

## Studi Penerapan Kontrol *PI* untuk Sistem Kontrol *Valve* pada LP *Drum* PLTGU

Friska Ayu Fitrianti Sugiono<sup>1</sup>, Dita Anies Munawwaroh<sup>\*1</sup>, Pengestuningtyas Diah Larasati<sup>2</sup>, Ratih Anggraeni Sugiono<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, Jl. Prof. Soedarto, Semarang

<sup>2</sup>Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang, Jl. Prof. Soedarto, Semarang

<sup>3</sup>Teknik Material Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

[ditamatematika@polines.ac.id](mailto:ditamatematika@polines.ac.id)

### ABSTRACT

*LP Drum (Low Pressure Drum) is a vapor reservoir from LP Evaporator (Low Pressure Evaporator) and LP Economizer (Low Pressure Economizer). The output of the LP Drum is in the form of saturated steam (steam content that has been separated from water) will be flowed into the steam turbine. There are several parameters that must be controlled, namely level, flow, pressure, and temperature on the LP Drum which affect valve performance. The parameters themselves are obtained from manufacturing, in this case MITSUBISHI as the main project. One of the valve control systems that can be used is Proportional Integral (PI). From calculations using MATLAB, the control system using the PI method obtained  $K_p = 0.218$  and  $K_i = 0.028$  seconds. The inaccuracy of LCV (Level Control Valve) is caused by the delay in receiving signals from DDC to LCV. These inaccuracies affect the values of LP feed water and LP steam flow change randomly and there is no definite reference value.*

**Keywords:** *Kontrol Valve; LP Drum; Proportional Integral (PI); Valve*

### 1. Pendahuluan

Penerapan sistem kontrol otomatis diharapkan dapat meminimalisir adanya human *error* serta memaksimalkan hasil produksi sehingga dapat memenuhi target yang diharapkan. Salah satu penerapan sistem kontrol otomatis adalah di Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) [1]. Peralatan utama PLTGU terdiri dari *gas turbine* dengan generatornya, HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*), *steam turbine* dengan generatornya dan alat pendukung lain. Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) PT. PJB Unit Pembangkit Gresik telah menerapkan sistem operasi kontrol otomatis yang salah satu penerapannya adalah pada kontrol *valve low pressure* (LP) Drum. Ada beberapa parameter yang harus dikontrol yaitu level, *flow*, tekanan, dan temperatur pada LP Drum yang mempengaruhi kinerja *valve*[2]. Secara sederhana, sistem pengendalian *valve* yang dapat digunakan diantaranya adalah Proportional Integral (PI). Sehingga pada penelitian ini akan dibahas tentang penerapan studi penerapan kontrol PI untuk sistem kontrol *valve* pada *low pressure* (LP) Drum[3]. Permasalahan yang akan dibahas adalah bagaimana permodelan matematis dan simulasi dinamika proses serta menganalisa respon dan kestabilan sistem pengendalian laju aliran air dengan kontrol PI untuk kontrol *valve* pada *low pressure* (LP) Drum[4], [5].

### 2. METODE PENELITIAN

Pada unit PLTGU terdapat LP Drum (*Low Pressure Drum*) yang merupakan tempat penampung uap dari LP Evaporator (*Low Pressure Evaporator*) dan LP Economizer (*Low Pressure Economizer*). Keluaran dari LP Drum adalah berupa uap jenuh (kandungan uap yang telah terpisah dari air) akan dialirkan ke dalam *steam turbine* [6]. Air yang disirkulasi dipisahkan dari campuran uap dan air bertekanan tinggi. Sehingga keluaran yang dihasilkan adalah uap kering bertekanan rendah yang digunakan untuk memutar *Steam Turbine* [7],[8]. Pada kebanyakan kasus, diperlukan perubahan yang kontinu pada *valve* pengendali berdasarkan sinyal pengendalian untuk menjaga kondisi ideal dari variabel proses. Sistem yang dinamakan DDC (*Direct Digital Control*) adalah pengendalian operasional pada *combine cycle* PLTGU yang berfungsi merubah parameter yang ada di *plant* dari sinyal analog menjadi sinyal digital dan dikontrol sesuai kebutuhan ideal kondisi lokal (*plant*)[9]. Di dalam DDC terdapat HRSGC (*Heat Recovery Steam Generator Controlled*), dimana

fungsi dari HRSGC adalah untuk mengendalikan semua peralatan dan feed water flow, kontrol valve, sampai boiler outlet valve. Parameter yang dikendalikan adalah uap temperatur, uap tekanan, dan level air pada drum baik LP Drum dan HP Drum (*High Pressure Drum*)[10].



Gambar 1. LP Drum

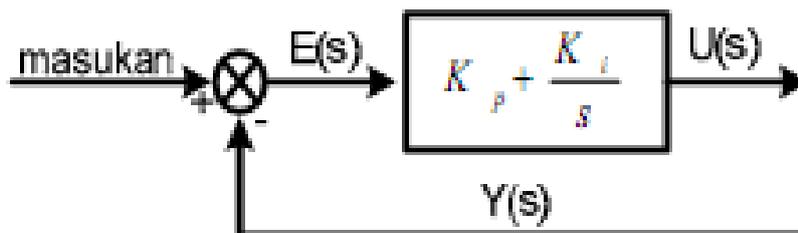
Tujuan pengendalian uap temperatur dan tekanan yang keluar adalah untuk menstabilkan ketahanan turbin dan keseimbangan unit. Pada DDC ini bekerja menggunakan *software Automatic Logic Diagram*[11]. Berikut ini adalah urutan cara kerja DDC untuk mengendalikan level di LP Drum dengan menggunakan *logic control*. Gabungan aksi kontrol proporsional dan aksi kontrol integral membentuk aksi kontrol proporsional *plus* integral (kontroler PI)[12][13]. Gabungan aksi ini mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing penyusunannya. Keunggulan utamanya adalah diperolehnya keuntungan dari masing-masing aksi kontrol dan kekurangan aksi kontrol yang satu dapat diatasi. Dengan kata lain elemen-elemen kontroler P dan I secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem dan menghilangkan *offset*. Dalam waktu kontinyu, sinyal keluaran pengendali PI dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Co(t) = Kp \left( e(t) + \frac{1}{Ti} \int_0^t e(t) dt \right) \dots \dots \dots (1)$$

dengan,

- Co(t) = sinyal keluaran pengendali PI
- Kp = Konstanta proporsional
- Ti = waktu intrgral
- e(t) = sinyal kesalahan
- e(t) = referensi – keluaran(plant)

Diagram blok pengendali PI dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram blok pengendali PI

Transformasi parameter-parameter PI menjadi nilai-nilai tetap secara diskrit dilakukan sesuai dengan penjabaran perhitungan berikut. Dengan merujuk pada persamaan 2 dan menerapkan Transformasi Laplace, diperoleh ekspresi PI dalam domain Laplace sebagai berikut:

$$s Co(s) = Kp s E(s) + \frac{Kp}{Ti} E(s) \dots \dots \dots (2)$$

Persamaan 2 dirubah kembali ke domain waktu, sehingga menjadi

$$\frac{d Co(t)}{dt} = Kp \frac{d e(t)}{dt} + \frac{Kp}{Ti} e (s) \dots \dots \dots (3)$$

Untuk mengubah persamaan 3 ke dalam bentuk diskrit, digunakan persamaan *backward difference*, dimana:

$$Co(k) = Co(k - 1) + \left[ Kp \frac{(Kp T)}{Ti} \right] e(k) + [Kp]e(k - 1) \dots \dots \dots (4)$$

Persamaan 4 menunjukkan persamaan pengendali PI dalam bentuk diskrit. Dari persamaan 4 dapat diketahui bahwa pengendali PI menggunakan konstanta-konstanta pengendalian sebagai berikut:

$$Co(k) = Co(k - 1) + K_2 e(k) + [K_3]e(k - 1)$$

dengan

$$K_2 = (K_p + K_1)$$

$$K_1 = \frac{K_p T}{T_1}$$

$$K_3 = (K_3)$$

Ada beberapa metode yang biasanya digunakan untuk mentuning nilai Kp, Ki dan Kd dalam proses ini menggunakan *Metode Tuning Trial* dan *Error* serta *Metode Zeigler Nichols*.

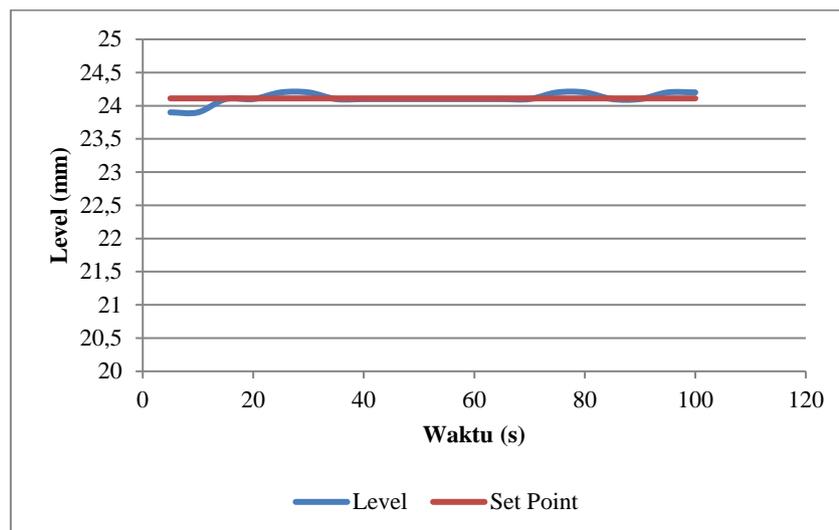
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Guna mengatasi permasalahan ketidakakuratan bukaan LCV ataupun respon LCV dan mencegah kondisi yang lebih ekstrim diperlukan tindakan perawatan dan pengecekan secara berkala terhadap sistem penerimaan informasi sinyal pada LCV. Dimana perawatan tersebut dilakukan pada bagian *positioner* yang ada di LCV dengan melakukan kalibrasi ulang pada sistem elektrik maupun mekaniknya. Dengan demikian dengan adanya tindakan tersebut diharapkan informasi sinyal kontrol ke LCV dapat tersampaikan dengan baik, sehingga kesemua elemen kontrol pada pengendalian *level* air di dalam LP *Drum* akan berjalan normal.

Data yang digunakan merupakan data yang diperoleh pada saat proses produksi listrik. Data yang digunakan adalah data primer 100 detik karena pengambilan data dilakukan setiap 5 detik. Diperoleh 20 data yang dapat dilihat pada tabel 1. Level yang dihasilkan tidaklah stabil dan hal ini tidak baik untuk keseluruhan proses dan dapat mengganggu kinerja sistem.

Tabel 1. Data level pada plant

No	Level (mm)	Beban(MW)	Waktu(s)
1	23,9	90,2	5
2	23,9	90,2	10
3	24,1	89,7	15
4	24,1	89,7	20
5	24,2	89,4	25
6	24,2	89,4	30
7	24,1	89,2	35
8	24,1	89,2	40
9	24,1	88,8	45
10	24,1	88,8	50
11	24,1	88,5	55
12	24,1	88,5	60
13	24,1	88,2	65
14	24,1	88,2	70
15	24,2	87,2	75
16	24,2	87,2	80
17	24,1	88	85
18	24,1	88	90
19	24,2	88,7	95
20	24,2	88,7	100



Gambar 4. Respon osilasi level

### 3.1 Pemodelan LP Drum

Pemodelan LP Drum dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi transfer sistem yang terdapat pada persamaan 4.

Dengan data yang diperoleh dari bagian sistem operasi berupa nilai,

H maksimum = 525 mm

H minimum = -825 mm

V maksimum = 45,6 m<sup>3</sup>

V minimum = 9.8 m<sup>3</sup>

maka dapat diperoleh nilai,

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\text{perubahan cairan yang tersimpan}}{\text{perubahan level air}} \\
 &= (45,6 - 9,8) \text{ m}^3 / 525 - (-875) \text{ mm} \\
 &= 44,8 / 1400 = 0,032
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai fungsi transfer sistem menjadi:

$$\frac{H(S)}{Qi(S)} = \frac{1}{0,032s+1}$$

### 3.2 Pemodelan *Level Transmitter*

Dari bagian sistem operasi, diperoleh data berupa nilai arus keluaran sebesar 4 - 20mA dan *transmitter* ini memiliki nilai *time constan*  $T_L$  sebesar 0,2 detik. Dari data tersebut dapat dihitung nilai *gain transmitter* berikut:

$$G_L = \frac{Span\_output}{Span\_input}$$

$$G_L = \frac{20 - 4}{90 - 0}$$

$$G_L = 16/90$$

$$G_L = 0,178 \text{ mA/ton}$$

Sehingga diperoleh nilai,

$$\frac{I(s)}{L(s)} = \frac{0,178}{0,2s + 1}$$

### 3.3 Pemodelan *Control Valve*

Dengan menggunakan data yang diperoleh, dapat diperoleh fungsi transfer dari *control valve* dengan menghitung nilai *gain*:

$$G_{CV} = \frac{\text{laju aliran maksimal}}{\text{perubahan tekanan masukan}}$$

$$G_{CV} = \frac{100 \text{ ton/hour}}{16 - 0 \text{ kg/cm}^2}$$

$$G_{CV} = 6,25$$

penguat I/P,

$$G_\tau = \frac{\text{perubahan tekanan masukan}}{\text{peubahan arus yang masuk}}$$

$$G_\tau = \frac{1 - 0,2 \text{ kg/cm}^2}{20 - 4 \text{ mA}}$$

$$G_\tau = 0,05$$

nilai total *gain*,

$$K_v = G_{CV} \cdot G_\tau$$

$$K_v = 6,25 \cdot 0,05$$

$$K_v = 0,3125$$

$$\Delta_v = \frac{\text{aliran maks} - \text{aliran min}}{\text{aliran maks}}$$

$$\Delta_v = \frac{90 - 0}{90}$$

$$\Delta_v = 1$$

$$T_{CV} = T_V(\Delta V + R_V)$$

$$T_{CV} = 7,5(1 + 0,3)$$

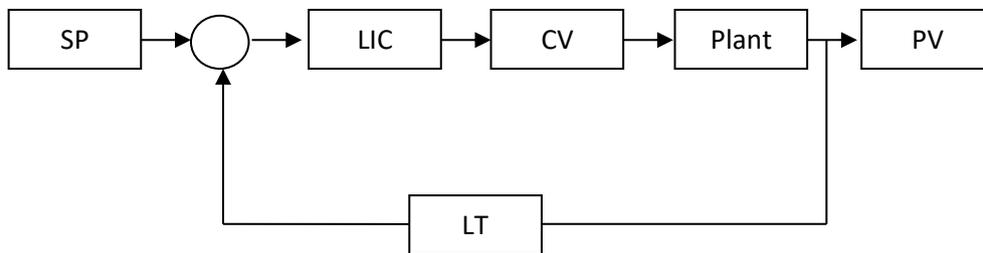
$$T_{CV} = 9,75$$

Sehingga diperoleh nilai fungsi transfer dari *control valve* sebagai berikut:

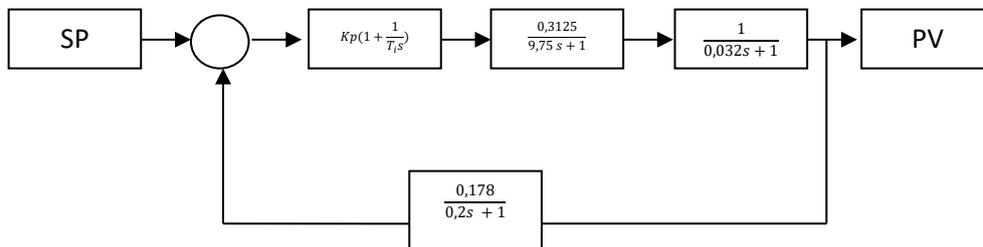
$$\frac{M(s)}{L(s)} = \frac{0,3125}{9,75 s + 1}$$

### 3.4 Simulasi Kontrol PI

Setelah dimodelkan sistem seperti diatas dari beberapa komponen pengendalian, maka selanjutnya adalah memasukkan ilai parameter fungsi transfer yang telah didapatkan pada diagram blok pengendalian. Adapun diagram blok sistem adlaah sebagai berikut:

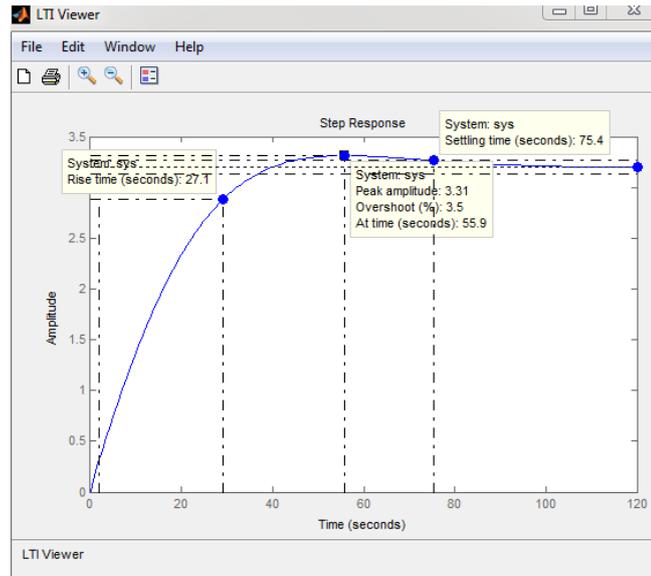


Gambar 5. Diagram blok



Gambar 6. Diagram blok dengan fungsinya

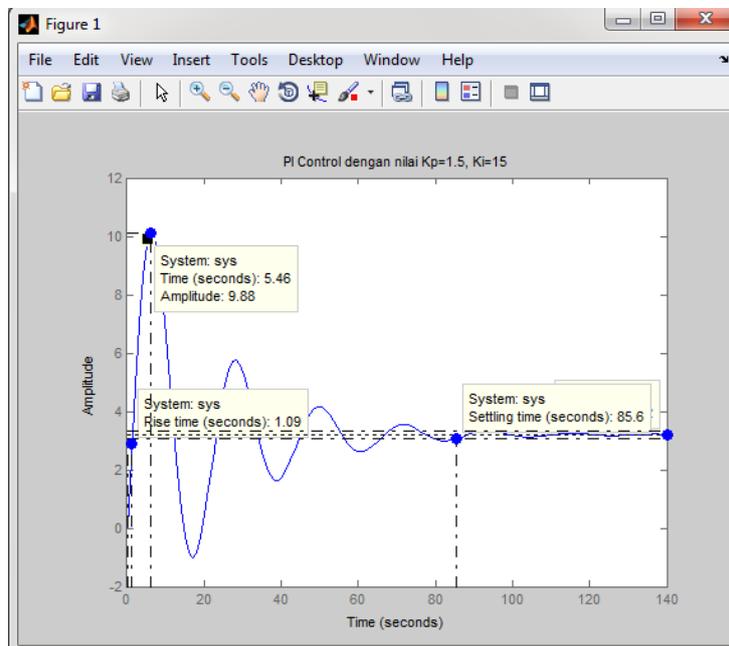
Setelah diketahui parameter-parameter yang telah didapatkan diatas, maka akan disimulasikan sistem tersebut menggunakan software MATLAB. Hal ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana kestabilan sistem tersebut. Ini dapat dilihat dari respon sinyal grafik dari sistem. Berikut adalah respon sinyal grafik dari sistem setelah dimodelkan:



**Gambar 7.** Simulasi sistem plant dengan menggunakan Matlab

Dari gambar diatas maka didapatkan sistem tersebut masih kurang stabil dikarenakan nilai dari rise timenya adalah 27,1; nilai dari settling timenya sebesar 75,4 dan nilai overshootnyasebesar 3,5%. Hal ini masih belum memenuhi kriteria yang diharapkan. Karena step responnya masih begitu lambat.

### 3.5 Penentuan Nilai Kp dan Ti



**Gambar 8.** Grafik respon dengan menggunakan kontrol PI

Dari step respon yang diketahui masih belum memenuhi kriteia yang diharapkan, maka dilakukan penambahan kontrol PI dengan memasukkan nilai dari Kp dan Ti. Penentuan parameter Kp dan Ti dilakukan dengan tuning yang berbeda agar diketahui tuning yang paling tepat pada sistem Kontrol Valve pada LP Drum. Nilai Kp dan Ti sebenarnya pada plant

sebenarnya tidak dapat diketahui karena sistem yang diinginkan berbeda-beda. Maka untuk mendapatkan nilai Kp dan Ti yang sesuai dengan plant ,akan dilakukan simulasi plant dengan melakukan metode pendekatan trial eror. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan pendekatan nilai sesungguhnya. Sebagai langkah awal maka diasumsikan nilai dari Kp= 1,5 dan Ki=15. Adapun hasilnya seperti tampak pada gambar 8.

Setelah dianalisis dengan menambahkan parameter Kp=1,5 dan Ki=15 maka respon grafiknya berosilasi secara menurun mendekati steadystate, berarti sistem ini meunjukkan bahwa sistem teredam dan akhirnya menjadi stabil. Dari hasil tersebut diketahui bahwa nilai dari rise timenya sebesar 1,09; overshootnya 10,2% dan settling timenya sebesar 85,6. Hal ini sudah mendekati kriteria yang diharapkan. Tetapi dari grafik tersebut masih lambat dalam mencapai steady state, dikarenakan grespon osilasinya masih terlalu banyak. Untuk melakukan perbedaan antara metode trial eror dengan PID tuning maka dilakukan pengujian respon menggunakan PID Tuner secara otomatis. Hal ini digunakan untuk mengetahui nilai Kp dan Ti dari sistem tersebut.

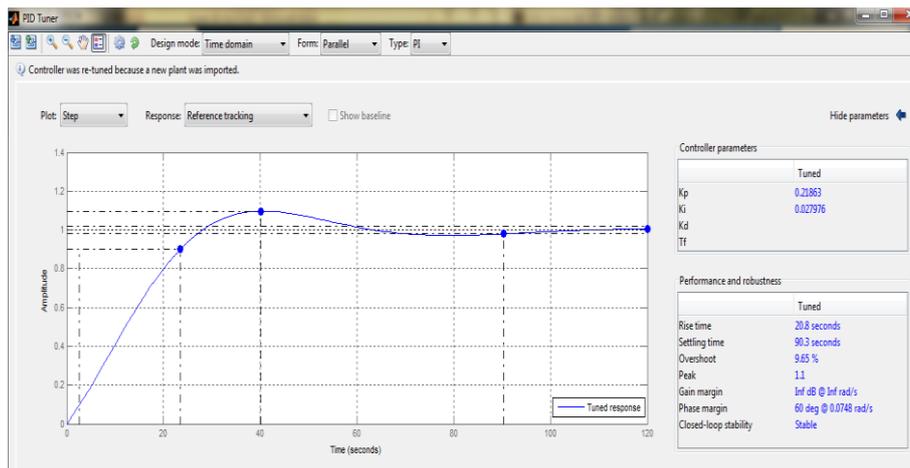
Untuk menguji kestabilan sistem pengendaliannya lebih lanjut maka diperlukan desain ulang menggunakan PID Tuner. Sebelum itu maka dilakukan analisa uji kestabilan. Uji kestabilan ini menggunakan metode Routh Hurwitz. Parameter yang telah diperoleh pada plant diuji kestabilannya agar diketahui sistem tersebut stabil atau tidak. Fungsi transfer dari keseluruhan plant adalah sebagai berikut:

$$\frac{PV(S)}{SP(S)} = \frac{1,735 S + 0,178}{0,0624 S^3 + 2,268 S^2 + 9.982 S + 1,056}$$

**Tabel 2.** Uji kestabilan PI dari data plant

$s^3$	0,0624	9,982
$s^2$	2,268	1,056
$s^1$	0,6207	
$s^0$	79,39	

Dari hasil metode perhitungan Routh Hurwitz, maka diketahui tidak ada perubahan tanda pada kolom peram dari array Routh sehingga tidak ada akar-akar persamaan karakteristik yang terletak di sebelah kanan bidang s. Hal ini menunjukkan akar-akar persamaan karakteristik berada di sebelah kiri sumbu imajiner[14]. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem stabil.



**Gambar 9.** Grafik respon dengan PID tuner

Dari hasil simulasi menggunakan PID Tuner [15] maka hasil yang diberikan lebih baik. Hal ini dikarenakan tanggapan responnya baik dan lebih cepat mencapai steady state. Hal ini sesuai dengan kriteria yang diharapkan dalam pengujian. Sistem ini menggunakan sistem close loop. Dalam sistem ini didapatkan nilai dari  $K_p$  sebesar 0,21863 sedangkan nilai dari  $K_i$  sebesar 0,027976. Sehingga diketahui pada masukan step ini respon dari sistem memiliki nilai rise time sebesar 20,8 sekon; settling time sebesar 90,3 sekon dan nilai overshootnya sebesar 9,65%. Hal ini sistem sudah stabil. Respon dari kontrol PI menunjukkan respon yang ideal dalam mendesain sebuah kontrol dengan nilai maksimum *overshoot* dan *settling time* yang normal.

#### 4. SIMPULAN

- Ketidakkuratan LCV (Level Control Valve) disebabkan oleh keterlambatan penerimaan sinyal dari DDC menuju LCV. Ketidakkuratan tersebut mempengaruhi nilai dari LP feed water dan LP steam flow berubah secara acak dan tidak ada nilai acuan yang pasti. Untuk mengatasi permasalahan ketidakkuratan bukaan LCV ataupun respon LCV tersebut untuk mencegah kondisi yang lebih ekstrim lagi maka diperlukan tindakan perawatan dan pengecekan secara berkala terhadap sistem penerimaan informasi sinyal pada LCV. Perawatan tersebut dilakukan pada bagian positioner yang terdapat pada LCV dengan melakukan kalibrasi ulang pada sistem elektrik maupun mekaniknya.
- Diperoleh sistem kontrol dengan menggunakan metode PI didapatkan nilai  $K_p = 0,218$  dan  $K_i = 0,028$  detik.
- Respon yang diberikan dari sistem telah memenuhi kriteria yang ada, seperti kestabilan maksimum overshoot sebesar 9,65%, settling time sebesar 90,3 detik, dan rise time sebesar 20,8 detik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Yusron and D. D. Saputro, "Analisa Performa Heat Recovery Steam Generator Sebelum Dan Sesudah Cleaning Di Pt Indonesia Power Tambak Lorok Semarang Menggunakan Software Matlab R.12," *Anal. Performa Heat Recover. Steam Gener. Sebelum Dan Sesudah Clean. Di Pt Indones. Power Tambak Lorok Semarang Menggunakan Softw. Matlab R.12*, vol. 16, no. 1, pp. 1–12, 2018.
- [2] R. O. Girsang, "Analisis Performa PLTGU PLN Sektor Keramasan Menggunakan Software Cycle Tempo," 2016.
- [3] D. Zhang, Y. Hu, and Y. Gao, "Optimization control of a 330 MW drum boiler unit based on DMC algorithm and DEB strategy," *ISA Trans.*, vol. 128, pp. 435–449, 2022, doi: 10.1016/j.isatra.2021.10.027.
- [4] N. Z.A, Y. P. Roja, and N. Sylvia, "Aplikasi Kontrol PID pada Reaktor Pabrik Asam Formiat dengan Kapasitas

100.000 Ton/Tahun,” *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 7, no. 2, p. 135, 2019, doi: 10.29103/jtku.v7i2.1253.

- [5] P. Zagalak, “Discrete-time control systems,” *Automatica*, vol. 33, no. 12. pp. 2281–2282, 1997. doi: 10.1016/s0005-1098(97)00139-8.
- [6] T. Khairunnisa, “Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) Unit 1 Keramasan,” *Tesis*, pp. 1–180, 2019.
- [7] R. B. di Capaci and C. Scali, “An augmented PID control structure to compensate for valve stiction,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 4, pp. 799–804, 2018, doi: 10.1016/j.ifacol.2018.06.181.
- [8] P. N. Paraskevopoulos, *Modern control engineering*. 2017. doi: 10.1201/9781315214573.
- [9] M. Linjama, M. Paloniitty, L. Tiainen, and K. Huhtala, “Mechatronic Design of Digital Hydraulic Micro Valve Package,” *Procedia Eng.*, vol. 106, pp. 97–107, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.06.013.
- [10] Handy Wicaksono and Josaphat Pramudijanto, “Kontrol PID Untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC Dengan Metode Tuning Direct Synthesis,” *J. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 10–17, 2004, [Online]. Available: <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/elk/article/view/15881>
- [11] C. S. Rao, S. S. Nagaraju, and P. S. Raju, “Automatic generation control of TCPS based hydrothermal system under open market scenario: A fuzzy logic approach,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 31, no. 7–8, pp. 315–322, 2009, doi: 10.1016/j.ijepes.2009.03.007.
- [12] P. Saka Gilap Asa, S. Priyambodo, and Subandi, “Sistem Pembelajaran Kontrol PID (Proporsional Integral Derivatif) Pada Pengatur Kecepatan Motor DC,” *J. Elektr.*, vol. 3, no. 1, pp. 72–77, 2016, [Online]. Available: <https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/elektrikal/article/view/2483>
- [13] M. Y. Coskun and M. İtik, “Intelligent PID control of an industrial electro-hydraulic system,” *ISA Trans.*, no. xxxx, 2023, doi: 10.1016/j.isatra.2023.04.005.
- [14] X. Yang, “Generalized form of Hurwitz-Routh criterion of Hopf bifurcation of higher order,” *Appl. Math. Lett.*, vol. 15, no. 5, pp. 615–621, 2002, doi: 10.1016/S0893-9659(02)80014-3.
- [15] H. Liu *et al.*, “Intelligent tuning method of PID parameters based on iterative learning control for atomic force microscopy,” *Micron*, vol. 104, no. 37, pp. 26–36, 2018, doi: 10.1016/j.micron.2017.09.009.