

**PERANCANGAN SISTEM KENDALI LEVEL AIR PADA *DEAERATOR*
MENGUNAKAN KENDALI PID STUDI KASUS PLTU 2X110 MW TELUK
BALIKPAPAN**

Robby Armando Haryanto

Jurusan Teknologi Industri dan Proses, Program Studi Teknik Mesin
Institut Teknologi Kalimantan
Email: 03161064@student.itk.ac.

ABSTRAK

Deaerator pada PLTU memiliki fungsi untuk mengurangi kadar O_2 dan CO_2 yang terkandung didalam air. Agar fungsi *deaerator* dapat maksimal, maka level air didalam tangki *deaerator* perlu dijaga agar sesuai *setpoint* yang diberikan. Sistem kendali level air sering mengalami kegagalan saat dilakukan proses *auto*, yaitu ketika level air akan mengikuti perubahan pembebanan, serta sistem kendali *plant* yang tidak mampu mengikuti perubahan *setpoint*. Agar sistem dapat berjalan secara *auto* dan dapat mengikuti perubahan *setpoint*, diperlukan metode *tuning* Ziegler-Nichols metode osilasi dan metode *Auto tuned*. Hasil dari *tuning* metode *Auto Tuned* didapatkan *rise time* 4,58s; *overshoot* 36%; *settling time* 37,1s; dan *error steady state* 0,28%. Pada metode Osilasi didapatkan *rise time* 3,45s; *overshoot* 0,0619%; *settling time* 6,42s; dan *error steady state* 0,55%. Metode Osilasi memiliki hasil respon *transient* yang lebih baik karena memiliki *settling time* lebih cepat dan sistem stabil dengan sedikit osilasi. Pengujian tracking *setpoint* dilakukan untuk mengetahui apakah sistem kendali mampu mengikuti perubahan *setpoint*. Hasil uji tracking *setpoint* metode *Auto Tuned* menunjukkan *rise time* 5,865s; *overshoot* 12%; *settling time* 61s; dan *error steady state* 0,4%, sedangkan metode Osilasi menunjukkan *rise time* 5,478s; *overshoot* 0,5%; *settling time* 20s; dan *error steady state* 0,5%. Berdasarkan hasil simulasi, PID hasil rancangan mampu mengikuti perubahan *setpoint*.

Kata kunci: *Auto Tuned*, *Deaerator*, Level air, Sistem kendali, Ziegler-Nichols metode osilasi.

ABSTRACT

Deaerator in the power plant has a function to reduce levels of O_2 and CO_2 contained in the air. In order for the *deaerator* function to be maximized, the air level in the *deaerator* tank needs to be maintained to match the given *setpoint*. Water level control systems that often fail when an automatic process is running, specifically when the water level will follow changes in loading, and the plant control system is not able to follow *setpoint* changes. In order for the system to run automatically and be able to follow *setpoint* changes, the Ziegler-Nichols oscillation tuning method and the *Auto tuned* method is required. The results of the *Auto Tuned* method obtained a *rise time* of 4,58s; *overshoot* 36%; *settling time* 37,1s; and *steady state error* 0,28%. In the Oscillation method, the *rise time* was 3,45s; *overshoot* 0,0619%; 6,42s *settling time*; and *steady state error* 0,55%. The oscillation method had a better transient response because it had a faster *settling time* and a stable system with less oscillation. *Setpoint tracking* test was performed to determine whether the control system was able to follow the *setpoint* changes. The *setpoint tracking* test results from the *Auto Tuned* method showed a *rise time* of 5,865s; 12% *overshoot*; *settling time* 61s; and *steady state error* 0,4%, while the Oscillation method showed a *rise time* of 5,478s; *overshoot* 0,5%; *settling time* 20s; and 0,5% *steady state error*. Based on the simulation results, the design PID was able to follow *setpoint* changes.

Keywords: *Auto Tuned*, Control system, *Deaerator*, Water level, Ziegler-Nichols oscillation method.

1. PENDAHULUAN

Sistem pengendalian pada industri merupakan faktor yang sangat penting dalam proses produksi. Agar produksi tetap tercapai maka suatu sistem pengendalian sangat diperlukan untuk menjaga kestabilan variabel proses. Variabel proses antara lain temperatur, tekanan, *flow*, level, konsentrasi, volume dan lain sebagainya. Proses yang ada pada industri mempunyai karakteristik yang *nonlinier*, *multivariabel* dan kompleks.

Deaerator merupakan alat yang digunakan dalam industri kimia dan pembangkit tenaga listrik. Fungsi dari alat tersebut adalah menghilangkan gas-gas yang terkandung dalam air yang akan dipakai didalam *boiler*. Gas-gas berupa O_2 dan CO_2 , dapat menyebabkan korosi pada *boiler* apabila tidak dihilangkan. Proses menghilangkan gas-gas tersebut yaitu dengan cara memasukkan uap sebagai pemanas yang akan menguapkan gas-gas didalam air. Setelah itu air yang telah melalui proses pemanasan (*heating*) akan ditampung didalam tangki *deaerator* yang merupakan bagian dari *deaerator* sebelum dialirkan pada *boiler*. Level air pada *deaerator* perlu dikendalikan agar tidak melebihi muatan yang diijinkan atau agar *supply* air kedalam *boiler* dapat terus tercukupi.

Level air pada *deaerator* dapat diatur dengan cara mengontrol laju aliran yang masuk kedalam tangki *deaerator*. *Control valve* digunakan untuk mengatur laju air yang masuk kedalam *deaerator* yang mendapat *input* kerja dari *sensor* level yang terdapat didalam *deaerator*. Sistem kendali PID memiliki beberapa jenis pengendalian yaitu *Proportional* (P), aksi kendali *Integral* (I) dan aksi kendali *Derivatif* (D). Aksi kendali ini memiliki keunggulan yang berbeda beda, dimana aksi kendali proporsional mempunyai keunggulan *rise time* yang cepat, aksi kendali *integral* mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error*, dan aksi kendali derivatif mempunyai keunggulan untuk meredam *overshoot*. Jika ketiga pengendalian tersebut digabungkan dapat menjadi *Proportional*, *Integral* dan *Derivative* (PID) [10]. Sistem kendali PID *plant* tidak mampu stabil pada *setpoint*, sistem kendali sering terjadi kegagalan saat diberikan perubahan nilai *setpoint* yaitu laju aliran cenderung menurun saat adanya perubahan dan juga sistem membutuhkan waktu yang lama agar mampu stabil pada *setpoint* yang diberikan. Metode *tuning* PID dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols osilasi merupakan metode *tuning* yang banyak di gunakan pada bidang industri yang merupakan metode *tuning* otomatis. Metode Ziegler-Nichols osilasi memiliki parameter-parameter PID yang ditentukan berdasarkan osilasi sistem, Ziegler-Nichols secara empiris menetapkan sistem kendali berdasarkan umpan balik dan tetapan parameter-parameter [2].

Pengendalian level air *deaerator* di PLTU Teluk Balikpapan menggunakan sistem kendali PID. Sistem kendali PID pada PLTU Teluk Balikpapan di kendalikan secara manual sesuai dengan perubahan beban. Operator harus menyesuaikan *control valve* dengan beban yang dihasilkan dalam proses pengendaliannya. Perencanaan pengendalian level *deaerator* pada PLTU Teluk Balikpapan 2x110 MW kontrol PID pada PLTU Teluk Balikpapan tidak pernah *dituning* sejak pertama pemasangan *plant*, maka perlu adanya pembandingan dengan metode *tuning* PID yang akan dikerjakan. Dari *tuning* kontrol PID yang akan dikerjakan akan dibandingkan dengan kendali PID PLTU Teluk Balikpapan. Dari hasil *tuning* PID yang dikerjakan harus memenuhi kriteria performansi, dan hasil tersebut akan diterapkan pada sistem kendali PID level air pada *deaerator*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Proses penelitian tugas akhir ini berlokasi di PLTU Teluk Balikpapan yang dikelola oleh PT. PJB UBJOM TELUK BALIKPAPAN. Perancangan sistem kendali level *deaerator* untuk mengatasi permasalahan pada PLTU. Berikut beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini:

2.1 Studi Literatur

Tahap ini dilakukan pencarian literatur terbuka dan publikasi ilmiah, yang sesuai dengan penelitian dan dapat dijadikan acuan atau dasar dalam penelitian ini. Proses studi literatur menitik

beratkan pencarian dan pengkajian pada materi *deaerator*, *Proportional-Integral-Derivative (PID)*, *transmitter*, *control valve*, metode *Ziegler-Nichols*, *Auto tuned PID Matlab*, serta *Respon Transient*

2.2 Pengambilan Data

Data *deaerator* berupa laju aliran air, *setpoint*, level air dimensi tabung. Data selanjutnya ialah data *transmitter* dan data *control valve*. Pengambilan data diperoleh melalui ruang *Central Control Room (CCR)*. Selanjutnya data yang telah diperoleh digunakan untuk melakukan pemodelan matematis pada *plant*.

2.2 Pemodelan Matematis

Pemodelan matematis pada level *transmitter*, *control valve* dan *deaerator* menggunakan data yang dimiliki. Selanjutnya melakukan validasi terhadap model matematis dengan cara membandingkan nilai *output* level dari kondisi lapangan dengan nilai *output* level dari hasil pemodelan matematis [3]. Langkah selanjutnya melakukan *tuning* PID menggunakan metode konvensional Z-N dan menggunakan metode *auto tuned*.

2.2 Simulasi

Simulasi blok diagram *plant* menggunakan data pemodelan matematis. Simulasi dilakukan menggunakan *software*. Hasil simulasi berupa respon *transient overshoot*, *rise time*, *error steady state*, dan *settling time* [5]. Simulasi dilakukan untuk mengetahui perbandingan respon *transient* sistem kendali *plant* dengan sistem kendali rancangan. Simulasi respon sistem kendali dikatakan berhasil apabila sistem kendali rancangan memiliki osilasi yang lebih sedikit, *rise time* dan *settling time* yang cepat, dan *overshoot* yang rendah.

2.2 Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan dilakukan setelah didapatkan respon *transient* dari sistem kendali *plant* dan sistem kendali rancangan. Analisis yang dilakukan adalah analisis respon transien agar dapat melihat perbandingan respon sistem *plant* dengan sistem rancangan. Analisis karakteristik respon sistem kendali yaitu nilai *rise time*, nilai *overshoot*, nilai *settling time* dan *steady state error*. Respon sistem kendali rancangan dikatakan lebih baik apabila memiliki osilasi yang lebih sedikit, *rise time* dan *settling time* yang cepat, dan *overshoot* yang rendah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut hasil dan analisis pembahasan pada penelitian Perancangan Sistem Kendali Level Air Pada *Deaerator* Menggunakan Kendali PID Studi Kasus Pltu 2x110 Mw Teluk Balikpapan.

3.1 Pemodelan Matematis

Perancangan sistem kendali PID perlu dilakukan pemodelan dari *deaerator* selanjutnya dilakukan pemodelan pada *control valve* setelah itu dilakukan pemodelan pada *transmitter*. Pemodelan matematis diperlukan untuk melakukan simulasi menggunakan *software* [8].

3.1.1 Pemodelan Matematis Deaerator

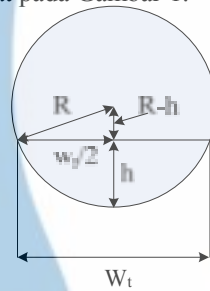
Pemodelan matematis *deaerator* menggunakan persamaan kesetimbangan massa yaitu [akumulasi massa per satuan waktu] = [massa masuk per satuan waktu] – [massa keluar per satuan waktu] [1].

$$\rho \frac{dV}{dt} = F_i \rho_i + m_s - F_o \rho_o \quad (1)$$

Selanjutnya diperlukan pemodelan bentuk tangki. Tangki pada *deaerator* memiliki bentuk bangun ruang yang menyerupai bentuk tabung. Setelah diketahui pendekatan model tangki berbentuk tabung maka, hubungan antara volume dan ketinggian adalah:

$$dV = Adh = W_t L dh \quad (2)$$

Pendekatan volume tabung dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pendekatan Volume Tabung
Sumber: Ariyanto, 2011.

Data dari diameter, ketinggian air dan Panjang tabung ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Desain Deaerator

Data	Nilai
Diameter (D)	3,24 meter
Ketinggian Cairan (h)	0,8 meter
Panjang Tabung (L)	13,78 meter

Sumber: Data Desain *Deaerator* PJB

Setelah didapatkan data desain *deaerator* selanjutnya dilakukan perhitungan volume tangki *deaerator*, karena *deaerator* memiliki bentuk tabung maka dilakukan perhitungan menggunakan pendekatan volume tabung.

$\frac{w_t}{2}$ adalah Panjang dari salah satu sisi segitiga. Hubungan dari $\frac{w_t}{2}$ dan h dapat diketahui menggunakan rumus phitagoras.

$$\frac{w_t}{2} = \sqrt{R^2 - (R - h)^2} \quad (3)$$

$$w_t = 2\sqrt{(D - h)h}$$

$$dV = 2\sqrt{(D - h)h} L dh$$

$$dV = 2\sqrt{(3,24 - 0,8) \times 0,8} \times 13,78 dh$$

$$dV = 38,505 dh$$

$$38,505 \rho \frac{dh}{dt} = F_i \rho_i + m_s - F_o \rho_o$$

$$38,505 \frac{dh}{dt} = F_i + \frac{1}{\rho} m_s - F_o$$

$$38,505 \frac{dh}{dt} = F_i + \frac{1}{\rho} m_s - K\sqrt{h}$$

Penyelesaian persamaan diatas perlu adanya *linearisasi* dengan menggunakan deret *taylor*. Penyusunan sesuai deret *taylor* ditunjukkan pada Persamaan (4).

$$\frac{dy'}{dt} = \frac{\partial f}{\partial y} y' + \frac{\partial f}{\partial x} x' + \frac{\partial f}{\partial z} z' \quad (4)$$

Dari persamaan deret *taylor* diatas maka persamaan dapat di susun:

$$\frac{dh'}{dt} = \frac{\partial f}{\partial F_i} F_i' + \frac{\partial f}{\partial m_s} m_s' + \frac{\partial f}{\partial h} h'$$

Variable deviasi sebagai berikut:

$$F_i' = F_i - \bar{F}_i ; m_s' = m_s - \bar{m}_s ; h' = h - \bar{h}$$

Setelah *linearisasi* menggunakan deret *taylor* didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{dh'}{dt} = F_i' + \frac{1}{\rho} m_s' - \frac{K}{2\sqrt{h}} h' \quad (5)$$

Selanjutnya persamaan akan disederhanakan, untuk mendapatkan fungsi *transfer* dari proses yaitu:

$$h' = \frac{G_p}{\tau_p s + 1} F_i' + \frac{G_m}{\tau_p s + 1} m_s' \quad (6)$$

Dikarenakan nilai K untuk *flow out deaerator* tidak tersedia diperusahaan, karena tipe *deaerator* pada perusahaan dan *deaerator* pada jurnal memiliki tipe yang sama, maka digunakan nilai K dari jurnal yang telah dilakukan penelitian tugas akhir. Didapatkan nilai K sebesar 1 maka fungsi *transfer* dari proses sebagai berikut:

$$G_p = \frac{2\sqrt{h}}{K} ; G_m = \frac{2\sqrt{h}}{K\rho} ; \tau_p = \frac{2\sqrt{h}}{38,505K} \quad (7)$$

$$G_p = \frac{2\sqrt{0,8}}{1} = 1,78$$

$$G_m = \frac{2\sqrt{0,8}}{1 \times 1000} = 0,00178$$

$$\tau_p = \frac{2\sqrt{0,8}}{38,505 \times 1} = 0,0464577167$$

G_p merupakan *gain* dari proses yaitu laju aliran volume air umpan. G_m merupakan *gain* dari *load* yaitu laju aliran massa steam. τ_p merupakan *time* konstan dari proses dan juga *load*.

$$h = \frac{1,78}{0,0464577167s + 1} F_i + \frac{0,00178}{0,0464577167s + 1} m_s$$

3.1.2 Pemodelan Matematis Control Valve

Pengendalian level air pada *deaerator* membutuhkan *control valve* untuk mengatur laju aliran yang akan masuk kedalam tangki *deaerator*. *Control valve* yang digunakan pada PLTU Teluk Balikpapan bertipe *pneumatic* dengan jenis *actuator diaphragma* yang memiliki *range* bukaan katup 0% - 100%. Menggunakan *input* sinyal elektrik dengan *input* 4-20 mA kemudian dikonversi menjadi sinyal *pneumatic* 3-15 psig untuk menggerakkan *actuator* biasanya dikenal dengan sistem I/P [6]. fungsi *transfer* ditunjukkan pada Persamaan (8).

$$\frac{MV_{CV}(S)}{U(S)} = \frac{K_{CV}}{\tau_{CV}S + 1} \quad (8)$$

Gain control valve (K_{cv}) bisa didapatkan dengan Persamaan (9).

$$K = \frac{\text{laju aliran maksimum}}{\Delta \text{tekanan masukan}} \quad (9)$$

$$K = \frac{174,913 \text{ kg/s}}{(15 - 3)\text{psi}} = 14,576$$

Sedangkan untuk *gain* I/P

$$G_c = \frac{(15 - 3)\text{psi}}{(20 - 4)\text{mA}} = 0,75 \frac{\text{psi}}{\text{mA}}$$

Gain total control valve dapat diperoleh dengan Persamaan (10)

$$\begin{aligned}
 K_{CV} &= K \cdot G_c & (10) \\
 &= 14,576 \times 0,75 \\
 &= 10,9320 \text{ kg/s.mA}
 \end{aligned}$$

Time constant dari control valve didapatkan dari Persamaan (11)

$$\tau_{CV} = T_V(\Delta V + R_{CV}) \quad (11)$$

Actuator yang digunakan model *diaphragma* maka nilainya adalah 0,03 dan untuk Nilai T_V diperoleh dari Persamaan (12)

$$\begin{aligned}
 T_V &= \frac{Y_c}{C_V} & (12) \\
 T_V &= \frac{0,676}{0,39} = 1,73
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_{CV} &= 1,73 \left(\frac{174,913 - 0}{174,913} + 0,03 \right) \\
 \tau_{CV} &= 1,785
 \end{aligned}$$

Maka fungsi transfer dari control valve adalah sebagai berikut:

$$\frac{MV_{CV}(S)}{U(S)} = \frac{10,9320}{1,785S + 1}$$

3.1.3 Pemodelan Matematis Transmitter

Level transmitter merupakan alat yang berfungsi sebagai pengukur level air didalam tangki *deaerator*, serta mentransmisikan hasil konversinya kebesaran elektrik 4mA-20mA, maka dipasang level transmitter dengan range sebesar 0 mm sampai dengan 2400 mm.

Transmitter dilakukan pemodelan matematis dengan Persamaan (13) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 G_T &= \frac{\text{Span output}}{\text{Span input}} & (13) \\
 G_T &= \frac{I_{maks} - I_{min}}{H_{maks} - H_{min}}
 \end{aligned}$$

Nilai G_T merupakan nilai dari penguat level transmitter dapat diperoleh dengan perbandingan *span output* dan *span input*.

$$G_T = \frac{(20 - 4) \text{mA}}{(2400 - 0) \text{mm}} = 0,00667 \frac{\text{mA}}{\text{mm}}$$

Dikarenakan *time* konstan dari level transmitter untuk *deaerator* tidak tersedia diperusahaan, karena transmitter yang digunakan pada *deaerator* dan *steam drum* memiliki model dan merek yang sama, maka digunakan *time constant* dari level transmitter *steam drum* yang telah dilakukan penelitian tugas akhir [7]. Didapatkan nilai *time constant* sebesar 0,2 sekon maka fungsi level transmitter sebagai berikut:

$$\frac{M(S)}{U(S)} = \frac{G_T}{\tau_T S + 1} \quad (14)$$

$$\frac{M(S)}{U(S)} = \frac{0,0067}{0,2s + 1}$$

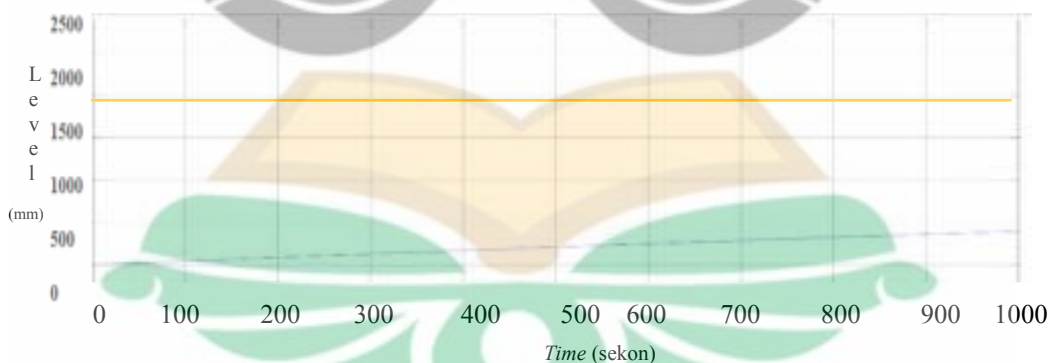
3.1.3 Pemodelan Sistem Plant

Pemodelan matematis yang telah dilakukan pada masing – masing komponen *plant*, selanjutnya dilakukan pemodelan menjadi bentuk blok diagram pada *Simulink* menggunakan sistem tertutup (*close loop*). Penyusunan sistem *plant* secara tertutup dilakukan dengan alasan sistem menggunakan *transmitter* sebagai pembaca level aktual pada *deaerator*, kemudian akan menyesuaikan dengan nilai *setpoint* level. *Converter* pada simulasi digunakan sebagai sarana pengubah nilai *input* level berupa *setpoint* menjadi arus listrik (mA). Susunan blok diagram ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Tanpa Sistem Kendali

Blok diagram tanpa sistem kendali menunjukkan bahwa tidak ada sistem kendali yang digunakan baik itu sistem kendali menggunakan *fuzzy logic* maupun menggunakan sistem kendali PID dari diagram blok diatas tanpa adanya sistem kendali maka tidak ada sistem yang memanipulasi laju aliran air sehingga laju aliran pada *control valve* tidak dapat mencapai nilai *setpoint* yang diberikan yang memiliki level air setinggi 1900 mm nilai *setpoint* yang digunakan merupakan nilai *setpoint* pada *plant* dengan beban 90 MW. Didapatkan respon grafik dari blok diagram jika *plant* tidak menggunakan sistem kendali, yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Respon Grafik Control Valve Tanpa Sistem Kendali

Diketahui pada Gambar 3. bahwa sumbu x menunjukkan waktu dengan satuan sekon dan sumbu y menunjukkan level dengan satuan mm. Garis kuning pada grafik merupakan *setpoint* dan garis biru pada grafik adalah respon *transient* sistem. Hasil respon *plant* yang tidak diberikan sistem pengendali dapat diketahui bahwa sistem tidak dapat mencapai nilai *setpoint* yang telah diberikan

yaitu dengan nilai 1900 mm. Upaya yang dilakukan untuk mencegah terjadinya hal diatas dilakukan pemasangan sistem kendali PID untuk memanipulasi besaran sinyal *input control valve* sehingga sistem dapat mencapai *setpoint* yang ditentukan. Diagram blok menggunakan sistem kendali PID dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Blok Sistem Kendali PID

3.2 Uji Respon Masukan Step

Uji performansi yang dilakukan adalah dengan memberikan masukan berupa besaran step yang dalam hal ini berupa level air pada kondisi Normally Water Level (NWL) *deaerator* yaitu 1900 mm.

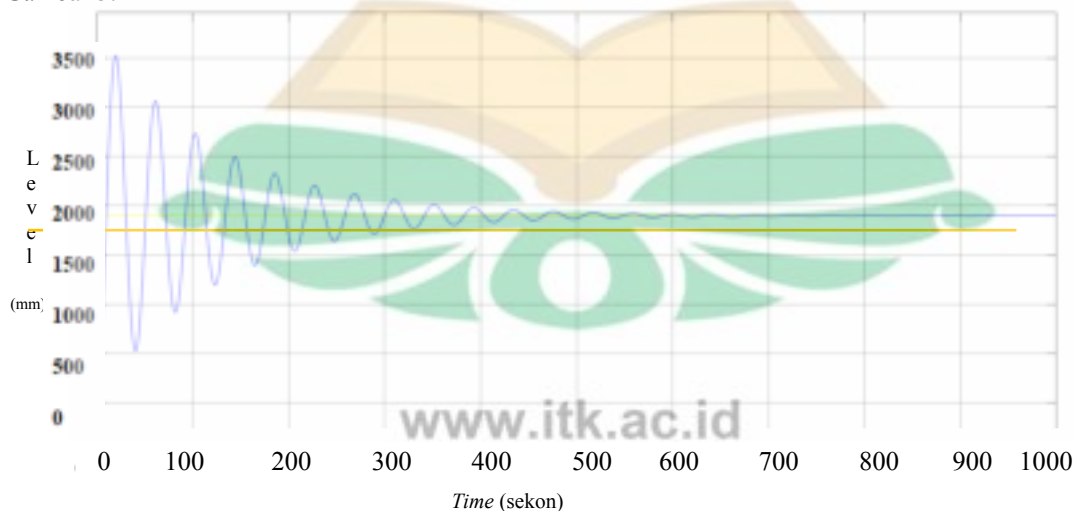
3.2.1 Sistem Kendali Parameter Plant

Sistem kendali PID pada PLTU TELUK BALIKPAPAN memiliki nilai parameter kendali PID yang telah ditentukan sejak awal berjalannya *plant*. Simulasi perlu dilakukan dengan parameter yang ada untuk mengetahui apakah parameter kendali yang digunakan telah sesuai dengan yang diinginkan. Nilai parameter *plant* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter PID *Plant*

sistem kendali	K_p	K_i	K_d
PID <i>Plant</i>	89	99	1

Simulasi dilakukan dengan parameter kendali PID *plant* diatas menggunakan sistem secara *close loop* dan dijalankan selama 5000 sekon. Hasil dari sistem *close loop plant* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Respon Grafik Sistem Kendali PID *Plant*

Diketahui pada Gambar 5. bahwa sumbu x menunjukkan waktu dengan satuan sekon dan sumbu y menunjukkan level dengan satuan mm. Garis kuning pada grafik merupakan *setpoint* dan garis biru pada grafik adalah respon *transient* sistem. Ditunjukkan pada Gambar 5. bahwa kendali PID pada *plant* dapat menjaga level airnya terhadap *setpoint* yang diberikan yaitu dengan diberi nilai *setpoint* sebesar 1900 mm yang merupakan nilai *setpoint* pada *plant*. Respon *transient* sistem didapatkan melalui *toolbar measurements* pada *Matlab*, hasil respon *transient* sistem ialah *Rise time* 6,96s, *overshoot* sebesar 84,9% dari *setpoint*. *Steady state error* yang dimiliki sistem pada *plant* sebesar 0,27% *settling time* sebesar 479s.

3.2.1 Tuning Parameter PID Metode Z-N Osilasi

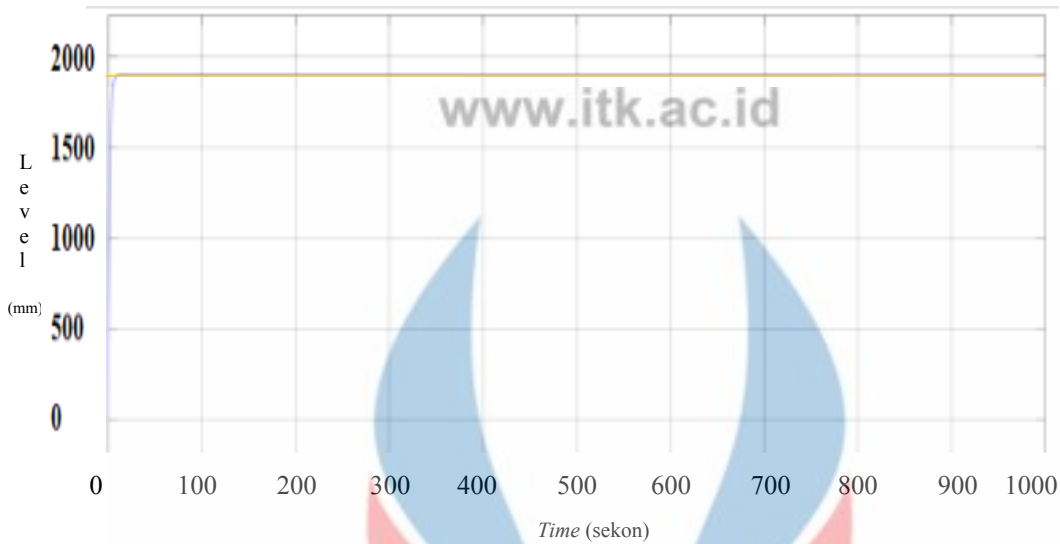
Metode osilasi merupakan metode yang didasarkan pada reaksi sistem *close loop*. Cara *tuning* metode ini pertama parameter integrator diatur menjadi tak hingga dan parameter derivatif diatur menjadi nilai nol ($T_i = \infty$; $T_d = 0$). Metode ini hanya digunakan parameter proporsional, selanjutnya nilai K_p ditingkatkan dari nilai nol sampai dengan nilai dimana grafik dapat berosilasi secara stabil pada nilai kritis. Nilai penguatan proporsional hingga mencapai grafik osilasi stabil disebut sebagai *Critical Gain* (K_{cr}). Nilai K_{cr} dan nilai P_{cr} yang telah didapatkan digunakan untuk mendapatkan nilai T_i dan T_d menggunakan persamaan yang telah dibuat oleh Ziegler-Nichols [9]. Persamaan untuk mendapatkan nilai T_i dan T_d ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Penalaan Parameter PID dengan Metode Osilasi

Tipe Kontroler	K_p	K_i	K_d
P	$0,5K_{cr}$	∞	0
PI	$0,45K_{cr}$	$\frac{1}{1,2}P_{cr}$	0
PID	$0,6K_{cr}$	$0,5P_{cr}$	$0,125P_{cr}$

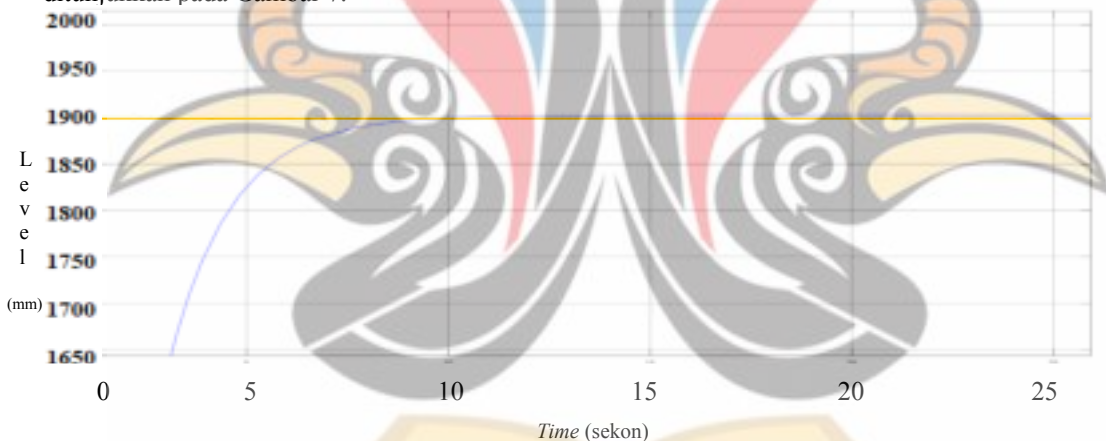
Sumber: Ogata, 2010

Periode osilasi pada grafik disebut sebagai *Critical Period* (P_{cr}). Dengan memasukkan nilai K_p sebesar 4046,44, sistem *plant* menunjukkan reaksi respon yang berosilasi dengan *magnitude* tetap. Nilai K_p pada sistem osilasi sama dengan nilai K_{cr} . Nilai *critical period* (P_{cr}) didapat dari respon osilasi sebesar 3,654s. Dengan memasukkan nilai K_{cr} dan P_{cr} yang didapat ke dalam Tabel 3. Maka didapatkan parameter PID dengan nilai $K_p = 2427.8$, $T_i = 1.871$ s dan $T_d = 0.456$ s. Respon dari grafik yang telah dilakukan *tuning* PID metode osilasi dengan menggunakan parameter yang telah dilakukan pada perhitungan sebelumnya didapatkan grafik respon seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Respon Sistem *Close Loop* Osilasi

Karena nilai *overshoot* pada *tuning* kendali PID metode osilasi sangat kecil maka grafik *overshoot* ditunjukkan pada Gambar 7.

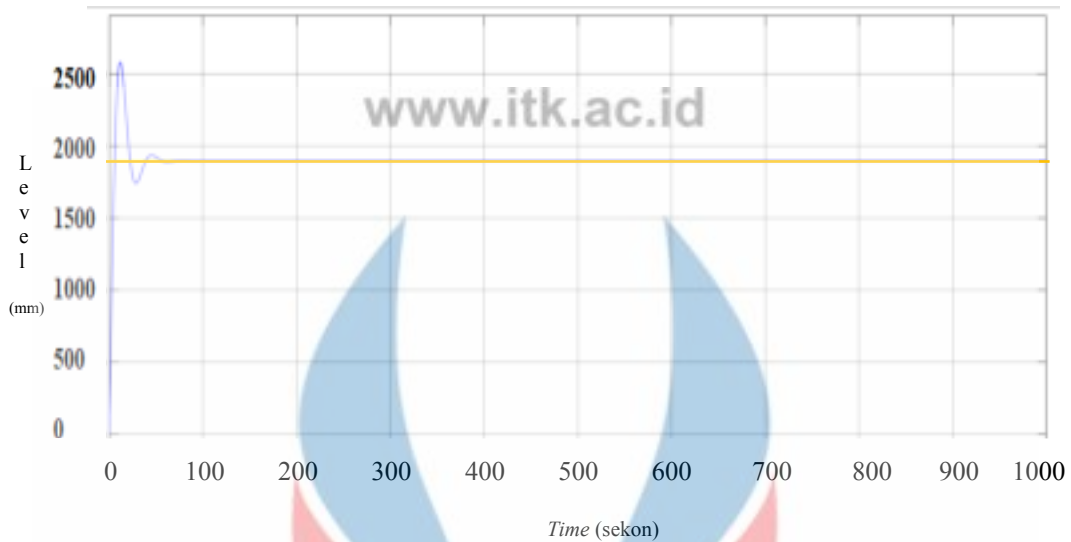


Gambar 7. Grafik *Overshoot* Respon Sistem *Close Loop* Osilasi

Ditunjukkan pada Gambar 4.9 bahwa kendali PID menggunakan metode osilasi menunjukkan dapat menjaga level air pada *deaerator*, diberikan nilai *setpoint* sebesar 1900 mm yang merupakan nilai *setpoint* pada *plant*. Respon *transient* sistem didapatkan melalui *toolbar measurements* pada *Matlab*, hasil respon *transient* sistem ialah *Rise time* 3,45s dan memiliki nilai *overshoot* sebesar 0,0619% dari *setpoint*. *Steady state error* yang dimiliki sistem pada *plant* sebesar 0,55%, dan nilai *settling time* sebesar 6,42s.

3.2.1 *Tuning* PID Metode *Auto Tuned* *Matlab*

Metode *auto tuned* digunakan untuk mendapatkan nilai K_p , K_i , K_d metode ini dilakukan pada reaksi sistem tertutup. Selanjutnya dari grafik respon sistem *plant* dilakukan *tuning* dengan mengatur grafik sesuai dengan respon yang diinginkan yaitu menurunkan nilai *overshoot*, mempercepat *rise time*, mempercepat *settling time*, menurunkan nilai *error*. Respon dari grafik yang telah dilakukan *tuning* PID menggunakan *auto tuned* dengan menggunakan parameter yang telah dilakukan pada perbandingan mendapatkan grafik respon seperti pada Gambar 8 [4].



Gambar 8. Tuning PID Menggunakan *Auto Tuned*

Dari respon grafik diatas nilai parameter K_p , K_i , K_d yang didapatkan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Parameter K_p , K_i , K_d Tuning *Auto Tuned*

sistem kendali	K_p	K_i	K_d
<i>Tuning</i> PID	764,94	178,81	1

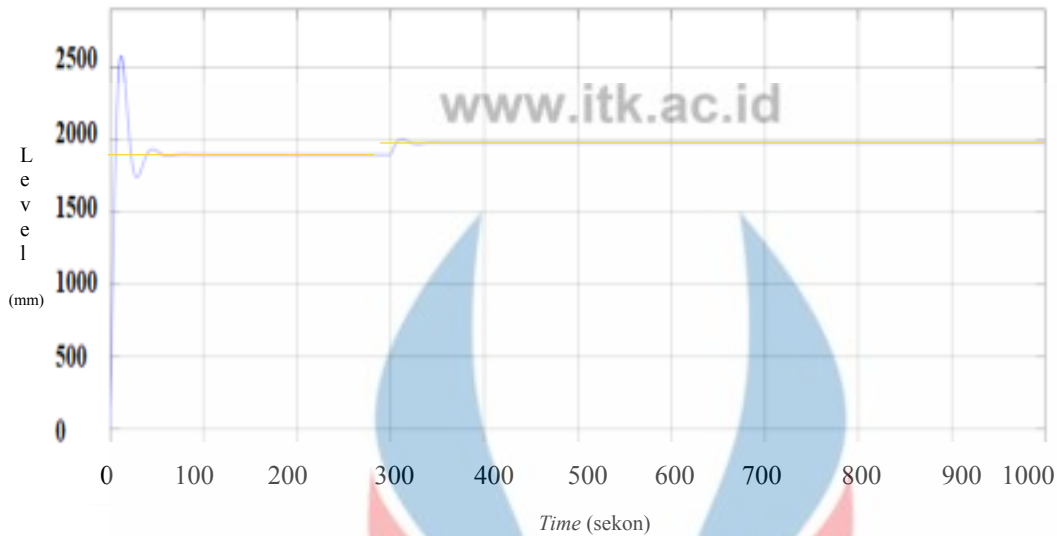
Ditunjukkan pada Gambar 4.4 bahwa kendali PID hasil *tuning* dapat menjaga level airnya terhadap *setpoint* yang diberikan yaitu nilai *setpoint* sebesar 1900 mm yang merupakan nilai *setpoint* pada *plant*. Respon *transient* sistem didapatkan melalui *toolbar measurements* pada *Matlab*, hasil respon *transient* sistem ialah *Rise time* 4,58s dan memiliki nilai *overshoot* sebesar 36% dari *setpoint*. *Steady state error* yang dimiliki sistem pada *plant* sebesar 0,28% dan *settling time* sebesar 37,1s. Respon grafik dari masing masing *tuning* dilakukan perbandingan untuk mengetahui aturan *tuning* yang memiliki grafik respon terbaik, hasil masing masing karakteristik respon ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik Respon Sistem Kendali

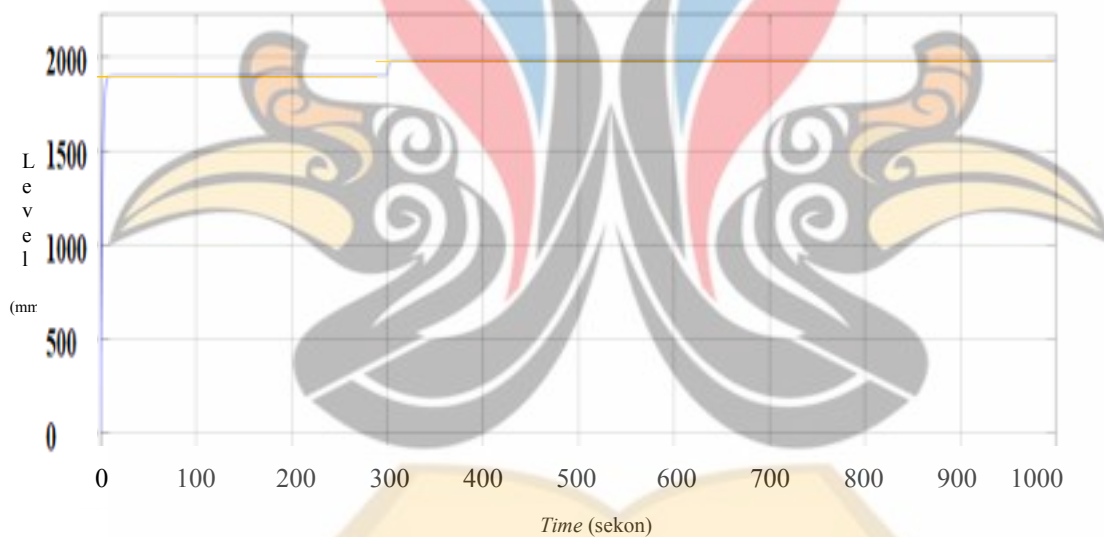
Tipe Kontroler	<i>Rise time</i> (s)	<i>Max Overshoot</i> (%)	<i>Settling time</i> (s)	<i>Error steady state</i> (%)
PID <i>Plant</i>	6,96	84,9	479	0,27
<i>Auto Tuned</i> PID	4,58	36	37,1	0,28
PID Osilasi	3,45	0,0619	6,42	0,55

3.2. Uji Tracking Setpoint

Uji *tracking setpoint* merupakan pengujian terhadap sistem untuk mengetahui sejauh mana kemampuan sistem kendali dalam mengatasi kondisi pada saat diberikan gangguan *internal* berupa perubahan *setpoint*. Pengujian dilakukan dengan memberikan perubahan *setpoint* level dari nilai 1900mm menjadi 1980mm pada sekon ke-300. Pengujian *tracking setpoint* dilakukan pada sistem kendali rancangan yaitu metode Z-N osilasi dan metode *auto tuned*. Hasil uji tracking setpoint dapat dilihat pada Gambar 9, dan Gambar 10.



Gambar 9.1 Tracking Setpoint Metode Auto Tuned



Gambar 10. Tracking Setpoint Ziegler-Nichols Metode Osilasi

Respon grafik dari masing masing uji *tracking setpoint* dilakukan perbandingan untuk mengetahui apakah sistem mampu mengikuti perubahan *setpoint*, hasil masing masing karakteristik respon ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik Respon Sistem Kendali

Tipe Kontroler	Rise time (s)	Max Overshoot (%)	Settling time (s)	Error steady state (%)
<i>Auto Tuned</i> PID <i>Matlab</i>	5,86	12	61	0,4
PID Osilasi	5,47	0,5	20	0,5

4. KESIMPULAN

Hasil perancangan dan analisis sistem kendali level air pada *deaerator* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Didapatkan parameter PID yang mampu menjaga level air yaitu dengan *rise time* maksimum 4,58s *overshoot* maksimum 36%; *settling time* maksimum 37,1s; dan *error steady state* maksimum 0,55%
2. Respon *transient plant rise time* 6,96s; *overshoot* 84,9%; *settling time* 479s; dan *error steady state* 0,27%. Sedangkan respon *transient* dari PID rancangan metode *Tuning Auto Tuned* PID *rise time* 4,58s; *overshoot* 36%; *settling time* 37,1s; dan *error steady state* 0,28%. Sedangkan pada *Tuning* PID Ziegler-Nichols metode Osilasi *rise time* 3,45s; *overshoot* 0,0619%; *settling time* 6,42s; dan *error steady state* 0,55%. Sistem kendali PID rancangan memiliki respon *transient* lebih baik dari sistem kendali PID *plant* dengan *rise time* yang lebih cepat, *overshoot* rendah dan osilasi yang lebih sedikit.
3. Hasil uji *tracking setpoint* pada sistem kendali PID rancangan mampu mengikuti perubahan *setpoint* dengan waktu yang singkat, dengan hasil dari uji *tracking setpoint* dengan metode *Tuning PID Auto Tuned* didapatkan hasil respon *transient rise time* 5,865s; *overshoot* 12%; *settling time* 61s; dan *error steady state* 0,4%. Uji *tracking setpoint* dengan *Tuning* PID Ziegler-Nichols metode Osilasi didapatkan hasil respon *transient rise time* 5,478s; *overshoot* 0,5%; *settling time* 20s; dan *error steady state* 0,5%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Institut Teknologi Kalimantan, Karang joang, Balikpapan. Terima kasih kepada Illa Rizianiza S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama. Teman teman seperjuangan pengerjaan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ariyanto. 2011. "Perancangan Sistem Pengendalian Level *Deaerator* Menggunakan *Fuzzy Gain Scheduling*-PI Di PT PERTOWIDADA". Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Teknik Fisika. Surabaya.
- [2] Eka Candra Wijaya. 2005. "Auto *Tuning* PID Berbasis Metode Osilasi Ziegler- Nichols Menggunakan *Mikrokontroler* AT89S52 pada Pengendalian Suhu". Universitas Diponegoro. Teknik Elektro. Semarang.
- [3] Ira Nur Widiyanti. 2017. "Perancangan Sistem Pengendalian Level Berbasis Model *Reference Adaptive Control* (Mrac) Pada *Separator* PT Petrokimia Gresik". Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Teknik Fisika. Surabaya.
- [4] Mathwork. (2017). *Automated Tuning of Simulink PID Controller Block*. [online] tersedia di: <https://www.mathworks.com/help/slcontrol/gs/automated-tuning-of-simulink-pid-controller-block.html> [diakses pada tanggal 25 Nopember 2019].
- [5] Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering* (5th Edition ed.). New Jersey, United States of America: Prentice Hall.
- [6] Permanahadi, R., & Soehartanto, D. (2012). Perancangan "*Switching Control*" Pada Pompa di *Simulator* Sistem Pengendalian Level dan Temperatur. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Teknik Fisika. Surabaya: Digilib ITS.
- [7] Tony Saputra. 2017. "Perancangan Sistem Kendali Level Air pada *Steam drum* Menggunakan Kendali PID dan *Fuzzy logic* (FLC) Studi Kasus PLTU 2x110 MW Teluk Balikpapan". Institut Teknologi Kalimantan. Teknik Mesin. Balikpapan.
- [8] Wahyu Pamungkas. 2015. "Perancangan Sistem Pengaturan Level *Deaerator* Pada *Simulator* PLTU Menggunakan *Quantitative Feedback Theory* (QFT)". Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Teknik Elektro. Surabaya.

- [9] Yucelen, T., Kaymakci, O., & Kurtulan, S. (2006). *Self-Tuning PID Controller Using Ziegler-Nichols Method for Programmable Logic Controllers. IFAC Workshop on Applications of Large Scale Industrial Systems* , 39 (14), 11.
- [10] Yudianto, H. 2012. "Perancangan Sistem Kontrol PID Menggunakan *Simulink*". *Jurnal Sistem Kontrol* , 1.



www.itk.ac.id