



Reaktivasi Remote Control Weapon System Berbasis Mikrokontroler Teensy 3.5

Rimbun Bintatar Ebenezer Lumban Gaol ^{a1*}, Roni Permana Saputra ^{b2}, Hendrana Tjahhadi ^{a3}, Adam Mardamsyah ^{a4}, Joni Welman Simatupang ^{a5}

^a Universitas Pertahanan RI, Kawasan IPSC Sentul, Bogor, Indonesia

^b Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Kawasan Cisit, Bandung, Indonesia

¹rimbunlgaol@gmail.com * ; ²roni.permana.saputra@brin.go.id ; ³hendranatj@gmail.com ;

⁴adaminfantri94@gmail.com , ⁵joni.welman@idu.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRAK
Article History Submission : 30-10-2025 Revision : 02-01-2026 Accepted : 14-03-2026 Kata Kunci: Remote Control, Weapon Sytem, Teensy 3.5 , Arduino Mega 2560 Pro , Rotary Encoder , Joystick , Sistem Kendali	Penelitian ini berfokus pada upaya pengaktifan kembali sistem Remote Control Weapon System (RCWS) yang mengalami kegagalan fungsi akibat kerusakan komponen dan penurunan kinerja sistem kendali seiring waktu. Tujuan penelitian adalah memulihkan operasional RCWS melalui proses evaluasi sistem, perancangan ulang kendali, serta integrasi kembali perangkat keras dan perangkat lunak berbasis mikrokontroler. Metode penelitian mencakup pemeriksaan kondisi awal sistem, penyusunan ulang skematik dan diagram blok, perbaikan jalur kelistrikan, penggantian komponen yang tidak berfungsi, serta pengujian kinerja sistem secara menyeluruh. Sistem kendali dikembangkan menggunakan Teensy 3.5 sebagai pengendali utama dan Arduino Mega 2560 Pro sebagai pengendali pendukung, dengan joystick sebagai antarmuka masukan dan rotary encoder sebagai sensor umpan balik posisi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa RCWS berhasil dioperasikan kembali dengan kinerja yang stabil, ditunjukkan oleh respons pergerakan yang presisi terhadap perintah operator serta fungsi pemicu yang berjalan dengan baik. Kontribusi penelitian ini terletak pada penyajian pendekatan teknis yang efektif untuk revitalisasi sistem pertahanan lama menggunakan teknologi mikrokontroler, sehingga sistem yang tidak aktif dapat dimanfaatkan kembali tanpa memerlukan pembangunan sistem baru. This is an open access article under license CC-BY-SA. 

1. Pendahuluan

Teknologi pertahanan modern menuntut sistem persenjataan yang tidak hanya presisi tetapi juga mampu mengurangi risiko keselamatan prajurit di medan perang [1]. Operator senjata api seringkali berada di dekat bahaya, baik karena tembakan musuh maupun ledakan, baik dalam pertempuran jarak jauh maupun dekat. Pendekatan mekatronika telah terbukti mampu meningkatkan efektivitas sistem pertahanan melalui integrasi sensor, pemrosesan

real-time, dan sistem kendali cerdas, yang menjadi fondasi penting dalam pengembangan berbagai sistem persenjataan modern [2]. Implementasi sistem kendali tertanam pada aplikasi kritis memerlukan pemrosesan waktu nyata dengan latensi rendah dan keandalan tinggi, karena kegagalan memenuhi batasan waktu dapat berdampak langsung pada performa dan keselamatan sistem [3]. Sistem kendali senjata modern berbasis mikrokontroler dapat dikategorikan sebagai real-time embedded systems yang bersifat kritis dan memiliki keterbatasan sumber daya, sehingga menuntut perancangan sistem yang andal dan responsif terhadap batasan waktu nyata [4]. Konsep mekatronika dan rekayasa militer sering dibahas dalam literatur pertahanan sebagai bagian dari teknik sistem senjata modern, termasuk integrasi sensor dan kendali dalam konteks rekayasa kendaraan tempur dan sistem otomatis [5]. Untuk mengatasi hal ini, diciptakan sistem kendali senjata jarak jauh (RCWS) [6]. RCWS memungkinkan pengendalian senjata secara elektronik dari jarak aman melalui *joystick*, sensor, dan aktuator yang terhubung ke sistem mikrokontroler [7].

Karena kemampuan mereka untuk meningkatkan keamanan dan efektivitas operasional, RCWS telah menjadi bagian penting dari berbagai platform militer seperti tank, kapal perang, dan kendaraan tempur [8]. Namun, dalam kehidupan nyata, banyak unit RCWS tidak berfungsi lagi karena kerusakan komponen elektronik, kerusakan kabel, atau masalah sistem kendali yang kompleks. Keterbatasan dalam perawatan perangkat keras, paparan lingkungan ekstrim, dan sistem yang sudah tua adalah penyebab utama masalah ini.

Fokus penelitian ini adalah proses reaktivasi sistem RCWS yang telah tidak berfungsi selama lebih dari sepuluh tahun. Untuk mencapai tujuan ini, mikrokontroler Teensy 3.5, yang merupakan pengendali utama yang sangat efisien, dan Arduino Mega 2560 Pro, yang merupakan pengendali tambahan. Kedua mikrokontroler ini mampu melakukan pemrosesan data secara real-time dan sangat compatible dengan berbagai aktuator dan sensor. Alasan mengapa pendekatan ini dipilih adalah karena ini [9].

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem kendali senjata modern berbasis mekatronika pertahanan, dan juga menunjukkan potensi penerapan teknologi mikrokontroler terkini untuk revitalisasi sistem militer yang sudah tidak aktif. Penelitian ini juga bertujuan untuk merancang ulang dan menghidupkan kembali sistem kendali RCWS melalui integrasi perangkat keras dan perangkat lunak berbasis mikrokontroler. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada reaktivasi RCWS menggunakan Teensy 3.5 dan Arduino Mega untuk mengembalikan fungsi sistem dengan biaya rendah dan efisiensi tinggi.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekatronika Cerdas, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Bandung. Tujuan utama kegiatan ini adalah menghidupkan kembali *Remote Control Weapon System* (RCWS) yang telah tidak berfungsi selama lebih dari satu dekade melalui penerapan mikrokontroler Teensy 3.5 sebagai unit pengendali utama dan *Arduino Mega 2560 Pro* sebagai pengendali pendukung [10].

Proses penelitian dibagi menjadi empat tahap utama, yaitu analisis sistem, perancangan, implementasi, dan pengujian. Pada tahap analisis, dilakukan pemeriksaan menyeluruh terhadap kondisi fisik dan kelistrikan RCWS guna mengidentifikasi sumber kerusakan pada

kabel, *joystick*, serta modul kontrol. Selanjutnya, tahap perancangan mencakup pembuatan ulang diagram blok dan skematik sistem, di mana Teensy 3.5 berperan sebagai *main controller* dan Arduino Mega 2560 Pro sebagai *sub-controller* yang menerima masukan dari *joystick* serta tombol kendali operator [11].

Tahap implementasi meliputi penyambungan kembali kabel menggunakan metode penyolderan dengan pelindung heatshrink serta penggantian seluruh komponen yang rusak. Perangkat lunak sistem dikembangkan melalui Arduino IDE dengan komunikasi serial dua arah antara kedua mikrokontroler untuk mengatur pergerakan motor DC berdasarkan data dari *joystick* dan *rotary encoder* [12].

Tahap akhir berupa pengujian sistem dilakukan untuk memverifikasi fungsi *joystick*, kecepatan respon motor terhadap perintah gerak, serta kestabilan komunikasi antar modul kontrol [13]. Hasil uji menunjukkan bahwa RCWS yang direaktivasi mampu bekerja kembali dengan baik, menampilkan respons pergerakan yang stabil, cepat, dan akurat sesuai input operator.

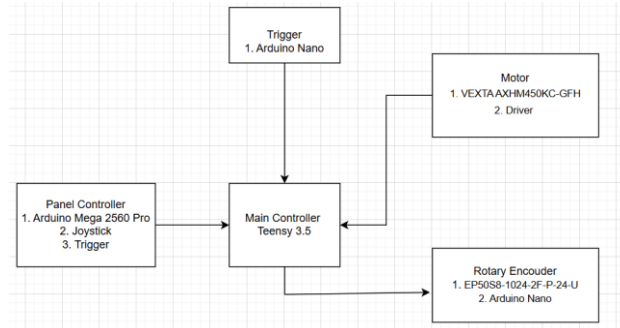
Perkembangan Remote Control Weapon System (RCWS) secara global menunjukkan kecenderungan menuju sistem senjata yang semakin terintegrasi dengan algoritma kendali, sistem otomasi, dan fire control system untuk meningkatkan efektivitas dan keselamatan operator, khususnya pada platform artileri modern [14]. Gambar 1 merupakan perangkat yang kami teliti, yakni Remote Control Weapon System (RWCS). RCWS merupakan sistem senjata yang dapat dikendalikan dari jarak jauh, umumnya digunakan pada kendaraan tempur untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi dalam pengoperasian senjata.



Gambar 1. Remote Control Weapon System

Diagram blok kerja *Remote Control Weapon System* (RCWS) di Gambar 2 menunjukkan hubungan antar komponen utama yang membentuk sistem kendali jarak jauh berbasis mikrokontroler. Sistem ini terdiri dari Arduino Mega 2560 Pro sebagai *panel controller* yang menerima input dari joystick dan tombol kontrol, kemudian mengirimkan data arah dan perintah tembak ke Teensy 3.5 sebagai *main controller* melalui komunikasi serial. Teensy 3.5 memproses data tersebut untuk menghasilkan sinyal PWM yang mengatur kecepatan dan arah putaran motor DC pada sumbu X dan Y melalui driver motor, sekaligus menerima umpan balik dari *rotary encoder* sebagai sensor posisi agar gerakan turret presisi dan stabil. Seluruh sistem

mendapat suplai dari sumber daya DC terkontrol, sehingga komunikasi, pengendalian, dan aktuasi dapat berjalan secara sinkron dan real-time. Diagram ini menggambarkan integrasi antara input pengguna, pemrosesan sinyal, dan penggerak mekanik dalam satu sistem mekatronika pertahanan yang terkoordinasi.



Gambar 2. Diagram Blok Kerja RCWS

Komunikasi antara joystick dan mikrokontroler (misalnya Teensy atau Arduino Mega) pada bagian program ini dilakukan melalui Serial3, yaitu salah satu port komunikasi serial yang tersedia di mikrokontroler, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Data posisi joystick dikirim secara berkala dalam bentuk karakter (biasanya mewakili sumbu X dan Y), kemudian dibaca oleh program melalui pemanggilan fungsi serial3. Fungsi ini bertugas memproses data mentah dari Serial3 dan mengonversinya menjadi nilai numerik yang disimpan pada variabel nX dan nY. Setelah proses pembacaan selesai, nilai tersebut dipindahkan ke variabel Joy_X dan Joy_Y, yang nantinya digunakan sebagai acuan atau setpoint pergerakan motor pada sumbu azimuth dan elevasi. Dengan cara ini, setiap perubahan arah atau gerakan pada joystick langsung dikirim melalui komunikasi serial dan diterjemahkan oleh mikrokontroler menjadi perintah gerak untuk sistem kontrol motor.

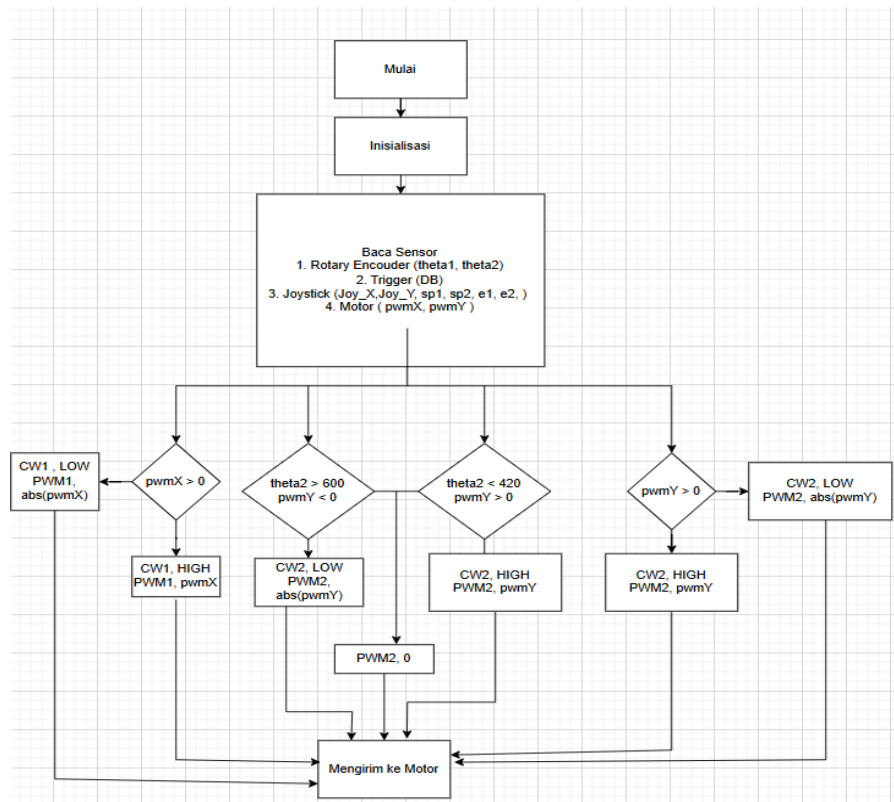
```

93
94     Serial.begin(9600);
95     Serial1.begin(9600);
96     Serial2.begin(9600);
97     Serial3.begin(9600);
98     Serial4.begin(115200);
99
  
```

Gambar 3. Komunikasi Joystick dengan Mikrokontroler melalui Serial3

Flowchart *Main Controller* (Gambar 4) menunjukkan alur kerja sistem kendali utama pada RCWS yang dijalankan oleh mikrokontroler *Teensy 3.5*. Proses dimulai dengan inisialisasi seluruh komponen, termasuk konfigurasi pin input/output, komunikasi serial dengan *panel controller* (Arduino Mega 2560 Pro), serta pengaturan sinyal PWM untuk motor. Setelah itu, sistem membaca data perintah dari *joystick* dan tombol melalui komunikasi serial, kemudian memprosesnya untuk menentukan arah serta kecepatan putaran motor DC. Nilai posisi dari rotary encoder digunakan sebagai umpan balik agar gerakan sumbu X dan Y tetap presisi dan tidak melewati batas yang ditentukan. Berdasarkan hasil pembacaan tersebut, Teensy 3.5 mengirimkan sinyal kontrol ke driver motor untuk menggerakkan turret sesuai perintah

operator. Seluruh proses berlangsung secara berulang (*looping*) dan *real-time*, sehingga sistem mampu merespons setiap perubahan input joystick dengan cepat dan menjaga kestabilan pergerakan RCWS secara akurat.



Gambar 4. Flowchart Sistem RCWS

2.1 Pengujian Produk

2.1.1 Pengujian Teensy 3.5

Pengujian dilakukan untuk memastikan fungsi modul Teensy 3.5 sebagai pengendali utama sistem RCWS [15]. Berdasarkan hasil pemeriksaan awal, Teensy lama tidak dapat menerima sinyal dari *joystick* dan *trigger* sehingga sistem tidak merespons perintah apa pun. Setelah dianalisis, modul tersebut dinyatakan rusak dan kemudian diganti dengan unit baru. Pengujian ulang dilakukan dengan memberikan input dari *joystick* untuk menggerakkan motor RCWS. Hasilnya menunjukkan bahwa Teensy 3.5 baru dapat bekerja dengan baik, mampu membaca sinyal masukan, serta mengendalikan sistem secara responsif dan stabil.

2.1.2 Pengujian Arduino Mega 2560 Pro

Pengujian Arduino Mega 2560 Pro dilakukan untuk memastikan modul ini bekerja optimal sebagai pengendali tambahan (*sub controller*) pada sistem RCWS [16]. Pengujian dimulai dengan pemeriksaan tegangan keluaran pada pin 5V, yang sebelumnya sempat menunjukkan nilai tidak sesuai standar. Setelah dilakukan penggantian modul baru, dilakukan pengukuran ulang dan hasilnya menunjukkan tegangan stabil di sekitar 5V. Selanjutnya dilakukan pengujian komunikasi serial antara Arduino Mega dan Teensy 3.5 untuk memastikan transfer

data berjalan sinkron. Selain itu, pengujian terhadap pembacaan nilai analog *joystick* juga dilakukan untuk melihat respons perubahan nilai yang dikirimkan ke Teensy. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Arduino Mega 2560 Pro mampu bekerja dengan baik, menghasilkan komunikasi data yang stabil, dan mendukung sistem kendali secara *real-time*.

2.1.3 Pengujian Joystick

Pengujian joystick bertujuan untuk memastikan pembacaan nilai analog pada sumbu X dan Y berjalan normal dan dapat diterjemahkan dengan benar oleh sistem kontrol [17]. Berdasarkan hasil pengujian awal, ditemukan bahwa *joystick* lama mengalami kerusakan karena nilai pembacaan selalu berada pada angka maksimum (sekitar 1000) meskipun posisi tuas tidak digerakkan. Setelah dilakukan penggantian dengan unit baru, pengujian kembali dilakukan menggunakan serial monitor. Hasilnya menunjukkan nilai pembacaan analog yang stabil dengan posisi tengah berada pada kisaran 512, serta perubahan nilai yang proporsional terhadap arah gerakan *joystick*. Hal ini membuktikan bahwa *joystick* baru bekerja normal dan dapat digunakan untuk mengendalikan pergerakan RCWS secara presisi.

2.1.4 Pengujian Motor DC VEXTA AXHM450KC-GFH

Uji motor DC bertujuan untuk memverifikasi kemampuan aktuator dalam merespons sinyal PWM dari Teensy 3.5. Pengujian dilakukan dengan memberikan sinyal PWM bertingkat untuk mengatur kecepatan dan arah rotasi motor [18]. Dari hasil pengujian, motor dapat berputar ke dua arah sesuai perintah dan menunjukkan perubahan kecepatan yang proporsional terhadap variasi nilai PWM. Motor juga mampu bergerak secara halus tanpa hentakan maupun getaran berlebih, menunjukkan bahwa driver motor bekerja dengan baik dan sistem kendali dapat mengatur putaran dengan stabil.

2.1.5 Pengujian EP50S8-1024-2F-P-24-U Absolute Rotary Encoder

Rotary encoder juga diuji untuk memverifikasi keakuratan pembacaan posisi putaran motor [19]. Encoder dihubungkan langsung ke poros motor dan hasil pembacaannya dimonitor melalui serial monitor pada Teensy 3.5. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sinyal dari encoder terbaca secara konsisten dan jumlah pulsa yang dihasilkan sesuai dengan pergerakan motor yang sebenarnya. Hal ini menandakan bahwa sistem feedback atau umpan balik posisi bekerja dengan baik dan mampu memberikan data rotasi secara akurat dan *real-time*.

2.1.6 Pengujian Trigger

Terakhir, pengujian dilakukan pada tombol trigger yang berfungsi sebagai pemicu utama dalam sistem. Tombol diuji dengan berbagai variasi penekanan untuk memastikan sistem dapat merespons dengan benar tanpa terjadi false trigger. Hasilnya menunjukkan bahwa setiap penekanan tombol dapat dideteksi dengan tepat dan menghasilkan sinyal logika yang stabil. Efek bouncing juga berhasil diminimalkan melalui program debounce di Arduino Mega 2560 Pro. Dengan hasil tersebut, tombol *trigger* dinyatakan berfungsi baik dan siap digunakan dalam pengoperasian sistem RCWS secara penuh.

2.1.7 Pengujian Arduino Uno

Pengujian juga dilakukan pada Arduino Uno yang digunakan sebagai perangkat pendukung

selama proses kalibrasi dan pengujian mandiri sistem kontrol [20]. Mikrokontroler ini dimanfaatkan untuk melakukan uji pembacaan sinyal analog dan digital, serta memastikan keluaran sinyal PWM dari sistem bekerja sesuai dengan spesifikasi sebelum dihubungkan ke sistem utama. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Arduino Uno mampu berfungsi dengan baik sebagai alat bantu pengujian, dengan tingkat kestabilan sinyal yang tinggi dan waktu respon cepat terhadap perubahan input.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kondisi Awal *Remote Control Weapon System*

Pada tahap awal, sistem RCWS ditemukan dalam kondisi tidak berfungsi akibat tidak adanya respons dari *joystick* maupun sistem kendali utama. Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran, diperoleh beberapa permasalahan utama sebagai berikut:

1. Kabel penghubung banyak yang terputus sehingga tidak terjadi kontinuitas sinyal antara modul kontrol dan motor penggerak.
2. Tegangan kerja pada Arduino Mega 2560 tidak sesuai standar, khususnya pada pin 5V yang mengalami penurunan tegangan.
3. Kerusakan pada mikrokontroler Teensy 3.5 yang berakibat pada tidak diterimanya sinyal perintah dari *joystick*.
4. *Joystick* mengalami gangguan pembacaan analog, di mana nilai output selalu maksimum (sekitar 1000) meskipun posisi tuas tidak digerakkan.

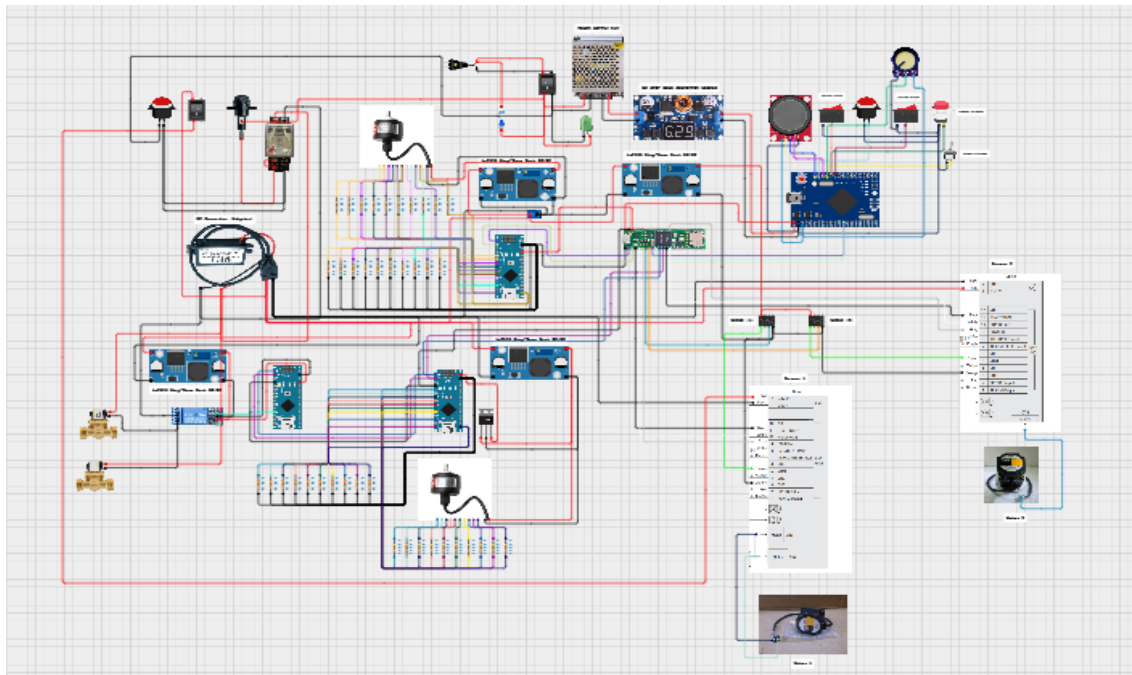
3.2. Proses Reaktivasi *Remote Control Weapon System*

Proses reaktivasi RCWS dilakukan untuk mengembalikan fungsi sistem yang sudah lama tidak beroperasi. Setelah dilakukan pemeriksaan awal, ditemukan beberapa bagian yang rusak dan perlu diperbaiki. Langkah-langkah reaktivasi dilakukan sebagai berikut:

1. Penyambungan Kabel. Kabel-kabel penghubung yang terputus disambung kembali menggunakan teknik penyolderan. Setiap sambungan dilapisi *heatshrink* agar lebih aman dan rapi. Setelah semua kabel tersambung, sistem kelistrikan kembali stabil dan siap untuk diuji.
2. Penggambaran Skematik dan Diagram Blok. Setelah penyambungan kabel selesai, dilakukan penggambaran ulang skematik dan diagram blok RCWS. Hal ini dilakukan untuk memastikan hubungan antar komponen seperti Teensy 3.5, Arduino Mega 2560 Pro, motor, *encoder*, dan *joystick* sudah sesuai.
3. Perbaikan *Joystick*. Hasil pengujian awal menunjukkan *joystick* lama tidak berfungsi dengan benar karena nilai bacaan analog selalu maksimum. *Joystick* tersebut diganti dengan unit baru. Setelah penggantian, pembacaan nilai kembali normal dengan titik tengah di sekitar 512.
4. Perbaikan Teensy 3.5. Modul Teensy 3.5 lama tidak merespons sinyal dari *joystick* dan *trigger*. Setelah dianalisis, modul dinyatakan rusak dan diganti dengan unit baru. Teensy baru berhasil memproses data input dan mengendalikan motor RCWS dengan baik.
5. Perbaikan Arduino Mega 2560 Pro. Ditemukan bahwa Arduino Mega memiliki tegangan 5V yang tidak stabil. Modul ini kemudian diganti dengan yang baru, dan

hasil pengukuran menunjukkan tegangan kembali normal. Komunikasi data antara Arduino Mega dan Teensy berjalan lancar.

Setelah semua perbaikan dilakukan, sistem RCWS diuji kembali, yang disebut dengan Uji Fungsi Akhir. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen bekerja dengan baik. RCWS (lihat Gambar 5. Skematik RCWS) dapat digerakkan melalui joystick dan sistem trigger berfungsi normal. Sistem berhasil direaktivasi dan siap digunakan kembali.



Gambar 5. Skematik RCWS

3.3 Hasil Pengujian

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem RCWS telah berfungsi secara optimal setelah proses perbaikan:

1. *Joystick* kembali mampu memberikan nilai analog yang stabil dan proporsional terhadap arah gerakan.
2. Motor penggerak dapat merespons dengan cepat terhadap perintah sumbu X dan Y tanpa keterlambatan signifikan.
3. Sistem *trigger* bekerja dengan baik dan mampu mengaktifkan aktuator dengan waktu respon cepat.
4. Komunikasi antara Teensy dan Arduino Mega berjalan sinkron melalui komunikasi serial, dengan pertukaran data posisi dan perintah yang *real-time*.

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian komponen-komponen *Remote Control Weapon System* yang mencakup joystick, Teensy 3.5, Arduino Mega 2560 Pro, Kabel, dan RCWS secara keseluruhan.

Tabel 1: Pengujian Komponen RCWS

Komponen	Kondisi Awal	Solusi	Hasil Perbaikan
<i>Joystick</i>	Tidak membaca nilai analog dengan benar	Diganti dengan unit baru	Nilai pembacaan kembali normal (512 pada posisi tengah)
Teensy 3.5	Tidak merespons sinyal input	Diganti dengan unit baru	Sistem dapat memproses data joystick
Arduino Mega 2560 Pro	Tegangan 5V tidak stabil	Diganti modul baru	Tegangan kembali normal dan komunikasi serial stabil
Kabel	Banyak yang terputus	Disambung ulang dan dilapisi <i>heatshrink</i>	Sinyal listrik tersalurkan dengan baik
RCWS secara keseluruhan	Tidak berfungsi	Diperbaiki dan dikalibrasi	Berfungsi normal dan responsif

3.4 Pembahasan

Penelitian dilaksanakan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) berfokus pada proses analisis dan perbaikan sistem *Remote Control Weapon System* (RCWS) yang sempat tidak berfungsi selama hampir satu dekade. Tahap awal kegiatan dimulai dengan identifikasi kondisi fisik dan kelistrikan sistem, di mana ditemukan sejumlah permasalahan utama, seperti kabel yang terputus, ketidaksesuaian tegangan pada beberapa jalur daya, serta kerusakan pada komponen pengendali utama. Permasalahan ini menyebabkan sistem tidak dapat menerima perintah dari joystick maupun menjalankan aktuator motor dengan benar.

Berdasarkan hasil pemeriksaan, diketahui bahwa mikrokontroler Teensy 3.5 dan Arduino Mega 2560 Pro mengalami kerusakan, sedangkan *joystick* tidak lagi mampu menghasilkan sinyal analog yang akurat. Proses perbaikan dilakukan dengan mengganti ketiga komponen tersebut menggunakan unit baru, kemudian dilakukan kalibrasi sinyal input-output serta pengujian fungsional sistem. Setelah dilakukan penggantian dan penyambungan ulang kabel dengan metode penyolderan dan pelindung *heatshrink*, sistem dapat kembali menerima perintah dari joystick dan menggerakkan motor RCWS dengan presisi. Proses perancangan sistem dikembangkan dengan membuat skematik rangkaian dan diagram blok yang memetakan hubungan antara subsistem kontrol, sensor, dan aktuator.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem RCWS berhasil beroperasi dengan stabil. Pembacaan nilai analog *joystick* menunjukkan titik tengah di sekitar 512 dan berubah proporsional terhadap arah gerak, menandakan pembacaan sinyal berjalan normal. Sistem trigger juga berfungsi baik dengan waktu respons yang cepat, menunjukkan keberhasilan komunikasi serial antara modul kontrol utama dan panel kontrol. Integrasi antara Teensy dan Arduino Mega terbukti efektif dalam menjalankan *sistem closed-loop control*, di mana umpan balik dari *rotary encoder* memastikan pergerakan senjata tetap dalam batas sudut aman.

Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil mengembalikan fungsi operasional RCWS dan sekaligus memperkuat pemahaman mahasiswa terhadap sistem kendali berbasis mikrokontroler dalam aplikasi mekatronika pertahanan. Dari sisi penerapan ilmu, kegiatan ini menunjukkan pentingnya penerapan prinsip rekayasa elektro dalam mengatasi gangguan sistem kompleks melalui analisis sistematis, pengujian terukur, dan dokumentasi teknis yang

baik. Hasil akhir RCWS yang kembali berfungsi normal dapat dijadikan sarana penelitian dan pengembangan sistem kendali jarak jauh di BRIN, sekaligus mendukung inovasi dalam bidang teknologi pertahanan nasional.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembalikan fungsi operasional Remote Control Weapon System (RCWS) yang sebelumnya tidak dapat digunakan dengan memanfaatkan mikrokontroler Teensy 3.5 sebagai pengendali utama dan Arduino Mega 2560 Pro sebagai pengendali pendukung. Berdasarkan hasil pengujian, sistem kendali menunjukkan kinerja yang stabil, ditandai dengan respons pergerakan yang presisi pada dua sumbu, pertukaran data yang andal antar modul kontrol, serta fungsi pemacu yang beroperasi sesuai perintah. Kontribusi penelitian ini terletak pada pembuktian bahwa sistem pertahanan berbasis mekatronika yang telah lama tidak aktif dapat diaktifkan kembali secara efektif melalui pembaruan teknologi kendali berbasis mikrokontroler, tanpa memerlukan perancangan sistem baru dari awal.

5. Saran Penelitian Lanjutan

Pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambahkan sistem visual berbasis kamera untuk mendukung pemantauan dan pengendalian RCWS secara lebih akurat. Selain itu, penerapan metode kecerdasan buatan untuk fungsi pelacakan target secara otomatis dapat dipertimbangkan guna meningkatkan kemampuan sistem menuju pengoperasian semi-otomatis. Pengembangan lanjutan lainnya mencakup integrasi mekanisme pengamanan tambahan, seperti pembatasan area gerak, sistem otorisasi operator, serta penambahan sensor pendukung guna meningkatkan aspek keselamatan dan keandalan sistem secara menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. N. Rachmat, "Tantangan dan Peluang Perkembangan Teknologi Pertahanan Global Bagi Pembangunan Kekuatan Pertahanan Indonesia," *Jurnal Transformasi Global*, vol. 1, no. 2, pp. 199-212, 2014.
- [2] V. K. Vadim Starý, "Integrating Mechatronics Principles in Modern Air Defence Systems," dalam *Proc. 21st Int. Conf. on Mechatronics – Mechatronika (ME)*, Brno, Czech Republik, 2024.
- [3] P. K. R. K. Eyke Liegmann, "Real-Time Implementation of Long-Horizon Direct Model Predictive Control on an Embedded System," *IEEE Open Journal of Industry Applications*, vol. 3, pp. 1-12, 2021.
- [4] T. C. R. G. Tanmaya Mishra, "Survey of Control-flow Integrity Techniques for Real-time Embedded Systems," *ACM Journals*, vol. 21, no. 4, pp. 1-32, 2022.
- [5] W. F. L. E. F. R. S. C. Cesar Villacis, "A New Real-Time Flight Simulator For Military Training Using Mechatronics and Cyber-Physical System Methods," dalam *Military Engineering*, Sangolqui, Ecuador, Books On Demand (BoD), 2020, pp. 73-90.

- [6] Sarvani, "Design and Development of Remote Controlled Weapon System," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 8, no. 6, pp. 112-117, 2019.
- [7] Krisnawati, "Rancang Bangun Kendali Jarak Jauh Senjata SS2-V4 Untuk Mendukung Pengamanan Pasukan Berbasis Kamera Pengintai," *Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia (FORTEI)*, vol. 1, no. 1, pp. 158-163, 2018.
- [8] A. Pambudi, "Aplikasi Penggunaan Joystick Sebagai Pengendali Remote Control Weapon Station (RCWS) Senjata Mesin Ringan (SMR)," *Jurnal Aplikasi Sains, Informasi, Elektronika dan Komputer*, vol. 1, no. 2, pp. 98-105, 2019.
- [9] S. Widodo, "Rancang Bangun Sensor Rotary Encoder Sebagai Alat Pengendali Gerakan Azimuth Prototype Dudukan Meriam," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer (JTEK)*, vol. 8, no. 1, pp. 45-52, 2023.
- [10] D. M. Y. D. Iman Saptiadi, "Rancang Bangun Sistem Kendali pada Robot Tempur Menggunakan Joystick Berbasis Arduino," *Jurnal Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi Dan Kontrol*, vol. 6, no. 1, pp. 49-55, 2020.
- [11] J.Fung, "Flexible, low-cost phase-sensitive detection for the undergraduate laboratory with a Teensy microcontroller," *American Journal Of Physics*, vol. 91, no. 5, pp. 395-403, 2023.
- [12] Feriyonika, "Sistem Kendali Motor DC PID Arduino," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer (JTSiskom)*, vol. 5, no. 2, pp. 55-60, 2017.
- [13] Controls.com, "Turret Control System," 2025. [Online]. Available: <https://www.controls.com/turret-control-systems/>. [Accessed 27 October 2025].
- [14] M. S. D. D. M. M. N. M. Aleksandra Zivkovic, "The Concept Of Remote Control Weapon Station For Self-Propelled Mortars," *OTEH*, pp. 103-108, 2024.
- [15] "Teensy® 3.5 Development Board," 15 August 2023. [Online]. Available: <https://www.pjrc.com/store/teensy35.html>. [Accessed 2025 October 27].
- [16] Wahyudi, "Penerapan Machine Learning Pada Mikrokontroler Arduino Mega PRO MINI ATmega2560-16AU," *Journal Of Embedded System Security And Intelligent System (JESSI)*, vol. 3, no. 1, pp. 29-39, 2022.
- [17] I. Saptiadi, "Rancang Bangun Sistem Kendali pada," *TELKA: Jurnal Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi, dan Kontrol*, vol. 6, no. 1, pp. 49-55, 2020.
- [18] D. Natalia, "Perancangan Dan Implementasi Pengendalian Kecepatan," *Jurnal Elektro dan Komputer (JELKOM)*, vol. 8, no. 6, pp. 22-27, 2020.

-
- [19] N. Afifah, "Sistem Pengendalian Posisi Sumbu Azimut Pada Turret Gun Menggunakan Kendali PID Berbasis Arduino MEGA 2560," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 101-108, 2019.
- [20] A.Kadir, *Panduan Praktis Mikrokontroler Arduino*, Yogyakarta: Andi Offset, 2019.