



## *Rolling Stock Door Control Unit (Dcu) Berbasis Programmable Logic Controller (Plc) Dengan Kendali PID*

Sulfan Bagus Setyawan<sup>1</sup>, Muhammad Rifqi Agung Priandwika<sup>2</sup>, Wahyu Pribadi<sup>3</sup>, R. Akbar  
Nur Apriyanto<sup>4</sup>, Wida Yuliar Rezika<sup>5</sup>, Achmad Aminudin<sup>6</sup>

<sup>1\*,1,2,3,4,5</sup>Politeknik Negeri Madiun, Indonesia

\*Email Penulis: <sup>1</sup>sulfan@pnm.ac.id, <sup>2</sup>rifqipriandwika@gmail.com, <sup>3</sup>why.pribadi@pnm.ac.id, <sup>4</sup>akbar@pnm.ac.id, <sup>5</sup>widayuliar@pnm.ac.id, <sup>6</sup>udin@pnm.ac.id

(Artikel diterima: Februari 2023, direvisi Mei 2023)

### **ABSTRAK**

Saat ini, sistem pengaturan pintu kereta yang digunakan belum menggunakan kendali kecepatan dengan sistem close loop. Kecepatan pintu diatur secara manual untuk mencapai kecepatan yang seragam pada setiap pintu. Namun, skripsi berjudul "Rancang Bangun Rolling Stock Door Control Unit (DCU) Berbasis Programmable Logic Controller (PLC)" mengusulkan pengembangan produk Door Control Unit (DCU) yang bertujuan untuk mengatur kondisi pintu pada kereta dan mengontrol kecepatan buka-tutup pintu menggunakan metode kendali PWM Duty Cycle dan sistem close loop berbasis kendali PID. Sistem DCU ini menggunakan perangkat berbasis Programmable Logic Controller (PLC) yang memungkinkan komunikasi dengan PLC lain melalui jalur komunikasi RS485 dengan protokol Modbus RTU sebagai master dan slave. Hal ini memungkinkan sistem DCU dapat dikombinasikan dengan perangkat kendali lain untuk meningkatkan fungsionalitas dan efisiensi kerja. Dalam penelitian ini, digunakan metode kendali PID Ziegler-Nichol tipe 1 dengan parameter  $K_p = 2,4$ ,  $K_i = 12$ , dan  $K_d = 0,12$ . Hasil pengujian menunjukkan karakteristik sistem dengan waktu tunda sebesar 0,2 detik, waktu naik pintu selama 0,1 detik, waktu tutup pintu selama 0,8 detik, overshoot sebesar 28,75%, dan error waktu tutup sebesar 1%.

**Kata kunci:** Door Control Unit (DCU), Programmable Logic Controller (PLC), PID, Ziegler-Nichol's, Modbus RTU

### **I. PENDAHULUAN (HEADING 1)**

Indonesia merupakan salah satu negara dengan populasi yang sangat padat. Semakin banyak jumlah penduduk, maka semakin meningkat pula aktivitas dan mobilitas mereka di dalam negeri. Oleh karena itu, transportasi massal menjadi sangat penting bagi penduduk Indonesia dalam memudahkan aktivitas sehari-hari. Salah satu transportasi massal yang bergerak di atas rel atau jalur khusus adalah kereta api. Di beberapa negara, kereta api dianggap sebagai sarana transportasi massal yang efektif, baik untuk perjalanan di dalam kota, antar kota, maupun antar negara [1]. Menurut pernyataan Menteri Perhubungan Republik Indonesia, jumlah penumpang Kereta Rel Listrik (KRL) Jabodetabek (Jakarta Bogor, Depok, Tangerang, dan Bekasi) mencapai 1,2 juta per hari [2].

Menurut Peraturan Menteri (PM) nomor 54 Tahun 2016, sarana perkeretaapian terdiri dari lokomotif, kereta, gerbong, dan peralatan khusus [3]. Dari sudut pandang industri manufaktur kereta api Stadler Rail AG, kereta api dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis pengoperasiannya, seperti

kereta cepat, kereta antar kota, kereta antar provinsi, dan kereta dalam kota.

Salah satu komponen penting dalam pengoperasian kereta api adalah pintu kereta. Pintu kereta berfungsi sebagai tempat masuk dan keluar penumpang, dan sering digunakan oleh penumpang. Oleh karena itu, kepraktisan, kenyamanan, kehandalan, dan keamanan pintu kereta sangat berhubungan langsung dengan kenyamanan penumpang [4]. Secara umum, terdapat tiga jenis pintu kereta api, yaitu Swing Door, Sliding Door, dan Slide and Plug Door, dengan pengoperasiannya dikendalikan secara manual, pneumatik, dan elektrik.

Pintu kereta merupakan salah satu komponen eksterior yang memiliki peran penting dalam sistem keamanan kereta. Berdasarkan hasil diskusi dengan PT INKA dan mengacu pada spesifikasi teknis yang ada, kontrol pintu kereta dianggap sebagai salah satu sistem keamanan utama. Jika pintu kereta tidak tertutup dengan baik, masinis tidak akan dapat menjalankan kereta, dan pintu kereta juga tidak diizinkan untuk terbuka ketika kereta sedang berjalan dengan kecepatan tertentu. Kejadian ini pernah terjadi pada kereta LRT (Light

Rail Transit) Palembang pada tahun 2018, ketika kereta berhenti di tengah-tengah perlintasan karena sensor pintu mengalami kegagalan, sehingga menyebabkan kerja sistem keamanan pada kereta tidak berfungsi dengan baik [5]

di Indonesia, jenis Sliding Door Electric pada kereta api masih jarang ditemui. Mayoritas kereta, seperti Kereta Rel Listrik (KRL) Jabodetabek milik Kereta Commuter Indonesia (KCI), masih menggunakan sistem Sliding Door Pneumatik. Penggunaan Sliding Door Electric memiliki keuntungan karena kecepatan operasi pintu dapat dikendalikan dengan sistem, menggunakan kontroler, dibandingkan dengan Sliding Door Pneumatik yang hanya menggunakan sistem mekanik manual tuning untuk mengendalikan kecepatan pintu. Oleh karena itu, Sliding Door Electric lebih cocok untuk diimplementasikan pada kereta dalam kota dengan frekuensi mobilitas yang tinggi.

Kontroler dari sistem pintu kereta umumnya berkomunikasi dengan kontroler utama yang disebut Train Control Management System (TCMS). Protokol komunikasi yang umum digunakan adalah protokol Modbus RTU, Modbus TCP, dan CAN. Data dari kontroler sistem pintu kereta dikirim ke Human Machine Interface (HMI) yang terletak di kabin masinis. Namun, hasil wawancara dengan PT INKA menunjukkan bahwa beberapa pintu kereta belum menggunakan kontroler secara close loop untuk masing-masing pintu, sehingga terdapat perbedaan waktu antara pintu yang satu dengan pintu yang lain saat membuka atau menutup.

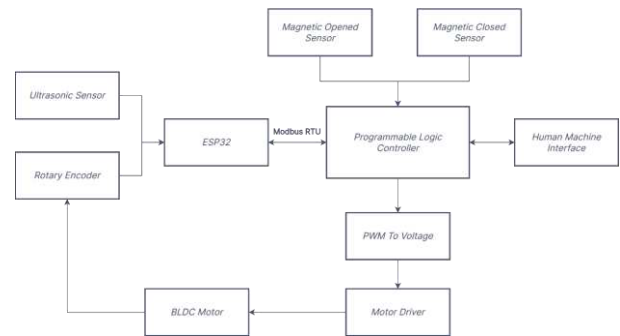
Berdasarkan masalah dan referensi dari penelitian sebelumnya, penelitian dengan judul "Rancang Bangun Rolling Stock Door Control Unit (DCU) Berbasis Programmable Logic Controller (PLC)" akan memberikan solusi dengan menciptakan kontroler pintu untuk Sliding Door Electric yang dapat beroperasi secara close loop, sehingga mampu mengatur kecepatan buka dan tutup pintu sesuai dengan kebutuhan industri kereta api dan meningkatkan keselamatan bagi para pengguna. Pengaturan kecepatan ini akan menggunakan metode Proportional, Derivative, dan Integral (PID) yang memiliki kontrol yang stabil, sehingga pengaturan kecepatan pintu akan lebih presisi

## II. METODOLOGI

Pada bagian ini akan menjelaskan tentang metode, diagram blok, *flowchart* sistem Rolling Stock Door Control Unit (Dcu) Berbasis Programmable Logic Controller (Plc) Dengan Kendali PID

### 2.1 Diagram Blok Sistem

Pada Gambar 1 akan ditunjukkan blok diagram dari Rolling Stock Door Control Unit (Dcu) Berbasis Programmable Logic Controller (Plc) Dengan Kendali PID.



Gambar 1. Diagram Sistem Pemetaan

Gambar 1 merupakan diagram sistem dari penelitian ini, pada Gambar 1 yang merupakan diagram sistem terdiri dari Rolling Stock Door Control Unit (Dcu) Berbasis Programmable Logic Controller (Plc) Dengan Kendali PID. Penulis mengerjakan bagian sistem pemetaan, penjelasan dari Gambar 1 dibagi menjadi 8 bagian yaitu:

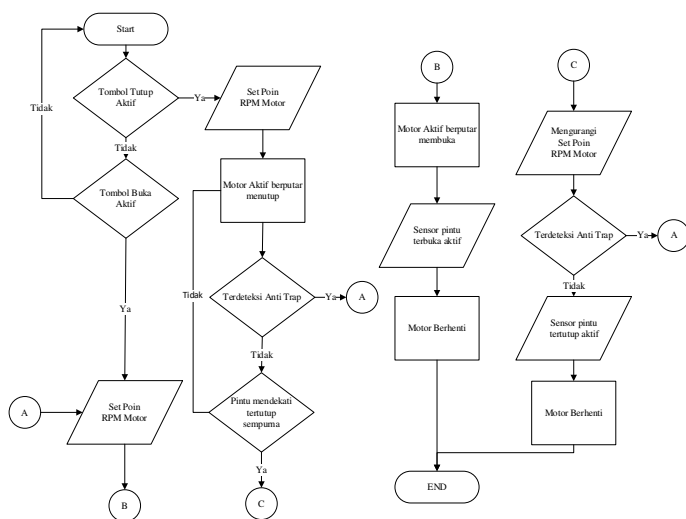
- Programmable Logic Controller (PLC) pada panel DCU berfungsi kontroler utama yang menerima perintah dari PLC Master atau Human Machine Interface melalui protokol Modbus RTU RS485. Selain itu fungsi PLC pada panel DCU sebagai sistem kendali yang mengatur kecepatan putaran motor melalui motor driver dan membaca sensor-sensor pada pintu
- PWM to Voltage berfungsi sebagai perangkat yang mengkonversi nilai duty cycle dari PLC menjadi tegangan dengan rentang nilai 0 – 10 VDC
- Motor Driver berfungsi sebagai kontroler Brushless Direct Current Motor (BLDC Motor)
- Brushless Direct Current Motor (BLDC Motor) berfungsi sebagai aktuator yang akan menggerakkan pintu, BLDC akan bergerak dengan putaran searah jarum jam (Clockwise) atau bergerak berlawanan arah jarum jam (Counter Clockwise). Adapun parameter rating motor BLDC yang digunakan adalah sebagai berikut
- Magnetic Opened/Closed Sensor berfungsi untuk membaca kondisi pintu sedang terbuka/tertutup dengan memanfaatkan magnet yang diletakan pada pintu. Posisi Magnetic Opened/Closed Sensor diletakan langsung pada kerangka pintu
- Rotary Encoder diletakan pada BLDC Motor untuk membaca jumlah putaran yang dilakukan oleh BLDC Motor pada saat kondisi pintu sedang membuka ataupun menutup
- Ultrasonic Sensor berfungsi untuk membaca objek terdeteksi pada pintu dengan memanfaatkan gelombang ultrasonic ketika ada benda atau objek yang menghalangi ketika proses pintu sedang menutup
- ESP32 berfungsi sebagai kontroler untuk pembacaan nilai dari sensor ultrasonic dan jumlah pulsa dari Rotary Encoder, data pembacaan tersebut akan diolah pada

ESP32 dan dikirimkan kepada PLC melalui komunikasi Modbus RTU

- i) Human Machine Interface berfungsi sebagai peralatan pada saat pengujian, untuk menguji memberikan perintah dan membaca kondisi DCU menggunakan protokol komunikasi Modbus RTU RS485

**2.2.3 Flowchart Sistem**

Gambar 2 merupakan *flowchart* sistem yang digunakan. Berdasarkan Gambar 3.6 sistem kerja dari Door Control Unit (DCU) akan membaca kondisi perintah yang diberikan dengan menekan tombol membuka atau menutup pintu. Jika tombol membuka yang ditekan maka DCU akan mengatur set point RPM motor, lalu motor akan berputar dan menggerakkan pintu untuk membuka pintu hingga sensor pintu terbuka mendeteksi bahwa pintu telah terbuka dengan sempurna. Jika tombol menutup yang ditekan maka DCU akan mengatur set point RPM motor, lalu motor akan berputar dan menggerakkan pintu untuk menutup. Ketika kondisi pintu menutup telah mendekati tertutup sempurna maka DCU akan mengurangi set point RPM dari motor sehingga motor akan bergerak lebih lambat pada saat pintu tertutup sempurna dan motor akan berhenti ketika sensor pintu tertutup telah aktif atau kondisi pintu telah tertutup dengan sempurna. Apabila kondisi pintu pada saat menutup mendeteksi terdapat objek yang menghalangi atau anti trap maka secara otomatis pintu akan bergerak membuka hingga pintu terbuka dengan sempurna.



Gambar 2. Diagram Alir Sistem Door Control Unit

**III. HASIL DAN ANALISA**

Tahap ini adalah pengujian alat yang dilakukan pada pembuatan alat. Hasil dari pengujian ini untuk mengetahui hasil dari perencanaan, menganalisa kelemahan dari sistem, membandingkan akurasi dan asil dari pengujian dengan yang direncanakan. Pengujian yang dilakukan sebagai berikut:

**3.1 Pengujian buka tutup pintu**

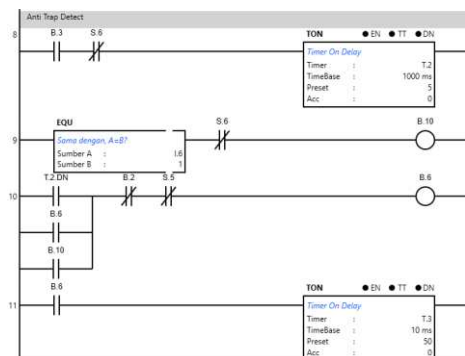
Pengujian buka dan tutup dilakukan dengan menghitung waktu yang dibutuhkan selama proses membuka dan menutup, pengujian dilakukan dengan menggunakan kecepatan 56 rpm lalu mengambil sejumlah data waktu dan menghitung rata-rata waktu yang dibutuhkan dalam proses membuka dan menutup. Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian buka tutup pintu pada 56 rpm

Percobaan	Jenis Proses	Waktu (s)
1	Membuka	3,2s
2		3,2s
3		3,2s
4		3,1s
5		3,2s
Rata-rata		3,18s
1	Menutup	3,0s
2		3,0s
3		2,9s
4		2,9s
5		3,1s
Rata-rata		2,98s

**3.2 Pengujian Anti Trap**

Sistem Anti Trap yang telah dirancang pada DCU menggunakan 2 sistem yaitu berdasarkan pembacaan dari hasil kalibrasi pada sensor ultrasonic dan waktu pada timer yang telah ditentukan sesuai dengan standar, Program anti trap dapat dilihat pada gambar 4.13. Pengujian Anti Trap dilakukan dengan meletakan tas kosong pada area ketinggian yang diukur dari bagian atas pintu, hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.6. Berdasarkan hasil yang didapatkan sensor Ultrasonic hanya dapat membaca kondisi apabila benda yang terdeteksi berada < 100 cm, apabila benda berada pada posisi > 100 cm dari atas pintu maka sistem anti trap tetap aktif menggunakan pembacaan waktu yang mana pintu tidak berhasil tertutup > 5 detik.



Gambar 3, Program sistem anti trap

Tabel 2. Hasil pengujian sistem anti trap

Jarak Benda dari atas pintu (cm)	Objek		
	Tas	Botol Minum	Tangan Manusia
1 – 20	Terdeteksi Oleh <i>Ultrasonic</i>	Terdeteksi Oleh <i>Ultrasonic</i>	Terdeteksi Oleh <i>Ultrasonic</i>
21 - 40	Terdeteksi Oleh <i>Ultrasonic</i>	Terdeteksi Oleh <i>Ultrasonic</i>	Terdeteksi Oleh <i>Ultrasonic</i>
41 - 60	Terdeteksi Oleh <i>Ultrasonic</i>	Terdeteksi Oleh <i>Ultrasonic</i>	Terdeteksi Oleh <i>Ultrasonic</i>
61 - 80	Terdeteksi Oleh <i>Ultrasonic</i>	Terdeteksi Oleh <i>Ultrasonic</i>	Terdeteksi Oleh <i>Ultrasonic</i>
81 - 100	Terdeteksi Oleh <i>Ultrasonic</i>	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>
101 - 120	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>
121 - 140	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>
141 - 160	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>
161 - 180	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>
181 - 200	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>	Terdeteksi Oleh <i>Timer</i>

Dalam penelitian ini, dilakukan perancangan sistem Door Control Unit (DCU) berbasis PLC yang melibatkan 3 jenis sensor dan 1 aktuator. Sebagai alat kendali utama dari DCU, sensor Magnetic digunakan untuk memberikan sinyal digital yang dapat dibaca oleh PLC Outseal. Sedangkan, sensor Ultrasonic dan Rotary Encoder memerlukan bantuan dari ESP32 sebagai penerima data dari sensor, dan kemudian data tersebut dikirimkan kepada PLC Outseal melalui protokol komunikasi Modbus RTU.

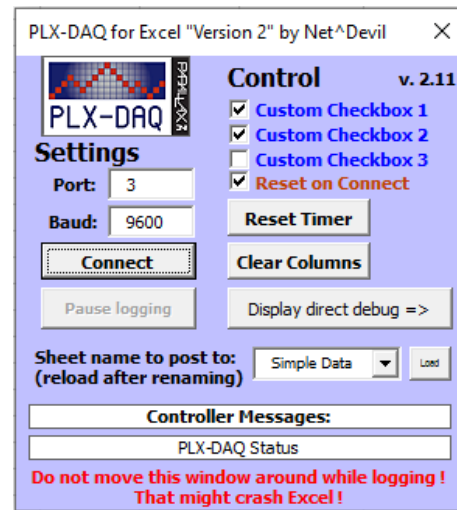
Pengujian pada aktuator dilakukan dengan mengatur tegangan keluaran dari PLC Outseal menggunakan sistem kontrol PWM dengan bantuan library SETPWM dari PLC Outseal. Sinyal PWM dapat dikeluarkan melalui Output R.7 atau R.8 dari PLC Outseal, dan pada penelitian ini Output R.7 digunakan sebagai sinyal PWM. Sinyal PWM tersebut dihubungkan dengan Modul PWM to Voltage yang berfungsi untuk mengkonversi sinyal PWM sesuai Duty Cycle (0% - 100%) menjadi nilai tegangan 0 – 10VDC yang berfungsi mengendalikan kecepatan motor melalui Motor Driver.

Selanjutnya, pengujian rotary encoder dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan kecepatan putar (rpm) pada ESP32 dengan Digital Tachometer. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan kecepatan pada DCU memiliki error sebesar 22% jika dibandingkan dengan Tachometer. Berdasarkan hasil pengujian ini, disimpulkan bahwa program pembacaan RPM dari DCU perlu disesuaikan dengan menggunakan persamaan  $y = 0,8183x + 0,404$ , dimana nilai ini didapatkan dari nilai regresi linear antara data dari DCU dengan Tachometer.

Pengujian sistem anti trap pada DCU yang diaplikasikan pada Sliding Door Electric menggunakan 2 sistem, yaitu dengan bantuan Ultrasonic sensor dan timer. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan anti trap dengan Ultrasonic sensor HC-SR04 yang diletakkan 5 cm di atas pintu memiliki kemampuan pembacaan kurang dari 1 meter. Sehingga, apabila objek yang menghalangi pintu berada lebih dari 1 meter maka sistem anti trap akan aktif dengan waktu tertentu

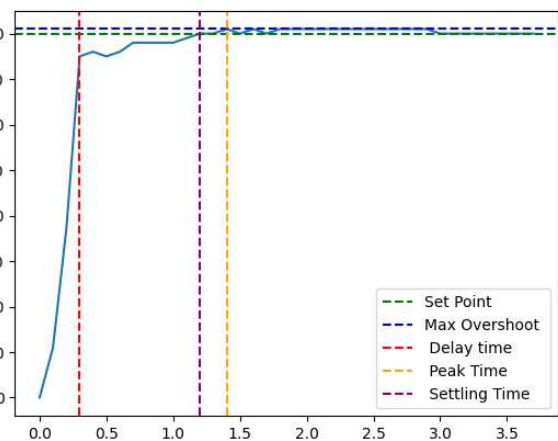
### 3.2 Pengaturan kecepatan close loop Sliding Door Electric

Pengambilan data karakteristik sistem dilakukan dengan menggunakan bantuan dari aplikasi PLX-DAQ pada Personal Computer (PC) yang tersambung dengan ESP32 melalui kabel serial.



Gambar 4. Tampilan PLX DAQ

Dari data kondisi open loop karakteristik kecepatan Sliding Door Electric yang diambil adalah sebagai berikut



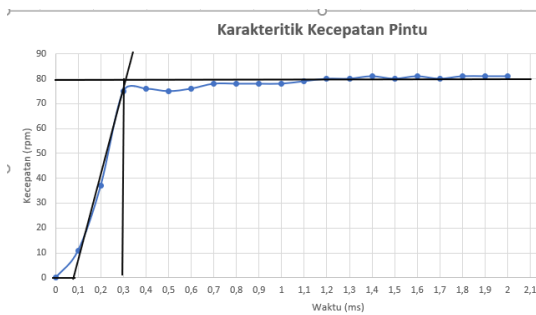
Gambar 5. TKarakteristik Open Loop Sliding Door Electric

Tabel 3. Step Response Open Loop Sliding Door Electric

Waktu tunda (td)	0,1 s
Waktu naik (tr)	0,2 s

Waktu tunak (ts)	1,2 s
Overshoot (%mp)	1,25 %

Penentuan nilai PID dilakukan dengan menggunakan metode ziegler-nichol's. Nilai respon sistem membentuk kurva S lalu ditarik garis singgungnya yang kemudian menghasilkan nilai delay time dan time constant. Kemudian nilai tersebut dimasukkan pada tabel tuning rule.



Gambar 6. Grafik respon sistem open loop

Berdasarkan data respon sistem seperti pada gambar 4.17 didapatkan nilai delay time (L) sebesar 0,1 detik dan nilai time constant (T) sebesar 0,2 detik. Berdasarkan nilai tersebut kita dapat menentukan nilai Kp, Ti, dan Td seperti pada tabel dibawah

Tabel 4. Penentuan parameter Kp, Ti, dan Td

Control	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{0,2}{0,1} = 2$	$\infty$	0
PI	$0,9 \frac{0,2}{0,1} = 1,8$	$\frac{0,2}{(0,3 \times 0,1)} = 6,66$	0
PID	$1,2 \frac{0,2}{0,1} = 2,4$	$2 * 0,1 = 0,2$	$\frac{0,1}{2} = 0,05$

Metode pengaturan kecepatan yang dilakukan dalam pengaturan kecepatan close loop Sliding Door Electric dengan menggunakan metode ziegler-nichol's. Karakteristik sistem sebelum dilakukan pengaturan menggunakan kontrol PID memerlukan waktu 1,2s untuk mencapai nilai yang sesuai dengan set point. Hasil yang didapatkan dengan metode pengaturan kecepatan PID adalah 0,8s, namun pada saat menggunakan pengaturan kecepatan PID terjadi overshoot 28,75 %.

Implementasi pada saat proses Sliding Door Electric menutup pengaturan kecepatan PID diimplementasikan dengan menggunakan 2 set point dan multi set point. Pengujian menggunakan 2 Set Point Sliding Door Electric mampu mencapai kecepatan yang sesuai dengan perubahan set point dan standar pengujian pintu dengan waktu 4,2s agar pintu tertutup dengan sempurna. Pengujian menggunakan multi set point kecepatan sliding door electric tidak mampu mencapai nilai set point yang berubah dikarenakan pergerakan sliding door electric memiliki respon yang lebih lambat dari perubahan nilai set point, namun waktu yang dibutuhkan untuk pintu agar tertutup sempurna tetap memenuhi standar dengan waktu 4,2s.

Dalam perancangan protokol komunikasi pada DCU, digunakan protokol Modbus RTU. Parameter penting yang perlu diatur pada DCU sebagai master dalam protokol Modbus RTU adalah Baudrate dan Slave Number. Pentingnya pengaturan ini disebabkan karena jika terdapat perbedaan pada Baudrate dan Slave Number, DCU akan mengalami kesulitan dalam berkomunikasi dengan slave. Sebagai master dalam protokol Modbus RTU, DCU menggunakan pemrograman PLC Outseal yang menggunakan fungsi MF4 (Read Input Register) untuk membaca nilai variabel berupa integer yang dikirimkan oleh slave, dalam hal ini adalah ESP32. Selain itu, fungsi library MF6 (Write Single Register) digunakan untuk menuliskan nilai ke dalam variabel dari slave.

Kemampuan DCU berbasis PLC Outseal sebagai Master pada protokol komunikasi Modbus RTU memungkinkan DCU untuk menggunakan sensor yang sudah memiliki modul pembacaan secara individu dengan pengiriman melalui protokol Modbus RTU.

Pada saat DCU diatur sebagai slave, Baudrate yang digunakan adalah 9600 dengan alamat slave 13 saat program dikirimkan ke PLC. Pengaturan variabel Modbus RTU pada DCU sebagai slave telah ditentukan oleh PLC Outseal sehingga diperlukan pengalamanan yang sesuai dengan standar dari PLC Outseal dalam implementasinya. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa DCU dapat membaca dan menulis nilai Boolean dan Integer melalui master atau HMI.

Kemampuan DCU berbasis PLC Outseal sebagai slave memungkinkan DCU untuk diimplementasikan pada kereta dengan melakukan kontrol buka dan tutup pintu berdasarkan perintah dari TCMS melalui protokol Modbus RTU RS485.

#### IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan pendalaman terhadap beberapa hal seperti pengujian masing-masing fitur pada Rolling Stock Door Control Unit (Dcu) Berbasis Programmable Logic Controller (Plc) Dengan Kendali PID yang sudah dilakukan pada pembuatan alat ini maka dapat disimpulkan dari artikel ilmiah ini diantaranya.

PLC Outseal memiliki kemampuan yang memungkinkan untuk digunakan sebagai perangkat kontrol utama dalam produk Door Control Unit (DCU). Kemampuan ini mencakup pembacaan sensor digital input, digital output, pengaturan keluaran PWM, dan dukungan protokol komunikasi Modbus RTU RS485. Dengan fitur-fitur ini, DCU berbasis PLC Outseal dapat digabungkan dengan berbagai jenis aktuator dan sensor yang dapat dikendalikan secara langsung, maupun dengan aktuator dan sensor yang membutuhkan kontrol melalui protokol komunikasi.

DCU berbasis PLC Outseal memiliki kemampuan untuk melakukan sistem kontrol secara close loop dengan menggunakan metode kontrol PID. Pengendalian PID pada PLC Outseal dilakukan dengan bantuan library SETPID dan PID yang terdapat pada aplikasi Outseal Studio. Penelitian ini menggunakan metode ziegler-nichol's dalam pengaturan PID dengan hasil nilai Kp, Ki, dan Kd masing-masing adalah Kp = 2,4; Ki = 12; dan Kd = 0,12. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode kendali kecepatan PID, DCU mencapai waktu tunda = 0,2s, waktu naik = 0,1s, waktu

tunak = 0,8s, overshoot (%mp) = 28,75%, dan error waktu tunak = 1%.

DCU berbasis PLC Outseal memiliki kemampuan sebagai master dan slave dalam protokol komunikasi Modbus RTU RS485. Sebagai master, DCU dapat dikombinasikan dengan sensor atau aktuator yang memerlukan kontrol melalui komunikasi Modbus RTU. Di sisi lain, sebagai slave, DCU dapat dikendalikan oleh perangkat kontrol utama dalam sebuah kereta yang mengirimkan perintah seperti buka, tutup, dan deteksi anti trap melalui protokol Modbus RTU.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fuady et al. (2018) APLIKASI MODEL WAVELET – FUZZY SYSTEM UNTUK PREDIKSI BANYAK PENUMPANG KERETA API DAOP VI YOGYAKARTA. Universitas Negeri Yogyakarta. Tersedia pada: <http://eprints.uny.ac.id/56622/>.
- [2] Naufal, M. (2022) 'Pengguna KRL Jabodetabek Disebut Capai 1,2 Juta Orang Per Hari', 19 Juni. Tersedia pada: <https://megapolitan.kompas.com/read/2022/06/19/18455611/pengguna-krl-jabodetabek-disebut-capai-12-juta-orang-per-hari?page=all> (Diakses: 10 Oktober 2022).
- [3] MENTERI PERHUBUNGAN REPUBLIK INDONESIA (2016) STANDAR SPESIFIKASI TEKNIS IDENTITAS SARANA PERKERETAAPIAN. Tersedia pada: [https://jdih.dephub.go.id/assets/uudocs/permen/2016/PM\\_54\\_Tahun\\_2016.pdf](https://jdih.dephub.go.id/assets/uudocs/permen/2016/PM_54_Tahun_2016.pdf) (Diakses: 19 Januari 2023).
- [4] Changying, L. et al. (2015) 'Control Method of High-Speed Train Automatic Side Door Based on Gravitational Search Algorithm', *Journal of Software Engineering*, 10(1), pp. 29–41. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3923/jse.2016.29.41.breakers-study/articleshow/71604829.cms> (diakses 6 Januari 2023).
- [5] Irwanto (2018) 'LRT Palembang terhenti di lintasan karena sensor pintu posisi open', *Merdeka.com*, 2 Agustus. Tersedia pada: <https://www.merdeka.com/peristiwa/lrt-palembang-terhenti-di-lintasan-karena-sensor-pintu-posisi-open.html> (Diakses: 10 Oktober 2022).