

Rancang Bangun Sistem Kontrol Level Berbasis PID Controller UT55A Yokogawa Dengan Metoda Tuning Ziegler Nichols

Martinus Sabono¹, Umi Yuliatin^{1*}, Suka Handaja¹

¹ Program Studi Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas
Jl. Sorogo No.38 Cepu – Blora – Jawa Tengah, 58311, INDONESIA

*Corresponding Author: umi.yuliatin@esdm.go.id

DOI: <https://doi.org/10.53026/inhardware.v3i2.70>

Article Info

Received: 11st June 2025
Accepted: 15th Dec. 2025
Available online: 22th Dec. 2025

Keywords

PID Controller UT55A, Level control, Ziegler-Nichols, Yokogawa

Abstrak

Kontrol level dalam sistem industri merupakan aspek penting untuk menjaga kestabilan proses dan efisiensi operasional. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem kontrol level otomatis berbasis PID Controller UT55A buatan Yokogawa. Perancangan sistem ini menggunakan metode tuning Ziegler-Nichols untuk memperoleh parameter kontrol PID yang optimal. Sensor yang digunakan adalah transmitter tekanan diferensial Yokogawa EJA110E, yang dipasang 40 cm di bawah dasar tangki. Rentang pengukuran level cairan disesuaikan dengan ketinggian cairan 0 hingga 385 mm, dengan nilai LRV sebesar 400 mmH₂O dan URV sebesar 785 mmH₂O. Metode tuning Ziegler-Nichols digunakan untuk menentukan nilai konstanta proporsional (Kp), integral (Ti), dan derivatif (Td) yang menghasilkan respons sistem yang cepat dan minim overshoot. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis respons sistem terhadap gangguan dan perubahan setpoint sebelum dan sesudah tuning.

Abstract

Liquid level control in industrial systems is a crucial aspect for maintaining process stability and operational efficiency. This study aims to design and develop an automatic level control system based on the Yokogawa UT55A PID Controller. The system design utilizes the Ziegler-Nichols tuning method to obtain optimal PID control parameters. The sensor used is a Yokogawa EJA110E differential pressure transmitter, installed 40 cm below the bottom of the tank. The measurement range is adjusted to a liquid level height of 0 to 385 mm, with an LRV of 400 mmH₂O and a URV of 785 mmH₂O. The Ziegler-Nichols tuning method is employed to determine the proportional (Kp), integral (Ti), and derivative (Td) constants that result in a fast system response with minimal overshoot. Evaluation is conducted by analyzing the system response to disturbances and setpoint changes before and after tuning.

This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license.



1. PENDAHULUAN

Sistem pengontrolan level sangat penting pada industri untuk menjaga kestabilan produk dan efisiensi produk. Sistem pengendalian atau pengontrolan sendiri merupakan suatu sistem yang digunakan untuk mempertahankan suatu variabel proses pada nilai yang diinginkan (set point). Sistem pengontrolan level yang baik dapat membantu perusahaan untuk mengontrol ketinggian fluida agar berada dalam batas yang ditentukan. Kegagalan yang terjadi pada sistem dapat mengakibatkan hasil yang buruk dan tidak sesuai dengan set point serta mengancam keselamatan manusia dan lingkungan sekitar. Sehingga diperlukan penanggulangan terhadap kondisi bahaya untuk meminimalkan kemungkinan kegagalan dan mengurangi risiko yang timbul. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan air sebagai variabel yang dikendalikan. Oleh karena, pengontrolan level pada industri merupakan faktor penting untuk menjaga kestabilan, efisiensi, dan keselamatan kerja.

Dalam industri proses, kinerja kontrol dari loop kontrol memerlukan PID (Proporsional, Integral, dan Derivatif) controller karena PID controller menyediakan metode yang efektif untuk mengontrol dan menjaga kinerja sistem secara otomatis. Beberapa alasan mengapa loop pengendalian memerlukan PID controller yaitu, kebutuhan untuk stabilitas, respons yang cepat, penanganan gangguan, dan kemampuan adaptasi terhadap variasi kondisi operasional. Controller PID adalah fungsi loop kontrol yang banyak digunakan dalam sistem dan aplikasi kontrol industri untuk mengatur parameter seperti suhu, tekanan, kecepatan, aliran, level dll [1]. Karena keefektifan yang luar biasa dan kesederhanaan penerapan pengontrol PID yang luas, sebagian besar industri menggunakan kontrol PID dalam mengendalikan electronic-pneumatic valve [2]. Sebuah survei terhadap lebih dari 11.000 pengontrol di industri penyulingan, bahan kimia, dan pulp dan kertas menunjukkan bahwa 97% pengontrol regulasi memiliki struktur PID [3]. Oleh karena itu disimpulkan bahwa Controller PID (Proporsional Integral Derivative) merupakan pengontrol yang paling umum digunakan dalam sistem kontrol. Sebagai contoh, pada pertengahan tahun 1990-an, pengontrol PID digunakan di lebih dari 95% loop kontrol dalam kontrol proses [4]. Metode ini bekerja dengan mengukur perbedaan antara set point dan nilai aktual level, lalu menghitung output kontrol berdasarkan proporsional, integral, dan derivatif dari perbedaan tersebut.

Latar belakang tersebut yang mendasari penulis mengambil Judul Skripsi "Rancang Bangun Sistem Kontrol Level Berbasis PID Controller UT55A Yokogawa Dengan Menggunakan Metode Ziegler Nichols".

2. METODA

Sistem dirancang menggunakan transmitter tekanan diferensial Yokogawa EJA110E yang dipasang 40 cm di bawah dasar tangki. Sinyal analog 4-20 mA yang dihasilkan dikonversi ke digital dan diolah oleh UT55A untuk mengendalikan control valve melalui I/P converter. Parameter tuning PID ditentukan menggunakan metode Ziegler-Nichols berdasarkan respons sistem terhadap gangguan. Perangkat lunak LL50A digunakan untuk mengatur dan menginput parameter PID ke dalam UT55A. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi keakuratan sensor, kestabilan sistem, serta respons terhadap perubahan set point.

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan metode rekayasa sistem kontrol berbasis PID Controller UT55A. Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur, perancangan sistem kontrol level, pembangunan prototype, hingga evaluasi performa sistem sebelum dan sesudah tuning. Pemilihan metode Ziegler-Nichols sebagai teknik tuning PID didasarkan pada kemampuannya memberikan parameter awal pengendalian yang efisien berdasarkan respons transien sistem.

2.2. PID Controller

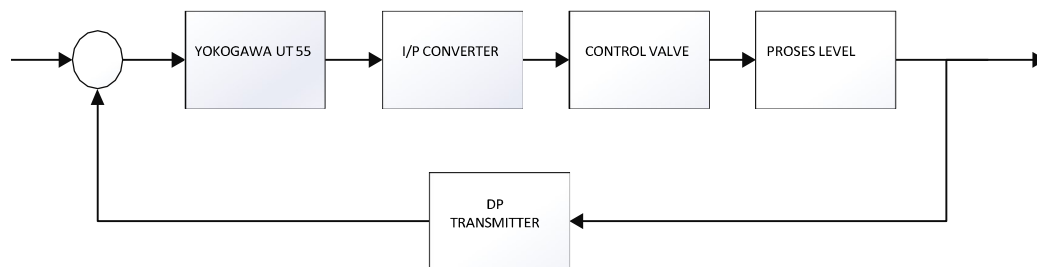
Komponen derivatif memberikan respon yang sebanding dengan perubahan cepat dalam perbedaan antara nilai set point dan nilai aktual, sehingga dapat membantu dalam mengatasi kesalahan dinamis atau mengurangi osilasi dalam respon sistem [5]. Controller PID berfungsi untuk menentukan keakuratan sistem instrumentasi dengan karakteristik menghilangkan offset dan mempercepat respon sistem yang mempunyai feedback terhadap sistem tersebut, controller ini memberikan aksi kepada control valve (aktuator) sesuai dengan error [6]. Dalam perancangan kontrol level ini menggunakan metode *Ziegler Nichols* Metode *Ziegler-Nichols* adalah salah satu metode yang digunakan untuk menyetel parameter PID (Proportional-Integral-Derivative) dalam kontrol sistem otomatis. Oleh John G. *Ziegler* dan Nathaniel B. *Nichols* pada tahun 1942 dan mulai digunakan secara luas dalam industri untuk meningkatkan kinerja kontrol PID. Kegunaan Dari metode tuning ZN terlihat ketika dinamika plant tidak diketahui. Keuntungan utama yang diberikan oleh aturan tuning ZN adalah bahwa aturan tersebut memberikan titik awal untuk penentuan nilai parameter. Metode ini terdiri dari dua parameter yaitu L dan T yang diperoleh dari garis singgung sumbu x dan y [7].

2.3. Blok Diagram Sistem

Sistem kontrol level yang dirancang menggunakan konfigurasi umpan balik tertutup (closed-loop). Diagram blok terdiri atas: Dimana Control valve adalah sebuah perangkat mekanis yang digunakan dalam berbagai industri untuk mengendalikan aliran fluida seperti gas, cairan, atau uap, dalam suatu sistem. Fungsi utama dari control valve adalah mengatur tingkat aliran fluida sesuai dengan parameter tertentu, seperti tekanan, suhu, atau aliran yang diinginkan [8].

- Setpoint (SP) sebagai nilai target level,
- DP Transmitter Yokogawa EJA110E sebagai sensor level,
- UT55A sebagai PID controller,
- I/P Converter sebagai pengubah sinyal arus ke tekanan, dan
- Control Valve sebagai aktuator pengatur aliran cairan.

Sinyal dari transmitter dikonversi menjadi sinyal 4–20 mA, diproses oleh UT55A, lalu diteruskan ke I/P converter yang menggerakkan control valve sesuai output PID.



Gambar 1. Block Diagram Sistem Pengendalian

2.4. Perancangan Sistem

Perancangan Hardware

Komponen utama yang digunakan meliputi:

- Yokogawa UT55A (controller)
- Yokogawa EJA110E DP Transmitter
- I/P Converter Matrix
- Control Valve (jenis ATC/NO)
- Kompresor Matrix MTX75
- Pompa Calpeda MXHM 203E
- Tangki simulasi level
- Pressure Regulator



Gambar 2. Flowchart Perancangan Software

2.5. Metode Tuning Ziegler-Nichols

Rangkaian disusun untuk membentuk sistem loop tertutup yang memungkinkan kontrol otomatis terhadap level cairan berdasarkan nilai error.

Perancangan Software

- Software LL50A digunakan untuk mengkonfigurasi UT55A, meliputi:
- Penentuan tipe controller
- Konfigurasi input (PV) dan output (MV)
- Input parameter PID (K_p , T_i , T_d) hasil tuning Ziegler-Nichols
- Pemantauan respons sistem secara real-time

Tuning dilakukan melalui bump test untuk mendapatkan kurva S. Parameter yang diperoleh dari kurva yaitu: Kurva reaksi berubah naik setelah selang waktu mati L . Sedangkan waktu tunda T menggambarkan perubahan kurva dari keadaan mantapnya (set point) [9]

Langkah-langkah:

- Mengaktifkan sistem kontrol dengan parameter PID nol.
- Melakukan perubahan mendadak pada input (setpoint) untuk memicu respons sistem.
- Mengukur L dan T dari grafik respons.
- Menggunakan rumus Ziegler-Nichols untuk menentukan K_p , T_i , dan T_d :

$$K_p = 1.2 \times (T/L) \quad (1)$$

$$T_i = 2 \times L \quad (2)$$

$$T_d = 0.5 \times L \quad (3)$$

- Parameter PID ini kemudian dimasukkan ke dalam UT55A melalui LL50A.

2.6. Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dilakukan dalam kondisi: Setelah tuning PID (dengan parameter Ziegler-Nichols) Pengujian mencakup:

- Uji perubahan setpoint untuk mengukur kemampuan sistem mencapai target level
- Uji gangguan (disturbance) dengan membuka paksa aliran untuk melihat respons korektif sistem
- Pengukuran kinerja sistem meliputi rise time, settling time, overshoot, dan steady-state error

Data diambil menggunakan LL50A dan dikompilasi dalam bentuk grafik dan tabel

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Implementasi Sistem

Dalam perancang sistem kontrol level otomatis berbasis PID Controller UT55A dari Yokogawa. Sistem ini dilengkapi sensor Differential Pressure (DP) Transmitter Yokogawa EJA110E, yang dipasang 40 cm dari dasar tangki. Sinyal keluaran sensor dikonversi menjadi sinyal digital untuk dikendalikan secara otomatis oleh UT55A. Sistem ini kemudian mengontrol pembukaan katup kontrol (control valve) melalui I/P Converter dan aktuator pneumatik, dengan kompresor sebagai sumber tekanan udara.

3.1.1. Pengujian Keakuratan Sensor

Sensor diuji akurasi dengan mengubah nilai setpoint (SV) dari 0% hingga 100%. Hasil pengujian menunjukkan error rata-rata sebesar 0,6 mA, sehingga sensor dinyatakan akurat dan layak digunakan dalam sistem

Tabel 1. Pengujian Keakuratan Sensor

Pengukuran Level (mmH ₂ O)	Output Signal (4-20mA)	Hasil pembacaan mA	Error
400	4	4,0	0
496	8	8,0	0
592	12	12,2	0,2
688	16	16,2	0,2
785	20	20,1	0,1

Nilai rata-rata error yang didapatkan berdasarkan hasil pengujian keakuratan sensor sebagai berikut :

$$\frac{0 + 0 + 0,2 + 0,2 + 0,1}{5} = 0,6$$

3.1.2. Respon Sebelum Tuning PID

Sebelum dilakukan tuning, nilai default parameter PID adalah:

- $K_p = 5$
- $K_i = 240$
- $K_d = 60$

Hasilnya menunjukkan respon sistem lambat, yaitu waktu respon selama 14 detik per perubahan 1% bukaan valve. Grafik menunjukkan PV (Process Variable) tidak merespons signifikan terhadap SP (Set Point), yang menandakan sistem belum optimal

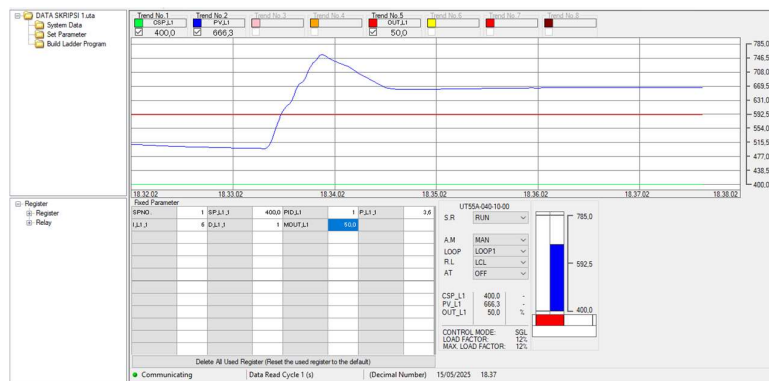
3.1.3. Bump Test

Bump test dilakukan dengan membuka valve pada posisi 50%. Proses menunjukkan karakteristik sistem FOPDT (First Order Plus Dead Time) dengan parameter:

L (dead time) = 2 detik

T (time constant) = 50 detik

Dari nilai tersebut, digunakan rumus Ziegler-Nichols untuk tuning PID



Gambar 3. Grafik Bump test pada software LL50A

3.1.4. Tuning PID Metode Ziegler-Nichols

Tuning pada prototipe ini menggunakan metode Ziegler – Nichols. Setelah untuk menghitung nilai K_p , T_i , dan T_d menggunakan metode *tuning* yaitu *Ziegler Nichols*. Pada metode tuning *Ziegler Nichols* agar mendapatkan nilai PID maka dilakukan perhitungan sebagai sesuai dengan table yang tertera di bawah ini. Metode tuning Ziegler-Nichols menentukan parameter K_p , T_i dan T_d pada metode pertama berbasis tanggapan undak open loop dirangkum pada table 2 [10].

Tabel 2. Rumus Pengendalian PID

Tipe Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	0	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	0,5

Dari rumus diatas maka dapat ditemukan nilai dari K_p , T_i , dan T_d ialah Sebagai berikut :

- $K_p = 1,2 \frac{T}{L} = 1,2 \frac{50}{2} = 30$
- $T_i = 2.L = 2.2 = 4$
- $T_d = 0,5.L = 0,5.2 = 1$

Kemudian untuk menghitung nilai K_i , dan K_d maka dapat dilakukan sebagai berikut:

- $K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{30}{4} = 7,4$
- $K_d = \frac{K_p}{T_d} = \frac{30}{1} = 0,5$

Sehingga mendapatkan nilai K_p , K_i dan K_d sebesar 30, 7,4 dan 0,5 Parameter ini kemudian dimasukkan ke dalam *Controller* UT55A menggunakan software LL50A.



Gambar 6. Pemberian gangguan

Proses pengujian sistem dengan memberikan gangguan menghasilkan grafik seperti pada gambar 4.7 dan 4.8. Berdasarkan grafik dapat diketahui bahwa menghasilkan respon stabil pada 40 detik setelah gangguan diberikan. Respon yang diberikan sistem untuk mengatasi gangguan yaitu dengan membuka bukaan kontrol valve lebih besar dari pada saat sistem berjalan normal.

Gambar 7. Grafik pemberian gangguan pada *software* LL50A

3.3. Analisa Data

3.3.1. Perbandingan Respon Waktu

Dari delapan percobaan yang dilakukan dengan menambahkan set point, menghasilkan sistem yang dinyatakan berjalan dengan cepat dan stabil dengan overshoot dan undershoot yang kecil. Perbandingan respon waktu percobaan saat mengubah set point menjadi tekanan naik dan tekanan turun adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Perbandingan Respon Waktu

Respon Waktu	Delay time	Rise time	Peak time	Settling time	Overshoot/undershoot
25% - 50%	2 s	6 s	8 s	16 s	10%
50% - 75%	2 s	5 s	7 s	13 s	6%

Dari data tabel di atas dapat ditentukan nilai rata-rata dari *delay time*, *rise time*, *peak time*, *settling time*, *overshoot/undershoot*

- Delay time $\frac{2+2}{2} = 2$
- Rise time $\frac{6+5}{2} = 5,5$
- Peak time $\frac{8+7}{2} = 7,5$
- Settling Time $\frac{16+1}{2} = 14,5$
- Overshoot/Undershoot $\frac{10+6}{2} = 8$

4. KESIMPULAN

Prototype system control level menggunakan PID Controller dengan metode Ziegler system berhasil diaplikasikan dengan baik. Dengan memanfaatkan laptop untuk membuat algoritma program pengendalian menggunakan software LL50A, dengan UT55A sebagai controller, DP transmitter berperan sebagai sensor, I/P Converter digunakan karena control valve yang digunakan adalah control valve system, sehingga perlu mengubah arus 4-20 mA menjadi sinyal pneumatik 3-15 PSI yang dapat diterima oleh control valve, dan Control valve sebagai Final element serta Kompresor digunakan untuk menciptakan tekanan udara yang diperlukan dalam system sebagai suplay untuk menggerakkan actuator sesuai dengan perintah controller tangki pneumatic yang digunakan sebagai plant atau tempat menyimpan fluida yang dikendalikan pada simulator

Hasil perhitungan tuning menggunakan ziegler system untuk menemukan parameter PID yang antara lain nilai $K_p = 30$, $K_i = 4$, dan $K_d = 1$. Parameter ini dipakai setelah dilakukan uji kestabilan dengan mengubah set point serta menambahkan gangguan yang menghasilkan system yang tetap stabil. Hasil percobaan mendapatkan respon waktu rata-rata perubahan tekanan antara lain: Delay time = 2s, Rise time = 5,5s, Peak time = 7,5s, Settling time = 14,5s, dan overshoot/ undershoot = 8%. Metode ini terbukti berhasil menentukan parameter PID yang efektif untuk sistem kontrol level. Kelebihan utama metode ini adalah kemampuannya memberikan nilai awal tuning berdasarkan karakteristik respon sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Devendiranath et al., "Position Tracking Performance with Fine Tune Ziegler-Nichols PID Controller for Electro-Hydraulic Actuator in Aerospace Vehicle Model," J. Phys. Conf. Ser., vol. 2107, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2107/1/012064.
- [2] Y. Liu, Q. Shang, S. Yu, Y. Fang, Z. Ding, and J. Li, "IMC-PID controller and the tuning method in pneumatic control valve positioner," Open Autom. Control Syst. J., vol. 6, no. 1, pp. 1578–1585, 2014, doi: 10.2174/1874444301406011578.
- [3] L. Desborough and R. Miller, "Increasing Customer Value of Industrial Control Performance Monitoring — Honeywell's Experience Outline of the Paper Current Control Performance (Measurements)," Control, no. Figure 1, pp. 172–192, 2000.
- [4] M. A. Sahib, "A novel optimal PID plus second order derivative controller for AVR system," Eng. Sci. Technol. an Int. J., vol. 18, no. 2, pp. 194–206, 2015, doi: 10.1016/j.jestch.2014.11.006.
- [5] H. O. Bansal, R. Sharma, and P. R. Shreeraman, "PID Controller Tuning Techniques: A Review," J. Control Eng. Technol. JCET, vol. 2, no. October, pp. 168–176, 2012, [Online]. Available: www.ijcet.org
- [6] Wachid Yahya. Buku Sistem Kontrol Otomotif. Yogyakarta: Deepublish, 2017.
- [7] V. V. Patel, "Ziegler–Nichols Tuning Method," 2020.
- [8] Willis. M.J., 1999: A. Seshagiri Rao dkk., Metode Direct Synthesis pada Kontrol Cascade untuk Pengendalian Temperatur Steam di Superheater pada Power Plant, 2009.
- [9] A. Fitriyadi, D. I. Hartama, dan Y. Haryanto, "Implementasi Kendali PID dengan Penalaan Ziegler-Nichols pada Plant Pengendali Temperatur," Jurnal Rekayasa Sistem dan Industri, vol. 9, no. 1
- [10] I. M. Ardika dan I. M. Artana, "Implementasi Sistem Kontrol PID pada Plant Level Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega," E-Jurnal Mekanikal, vol. 5, no. 2