

Kendali PID Menggunakan Metode *Tuning* Ziegler-Nichols I Untuk Mengendalikan Kecepatan Motor Berbasis PLC

Fitri Yefriani^{1*}, Risfendra²

^{1,2} Teknik Elektro Industri, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, Indonesia

Corresponding author, email: fitriyefriani@gmail.com

Abstrak

Proses penalaan *tuning* PID seringkali dilakukan dengan cara uji coba akibatnya hasil *tuning* tidak akurat dan proses penalaannya memakan waktu yang cukup lama. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode Ziegler-Nichols I atau metode kurva reaksi yang mampu menghasilkan nilai *tuning* dengan praktis serta nilai hasil parameter *tuning* yang baik. Pada penelitian ini menggunakan PLC Siemens S7-300 sebagai pusat kontrol dan HMI Siemens TP-700 *Comfort* sebagai *interface* sistem serta menggunakan MS150 *Modular Servo* sebagai media kendali PID. Penelitian ini dilakukan dengan dua cara. Pertama, pengujian pembacaan tegangan pada sensor *tachogenerator*. Kedua, pengujian respon sistem dari kendali PID. Pada pengujian pertama didapatkan hasil dengan nilai *error* tertinggi pada nilai 0.029%. Pengujian kedua didapatkan performa dari respon sistem $K_p=1.125$, $T_i=2.667$, dan $T_d=0$ dengan hasil terbaik pada *setpoint* 3000 rpm, waktu *rise time* 3 detik, *delay time* 1 detik, *settling time* 7 detik serta tanpa adanya *overshoot* pada sistem. Dapat disimpulkan bahwa nilai *tuning* dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols I lebih praktis dan menghasilkan respon sistem cukup stabil dengan performa yang baik.

INFO.

Info. Artikel:

No. 555

Received. October, 30, 2023

Revised. October, 31, 2023

Accepted. November, 05, 2023

Page. 1023 – 1030

Kata kunci:

- ✓ Ziegler-Nichols I
- ✓ Kendali Kecepatan Motor
- ✓ PLC
- ✓ HMI
- ✓ Kontroler PID

Abstract

The process of tuning a PID controller is often carried out through trial and error, resulting in inaccurate tuning outcomes and a relatively time-consuming tuning process. This research aims to apply the Ziegler-Nichols I method or the reaction curve method, capable of producing practical tuning values and good parameter tuning results. In this study, a Siemens S7-300 PLC is used as the central control unit, while an HMI Siemens TP-700 Comfort serves as the system interface, and an MS150 Modular Servo is used as the PID control medium. The research is conducted in two ways. Firstly, by testing voltage readings on the tachogenerator sensor. Secondly, by testing the system response of the PID controller. In the first test, the highest error value obtained was 0.029%. In the second test, the system's performance yielded $K_p=1.125$, $T_i=2.667$, and $T_d=0$, with the best results achieved at a setpoint of 3000 rpm, a rise time of 3 seconds, a delay time of 1 second, a settling time of 7 seconds, and no system overshoot. It can be concluded that tuning using the Ziegler-Nichols I method is more practical and results in a sufficiently stable system response with good performance.

PENDAHULUAN

Sistem kendali merupakan serangkaian proses pengaturan atau pengendalian terhadap satu ataupun beberapa variabel dan parameter dalam kondisi batas nilai yang ditentukan [1]. Pada pengaplikasiannya sistem kendali terdiri dari sistem yang dikendalikan secara konvensional (manual) dan sistem yang dikendalikan secara otomatis. Dalam sebuah industri, pengendalian secara konvensional tidak cukup untuk diterapkan dalam sistem, hal ini diperkuat dari adanya penelitian yang menjelaskan bahwa pengendalian yang dilakukan secara konvensional (manual) seringkali memiliki tingkat kesalahan dan *human error* yang tinggi [2]. Berbeda dengan kendali otomatis dimana kendali ini mampu meningkatkan keandalan dari suatu sistem [3]. Pengendalian sistem secara otomatis dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti kendali menggunakan (*Proportional, Integral, dan Derivative*) PID, *fuzzy logic*, dan berbagai teknologi pengembangan yang diterapkan pada sistem kendali.

Berkaitan dengan banyaknya metode pengendalian, pemilihan pengendalian sistem yang tidak tepat juga dapat menyebabkan kegagalan dalam produksi suatu industri [4]. Sehingga, pada penelitian ini kendali yang digunakan adalah kendali *Proportional, Integral, dan Derivative* (PID). Beberapa penelitian menjelaskan bahwa PID menghasilkan performa sistem yang baik dengan cara meningkatkan akurasi dan presisi dari sistem kendali, sehingga penggunaan kendali PID memungkinkan proses menjadi lebih stabil dan memiliki nilai *error* yang cukup kecil [2][5]. Dalam penggunaan metode PID hal yang perlu diperhatikan adalah proses *tuning* atau proses penalaan parameter *proportional, integral dan derivative*. Seringkali, proses ini dilakukan dengan cara uji coba sehingga hasilnya tidak akurat dan memakan waktu yang cukup lama [6]. Untuk mengatasi hal tersebut penelitian ini akan melakukan proses *tuning* dengan memanfaatkan metode Ziegler-Nichols I atau metode kurva reaksi. Sesuai dengan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yang membuktikan bahwa nilai *tuning* dari metode ini lebih baik daripada menggunakan metode uji coba [7].

Tentunya untuk mendukung serangkaian proses pengendalian ini, diperlukannya kontroler yang mampu mengolah data dan sering digunakan pada industri seperti *Programmable Logic Controller* (PLC). PLC biasanya digunakan di industri untuk mengendalikan motor agar dapat bekerja secara otomatis [8]. Dengan begitu PLC dapat mendukung proses pengolahan data pemrograman dan pengontrolan parameter menjadi lebih baik. Berhubungan dengan pengontrolan parameter PID, *interface* seperti *Human Machine Interface* (HMI) dapat membantu proses *monitoring* dan kontrol sistem [9]. HMI merupakan sistem yang menghubungkan manusia dengan teknologi dan meningkatkan interaksi antara mesin dengan operator melalui tampilan layar. Dengan adanya HMI dapat memudahkan dalam menampilkan kesalahan mesin, proses sistem, status sistem yang sedang berjalan serta melakukan *maintenance* terhadap kinerja mesin [10]. Penggunaan HMI ini mampu mengoptimalkan proses pengontrolan dan *monitoring* sistem *virtual* secara *realtime* dan dapat dikontrol tanpa harus berada di depan mesin [11].

Berdasarkan permasalahan yang dijelaskan penerapan kontroler PID merupakan salah satu solusi dalam meminimalisir terjadinya *human error* dalam suatu proses produksi. Serta, mengingat pentingnya proses penalaan pada kendali PID maka diperlukan metode Ziegler-Nichols I untuk menghasilkan nilai parameter yang cepat dengan hasil yang lebih baik. Inovasi yang diterapkan pada penelitian ini terkait dengan penerapan HMI pada *plant*, sehingga mampu membantu perkembangan proses produksi khususnya dalam sistem kontrol.

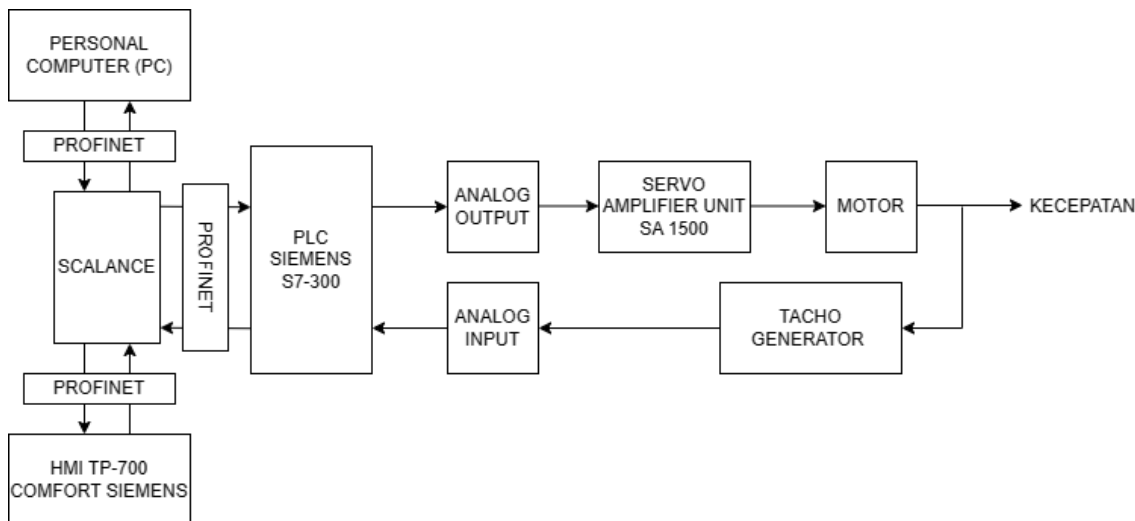
METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada artikel ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen merupakan penelitian yang bersifat sistematis, teliti, dalam melakukan kendali terhadap suatu kondisi [12]. Metode eksperimental ditujukan untuk melakukan *tuning* PID menggunakan metode kurva reaksi Ziegler Nichols I dalam mengendalikan kecepatan motor. Tahapan proses pada penelitian terdiri dari penjelasan perangkat lunak yang digunakan serta berbagai hal yang berkaitan dengan proses *tuning* PID menggunakan metode Ziegler-Nichols 1.

Pada penelitian ini alat yang digunakan adalah PLC Siemens S7-300 dan HMI TP-700 Comfort yang dihubungkan dan dikonfigurasi menggunakan *software* TIA Portal. *Software* ini mampu mengimplementasikan visual display secara *real-time* dari *Human Machine Interface* (HMI) dan pembuatan program dari *Programmable Logic Controller* (PLC). HMI digunakan sebagai monitor yang berfungsi untuk mengawasi grafik dari *setpoint, measurement value* dan respon sistem. Hal tersebut bertujuan untuk *bump test* atau proses dalam mencari parameter terkait dengan PID seperti nilai KP, KI dan KD. Keseluruhan proses tersebut dinamakan *tuning* PID.

Blok Diagram

Blok diagram merupakan sebuah diagram yang digunakan untuk menjelaskan proses kerja pada ilmu rekayasa atau *engineering*. Blok diagram menggambarkan sebab-akibat antara *input* dengan *output* sistem yang akan dirancang. Blok diagram menampilkan sebuah diagram yang digunakan untuk menjelaskan proses kerja dari sistem. Blok diagram pada artikel ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram kontroler PID

Berdasarkan gambar 1 terdapat beberapa blok yang memiliki berbagai fungsi, berikut penjelasan dari tiap blok diagram:

1. PLC Siemens S7-300 memiliki fungsi sebagai pengolah data *input* ataupun *output* yang memiliki kendali atas seluruh proses kontrol PID.
2. *Personal Computer* (PC) berfungsi sebagai perangkat untuk pembuatan program, konfigurasi *hardware*, *tuning* PID, serta pembuatan desain HMI.
3. *Scalance*, berfungsi sebagai *port* terminal yang menghubungkan komunikasi *ethernet*.
4. HMI memiliki fungsi sebagai pengontrol, pengawasan sistem, dan akuisisi data.
5. *Analog input* merupakan modul *analog input* pada PLC yang memiliki fungsi sebagai penerima sinyal analog dari sensor yang digunakan yaitu *tachogenerator*.
6. *Analog output* merupakan modul *analog output* pada PLC yang memiliki fungsi untuk memberikan sinyal analog ke motor melalui *servo amplifier* unit SA 1500.
7. *Servo amplifier* unit SA 1500 ditujukan untuk mengatur dan mengontrol sinyal motor sehingga kecepatan motor dapat dikendalikan.
8. *Tachogenerator* merupakan sensor yang membaca kecepatan pada motor.
9. Kecepatan menunjukkan hasil keluaran sistem.

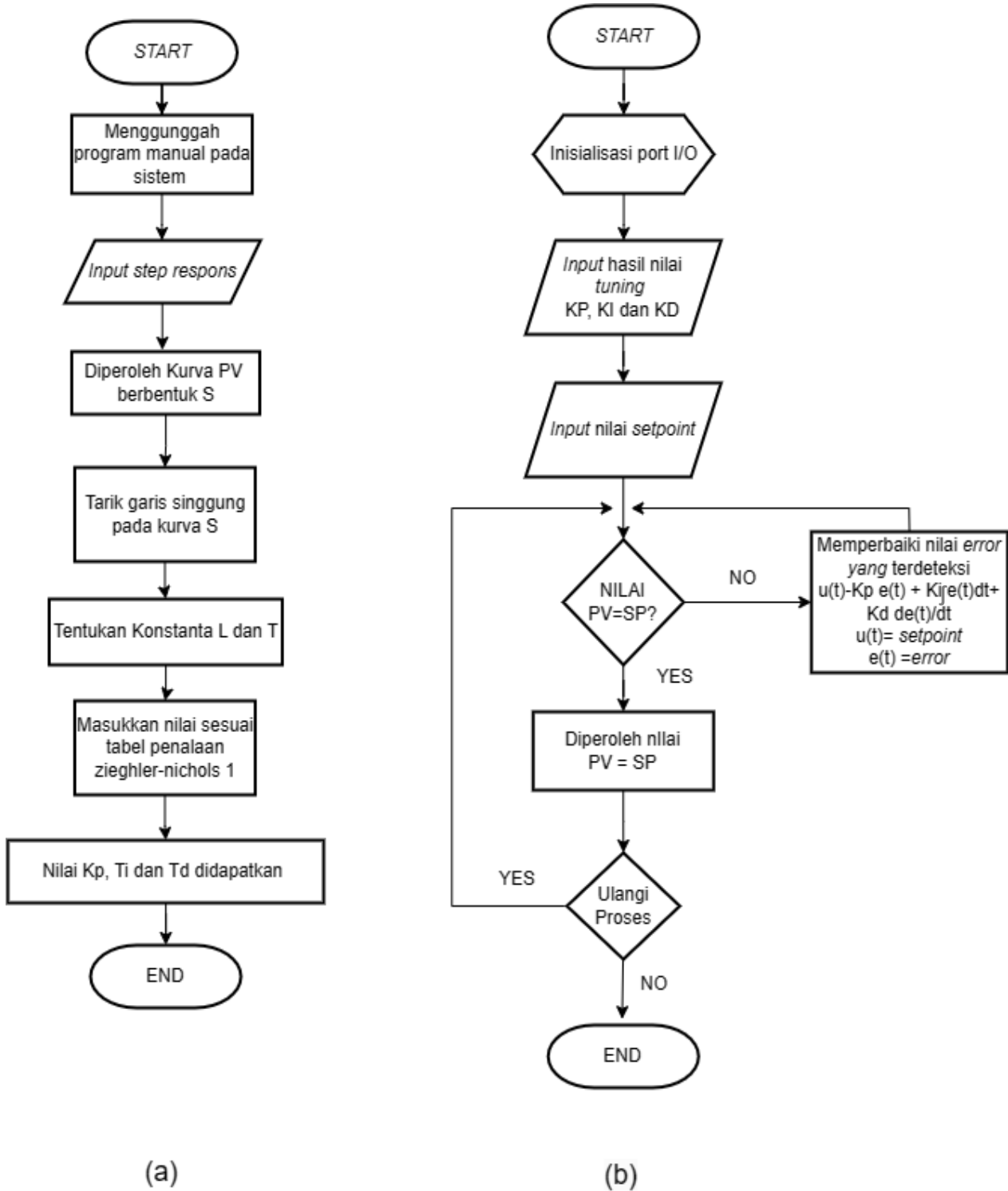
Flowchart

Flowchart merupakan diagram yang menampilkan langkah-langkah dan keputusan dalam melakukan sebuah proses dari suatu program dengan simbol tertentu [13]. *Flowchart* memiliki fungsi untuk mengeksekusi dan mengurangi kesalahan dari pembuatan atau penafsiran sebuah program. Berdasarkan gambar 2, *flowchart* (a) menjelaskan mengenai alur *tuning* parameter PID menggunakan metode Ziegler-Nichols I, sedangkan *flowchart* (b) menjelaskan alur proses dari sistem yang terjadi pada saat sistem dijalankan

Flowchart (a) menjelaskan alur dari proses melakukan *tuning* PID sesuai dengan metode Ziegler-Nichols I. Pertama, dengan mengunggah program manual sistem agar dapat diatur secara manual. Kedua, memberikan *step respons* atau *setpoint* yang diinginkan, sehingga dapat diamati nilai PV yang membentuk kurva S. Ketiga, menarik garis singgung pada kurva dengan tujuan mendapatkan nilai kontanta waktu *Lag Time* (L) dan *Time Constant* (T). Keempat, nilai L dan T yang dihasilkan kemudian akan dimasukkan pada sistem hingga proses *tuning* selesai.

Flowchart (b) menjelaskan mengenai proses ketika sistem mulai bekerja. Sistem akan mendeteksi koneksi antara *port input* dan *port output*. Masukkan nilai Kontrol Proporsional (KP), Kontrol Integral (KI), dan Kontrol Derivative (KD). Kemudian, masukkan *setpoint* yang diinginkan. Proses ini akan dibandingkan melalui *Present Value* (PV) pembacaan dari sensor *tachogenerator*, seluruh data proses akan ditampilkan melalui HMI TP-700 *Comfort*. Apabila nilai PV sama dengan *setpoint* maka respon sistem sudah dalam keadaan stabil ditandai dengan nilai PV sama dengan *setpoint*

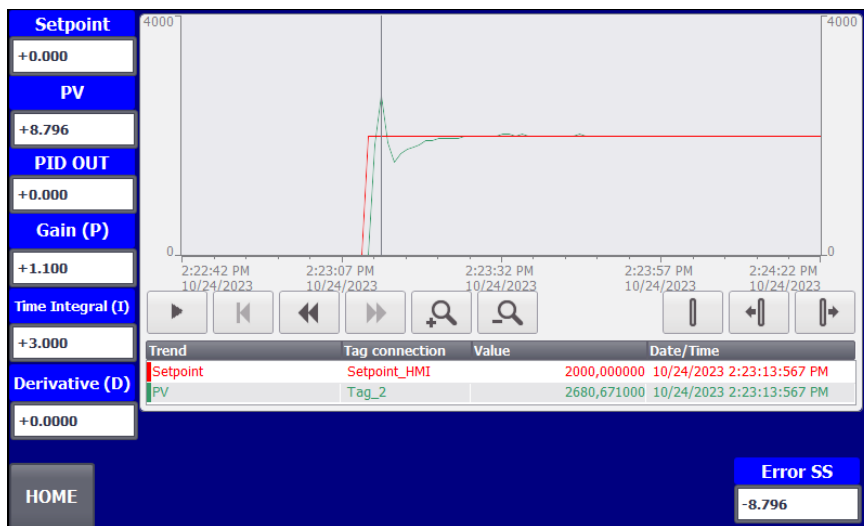
yang ditentukan, namun jika PV tidak sma dengan *setpoint* maka nilai *error* yang terdeteksi akan diakumulasikan sesuai dengan rumus PID yang tertera pada *flowchart*. Proses perhitungan PID akan berulang secara terus-menerus, hingga akhirnya sistem selesai.



Gambar 2. a) Flowchart running untuk kecepatan motor menggunakan PID
b) Flowchart tuning untuk kecepatan motor menggunakan PID

Perancangan Desain HMI

Pada penelitian ini ditampilkan perancangan desain HMI pada TP-700 Comfort meliputi proses pengolahan data yang dikirimkan oleh PLC kepada HMI, sehingga dihasilkan aksi berupa logika yang ditampilkan melalui grafik dan angka pada layar HMI. Proses desain ini dirancang melalui *software* TIA Portal 13. Dengan memanfaatkan berbagai fitur yang ada di dalamnya.



Gambar 3. Desain HMI kendali PID

Desain ini difungsikan sebagai kendali dengan memasukkan nilai parameter kontrol, seperti *Proportional*, *Time Integral*, *Derivative*. Serta, menentukan batasan setpoint yang diinginkan. Desain grafik yang ditampilkan berbentuk diagram garis yang memiliki tiga warna yang berbeda. Warna merah menunjukkan nilai *setpoint* dan warna hijau menunjukkan nilai *Present Value* (PV) atau hasil pengukuran dari sensor *tachogenerator* secara aktual. Pada desain HMI yang ditampilkan respon sistem *error steady state* akan di *monitoring* seperti yang terlihat pada gambar 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian *Hardware*

Setelah alat yang dirancang sudah selesai maka langkah selanjutnya adalah proses pengujian, dimana alat akan di uji dengan maksud mengevaluasi kinerja sistem dapat berjalan dengan baik. Pengujian pertama dilakukan dengan cara membandingkan nilai dari sensor *tachogenerator* yang di ukur menggunakan multimeter dengan nilai *tachogenerator* yang terbaca pada simulasi TIA Portal. Berdasarkan hasil pengujian yang didapatkan, nilai *error* maksimum pada pembacaan *tachogenerator* sebesar 0.029%.

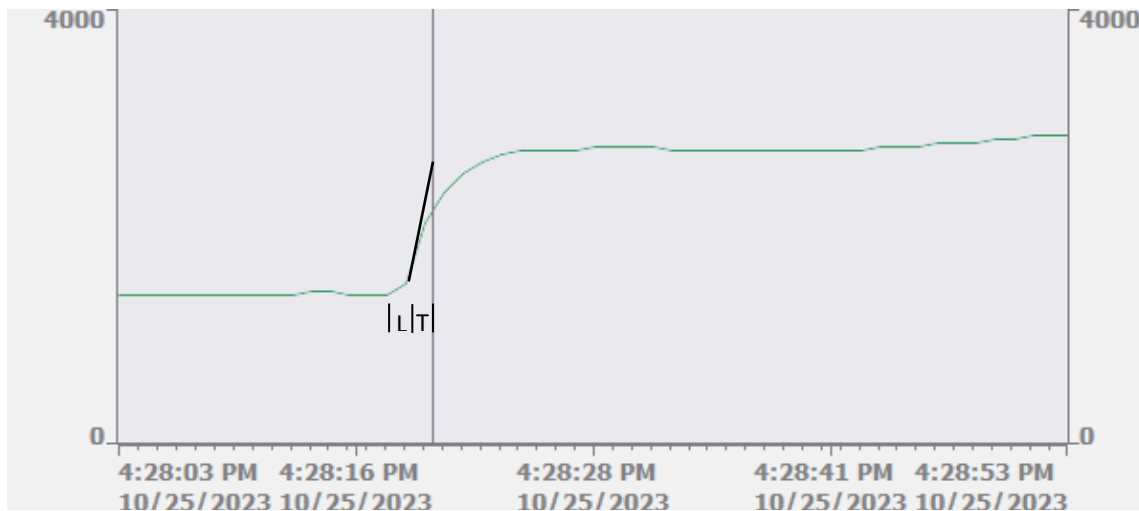
Tabel 1. Pengujian Pembacaan *Tachogenerator*

Tegangan Pada Multimeter (Volt)	Tegangan Pada PLC	Error (%)
1.09	1.041	0.025
2.017	2.008	0.004
3.028	3.043	0.004
4.01	4.06	0.012
5.039	5.017	0.004
6.02	6.001	0.003
7.03	7.019	0.001
8.06	8.015	0.005
9.03	9.027	0.0003
10.03	10	0.029

Tuning PID

Tuning PID merupakan proses penalaan, dimana tahapan ini berperan dalam menentukan konstanta PID (Kp, Ki dan Kd) [14]. Proses *tuning* dilakukan dengan metode Ziegler-Nichols 1. Metode ini dilakukan dengan menerapkan posisi garis singgung terhadap kurva tanggapan *plant* untuk memperoleh nilai konstanta waktu PID yaitu waktu tunda (L) dan waktu konstan (T) [15].

Pada penelitian ini proses *tuning* dilakukan menggunakan *software* TIA Portal dan HMI TP-700 *Comfort* yang berfungsi sebagai *input* kontrol dan *monitoring* grafik respon secara *real-time*. Proses *tuning* dilakukan dengan cara membuat sistem *open loop* terlebih dahulu. Kemudian, diberikan *step respons* untuk melihat respon dari grafik yang tampil pada HMI.



Gambar 3. Tuning PID pada setpoint 2000-2500 RPM

Pada gambar 3 ditampilkan grafik respon sistem dengan warna hijau yang menyatakan nilai RPM secara *real-time*. Grafik tersebut menampilkan *step respon* yang diberikan pada *setpoint* 2000 RPM hingga 2500 RPM membentuk kurva seperti huruf S. Dengan demikian, garis singgung akan ditarik untuk menentukan nilai dari *Lag Time* (L) dan *Time Constant* (T). Dari grafik tersebut dihasilkan nilai T dan L sebagai berikut:

Tabel 3. Nilai T dan L Tuning 2000-2500 RPM

<i>Lag Time</i> (L)	<i>Time Constant</i> (T)
0.8 Detik	1 Detik

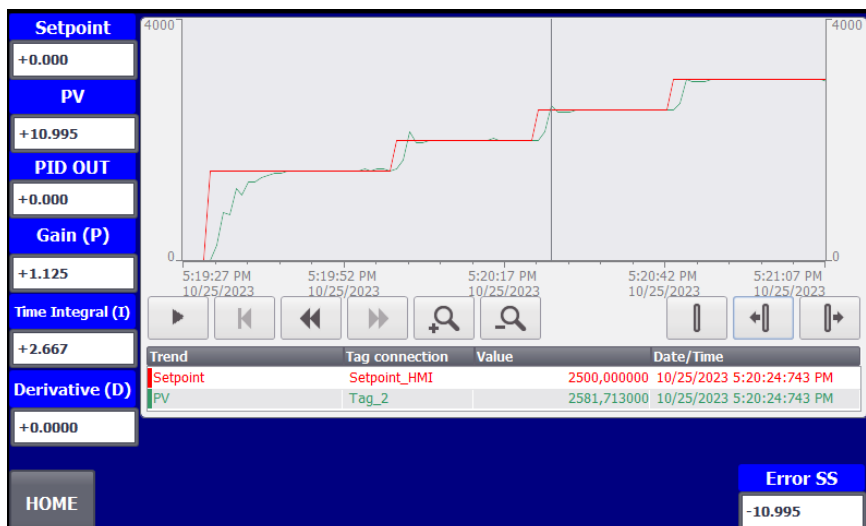
Setelah konstanta L dan T didapatkan maka langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai tersebut sesuai dengan tabel penalaan metode Ziegler-Nichols I. seperti yang terlihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Penalaan Menggunakan Metode Ziegler-Nichlos I

Kontrol	Kp	Ti	Td
P	1.25	-	0
PI	1.125	0.2667	0
PID	1.5	1.6	0.4

Pengujian Respon Sistem

Sesuai dengan hasil *tuning* yang telah dilakukan maka selanjutnya akan dilakukan proses pengujian hasil *tuning* tersebut, pertama pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai *setpoint* yang berbeda dalam keadaan motor tanpa adanya beban. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat nilai *error steady state* pada saat *real time*, dengan kondisi sistem setelah dimasukkan nilai Kp dan Ti nya.



Gambar 4. Pengujian variasi *setpoint* dengan nilai $K_p = 1.125$, $T_i = 2.667$ dan $T_d = 0$

Gambar 4 memperlihatkan *setpoint* yang digunakan pada nilai 0-1500 RPM hingga nilai 3000 RPM. Garis grafik berwarna merah menunjukkan *setpoint* sedangkan garis berwarna hijau menunjukkan nilai dari *Present Value* (PV) atau nilai pengukuran sensor yang terbaca. Berdasarkan hasil pengujian tersebut terlihat bahwa respon mengikuti nilai *setpoint* yang diberikan dalam kondisi yang stabil. Untuk lebih jelaskan berikut tabel respon sistem yang dihasilkan dari pengujian tersebut:

Tabel 5. Respon Sistem pada *Setpoint* 1500 rpm

<i>Setpoint</i> (rpm)	<i>Rise Time</i> (T_r)	<i>Delay Time</i> (T_d)	<i>Settling Time</i> (T_s)	<i>Overshoot</i> (%Mp)
1500	16 Detik	1 Detik	16 Detik	0
2000	2 Detik	1 Detik	9 Detik	0.075
2500	3 Detik	2 Detik	8 Detik	0.032
3000	3 Detik	1 Detik	7 Detik	0

Berdasarkan data yang tertera pada tabel 5 dapat dilihat bahwa *rise time* tertinggi diperoleh pada saat nilai *setpoint* 1500 rpm diberikan Hal ini terjadi karena perubahan *setpoint* pada 0-1500 RPM mengakibatkan proses *rise time* yang cukup lambat, namun hasil berbeda ditunjukkan pada *setpoint* lainnya seperti *setpoint* 2000 rpm yang memiliki nilai *rise time* yang kecil yaitu 2 detik. Keseluruhan performa sistem terbaik pada kondisi *setpoint* 3000 rpm, dimana tidak terjadinya lonjakan kecepatan namun memiliki nilai *rise time* dan *delay time* yang kecil.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil melakukan Kendali PID menggunakan metode *tuning* Ziegler-Nichols I untuk mengendalikan kecepatan motor, dengan hasil nilai $K_p=1.125$, $T_i=2.667$, dan $T_d=0$. Nilai *tuning* dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols I lebih praktis dan menghasilkan respon sistem cukup stabil dengan performa yang baik. Hal ini sudah sesuai dengan target yang dicapai pada Kendali PID menggunakan metode *tuning* Ziegler-Nichols I untuk mengendalikan kecepatan motor. Namun, hal ini terdapat kekurangan pada data *tuning* yang ditampilkan pada monitor HMI. Oleh karena itu, penulis menyarankan untuk mengkonversikan data *tuning* ke excel sehingga dapat meningkatkan akurasi perhitungan *tuning*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. L. Singgeta and R. Rumondor, "Sensor Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler," *J. Realt.*, vol. 14, pp. 31–36, 2018.
 [2] M. I. Ma'arif, F. I. Adhim, and F. Istiqomah, "Implementasi Metode PID untuk Mengontrol Posisi Motor Servo pada Sistem Sortir Berat Adonan," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, 2021,

-
- [3] F. Tawurisi *et al.*, "Rancang Bangun Sistem Kendali Automatic Transfer Switch Perusahaan Listrik Negara Generator Set," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 8, no. 3, pp. 143–152, 2019.
 - [4] A. Riyanto and M. Syafrullah, "Pemantauan Suhu Pada Sistem Pemanas Air Menggunakan Temperatur Kontrol PID Dengan Metode PID Ziegler Nichols Berbasis Web," *Semin. Nas. Sist. Inf. dan Teknol. Inf. 2018*, pp. 682–687, 2018.
 - [5] M. R. Setiawan, M. Fauziah, and M. Rifa'i, "Sistem Pengaturan Suhu Boiler Pada Steamer Baglog Dengan Kontrol PID Menggunakan PLC dan HMI," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 3, no. 3, p. 2, 2020.
 - [6] N. Allu and A. Toding, "Tuning with Ziegler Nichols Method for Design PID Controller at Rotate Speed DC Motor," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 846, no. 1, 2020.
 - [7] R. Afrawira, R. Fajar Gumilang, S. Amalia, and S. Bandri, "Analisa Perbandingan Pengendali PID pada Motor DC Menggunakan Metode Ziegler-Nichols dan *Trial and Error*," *Ranah Res. J. Multidiscip. Res. Dev.*, vol. 5, no. 3, pp. 210–218, 2023.
 - [8] Mu. R. Usman, "Pengantar plc," no. November, 2018.
 - [9] D. H. Simanjuntak and R. Risfendra, "Sistim Monitoring Pada Sorting Machine dengan HMI Berbasis PLC," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 2, no. 1, pp. 65–70, 2021.
 - [10] T. A. Ardiansyah and R. Risfendra, "Rancangan Sistem Mounting Device Berbasis PLC Menggunakan HMI," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 49–54, 2020.
 - [11] N. Y. Putri and R. Mukhaiyar, "Control and Monitoring System Process Handling Production on SMI 4.0 Machines using PLC Controller Wirelessly Based on Human Machine Interface," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 8, no. 1, p. 158, 2022.
 - [12] R. Akbar, Weriana, R. A. Siroj, and M. W. Afgani, "Experimental Research Dalam Metodologi Pendidikan," *J. Ilm. Wahana Pendidikan, Januari*, vol. 2023, no. 2, pp. 465–474, 2023.
 - [13] N. Khesya, "Mengenal Flowchart dan Pseudocode Dalam Algoritma dan Pemrograman," *Preprints*, vol. 1, pp. 1–15, 2021.
 - [14] A. W. H. M. Azis, "Penalaan PID Menggunakan Internal Model Controller dengan Pendekatan Model Tustin," *Corresp. Análisis*, no. 15018, pp. 1–23, 2016.
 - [15] V. Salamena, "Analisis Penentuan Konstanta Pengendali PID Menggunakan Garis Singgung Metode Ziegler-Nichols I pada Kurva Tanggapan Keluaran Plant," *J. Simetrik*, vol. 10, no. 2, pp. 333–343, 2021.