PERANCANGAN SISTEM KENDALI BOILER MENGGUNAKAN ALGORITMA PID PADA PLC (*PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER*) OMRON

DESIGN CONTROL SYSTEM BOILER USING PID ALGORITHM ON PLC (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER) OMRON

Imron Rizaldi[1], M. Ary Murti[2], Erwin Susanto[3]

[1,2,3]Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[1]imronrizaldi@students.telkomuniversity.ac.id,
[2]arymurti@telkomuniversity.ac.id,[3]erwinelektro@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

***Boiler* digunakan di hampir semua proses industri untuk proses pemanasan. Panas merubah zat cair menjadi uap. Uap hasil dari *boiler* dapat digunakan menjadi penggerak turbin untuk PLTU. Proses pemanasan *boiler* bisa menggunakan bahan bakar dan bisa menggunakan listrik. Panas yang dihasilkan oleh pemanas disalurkankan ke drum penyimpanan air pada *boiler drum* untuk memanaskan air hingga fasanya berubah menjadi uap.[1] Dalam boiler terdapat tiga variable proses yang saling berpengaruh yaitu *level* air, aliran air, dan suhu air. *Level* air yang akan dikendalikan berada pada *boiler drum*. Dalam penelitian ini akan dirancang sistem kendali pada level air, aliran air PLC OMRON CP1H dengan metode kontrol PID. Kemudian penulis akan menganalisa performansinya.[6] Dari hasil pengujian dan pengukuran menunjukkan bahwa penerapan algoritma PID dapat bekerja pada *boiler* menggunakan PLC. Didapat parameter optimal, Untuk pengontrol P, Kp=16.3, Untuk pengontrol P dan I, Kp=14.7 dan Ti=19.3925, Untuk pengontrol PID, Kp=19.6, Ti=11.6, dan Td=2.9. Respon sistem yang memuaskan diperlihatkan oleh pengontrol PID dengan periode sampling 2 detik karena memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Respon sistem mampu mencapai *output* sesuai *input* ketinggian atau tidak mempunyai *error steady state* dan menghasilkan *overshoot* yang relatif kecil 1.2%, dengan waktu tunda 15 detik, waktu naik 61 detik, waktu puncak 70 detik.**

Kata kunci: PID, boiler, PLC OMRON CP1H, level air, aliran air

Abstract

Boilers are used in almost all industrial processes for the heating process. Heat changing the liquid into steam. Steam from the boiler results can be used to drive the power plant turbines. Boiler heating process can use the fuel and can use electricity. Heat generated by heating the water storage drum transfered to the boiler drum to heat the water change into steam. [1] In the boiler there are three process variables that is, water level, water flow and water temperature. The water level will be controlled on the boiler drum. In this project will be designed control systems at water level and water flow using the PLC OMRON CP1H with PID control method. Then the author will analyze its performance.[6] From the results of tests and measurements showed that the application of PID algorithms can work on the boiler using a PLC. Obtained optimal parameters, controller P, Kp = 16.3, controller P and I, Kp = 14.7 and Ti = 19.3925, For controller PID, Kp = 19.6, Ti = 11.6, and Td = 2.9. The best response system shown by PID controller with a sampling period of 2 seconds because it fit with the desired specifications. Response system has no steady state error and produce relatively small overshoot 1.2 % , with a time delay of 15 seconds , 61 seconds rise time , the peak time 70 seconds.

Keywords: PID, boiler, PLC OMRON CP1H, water level, water flow

1. Pendahuluan

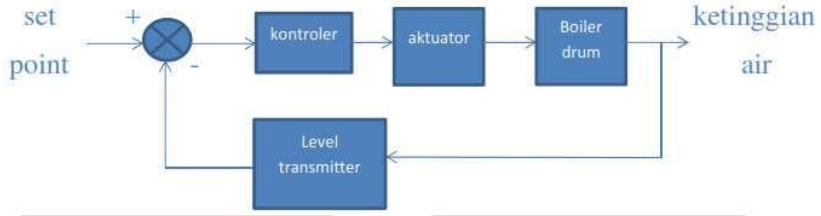
Boiler digunakan di hampir semua proses industri untuk proses pemanasan. Panas merubah air produksi menjadi uap. Uap hasil dari *boiler* dapat digunakan menjadi penggerak turbin untuk PLTU. Proses pemanasan *boiler* bisa menggunakan bahan bakar dan bisa menggunakan listrik. Panas yang dihasilkan oleh pemanas disalurkankan ke drum penyimpanan air pada *boiler drum* untuk memanaskan air hingga fasanya berubah menjadi uap.[1]

Penulis akan merancang sistem kendali menggunakan PLC OMRON CP1H untuk mengendalikan proses pada sistem *boiler*. Untuk mengendalikan semua proses pada *boiler* dibutuhkan metode kontrol yang baik dan handal supaya mendapatkan hasil seperti yang diinginkan. PLC OMRON CP1H dapat menggunakan bahasa *ladder diagram* yang membuat pengoperasian matematika menjadi lebih mudah.[2]

Pada penelitian ini menggunakan PLC (*Programmable Logic Controller*) OMRON CP1H sebagai *controller*. Proportional Integral Derevative (PID) digunakan sebagai metoda pengendalinya untuk proses kendali ketinggian air dan proses kendali aliran air yang terdapat pada *boiler* supaya keluaran yang dihasilkan seperti yang diinginkan penulis.

2. Dasar Teori dan Perancangan

2.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 2. 1 Blok Diagram Proses Kendali Ketinggian Air

gambar 2.1, sistem yang telah direalisasikan menggunakan *input* berupa *set point*. *Set point* yang digunakan adalah ketinggian air pada *boiler drum* yang di masukkan ke dalam program PLC dan dikeluarkan sebagai besaran fisis kuat arus listrik yang diterjemahkan menggunakan *transducer* untuk mengendalikan tekanan pada aktuator yang berupa *control valve*. *Control valve* digunakan untuk mengendalikan aliran air yang masuk ke dalam *boiler drum*. *Output* dari sistem berupa besaran fisis ketinggian air. Ketinggian air tersebut dibaca oleh *level transmitter*. Nilai dari *level transmitter* ini adalah nilai aktual, lalu dikirimkan ke PLC untuk dibandingkan dengan nilai input sehingga menjadi nilai *error*. Setelah nilai *error* didapatkan dengan baik, maka langkah selanjutnya adalah mengendalikan ketinggian air pada *boiler drum*. Pengendalian ketinggian ini menggunakan kontroler PID. Parameter PID didapat dari metoda *Ziegler-Nichols II*.

2.2 Komponen Penyusun Sistem

Komponen penyusun tugas akhir ini terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

2.2.1 Perangkat Keras (Hardware)

1. Boiler

Boiler Drum yang digunakan adalah jenis QAD Model BDT921 yang merupakan simulasi dari sistem pemanas dan *heat exchanger*. *Boiler Drum* QAD Model BDT921 memiliki *sensor*, *transmitter* dan *control valve* untuk mengendalikan suatu proses.

2. PLC

PLC yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah PLC CP1H yang memiliki alamat input dari 0.00 s/d 0.11 pada chanel 0 dan 1.00 s/d 1.11 pada chanel 1 serta memiliki alamat output 100.00 s/d 100.07 pada chanel 100 dan 101.00 s/d 101.07 pada chanel 101. Alamat analog input dari CIO200 s/d CIO203 serta memiliki alamat analog output CIO210 s/d CIO211.

3. Laptop

Laptop digunakan untuk memprogram PLC dengan CX-Programmer serta sebagai perangkat untuk membaca input dan output untuk diolah menjadi fungsi alih.

2.2.2 Perangkat Lunak (Software)

1. CX-Programmer

Perangkat lunak CX-Programmer digunakan untuk pemrograman PLC.

2. Matlab

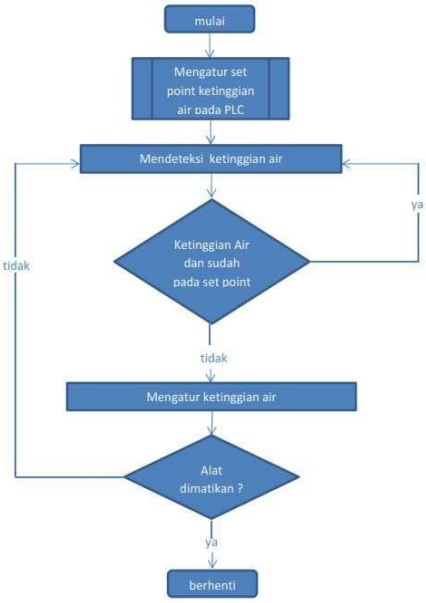
Perangkat lunak Matlab digunakan untuk proses identifikasi fungsi alih dari *plant*.

3. KEPServerEX 5.17

Perangkat lunak KEPServerEX 5.17 sebagai *interface* antara PLC dengan Matlab, digunakan untuk mengambil data input dan output dari *plant*.

2.3 Perancangan Sistem

Boiler Drum QAD Model BDT921 memiliki *sensor*, *transmitter* dan *control valve* untuk mengendalikan suatu proses. Proses yang dikendalikan menggunakan PLC, PLC yang digunakan adalah tipe OMRON CP1H. Dari PLC data diteruskan ke aktuator yang berupa *control valve* untuk mengatur input air ke dalam *boiler tank*. *Transmitter* pada tanki digunakan untuk membaca ketinggian air. Hasil pembacaan *transmitter* masuk ke ADC PLC. Data digital hasil pembacaan ADC lalu diolah di dalam PLC untuk di kontrol. Ketinggian air akan dibaca kembali oleh *transmitter* sehingga proses diatas akan terus berulang. Berikut *flowchart* yang akan dibangun pada sistem :



Gambar 2. 2 Flowchart Kerja Sistem

2.4 Identifikasi *Plant*

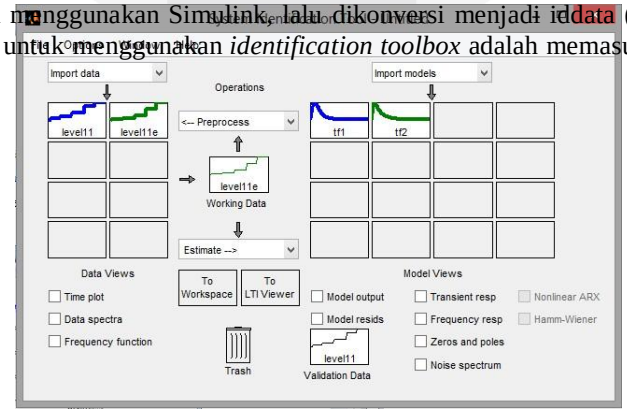
Untuk memperoleh fungsi alih *plant* yang berupa *boiler drum* maka dilakukan pengujian pada masukan dan keluaran *plant* menggunakan *identification toolbox* pada matlab. Dari hasil identifikasi akan diperoleh data hubungan respon masukan dengan keluaran yang akan digunakan untuk mengestimasi persamaan matematik dari *plant*. Pada tahap identifikasi *plant*, perancangan sistem yang digunakan menggunakan sistem *close-loop* dengan *feedback*, H(s) dan diberi *gain*, G(s) bernilai satu, setelah mendapatkan fungsi alih gain tersebut dikeluarkan supaya mendapatkan fungsi alih dari *plant*, P(s). X(s) sebagai input dan Y(s) sebagai output. Persamaan fungsi alih *plant* P(s) diberi *gain* G(s) di bawah ini.

$$\frac{(\ )}{(\ )} = \frac{(\ )\ (\ )}{1 + (\ )\ (\ )\ (\ )} = \qquad (2.1)$$

Dengan asumsi nilai $(\ )$ adalah satu, maka diperoleh persamaan *plant* P(s) berikut.

$$(\ ) = \qquad (2.2)$$

Data *input* dan *output* sistem digunakan dalam *identification toolbox* diperoleh dari pembacaan data pada PLC yang dihubungkan ke Matlab menggunakan *software* KEPServerEX 5.17 sebagai OPCserver. Kemudian data *input* dan *output* diolah menggunakan Simulink, lalu dikonversi menjadi iddata (format data identifikasi). Hal pertama yang dilakukan untuk menggunakan *identification toolbox* adalah memasukkan data object (iddata) seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2. 3 *Identification Toolbox* pada Matlab

Setelah memasukkan data, kemudian lakukan estimasi dengan menggunakan *transfer function models*, lalu tentukan orde *pole* dan *zero* yang akan diidentifikasi. Identifikasi dilakukan dengan beberapa kali percobaan dengan mengubah *range* pada data input. Selanjutnya melihat model output estimasi, dari model output tersebut dipilih presentase *best fits* yang paling tinggi dan mempertimbangkan *error* prediksi. Setelah dipilih model estimasi yang sesuai, langkah selanjutnya adalah proses pencarian fungsi alih *plant* dari model estimasi tersebut.

3. Pengujian

3.1 Pengujian PLC

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah PLC yang dipakai dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang dibutuhkan dalam sistem sebagai I/O digital dan I/O analog. Dari pengujian yang dilakukan, untuk I/O digital didapatkan hasil dari setiap push button apabila ditekan akan memberi nilai satu ke alamat atau memberi nilai satu pada alamat memori ketika *running* program di CX-Programmer dan mencatu setiap *output* yang berupa pompa dan heater. Dari hasil pengujian yang dilakukan, untuk I/O digital semua pin berfungsi dengan baik. Dari pengujian yang dilakukan untuk I/O analog didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 3.1 Hasil Pengukuran ADC pada PLC terhadap *Water Level*

Level ketinggian air (cm)	Nilai yang tercantum dalam alamat (hexadecimal)
100	6000
90	5400
80	4800
70	4200
60	3600
50	3000
40	2400
30	1800
20	1200
10	600

Tabel 3. 2 Hasil Pengukuran DAC pada PLC terhadap *Control Valve*

Nilai yang dimasukkan ke alamat	Tekanan keluaran pada control valve (Psi)
6000	15
5000	13
4000	11
3000	9
2000	7
1000	5
0	3

Dari hasil pengukuran ADC dan DAC pada PLC disimpulkan semua pin I/O analog berfungsi dengan baik dengan error yang masih dapat ditoleransi. Pin DAC digunakan untuk memberi keluaran PWM ke *control valve* dalam bentuk arus analog 4-20 mA dengan resolusi 6000 (range nilai 0-6000) dan mengendalikan tekanan pada

control valve dengan besaran tekanan 3-15 Psi yang berbanding lurus dengan arus. Untuk ADC digunakan sebagai masukan yang berasal dari *level transmitter*. Masukan bernilai data *present value*, data tersebut yang akan diproses dalam PLC. Pin ADC menerima arus masukan 4-20 mA yang berasal dari *level transmitter* lalu diubah dalam bentuk digital dengan resolusi 6000 (range 0-6000).

3.2 Identifikasi Transfer Fungsi

Identifikasi transfer fungsi digunakan untuk memperoleh pemodelan matematis dari *plant*. Pemodelan matematis *plant* dibutuhkan untuk perancangan kontrol PID menggunakan metode Ziegler-Nichols II. Dari hasil identifikasi transfer fungsi didapat hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 dari hasil perbandingan antara hasil identifikasi *range* pencuplikan 0-240 detik dan 6-216 detik yang ditunjukkan pada table 4.4 diketahui bahwa hasil identifikasi transfer fungsi *range* 6-216 paling mendekati respon ketinggian air dengan *fit to estimation data* sebesar 96.24%. Dengan transfer fungsi:

$$\frac{(\ )}{(\ )} = \frac{0.0009912}{+\,0.4505 \quad +\,0.07259 \quad +\,0.001451} \tag{3.1}$$

Tabel 3.3 Analisis Identifikasi Transfer Fungsi

Range (detik)	Best fits	Fit to estimation data
0-240	91.35%	91.35%
6-216	91.27%	96.24%

3.3 Kontroler PID

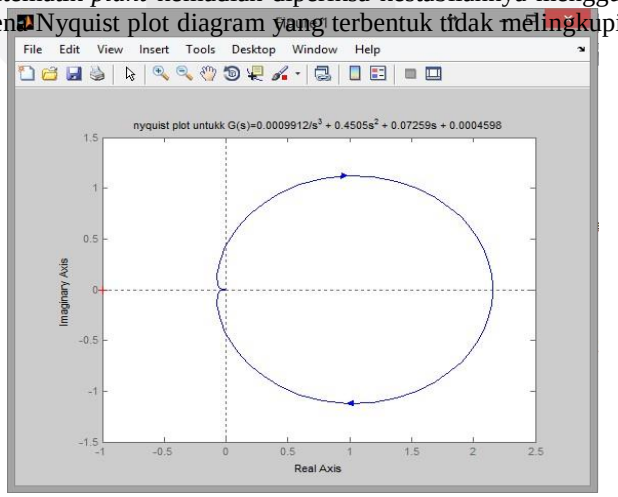
Perancangan kontroler PID dilakukan dengan menggunakan fungsi alih *plant* pada nilai *fit to estimation data* terbesar, lalu mengeluarkan *gain* G(s) yang ada pada hasil identifikasi transfer fungsi dengan menggunakan persamaan (2.1) dan (2.2) sebagai berikut.

$$\frac{(\ )}{(\ )} = \frac{0.0009912}{+\,0.4505 \quad +\,0.07259 \quad +\,0.001451} = -$$

Setelah gain G(s) dikeluarkan maka didapat model sistem dari *plant* P(s) yang digunakan untuk perancangan kontroler PID sebagai berikut.

$$(\ ) = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad .}{.!"\ \ "\ \ \#\ \ .\ \$\ \ "\ \ .\ \ !"\ \ \%} \tag{3.2}$$

Setelah didapat model matematik *plant* kemudian diperiksa kestabilannya menggunakan teorema Nyquist. Model sistem diatas stabil karena Nyquist plot diagram yang terbentuk tidak melingkupi titik (-1 , j0). Hasilnya dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Nyquist Plot Model Sistem

Selanjutnya menentukan parameter Kp, Ti, dan Td. Dengan menentukan nilai Kcr dan Pcr dahulu dari persamaan dibawah dengan memberi *gain* Kp menggunakan metode kriteria kestabilan Routh-Hurwitz, X(s) sebagai *input*, Y(s) sebagai *output*.

$$\frac{(\ )}{(\ )} = \frac{0.0009912\&'}{+0.4505 \quad +0.07259 \quad +0.0004598 + 0.0009912\&'} \tag{3.3}$$

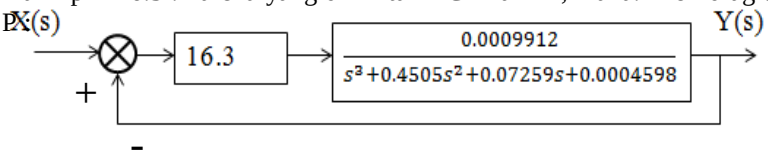
Dari persamaan diatas didapat persamaan karakteristik :

$$+0.4505 \quad +0.07259 \quad +0.0004598 + 0.0009912\&' = 0$$

Dari persamaan karakteristik tersebut didapat nilai Kcr = 32.69 dan nilai Pcr = 23.271 detik.

3.3.1 Kontrol Proporsional

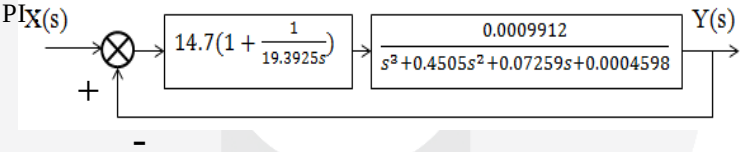
Kontroler proporsional ini diinginkan untuk mempercepat *rise time* dan *settling time*. Dengan nilai Gain atau Kp = 0.5*Kcr, didapat nilai Kp = 16.3 . karena yang diminta PLC nilai PB, maka. Blok diagram sistem dengan menggunakan kontroler P :



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem dengan Menggunakan Kontroler P

3.3.2 Kontrol P dan I

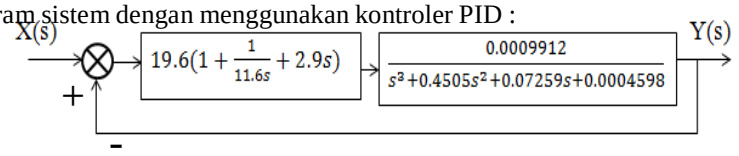
Spesifikasi yang diinginkan dari control PI ini adalah untuk mempercepat *rise time* dan *settling time*, Ess=0, dan tanpa *overshoot*. Dengan nilai Gain atau Kp = 0.45*Kcr, didapat nilai Kp = 14.7 dan nilai Ti=0.833*Pcr, didapat nilai Ti=19.3925 . karena yang diminta PLC nilai PB dan Ti, maka. Blok diagram sistem dengan menggunakan kontroler PI :



Gambar 3.3 Blok Diagram Sistem dengan Menggunakan Kontroler PI

3.3.3 Kontrol PID

Spesifikasi yang diinginkan dari kontrol PID ini adalah untuk mempercepat *rise time* dan *settling time*, Ess=0, dan memperkecil *overshoot*. Dengan nilai Gain atau Kp = 0.6*Kcr, didapat nilai Kp =19.6 , nilai Ti=0.5*Pcr, didapat nilai Ti=11.6 , dan nilai Td=0.125*Pcr, didapat nilai Td=2.9 . karena yang diminta PLC nilai PB, Ti dan Td maka. Blok diagram sistem dengan menggunakan kontroler PID :

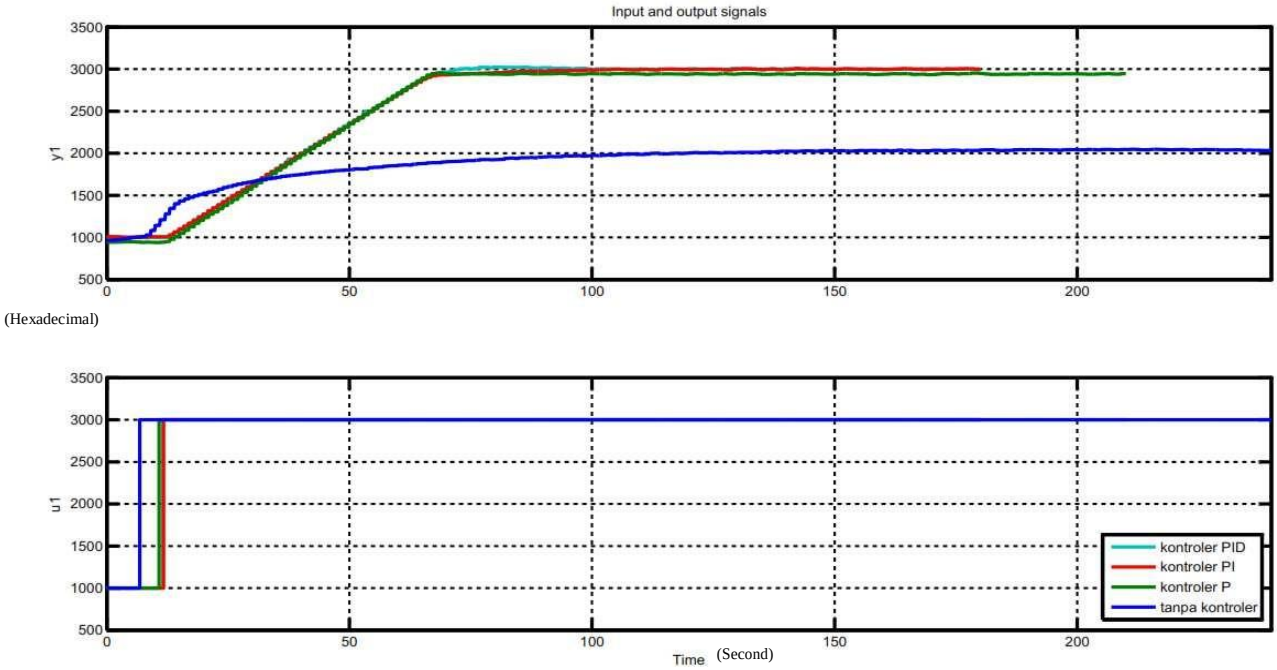


Gambar 3.4 Blok Diagram Sistem dengan Menggunakan Kontroler PID

3.3.4 Hasil Pengujian

Dari pengujian yang dilakukan, didapat hasil dan analisis dari perbandingan antara tanpa kontroler dengan menggunakan kontroler P, PI, dan PID. Ditunjukkan pada tabel 3.4 dan gambar 3.5 yang menunjukkan grafik

input dan *output* berupa nilai hexadecimal dengan perbandingan ADC besaran fisis ketinggian air terhadap waktu. u1 untuk *input* dan y1 untuk *output*. Diketahui bahwa hasil dari kontroler PID dengan *sampling period* 2 detik mempunyai respon yang paling optimal.



Gambar 3.5 Hasil Performasi Sistem tanpa Kontroler dan Menggunakan Kontroler

Tabel 3.4 Hasil Analisis Pengujian Kontroler

Parameter performasi	Tipe kontroler			
	Tanpa kontroler	P	PI	PID
Periode sampling	0.1 s	1 s	2 s	2 s
Waktu tunda (td)	2 s	17 s	15 s	15 s
Waktu naik (tr)	175 s	56 s	103 s	61 s
Waktu puncak (tp)	176 s	57 s	104 s	70 s
Overshoot (Mp)	0%	0%	0.1%	1.2%
Error steady state (Ess)	48%	3%	0%	0%

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Parameter PID dapat dimplementasikan pada PLC OMRON CP1H karena memiliki modul I/O *analog*. Pemrograman menggunakan *ladder diagram* pada CX-Programmer. Pemakaian *instruction list* PID memudahkan pemakaian metode PID menggunakan PLC dan menggunakan memory yang banyak.
2. Dari hasil pengujian dan analisis identifikasi transfer fungsi dengan *identification toolbox* menghasilkan *best fits* 91.27% dan *fit to estimation data* 96.24% dengan range 6-216 detik.
3. Dari persamaan karakteristik model sistem didapatkan nilai Kcr=32.69 dan Pcr=23.271 detik dengan menggunakan metode kriteria kestabilan Routh-Hurwitz. Nilai Kcr dan Pcr digunakan untuk mencari parameter PID dengan metode Ziegler-Nichols. Nilai penguatan yang didapat dari percobaan besarnya adalah:

   Untuk pengontrol P

   Kp=16.3

   Untuk pengontrol P dan I

   Kp=14.7 dan Ti=19.3925

Untuk pengontrol PID
Kp=19.6, Ti=11.6, dan Td=2.9

4. Respon sistem yang memuaskan diperlihatkan oleh pengontrol PID dengan periode sampling 2 detik karena memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Respon sistem mampu mencapai *output* sesuai *input* ketinggian atau tidak mempunyai *error steady state* dan menghasilkan *overshoot* yang relatif kecil 1.2%, dengan waktu tunda 15 detik, waktu naik 61 detik, waktu puncak 70 detik.

Daftar pustaka

[1.] MODEL BDT921 BOILER DRUM & HEAT EXCHANGER PROCESS CONTROL.2012. Syntek Engineering

[2.] OMRON CP1H Operation Manual. 2005. Omron

[3.] Ogata, Katsuhiko. 2010. *Modern Control Engineering*. Prentice Hall, New Jersey.

[4.] Ogata, Katsuhiko. 1996. *Modern Control Engineering*. Prentice Hall Inc. New jersey.

[5.] PLC (Programmable Logic Controller). Pemrograman PLC. http://plc-logger.blogspot.com/, diakses pada november 2014

[6.] Mulyana, Tatang, Mohd Nor Mohd Than and Dirman Hanafi. 2009. *A Discrete Time Model of Boiler Drum and Heat Exchanger QAD Model BDT 921*. International Conference of Instrumentation, Control and Automation

[7.] Mu'amar, Awal, Hendra Cordova and Fitri Adi. 2008. Perancangan Sistem Control Level dan Pressure pada Boiler di Workshop Instrumentasi Berbasis DCS Centum CS3000 Yokogawa. Surabaya.

[8.] Ljung, L. 2010. *System Identification Toolbox™ Getting Started Guide*. Mathwork.

[9.] Mulyana, Tatang, Mohd Nor Mohd Than and Noor Adzmira Mustapha. 2011. *Identification of Heat Exchanger QAD Model BDT 921 Based on Hammerstein-Wiener Model*. International Seminar on the Application of Science & Mathematics.