang tepat untuk melakukan pemucuan triac. Penundaan waktu pemucu triac berdasarkan perhitungan algoritma menggunakan persimpangan titik nol dari jala-jala ini sebagai acuan penundaan. Hal ini agar pemotongan fase tegangan sesuai dengan yang diharapkan. Menggunakan rangkaian seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, zero cross detector akan menghasilkan pulsa negative saat terjadi persimpangan terhadap titik nol. Jadi pada saat tidak terjadi persimpangan, rangkaian akan menghasilkan keluaran konstan sebesar 24 volt, kemudian pada saat terjadi persimpangan keluaran akan berupa pulsa bertegangan 0 volt. Keluaran dari rangkaian ini kemudian akan dijadikan input pada PLC, dimana pada program yang dibuat sinyal dari hasil pembacaan persimpangan titik nol ini akan digunakan sebagai masukan untuk mengaktifkan analog input dari PLC dan berfungsi untuk memicu triac. Pada system

yang akan dibuat, keluaran dari rangkaian ZCD akan berupa 2 nilai tegangan yaitu 0 volt dan 24 volt. Nilai pertama 0 volt, nilai ini akan terjadi saat tegangan jala-jala bernilai 0 volt, yaitu fase tegangan jala-jala bernilai 0 volt, yaitu fase tegangan berada pada 0 dan 180. Keluaran bernilai 0 ini akan dianggap 0 oleh PLC. Nilai kedua adalah 24 volt. Nilai ini akan terjadi ketika tegangan jala-jala telah meninggalkan fase 0 dan 180. Keluaran bernilai 24 volt ini akan dianggap sebagai logika 1 untuk PLC. Nilai keluaran dari ZCD ini akan dihubungkan ke salah satu pin masukan dari PLC. Dalam system yang akan dibuat pin yang akan digunakan sebagai pin pendeteksi titik simpangan nol ini adalah pin 3. Pin %I0.3 ini akan digunakan sebagai pin pengaktifan dari pembangkit PWM.

Modulasi Sinyal Keluaran

Sinyal keluaran dari PLC adalah sinyal PWM, Sinyal PWM ini memiliki frekuensi yang hampir sama dengan dua kali frekuensi tegangan yang dihasilkan oleh generator, yang akan memberikan catu daya ke elemen heater sehingga setiap tegangan yang dihasilkan oleh generator akan dimodulasikan dengan dua gelombang PWM. Sinkronisasi ini dilakukan untuk mensinkronkan fase antara gelombang tegangan generator dengan sinyal PWM. Proses sinkronisasi ini menggunakan sinyal kotak yang dihasilkan oleh zero cross detector yang digunakan untuk mendeteksi kapan terjadinya persimpangan titik nol pada gelombang tegangan generator.

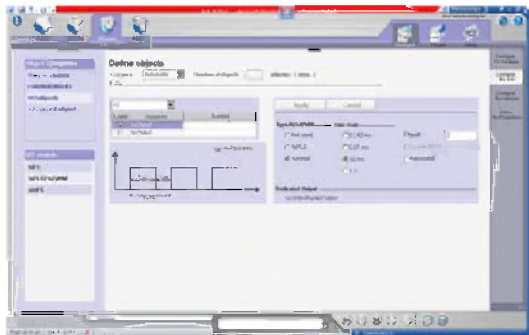


Gambar.8 Diagram leader pengaturan duty cycle dan pengaktifan blok PWM

Proses pertama adalah inialisasi nilai duty cycle dari pembangkit gelombang PWM. Proses ini dilakukan dengan memasukkan nilai yang terdapat pada alamat memori yang digunakan untuk menyimpan nilai algoritma PID kedalam alamat pengaturan nilai duty cycle dari pembangkit gelombang PWM yang digunakan. Dalam penyusunan program ini kita memasukkan nilai yang tersimpan pada alamat %MW43 ke alamat PWM1.R. %PWM1.R

adalah alamat yang kita gunakan untuk mengatur nilai duty cycle dari pembangkit gelombang %PWM1.

Proses berikutnya adalah pengaktifan pembangkit blok PWM. Proses ini dilakukan dengan memberikan logika 1 pada pin in dari blok PWM, sinyal masukan menggunakan pin dengan alamat %I0.3. Pin I0.3 adalah pin yang terhubung dengan keluaran rangkaian zero cross detector. Sehingga ketikan pin I0.3 mendapat nilai berlogika 1 berarti itu adalah keadaan dimana tegangan jala-jala meninggalkan titik nol. Maka blok PWM akan segera membangkitkan gelombang PWM dengan nilai duty cycle sesuai dengan perhitungan algoritma PID. Nilai duty cycle ini adalah merupakan tanggapan atas error akibat perubahan tegangan pada generator. Adapun pengaturan blok PWM pada PLC dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar. 9 Pengaturan blok PWM

Pengaturan blok PWM yang terlihat pada gambar diatas yaitu:

- Disini penulis menggunakan %PWM0 sebagai blok pembangkit gelombang PWM.
- Penggunaan nilai time base menggunakan 10 ms.
- Nilai preset diatur bernilai 2 agar sesuai dengan 1 periode gelombang frekuensi jala-jala 220 VAC.
- Frekuensi jala-jala adalah 50 HZ sehingga periodenya adalah 20 ms.

Pengendali Daya Heater

Pengendalian daya heater dilakukan dengan memotong fase dari tegangan jala-jala. Pemotongan dilakukan dengan sebuah rangkaian triac yaitu memicu gate dari triac menggunakan sinyal PWM yang dihasilkan oleh PLC. Sinyal PWM ini merupakan sinyal kotak yang nilai duty cyclenya merupakan tanggapan dari perhitungan algoritma PID yang digunakan. Sinyal PWM ini dibangkitkan

dengan pewaktuan yang telah disinkronkan dengan tanggapan jala-jala.

PENGUJIAN PERUBAHAN BEBAN

Pengujian tanggapan sistem terhadap perubahan beban. Yang harus dilakukan dalam pengujian ini adalah : Stabilkan terlebih dahulu tegangan dan frekuensi generator ke keadaan standard yaitu tegangan 220 volt dan frekuensi 50 hz dengan beban konsumsi sebesar 100 watt. Setelah itu berilah variasi terhadap beban yaitu dengan menurunkan daya beban perlahan secara step by step dari 100 watt sampai mencapai 0 watt. Setelah beban mencapai 0 watt maka beban tersebut dinaikan secara step by step sampai kembali ke beban 100 watt. Dari pengujian tersebut maka didapatkan hasil seperti tabel 2.

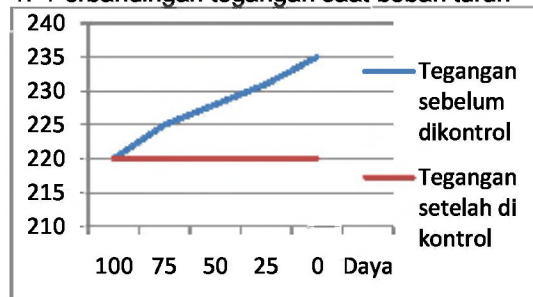
Adapun tabel yang didapatkan dari hasil pengujian adalah sebagai berikut:

Tabel.2 Hasil percobaan

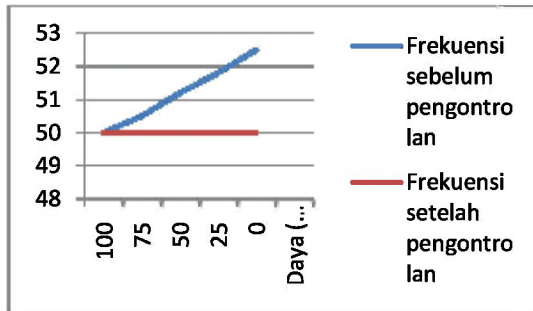
No	Beban (Watt)	Frekuensi (Hz)	Tegangan (V)	Heater (Watt)	Time Respon (detik)
4	0	52,5	235	100	15
5	25	51,8	231	75	13
6	50	51,2	228	50	12
7	75	50,5	225	25	11
8	100	50	220	0	0
9	125	49	216	0	11
10	150	48,6	212	0	12
11	175	48,4	209	0	13
12	200	47,3	205	0	15

GRAFIK PERBANDINGAN SEBELUM DAN SETELAH PENGONTROLAN

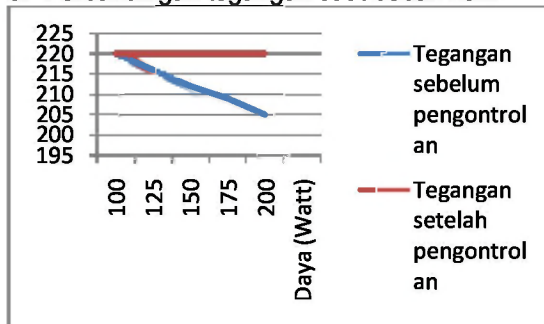
1. Perbandingan tegangan saat beban turun



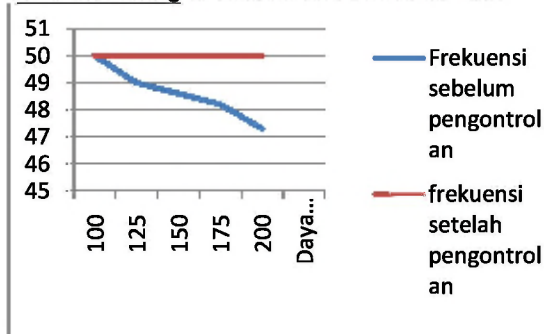
2. Perbandingan frekuensi saat beban turun



3. Perbandingan tegangan saat beban naik



4. Perbandingan frekuensi saat beban naik



KESIMPULAN

Dengan memperhatikan pembahasan pada bab-bab sebelumnya, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Pengontrolan menggunakan PLC dengan algoritma PID, maka dapat dilakukan pengontrolan generator secara otomatis.
2. Proses penentuan algoritma PID menggunakan metode tuning Ziegler nichols untuk mendapatkan nilai parameter K_i , K_p dan K_d menghasilkan sistem dengan respon yang cepat dengan stabilitas yang baik walaupun terjadi perubahan pada beban.

3. Pengontrolan menggunakan PLC yang standar dengan harga yang murah, tetapi tetap dapat melakukan pengontrolan dengan cukup baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Doolla , T.S. Bhatti. 2005. *Automatic generation control of an isolated small hydro power plant*.S. Received 11 July 2005; received in revised form 3 October 2005; accepted 19 November 2005 Available online 4 January 2006.
- Digital Collections. (Tgl 19 April 2011) http://digilib.petra.ac.id/viewer.php?submit.x=18&submit.y=16&page=2&qual=high&submitval=prev&fname=%2Fjiunkpe%2Fs1%2Felkt%2F2009%2Fjiunkpe-ns-s1-2009-23403060-11516-water_gatechap ter2 .pdf.
- Foss, Aidan. 2005. *Enhancing small hydro automation using distributed microcontrollers and simulation*. *Int. J. Global Energy Issues*, Vol. 24, Nos. 1/2, 2005
- Goyal, Himani. Hanmandlu,M. and Kothari,D.P. *An Artificial Intelligence based Approach for control of Small Hydro Power Plants*. Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology, Hauz Khas, New Delhi-110016 (India).
- Ginting, Almido Haryanto .2007. Aplikasi Anfis pada pengendalian kecepatan motor dc menggunakan mikrocontroler at mega 32.
- Hasan, Achmad .Pengontrolan beban elektronik pada pembangkit listrik tenaga mikro-hydro,P3 teknologi konvensi dan konservasi energi deputi Teknologi Informasi ,Energi material dan Lingkungan, Badan pengkajian dan penerapan teknologi.
- Hasan, ahmad. Pengontrolan beban elektronik pada pembangkit tenaga mikro-hydro. P3 Teknologi Konversi dan Konservasi Energi Deputi Teknologi Informasi, Energi, Material dan Lingkungan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Ko, Hee-Sang. Kang, Min-Jae.and Kim, Ho-Chan.2008. Electricity Quality control of an Independent Power Sistem Based on Hybrid Intelligent controller. M. Ishikawa et al. (Eds.): ICONIP 2007, Part II, LNCS 4985, pp. 468–477, 2008.© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008
- Mbabazi, Shoan. Leari, Jon .2010.*Analysis and Design of Electronic Load controllers for Micro-hydro Sistem in the*

- Developing World*. University of Sheffield, E-Futures (March 2010)
- Ogata, Katsuhiko. University of Minnesota. *Modern control Engineering. Third Edition*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458.
- Putra, I Ketut Perdana. Hadi, Sasongko Pramono. Haryono, T .2004. Penggunaan kapasitor untuk perbaikan unjuk kerja motor induksi sebagai generator. *Teknosains* 17 (4), Oktober 2004.
- Rakhmadi, Aris . Sawaludin, Taufiq. Pengendali PID Berbasis PLC Modicon TSX Micro 3722 Untuk Mengatur Kecepatan Motor Induksi Tiga Fase.39 *JURNAL TEKNIK ELEKTRO DAN KOMPUTER EMITOR* Vol. 4, No. 1, Maret 2004
- Salhil, Issam. Doubabi, Said .2009. *Fuzzy controller for frequency regulation and water energy save on microhydro electrical power plants, controller for frequency regulation and water energy save on microhydro electrical power plants*. International Renewable Energy Congress November 5-7, 2009 - Sousse Tunisia
- Unikom (20 maret 2011). *Pengontrolan Variabel Analog menggunakan PLC : Algoritma PID*. <http://elib.unikom.ac.id/files/disk1/383/jbptunikomppgd-mairodi-19148-14-14-peng-c.pdf>