

# Perancangan dan Implementasi Kontroler Pid untuk Pengendalian Tegangan pada Generator Set

Shandy Hanggar T, Rusdhianto Effendie dan Mochammad Rameli  
 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
 Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111  
 E-mail: rameli@ee.its.ac.id

**Abstrak**— Penelitian ini membahas masalah pengaturan tegangan keluaran sebuah pembangkit generator set (genset) yang memiliki penggerak utama mesin bensin 4-tak dengan sistem bahan bakar menggunakan karburator dan kapasitas 1KVA. Generator set (gen set) direpresentasikan dengan model matematis yang diperoleh dari hasil identifikasi. Kontroler PID digunakan untuk mengontrol agar tegangan keluaran generator selalu berada di nilai tertentu pada beban yang berubah - ubah. Kontroler hasil desain diaplikasikan pada sistem pembangkit generator set (genset). Hasil simulasi serta implementasi kontroler PID pada sistem pembangkit generator set (genset) menunjukkan bahwa tegangan keluaran dapat mengikuti tegangan yang diinginkan dengan baik.

**Kata Kunci**—Tegangan keluaran, Generator set, PID

## I. PENDAHULUAN

Tegangan keluaran yang konstan pada sebuah generator adalah hal yang sangat penting untuk menghasilkan suplai daya yang diharapkan. Perubahan tegangan keluaran sebuah generator dipengaruhi oleh berbagai macam faktor pengganggu, salah satunya beban yang berubah. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu peralatan regulator khusus untuk menjaga tegangan keluaran generator tetap konstan walaupun ketika generator dipengaruhi faktor-faktor pengganggu tersebut. Regulator tegangan ini dapat dikontrol baik secara manual maupun secara otomatis.

Kestabilan pada sistem pembangkit merupakan bagian yang dapat dipengaruhi oleh adanya gangguan besar maupun kecilnya beban. Untuk menjaga kestabilan pada sistem pembangkit diperlukan sistem kontrol yang tepat. Sistem kontrol ini diperlukan agar apabila sistem tenaga listrik mengalami gangguan, maka respon sistem dalam mengatasi gangguan akan cepat dan handal. Jika terdapat perubahan beban maka sangat berpengaruh pada frekuensi keluaran pada generator yang akan mengakibatkan tegangan keluaran juga berubah. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem kontrol yang dapat mengendalikan keluaran tegangan pada generator agar stabil di set point yang diinginkan meskipun beban berubah – ubah. Sistem kontrol yang dibuat dapat menjaga nilai keluaran generator dengan frekuensi 50 Hz dan tegangan yang dapat diatur sesuai set point.

Pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai perancangan penyetabil nilai tegangan terbangkit agar tetap dalam kondisi relatif konstan. Sistem yang digunakan yaitu simulator pembangkit listrik yang terdiri dari rangkaian kontrol, beban dan 1 buah unit pembangkit yaitu satu buah genset 1 KVA.

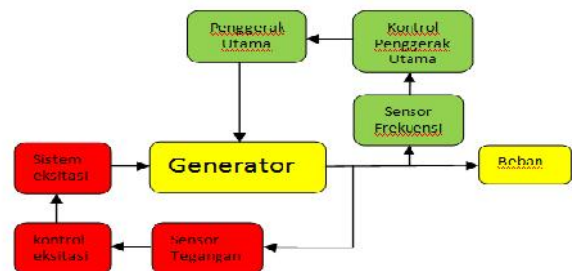
Kontroler yang digunakan adalah PID Controller. Metode ini dipilih karena PID mempunyai perhitungan yang cukup simpel dan dapat bekerja baik pada plan yang butuh respon cepat.

Sistem kontrol PID merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proportional, Integratif dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang diinginkan terhadap suatu plant.

## II. DASAR TEORI

### A. Sistem Pengaturan Pembangkit Listrik [1]

Pembangkit listrik berfungsi untuk memberikan daya listrik kepada pengguna sesuai kebutuhan. Oleh karena itu dibutuhkan sistem pengaturan pembangkit listrik seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema Pengaturan Kecepatan Generator[2]

Terdapat dua sistem kontrol utama pada pembangkit listrik yaitu pengaturan penggerak utama serta pengaturan arus medan. Frekuensi tegangan terbangkit tergantung pada kecepatan putar generator. Seperti terlihat pada persamaan 1.

$$f = \frac{n \cdot p}{120} \tag{1}$$

Dimana:

- $f$  = frekuensi tegangan terbangkit(Hertz)
- $n$  = Kecepatan putar generator (RPM)
- $p$  = Jumlah pole

Tegangan terbangkit tergantung pada kecepatan putar generator dan arus medan pada rotor. Seperti terlihat pada persamaan 2.

$$E = c.n\phi \tag{2}$$

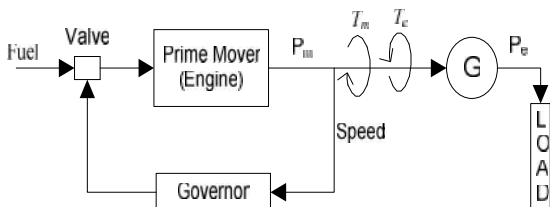
Dimana:

- $E$  = Tegangan terbangkit (Volt)
- $n$  = Kecepatan putar generator (RPM)
- $\phi$  = Fluks medan(Wb)
- $c$  = Konstanta generator

Pengaturan sistem pembangkit bertujuan untuk menjaga frekuensi tegangan terbangkit dan tegangan terbangkit agar selalu berada pada nilai tetap dengan kondisi beban berubah.

**B. Persamaan Gerak Generator[3]**

Pada sistem pembangkit listrik, terdapat dua torsi yang mempengaruhi gerak generator. Kedua torsi tersebut adalah torsi mekanik dan torsi elektromagnetik. Torsi mekanik dihasilkan oleh penggerak utama sedangkan torsi elektromagnetik diakibatkan oleh keberadaan beban yang tersambung dengan terminal tegangan generator. Skema konsep pengaturan kecepatan pada sebuah unit pembangkit ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2 Skema Pengaturan Kecepatan Generator

Kedua torsi tersebut mengakibatkan percepatan generator. Hal ini ditunjukkan pada Persamaan 3.

$$T_a = T_m - T_e \tag{3}$$

Dimana

$$T_a = \text{Torsi akselerasi(N.m)}$$

$$T_m = \text{Torsi Mekanik (N.m)}$$

$$T_e = \text{Torsi elektromagnetik (N.m)}$$

Dalam hal pengaturan frekuensi terhadap perubahan beban, dipilih perolehan hubungan antara daya mekanik dan daya listrik daripada torsi. Hubungan antara daya dengan torsi ditunjukkan oleh persamaan 4.

$$P = \omega_r T \tag{4}$$

Perubahan daya akan mengakibatkan perubahan kecepatan rotor dan torsi. Hal ini ditunjukkan oleh persamaan 5.

$$P_0 + \Delta P = (\omega_0 + \Delta\omega_r)(T_0 + \Delta T) \tag{5}$$

Dengan mengabaikan orde yang lebih tinggi, didapatkan persamaan 6.

$$\Delta P = \omega_0 \Delta T + T_0 \Delta\omega_r \tag{6}$$

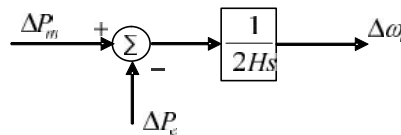
Hubungan perubahan daya elektromagnetik dan daya mekanik dengan memanfaatkan Persamaan 6 ditunjukkan oleh Persamaan 7.

$$\Delta P_m - \Delta P_e = \omega_0 (\Delta T_m - \Delta T_e) + (T_{m0} - T_{e0}) \Delta\omega_r \tag{7}$$

Pada kondisi steady state, torsi elektromagnetik dan mekanik sama, dan kecepatan yang direpresentasikan dengan  $\omega_0 = 1$ . Maka didapat persamaan 8.

$$\Delta P_m - \Delta P_e = \Delta T_m - \Delta T_e \tag{8}$$

Melalui Persamaan 7 dapat digambarkan diagram blok yang menunjukkan perubahan daya dengan perubahan kecepatan pada Gambar 3.

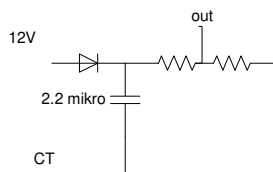


Gambar 3 Diagram Blok Hubungan daya dengan kecepatan

**III. PERANCANGAN SISTEM**

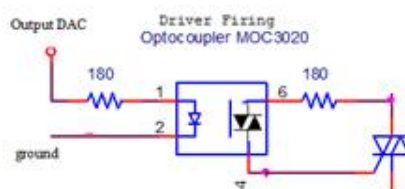
**A. Arsitektur Sistem**

Sistem terdiri dari generator set 1KV<sub>a</sub>, sistem minimum mikrokontroler ATMEGA 32, rangkaian komunikasi serial, rangkaian DAC, sensor tegangan dan rangkaian *dimmer*. Sistem minimum mikrokontroler berfungsi untuk kontrol utama sistem dan pengiriman data, rangkaian komunikasi serial berfungsi untuk pengiriman data, sensor tegangan berfungsi sebagai umpan balik pada sistem control. Rangkaian *dimmer* sebagai aktuator yang berfungsi untuk mengatur tegangan medan. Rangkaian DAC berfungsi sebagai pengubah data digital dari mikrokontroler menjadi data tegangan yang akan menjadi input pada rangkaian *dimmer*.



Gambar 4 Rangkaian Sensor Tegangan

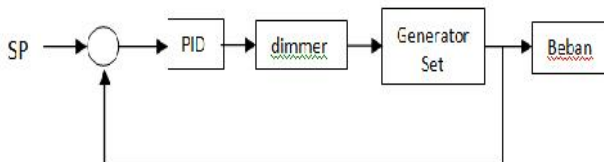
Gambar 4 adalah rangkaian sensor tegangan dengan masukan nilai output trafo. Nilai tegangan pembacaan sensor akan dikalkulasi mikrokontroler dibandingkan dengan nilai *setpoint*. Perbandingan ini berupa selisih yang akan menjadi sinyal error  $e(t)$  untuk diolah oleh controller PID yang tertanam pada mikrokontroler ATMEGA 32. Controller PID digunakan untuk memberikan sinyal kontrol ke aktuator sesuai dengan sinyal error. Mikrokontroler memberikan sinyal kontrol pada rangkaian *dimmer* yang melewati rangkaian DAC terlebih dahulu. Rangkaian *dimmer* yang menggunakan triac dijelaskan pada Gambar 5.



Gambar 5 Rangkaian Dimmer Menggunakan Triac

**B. Blok Diagram Sistem**

Pada penelitian ini tegangan keluaran dijaga tetap pada nilai nilai 150 Volt. Dengan menggunakan kontroler 1 maka keluaran tegangan keluaran diharapkan selalu disekitar nilai 150 Volt meskipun beban selalu berubah - ubah. Jumlah arus pada beban menandakan beban listrik yang dihubungkan dengan generator set, sehingga nilai perubahan arus yang diolah oleh mikrokontroler menandakan adanya perubahan beban. Blok diagram sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 6 Diagram Blok Sistem

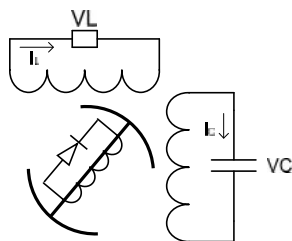
Aktuator pada sistem ini berupa rangkaian dimmer yang berisi komponen triac. Triac berfungsi untuk mengatur tegangan yang lewat dengan kaki gate sebagai masukan. Dimmer ini dipasang untuk men-*switching* arus medan pada kapasitor yang terhubung pada stator. Jadi dengan mengatur besarnya arus medan yang masuk maka dapat mengatur juga tegangan keluaran pada generator.

Jumlah beban yang diberikan akan mempengaruhi kecepatan putar generator dan akan mempengaruhi juga tegangan keluaran. Dengan menghiraukan frekuensi tegangan terbangkit maka diperlukan mekanisme pengaturan arus medan yang lewat untuk menjaga tegangan keluaran yang sesuai dengan *set point*.

**C. Generator Set**

Generator Set memiliki penggerak utama berupa mesin bensin 4-langkah. Mesin bensin tersebut menggunakan sistem bahan bakar karburator. Berikut spesifikasi Generator set yang digunakan

- Kapasitas Daya Maksimum: 1000 VA
- Tegangan rata-rata : 220 Volt
- Frekuensi rata-rata : 60 Hz
- Fasa : 1 Fasa
- Jumlah pole : 2 pole
- Kecepatan rata-rata : 3000 RPM



Gambar 7: Skema Konstruksi Generator Sinkron Eksitasi Kapasitor[4]

Jenis generator yaitu generator dengan sistem eksitasi kapasitor. Skema konstruksi generaor sistem eksitasi kapasitor ditunjukkan oleh Gambar 6. Generator ini memiliki karakteristik tegangan output bergantung kepada kecepatan

generator. Tegangan generator bergantung pula pada jumlah arus yang ada pada beban pada kondisi frekuensi dijaga tetap[5]. Setelah dilakukan tes tegangan output terhadap frekuensi generator. Didapatkan bahwa generator set menghasilkan tegangan 150 Volt pada frekuensi 60 Hz. Oleh karena itu ditentukan nilai referensi frekuensi tegangan terbangkit sebesar 60 Hz.

**D. Identifikasi Sistem[6]**

Identifikasi dinamis plant dilakukan dengan memberikan *set point* yang berubah terhadap waktu. Sinyal PRBS yang diberikan pada sistem terdiri atas sepuluh bit bilangan biner. Respon yang diberikan sistem dapat digunakan sebagai acuan dalam pemodelan *plant*. Sinyal PRBS merepresentasikan variasi bukaan throttle. Model matematika yang didapatkan merupakan hubungan antara tegangan pada *switching* dan tegangan output. Identifikasi dilakukan pada tiga kondisi beban yaitu pada kondisi beban minimal, nominal dan maksimal. Beban yang diberikan pada generator set berupa lampu pijar 100 watt dengan jumlah total 6 buah. Beban minimal 2 buah lampu, nominal 4 buah lampu, dan maksimal 6 buah lampu.

Proses pemodelan respon hasil identifikasi dinamis terdiri atas tiga tahap, yaitu:

1. Perhitungan parameter parameter ARX dengan metode *standard least square*
2. Melakukan Transformasi-Z terhadap pemodelan ARX, dengan waktu sampling 0.2 detik dan dengan metode *zero-order hold*
3. Melakukan transformasi terhadap hasil transformasi Z pada poin 2 ke dalam domain-S hingga diperoleh fungsi alih sistem.

Pengambilan data pada tiap-tiap beban yang diberikan dilakukan sebanyak tiga kali. Dari kelima data tersebut didapatkan model matematika dengan nilai RMSE terkecil. Transfer function yang didapatkan pada tiap-tiap beban ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Transfer Function* Tegangan Generator Set

Beban	Transfer Function
Minimal(200 watt)	$G(s) = \frac{31.01s + 3196}{s^2 + 99.8s + 32.04}$
Nominal(400 watt)	$G(s) = \frac{115.19(0.012s + 1)}{\frac{1}{8.51^2}s^2 + \frac{2(4.31)}{8.51}s + 1}$
Maksimal(600 watt)	$G(s) = \frac{16.57s + 1825}{s^2 + 107.5s + 20.4}$

**E. Perancangan Kontroller PID[5]**

Perancangan kontroller PID dilakukan secara analitik. Pencarian parameter kontroller  $K_p$ ,  $\tau_i$ , dan  $\tau_d$  disesuaikan dengan model *plant*. Parameter kontroller PID yang telah didapatkan dipergunakan sebagai batasan dalam perancangan mekanisme penalaan parameter PID. Perancangan kontroller menggunakan model matematika pada saat kondisi nominal.

- a. Model *Plant* pada beban nominal:

$$G(s) = \frac{115.19(0.012s + 1)}{\frac{1}{8.51^2} s^2 + \frac{2(4.31)}{8.51} s + 1}$$

b. Parameter *Plant* pada beban nominal

- $K = 115,19$
- $\tau = 0,012$
- $\frac{1}{\omega_n^2} = 0,0138$
- $\omega_n = 8,51$
- $\xi = 4,31$

c. Parameter kontroler PID Modifikasi

- $\tau_d = \tau = 0,012$
- $\tau_i = \frac{2\xi}{\omega_n} - \tau = 1,001$
- $N = \frac{1}{\tau \cdot \omega_n (2\xi - \tau \cdot \omega_n)} = 0,08225$
- $K_p = \frac{\tau_i}{\tau \cdot K} = 0,026$

Tabel 2. Parameter *Plant* pada Beban Nominal

Parameter Plant	Nilai
$K$	115.19
$\tau$	0.012
$\omega_n$	8.51
$\xi$	4.31

Tabel 3. Parameter Kontroler PID modifikasi

Parameter	Transfer Function
$K_p$	0.026
$\tau_i$	1.001
$\tau_d$	0.012
$N$	0.08225

#### IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

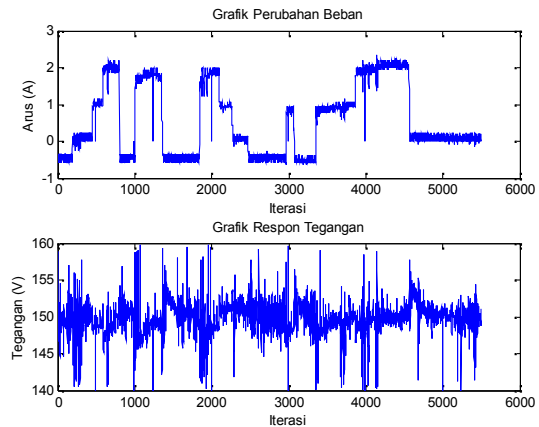
##### A. Uji Kontroller PID Parameter Tetap dengan Beban Berubah

Pada bagian ini dilakukan pengujian perubahan beban. Pembebanan dilakukan pada kondisi steady-state. Parameter PID yang digunakan pada pengujian ini ditunjukkan oleh table 1.

Pembebanan dilakukan dari kondisi maksimal ke minimal dan beban dinaikkan secara bertahap hingga mencapai kondisi beban maksimal kembali.

Kontroler PID mampu mengembalikan tegangan keluaran generator set pada nilai set-point apabila terjadi perubahan beban. tegangan kembali ke nilai set-point secara bertahap dengan sedikit overshoot dan osilasi.

Pada saat terjadi penurunan beban dari maksimal ke minimal terjadi peningkatan tegangan. Hubungan perubahan beban dan respon plan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Respon dari Frekuensi Tegangan Terbangkit terhadap perubahan beban

#### V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil analisa data dan pembahasan pengujian keandalan sistem pengendalian yang telah dirancang, dapat disimpulkan bahwa kontroler PID dapat diterapkan sebagai pengendalian tegangan. Dengan parameter  $K_p = 0,026$ ;  $\tau_i = 1,001$  dan  $\tau_d = 0,012$  respon *plant* dapat menjaga kestabilan tegangan *output* pada nilai 150 Volt.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada orang tua penulis yang selalu memberikan doa serta dukungan tulus tiada henti, Bapak Dr. Ir. Moch Rameli dan Bapak Ir. Rusdhianto Effendie A.K., M.T., atas segala bimbingan ilmu, moral, dan spiritual dari awal hingga terselesaikannya penelitian ini. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada mahasiswa elektro yang bersama-sama mengerjakan di bengkel depan AJ 104, Seluruh mahasiswa bidang studi sistem pengaturan, Himatekro ITS, dan semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kundur, P., "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, USA, (1994).
- [2] Elgerd, L., "Electric energy systems theory: an Introduction", McGraw-Hill, New delhi, (1983).
- [3] Sumartono, "Kendali Intensitas Lampu Berbasis Mikrokontroler ATmega8535", *Tugas Akhir Teknik Elektro*, Universitas Gajah Mada, (2010).
- [4] Rahmad, Zanu, "Perancangan Dan Implementasi *Direct Torque Control* Pada Motor Induksi", *Tugas Akhir Elektro*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, (2011).
- [5] Gamayanti, Nurlita, "Desain Kontroler PID Modifikasi", *Diktat Kuliah Dasar Sistem Pegaturan*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, (1994).
- [6] Ljung L., "Modelling of Dynamic Systems", Prentice Hall, USA, (1994).
- [7] Ogata, K., "Modern Control Engineering", Prentice Hall, USA, (2002).