

Implementasi sistem SCADA dengan metode kontrol PID pada motor DC penggerak *conveyor belt*

Muhammad Khairuddin¹, Edi Sulisty Budi², Zakiyah Amalia³, Adelia Dwi Puspitasari⁴, Alfiandi Aulia Rahmadani⁵, Firman Bagus Prasetyo⁶

e-mail: ¹khairuddin@polinema.ac.id, ²edi.sulisty@polinema.ac.id, ³zakiyah_amalia@polinema.ac.id, ⁴adeliadwp.51@gmail.com, ⁵alfirahma4@gmail.com, ⁶firman.bagus09@gmail.com

^{1,2,4,5,6}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

³Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 12 September 2022

Direvisi 20 Oktober 2022

Diterbitkan 28 Oktober 2022

Kata kunci:

Sistem SCADA

PLC

Kontrol PID

RTU

Konveyor

ABSTRAK

Sistem SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) merupakan teknologi komputer yang banyak digunakan pada sistem kendali di dunia industri saat ini. Pada penelitian ini sistem SCADA digunakan pada plant motor penggerak konveyor karena plant tersebut sangat banyak digunakan di industri, hampir semua jenis industri menggunakan konveyor untuk memindahkan barang dari satu tempat ketempat lainnya. Implementasi kontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) yang akan mengoreksi error kecepatan dengan menggunakan rotary encoder sehingga kecepatan putaran motor DC sesuai dengan nilai setpoint yang ditentukan melalui sistem SCADA. Kontroler utama pada sistem ini adalah PLC (*Programmable Logic Controller*) Siemens S7-1200 yang berperan sebagai RTU (*Remote Terminal Unit*) pada sistem SCADA. Nilai parameter PID yang ditentukan pada sistem SCADA adalah $K_p = 0,25$, $T_i = 0,8$ dan $T_d = 0,08$. Berdasarkan hasil pengujian, sistem SCADA bisa mengendalikan plant dengan baik dengan nilai error steady state sebesar 1,1% - 3,4% baik saat konveyor belt bekerja dengan beban maupun tanpa beban. Dengan sistem SCADA, monitoring sistem bisa dilakukan dari jarak jauh tanpa harus datang langsung ke lokasi tempat plant berada sehingga lebih memudahkan proses monitoring dan kontrol plant di dunia industri.

ABSTRACT

The SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) system is a computer technology that is widely used in control systems in today's industrial world. In this study, the SCADA system was used in a motor conveyor driving because the plant is very widely used in industry, almost all types of industry use conveyors to move goods from one place to another. The control implementation used in this study is the PID (*Proportional Integral Derivative*) control method which will correct errors of the speed sensor input variable using a rotary encoder so that the DC motor rotation speed match the setpoint value determined through the SCADA system. The main controller in this system is the Siemens S7-1200 PLC (*Programmable Logic Controller*) which acts as the RTU (*Remote Terminal Unit*) on the SCADA system. The PID parameter values determined in the SCADA system are $K_p = 0.25$, $T_i = 0.8$ and $T_d = 0.08$. Based on the test results, the SCADA system can control the plant well with a steady state error value of 1.1% - 3.4% both when the conveyor belt is working with or without load. With the SCADA system, monitoring the system can be done remotely without having to come directly to the location where the plant is located, making it easier for the process of monitoring and controlling plants in the industrial world.

Penulis Korespondensi:

Zakiyah Amalia,

Jurusan Teknik Mesin,

Politeknik Negeri Malang,

Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia.

Email: zakiyah_amalia@polinema.ac.id

1. PENDAHULUAN

SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) merupakan suatu sistem kendali berbasis komputer yang biasa digunakan untuk proses pengawasan, pengukuran dan pengendalian secara *real time* dan juga mampu menyimpan semua data dari lapangan yang terhubung dengan sistem SCADA. Sistem SCADA memiliki peran penting pada Industri 4.0 [1] yang menjadi prioritas utama pemerintah Indonesia karena dengan sistem ini dimungkinkan proses pengendalian, supervisi dan *monitoring* baik dalam area lokal maupun jarak jauh dengan menggunakan PLC, Raspberry Pi, serta *cloud* sebagai perantara dan penyimpan data [2-3]. Di dunia industri, *conveyor* sebagai pemindah barang dari suatu tempat ke tempat lain sangat berguna dalam pengangkutan material atau barang yang berukuran berat atau besar. Oleh sebab itu, sistem *conveyor* bisa ditemui hampir di semua jenis industri. Sistem ini menggunakan motor listrik baik AC maupun DC sebagai penggerak utama. Penggerak ini membutuhkan suatu metode kontrol untuk mengendalikan kecepatan putarannya. Metode kontrol PWM cukup populer digunakan untuk mengendalikan putaran motor DC [4-5]. Selain itu, metode kontrol PID juga banyak diandalkan dalam mengatur kecepatan motor DC karena mampu menghasilkan respon sistem yang sangat baik dengan *overshoot* dibawah 10% [6-7] dan menggunakan mikrokontroler (MCU) sebagai kontroler utama. Namun, saat ini PLC lebih populer digunakan sebagai kontroler sistem otomatisasi di dunia industri termasuk sistem *conveyor* karena PLC khususnya Siemens S7-1200 sudah menyediakan fitur metode kontrol PID yang sangat handal serta mampu langsung *compatible* dengan sistem SCADA tanpa tambahan *software* lain sehingga memberikan kemudahan bagi pengguna dalam mengendalikan kecepatan motor listrik yang digunakan [8-9].

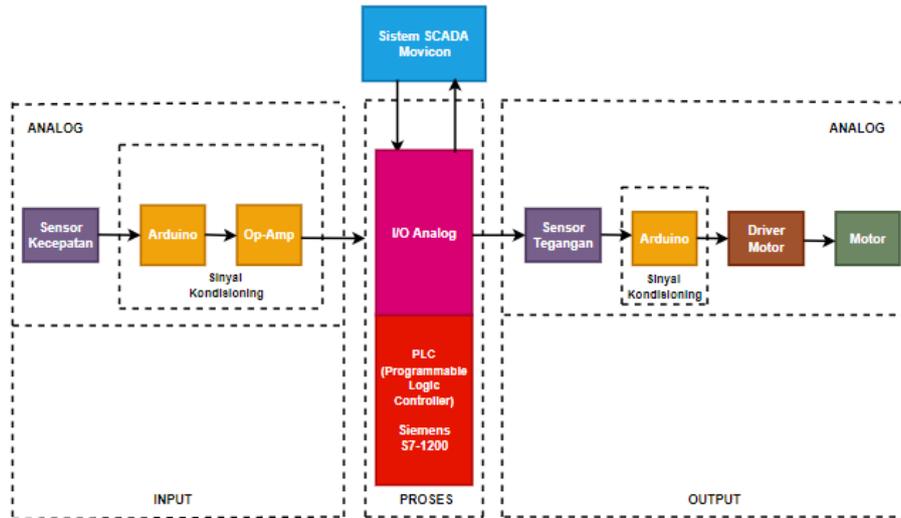
Untuk meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya produksi yang ada di dalam industri, banyak industri yang beralih ke sistem SCADA [10-15]. Namun masih jarang industri yang menerapkan metode kontrol PID dengan sistem SCADA pada sistem *conveyor* yang ada. Oleh sebab itu, penelitian ini membahas *plant conveyor belt* yang kecepatannya bisa ditentukan dan dikendalikan dengan sistem SCADA. Implementasi kontrol yang diambil pada penelitian ini adalah metode kontrol PID. Metode kontrol PID akan mengoreksi nilai *error* dari pengukuran variabel *input* sensor kecepatan sehingga akan mendeteksi putaran motor agar *output* sesuai dengan nilai *setpoint* yang ditentukan. Metode kontrol PID menggunakan 2 metode yaitu metode *fine tuning* yang berasal dari PLC Siemens S7-1200 dan metode *trial and error* sebagai proses *tunning* parameter K_p , T_i dan T_d . Hal ini dilakukan untuk mencari metode yang terbaik pada sistem *conveyor belt*.

2. METODE PENELITIAN

Metode umum penelitian ini adalah studi pustaka, perancangan dan pembuatan sistem, dan penelitian empiris untuk pengumpulan data, analisa dan kesimpulan. Aliran keilmuan, teknologi dan penelitian untuk mewujudkan **Implementasi Sistem SCADA Dengan Metode Kontrol PID Pada Motor DC Penggerak Conveyor Belt**. Tahapan awal dari penelitian ini adalah studi literatur dan penentuan metode kontrol yang digunakan pada conveyor. Kemudian ditentukan desain mekanik dari *plant conveyor* yaitu jenis *conveyor belt* yang merupakan jenis conveyor yang paling umum dijumpai di Industri. Untuk desain elektrik dirancang khusus agar bisa *plug and play* karena tujuan dari penelitian ini adalah pembuatan alat peraga untuk mahasiswa. Hal ini bertujuan agar mahasiswa bisa merancang sendiri *wiring* atau pengkabelan I/O yang akan digunakan. Dari sisi Dosen pengajar, hal ini sangat penting karena pemahaman mahasiswa mengenai sistem kelistrikan yang dibutuhkan pada suatu *plant* bisa terlihat. Demikian juga dengan algoritma kontrol yang dibuat mahasiswa dalam program *ladder* PLC. Selanjutnya, dilakukan perakitan sesuai dengan rancangan yang dibuat, serta dilanjutkan dengan konfigurasi sistem SCADA dan pembuatan tampilan HMI (*Human Machine Interface*) yang sesuai dengan *plant* yang akan digunakan baik pada panel HMI PLC maupun HMI SCADA. Pada HMI akan terlihat jalannya conveyor mulai dari indikasi saat *conveyor* bekerja, kecepatan aktual dari motor penggerak *conveyor*, setting nilai K_p , K_i , dan K_d juga bisa dilakukan dari HMI. Setelah semua step tersebut dipenuhi, maka performa dari sistem bisa dilihat baik melalui HMI maupun langsung pada *conveyor belt*.

2.1 Blok diagram sistem

Gambar 1 merupakan diagram blok sistem *conveyor* dapat dijelaskan fungsi dari masing-masing blok yaitu input, proses dan output.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

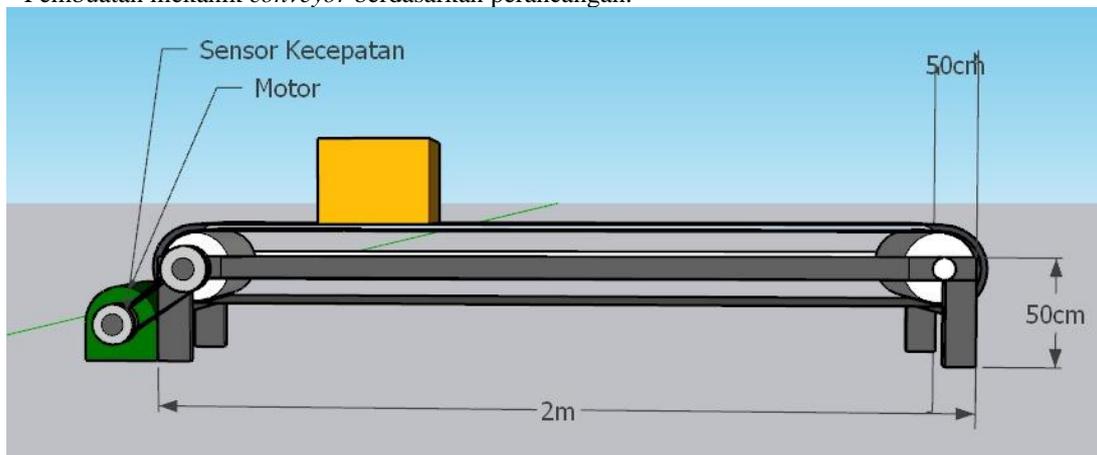
Pada bagian *input*, terdapat sensor kecepatan yang digunakan untuk membaca kecepatan pada putaran motor. Di butuhkan juga sinyal kondisioning yang berupa Arduino dan op-amp untuk mengubah nilai-nilai analog pembacaan sensor supaya nilai analog tersebut dapat dibaca oleh PLC. Pada bagian proses, semua *input* sensor masuk pada analog input PLC. PLC yang digunakan pada *plant* ini menggunakan Siemens S7-1200. Fungsi dari PLC adalah sebagai RTU (*Remote Terminal Unit*) yang berfungsi sebagai pengambilan data dari sensor, mengirimkan data ke MTU (*Master Terminal Unit*) dan meneruskan data ke *output*. Sistem SCADA yang digunakan pada *plant* ini menggunakan *software* Movicon 11.3. Sistem SCADA yang terdiri dari HMI dan PC merupakan MTU.

MTU adalah perangkat yang mengeluarkan perintah kepada RTU yang berfungsi untuk mengumpulkan data, menyimpan data, memproses data serta menampilkan data dalam bentuk kurva, gambar dll. Pada bagian *output* terdapat sensor tegangan untuk membaca tegangan dari analog output PLC. Dan terdapat pengkondisi sinyal berupa mikrokontroler Arduino untuk mengkondisikan tegangan analog output PLC yang akan diubah menjadi PWM (*Pulse Width Modulation*). Driver motor berfungsi untuk menerima data dari Arduino untuk menggerakkan motor. Motor berfungsi sebagai aktuator pada *conveyor*.

2.2 Perancangan mekanik

Perancangan mekanik pada sistem *conveyor* ini terdiri dari *belt conveyor* yang digunakan untuk tempat mengangkut benda. Gambar 2 menunjukkan desain mekanik *conveyor belt*. Bahan yang digunakan pada *conveyor* menggunakan besi kanal c, sedangkan bahan untuk *belt conveyor* menggunakan kanvas yang biasa digunakan pada penutup truk. Perancangan dan pembuatan mekanik pada *conveyor* ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

1. Penentuan ukuran dimensi alat.
2. Penentuan letak posisi sensor kecepatan, motor DC gear box, dan panel box.
3. Pembuatan mekanik *conveyor* berdasarkan perancangan.

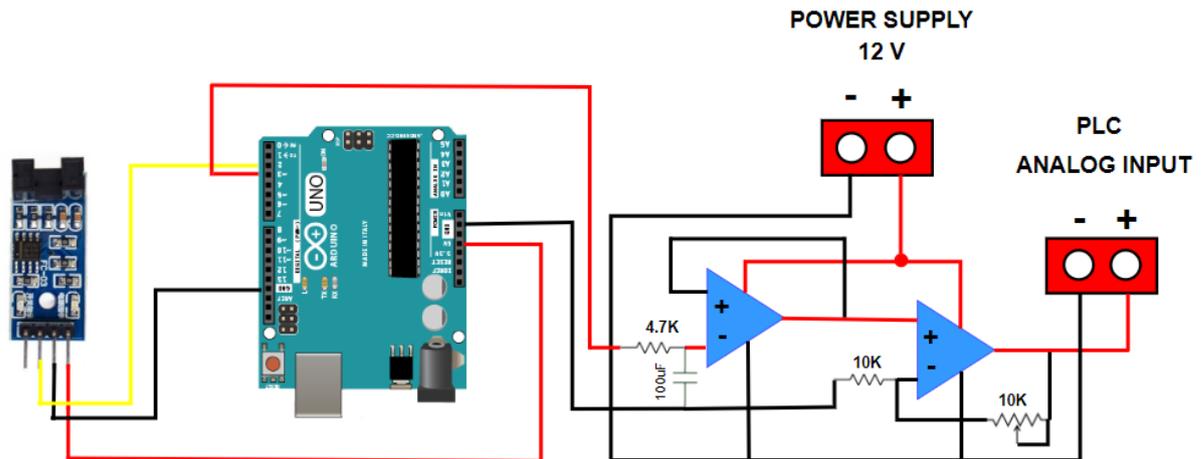


Implementasi sistem SCADA dengan metode kontrol PID pada motor DC penggerak conveyor belt (Muhammad Khairuddin)

Gambar 2. Desain Mekanik *Conveyor Belt*

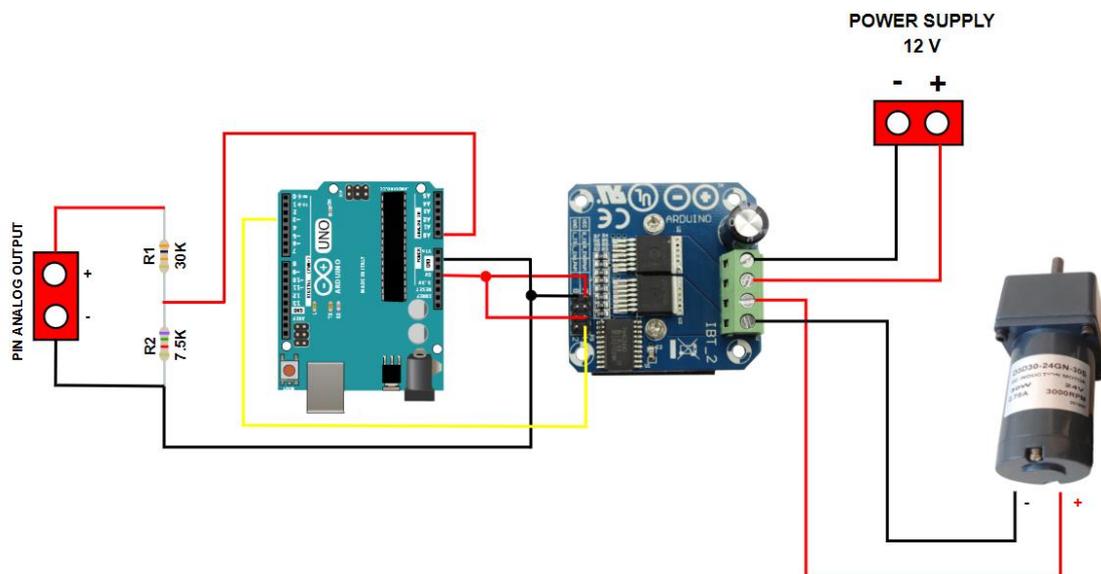
2.3 Perancangan elektrik

Perancangan elektronik pada sistem kontrol kecepatan putaran motor pada *conveyor* ini berfokus pada desain pengkondisi sinyal yang digunakan untuk menghubungkan sensor ke PLC agar dapat terbaca oleh PLC dan pengkondisi sinyal pada *output* PLC berfungsi agar dapat menggerakkan driver motor. Gambar 3 merupakan rangkaian sensor kecepatan yang terdiri dari sensor *optocoupler* dan rangkaian pengkondisi sinyal yang tersusun dari mikrokontroler Arduino Uno dan op-amp *non-inverting* agar sinyal input dari sensor bisa terbaca oleh PLC. Arduino berfungsi untuk membaca *output* berupa pulsa dari sensor kecepatan yang akan diubah nilainya dalam bentuk PWM dengan tegangan kerja 0-5V. Karena analog input PLC yang digunakan hanya bisa membaca sinyal input dari 0-10V maka dibutuhkan op-amp *non-inverting* dengan penguatan 2 kali. Rangkaian op-amp yang digunakan menggunakan resistor input dan resistor penguatan sebesar 10k Ohm.



Gambar 3. Rangkaian Sensor Kecepatan

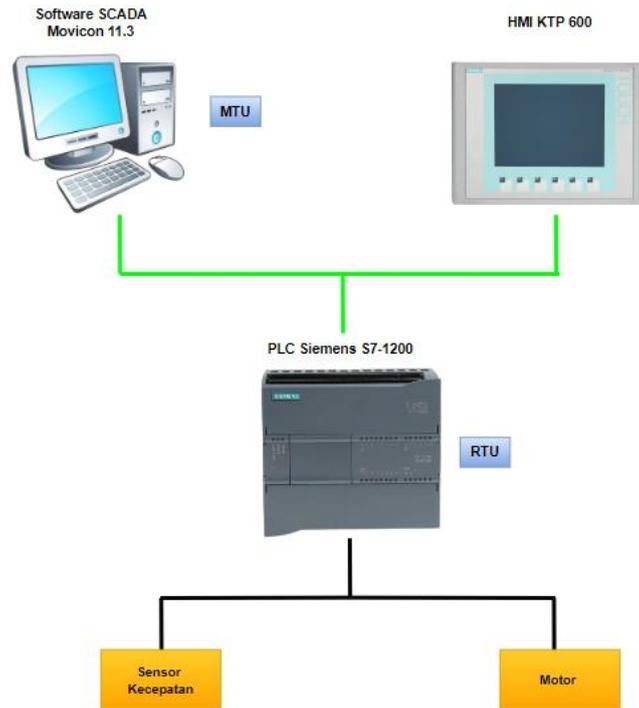
Selanjutnya adalah perancangan driver motor DC yang tersusun dari rangkaian pembagi tegangan, Arduino Uno, dan driver motor BTS7960 seperti yang bisa dilihat pada Gambar 4. Rangkaian driver ini berfungsi juga sebagai pengkondisi sinyal dari PLC agar motor DC mampu bekerja sesuai dengan program yang dibuat pada PLC Siemens S7-1200.



Gambar 4. Driver Motor DC

2.4 Perancangan sistem SCADA

Sistem SCADA yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *software* Movicon versi 11.3, PLC Siemens S7-1200, dan HMI Siemens KTP600 untuk mengendalikan *plant* berupa *conveyor belt*. Gambar 5 merupakan gambaran arsitektur dari sistem SCADA yang digunakan pada penelitian ini.



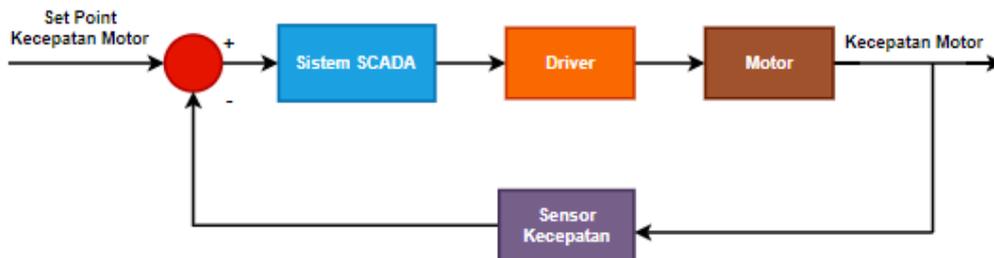
Gambar 5. Arsitektur Sistem SCADA

SCADA yaitu merupakan MTU untuk mengambil data, mengolah data, dan memonitoring data. *Software SCADA* yang digunakan yaitu *Movicon* Versi 11.3. SCADA juga dapat menampilkan tampilan visual *plant* sistem secara keseluruhan. Berbeda dengan HMI, HMI hanya dapat memberikan informasi kepada *user* namun tidak dapat mengontrol sistem secara keseluruhan seperti SCADA. Sedangkan SCADA mampu mengontrol dan mendapatkan data secara jarak jauh. Di dalam industri penempatan berada di dekat *plant*. Penempatan SCADA yaitu berada di *control room*. Pada HMI untuk akses pengontrolan pada *plant* terbatas, Namun pada SCADA akses pengontrolan pada *plant* dapat menyeluruh. Pada PLC Siemens S7-1200 di skripsi ini sebagai RTU yang berfungsi untuk memberikan data yang diperoleh dari sensor dan aktuator secara *real time* lalu data tersebut dikirimkan ke sistem SCADA. Setelah data dikirimkan ke sistem SCADA data tersebut akan diolah dan dikirimkan ke PLC untuk melakukan pengontrolan yang akan dikirimkan melalui *output* PLC.

2.5 Perancangan metode kontrol

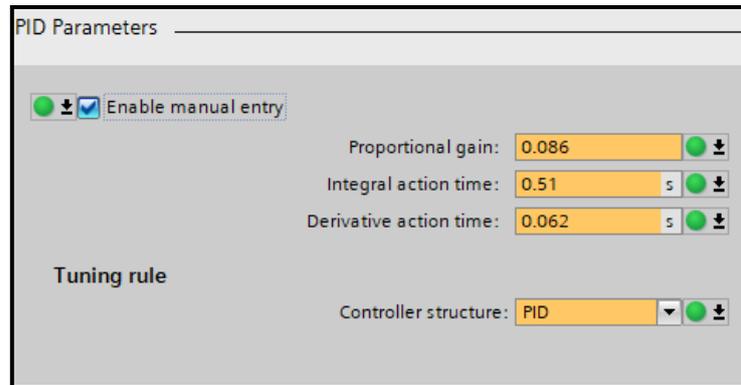
2.5.1 Perancangan kontrol PID metode *fine tuning*

Perancangan kontrol PID pada proses pengontrolan motor *conveyor* menggunakan metode pada fitur PLC Siemens S7-1200 yaitu *fine tuning* PID. Gambar 6 menunjukkan blok diagram metode PID (*Proportional Integral Derivative*). Nilai *setpoint* berupa kecepatan motor dari sistem ini adalah nilai yang telah di inputkan pada sistem SCADA, nilai *setpoint* akan dibandingkan dengan nilai hasil pembacaan sensor kecepatan untuk mengukur kecepatan putaran motor. Pada saat *fine tuning* di jalankan maka motor akan dijalankan secara otomatis sehingga nilai sensor akan terbaca dan dibandingkan dengan nilai *setpoint*. *Fine tuning* akan otomatis menghitung dan merubah nilai parameter K_p , T_i dan T_d hingga sistem tersebut stabil.



Gambar 6. Diagram Blok Metode PID (*Proportional Integral Derivative*)

Pada penelitian ini menggunakan Siemens S7-1200 yang dapat di kontrol melalui sistem SCADA seperti pada Gambar 7.

Gambar 7. Parameter PID Metode *Fine Tuning*

Untuk melakukan pengontrolan dengan metode PID pada PLC Siemens S7-1200 diperlukan blok PID_Compact pada *software* TIA Portal. Blok PID_Compact memiliki 3 parameter utama yang mempengaruhi kinerja kontroler yaitu Konstanta Proporsional (K_p), *Time Integral* (T_i), dan *Time Derivative* (T_d).

2.5.2 Perancangan kontrol PID metode *trial and error*

Metode *trial and error* adalah sebuah metode yang digunakan untuk merancang kontroler PID berdasarkan uji coba dengan memasukkan nilai parameter K_p , T_i , dan T_d agar mendapatkan respon sistem yang stabil. Acuan nilai parameter yang digunakan pada *metode trial and error* sistem ini menggunakan nilai yang didapat dari nilai parameter pada *fine tuning*. Parameter K_p berpengaruh pada kecepatan respon, parameter T_i berpengaruh pada *error steady state*, dan parameter T_d berpengaruh pada *overshoot* pada sistem.

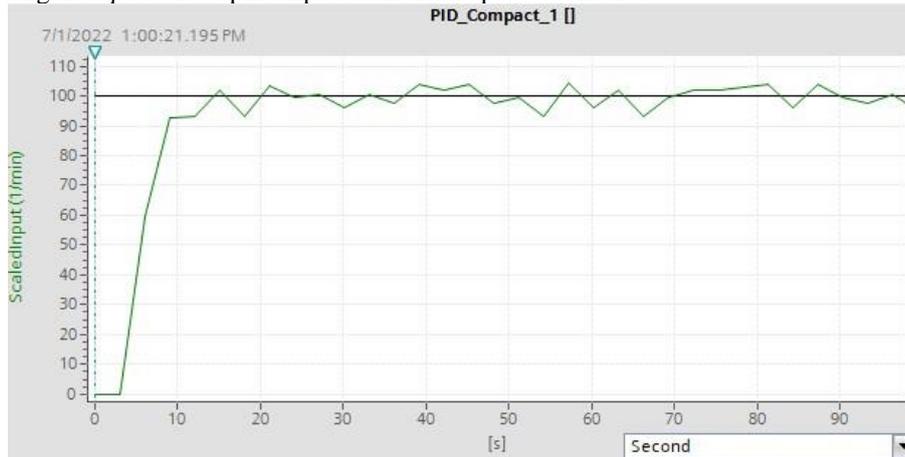
Tabel 1. Data Nilai Parameter *Trial and Error*

Data Ke-	K_p	T_i	T_d
1	0,086	0,51	0,062
2	0,05	0,51	0,062
3	0,15	0,51	0,062
4	2	0,51	0,062
5	0,2	0,51	0,062
6	0,25	0,51	0,062
7	0,3	0,51	0,062
8	0,086	0,8	0,062
9	0,05	0,8	0,062
10	0,15	0,8	0,062
11	2	0,8	0,062
12	0,2	0,8	0,062
13	0,25	0,8	0,062
14	0,3	0,8	0,062
15	0,086	0,8	0,08
16	0,05	0,8	0,08
17	0,15	0,8	0,08
18	2	0,8	0,08
19	0,2	0,8	0,08
20	0,25	0,8	0,08

Nilai tersebut akan di ubah parameternya dan di lakukan percobaan agar respon sistem menjadi stabil dan dijadikan pembanding untuk mencari respon sistem yang lebih optimal. Tabel 1 merupakan data nilai parameter yang digunakan pada metode *trial and error*. Dari hasil percobaan menggunakan metode *trial and error* pada Tabel 1 diperoleh nilai parameter $K_p = 0.25$ $T_i = 0.8s$ dan $T_d = 0.08s$ yang dipilih dari percobaan data ke-20 yang telah dilakukan menunjukkan hasil respon sistem lebih stabil.

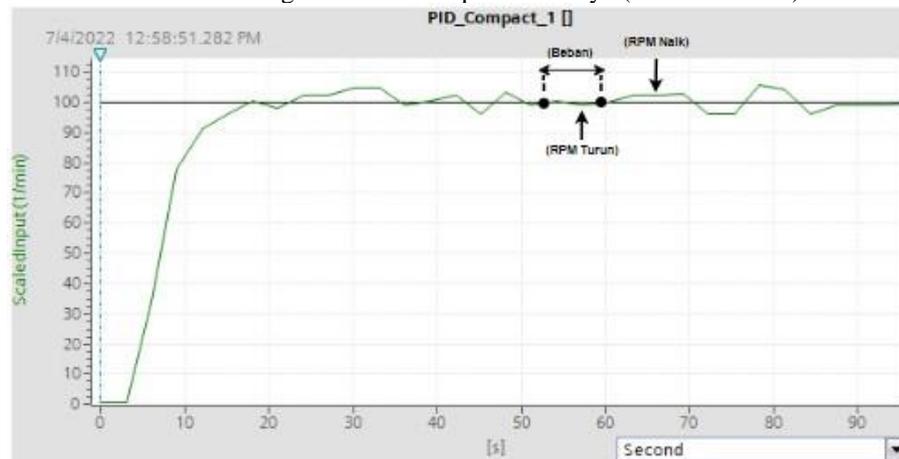
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem SCADA dilakukan untuk mengetahui dan memastikan sistem SCADA yang dirancang mampu bekerja dengan baik. Pengujian kontrol PID menggunakan metode *fine tuning* bertujuan untuk mengetahui respon sistem terhadap nilai parameter pada fine tuning. Pengambilan data dilakukan dengan cara memasukkan nilai $K_p = 0,086$, $T_i = 0,51s$ dan $T_d = 0,062s$. Kemudian dari HMI akan ditentukan kecepatan laju konveyor sesuai *setpoint* sebesar 100 rpm dengan pengujian tanpa beban serta beban seberat 5 Kg. Respon sistem bisa dengan *setpoint* 100 rpm tanpa beban dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Respon Kontrol PID Metode *Fine Tuning* 100 Rpm Tanpa Beban

Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai *rise time* sekitar 14s, *delay time* sekitar 4s, *peak time* sebesar 15s, serta *error steady state* atas dan bawah sebesar 4.1% dan 6.3%. Dengan *setting* nilai PID yang sama, konveyor diberikan beban seberat 5 Kg dan berikut respon sistemnya (lihat Gambar 9).



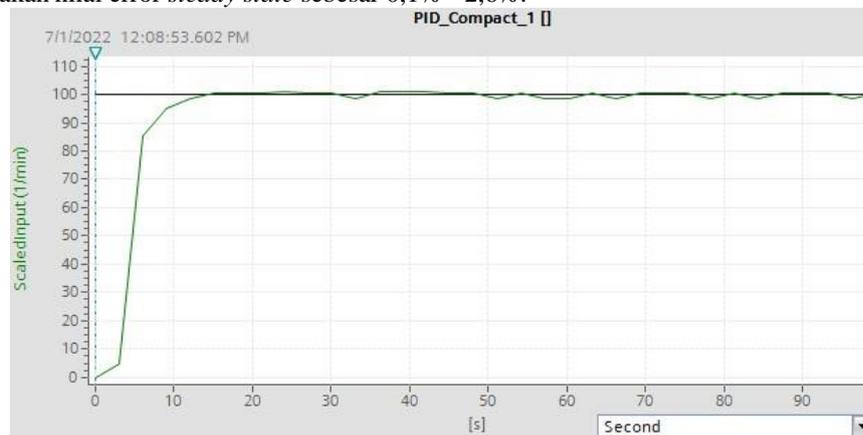
Gambar 9. Grafik Respon Kontrol PID Metode *Fine Tuning* 100 Rpm Dengan Beban

Hasil tersebut menunjukkan bahwa terjadi penurunan kecepatan menjadi 99 rpm ke-mudian naik lagi hingga 103 rpm. *Error steady state* pada grafik respon sistem yaitu sebesar 4% - 5.3%. Dapat disimpulkan bahwa metode *fine tuning* cukup efektif untuk mengendalikan kecepatan motor listrik sesuai dengan *setpoint*, namun respon sistemnya masih kurang bagus sehingga akan dilakukan percobaan dengan metode *trial and error*.

Pada metode *trial and error*, pengambilan data dilakukan dengan cara memasukkan nilai $K_p = 0.25$, $T_i = 0.8s$, dan $K_d = 0.08s$ melalui TIA Portal kemudian *setting* tersebut akan di download ke PLC Siemens S7-1200. Hasilnya bisa dilihat pada Gambar 10 yang menunjukkan respon sistem saat dilakukan percobaan tanpa

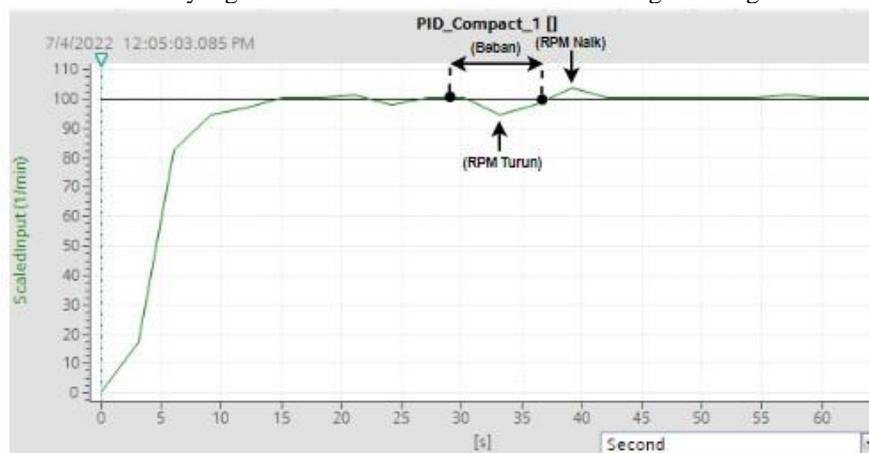
beban. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai *rise time* sebesar 14s, *delay time* sekitar 4s, *peak time* sebesar 24s, serta error *steady state* atas dan bawah sebesar 1.1% dan 1.1%. Pengujian metode trial and error selanjutnya dilakukan dengan menggunakan beban seberat 5 kg seperti yang bisa dilihat pada Gambar 11.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa terjadi penurunan kecepatan menjadi 95 rpm kemudian naik lagi hingga 103 rpm. Error *steady state* pada grafik respon sistem yaitu sebesar 0.2% - 1.2%. Dari hasil pengujian kontrol PID menggunakan metode *trial and error* dengan nilai parameter yaitu $K_p = 0.25$, $K_i = 0.8$ dan $K_d = 0,08$ yang dilakukan pengujian dengan membawa beban menunjukkan respon sistem kontrol PID metode trial and error dapat mengoreksi penurunan rpm akibat beban pada conveyor dan sistem menunjukkan respon lebih stabil dikarenakan nilai error *steady state* sebesar 0,1% - 2,6%.



Gambar 10. Grafik Respon Kontrol PID Metode *Trial and Error* 100 Rpm Tanpa Beban

Dengan nilai error kurang dari 5% maka bisa disimpulkan bahwa kinerja sistem optimal serta metode *trial and error* adalah metode yang lebih sesuai untuk sistem ini dibandingkan dengan metode *fine tuning*.



Gambar 11. Grafik Respon Kontrol PID Metode *Trial and Error* 100 Rpm Dengan Beban

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada sistem *conveyor belt* menggunakan PLC Siemens S7-1200 dan sistem SCADA Movicon 11.3. Maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pengujian sistem kontrol PID ini menggunakan 2 metode yaitu metode *fine tuning* dan metode *trial and error*. Penggunaan 2 metode dilakukan untuk membandingkan respon sistem dikarenakan pada pengujian kontrol PID metode *fine tuning* respon sistem belum stabil dengan nilai *error steady state* 4,1% - 16,8% pada *setpoint* yang berbeda-beda. Dengan menggunakan metode *trial and error* didapatkan nilai parameter $K_p = 0,25$, $T_i = 0,8s$ dan $T_d = 0,08s$ dari parameter tersebut respon sistem dapat dikatakan stabil dengan nilai *error steady state* 1,1% - 3,4% pada *setpoint* yang berbeda-beda. Dengan begitu metode yang paling tepat untuk digunakan pada sistem adalah metode *trial and error*.

2. Pada pengujian sistem kontrol PID dengan menggunakan beban sebesar 5 kg menggunakan 2 metode yaitu metode *fine tuning* dan metode *trial and error*. Kedua metode tersebut memiliki respon sistem yang dapat mengkoreksi penurunan rpm terhadap beban pada *conveyor* namun respon sistem kontrol PID pada metode *trial and error* memiliki respon sistem yang stabil dengan nilai *error steady state* sebesar 0,1% - 2,6%.
3. Pengontrolan kecepatan motor pada *conveyor* yang menggunakan SCADA berbasis PLC dapat bekerja dengan baik sesuai sistem yang telah direncanakan seperti yang telah di tunjukkan pada pengujian keseluruhan sistem.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] K.S. Kiangala, Zenghui Wang, "An Industry 4.0 approach to develop auto parameter configuration of a bottling process in a small to medium scale industry using PLC and SCADA," *Procedia Manufacturing*, vol. 35, pp. 725-730, 2019.
- [2] Geeta Yadav, Kolin Paul, "Architecture and security of SCADA systems: A review," *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, Vol. 34, 2021.
- [3] D. Bagaskara, S. Sumaryono, Agus Bejo, "Perancangan SCADA berbasis cloud dengan menggunakan mobile application sebagai HMI," *repository Universitas Gadjah Mada*, 2021
- [4] P. Mishra, A. Banerjee, M. Ghosh, S. Gogoi, P. K. Meher, "Implementation and validation of quadrature digital PWM to develop a cost-optimized ASIC for BLDC motor drive," *Control Engineering Practice*, Vol. 109, 2021.
- [5] S. Vijayalakshmi, L. Hubert Tony Raj, S. Palaniyappan, A. Rajkumar, "A review on multilevel H-Bridge cascaded inductor less hybrid inverter for Electric vehicles with PWM control," *Materials Today: Proceedings*, Vol. 45, pp. 1644-1650, 2021.
- [6] Almedin Salkić, Haris Muhović, Dejan Jokić, "Siemens S7-1200 PLC DC Motor control capabilities," *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 55, pp.103-108, 2022.
- [7] E.B. Priyanka, C. Maheswari, B. Meenakshipriya, Parameter monitoring and control during petrol transportation using PLC based PID controller, *Journal of Applied Research and Technology*, Vol. 14, pp. 125-131, 2016.
- [8] Engin Ozdemir, Mevlut Karacor, "Mobile phone-based SCADA for industrial automation," *ISA Transactions*, Vol. 45, pp. 67-75, .2006.
- [9] J. Temido, J. Sousa, R. Malheiro, "SCADA and Smart Metering Systems in Water Companies. A Perspective based on the Value Creation Analysis," *Procedia Engineering*, Vol. 70, pp. 1629-1638, 2014.
- [10] M. Sverko, T. G. Grbac and M. Mikuc, "SCADA Systems with Focus on Continuous Manufacturing and Steel Industry: A Survey on Architectures, Standards, Challenges and Industry 5.0," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 109395-109430, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3211288.
- [11] A. Augello, P. Gallo, E. R. Sanseverino, G. Sciumè and M. Tornatore, "A Coexistence Analysis of Blockchain, SCADA Systems, and OpenADR for Energy Services Provision," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 99088-99101, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3205121.
- [12] M. Campos, E. Gomes and R. Machado, "Sensors for detection of cyber threats on industrial environment using a high interaction ICS/SCADA HoneyNet1," 2022 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT (MetroInd4.0&IoT), 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/MetroInd4.0IoT54413.2022.9831555.
- [13] Anand Singh Rajawat; Romil Rawat; Kanishk Barhanpurkar, "Security Improvement Technique for Distributed Control System (DCS) and Supervisory Control-Data Acquisition (SCADA) Using Blockchain at Dark Web Platform," in *Cyber Security and Digital Forensics: Challenges and Future Trends*, Wiley, 2022, pp.317-333, doi: 10.1002/9781119795667.ch14.
- [14] H. Singh and N. Kumar, "PLC and SCADA based electricity supply switching with integration of Solar Cells," 2022 IEEE Delhi Section Conference (DELCON), 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/DELCON54057.2022.9753014.
- [15] M. Gonçalves, P. Sousa, J. Mendes, M. Danishvar and A. Mousavi, "Real-Time Event-Driven Learning in Highly Volatile Systems: A Case for Embedded Machine Learning for SCADA Systems," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 50794-50806, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3173376.