

PERBANDINGAN METODE TUNING PID PADA PENGATURAN KECEPATAN MOTOR DC BERBASIS PROGRAMABLE LOGIC CONTROLLER

COMPARISON OF PID TUNING METHODS OF THE DC MOTOR SPEED CONTROL USING PROGRAMABLE LOGIC CONTROLLER

Itmi Hidayat Kurniawan, Latiful Hayat

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Jl. Raya Dukuh Waluh PO BOX 202 Purwokerto 53182

Telp; (0281) 636751 ext 130. Fax. (0281) 637239

email : itmi.hidayat.kurniawan@gmail.com

ABSTRAK

Dalam pengendalian proses di industri, algoritma kendali Proporsional Integral Differensial (PID) telah menjadi metode yang paling populer digunakan dalam pengendalian proses khususnya dalam sistem kendali dengan umpan balik. Parameter performansi yang diperhatikan dalam perancangan sistem kendali antara lain nilai maximum overshoot, error steady state, rise , settling time dan nilai Integral Absolute Error (IAE). Hal krusial yang berkaitan dengan penggunaan pengendali PID yaitu tuning atau pemberian parameter konstanta Proporsional (K_p), Integral (T_i) dan Derifatif (K_d) untuk mendapatkan respon sistem yang diinginkan. Penelitian ini merupakan studi awal tentang pemahaman watak dan unjuk kerja sistem kendali kecepatan motor DC dengan metode tuning yang sederhana algoritmanya. Dilakukan analisis perbandingan performansi metode tuning yang terdiri dari metode Ziegler-Nichols dan metode Trial-error dalam penentuan konstanta PID. Sistem ini akan digunakan dalam pengendalian kecepatan putaran motor DC yang banyak digunakan pada proses industri sampai dengan tahap penerapannya menggunakan Programmable Logic Controller. Berdasarkan hasil percobaan dengan Setpoint kecepatan motor DC sebesar 1400 RPM, unjuk kerja sistem kendali PID menggunakan tuning Trial-error dengan nilai $K_p=100$, $T_i=1$ dan $T_d=2$. Diperoleh nilai rise-time sebesar 1 detik, nilai IAE sebesar 99 dengan karakteristik sistem yang stabil. Sedangkan menggunakan tuning Ziegler Nichols 2 dengan nilai $K_p=210$, $T_i=2$ dan $T_d=1$, diperoleh nilai rise time sebesar 0,5 detik, nilai Integral Absolute Error (IAE) sebesar 599 tetapi memiliki nilai overshoot cukup besar. Respon sistem memperlihatkan karakteristik yang stabil. Hasil perbandingan unjuk kerja sistem kendali untuk plant kecepatan motor DC menunjukkan bahwa performansi sistem kendali menggunakan metode tuning trial-error memiliki nilai rise time lebih cepat, nilai overshoot yang cukup kecil dan karakteristik sistem yang stabil dibandingkan menggunakan metode Ziegler-Nichols.

Kata kunci : kontroler PID, tuning ziegler nichols, programable logic controller

Abstract

In industrial process control, Proportional Integral Differential (PID) algorithm has become the most popular method used in control process especially in the feedback control system. The performance parameters are considered in the design of control systems include maximum value overshoot, error steady state, rise time, settling time and the value of Integral Absolute Error (IAE) . The most crucial in the use of a PID controller is tuning or administration of parameter which are Proportional constant (K_p), Integral (T_i) and derivative (K_d), to obtain system

response desire. This is a preliminary study on characteristic dan performance understanding of the system using a simple method of tuning algorithm. Conducted a comparative analysis of performance tuning method of Ziegler-Nichols and Trial Error Methods in determining PID constants. This system will be used in the DC motor speed controls which are widely used in industrial processes using Programmable Logic Controller in advance . Based on the results of experiments with DC motor speed Setpoint at 1400 RPM, the performance of the control system using the PID tuning Trial - error with $K_p = 100$, $T_i = 1$ and $T_d = 2$. Obtained values rise time of 1 second , IAE is 99 with stable characteristics of the system. While using Ziegler Nichols tuning, with $K_p = 210$, $T_i = 2$ and $T_d = 1$, the value of rise time is 0.5 seconds, the IAE value is 599 but has a fairly large overshoot value. System response shows the stable display characteristics. The comparison of system performance for plant speed control DC motor indicates that the performance of the control system using the method of trial-error tuning value has faster rise time while overshoot value is quite small and stable characteristics, compared to using the Ziegler - Nichols method.

Keywords: PID controller, Ziegler Nichols, Programable Logic Controller

PENDAHULUAN

Dalam pengendalian proses di industri, algoritma kendali *Proporsional Integral Differensial* (PID) telah menjadi metode yang paling populer digunakan dalam pengendalian proses khususnya dalam sistem kendali dengan umpan balik. Algoritma PID banyak digunakan karena dalam penerapannya algoritma ini memberikan peluang pada bagi desainer untuk mengubah performansi sistem sesuai dengan yang di inginkan (Dilsan Engin et al, 2013).

Parameter-parameter performansi yang diperhatikan dalam perancangan sistem kendali antara lain nilai *maximum overshoot*, *error steady state*, *rise time* dan *settling time* (Parviz Amiri et all, 2013). Hal krusial yang berkaitan dengan menggunakan pengendali PID yaitu *tuning* atau pemberian parameter konstanta Proporsional (K_p), Integral (T_i) dan Derifatif (K_d).

Pada tahun 1942, Ziegler-Nichols mengembangkan metode kurva reaksi (*open loop tuning*) di mana kita bisa mendapatkan parameter P, I, D dari respon *open loop sistem* (tidak perlu mengetahui model *plant*). Sementara Cohen-Coon juga mengembangkan metode eksperimental dimana hasilnya akan memberikan overshoot yang meluruh seperempat bagian. Kemudian muncul metode *tuning* yang berdasar model *plant*, karena identifikasi *plant* bukan lagi hal yang sulit untuk dilakukan. Metode pertama ialah

Direct Synthesis yang memerlukan model *plant* sebenarnya dan model *plant* yang diinginkan untuk mendapatkan parameter P, I, D dari kontroler (Handy Wicaksono, 2004).

Algoritma *tuning* PID yang dijelaskan di depan memiliki kekurangan yaitu saat sistem diberikan masukan dengan *set point* yang berbeda, sistem akan memberikan performansi yang bervariasi. Sebagai contoh penggunaan kendali PID dalam pengendalian kecepatan motor DC akan memberikan performansi yang bervariasi apabila diberikan *set point* yang berbeda-beda, penentuan konstanta PID hanya optimal pada hasil *tuning* saat *set point* tertentu saja.

Berdasarkan latar belakang didepan, pada artikel ini digambarkan tentang studi awal pemahaman watak dan unjuk kerja sistem dengan metode *tuning PID* yang sederhana algoritmanya. Pada penelitian ini dilakukan analisis perbandingan performansi metode *tuning* yang terdiri dari metode *Ziegler Nichols* dan metode *Trial-error* dalam penentuan konstanta PID. Sistem ini akan digunakan dalam pengendalian kecepatan putaran motor DC yang banyak digunakan pada proses industri sampai dengan tahap penerapannya menggunakan *Programmable Logic Controller*.

METODE PENELITIAN

Pengendali merupakan komponen sistem yang berguna untuk meminimalisir

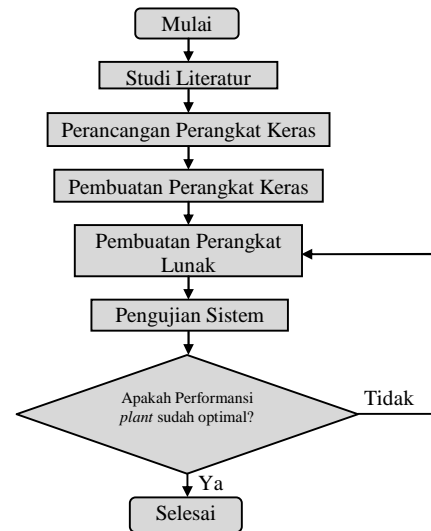
sinyal kesalahan serta diperoleh performansi sistem yang optimal. Dalam mendesain sistem kendali yang terpenting adalah spesifikasi atau kriteria performansi sistem yang ditampilkan. Sistem pengendalian merupakan sistem dinamik sehingga spesifikasi sistem memiliki tanggapan *transient*.

Berdasarkan berbagai literatur dalam perancangan kendali PID, hal yang krusial yaitu dalam penentuan parameter K_p , T_i dan T_d agar dapat diperoleh performansi sistem yang optimal. Handy Wicaksono dkk. (2004) telah melakukan studi komparatif metode *tunning* Pengendali PID. Metode *Tunning* PID dapat menggunakan metode *Ziegler-Nichols*, *Conen-Coon* dan *Direct Synthesis* untuk pengendalian kecepatan motor DC serta melakukan simulasi berbasis komputer untuk mengetahui respon sistem. Secara umum metode *Ziegler-Nichols* dan *Conen-Coon* memberikan performansi yang lebih baik (*rise time* dan *settling time* lebih cepat) tetapi ditinjau dari kestabilannya metode *Direct Synthesis* memberikan performansi yang jauh lebih baik.

Pada Penelitian yang dilakukan Winarso dkk.(2014), sistem pengendali PID untuk pengaturan kecepatan motor DC dapat diimplementasikan menggunakan *Programmable Logic Controller*. Digunakan metode *trial-error* pada penentuan nilai parameter PID, diperoleh respons sistem kendali yang belum stabil dan nilai *error-steady state* yang cukup besar pada pengendaliannya.

Proses perancangan dan implementasi pengendali PID untuk pengaturan kecepatan motor DC berbasis PLC diperlihatkan pada Gambar 1.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan kajian penerapan kendali PID beserta metode *tunning*-nya sehingga diperoleh performansi sistem yang diinginkan, merancang dan mengimplementasikan sistem kendali PID untuk pengaturan kecepatan motor DC menggunakan PLC, serta menganalisis perbandingan unjuk kerja sistem kendali berdasarkan *tuning* parameter PID menggunakan metode *Trial Error* dan *Ziegler-Nichols*.



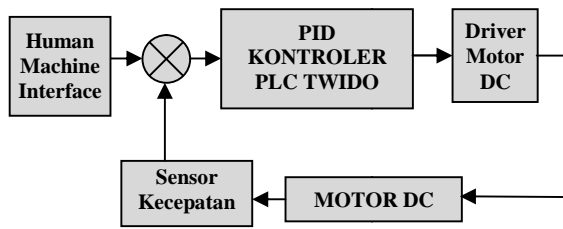
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melaksanakan studi literatur yang berkaitan dengan topik penelitian, pada proses implementasi sistem dilaksanakan dalam tiga tahapan yaitu :

a. Tahap Perancangan Sistem

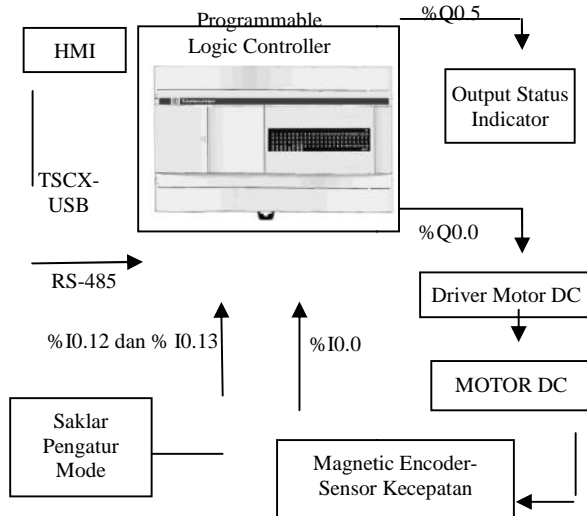
Dalam tahap perancangan sistem terdapat beberapa parameter yang harus ditentukann, yaitu desain *hardware* dan desain *software*. Desain hardware meliputi rangkaian pengendalian menggunakan *Programmable Logic Controller*, Rangkaian *Driver* Motor DC, Rangkaian Sensor Kecepatan Pada Motor DC dan Rangkaian HMI (*Human Machine Interface*). Sedangkan untuk desain software meliputi program utama PLC untuk pengendalian motor DC dan program untuk komunikasi PLC dengan HMI. Dari konsep tersebut dapat digambarkan dengan diagram blok perancangan seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

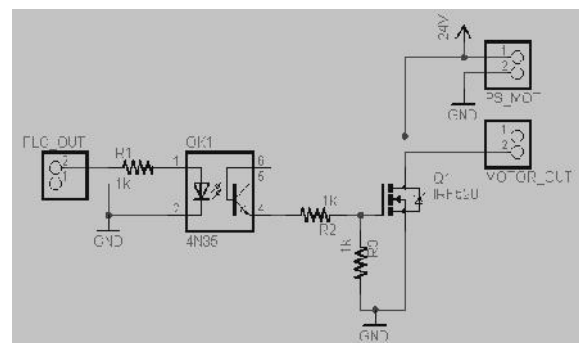
b. Tahap Pembuatan Sistem

Pengendali kecepatan motor DC dengan kendali PID pada penelitian ini menggunakan perangkat PLC Twido TWDLCAE40DRF. Perangkat ini berfungsi untuk mengendalikan kecepatan putaran motor DC dengan menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mengatur tegangan efektif pada sumber daya motor DC. Perangkat ini juga terdapat fitur kendali PID internal yang dapat diatur parameter-parater kendalinya. Untuk skema secara keseluruhan rangkaian antarmuka PLC dengan komponen pengendalian kecepatan motor DC diperlihatkan pada gambar 3.



Gambar 3. Skema elektronis masukan dan keluaran PLC

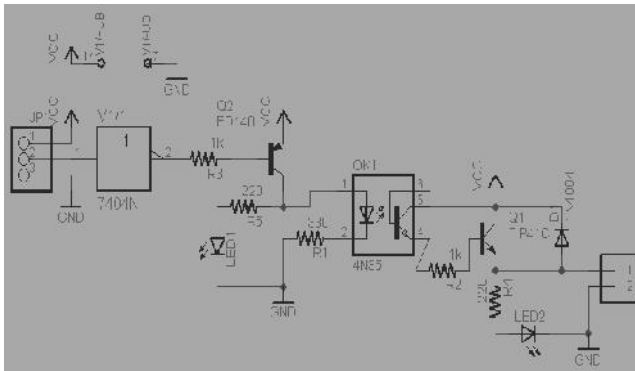
Motor DC merupakan *actuator* yang sistem kontrolnya relatif mudah dibandingkan *actuator* jenis lainnya. Dikarenakan keluaran arus pada PLC cukup kecil, maka untuk memenuhi kebutuhan arus yang cukup besar untuk motor DC digunakan *driver* motor. Pada penelitian ini motor DC yang digunakan memiliki spesifikasi sumber tegangan sebesar 12-24 Volt dengan arus minimal 2 Ampere. Sehingga ditentukan rangkaian driver motor DC yang mampu memberikan sumber daya yang diperlukan oleh motor DC. Arus keluaran pada PLC adalah 400 mA sehingga untuk menguatkan arus yang dibutuhkan digunakan rangkaian driver motor DC menggunakan MOSFET IRFZ540. Untuk skema rangkaian driver motor DC yang digunakan pada penelitian ini diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 4. Skema rangkaian driver Motor DC

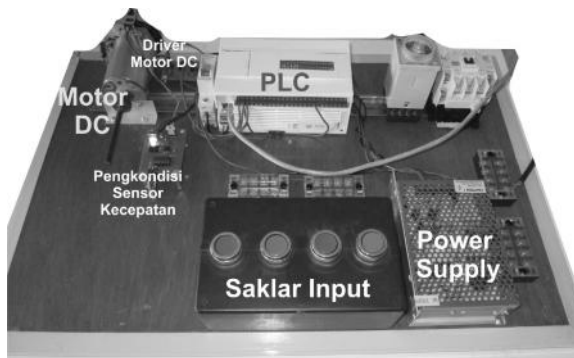
Untuk mengetahui kecepatan putaran motor DC digunakan sensor kecepatan. Sinyal masukan perangkat ini dikoneksikan dengan motor DC, dan untuk keluarannya dijadikan umpan balik dengan dikoneksikan pada masukan PLC pada alamat %I0.0.

Pada motor DC yang digunakan pada penelitian ini memiliki *rotary encoder* yang berfungsi sensor kecepatan. *Rotary encoder* mengukur putaran dengan memanfaatkan efek optik pada *optocoupler* pada perangkat sensornya. Pada Gambar 5 diperlihatkan skema dan prinsip kerja rangkaian pengkondisi sinyal pada sensor kecepatan yang digunakan.



Gambar 5. Skema keluaran magnetic encoder

Pada gambar 6, diperlihatkan perangkat pengendalian yang digunakan dalam yaitu PLC Twido dengan type TWDLCAE40DRF dan aktuator motor DC yang digunakan serta perangkat pendukungnya berupa perangkat komunikasi PLC dan HMI, Driver Motor DC, Sensor Kecepatan dan Rangkaian Sumber Daya.



Gambar 6. Perangkat keras yang digunakan

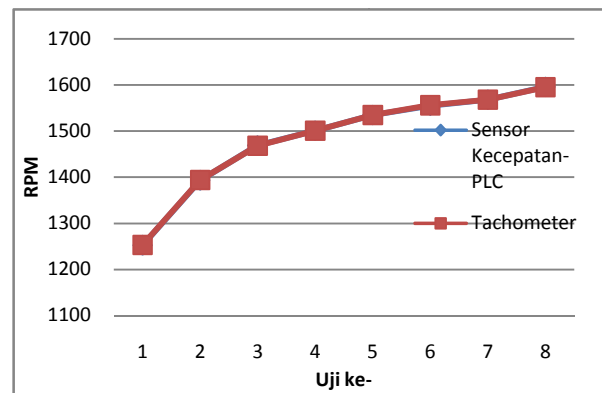
c. Tahap Pengujian Sistem

Pada tahap ini dilakukan untuk mengetahui performansi sistem yang dibangun yang terdiri pengujian sistem kendali motor DC tanpa menggunakan kendali PID dan pengujian sistem kendali motor DC dengan menggunakan menggunakan PID.

Kalibrasi Sensor Kecepatan

Langkah awal yang dilakukan dalam pengujian sistem yaitu dengan melakukan proses kalibrasi pengukuran kecepatan putaran motor DC dalam satuan RPM (*Rotary Per Minute*) yang digunakan sebagai parameter yang dikendalikan..

Proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran kecepatan putaran motor DC menggunakan optical tachometer dan hasil pengukuran RPM pada PLC. Pada gambar 7 diperlihatkan data pengukuran dalam proses kalibrasi.



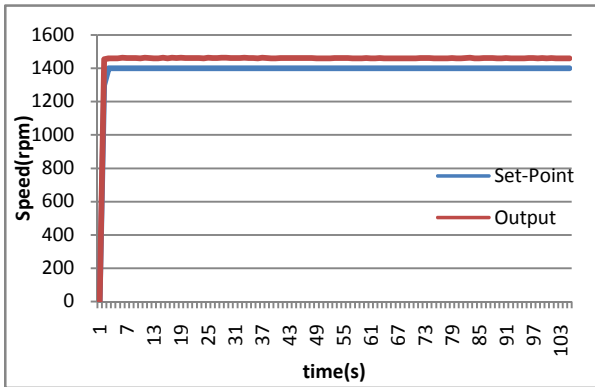
Gambar 7. Data pengamatan kalibrasi pengukuran kecepatan Motor DC

Berdasarkan perbandingan hasil pengukuran kecepatan putaran motor DC diperoleh perbedaan sebesar 0,08 % dari hasil pengukuran kecepatan putaran menggunakan Tachometer dengan pengukuran pada PLC.

Unjuk kerja Sistem Kendali Kecepatan Motor DC Tanpa PID

Untuk mengetahui performansi sistem kendali kecepatan motor DC tanpa menggunakan algoritma PID dilakukan dengan memberikan nilai $K_p=1$, $T_i=0$ dan $T_d=0$ pada pengaturan konstanta PID dalam sistem yang buat. Pada Gambar 8 diperlihatkan diperlihatkan hasil pengamatan respon sistem yang tidak menggunakan

algoritma PID yaitu memiliki tingkat kesalahan tunak (*error steady state*) yang cukup besar. Pada kurva respon terdapat sinyal yaitu sinyal *Setpoint* yaitu kecepatan motor DC yang yang diharapkan dan sinyal *measure* yaitu sinyal terukur kecepatan motor DC.



Gambar 8. Respons Sistem Kendali tanpa menggunakan Algoritma PID

Analisis performasi sistem kendali dilakukan berdasarkan *Integral of Absolute Error (IAE)* menggunakan rumus:

$$IAE = \text{Setpoint} - \sum \text{actual value}$$

Dimana:

Setpoint = tingkat kecepatan yang diinginkan

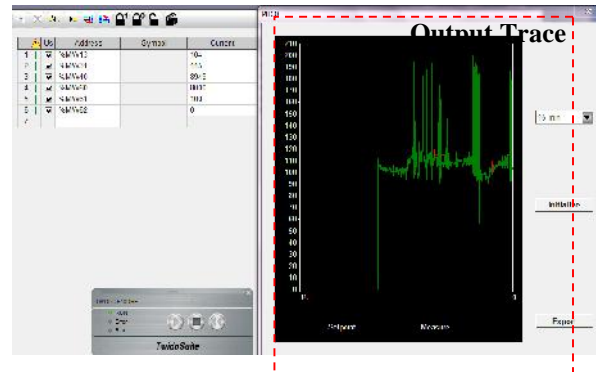
Actual value = tingkat kecepatan hasil pengendalian

Untuk analisis performansi sistem kendali *open-loop* pada pengaturan kecepatan motor DC memiliki nilai IAE sebesar 6417.

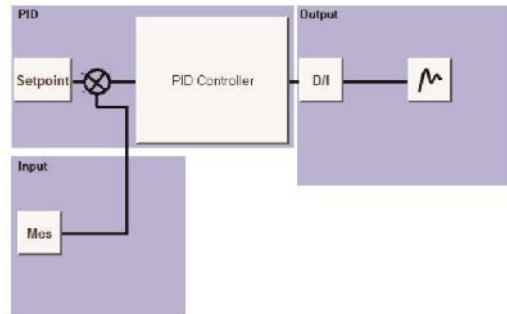
Unjuk Kerja Sistem Kendali Kecepatan Motor DC dengan algoritma PID

Pengujian sistem kendali kecepatan motor DC dengan Algoritma PID dilakukan dengan mengatur parameter-parameter yang dibutuhkan dalam sistem kendali menggunakan *Human Machine Interface (HMI)* yang dibuat menggunakan fasilitas yang ada pada aplikasi Twido Suite yang juga berfungsi sebagai perangkat pemrograman PLC. Untuk mengetahui

performansi dari sistem kendali dalam bentuk grafik dibuat dengan menggunakan fitur *Output Trace* pada fungsi PID PLC.



Gambar 9. Human Machine Interface yang digunakan pada penelitian



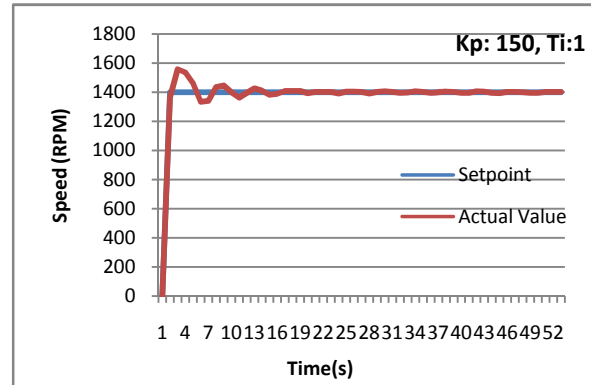
Gambar 10. Diagram blok Pengendali PID Menggunakan PLC

Unjuk Kerja Sistem Kendali PID dengan Tuning Trial-error

Pengujian untuk mengetahui performansi sistem kendali kecepatan motor DC dengan algoritma PID, dilakukan dengan menentukan *Setpoint* sebesar 1400 RPM. Diperlihatkan pada Tabel 1, data performansi sistem kendali PID menggunakan metode *tuning Trial-error*.

Tabel 1. Performansi Sistem Kendali PID dengan Tuning Trial-error

No	Kp (x0,01)	Ti (x 0,1s)	Td (x 0,1s)	IAE
1	100	1	0	486
2	100	2	0	335
3	100	3	0	701
4	150	1	0	258
5	100	1	1	499
6	100	1	2	99
7	100	1	3	820
8	100	2	2	298
9	150	1	3	159
10	150	2	3	59
11	150	3	3	1494
12	150	4	1	477
13	150	4	2	213
14	150	4	3	521

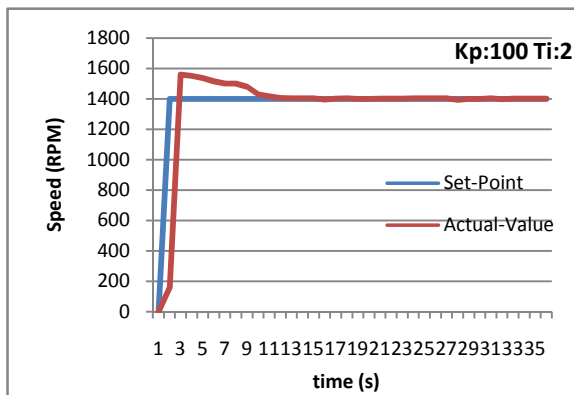


Gambar 12. Kurva Respon Sistem Kendali Proporsional-Integral (PI) pada Setpoint 1400 RPM dengan nilai Kp=150 dan Ti=1

Pada Gambar 12 diperlihatkan performansi sistem kendali pada *Setpoint* pada kecepatan 1400 RPM menggunakan Kp=150, Ti=1. Diperoleh nilai *rise time* mendekati 1 detik serta memiliki nilai *Integral Absolute Error* (IAE) sebesar 258.

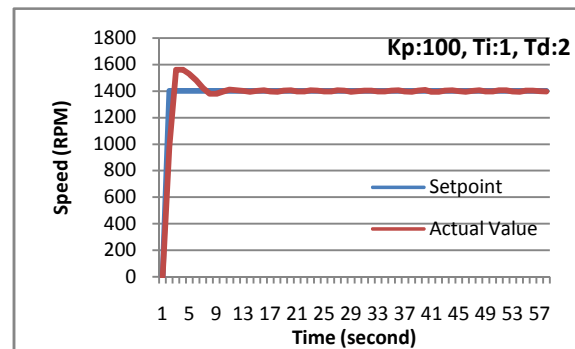
Berdasarkan hasil percobaan penggunaan kendali PI dalam pengendalian kecepatan motor DC dengan menggunakan tuning *trial-error* memiliki respon terbaik pada pengaturan parameter PID Kp=150, Ti=1 karena memiliki nilai waktu naik tercepat dan nilai IAE terkecil.

Pada Gambar 13 diperlihatkan performansi sistem kendali pada *Setpoint* pada kecepatan 1400 RPM menggunakan nilai Kp=100, Ti=1 dan Td=2. Diperoleh nilai *rise time* sebesar 1,5 detik serta memiliki nilai *Integral Absolute Error* (IAE) sebesar 99.

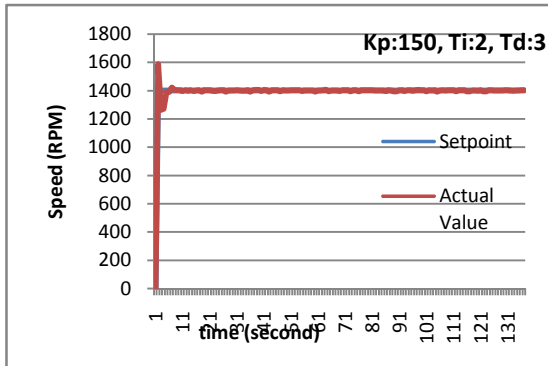


Gambar 11. Kurva Respon Sistem Kendali Proporsional-Integral (PI) pada Setpoint 1400 RPM dengan nilai Kp=100 dan Ti=2

Pada Gambar 11 diperlihatkan performansi sistem kendali pada *Setpoint* pada kecepatan 1400 RPM menggunakan Kp=100, Ti=2. Diperoleh nilai *rise time* mendekati 1 detik serta memiliki nilai *Integral Absolute Error* sebesar 335.



Gambar 13. Kurva Respon Sistem Kendali PID pada Setpoint 1400 RPM dengan nilai Kp=100, Ti=1, Td=2



Gambar 14. Kurva Respon Sistem Kendali PID pada Setpoint 1400 RPM dengan nilai $K_p=150$, $T_i=2$ dan $T_d=3$

Berdasarkan gambar 14, performansi sistem kendali pada *Setpoint* pada kecepatan 1400 RPM menggunakan nilai $K_p=150$, $T_i=2$ dan $T_d=3$. Diperoleh nilai *rise time* sebesar 1 detik serta memiliki nilai *Integral Absolute Error* (IAE) sebesar 59 tetapi memiliki nilai *overshoot* cukup besar.

Unjuk Kerja Sistem Kendali PID dengan Tuning Ziegler Nichols

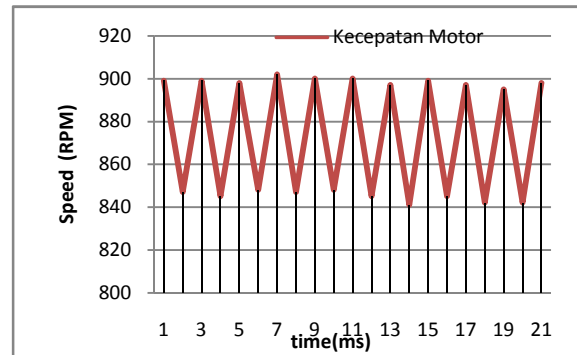
Tahap pengujian sistem selanjutnya dilakukan dengan menerapkan metode *tuning Ziegler-Nichols 2* untuk menentukan parameter-parameter PID. Adapun algoritma *Tuning Ziegler Nichols 2* adalah sebagai berikut:

- 1) Ditentukan sistem Loop tertutup dengan kontroler proporsional dan *Plant* didalamnya.
- 2) Ditambahkan Nilai K_p sampai dengan diperoleh respon sistem dengan osilasi yang berkesinambungan.
- 3) Setelah diperoleh respon dengan osilasi berkesinambungan, ditentukan nilai K_{cr} yang diperoleh dari nilai Konstanta Proporsional di digunakan dan nilai P_{cr} yang diperoleh dari periode osilasinya.
- 4) Ditentukan nilai K_p , T_i dan T_d berdasarkan tabel 2.

Tabel 2. Penentuan nilai K_p , T_i dan T_d Metode Ziegler Nichols 2

Type Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	0.5 K_{cr}	~	0
PI	0.45 K_{cr}	1/1.2 P_{cr}	0
PID	0.6 K_{cr}	0.5 P_{cr}	0.125 P_{cr}

Berdasarkan hasil percobaan yang diperlihatkan pada gambar 15 diperoleh respon dengan osilasi berkesinambungan pada nilai kontanta Proporsional (K_p) sebesar 350.



Gambar 15. Kurva Respon Sistem dengan osilasi berkesinambungan

Penentuan nilai K_p dengan nilai penguatan kritis, digunakan $K_{cr}=50$, dengan menggunakan rumus yang diperlihatkan pada Tabel 5.4 diperoleh nilai parameter PID untuk pengaturan kecepatan motor pada *Setpoint* 1400 RPM. Adapun perhitungan parameter PID yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$K_p = 0,6 \times 350 = 210$$

$$T_i = 0,5 \times 2 = 1,2$$

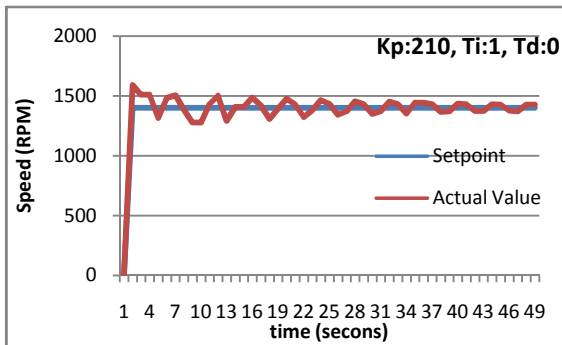
$$T_d = 0,125 \times 2 = 0,25$$

Diperlihatkan pada Tabel 3, data performansi sistem kendali PID menggunakan *tuning* metode *Ziegler-Nichols 2*.

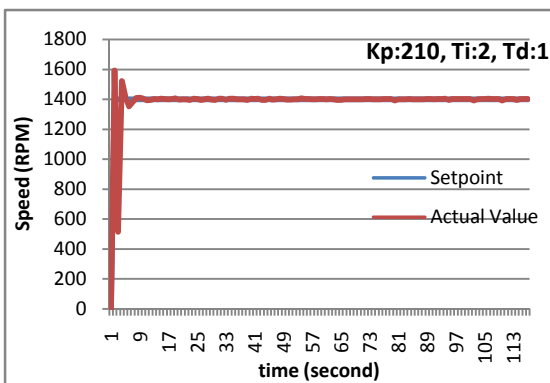
Tabel 3. Performansi Sistem menggunakan tuning metode Ziegler-Nichols

No	Kp (x0,01)	Ti (x 0,1s)	Td (x 0,1s)	IAE
1	210	1	0	426
2	210	2	1	599

Berdasarkan gambar 16, performansi sistem kendali pada *Setpoint* pada kecepatan 1400 RPM menggunakan nilai $K_p=210$, $T_i=1$ dan $T_d=0$. Diperoleh nilai *rise time* sebesar 1, nilai *Integral Absolute Error* (IAE) sebesar 426 dengan memiliki nilai *overshoot* cukup besar. Respon sistem memperlihatkan karakteristik yang kurang stabil.



Gambar 16. Kurva Respon Sistem Kendali PID pada Setpoint 1400 RPM dengan nilai $K_p=210$, $T_i=1$, $T_d=0$



Gambar 17. Kurva Respon Sistem Kendali PID pada Setpoint 1400 RPM dengan nilai $K_p=210$, $T_i=2$, $T_d=1$

Berdasarkan gambar 17, performansi sistem kendali pada *Setpoint* pada kecepatan 1400 RPM menggunakan nilai $K_p=210$, $T_i=2$ dan $T_d=1$. Diperoleh nilai *rise time* sebesar 0,5 detik, nilai *Integral Absolute Error* (IAE) sebesar 599 dengan memiliki nilai *overshoot* cukup besar. Respon sistem memperlihatkan karakteristik yang stabil.

Berdasarkan hasil pengamatan unjuk kerja sistem kendali PID menggunakan *tuning Ziegler Nichols 2*, diperoleh respon yang cukup stabil tetapi masih memiliki nilai *overshoot* yang cukup besar.

Dari hasil perbandingan unjuk kerja sistem kendali PID menggunakan metode *tuning trial-error* dan *Ziegler-Nichols 2*, untuk *plant* kecepatan motor DC masih lebih baik performansi sistem kendali yang menggunakan metode tuning *trial-error* dengan nilai *rise time* lebih cepat, nilai *overshoot* yang cukup kecil dan karakteristik sistem yang stabil.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa

- 1) Implementasi kendali PID pada pengaturan kecepatan motor DC menggunakan PLC Twido TWDLCAE40DRF dapat dilakukan.
- 2) Tingkat kesalahan pengukuran kecepatan motor DC menggunakan PLC sebesar 0,08% dibandingkan pengukuran kecepatan menggunakan tachometer.
- 3) Unjuk kerja sistem kendali PID menggunakan *tuning Trial-error* dengan nilai $K_p=100$, $T_i=1$ dan $T_d=2$. Diperoleh nilai *rise time* sebesar 1 detik, nilai *Integral Absolute Error* (IAE) sebesar 99 dengan karakteristik sistem yang stabil.
- 4) Hasil pengamatan unjuk kerja sistem kendali PID menggunakan *tuning Ziegler Nichols 2* dengan nilai $K_p=210$, $T_i=2$ dan $T_d=1$, diperoleh respon yang cukup stabil tetapi masih memiliki nilai *overshoot* yang cukup besar.

5) Hasil perbandingan unjuk kerja sistem kendali PID menggunakan metode *tuning trial-error* dan *Ziegler-Nichols 2*, untuk *plant* kecepatan motor DC masih lebih baik performansi sistem kendali yang menggunakan metode *tuning trial-error* dengan nilai *rise time* lebih cepat, nilai *overshoot* yang cukup kecil dan karakteristik sistem yang stabil

Avinash P. Kaldate, Sachin A. Kulnari, "PLC Based PID Speed Control System". IOSR Journal Of Engineering Vol.4, maret 2014.

Winarso, "Implementasi Kendali PID pada Pengaturan Kecepatan Motor DC Berbasis Programmable Logic Controller", Proceeding SENATEK 2015 UMP, September 2015.

Daftar Pustaka

Dilsad, Engin & Mustafa Engin, "*Auto-tuning of PID Parameters with Programmable Logic Controller*", Proceeding of 2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Japan, 2013

Parviz Amiri, Mahsa Bagheri, "*Speed Control of DC Motor by Programmable Logic Control with High Accuracy*", Universal Journal of Control and Automation, 2013

Handy Wicaksono. "*Analisa Performansi dan Robustness Beberapa Metode Tuning Kontroler PID pada Motor DC*". Jurnal Teknik Elektro Universitas Kristen Petra Vol.4, September 2004.

Bayindir, R., Vadi, S. "*Implementation of a PLC and OPC-Based DC Motor Control Laboratory*". 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives – IEEE. May 2014.

Krunal Patel, Bhavesh Bhoya, Hiren Chaudari. "*Touch Screen Based Industrial Crane Controlling*". International Journal Of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET). Vol 3. April 2014.

Joss Pramudijanto, Fitriadi Pramono, "*Implementasi Adaptive PID dengan PLC C200H Untuk Sistem Pengaturan Motor DC*", Journal of Electrical and Electronics Engineering, Vol.3, 2005.

Handy Wicaksono, Josaphat Pramudijanto, "*Kontrol PID untuk Pengaturan Motor DC dengan Metode Tuning Direct Synthesis*", Jurnal Teknik Elektro Vol.4, maret 2004.