



Rancang Bangun Stabilisasi Meriam 40 mm Pada KRI Class LPD guna Meningkatkan Akurasi Tembakan

Design and Development of 40 mm Cannon Stabilization on LPD Class KRI to Enhance Firing Accuracy

Chandrawira Banusatya¹, Yulian Wardi^{2*}, Ari Yunanto³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektronika Kapal Perang, Akademi Angkatan Laut,
Jl. Bumimoro Morokrembangan, Surabaya, Jawa Timur, 60178, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: wardi.yulian@gmail.com

Abstract

Landing Platform Dock (LPD) class warships play a strategic role in various military operations; however, the effectiveness of their weaponry is often hindered by dynamic sea conditions. Constant changes in the ship's position and orientation due to sea waves have a direct impact on the firing accuracy of 40 mm medium-caliber cannons. This study aims to design and develop a 40 mm cannon stabilization system integrated with inertial sensors and high-precision actuators to enhance firing precision. The research methodology employs an engineering design approach, including the development of hardware based on an Arduino microcontroller, the MPU6050 gyroscope sensor for detecting pitch and roll movements, and the nRF24L01 module for wireless control. The system operates by processing sensor data to adjust the cannon barrel's position in real-time using a PID-based control algorithm to maintain movement stability. Experimental results indicate that the prototype is capable of compensating for ship tilt changes with fast response times and can be operated via remote control at a range of up to 50 meters. The implementation of this system is expected to serve as an innovative solution to improve the operational effectiveness of 40 mm cannons in wavy sea conditions and support the combat readiness of LPD Class KRI in maritime defense missions.

Keywords: Cannon stabilization, LPD Class KRI, Firing accuracy, Gyroscope sensor, Microcontroller

Abstrak

Kapal perang jenis Landing Platform Dock (LPD) memiliki peran strategis dalam berbagai operasi militer, namun efektivitas persenjataannya sering kali terhambat oleh kondisi laut yang dinamis. Perubahan posisi dan orientasi kapal secara konstan akibat gelombang laut berdampak langsung pada penurunan akurasi tembakan meriam kaliber menengah 40 mm. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem stabilisasi meriam 40 mm yang terintegrasi dengan sensor inersia dan aktuator presisi guna meningkatkan akurasi penembakan. Metode penelitian yang digunakan adalah rekayasa sistem (engineering design) yang meliputi perancangan perangkat keras berbasis mikrokontroler Arduino, sensor gyroscope MPU6050 untuk mendeteksi pergerakan pitch dan roll, serta penggunaan modul nRF24L01 untuk sistem kendali nirkabel. Sistem ini bekerja dengan mengolah data dari sensor untuk menyesuaikan posisi laras meriam secara real-time menggunakan algoritma kontrol berbasis PID guna menjaga kestabilan gerak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe mampu mengkompensasi perubahan sudut kemiringan kapal dengan respon waktu yang cepat serta dapat dikendalikan melalui remote control hingga jarak 50 meter. Implementasi sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan efektivitas operasional meriam 40 mm pada kondisi laut yang bergelombang dan mendukung kesiapsiagaan tempur KRI Class LPD dalam misi pertahanan maritim.

Kata kunci: Stabilisasi meriam, KRI Class LPD, Akurasi tembakan, Sensor gyroscope, Mikrokontroler

1. Pendahuluan

TNI Angkatan Laut (TNI AL) memegang tanggung jawab krusial dalam menjaga kedaulatan maritim serta perlindungan sumber daya laut Indonesia, sebagaimana diamanatkan dalam UU No. 34 Tahun 2004. Dalam menjalankan tugas penegakan hukum dan keamanan di wilayah yurisdiksi nasional, penggunaan sistem persenjataan yang efektif dan akurat menjadi kebutuhan mutlak. Salah satu perangkat artileri strategis yang digunakan pada kapal perang TNI AL adalah meriam 40 mm, yang berfungsi dalam berbagai operasi militer untuk melindungi kapal dari ancaman udara maupun permukaan.

Namun, efektivitas meriam ini sangat dipengaruhi oleh stabilitas platform penempatan dan kondisi lingkungan saat penembakan. Kapal perang jenis *Landing Platform Dock* (LPD) milik TNI AL, seperti KRI Makassar (590) dan KRI Surabaya (591), merupakan kapal angkut militer yang sering beroperasi dalam kondisi laut yang dinamis. Pengalaman operasional menunjukkan bahwa akurasi tembakan meriam 40 mm pada KRI Class LPD sering kali tidak mengenai sasaran karena pengaruh faktor cuaca dan gelombang laut yang menyebabkan getaran serta pergerakan konstan pada badan kapal.

Saat ini, sistem stabilisasi meriam 40 mm pada KRI Class LPD masih belum tersedia secara optimal, sehingga proses penembakan sangat bergantung pada kondisi platform yang tidak stabil. Padahal, sistem stabilisasi yang efektif sangat esensial untuk mengurangi dampak guncangan dan menjaga orientasi laras meriam agar tetap terkunci pada sasaran secara *real-time*. Tanpa adanya teknologi ini, penggunaan amunisi menjadi tidak efisien dan kesiapsiagaan tempur kapal dalam misi pertahanan maritim dapat terhambat.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah sistem stabilisasi meriam 40 mm yang diintegrasikan dengan sensor inersia (*gyroscope* dan *accelerometer*) serta mikrokontroler sebagai unit pemroses. Melalui implementasi algoritma kontrol yang presisi, sistem ini diharapkan mampu mengompensasi pergerakan *pitch* dan *roll* kapal secara otomatis. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan akurasi tembakan dan efisiensi operasional, tetapi juga memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi sistem senjata di lingkungan TNI AL.

2. Metode

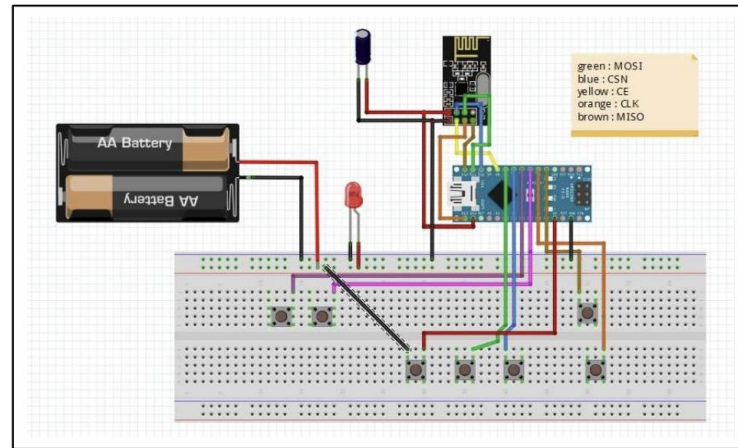
Penelitian ini menggunakan metode rekayasa sistem (*engineering design*) yang terdiri dari beberapa tahapan sistematis, meliputi studi literatur, pengumpulan data, perancangan sistem, hingga tahap pengujian alat. Fokus utama dalam metode ini adalah mengintegrasikan perangkat keras dan lunak agar sistem dapat merespons pergerakan kapal secara otomatis.

A. Perancangan Hardware

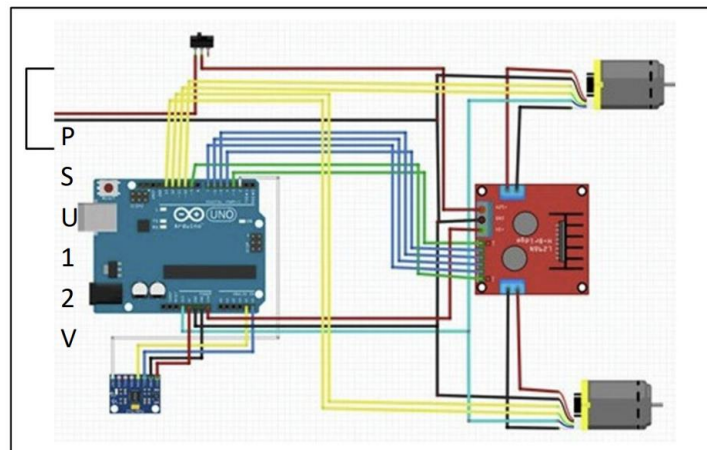
Perancangan perangkat keras dilakukan dengan mengintegrasikan berbagai komponen elektronik yang memiliki tingkat presisi tinggi untuk memastikan sistem stabilisasi bekerja secara *real-time*. Sistem ini dibagi menjadi dua unit utama, yaitu unit kontrol meriam dan unit *remote control*. Berdasarkan analisa kebutuhan perancangan, komponen-komponen yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Jenis-Jenis Komponen, Spesifikasi, dan Fungsinya

No	Jenis Komponen	Spesifikasi	Fungsi
1	Mikrokontroler Utama	Arduino Uno	Unit pemroses data utama pada mekanisme Meriam
2	Mikrokontroler <i>Remote</i>	Arduino Nano	Unit pemroses <i>input</i> pada sistem kendali jarak jauh
3	Sensor Inersia	MPU6050	Mendeteksi sudut kemiringan <i>pitch</i> dan <i>roll</i> sebagai data koreksi
4	Modul <i>Wireless</i>	NRF24L01 (2,4 GHz)	Komunikasi nirkabel antara <i>remote</i> dan meriam (jarak 10–50m)
5	<i>Driver</i> Motor	L298N <i>Dual H-Bridge</i>	Mengatur arah dan kecepatan motor DC berdasarkan sinyal PWM
6	Aktuator	Motor DC 12V	Penggerak mekanik untuk sistem elevasi dan <i>training</i> meriam
7	Modul Penurun Tegangan	Modul <i>Stepdown</i>	Menurunkan tegangan sesuai kebutuhan komponen elektronik tertentu
8	Pembatas Mekanik	<i>Limit Switch</i>	Sensor pembatas gerak untuk keamanan mekanisme laras
9	Saklar Utama	<i>Switch On/Off</i>	Memutus dan menghubungkan arus listrik pada rangkaian
10	Tombol <i>Input</i>	<i>Push Button</i>	Memberikan perintah gerak laras dan simulasi tembakan pada <i>remote</i>
11	Indikator Suara	<i>Buzzer</i>	Penanda atau indikator saat simulasi tembakan dilakukan
12	Catu Daya Utama	<i>Power Supply</i> 12V	Sumber energi utama untuk sistem meriam dan motor DC
13	Catu Daya <i>Remote</i>	Baterai 3,7V	Sumber energi <i>portable</i> untuk unit <i>remote control</i>
14	Struktur Mekanik	Akrilik	Bahan utama pembuatan <i>prototipe</i> meriam agar ringan dan transparan



(a)



(b)

Gambar 1. Wiring Diagram Sistem Remote Control (a) dan Sistem Kontrol Meriam (b)

Seluruh koneksi antar komponen disusun berdasarkan diagram perkabelan (*wiring diagram*) yang membagi sistem menjadi unit *transmitter* pada *remote control* dan unit *receiver* pada mekanisme kontrol meriam

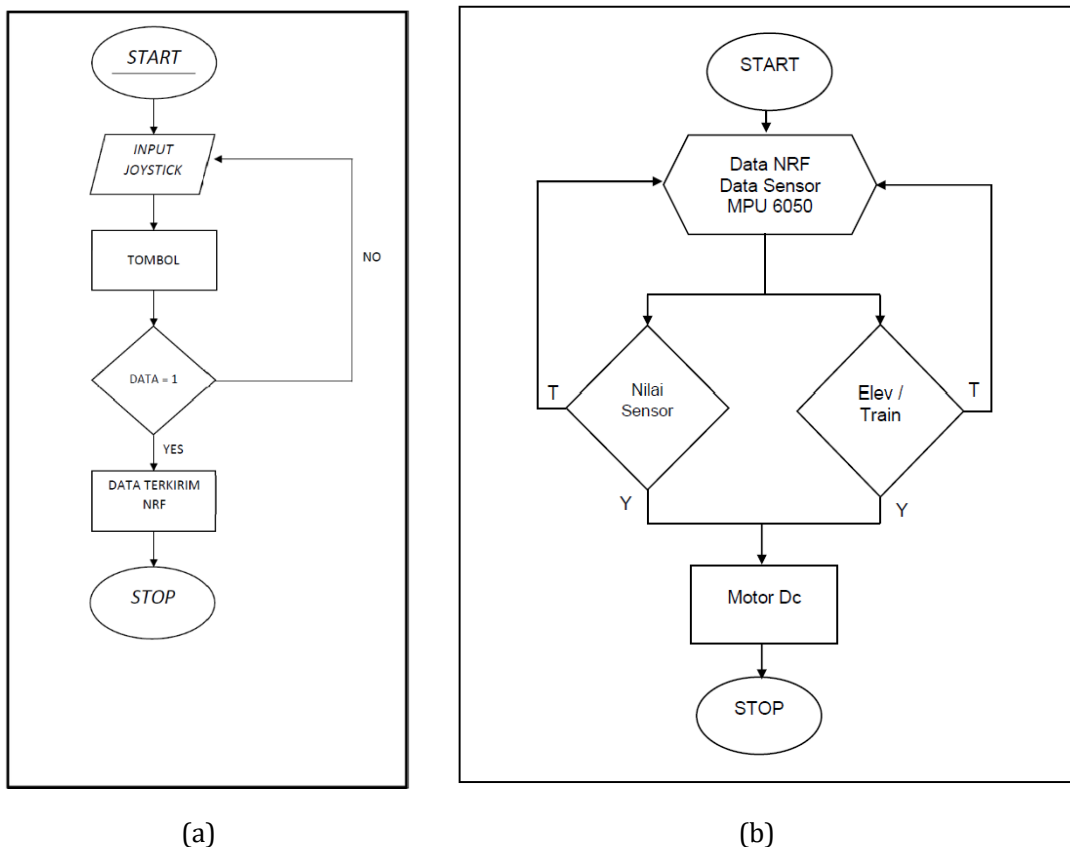
B. Pengembangan Software

Pengembangan perangkat lunak dalam sistem stabilisasi ini difokuskan pada pengolahan data sensor secara real-time dan pengendalian aktuator yang presisi. Perangkat lunak dirancang menggunakan bahasa pemrograman C++ dengan lingkungan pengembangan Arduino IDE. Logika program dibagi menjadi dua bagian utama sesuai dengan arsitektur perangkat kerasnya:

1. Unit Transmitter (Remote Control): Program pada unit ini berfungsi untuk membaca input dari push button dan mengirimkan instruksi gerakan (elevasi, training, dan simulasi tembakan) melalui protokol komunikasi nirkabel. Algoritma menggunakan pustaka RF24Network.h dan RF24.h untuk memastikan transmisi data yang stabil pada frekuensi 2,4 GHz.

2. Unit Receiver (Kontrol Meriam): Program pada unit meriam memiliki algoritma yang lebih kompleks karena mengintegrasikan data dari dua sumber utama:
 - a. Data Instruksi: Menerima perintah gerak dari remote control melalui modul NRF24L01.
 - b. Data Stabilisasi: Membaca data orientasi dari sensor MPU6050 menggunakan pustaka MPU6050_light.h. Sensor ini mendeteksi perubahan sudut pitch dan roll akibat guncangan platform.
 - c. Algoritma Kontrol: Sistem menggunakan algoritma kontrol berbasis PID untuk menjaga kestabilan gerak laras meriam. Data dari sensor diproses secara terus-menerus untuk menghitung koreksi sudut; jika platform (kapal) miring, mikrokontroler akan mengirimkan sinyal PWM (Pulse Width Modulation) ke driver motor L298N guna menggerakkan motor DC ke arah berlawanan untuk mempertahankan posisi laras agar tetap terkunci pada sasaran.

Seluruh alur logika program ini divisualisasikan melalui *flowchart* sistem kontrol yang memastikan sinkronisasi antara penerimaan data nirkabel dan eksekusi koreksi sudut oleh aktuator.

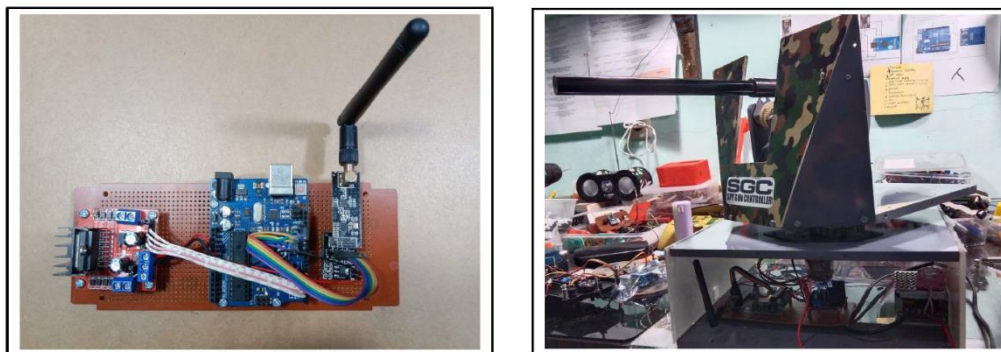


Gambar 2. Flowchart Remote Control (a) dan Sistem Kontrol Meriam (b)

C. Pengujian Sistem

Tahapan pengujian dilakukan secara sistematis untuk memastikan seluruh kerangka perangkat keras dan perangkat lunak dapat berfungsi sesuai dengan desain sistem yang telah direncanakan. Pengujian ini dibagi menjadi beberapa parameter utama, yaitu:

1. Pengujian Fungsionalitas Hardware: Meliputi pengukuran tegangan keluaran pada power supply, modul stepdown, dan baterai untuk memastikan stabilitas daya pada mikrokontroler (5V), modul wireless (3,3V), dan motor DC (12V). Selain itu, dilakukan pengujian pada komponen indikator seperti buzzer dan limit switch sebagai pengaman mekanik.
2. Pengujian Komunikasi Nirkabel: Menguji kemampuan modul nRF24L01 dalam mentransmisikan data perintah dari remote control ke unit meriam. Parameter yang diukur adalah jarak komunikasi efektif di ruang terbuka, dengan target fungsionalitas hingga jarak 50 meter.
3. Pengujian Respon Aktuator: Dilakukan dengan memberikan variasi nilai Pulse Width Modulation (PWM) pada mikrokontroler untuk mengamati respon kecepatan dan torsi motor DC pada sistem elevasi dan training meriam.
4. Pengujian Akurasi Stabilisasi: Fokus pada kemampuan sensor MPU6050 dalam mendeteksi perubahan sudut pitch dan roll. Pengujian ini bertujuan memverifikasi kecepatan respon algoritma PID dalam mengoreksi posisi laras agar tetap pada target yang ditentukan meskipun platform mengalami simulasi guncangan gelombang laut.
5. Pengujian Perangkat Lunak: Memastikan seluruh sketch program berbasis C++ yang diunggah ke Arduino Uno dan Nano dapat memproses logika kendali dan stabilisasi secara sinkron tanpa terjadi delay yang signifikan.



Gambar 3. Rangkaian Kontrol Prototype Meriam (kiri) dan Prototype Meriam 40 mm (kanan)

3. Hasil dan Pembahasan

Stabilitas tegangan yang terukur pada 12,2 V memastikan bahwa motor DC memiliki torsi yang cukup untuk menggerakkan mekanisme elevasi dan training secara presisi. Keberhasilan komunikasi nirkabel hingga 50 meter membuktikan bahwa sistem ini efektif untuk dioperasikan secara jarak jauh, yang memberikan keuntungan taktis berupa keamanan

bagi personel pengawak meriam dari paparan langsung di area terbuka saat kondisi cuaca buruk.

Penggunaan sensor MPU6050 sebagai unit koreksi sudut terbukti sangat krusial. Analisis data menunjukkan bahwa waktu respon antara 20–200 ms cukup untuk mengompensasi frekuensi guncangan kapal akibat gelombang laut standar. Dengan mempertahankan sudut tembakan yang sudah dikunci oleh operator, pengaruh negatif dari pergerakan pitch dan roll platform kapal dapat direduksi secara signifikan. Hal ini memecahkan permasalahan utama yang diidentifikasi di lapangan, di mana tembakan meriam sering tidak akurat karena faktor platform yang tidak stabil.

Integrasi antara mikrokontroler, algoritma PID, dan aktuator ini tidak hanya meningkatkan akurasi tembakan, tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaan amunisi. Secara operasional, personil TNI AL dapat mempertahankan fokus pada sasaran tanpa harus terganggu oleh guncangan kapal secara manual. Meskipun saat ini masih dalam skala prototipe akrilik, teknologi ini memiliki potensi implementasi nyata untuk modernisasi sistem persenjataan pada armada KRI Class LPD guna memperkuat pertahanan maritim nasional.

Berdasarkan pengujian distribusi daya, sistem menunjukkan stabilitas tegangan yang diperlukan untuk operasional komponen elektronik. Hasil pengukuran pada titik uji utama adalah sebagai berikut:

- a. Power Supply Utama: 12,2 V DC (untuk motor DC dan sistem keseluruhan).
- b. Sensor Gyroscope: 5 V DC.
- c. Modul Wireless NRF24L01: 3,3 V DC.
- d. Mikrokontroler: 4,98 V DC.

Pengujian jarak pada modul NRF24L01 menunjukkan bahwa seluruh tombol perintah pada remote control (Kanan, Kiri, Atas, Bawah, dan Tembak) berfungsi dengan kondisi aktif hingga jarak maksimal 50 meter di ruang terbuka. Sementara itu, pengujian pada motor DC menunjukkan bahwa kecepatan gerak laras berbanding lurus dengan nilai PWM; pada nilai PWM 50 dihasilkan tegangan 3 V, sedangkan pada PWM maksimal 255 dihasilkan 11,8 V.

Hasil pengujian sensor MPU6050 dalam mendeteksi dan mengoreksi perubahan sudut laras meriam dicatat sebagai berikut:

- a. Pada koreksi sudut ke atas, sistem membutuhkan waktu respon sebesar 200 ms.
- b. Pada koreksi sudut ke bawah, sistem memiliki respon yang lebih cepat yaitu 20 ms. Sistem secara konsisten mampu mempertahankan sudut yang telah ditentukan oleh operator meskipun platform mengalami simulasi guncangan.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil rancang bangun dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem stabilisasi meriam 40 mm untuk KRI Class LPD telah berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik. Sistem ini mampu mengidentifikasi dan mengompensasi pergerakan kapal secara otomatis melalui integrasi sensor inersia MPU6050 dan mikrokontroler Arduino. Beberapa poin utama dari hasil penelitian ini adalah:

- a. Sistem kontrol menggunakan algoritma PID yang mampu menjaga kestabilan posisi laras meriam terhadap pergerakan pitch dan roll kapal secara real-time.
- b. Pengujian menunjukkan respon sistem yang sangat cepat, dengan waktu respon antara 20 hingga 200 ms dalam mengoreksi deviasi sudut.
- c. Unit kendali jarak jauh (remote control) menggunakan modul wireless NRF24L01 terbukti efektif bekerja pada jarak hingga 50 meter di ruang terbuka.
- d. Implementasi sistem stabilisasi ini secara signifikan dapat meningkatkan akurasi tembakan pada kondisi laut yang bergelombang, sekaligus meningkatkan efisiensi operasional dan kesiapsiagaan tempur kapal perang TNI AL.

Teknologi prototipe ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut menjadi sistem skala penuh guna mendukung modernisasi sistem persenjataan pada armada KRI Class LPD.

Daftar Rujukan

- Alfarino, A. S. (2022). Rancang bangun prototipe kontrol senjata kaliber 12,7 mm di KRI berbasis Arduino.
- Arduino. (2015). Arduino Uno datasheet. <https://datasheet.octopart.com/A000066-Arduino-datasheet-38879526.pdf>
- Tarigan, B. R. (2018). Desain kontrol otomatis sifat rata ampu pada miniatur meriam 57 mm S-60 dengan menggunakan sensor gyroscope.
- Chen, Z., et al. (2008). Protocol architecture for wireless body area network based on nRF24L01. In Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics. IEEE.
- John, N. D., & Chandra. (2017). Analisis mikrokontroler. Analisis Mikrokontroler, 3-17.
- Logg, A., Wells, G. N., & Hake, J. (2012). Automated solution of differential equations by the finite element method. Cambridge University Press.
- Mustar, M. Y., & Ardiyanto, Y. (2018). Perancangan pengendali navigasi robot tank secara nirkabel berbasis sensor accelerometer berdasarkan gerak tangan.
- Siregar, R. H. (2022). Rancang bangun prototype kontrol otomatis fin stabilizer dengan interceptor pada KKCR 60 berbasis mikrokontroler.
- Septiano, A., & Ghozali, T. (2020). NRF24L01 sebagai pemancar/penerima untuk wireless sensor network.
- Santoso, H. E. H., Saputra, H., Shofyan, A., Anam, K., & Suprptono, E. (n.d.). The use of RFID sensors for automatic doorstep application