

REACTIVATION OF THE REMOTE CONTROLLED WEAPON STATION (RCWS) SYSTEM AS AN EMBEDDED SYSTEM-BASED DEFENSE TECHNOLOGY INNOVATION

REAKTIVASI SISTEM *REMOTE CONTROLLED WEAPON STATION* (RCWS) SEBAGAI INOVASI TEKNOLOGI PERTAHANAN BERBASIS *EMBEDDED SYSTEM*

Suha Aritonang^{1*}, Roni Permana Saputra², Hendrana Tjahjadi³, Adam Mardamsyah⁴, Joni Welman Simatupang⁵

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Indonesia

Email: suhaaritonang61@gmail.com

²Pusat Riset Mekatronika Cerdas, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Indonesia

Email: roni.permana.saputra@brin.go.id

³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Indonesia

Email: hendranatj@gmail.com

⁴Program Studi Informatika, Fakultas Teknik dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Indonesia

Email: adaminfantri94@gmail.com

⁵Program Studi Teknik Elektro dan Magister Industri Pertahanan, Fakultas Teknik dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Indonesia

Email: joni.welman@idu.ac.id

Received: October 29, 2025 Revised: October 29, 2025 Published: October 30, 2025

DOI: <https://doi.org/10.24912/tesla.v27i1.35666>

Abstract

Soldier safety in modern military operations demands weapons systems capable of safe and precise. This study presents the reactivation of a previously non-functional Remote Controlled Weapon Station (RCWS) by implementing a Proportional Control (P-control) system using the Teensy 3.5 microcontroller to regulate motor movement on the azimuth and elevation axes. The RCWS system was developed using a distributed multi-microcontroller architecture, in which the Teensy 3.5 serves as the main controller connected to the Arduino Mega 2560 Pro for joystick management and the Arduino Nano for reading the 1024 PPR rotary encoder. The setpoint values were obtained from the joystick, while the actual position was measured by the rotary encoder to calculate the error and generate a proportional PWM control signal. Experimental results indicate that a larger error between the setpoint and actual position produces a higher PWM signal, enabling the system to deliver linear, stable, and precise motor responses. Furthermore, the implementation of limit control on the elevation axis ($420 \leq \theta_2 \leq 600$) effectively prevents excessive movement and protects the mechanical structure. Overall, the reactivated RCWS operates in real-time with stable serial communication, and proven reliability, offering potential for further development through the integration of PID control, fuzzy logic, or computer vision tracking to enhance the performance of remote weapon control systems.

Keywords: Remote Controlled Weapon Station, Embedded System, Microcontroller, Proportional Control, Limit Control

Abstrak

Keselamatan prajurit dalam operasi militer modern menuntut sistem persenjataan yang mampu beroperasi secara aman dan presisi. Penelitian ini membahas reaktivasi sistem *Remote Controlled Weapon Station* (RCWS) yang sebelumnya tidak berfungsi, dengan fokus pada penerapan kontrol proporsional (*P-control*) berbasis mikrokontroler Teensy 3.5 untuk mengatur pergerakan motor pada sumbu azimut dan elevasi.

Sistem RCWS dirancang menggunakan arsitektur terdistribusi berbasis multi mikrokontroler, di mana Teensy 3.5 berperan sebagai pengendali utama yang terhubung dengan Arduino Mega 2560 Pro sebagai pengelola joystick dan Arduino Nano sebagai pembaca rotary encoder 1024 PPR. Nilai setpoint diperoleh dari joystick, sedangkan posisi aktual dibaca oleh rotary encoder untuk menghitung error dan menghasilkan sinyal kendali PWM secara proporsional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar error antara setpoint dan posisi aktual, semakin besar pula sinyal PWM yang dihasilkan, sehingga sistem mampu memberikan respon motor yang linier, stabil, dan presisi. Penerapan mekanisme *limit control* pada sumbu elevasi ($420 \leq \theta_2 \leq 600$) berhasil mencegah pergerakan berlebih dan menjaga keamanan mekanik sistem. Secara keseluruhan, sistem RCWS yang direaktivasi berhasil beroperasi secara *real-time* dengan komunikasi serial yang stabil, serta dapat dikembangkan lebih lanjut menggunakan metode PID control, fuzzy logic, atau computer vision tracking untuk meningkatkan performa sistem kendali senjata jarak jauh.

Kata Kunci: *Remote Controlled Weapon Station, Embedded System, Mikrokontroler, Kontrol Proporsional, Limit Control*

PENDAHULUAN

Dalam operasi militer, prajurit sering kali harus mengoperasikan senjata berat dari atas kendaraan tempur dengan perlindungan terbatas, yang berisiko tinggi terhadap tembakan musuh dan kondisi medan yang tidak stabil. Situasi ini tidak hanya membahayakan keselamatan personel tetapi juga menurunkan akurasi dan efektivitas tembakan. Untuk mengatasi hal tersebut, dikembangkan *Remote Controlled Weapon Station* (RCWS), yaitu sistem senjata yang dapat dikendalikan dari jarak jauh melalui perangkat elektronik berbasis kendali digital [1]. Sistem ini memungkinkan operator mengatur arah azimuth dan elevasi senjata dari posisi aman, sehingga meningkatkan keamanan dan efektivitas operasi militer [2].

RCWS terdiri atas beberapa komponen utama, meliputi motor penggerak untuk mengatur arah azimuth dan elevasi, rotary encoder sebagai sensor posisi, serta unit kendali berbasis joystick sebagai perangkat input [3]. Agar sistem bekerja optimal, seluruh komponen harus terintegrasi dengan baik. Namun, dalam praktiknya, banyak sistem RCWS mengalami penurunan performa akibat keterbatasan perangkat keras maupun perangkat lunak, yang menyebabkan motor tidak merespons, pembacaan encoder tidak akurat, atau kendali menjadi terlambat [4].

Penelitian ini bertujuan melakukan reaktivasi RCWS yang sebelumnya tidak berfungsi, dengan fokus pada perancangan ulang sistem kendali berbasis mikrokontroler Teensy 3.5 untuk mengatur pergerakan motor secara proporsional berdasarkan input joystick. Selain itu, diterapkan mekanisme limit kontrol guna mencegah pergerakan melebihi batas mekanis yang dapat menyebabkan kerusakan perangkat [5]. Melalui penelitian ini, diharapkan sistem RCWS yang direaktivasi dapat mendukung pengembangan teknologi pertahanan dalam negeri, khususnya dalam sistem kendali senjata otomatis yang aman, modular, dan adaptif.

METODOLOGI PENELITIAN

Ruang lingkup penelitian ini mencakup pemahaman menyeluruh dan pengujian sistem kendali pada *Remote Controlled Weapon Station* (RCWS) yang sebelumnya tidak beroperasi. Fokus penelitian terletak pada aspek teknis dan analitis untuk reaktivasi sistem, meliputi integrasi perangkat keras dan perangkat lunak serta penerapan kontrol proporsional sederhana guna mengatur pergerakan sumbu azimuth dan elevasi agar sistem berfungsi kembali secara optimal.

REAKTIVASI SISTEM *REMOTE CONTROLLED WEAPON STATION* (RCWS) SEBAGAI
 INOVASI TEKNOLOGI PERTAHANAN BERBASIS *EMBEDDED SYSTEM*

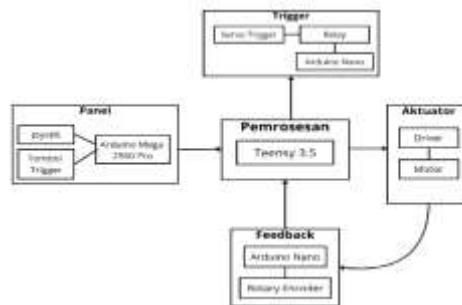


Gambar 1. Visual RCWS

A. Memahami Desain Sistem

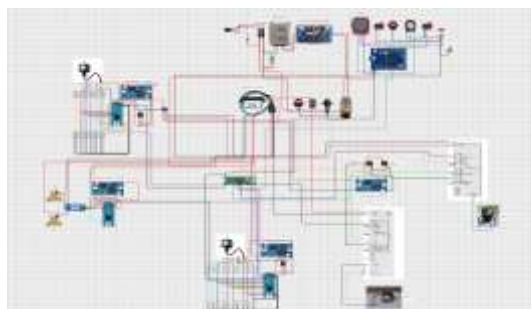
Desain sistem RCWS dikembangkan menggunakan pendekatan *distributed embedded system*, di mana setiap mikrokontroler memiliki fungsi spesifik namun saling terhubung melalui komunikasi serial untuk memastikan koordinasi yang sinkron dan efisien. Tahap awal penelitian diawali dengan analisis sistem yang telah dikembangkan sebelumnya, meliputi pembuatan diagram blok dan skematik ulang untuk memahami alur kerja sistem secara menyeluruh.

Sistem dirancang dengan arsitektur terdistribusi berbasis multi mikrokontroler, dengan Teensy 3.5 sebagai pengendali utama karena prosesor ARM Cortex-M4 120 MHz, resolusi PWM 16-bit, serta dukungan multi-UART yang memungkinkan pemrosesan data secara paralel [6]. Teensy menerima data posisi dari Arduino Nano sebagai pembaca rotary encoder dan perintah kontrol dari Arduino Mega 2560 Pro sebagai pengelola joystick dan tombol trigger, kemudian menjalankan kontrol proporsional (P-control) untuk menghasilkan sinyal PWM yang mengatur arah serta kecepatan motor BLDC BLMH5100K-GFS.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

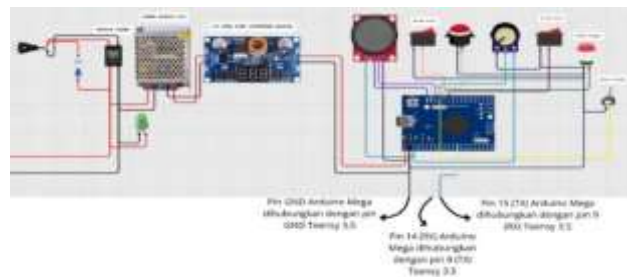
Gambar dibawah ini menunjukkan rangkaian skematik keseluruhan sistem RCWS yang menggambarkan hubungan kelistrikan dan koneksi antarperangkat dalam sistem.



Gambar 3. Skematik Keseluruhan Sistem

a. Subsistem Panel

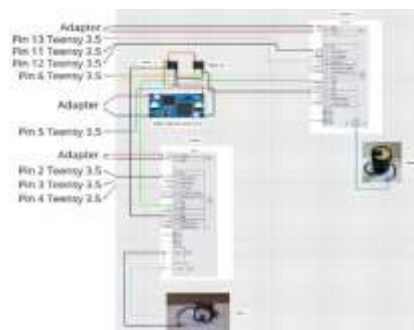
Rangkaian panel kendali berfungsi sebagai penghubung antara perangkat input, seperti joystick dan tombol trigger, dengan sistem kontrol utama RCWS. Arduino Mega 2560 Pro digunakan sebagai kontroler panel karena mampu membaca sinyal analog dari joystick melalui pin A0–A1 dan mendeteksi status tombol melalui pin digital. Modul ini dipilih karena memiliki ukuran lebih kompak dibandingkan versi standar, namun tetap menggunakan mikrokontroler ATmega2560 dengan spesifikasi identik, meliputi 54 pin digital, 16 pin analog, memori flash 256 KB, dan clock 16 MHz [7]. Selain itu, Mega 2560 Pro mendukung komunikasi UART ganda, bekerja pada tegangan 5 V yang kompatibel dengan sebagian besar sensor RCWS, serta memiliki konsumsi daya lebih rendah dan tata letak pin lebih ringkas [8]. Kombinasi tersebut menjadikannya pilihan optimal untuk sistem kendali embedded yang menuntut efisiensi ruang dan energi tanpa mengorbankan kinerja.



Gambar 4. Skematik Subsistem Panel

b. Subsistem Aktuator dan Driver

Gambar 5 menunjukkan skematik sistem aktuator motor yang terdiri dari dua motor DC untuk sumbu azimuth dan elevasi, masing-masing dikendalikan oleh driver motor terpisah. Catu daya utama berasal dari adapter eksternal yang diturunkan tegangannya menggunakan modul LM2596 Step-Down Converter sesuai kebutuhan komponen. Teensy 3.5 mengirimkan sinyal kendali ke driver melalui pin STEP, DIR, dan ENABLE untuk menghasilkan sinyal PWM dan arah putaran motor. Di mana Teensy 3.5 mengatur kecepatan serta arah motor, sementara driver memperkuat arus agar motor bekerja presisi dan responsif sesuai perintah pengendali.



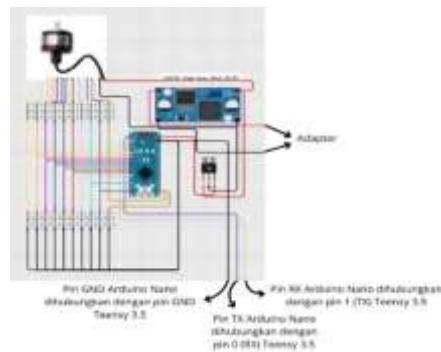
Gambar 5. Skematik Subsistem Aktuator Motor dan Driver

c. Subsistem Umpan Balik

Gambar 6 menunjukkan skematik rangkaian pembacaan *rotary encoder*

REAKTIVASI SISTEM *REMOTE CONTROLLED WEAPON STATION* (RCWS) SEBAGAI INOVASI TEKNOLOGI PERTAHANAN BERBASIS *EMBEDDED SYSTEM*

sebagai umpan balik yang membaca posisi motor kemudian mengubah posisi rotasi poros menjadi pulsa digital yang dibaca oleh Arduino Nano melalui jalur sinyal dengan kombinasi resistor 4,7 k Ω dan 3,3 k Ω . Resistor 4,7 k Ω berfungsi sebagai *pull-up* untuk menstabilkan logika *HIGH* dan membatasi arus dari keluaran *encoder*, sedangkan resistor 3,3 k Ω berfungsi sebagai *pull-down* untuk menarik sinyal ke logika *LOW* saat tidak aktif. Kedua resistor ini membentuk pembagi tegangan (*voltage divider*) yang menurunkan level sinyal encoder dari 12 V menjadi sekitar 4,9 V, sehingga aman untuk input Arduino Nano (maksimum 5 V) [9]. Rangkaian ini memastikan pembacaan pulsa encoder tetap stabil, bebas noise, dan kompatibel dengan level logika mikrokontroler [10]. Adapun *rotary encoder* yang kami gunakan pada penelitian ini yaitu *Rotary Encoder EP50S8-1024-2F-P-24-U* dengan resolusi 1024 PPR

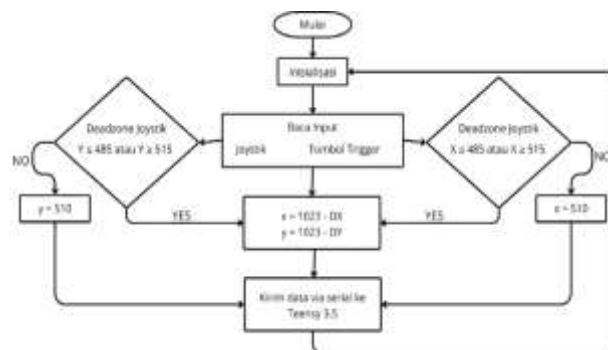


Gambar 6. Skematik Subsystem Umpan Balik

B. Pemrograman Ulang Kode Program

Penulisan ulang program memungkinkan penyederhanaan arsitektur dan meningkatkan modularitas sistem serta penambahan mekanisme pengaman batas gerak, peningkatan kestabilan komunikasi serial, serta penerapan kontrol proporsional, sehingga sistem menjadi lebih andal, stabil, dan mudah dikembangkan untuk tahap selanjutnya.

Dari Gambar 8 dapat kita lihat bahwa program panel control ini menjalankan proses pembacaan input dari joystick dan tombol trigger kemudian mengirimkannya ke teensy 3.5. Program panel control ini juga memberikan fitur deadzone untuk mencegah pembacaan yang salah akibat getaran kecil pada joystick.



Gambar 8. Flowchart Panel Kontrol

[illegible]

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian joystick menggunakan Serial Monitor Dimana pada tabel tersebut terlihat bahwa nilai pada sumbu X tidak mengalami perubahan meskipun joystick telah digerakkan, sementara sumbu Y masih dapat merespons dengan normal. Selain melakukan pengujian menggunakan serial monitor, kami juga melakukan pengujian dengan mengukur tegangan input dan output menggunakan multimeter pada komponen tersebut yang disajikan pada tabel 2.

REAKTIVASI SISTEM *REMOTE CONTROLLED WEAPON STATION* (RCWS) SEBAGAI INOVASI TEKNOLOGI PERTAHANAN BERBASIS *EMBEDDED SYSTEM*

Tabel 1. Pengukuran Nilai Analog Joystik pada Serial Monitor

	Nilai Tengah	Respon
Sumbu X	1007	Tidak Merespon
Sumbu Y	510	4 – 978

Hasil pengukuran pada Tabel 2 menunjukkan bahwa sumbu X joystick tidak berfungsi dengan baik, sehingga kami memutuskan untuk mengganti komponen tersebut dengan joystick yang baru.

Tabel 2. Pengukuran Nilai Tegangan Joystik

	Nilai Tengah (V)	Pembacaan Nilai Tegangan (V)
Sumbu X	5,00	Tidak Merespon
Sumbu Y	2,38	0,03 – 4,89
Input Tegangan		5,11

Pada proses pengujian komponen dan pemeriksaan jalur kelistrikan ini juga, kami menemukan bahwa input pada driver hanya sebesar 6,08 V, padahal spesifikasi minimum yang diperlukan adalah 24 VDC ($\pm 10\%$). Setelah dilakukan pemeriksaan, diketahui bahwa hal ini disebabkan oleh kabel daya yang tidak terhubung dengan baik antara adaptor dan driver. Selain itu, ditemukan pula beberapa kabel lain pada jalur kelistrikan dan komunikasi yang tidak tersambung dengan benar atau terpasang pada jalur yang tidak sesuai. Setelah dilakukan pengecekan dan penyambungan ulang seluruh kabel, sistem kini berfungsi dengan stabil dan sesuai spesifikasi teknis.

B. Implementasi Kode Program

Gambar 10 menunjukkan cuplikan kode program panel kontrol yang mengatur deadzone pada joystick analog untuk meningkatkan stabilitas sistem. Joystick menghasilkan sinyal analog dengan posisi netral di sekitar nilai 512, namun karena adanya noise dan toleransi sensor, nilai tersebut dapat berfluktuasi meskipun joystick tidak digerakkan. Untuk mencegah gerakan palsu, ditetapkan rentang deadzone 485–515, di mana joystick dianggap netral dan variabel keluaran x serta y diset ke 510. Nilai di luar rentang tersebut dianggap sebagai pergerakan, lalu sistem melakukan pembalikan nilai untuk menyesuaikan arah gerak dengan orientasi sistem. Penerapan mekanisme ini membuat kendali joystick lebih stabil, responsif, dan bebas noise, sehingga sistem RCWS dapat merespons input operator dengan akurasi tinggi.

```
// Deadzone joystick
if (DX <= 485 || DX >= 515) x = 1023 - DX;
else x = 510;
if (DY <= 485 || DY >= 515) y = 1023 - DY;
else y = 510;
```

Gambar 10. Cuplikan Program Panel Kontrol

Cuplikan program pada Gambar 11 merupakan cuplikan program pada Teensy 3.5 yang berfungsi untuk menerapkan sistem control proporsional. Sebelum menerapkan sistem control ini, program dimulai dengan membaca posisi joystick, mengonversinya menjadi setpoint ($sp1$ dan $sp2$) bagi sistem kendali motor, serta menghitung error antara setpoint dan posisi aktual dari rotary encoder. Nilai error dihitung dengan persamaan $e1 = sp1 - \theta1$ dan $e2 = sp2 - \theta2$, kemudian dikalikan

dengan konstanta penguatan $K_p = 50$ untuk menghasilkan sinyal PWM yang dibatasi melalui `constrain()`. Dengan penerapan kontrol proporsional (*P-control*) ini, sistem menghasilkan respon motor yang halus, stabil, dan sebanding dengan pergerakan joystick, sehingga posisi motor mengikuti input operator secara real-time tanpa overshoot signifikan.

```
// hitung error joystick vs encoder
e1 = sp1 - theta1;
e2 = sp2 - theta2;

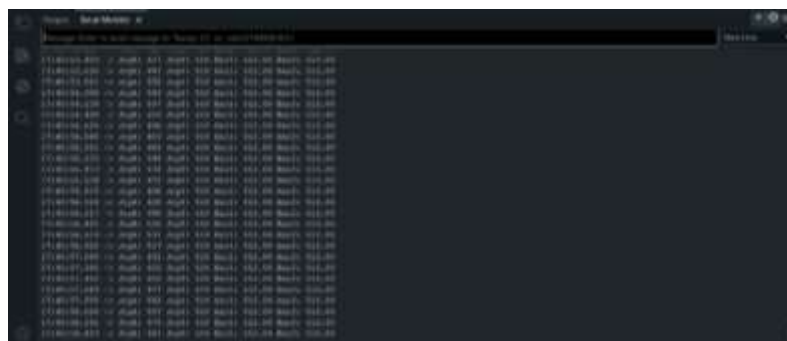
// kontrol sederhana (Proportional)
int Kp = 50;
int pwmX = constrain(Kp * e1, -65535, 65535);
int pwmY = constrain(Kp * e2, -65535, 65535);
```

Gambar 11. Cuplikan Program untuk Algoritma Kendali Motor

Pada Teensy 3.5 yang menjadi kontroler utama dalam sistem RCWS ini, kami juga menerapkan program *limit control* berdasarkan pembacaan posisi dari rotary encoder, untuk mencegah pergerakan melebihi batas fisik sistem. Nilai posisi aktual disimpan pada variabel θ_2 (theta2) dan dibandingkan dengan batas atas 600 serta batas bawah 420. Jika $\theta_2 > 600$, motor hanya diizinkan bergerak ke arah bawah ($\text{pwmY} < 0$), sedangkan jika $\theta_2 < 420$, motor hanya boleh bergerak ke arah atas ($\text{pwmY} > 0$). Pada kondisi $420 \leq \theta_2 \leq 600$, motor bergerak bebas sesuai perintah joystick: $\text{pwmY} > 0$ untuk arah atas (CW2 = HIGH) dan $\text{pwmY} < 0$ untuk arah bawah (CW2 = LOW). Mekanisme proteksi batas mekanik otomatis ini menjaga sistem RCWS tetap beroperasi dalam rentang elevasi aman, mencegah kerusakan struktur, serta memperpanjang umur komponen.

C. Pengujian Komunikasi Serial

Berdasarkan hasil tampilan Serial Monitor pada Arduino IDE yang dapat kita lihat pada Gambar 14, dapat disimpulkan bahwa komunikasi serial antara Teensy 3.5 dengan setiap subsistem telah berjalan dengan baik. Setiap subsistem, yaitu joystick dan encoder, dapat mengirimkan data ke mikrokontroler dan diteruskan melalui serial secara *real-time* tanpa error. Perubahan nilai JoyX menunjukkan respon pergerakan joystick, sedangkan nilai encoder stabil menandakan sistem pembacaan posisi berjalan normal. Hal ini membuktikan bahwa seluruh subsistem mampu berkomunikasi dan bertukar data dengan baik melalui jalur serial.



Gambar 12. Uji Komunikasi Serial Sistem

D. Implementasi dan Pengujian Lapangan

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian sistem kontrol posisi berbasis kontrol proporsional (*P-control*) pada motor azimuth dengan konstanta penguatan $K_p = 50$. Nilai setpoint (sp) diperoleh dari joystick sebagai referensi posisi, sedangkan posisi aktual (θ) dibaca melalui rotary encoder beresolusi 1024 PPR.

REAKTIVASI SISTEM *REMOTE CONTROLLED WEAPON STATION* (RCWS) SEBAGAI INOVASI TEKNOLOGI PERTAHANAN BERBASIS *EMBEDDED SYSTEM*

Nilai PWM digunakan untuk menentukan arah serta kecepatan putaran motor, jika PWM bernilai positif maka motor berputar ke kanan dan jika negatif motor berputar ke kiri. Pada table dapat kita lihat bahwa semakin besar error, semakin besar pula PWM yang dihasilkan. Hasil ini membuktikan bahwa kontrol proporsional mampu memberikan respon linier dan stabil terhadap perubahan setpoint, menjaga posisi sesuai nilai referensi secara akurat dan terarah.

Tabel 3. Respon Sistem Kontrol Proporsional pada Motor Azimut

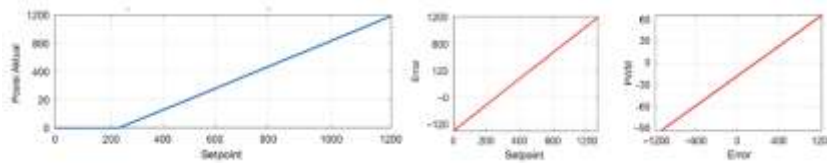
Setpoint (sp)	Posisi Aktual (θ)	Error $e(t) = sp - \theta$	PWM $u(t) = 50 \cdot e(t)$	Arah Gerakan
4	1022	-1018	-50900	Berputar ke kiri
420	760	-340	-17000	Berputar ke kiri pelan
338	665	-327	-16350	Masih diam
510	512	-2	-100	Diam
660	325	335	16750	Masih diam
753	410	343	17150	Berputar ke kanan pelan
1023	4	1019	50950	Berputar ke kanan

Konsep yang digunakan pada pengujian yang disajikan tabel 4 sama dengan yang disajikan oleh tabel 3 yaitu semakin besar error, semakin besar pula PWM yang dihasilkan.. Namun, ketika posisi aktual telah berada dalam rentang batas aman $420 \leq \theta \leq 600$, sistem secara otomatis menghentikan gerakan meskipun masih terdapat error kecil, sebagaimana terlihat pada beberapa kondisi dengan status “Berhenti”. Secara keseluruhan, hasil pada Tabel 4 menunjukkan bahwa sistem kontrol proporsional mampu memberikan respon yang sesuai dengan besar dan arah error, dengan tambahan fungsi pembatas posisi (*limit control*) yang memastikan motor hanya bergerak dalam rentang aman. Hal ini menegaskan bahwa sistem tidak hanya bekerja secara linier terhadap error, tetapi juga memiliki kemampuan proteksi mekanis untuk menjaga stabilitas dan keselamatan operasi motor elevasi.

Tabel 4. Respon Sistem Kontrol Proporsional pada Motor Elevasi

Setpoint (sp)	Posisi Aktual (θ)	Error $e(t) = sp - \theta$	PWM $u(t) = 50 \cdot e(t)$	Arah Gerakan
4	600	-596	-29800	Berhenti
420	600	-180	-9000	Berhenti
4	590	-586	-29300	Bergerak ke bawah
510	512	-2	-100	Diam
1023	400	623	31150	Bergerak ke atas
753	420	343	16650	Berhenti
1023	420	603	30150	Berhenti

Grafik pada gambar 15 membuktikan bahwa sistem RCWS bekerja sesuai logika control proporsional, di mana besar sinyal kendali PWM berbanding lurus dengan besar kesalahan posisi. Semakin besar selisih antara setpoint dan posisi aktual, semakin besar pula PWM yang dihasilkan untuk mempercepat koreksi posisi.



Gambar 13. Grafik respon sistem Kontrol Proporsional

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mereaktivasi sistem Remote Controlled Weapon Station (RCWS) yang sebelumnya tidak berfungsi melalui penerapan kontrol proporsional (P-control) berbasis mikrokontroler Teensy 3.5. Sistem mampu mengatur pergerakan motor azimut dan elevasi secara linier, stabil, dan responsif terhadap input joystick. Hasil pengujian menunjukkan hubungan sebanding antara error dan sinyal PWM, serta penerapan limit control pada sumbu elevasi efektif menjaga pergerakan dalam rentang aman ($420 \leq \theta_2 \leq 600$) untuk mencegah kerusakan mekanik. Seluruh subsistem panel kontrol, driver motor, dan rotary encoder 1024 PPR terintegrasi dengan baik melalui komunikasi serial yang stabil. Secara keseluruhan, sistem kendali ini terbukti presisi, andal, dan aman, serta memiliki potensi pengembangan lebih lanjut melalui integrasi metode PID control, fuzzy logic, atau computer vision tracking guna meningkatkan kinerja RCWS di bidang pertahanan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Titto Nasrul Syam atas bantuan teknis selama proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Dehtiarov, P. Leontiev, D. Miroshnychenko, V. Lanchynskyi, and P. Buhaiets, "Design and Research of the Ground Robotic System Structure for Weapons Remote Control," *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, vol. 6, no. 1(126), pp. 52–60, 2023, doi: 10.15587/1729-4061.2023.292432.
- [2] M. Dorczuk, "Modern weapon systems equipped with stabilization systems: division, development objectives, and research problems," *Sci. J. Mil. Univ. L. Forces*, vol. 197, no. 3, pp. 651–659, 2020, doi: 10.5604/01.3001.0014.3959.
- [3] J. F. Dolasinski, "Remote Controlled Weapon Stations - Development of Thought and Technology," *Probl. Mechatronics Armament Aviat. Saf. Eng.*, vol. 11, no. 3, pp. 87–100, 2020, doi: 10.5604/01.3001.0014.3710.
- [4] M. Svalstedt, "Modeling and Simulation of a Remote Controlled Weapon Station," M.Sc. thesis, KTH Royal Institute of Technology, School of Engineering Sciences (SCI), TRITA-SCI-GRU; 2022:356, Stockholm, Sweden, 2022. Available: <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2%3A1752017/FULLTEXT01.pdf>. Accessed: 28-Oct-2025.
- [5] W. Lu, "Limit-protection method for the workspace of a parallel power head," *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*, vol. 68, no. 10, pp. 560–570, 2022, doi: 10.5545/sv-jme.2022.69
- [6] PJRC, "Teensy® 3.5 (Development Board) – Specifications," PJRC. Available: <https://www.pjrc.com/store/teensy35.html>. Accessed: 23-Oct-2025.
- [7] J. W. Simatupang, B. Prasetyo, and M. I. A. Galina, "Prototipe Mesin Penjual Air Mineral Otomatis berbasis Arduino Mega 2560 dan RFID-RC522," *ELKOMIKA*, vol. 10, no. 2, pp. 484–499, 2022,

- doi: <https://doi.org/10.26760/elkomika.v10i2.484>
- [8] RobotDyn, “MEGA 2560 PRO (Embed) CH340G/ATmega2560-16AU — Product Page,” RobotDyn. Available: <https://robotdyn.com/mega-2560-pro-embed-ch340g-atmega2560-16au.html>. Accessed: 27-Oct-2025.
- [9] M. Dadić, P. Mostarac, R. Malarić, and J. Konjevod, “Digital compensation of a resistive voltage divider for power measurement,” *Electron.*, vol. 10, no. 6, pp. 1–14, 2021, doi: 10.3390/electronics10060696.
- [10] A. Abu Al-Hija’a, B. J. Szekeres, and M. Andó, “Comparative evaluation of voltage conversion and encoder pulse detection methods for controlling a model high-bay warehouse,” *Discov. Appl. Sci.*, vol. 7, no. 2, 2025, doi: 10.1007/s42452-025-06523-2.
- [11] J. Long, “Performance analysis of proportional feedback control and integral control in DC motors and speed control,” *Theor. Nat. Sci.*, vol. 26, no. 1, pp. 81–88, 2023, doi: 10.54254/2753-8818/26/20241023.
- [12] D. Mosconi, M. M. Silva, and A. A. G. Siqueira, “Optimal tuning of a proportional controller for DC motor position control via Fibonacci Search Method,” *J. Mechatronics Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 12–21, 2021, doi: 10.21439/jme.v4i1.88.