

RANCANG BANGUN ALAT KONTROL BEBAN ELEKTRONIK DIGITAL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) OFF-GRID

Machmud Effendy

Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Malang
Email: machmudeffendy@yahoo.com

ABSTRACT

Electronic load control device (ELC) at the MHP Digital Off-Grid (not connected to the PLN) replaces previous controls are still using analog systems (Machmud, 2008), because analog systems have drawbacks including: difficult to perform the initial setup of the generator voltage stability in the event of changes in consumer loads, so that the percentage error generator voltage and frequency stability is still quite large. In 2010 (Machmud) makes ELC models using Matlab with the PI system that is able to stabilize the voltage of the generator at the second to 8.

These results continue the previous research by designing wake ELC using microcontroller system that is equipped with PID control. Series of ELC supporters were also made, among others: the sensor circuit voltage, zero detection circuit, and electronic switch circuit. Voltage sensor circuit that has been made to have the voltage linearity level of 0.997. While the time required to trigger the triac with a maximum of 1000 Ohm load is between 0 to 10 milliseconds.

PID system is created using the C language and loaded into the microcontroller IC is able to stabilize the voltage generator in the event of changes in the electrical load. With menggunakan value $K_p = 4$, $K_i = 0.01$, the system is able to stabilize the voltage of the generator in the event of changes in the electrical load 100 and 500 Ohm Ohm in seconds to 8 parameters K_p in PID control system is applied to the electronic load control devices MHP does not cause changes significant at keluran controller, so its value can be ignored.

keyword: PLTMh, Digital Control

PENDAHULUAN

PLTMh (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro) merupakan salah satu sumber energi terbarukan (*renewable energy*) yang masih belum banyak dimanfaatkan di wilayah Indonesia. Berdasarkan data dari Departemen ESDM, Indonesia mempunyai potensi tenaga air sebesar 75.000 MW dan saat ini baru 13,9 % potensi tersebut termanfaatkan (ESDM, 2006). Oleh karena itu perlu ditingkatkan penggunaan PLTMh di daerah-daerah yang berpotensi untuk dibangun mikrohidro, sehingga kebutuhan energi listrik tidak lagi terlalu bergantung kepada PLN (Perusahaan Listrik Negara).

Salah satu kelemahan PLTMh *off-grid* atau biasa disebut dengan PLTMh yang tidak terkoneksi dengan PLN adalah berubahnya tegangan dan frekuensi generator listrik PLTMh akibat fluktuasi beban konsumen baik yang bersifat resistif seperti lampu penerangan maupun yang bersifat induktif seperti motor listrik (IMIDAP, 2008). Kondisi ini dapat dilihat pada PLTMh yang sudah dibangun seperti yang ada di PLTMh Minggir Sleman Yogyakarta, PLTMh Lubuk Bira Jambi, PLTMh Sewon Bantul Yogyakarta dan masih banyak lagi PLTMh *off grid* di Indonesia yang tidak dilengkapi dengan alat penstabil tegangan dan frekuensi.

Dan berdasarkan fakta bahwa PLTMh yang menggunakan alat kontrol beban

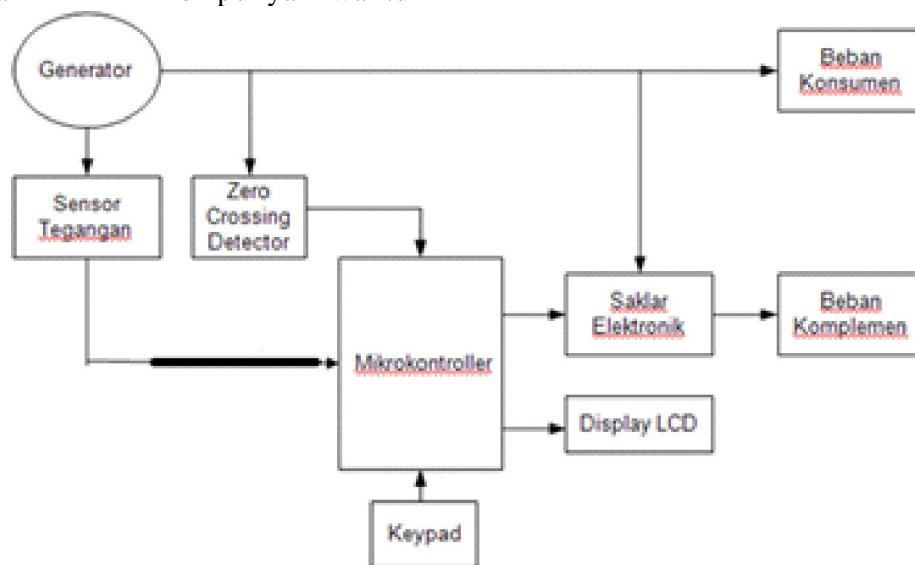
elektronik analog cukup sulit untuk dikembangkan menjadi sebuah PLTMh yang mempunyai fasilitas informasi yang lebih lengkap seperti: informasi suhu, ketinggian air pada bendung, keseimbangan *bearing*, getaran, kelembapan, dan pemantauan jarak jauh. Hal ini disebabkan karena sebuah sistem analog membutuhkan jumlah komponen yang lebih banyak jika dibandingkan dengan sistem digital yang dilengkapi dengan perangkat lunak (David, 1999)

Disamping itu, alat kontrol beban elektronik analog yang masih digunakan pada beberapa PLTMh mempunyai waktu

pengalihan beban dari beban komplemen ke beban konsumen maupun sebaliknya masih cukup besar, sehingga mengakibatkan terjadinya cacat tegangan listrik pada konsumen. Untuk mempercepat waktu pengalihan beban tersebut dapat digunakan alat kontrol beban elektronik digital, sehingga cacat tegangan listrik akibat pengalihan beban dapat dikurangi.

METODE PENELITIAN

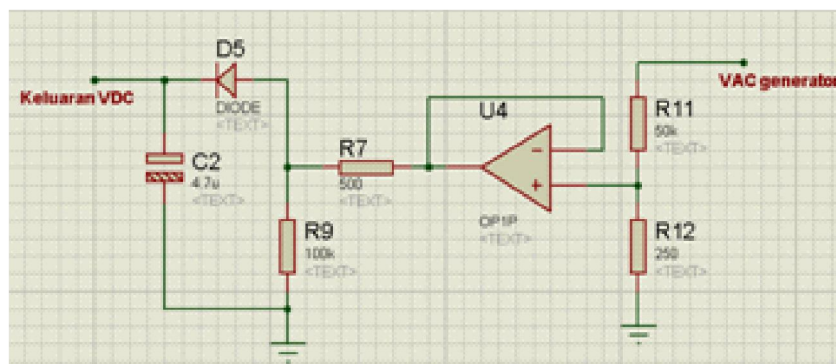
Alat kontrol beban elektronika digital di gambarkan dalam diagram blok dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Pada penelitian tahun kedua ini terdapat penyempurnaan rangkaian sensor tegangan dan rangkaian pendeteksi titik nol seperti ditunjukkan dalam gambar dibawah ini:

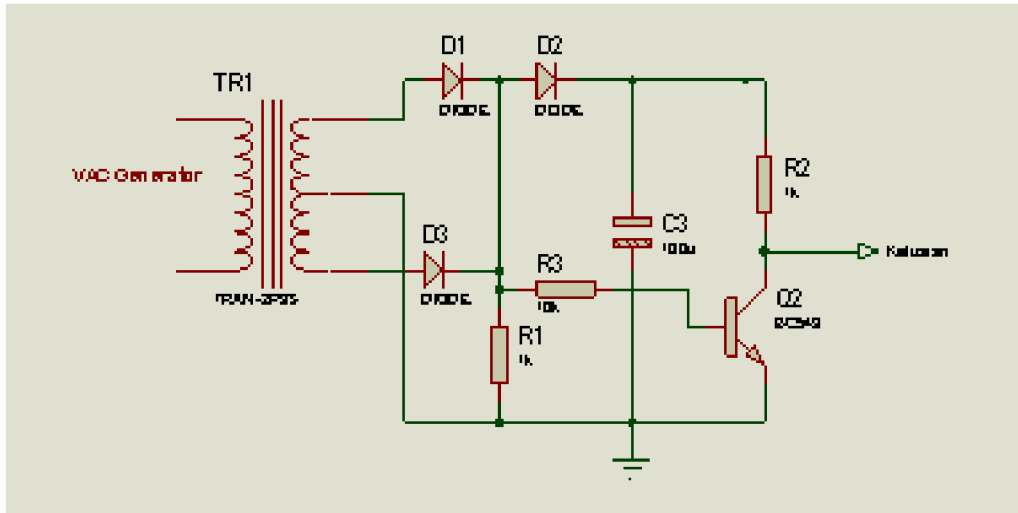
Rangkaian Sensor Tegangan



Gambar 2. Rangkaian Sensor Tegangan

Pembuatan Rangkaian Pendeteksi Titik Nol

Untuk memicu arus gerbang TRIAC (saklar elektronik) agar tepat pada titik 0 tegangan generator, maka dibutuhkan rangkaian ini.



Gambar 3. Rangkaian Pendeteksi Titik Nol

Pemicuan Sudut TRIAC

Pemicuan sudut TRIAC dilakukan pada saat keluaran rangkaian pendeteksi titik nol berlogika *high*. Dengan frekuensi generator 50 Hz, maka untuk waktu pemicuannya sebesar:

$$T = 0.5 \times (1/f) \\ = 0.5 \times (1/50) = 0.01 \text{ detik} = 10 \text{ mili detik.}$$

Timer yang digunakan adalah timer 0 dengan besarnya prescaler 256, sehingga nilai pewaktuannya sebesar 15625 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa setiap 1 detik akan menghasilkan 15625 pulsa, maka untuk tundaan sebesar 10 mili detik dibutuhkan 156 pulsa.

Pembuatan Perangkat Lunak

Program yang dibuat dalam penelitian ini menggunakan bahasa C++. Hasil program bahasa C++ akan dikompilasi menjadi file berextension OBJ, HEX, dan BIN. File berextension BIN akan ditransfer ke dalam mikrokontroler menggunakan downloader. Berikut ini adalah tahapan dalam pembuatan programnya.

Program Kontrol PID

Sub rutin program kontrol PID berfungsi untuk menjalankan algoritma kontrol PID, dimana dipilih set pointnya adalah 137 (identik dengan tegangan DC 1.07 V).berikut ini adalah listing programnya.

```
void kontrol(void)
{
    error=(set_point-nilai_sensor)*-1;
    outP=Kp*error;
    errorI=error+error_sblmI;
    outI=Ki*errorI*Tc;
    error_sblmI=errorI;
    errorD=error-error_sblmD;
    outD=(Kd*errorD)/Tc;
    error_sblmD=error;
    outPID=outP+outI+outD;
    if (outPID <=1) outPID =4;
}
```

Berdasarkan metode *trial and error*, didapatkan nilai Kp sebesar 4, nilai Ki = 0.001, dan nilai Kd = 0.1.

Layanan Interupsi External 0

Keluaran dari rangkaian pendeteksi titik nol diumpangkan ke port INT0 Mikrokontroler. Sehingga jika tegangan AC generator melewati titik tegangan nol, akan terjadi interupsi external 0. Interupsi external 0 yang terjadi dijadikan sebagai waktu awal pemecuan pin gate pada TRIAC. Berikut ini adalah listing program interupsi external 0

```
interrupt [EXT_INT0] void
ext_int0_isr(void)
{
    PORTD.7=0;
    tunda=156-(1.5625*outPID);
    TCNT0=0xFF-(tunda+1);
}
```

Layanan Interupsi Timer 0

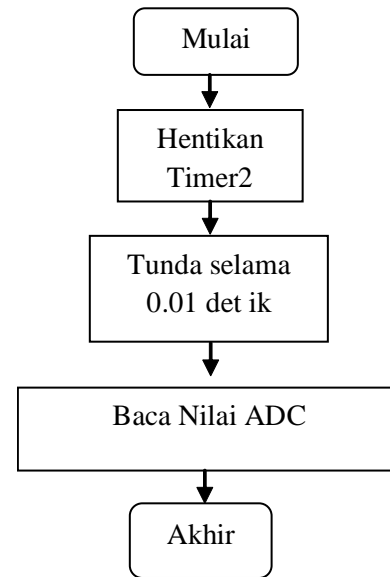
Sub rutin ini digunakan untuk memicu pin gate TRIAC, yaitu dengan memberikan nilai logika *high* pada port D.7 Berikut ini listing programnya.

```
interrupt [TIM0_OVF] void
timer0_ovf_isr(void)
{
    PORTD.7=1;
}
```

Layanan Interupsi Timer 2

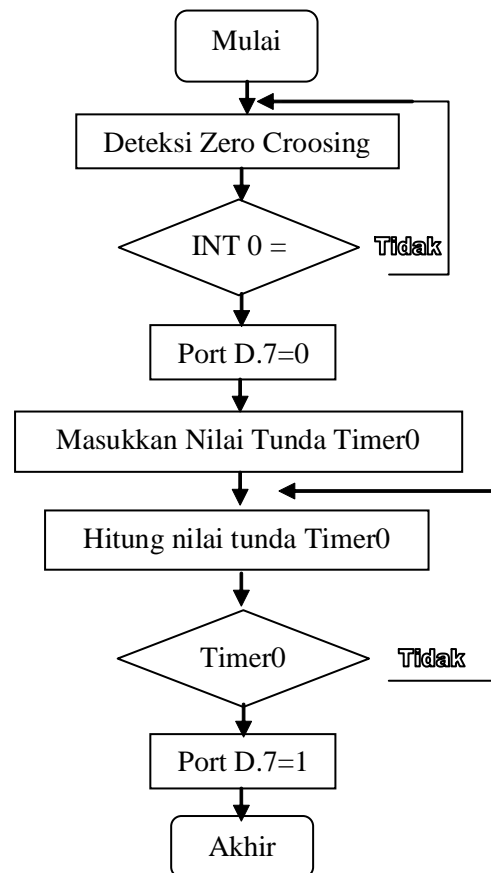
Interupsi timer 2 8 bit digunakan untuk menentukan waktu membaca keluaran ADC 10 bit (waktu sampling). Dalam penelitian ini, ditentukan waktu sampling sebesar 0.01 detik. Berikut ini listing programnya.

```
interrupt [TIM2_OVF] void
timer2_ovf_isr(void)
{
    TCNT2=0x64;
    nilai_sensor=read_adc(0);
}
```



Gambar 4. Diagram Alir Interupsi Timer2

Waktu tunda 0.01 detik diatas merupakan waktu setiap pengambilan data di ADC. Waktu tunda 0.01 detik diubah menjadi bentuk heksadesimal 64H menggunakan prescaler 256 dengan frekuensi mikrokontroler 4MHz, agar dapat dibaca oleh mikrokontroler.



Gambar 5. Diagram Alir Pemicuan Triac

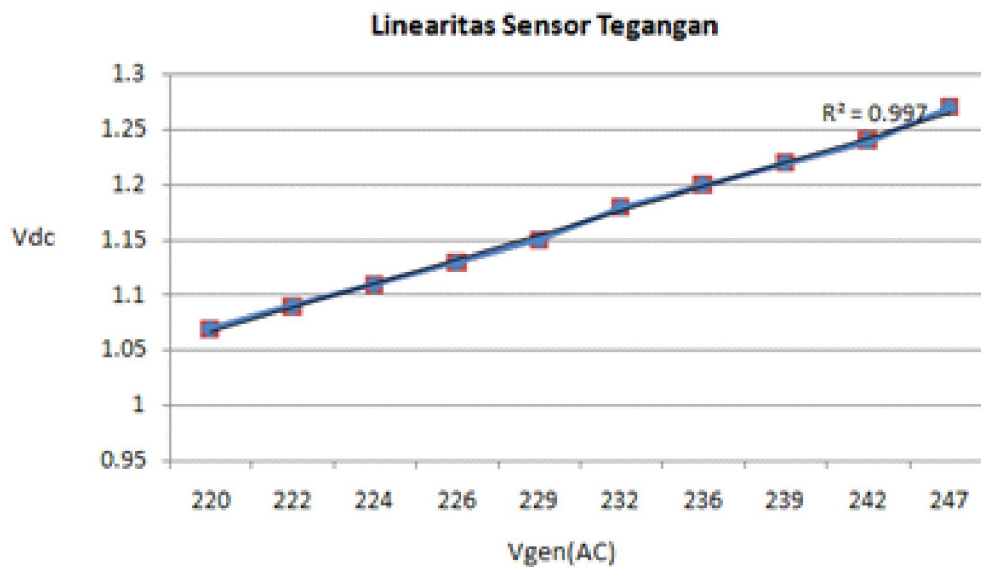
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan menggunakan generator AC dengan beban 100 sampai dengan 1000 ohm, sedangkan alat ukur yang digunakan voltmeter digital AC dan DC. Berikut ini adalah hasil pengujiannya.

Tabel 1. Hasil Pengujian

V gen (Vac)	Ke luaran (V dc)
220	1.07
222	1.09
224	1.11
226	1.13
229	1.15
232	1.18
236	1.2
239	1.22
242	1.24
247	1.27

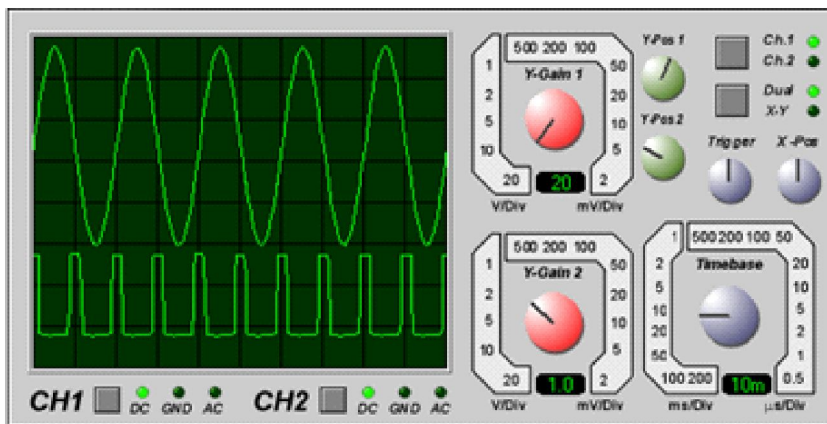


Gambar 6. Linearitas Sensor Tegangan

Dari gambar grafik diatas terlihat bahwa sensor tegangan memiliki nilai linearitas sebesar 0.997. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian sensor tegangan layak untuk digunakan.

Pengujian Rangkaian Deteksi Titik Nol

Pengujian rangkaian deteksi titik nol dengan cara memberikan tegangan AC generator ke terminal masukan rangkaian ini. Kemudian melakukan pengukuran terminal masukan dan keluaran menggunakan osiloskop. Berikut ini adalah hasil pengujiannya.



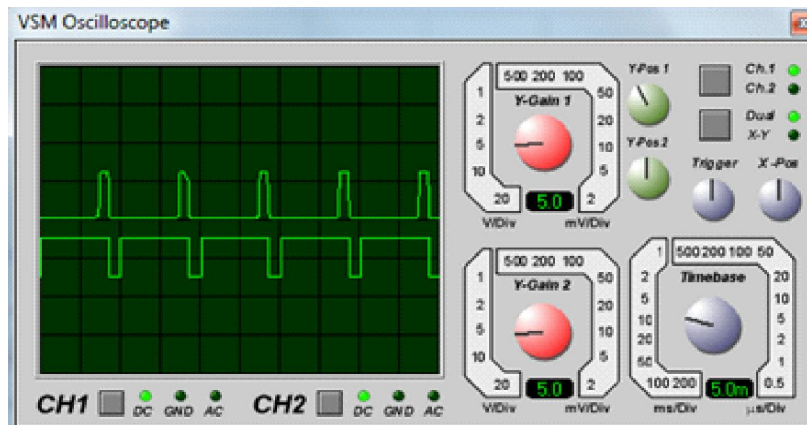
Gambar 7. Hasil Pengujian Rangkaian ZCD

Dari gambar diatas terlihat bahwa rangkaian pendeteksi titik nol mampu mengeluarkan pulsa *high* (logika 1) pada saat titik nol tegangan generator AC.

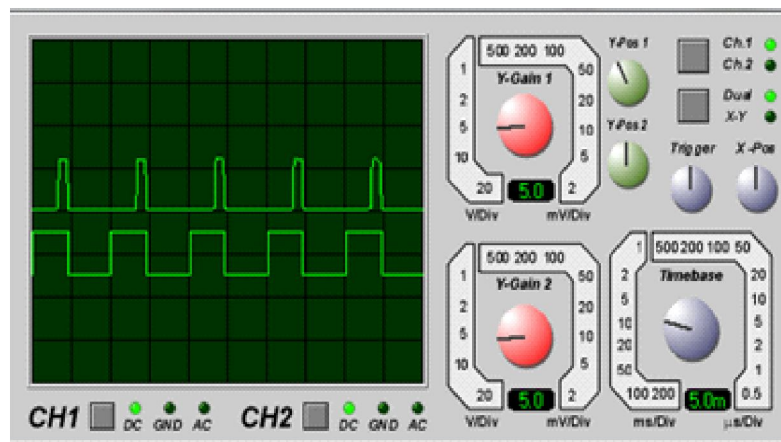
Pengujian Pemicuan TRIAC

Untuk melakukan pengujian pemicuan TRIAC dibutuhkan rangkaian pendeteksi titik

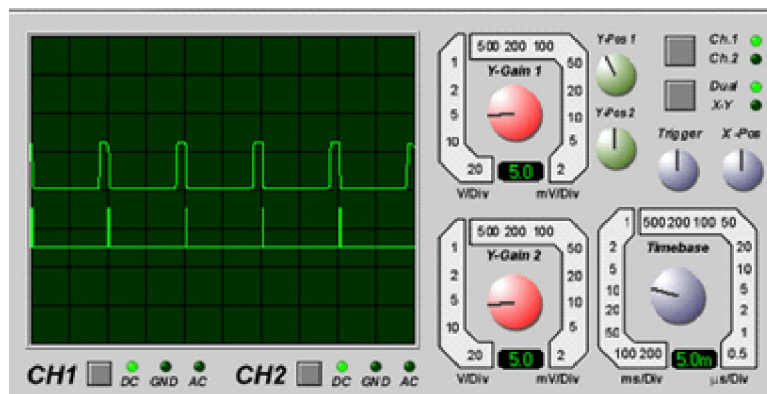
nal ,sistem mikrokontroller, dan beban listrik konsumen. Dan hasil keluaran rangkaian pemicu diukur menggunakan osiloskop. Pemicuan TRIAC untuk beban 100 ohm membutuhkan waktu pemicuan 9 milidetik, beban 500 ohm membutuhkan waktu pemicuan 5 mili detik, dan untuk beban 1000 ohm membutuhkan waktu 0 mili detik (tidak ada pemicuan TRIAC). Berikut ini adalah hasil pemicuan TRIAC.



Gambar 8. Pemicuan TRIAC Utk Beban 100 &!



Gambar 9. Pemicuan TRIAC Utk Beban 500 &!



Gambar 10 Pemicuan TRIAC Beban 1000 &!

Dari gambar 7 sampai gambar 9 terlihat bahwa rangkaian pemacu TRIAC mampu mengaktifkan gate TRIAC sesuai dengan beban listrik yang diberikan ke generator. Pada saat beban listrik maksimum (1000 ohm), maka tegangan generator sebesar 220V, artinya tidak ada pemucuan TRIAC. Sedangkan pada saat beban listrik turun menjadi 500 ohm, maka tegangan generator akan naik, sehingga TRIAC harus dipicu selama 5 milidetik secara periodik, agar tegangan generator tetap stabil 220V.

Analisa Respon Sistem

Pengujian respon sistem keseluruhan menggunakan semua rangkaian yang dilengkapi dengan beban listrik dan generator AC. Beban generator maksimal sebesar 1000 ohm. Pada saat generator AC diberikan beban 1000 ohm, tegangan generator sebesar 220V. Berikut ini adalah hasil keluaran generator AC tanpa menggunakan alat kontrol (*open loop*) menggunakan beban yang berubah-ubah.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tanpa Alat Kontrol

Tegangan Generator (Volt)	Beban Listrik (ohm)
220	1000
222	900
224	800
226	700
229	600
232	500
236	400
239	300
242	200
247	100

Berdasarkan hasil pengujian diatas, terlihat bahwa tegangan keluaran generator berubah-ubah pada saat terjadi perubahan beban listrik.

Pengujian berikutnya adalah pengujian keseluruhan sistem yang didalamnya terdapat kontrol PID (*close loop*). Pengujian diawali

dengan mengkondisikan generator agar menghasilkan tegangan 220V. Kemudian generator diberikan beban listrik maksimal 1000 Ohm dan generator dikondisikan tetap pada tegangan 220V. Selanjutnya beban listrik generator akan diubah-ubah dengan interval beban sebesar 100 ohm.

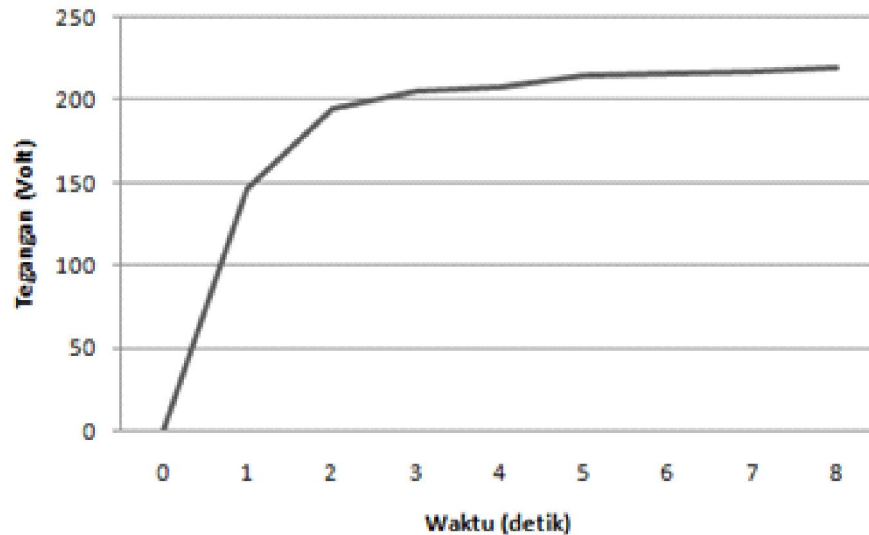
Pemberian nilai parameter Kp, Ki, dan Kd untuk memperoleh respon sistem yang optimal dilakukan dengan menggunakan metode manual (*hand tuning / trial and error*).

Langkah-langkah penalaan yang dilakukan dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Beban listrik menggunakan 1000 ohm, dan pastikan tegangan generator AC sebesar 220V.
2. Memberikan nilai Kp hingga kontroler masih menghasilkan keluaran dan osilasi, dengan mengamati keluaran kontroler pada osiloskop.
3. Mengatur nilai Kd dan Ki untuk mengurangi osilasi keadaan tunak.

Berdasarkan hasil penalaan untuk *setpoint* 220V, diperoleh harga yang baik untuk Kp adalah 4 dan Ki = 0.01. Pemberian Kp dibawah 4 akan mengakibatkan waktu naik respon transien dari sistem menjadi lebih lama dan tegangan generator akan mengalami *offset* sehingga tegangan generator tidak akan dapat mencapai suhu *setpoint*. Untuk nilai Ki = 0,01 tegangan generator akan berosilasi antara 0,01 sampai dengan 0.03, sedangkan untuk nilai Ki lebih dari 0,01 akan menyebabkan kisaran osilasi tegangan lebih besar. Pemberian nilai Kd tidak menyebabkan perubahan yang signifikan pada keluaran kontroler sehingga dapat diabaikan.

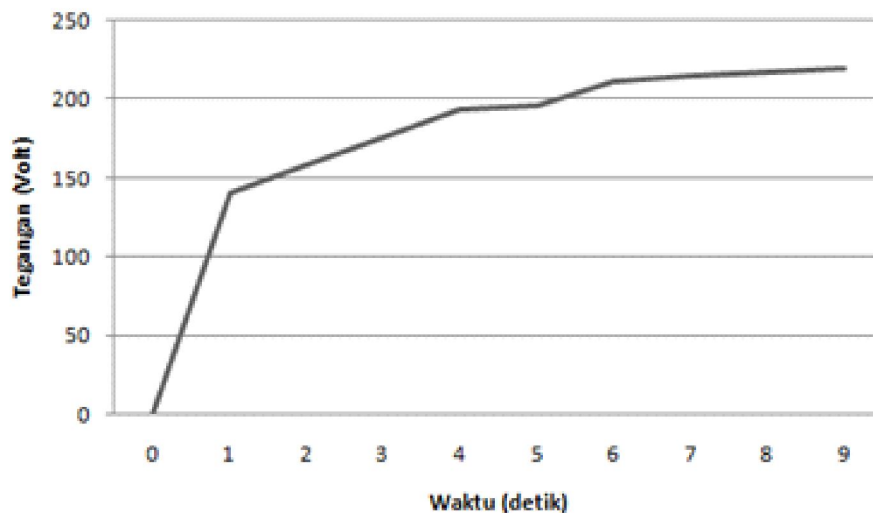
Hasil pengujiannya dalam bentuk grafik respon sistem ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 11. Tegangan Generator Saat Beban Listrik 100 ohm.

Dari gambar 11 dan gambar 12 diatas memperlihatkan bahwa, saat beban generator listrik turun menjadi 100 ohm dan 500 Ohm,

sistem membutuhkan waktu sekitar 8 detik untuk mencapai tegangan setting 220V.



Gambar 12. Respon Sistem Saat Beban Listrik 500 ohm.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian diatas, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Sistem kontrol PID mampu menstabilkan tegangan generator pada saat terjadi perubahan beban konsumen, dimana nilai $K_p=4$, nilai $K_i=0.01$, dan nilai $K_d=0.01$. Sedangkan waktu untuk mencapai kestabilan tegangan adalah 8 detik.
2. Parameter K_p dalam sistem kontrol PID yang diaplikasikan pada alat kontrol

beban elektronik PLTMh tidak menyebabkan perubahan yang signifikan pada keluran kontroller, sehingga nilainya dapat diabaikan.

3. Alat kontrol beban elektronik digital pada PLTMh membutuhkan beberapa rangkaian pendukung antara lain: rangkaian sensor tegangan yang dilengkapi dengan penguat tegangan, rangkaian sistem mikrokontroller yang dilengkapi dengan ADC internal, rangkaian pendeteksi titik nol, dan rangkaian saklar elektronik.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhmad Hasan, 2006, “ *Pengontrol Beban Elektronik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro* “, Jurnal Ketenagalistrikan, BPPT.
- Dafid, 1999, “ *Solid State Pulse Circuit* “, Prentice Hall
- ESDM, 2006, “ *Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan Dan Konservasi Energi (Energi Hijau)*”, Departemen ESDM
- IMIDAP, 2008, “ *Standarisasi Peralatan Mekanis dan Elektronis PLTMh* “, Integrated Microhydro Development Application Program.
- Handy Wicaksono, 2001, “ *Kontrol PID Untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC Dengan Metode Tuning Direct System*”, Jurnal Teknik Elektro Universitas Petra, Vol-4 No-1
- Jan Portegijs, 2000, “ *The Humming Bird, Electronic Load Controller and Induction Load Controller* “, Dutch Energy Distribution Company.
- Layman, 2000, “ *GuideBook on How to Develop a Small Hydro Site*”, European Hydropower Association.
- Machmud, 2008, “ *Desain Kontrol Beban Elektronik Pada PLTMh* “, Penelitian Pengembangan Ilmu UMM.
- Malvino, 1992, “ *Prinsi-prinsip Elektronika Jilid I*”, Erlangga, Jakarta.
- Ogata, Katsuhiko, 2000, “ *Teknik Kontrol Automatik Jilid I*”, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga-Jakarta.
- Rashid H, Rasyid HM ,1999, “ *Power Electronic, Devices and Application*”, Bombay:Prentice Hall,Inc.