

SISTEM PENGENDALIAN PID YANG DIAPLIKASIKAN PADA PENGENDALIAN STEAM TURBIN DENGAN SINGLE VARIABLE INPUT DAN SINGLE OUTPUT

Protus Pieter Kalatiku* dan Deny Wiria Nugraha*

Abstract

Digital controller PID (Proportional Integral Differential) is controller widely used in industrial process control systems. This controller has a simple structure but has a wide application. This controller can be reduced to a PI controller (Proportional Integral) and PD (Proportional Differential). A digital controller measures the process variable to be controlled at any specific time intervals called time sampling. At each sampling or on each measurement of process variables, the data is analog data is to be converted into digital form before being processed by the controller. Then the controller to process each sample of major process variables to determine the error of the set-point, and based on this error, digital PID controller using PID algorithm calculates the control signal to be supplied to the process.

The purpose of this research is to design a steam turbine controller based PID control by using software built using the PID algorithm. In control system design is expected to give the system the frequency setting of load change disturbance that could result in damage to electrical equipment, and do not leave the performance of PID controller in response aspects of the transition, steady state error circumstances, and the quadratic error is applied to the steam turbine control systems.

Key words : Control System, PID (Proportional Integral Differensial), Steam Turbine, PID Algorithm

Abstrak

Pengendali digital PID (*Proportional Integral Differensial*) adalah pengendali yang banyak digunakan pada sistem pengendalian proses industri. Pengendali ini memiliki struktur yang sederhana tetapi memiliki aplikasi yang luas. Pengendali ini dapat diturunkan menjadi pengendali PI (*Proportional Integral*) dan PD (*Proportional Differensial*). Suatu pengendali digital mengukur variabel proses yang akan dikendalikan pada setiap selang waktu yang spesifik yang disebut waktu sampling. Pada setiap sampling atau pada tiap pengukuran dari variabel proses, datanya adalah data analog yang harus dikonversi ke dalam bentuk digital sebelum diproses oleh kontroler. Kemudian pengendali mengolah tiap sampel dari variabel proses untuk menentukan besar error terhadap set-point, dan berdasarkan error inilah, pengendali digital PID dengan menggunakan algoritma PID menghitung sinyal kendali yang harus diberikan ke proses.

Tujuan penelitian ini adalah merancang pengendali steam turbin berbasis kendali PID dengan menggunakan perangkat lunak yang dibangun dengan menggunakan algoritma PID. Pada perancangan sistem kendali ini diharapkan dapat memberikan sistem pengaturan frekuensi terhadap gangguan perubahan beban yang dapat mengakibatkan kerusakan peralatan listrik, serta tidak meninggalkan kinerja dari kontroler PID dalam aspek tanggapan peralihan, kesalahan keadaan tunak, dan kesalahan kuadrat yang diterapkan pada sistem pengendali steam turbin.

Kata Kunci : Statika dan struktur, metode pembelajaran, modul

1. Pendahuluan

Kualitas suatu pengendali ditentukan oleh seberapa baik kinerja

pengendali tersebut dalam melakukan proses pengendalian terutama pada bidang kendali yang tergolong sulit.

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

Dalam merancang kendali otomatis, model dari plant yang akan dikendalikan haruslah diketahui terlebih dahulu. Berdasarkan model yang diperoleh, maka perancang melakukan uji coba untuk mengetahui kinerja dan kehandalan dari suatu pengendali yaitu dengan teknik-teknik yang banyak dikemukakan para ahli teknik kendali, seperti teknik tanggapan frekuensi, *root locks state space* dan kendali optimal.

Pengendali yang selama ini dianggap cukup baik yaitu PID (*Proportional Integral Differensial*), memang sudah diketahui kinerjanya baik oleh kalangan ilmuwan maupun dunia industri. Tetapi pengendali konvensional PID ini tidak dapat digunakan untuk variabel yang tidak linear dan tidak dapat digunakan untuk pada pengendali multi variabel. Pada bidang kendali yang mempunyai multi variabel dan non linear malah lebih mudah dikendalikan oleh operator (manusia), tanpa harus mengetahui persamaan atau model matematik dari sistem yang dikendalikan.

Operator (manusia) menginginkan suatu pengendali yang mampu melakukan proses pengendali dengan cara pola pikir atau kerja dari otak manusia. Dengan kemampuan sistem-sistem non linear, dengan variabel-variabel yang tidak jelas batasannya serta mutlak memerlukan model matematik dari sistem yang akan dikendalikan. Pemecahan dari persoalan ini adalah dengan ditemukannya sistem pengendali dari PID. Pengendali ini adalah pengendali cerdas dan dapat digunakan pada bidang pengendali secara luas.

Penelitian ini akan menyajikan kinerja dari sistem pengendali PID yang diaplikasikan pada bidang kendali non linear yang cukup sulit yaitu pengendalian Steam Turbin dengan Single Variabel Input dan Single Output (SISO), dengan melibatkan tiga PID

kontroler untuk mengatur temperatur *speed* dan *pressure*.

2. Tinjauan Pustaka

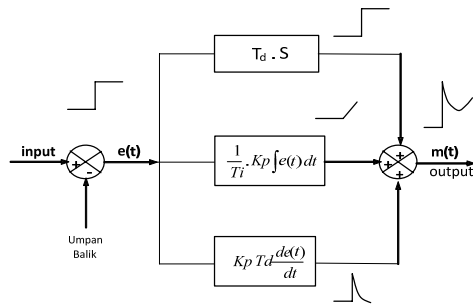
2.1 Persyaratan umum sistem kendali

Setiap sistem kendali/kontrol harus stabil. Ini merupakan persyaratan utama. Suatu sistem dikatakan stabil jika keluarannya tetap pada nilai tertentu dalam jangka waktu yang ditetapkan setelah diberi masukan (Tarmukan, 1995). Disamping kestabilan mutlak, suatu sistem kendali harus mempunyai kestabilan relatif yang layak. Jadi, kecepatan respon harus cukup cepat dan menunjukkan peredaman yang layak. Suatu sistem kontrol juga mampu memperkecil kesalahan sampai nol atau sampai pada suatu nilai yang dapat ditoleransi. Setiap sistem kendali yang berguna harus memenuhi persyaratan ini.

Persyaratan kestabilan relatif yang layak dan ketelitian keadaan tunak (*steady state*) cenderung tidak dapat dipenuhi secara bersama-sama. Oleh karena itu dalam mendesain sistem kontrol/kendali, kita perlu melakukan kompromi yang paling efektif diantara dua persyaratan ini.

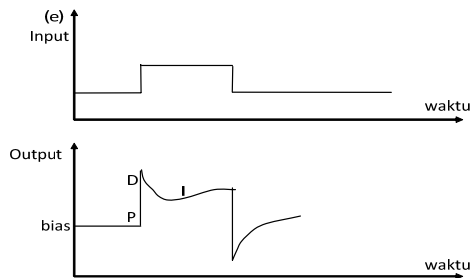
2.2 Kontroler PID

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler proporsional plus integral plus differensial (*kontroler PID*). Elemen-elemen kontroler P, I dan D masing masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghasilkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar. Gambar 1 menunjukkan blok diagram kontroler PID (Gunterus, 1997).



Gambar 1. Blok diagram kontroler PID analog

Keluaran kontroler PID merupakan jumlahan dari keluaran proporsional, keluaran integral, dan keluaran differensial. Gambar 2 menunjukkan hubungan tersebut (Gunterus, 1997).



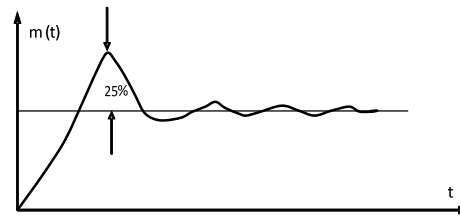
Gambar 2. Hubungan dalam fungsi waktu antar sinyal keluaran dengan masukan untuk kontroler PID

Pengendali PID menghasilkan output yang tergantung pada magnitude, lamanya dan laju perubahan dari sistem sinyal error (Petrusella, 1996). Karakteristik kontroler PID sangat dipengaruhi oleh konstribusi besar dari ketiga parameter P, I, dan D. Penyetelan konstanta K_p , T_i dan T_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut akan

memberikan konstribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan.

2.3 Metode Ziegler-Nicholas

Ziegler-Nicholas pertama kali memperkenalkan metodenya pada tahun 1942. Metode ini memiliki dua cara, metode osilasi (siklus kontinyu) dan kurva reaksi (Tarmukan, 1995). Kedua metode ditujukan untuk menghasilkan respon sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25% (Ogata, 1997).



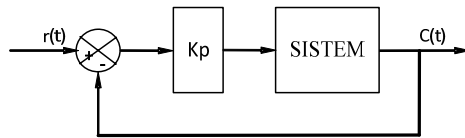
Gambar 3. Kurva respon tangga satuan memperlihatkan 25% lonjakan maksimum

2.4 Metode Osilasi

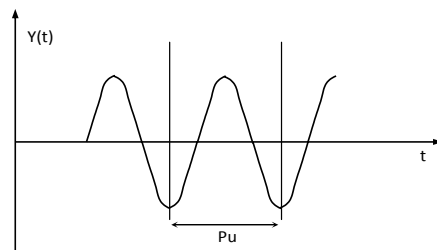
Metode ini didasarkan pada reaksi sistem loop tertutup. Plant disusun serial dengan kontroler PID. Semua parameter integrator disetel tak berhingga dan parameter differensial disetel nol ($T_i = \infty$; $T_d = 0$). Parameter proporsional kemudian dinaikkan bertahap. Mulai dari nol sampai mencapai harga yang mengakibatkan reaksi sistem berosilasi. Reaksi sistem harus berosilasi dengan magnitude tetap. Gambar 4 menunjukkan rangkaian loop tertutup dengan metode osilasi (Ogata, 1996).

Nilai penguatan proporsional pada sistem mencapai kondisi *sustained oscillation* disebut *ultimate gain* K_u . Periode dari *sustained oscillation* disebut *ultimate period* T_u .

*Sistem Pengendalian PID yang Diaplikasikan pada Pengendalian Steam Turbin
Dengan Single Variable Input dan Single Output
(Protus Pieter Kalatiku dan Deny Wiria Nugraha)*



Gambar 4. Sistem loop tertutup dengan alat kontrol proporsional



Gambar 5. Menggambarkan kurva reaksi loop tertutup ketika berisolasi

Penalaan parameter PID didasarkan terhadap kedua konstanta hasil eksperimen, K_u dan P_u . Ziegler dan Nicholas menyarankan penyetelan nilai parameter K_p , T_i dan T_d berdasarkan rumus yang diperlukan pada tabel 1.

Tabel 1. Penalaan parameter PID dengan metode osilasi

Type Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0,5 K_u$		
PI	$0,45 K_u$	$\frac{1}{2} P_u$	
PD	$0,6 K_u$	$0,5 P_u$	$0,125 P_u$

2.5 Pengendali PID digital

Dalam domain waktu keluaran dari kendali PID dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$U(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

$$U(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e^* dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

- $U(t)$ = sinyal kendali
- $E(t)$ = error
- K_p = gain proporsional
- K_i = gain integral = K_p/T_i
- T_i = konstanta waktu integral
- K_d = gain derivatif = $K_p \cdot T_d$
- T_d = konstanta waktu derivatif

Untuk dapat diterapkan pada kontroler digital, maka persamaan (1) harus diubah ke dalam persamaan diskrit dengan mendefinisikan persamaan di atas terhadap waktu, sehingga diperoleh persamaan:

$$\frac{du}{dt} = K_p \frac{de(t)}{dt} + K_i \cdot e(t) + K_d \cdot \frac{d^2 e(t)}{dt^2} \dots\dots\dots(2)$$

Pada persamaan diatas dapat diketahui berapa lama keluaran kontroler harus berubah untuk setiap perubahan waktu yang dianggap kecil, dt . Dalam sistem digital, selang waktu dt dinyatakan dalam waktu sampling T_s . Maka untuk mengetahui berapa besar keluaran dan error dalam bentuk perubahan dari satu sampling ke sampling berikutnya sebagai berikut:

$$\frac{\Delta u}{T_s} = K_p \frac{\Delta e}{T_s} + K_i \cdot e + K_d \cdot \frac{\Delta}{T_s} \left[\frac{\Delta e}{T_s} \right] \dots\dots\dots(3)$$

3. Metode Penelitian

3.1 Bahan dan Alat

Data yang merupakan bahan penelitian ini dikumpulkan melalui beberapa metode sebagai berikut:

- a. Studi literatur, yaitu penelusuran literatur mengenai dasar pengetahuan tentang hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini.
- b. Melakukan pengamatan secara langsung pada perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan pada sistem pengendalian.
- c. Pengumpulan data berdasarkan hasil-hasil pengujian.

3.2 Alat penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: perangkat keras (*hardware*) berupa komputer dengan prosesor Intel Core 2 CPU T5500 1,66 GHz, memori 2,49 GB RAM, hard disk 320 GB dan monitor 15,4 inchi. Perangkat lunak (*software*) berupa sistem operasi Microsoft Windows XP dan program MatLab versi 7.0.4.

3.3 Jenis penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan cara merancang dan mengembangkan suatu perangkat lunak yang akan diterapkan pada sistem untuk menunjukkan kemampuan pengendali PID dalam melakukan proses pengendalian *steam turbine* (turbin uap).

3.4 Tahapan penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

- a. Mengumpulkan bahan dan alat penelitian yang akan digunakan pada pengujian sistem.
- b. Instalasi program-program yang dibutuhkan serta pengaturannya.
- c. Melakukan persiapan data yang telah ada sehingga dapat digunakan oleh program aplikasi.
- d. Merancang dan menyusun algoritma yang sesuai dengan karakteristik

pengendali PID untuk proses pengendalian turbin uap (*steam turbine*).

- e. Pembuatan program aplikasi untuk simulasi pengujian dengan menggunakan program MatLab versi 7.0.4.
- f. Langkah selanjutnya dengan melakukan pengujian sistem dan mengamati hasil simulasi pengujian. Dari hasil-hasil pengujian kemudian dapat ditarik kesimpulan penelitian ini.

3.5 Analisa Sistem

• Dinamika Proses Sistem

Sistem pembangkit listrik yang sudah umum digunakan adalah mesin generator AC. Dimana penggerak utamanya bisa berjenis mesin turbin, mesin diesel atau mesin baling-baling. Dalam pengoperasian pembangkit listrik dengan generator, karena faktor keandalan dan fluktuasi jumlah beban, maka disediakan dua atau lebih generator yang dioperasikan dengan terus menerus, cadangan dan bergiliran untuk generator-generator tersebut.

Pada sistem tenaga listrik, permintaan beban sering berubah-ubah besarnya. Hal ini menimbulkan perubahan parameter dari sistem. Salah satu parameter yang terpengaruh dengan adanya perubahan beban adalah parameter frekuensi. Perubahan frekuensi ini jika tidak ditanggulangi dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan-peralatan listrik yang peka terhadap perubahan frekuensi.

Pada pembangkit listrik tenaga uap, generator digerakkan oleh turbin uap (*steam turbine*) dengan kecepatan generator yang dapat diatur dengan jalan mengatur kecepatan turbin uap. Perangkat yang mengatur kecepatan turbin uap inilah yang

dinamakan D-EHC. D-EHC adalah sebuah mikroprosesor yang didasarkan pada turbin governor. Pada DEHC mempunyai duplikat *digital controler*, duplikat *speed sensor* dan hirarki untuk konfigurasi distribusi untuk menjamin adanya sistem yang handal dan *on line* untuk perawatannya.

Pada D-EHC sistem kabinet di atas mempunyai fungsi sebagai *turbine start-up*, *speed control*, *load control*, *valve position control*, *turbine protection* dan *CRT service*. Berdasarkan fungsi dari D-EHC tersebut, maka pada penelitian ini diambil plant yang sesuai dengan pengaturan perubahan frekuensi, yaitu kontroler untuk mengendalikan *control valve*, dimana fungsi *control valve* disini sebagai pengatur buka-tutup dari laju aliran uap air.

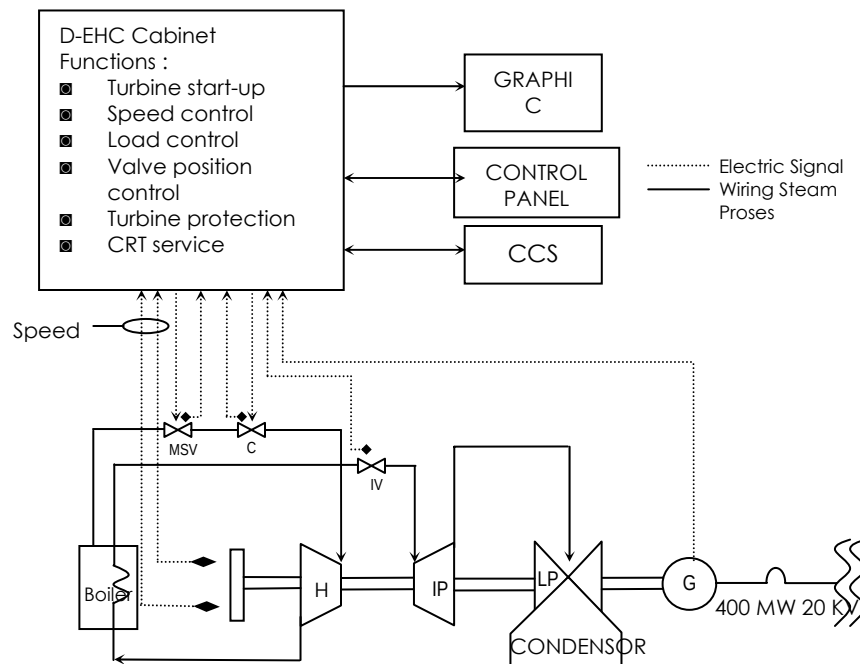
• Turbin Uap (Steam Turbine)

Pada sistem turbin uap dinamika diasumsikan mencapai fungsi transfer orde satu maka digunakan persamaan keseimbangan massa dan kalor yang umum untuk proses aliran tunak, isentropis, dan mengabaikan kelambatan pada *nozzle*.

Persamaan kesetimbangan massa dan kalor yang umum untuk proses aliran tunak, yaitu:

$$W_i - W_o = v \frac{d\rho_0}{dt} \dots\dots\dots(4)$$

$$W_i h_{ih} - W_o h_0 = v \frac{d\rho_0 h_0}{dt} \dots\dots\dots(5)$$



Gambar 6. Outline dari D-EHC Sistem

dimana :

W_i = Laju aliran uap masuk ke penyimpanan uap pada turbin (Kg/dt)

W_o = Laju aliran uap keluar menuju kondensor (Kg/dt)

H_i = Entalpi masuk (J/Kg)

H_o = Entalpi keluar menuju nozzle (J/kg)

V = Volume penyimpanan uap (m^3)

Persamaan (5) dapat berubah menjadi:

$$W_i h_{ih} - W_o h_o = v \left\{ \rho_0 \frac{dh_0}{dt} + h_0 \frac{d\rho_0}{dt} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

Dengan memasukkan persamaan (4) ke (5) di dapat persamaan differensial dari dinamika sistem turbin uap :

$$W_i h_i = v \rho_0 \frac{dh_0}{dt} + W_o h_o \dots\dots\dots (7)$$

Persamaan 6 ditransformasi laplace-kan menjadi:

$$W_i h_i (s) = s v \rho_0 h_o (s) + W_o h_o (s) \dots\dots\dots (8)$$

$$\frac{H_o(s)}{H_i(s)} = \frac{1}{\frac{v\rho_0}{W_i} s + 1} \dots\dots\dots (9)$$

Perubahan daya akibat adanya perubahan aliran dapat dirumuskan sbb:

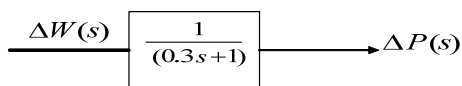
$$\Delta\rho(s) = \Delta W(s) \times \frac{H_o(s)}{H_i(s)} \times H_i \dots\dots\dots (10)$$

0)

sehingga hubungan input ouput dapat dituliskan sebagai berikut:

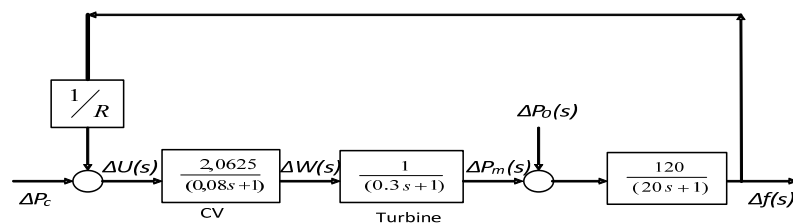
$$\frac{\Delta\rho(s)}{\Delta W(s)} = \frac{1}{\frac{v\rho_0}{W_i} s + 1} \dots\dots\dots (11)$$

Dengan mengolah data yang didapatkan dari plant, seperti laju aliran uap masuk pada 1ststage turbin $W_i = 760880 \text{ Kg/h} = 211.35 \text{ Kg/dt}$, $v = 2.2 \text{ m}^3$ dan ρ yang didapatkan dari suhu 1ststage turbin adalah 4500°C pada tekanan, $P = 90 \text{ Kg/cm}^2$.

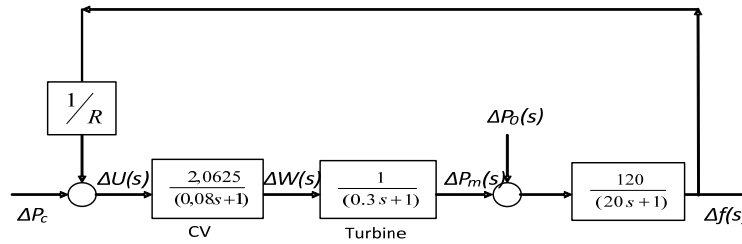


Gambar 7. Blok diagram turbin uap

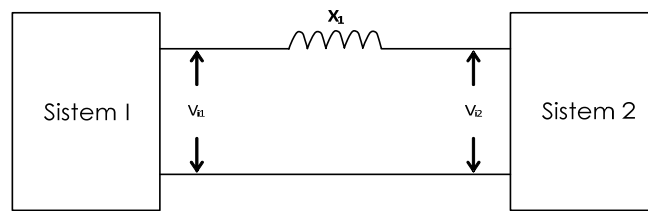
- Katup kendali
Untuk memudahkan dalam perancangan pengendali frekuensi pada steam turbin, maka dapat dibuat diagram blok seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Diagram blok kendali frekuensi untuk single unit



Gambar 9. Diagram blok pengendali frekuensi steam turbin



Gambar 10. Dua sistem interkoneksi pada bus tie-line

Pada gambar 8. terdapat notasi $\Delta P_c = \Delta P_m = \Delta P_D + \Delta P_{tie}$ dan Δf diasumsikan nilainya nol. Tetapi jika ΔP_c nilainya lebih besar dari ΔP_c pada kondisi steady state, maka sistem akan stabil pada $\Delta f > 0$ dan ini berarti sistem beroperasi pada frekuensi di atas frekuensi normal (f_0).

Untuk menghindari kondisi ini, sebuah pengendali area perlu ditambahkan pada sistem, yaitu yang disebut *Area Control Error* (ACE) dimana sinyal masukannya adalah perkalian antara perubahan frekuensi (Δf) dan konstanta bias frekuensi (B).

- Daya Tie-Line

Pada interkoneksi sistem pembangkit perlu sekali mempertimbangkan aliran daya *tie-line* dari sistem ke sistem yang lainnya, dimana *tie-line* tersebut dihubungkan oleh sebuah bus *tie-line*. Pemodelan line secara pendekatan dapat digambarkan dengan reaktansi

induktif secara seri, seperti pada gambar 10.

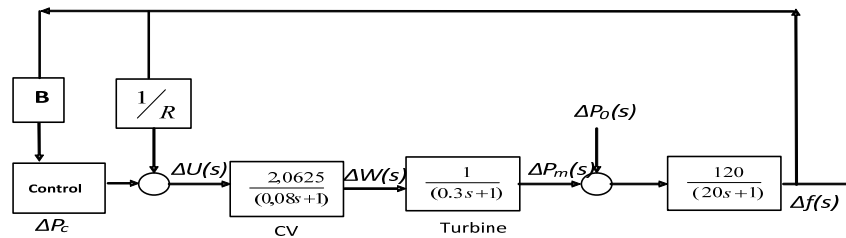
Mengingat perancangan dalam penelitian ini bentuk simulasi dengan aplikasi software, maka teori kontrol diskrit adalah pendekatan teori kontrol analog dengan *time sampling* tertentu, sehingga dimengerti oleh komputer dengan iterasi program berulang. Persamaan digital untuk kontroler PID analog dengan *time sampling* tertentu dapat dituliskan sebagai berikut:

$$u = Kp \left[e + \frac{1}{T_i} \int \sum_{j=1}^n e_j T_s + T_d \frac{e_n - e_{n-1}}{T_s} \right] \dots (12)$$

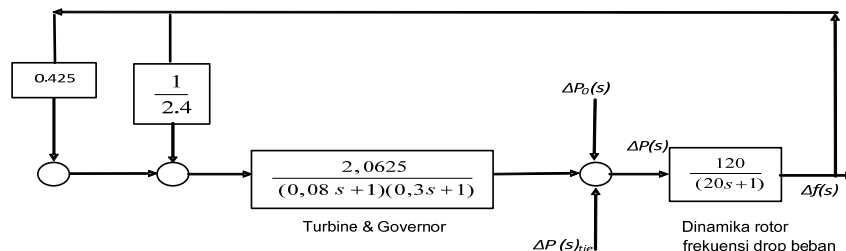
Penalaan parameter kontroler PID selalu didasari atas tujuan terhadap karakteristik yang diatur (plant). Dengan demikian mode matematik plant, perilaku plant tersebut harus terlebih dahulu sebelum penalaan parameter PID itu dilakukan.

Dengan melihat data yang di dapat dari plant, maka diagram blok dapat dilihat seperti gambar 12.

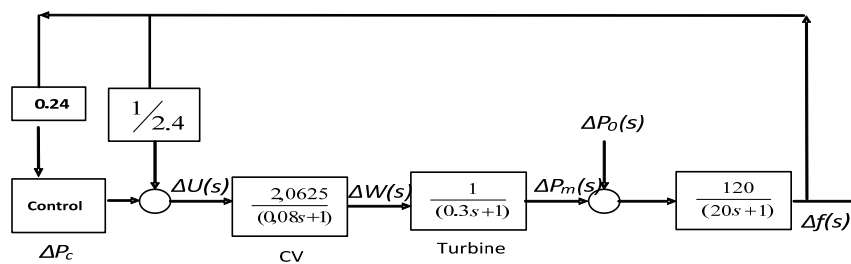
Pada proses tuning PID menggunakan Ziegler-Nicholas, pertama-tama set $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$, sehingga transfer function close-loop seperti gambar 13.



Gambar 11. Diagram blok unit pembangkit



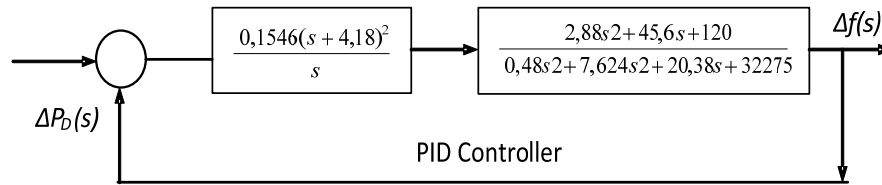
Gambar 12. Diagram blok unit pembangkit berdasarkan data dari plant



Gambar 13. Diagram blok unit pembangkit dengan pengendali proporsional

Tabel 2. Aturan dasar tuning Ziegler-Nicholas metode osilasi

Tipe Pengendali	Kp	Ti	Td
P	0,5 Kcr	~	0
PI	0,45 Kcr	(1/1,2) Pcr	0
PID	0,6 Kcr	0,5 Pcr	0,125 Pcr



Gambar 14. Diagram blok unit pembangkit dengan pengendali PID

Kemudian dengan menguji unit step pada sistem di atas dengan fungsi alih $\Delta f(s) / \Delta P_D(s)$ adalah:

$$\frac{\Delta f(s)}{\Delta P_D(s)} = \frac{-0,48145^4 - 11,6586^3 - 168,5573 - 485,1432}{s^4 + 19,8963^3 + 224,3436^2 + 517,2888 + 485,1432}$$

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil perancangan yang berupa perangkat lunak akan diterapkan pada sistem untuk menunjukkan kemampuan pengendali PID dalam melakukan proses pengendalian. Simulasi ini menggunakan program MatLab versi 7.0.4. MatLab adalah sebuah bahasa pemrograman dengan unjuk-kerja tinggi (*high-performance*) untuk komputasi teknis, yang mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman di dalam lingkungan yang mudah penggunaannya dalam memecahkan persoalan dengan solusinya yang dinyatakan dengan notasi matematik (Wijaya *et al.*, 2007). Nama MatLab merupakan singkatan dari *matrix laboratory*.

Pada sistem yang kondisinya tidak mengalami gangguan, plant hanya diberikan set-point sebesar nol sesuai dengan kondisi normal.

Pemilihan sinyal uji gangguan pada simulasi ini adalah sinyal uji fungsi step. Unit ramp, sinus dan noise pengukuran yang masing-masing merupakan

penambahan atau pengurangan sebesar 10 % dari daya maskimum keluaran plant atau 0,1 pu MW. Uji noise pengukuran dengan memberikan sinyal random pada keluaran speed sensor sebesar 10 % perubahan frekuensi maksimum yang dikehendaki (0,05 Hz).

Pada uji simulasi ini akan dibagi menjadi dua unit, yang masing-masing uji simulasi terhadap sistem pembangkit satu unit dan sistem pembangkit dua unit.

4.1 Hasil pengujian I

Uji pertama dengan memberikan set-point sebesar nol sesuai dengan kondisi normal antara pembebanan sistem dengan daya yang dibangkitkan, respon daya sistem terhadap waktu dapat dilihat pada gambar 15.

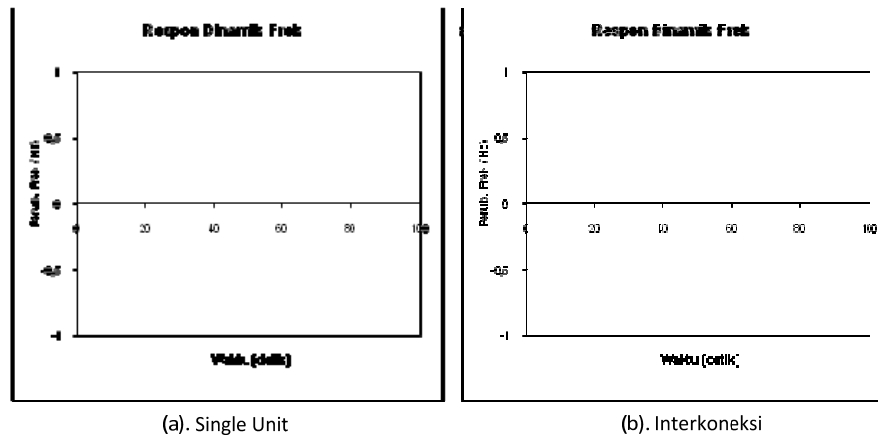
Pada grafik tanggapan frekuensi dengan memberikan set point sebesar 0 pu MW diperoleh bahwa pada pengendali logika PID menunjukkan *error steady state* mendekati nol, baik pada sistem pembangkit single unit maupun interkoneksi.

4.2 Hasil pengujian II

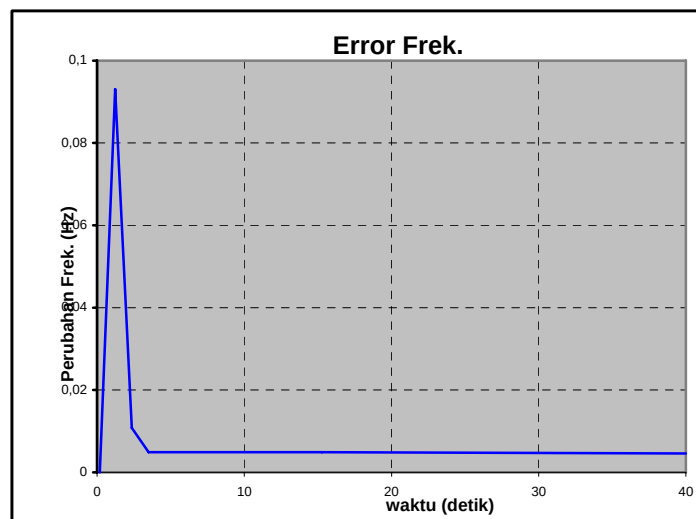
Uji yang kedua dengan memberikan gangguan perubahan beban yang berupa sinyal step, sinus dan ramp sebesar 0,1 pu MW. Dengan adanya perubahan beban pemakaian

daya listrik yang sifatnya berupa gangguan, maka akan terjadi penurunan frekuensi terhadap frekuensi normalnya, respon dinamik perubahan

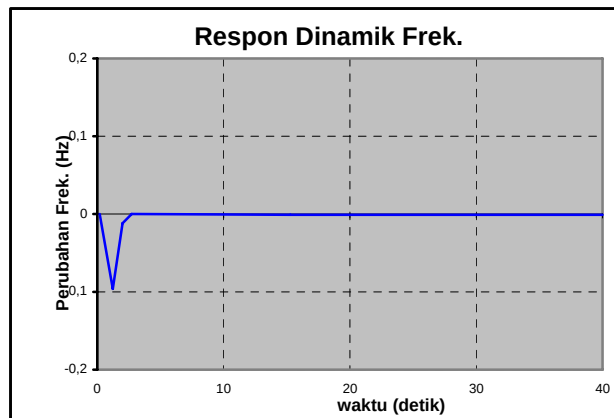
frekuensi dan error perubahan frekuensi dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 15. Respon dinamik pada kondisi tanpa ada perubahan

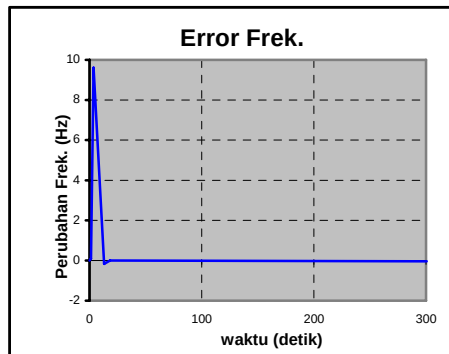


Gambar 16. Error perubahan frekuensi akibat gangguan fungsi step untuk sistem pembangkit satu unit

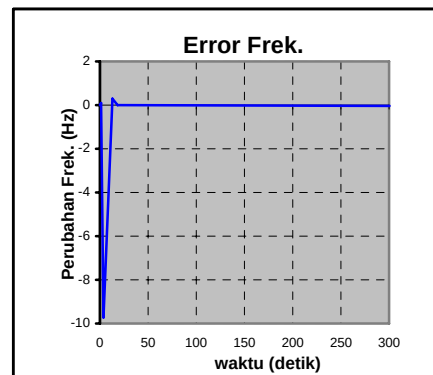


Gambar 17. Respon dinamik perubahan frekuensi akibat perubahan beban fungsi step pada sistem pembangkit satu unit

Untuk sinyal gangguan berupa fungsi step sebesar 0,1 pu MW, kontroler mampu mereduksi perubahan frekuensi dan tidak mempengaruhi kestabilan sistem. Pada uji gangguan fungsi step untuk sistem pembangkit *single unit* respon dinamik perubahan frekuensi menunjukkan *settling time* sebesar 1,5 detik, maksimum *overshoot* sebesar 0,006 persen, *peak time* 2,5 detik dan *error steady state* sebesar 0,0029954 %.

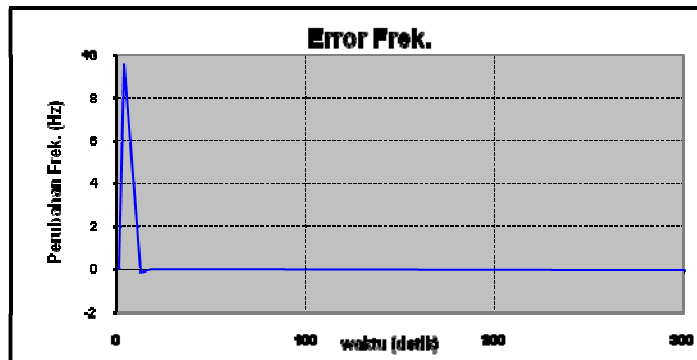


Gambar 18. Respon perubahan akibat gangguan perubahan beban fungsi step pada sistem pembangkit dua unit (interkoneksi)

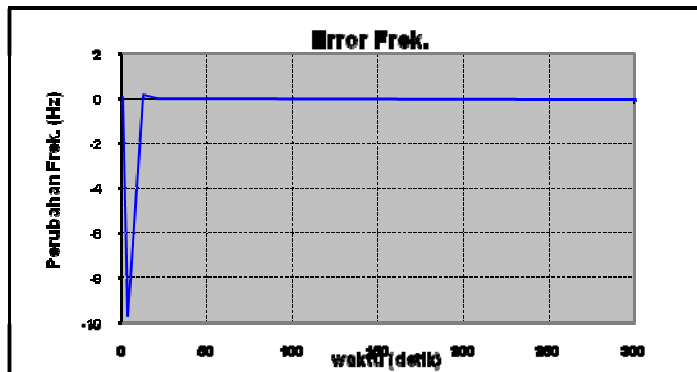


Gambar 19. Respon dinamik frekuensi akibat gangguan perubahan beban fungsi step pada pembangkit dua unit (interkoneksi)

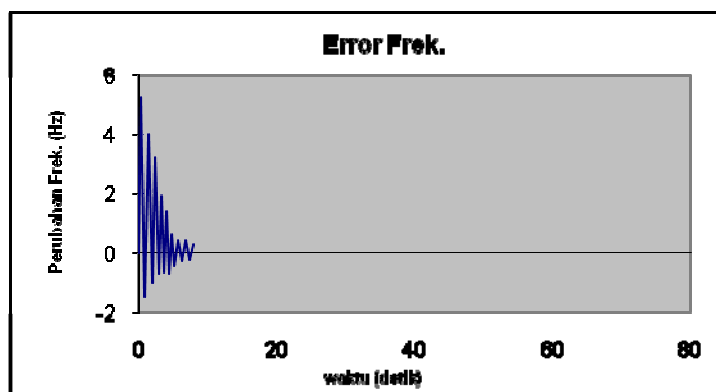
Untuk sistem interkoneksi dua area, respon dinamik menunjukkan harga *settling time* sebesar 1,5 detik, maksimum *overshoot* sebesar 0,00815 %, *peak time* 3,5 detik dan *error steady state* 0,002249 %.



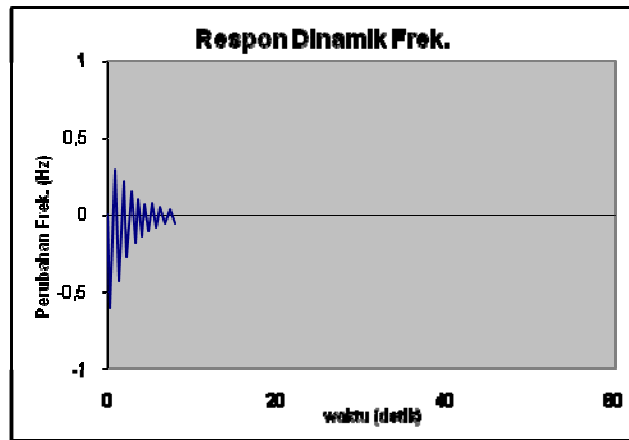
Gambar 20. Error perubahan frekuensi akibat gangguan fungsi sinus untuk sistem pembangkit satu unit



Gambar 21. Respon dinamik perubahan frekuensi akibat gangguan perubahan beban fungsi sinus pada sistem pembangkit satu unit



Gambar 22. Error perubahan frekuensi akibat gangguan fungsi sinus untuk sistem pembangkit dua unit



Gambar 23. Respon dinamik perubahan frekuensi akibat gangguan perubahan beban fungsi sinus pada sistem pembangkit dua unit

Untuk sinyal gangguan dengan fungsi sinus yang beramplitudo 0,1 pu MW, pengendali PID mampu mengendalikan output dari perubahan frekuensi yang diinginkan yaitu mendekati nol atau kondisi normal. Pada uji gangguan fungsi sinus pada sistem pembangkit satu unit respon plant menunjukkan settling time yang kecil sekali, yaitu mendekati nol yang masih berasal dibawah 2 % (gambar 21). Maksimum overshoot sebesar $1,87 \times 10^{-5}$ persen, peak time detik dan error steady state sebesar $6,2464 \times 10^{-6}$ %.

Untuk sistem pembangkit interkoneksi dua unit respon dinamik (gambar 23), perubahan frekuensi menunjukan maximum over shoot 0,00002638 %. Peak time 2 dan error steady state $6,7115 \times 10^{-8}$ %.

5. Kesimpulan

Setelah dilakukan serangkaian simulasi pengujian dan analisa dalam penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Komponen-komponen sistem pengaturan pada penelitian ini terdiri dari D-EHC, steam turbin, tie-line, pengendali PID dan sistem beban pada pembangkit. Tuning PID yang digunakan menggunakan Ziegler-Nicholas dengan metode osilasi. Waktu sampling yang digunakan pada digital kontrol adalah 0,5 detik.
- Untuk sinyal gangguan berupa fungsi step, kontroler (pengendali) PID mampu mereduksi perubahan frekuensi dan tidak mempengaruhi kestabilan sistem.
- Untuk sinyal gangguan dengan fungsi sinus pengendali PID mampu mengendalikan output dari perubahan frekuensi yang diinginkan yaitu mendekati nol atau kondisi normal.

6. Daftar Pustaka

Gunterus, F., 1997, *Falsafah Dasar: Sistem Pengendalian Proses*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.

- Hanselman, D., Littlefield B., 1997, *Matlab Bahasa Komputasi Teknis*, Edisi 1, Andi, Yogyakarta.
- Ogata, K., 1996, *Teknik Kontrol Automatik*, Jilid 1, Edisi 2, Erlangga, Jakarta.
- Ogata, K., 1997, *Teknik Kontrol Automatik*, Jilid 2, Edisi 2, Erlangga, Jakarta.
- Petruszella, F. D., 1996, *Elektronik Industri*, Andi, Yogyakarta.
- Tarmukan, 1995, *Teknik Pengaturan Otomatis*, Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Bandung.
- Wijaya, M., Prijono, A., 2007, *Pengolahan Citra Menggunakan MatLab Image Processing Toolbox*, Informatika, Bandung.