

Implementasi Sistem Cerdas Pencegah Kecelakaan pada Perlintasan Kereta Api Berbasis Mikrokontroler

Muhammad Ali Fahroni¹, Dwi Pratiwi²

1 Program Studi Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya

2 Program Studi Teknik Elektro, Universitas Palembang.

e-mail: aliifaroni@gmail.com

ABSTRAK

Perlindungan kereta api merupakan salah satu titik yang memiliki risiko kecelakaan tinggi akibat kurangnya sistem pengamanan yang responsif dan andal. Pada beberapa kasus, kecelakaan terjadi karena keterlambatan penutupan palang pintu, human error, atau adanya kendaraan yang terjebak di jalur kereta api. Penelitian ini mengembangkan sebuah prototype sistem keamanan otomatis pada perlindungan kereta api berbasis Arduino Uno yang dirancang untuk meningkatkan keselamatan melalui proses deteksi dan pengendalian yang terintegrasi. Sistem ini menggunakan sensor proximity yang ditempatkan di sisi kiri dan kanan rel untuk mendeteksi kedatangan kereta api. Ketika kereta terdeteksi, Arduino Uno mengendalikan motor servo untuk menutup palang pintu secara otomatis. Selain itu, sistem dilengkapi sensor ultrasonik yang dipasang di dekat palang untuk memantau kemungkinan adanya kendaraan yang terjebak. Jika sensor ultrasonik mendeteksi hambatan di area palang saat kereta mendekat, modul akan mengirimkan sinyal radio frekuensi (RF) ke kereta sebagai peringatan agar masinis dapat melakukan pengereman darurat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi kereta dengan baik, mengoperasikan palang secara otomatis, serta memberikan sinyal peringatan ketika kondisi berbahaya terjadi. Prototype ini diharapkan dapat menjadi solusi alternatif dalam meningkatkan keselamatan di perlindungan kereta api, terutama pada wilayah yang masih menggunakan sistem manual.

Kata Kunci: Motor Servo, Arduino Uno, sensor proximity, sensor ultrasonik, sistem keamanan otomatis.

Prototype of an Automatic Safety System for Railway Crossings Based on Arduino Uno

ABSTRACT

Railway crossings represent high-risk zones where accidents frequently occur due to inadequate, non-responsive safety mechanisms. This study presents a prototype of an Arduino Uno-based automatic safety system designed to enhance operational safety through integrated detection and control functions. Proximity sensors installed on both sides of the track detect an approaching train, prompting the Arduino Uno to activate a servo motor for automated gate closure. An ultrasonic sensor positioned near the gate monitors the presence of vehicles that may become trapped on the crossing. If an obstruction is detected while a train is approaching, the system transmits a radio-frequency (RF) warning signal to the train operator to initiate an emergency braking procedure. Experimental results demonstrate that the system reliably detects train movement, actuates the crossing gate automatically, and issues hazard warnings under critical conditions. This prototype offers a viable alternative for improving safety performance at railway crossings, particularly in regions that continue to employ manual gate-operation systems..

Keywords: Servo Motor, Arduino Uno, proximity sensor, ultrasonic sensor, automatic safety system.

I. PENDAHULUAN

Perlindungan kereta api merupakan titik rawan kecelakaan yang sering menjadi lokasi terjadinya tabrakan antara kereta api dan kendaraan bermotor [1]. Salah satu penyebab utama kecelakaan adalah terbatasnya sistem pengamanan manual yang tidak mampu merespons secara cepat dan akurat terhadap kedatangan kereta [2]. Selain itu, situasi kendaraan yang terjebak di tengah perlindungan pada saat palang mulai tertutup menjadi ancaman serius yang dapat berakibat fatal. Hal ini menunjukkan perlunya sistem keamanan otomatis yang mampu mendeteksi kedatangan kereta dan keberadaan kendaraan dengan presisi serta berfungsi tanpa ketergantungan pada operator manusia.

Pemanfaatan teknologi berbasis mikrokontroler seperti Arduino Uno memberikan peluang untuk meningkatkan keselamatan perlindungan melalui integrasi berbagai sensor [3]. Pada penelitian ini, digunakan sensor proximity yang dipasang pada sisi kiri dan kanan rel untuk mendeteksi kedatangan kereta. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi objek logam pada jarak tertentu, sehingga sangat ideal untuk mendeteksi badan kereta api yang besar dan metalik [4]. Ketika kereta terdeteksi, sistem akan mengirimkan perintah ke motor servo untuk menutup palang pintu secara otomatis.

Selain itu, diterapkan sensor ultrasonik yang diletakkan di dekat palang pintu untuk mendeteksi apakah terdapat kendaraan yang terjebak atau berhenti di area perlindungan. Sensor ultrasonik mampu mengukur jarak objek dengan akurat sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi potensi bahaya secara real-time [5]. Jika sensor ultrasonik mendeteksi keberadaan objek dalam rentang jarak tertentu, sistem akan mengirimkan sinyal radio frekuensi (RF) ke kereta api untuk memberikan peringatan agar kereta berhenti [6]. Mekanisme ini berfungsi sebagai fitur keselamatan tambahan yang mampu mencegah kecelakaan fatal akibat kendaraan terperangkap di tengah lintasan.

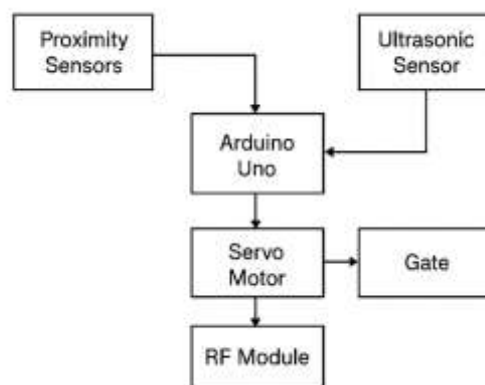
Dengan integrasi sensor proximity, sensor ultrasonik, motor servo, dan modul komunikasi RF, sistem ini mampu bekerja secara otomatis dan responsif dalam dua kondisi utama:

1. menutup palang ketika kereta terdeteksi oleh sensor proximity, dan
2. mengirim sinyal peringatan ke kereta jika kendaraan terjebak di perlindungan, meskipun palang sudah tertutup.

Pengembangan prototype ini relevan untuk diterapkan di perlindungan sebidang yang masih menggunakan sistem manual, karena mampu memberikan tingkat keamanan tambahan dengan biaya implementasi yang relatif rendah. Sistem ini sekaligus menjadi langkah awal menuju digitalisasi keselamatan transportasi berbasis mikrokontroler yang murah, efisien, dan mudah direplikasi [7].

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen melalui perancangan dan pengujian prototype sistem pengaman otomatis pada perlintasan kereta api berbasis Arduino Uno. Sistem dirancang dengan mengintegrasikan sensor proximity sebagai pendeteksi kedatangan kereta, sensor ultrasonik sebagai pendeteksi hambatan di area palang, motor servo sebagai aktuator palang otomatis, serta modul RF untuk pengiriman sinyal peringatan ke kereta. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE untuk mengatur proses deteksi, kontrol servo, dan transmisi sinyal RF. Prototype diuji melalui simulasi kondisi lapangan dengan mengukur akurasi deteksi sensor, waktu respon aktuator, serta keberhasilan pengiriman sinyal RF. Hasil uji dievaluasi untuk menilai performa, keandalan, dan efektivitas sistem dalam meningkatkan keselamatan perlintasan kereta api.



Gambar 1 Diagram Blok Sistem

Berikut Penjelasan Diagram Blok Sistem:

1. Snsor Proximity
Berfungsi mendeteksi kereta yang datang dari kedua arah dan mengirimkan sinyal digital ke Arduino.
2. Sensor Ultrasonik
Mendeteksi keberadaan kendaraan atau objek yang terjebak di area palang dan memberikan data jarak ke Arduino.
3. Arduino Uno (Kontrol Utama)
Memproses data dari kedua sensor, menjalankan logika keselamatan, dan mengendalikan aktuator serta modul komunikasi.
4. Motor Servo
Bertindak sebagai aktuator untuk membuka dan menutup palang berdasarkan perintah dari Arduino.
5. Gate/Palang Pintu
Digerakkan oleh motor servo untuk menutup atau membuka perlintasan secara otomatis.
6. Modul RF
Mengirimkan sinyal peringatan ke kereta ketika sensor ultrasonik mendeteksi objek berbahaya di jalur.

Diagaram *Flowchart*



Gambar 2 Diagram *Flowchart*

Flowchart menggambarkan alur kerja sistem keamanan palang otomatis. Proses dimulai dengan pengaktifan proximity sensor untuk mendeteksi kedatangan kereta. Jika sensor tidak mendeteksi kereta, sistem kembali memantau secara kontinu. Ketika kereta terdeteksi, Arduino memerintahkan palang pintu untuk menutup. Setelah palang tertutup, sensor ultrasonik memeriksa apakah terdapat kendaraan atau objek yang terjebak di jalur. Jika tidak ada hambatan, sistem tetap berjalan normal. Namun, apabila terdeteksi adanya objek terjebak, modul RF mengirimkan sinyal peringatan ke kereta. Proses berakhir setelah sinyal dikirimkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan pada seluruh komponen utama sistem, meliputi sensor proximity, sensor ultrasonik, motor servo, buzzer, dan modul RF. Sensor proximity menunjukkan respon yang stabil pada tegangan 5 V ketika kereta terdeteksi, menandakan kemampuan deteksi objek logam bekerja dengan baik. Sensor ultrasonik mampu mengukur jarak secara konsisten dan membedakan kondisi aman serta kondisi adanya objek terjebak di area palang. Motor servo merespons sinyal PWM dari Arduino dengan tepat, ditunjukkan oleh perbedaan sudut yang akurat saat membuka dan menutup palang. Modul RF berhasil mengirimkan sinyal peringatan ketika kondisi bahaya terdeteksi, sehingga kereta dapat menerima perintah berhenti. Secara keseluruhan, integrasi sensor dan aktuator berjalan lancar, menghasilkan sistem otomatis yang responsif terhadap kondisi normal maupun kondisi darurat di perlintasan kereta api.

Tabel 1. Hasil Pengukuran pada Titik Uji Radio Frekuensi dan Sensor Proximity

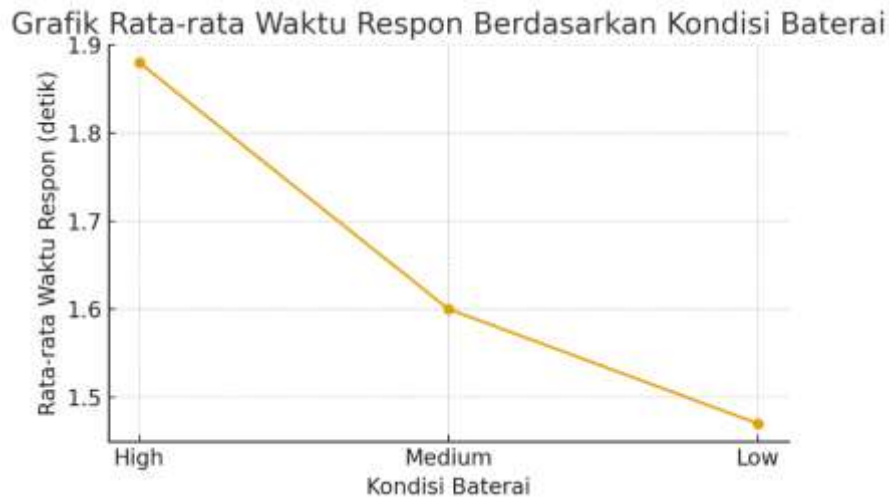
Titik uji	Tegangan	Keluaran sinyal	Keterangan
Modul Radio Frekuensi dan Sensor Proximity	5V	Tidak ada Objek	Channel 1 Frekuensi : 50.15 Hz Amplitudo : 1.76 V
			Channel 2 Frekuensi : 49.70 Hz Amplitudo : 32.0 V
		Ada objek	Channel 1 Frekuensi : 93.90 Hz Amplitudo : 26.0 V
			Channel 2 Frekuensi : 102.1 Hz Amplitude : 26.0 V

Tabel 2. Hasil Data Waktu Kereta Berhenti

No	Keadaan baterai	V Batrei	V supply	T(second)					
				t1	t2	t3	t4	t5	ΣT
1	High	6,11 V	5,9 V	2.3	2,22	1,86	1,65	1,9	1,88
2	Medium	4,55 V	4,32 V	1,63	1,4	1,42	1,5	1,33	1,6
3	Low	4,37 V	4,27 V	1,62	1,62	1,5	1,4	1,22	1,47

Hasil pengujian pada Tabel menunjukkan bahwa kondisi tegangan baterai memiliki pengaruh langsung terhadap waktu respon sistem. Pada kondisi baterai tinggi (6,11 V), waktu respon rata-rata tercatat sebesar 1,88 detik, yang merupakan nilai paling lambat dibandingkan kondisi lainnya. Hal ini dapat disebabkan oleh proses stabilisasi tegangan yang lebih besar pada rangkaian, sehingga menyebabkan sedikit keterlambatan dalam aktivasi aktuator. Pada kondisi baterai menengah (4,55 V), waktu respon menurun menjadi 1,60 detik, menunjukkan bahwa sistem bekerja lebih stabil dan efisien ketika menerima suplai daya yang tidak terlalu tinggi maupun terlalu rendah. Menariknya, kondisi baterai rendah (4,37 V) menghasilkan waktu respon tercepat dengan rata-rata 1,47 detik. Meskipun tampak lebih cepat, kondisi ini tidak selalu mengindikasikan performa optimal, karena tegangan rendah dapat mengurangi kestabilan dan keandalan jangka

panjang komponen. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem cenderung bekerja paling stabil dan efisien pada tegangan menengah, sementara tegangan tinggi dan rendah memberikan karakteristik respon yang kurang ideal.



Gambar 3. Grafik Rata-rata Waktu Respon Sistem Berdasarkan Kondisi Baterai

IV. KESIMPULAN

1. Sistem yang dikembangkan menunjukkan kemampuan deteksi kereta yang akurat melalui penggunaan sensor proximity.
2. Sensor ultrasonik berfungsi secara efektif dalam mengidentifikasi keberadaan objek atau kendaraan yang berpotensi terjebak di area perlintasan.
3. Motor servo merespons sinyal kontrol dari Arduino Uno secara stabil dan presisi dalam mengoperasikan palang otomatis.
4. Modul radio frekuensi (RF) berhasil mengirimkan sinyal peringatan ketika kondisi bahaya terdeteksi, sehingga mendukung upaya mitigasi risiko kecelakaan.
5. Seluruh komponen menunjukkan kinerja yang konsisten pada tegangan operasi 5 V, menandakan sistem berjalan sesuai rancangan teknis.
6. Prototype ini terbukti mampu meningkatkan aspek keselamatan pada perlintasan kereta api dan layak dipertimbangkan sebagai alternatif solusi untuk sistem pengaman yang masih bersifat manual

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, *Statistik Perkeretaapian Indonesia 2020*, Direktorat Jenderal Perkeretaapian, 2020.
- [2] B. Santoso and A. Wibowo, "Analisis kecelakaan di perlintasan sebidang dan urgensi sistem pengaman otomatis," *Jurnal Transportasi Indonesia*, vol. 13, no. 1, pp. 22–30, 2021
- [3] S. Monk, *Programming Arduino: Getting Started with Sketches*, 2nd ed., New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2016.
- [4] A. Hughes and B. Drury, *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications*, 5th ed., Oxford, UK: Elsevier, 2019.

- [5] A. Kadir, *Panduan Praktis Mikrokontroler dan Sensor*, Yogyakarta, Indonesia: Andi Publisher, 2018.
- [6] M. A. Rahman, D. H. Putra, and F. M. Sari, "Wireless emergency communication using RF modules for safety applications," *International Journal of Advanced Technology and Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 45–52, 2020.
- [7] S. Widodo and Y. Prasetyo, "Pengembangan sistem pengaman perlintasan kereta berbasis mikrokontroler dengan biaya rendah," *Jurnal Teknologi Elektro dan Otomasi*, vol. 8, no. 3, pp. 101–108, 2022.