BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kemajuan teknologi di era kontemporer ini terjadi begitu cepat, telah banyak teknologi yang diciptakan dan ditemukan seiring berkembangnya zaman. Kemajuan teknologi banyak menghasilkan alat yang canggih dan bisa membantu atau membuat pekerjaan manusia lebih efisien.

Teknologi transportasi memainkan peran penting dalam kehidupan bermasyarakat, termasuk transportasi darat, laut, dan udara, salah satu kontribusinya terlihat pada sektor sosial dan ekonomi dengan berfungsi sebagai alat distribusi antar daerah satu sama lain. Dalam hal ini transportasi darat yakni kereta api, pengangkutan rel yang dikenal sebagai kereta api melibatkan sejumlah kendaraan yang ditarik di sepanjang jalur khusus untuk membawa kargo atau penumpang. Kereta api dianggap sebagai transportasi darat yang sangat efisien karena kemampuannya mengangkut lebih banyak penumpang dan barang serta lebih cepat dibandingkan jenis transportasi darat yang lain. Menurut data dari Badan Pusat Statistik Nasional tidak seperti jumlah penumpang, kuantitas barang yang diangkut oleh kereta api mengalami kenaikan sebesar 6,57% dari September 2023 menjadi 33,6 juta orang, dengan penurunan 1,50%, totalnya menjadi 5,4 juta ton. Dalam kurun waktu Januari-Oktober 2023, jumlah penumpang mencapai 303,6 juta jiwa, meningkat 37,76% dibandingkan periode yang sama di tahun

2022. Adapun jumlah barang yang diangkut kereta api juga mengalami kenaikan 8,83% menjadi 55,2 juta ton.(bps.go.id).

Peningkatan keselematan dan keamanan lintasan kereta api, terutama pintu perlintasan kereta api, harus diikuti oleh peningkatan jumlah penumpang. Data PT KAI menunjukkan bahwa dari 2018 hingga Agustus 2023, terjadi 1.782 kecelakaan di perlintasan sebidang. Dari jumlah tersebut, 404 terjadi pada 2018, 409 terjadi pada 2019, 269 terjadi pada 2020, 284 terjadi pada 2021, 289 terjadi pada 2022, dan 127 terjadi pada 2023. Data mengenai perlintasan kereta api ilegal mengindikasikan bahwa potensi kecelakaan di pintu perlintasan kereta api masih sangat tinggi, melebihi 70%. Sistem pengoperasian palang pintu perlintasan manual yang kurang efisien dan rentan terhadap kesalahan manusia, ditambah kurangnya kesadaran pengguna jalan dan sanksi tegas untuk pelanggar. Selain itu, dari 1.782 kasus kecelakaan, 1.543 terjadi di perlintasan yang tidak terjaga, yang merupakan 87% dari total. Sebanyak 450 orang tewas, 418 mengalami luka berat, dan 410 mengalami luka ringan. Ada 727 kendaraan roda empat atau lebih dan 1.055 kendaraan roda dua.

Dewasa ini seiring berkembangnya teknologi di era modern dapat dimanfaatkan agar pekerjaan manusia lebih mudah dan efisien. Hal tersebut mendorong penulis untuk merancang “Prototipe Palang Pintu Perlintasan Kereta Api Berbasis Arduino Uno. Dengan memanfaatkan sensor inframerah dan getar sebagai pendeteksi kedatangan kereta api dan menggunakan nRF24L01 untuk pembacaan data secara *wireless*, ketika sensor inframerah dan getar mendeteksi kedatangan kereta api buzzer dan LED akan aktif kemudian palang pintu

perlintasan otomatis akan tertutup kemudian status palang akan ditampilkan pada LCD.

B. Rumusan Masalah

Dengan mempertimbangkan latar belakang tersebut, rumusan masalah yang akan dibahas adalah "Bagaimana Membuat Prototipe Palang Perlintasan Kereta Api berbasis Arduino Uno yang dapat berfungsi secara otomatis"?

C. Tujuan Penelitian

Dengan memahami latar belakang dan perumusan masalah tersebut, penyusunan penelitian ini bertujuan untuk bagaimana membangun sebuah prototipe palang pintu perlintasan kereta api otomatis dengan memanfaatkan mikrokontroller Arduino Uno.

D. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi oleh beberapa masalah agar fokusnya tetap terjaga sesuai batasan yang ditetapkan. Batasan-batasan masalah tersebut adalah:

1. Penelitian terbatas pada pembuatan dan pengujian prototipe skala kecil, bukan pada implementasi skala penuh di lapangan.
2. Sistem prototipe hanya mengatur mekanisme buka-tutup palang pintu perlintasan, mencakup fitur-fitur tambahan seperti sistem monitoring melalui aplikasi.
3. Penelitian hanya berfokus pada kereta api konvensional yang banyak digunakan di Indonesia.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, yaitu:

1. Sebagai wujud perkembangan teknologi dalam bidang transportasi khususnya untuk sistem keselamatan perlintasan kereta api.
2. Ditemukannya alat ini diharapkan bisa dijadikan sebagai inovasi dan teknologi di palang pintu perlintasan kereta api.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika dalam sebuah penulisan penelitian memiliki urutan dan aturan. Berikut sistematika penulisan dapat diliat pada rincian berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, tujuan penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat beberapa teori pendukung yang membahas tentang penyusunan tugas akhir ini serta bahasa pemrograman yang diaplikasikan demi membantu penulis dalam memecahkan masalah.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai tahapan-tahapan yang dilalui dalam penyelesaian tugas akhir ini, yaitu tempat penelitian dan jadwal penelitian, metode pengumpulan data, alat dan bahan penelitian, tahap penelitian, metode pengujian serta gambaran desain sistem yang akan dirancang atau dibuat.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai diagram sistem, sistem yang berjalan, sistem yang diusulkan, rancangan prototipe, rancangan perangkat keras dan menjelaskan mengenai metode pengujian dan teknik pengujian.

BAB V PENUTUP

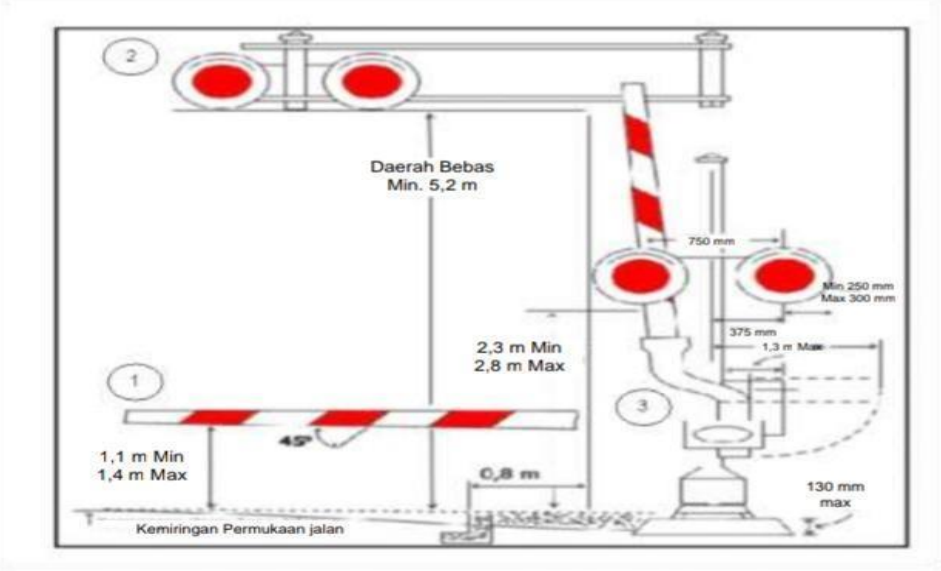
Dalam bab ini, disajikan kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Palang Pintu Perlintasan Kereta Api

Palang pintu kereta api digunakan PT. Kereta Api Indonesia (KAI) untuk mengontrol atau mencegah pejalan kaki dan kendaraan bermotor melewati jalur kereta api ketika kereta api sedang melintasi pintu perlintasan. (Kusriyanto dan Wismoyo, 2017). Gambar berikut menunjukkan aturan desain pintu perlintasan kereta api:



Gambar 2.1. Ketentuan Desain Perlintasan Sebidang Kereta Api
Sumber: (SK Dirjen Perhubungan Darat No.SK.770/KA.401/DRJD/2005)

Keterangan:

1. Pintu yang dirancang harus kokoh namun ringan, tahan karat, dan memiliki visibilitas yang baik.
2. Isyarat lampu satu warna, terdiri dari satu lampu yang menyala berkedip.

3. Pengoperasian palang pintu dilakukan secara manual oleh penjaga di perlintasan.

B. Prototipe

Prototipe merupakan wujud fisik awal dari suatu rancangan yang diciptakan dalam tahapan produksi untuk menunjukkan bentuk dan dimensinya dan digunakan untuk tujuan penelitian dan pengembangan (KBBI). Palang pintu perlintasan kereta api beroperasi menggunakan motor servo DC yang sudah diprogram.

C. Arduino Uno

Sebagai pengendali mikro single-board open-source, Arduino dirancang untuk menyederhanakan pekerjaan pengguna elektronik di beragam bidang. Dia berasal dari platform *wiring*. *Hardware* dan *software* Arduino terdiri dari prosesor dan Arduino IDE merupakan bahasa pemrograman khusus yang digunakan. Sementara itu, Arduino Uno R3 adalah papan mikrokontroler yang menggunakan ATmega328 sebagai dasarnya dan dilengkapi dengan kapasitas penyimpanan 32 KB. Arduino Uno memiliki total 20 pin *input*/*output*, yang terdiri dari 14 pin digital dan 6 pin analog. Perangkat ini mampu menampung semua komponen pendukung mikrokontroler, serta mudah dihubungkan ke komputer melalui kabel USB, atau ditenagai menggunakan adaptor AC-DC, maupun baterai. Memiliki bootloader pada ATmega328 Arduino Uno memungkinkan Anda mengunggah kode baru ke ATmega328 tanpa memerlukan perangkat keras pemrograman eksternal.



Gambar 2.2 Arduino Uno
Sumber: (https://dte.telkomuniversity.ac.id/apa-itu-arduino-uno-dan-kegunaannya/)

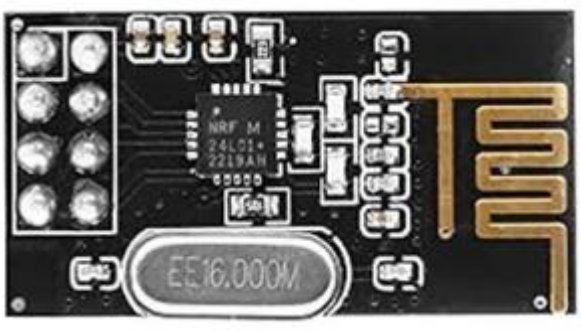
Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Mikrokontroler	ATmega328P
2	Tegangan Operasi	5V
3	Tegangan Input	7-12V (disarankan 7-20V)
4	Pin Digital I/O	14 (6 diantaranya dapat digunakan sebagai PWM)
5	Pin Analog Input	6
6	DC Current per I/O Pin	40mA
7	Flash Memory	32 KB (2 KB digunakan untuk bootloader)
8	SRAM	2 KB
9	EEPROM	1 KB
10	Clock Speed	16 MHz
11	Komunikasi	USB, Serial (UART), I2C, SPI
12	Dimensi	6.7 cm x 5.3 cm
14	Berat	Sekitar 25 gram

D. Modul nRF24L01

Modul komunikasi jarak jauh nRF24L01 beroperasi pada pita frekuensi radio ISM 2.4-2.5 GHz, dengan kecepatan transfer data maksimum 2Mbps dan opsi kecepatan 250 Kbps, 1 Mbps, atau 2 Mbps. Transmitternya mencakup synthesizer frekuensi, penguat daya, osilator kristal, demodulator, modulator, dan mesin protokol ShockBurst TM yang canggih. Modul ini juga dilengkapi saluran

frekuensi, pengaturan protokol yang mudah melalui antarmuka SPI, serta konsumsi daya yang sangat efisien: hanya 9.0mA saat menerima (RX) dan 12.3mA saat mengirim (TX). Fitur mode *standby* dan *Power Down* terintegrasi semakin mendukung penghematan energi.



Gambar 2.3 Modul nRF24l01
Sumber: (https://mikroelectron.com/Product/Wireless-NRF24L01-2-4GHz-Transmitter-Module/)

Tabel 2.2 Spesifikasi Modul nRF24l01

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Jenis	Modul komunikasi nirkabel 2.4 GHz
2	Protokol	SPI (Serial Peripheral Interface)
3	Frekuensi Operasi	2.4 GHz ISM band
4	Jarak Komunikasi	100meter (tergantung kondisi lingkungan)
5	Kecepatan Data	250 kbps, 1 Mbps, 2 Mbps
6	Konsumsi Daya	Rendah, cocok untuk perangkat bertenaga baterai
7	Tegangan Operasi	1.9V - 3.6V
8	Antarmuka	SPI (4 pin: CSN, CE, MOSI, MISO)
9	Fitur Tambahan	Auto-Retransmission, Addressable Pipes, Power Down Mode

E. Sensor Inframerah

Sensor inframerah adalah komponen optoelektronik yang sensitif terhadap radiasi inframerah dari 780 nm hingga 50 μm, sensor ini sering dimanfaatkan

dalam detektor gerakan. Fungsinya meliputi otomatisasi lampu di fasilitas gedung atau sebagai bagian dari sistem keamanan untuk mengidentifikasi penyusup. Radiasi inframerah, atau radiasi panas, dideteksi oleh elemen sensor dalam rentang sudut tertentu. (Ulinnuha Latifa, 2022).



Gambar 2.4 Sensor Inramerah
Sumber: (Ulinnuha Latifa, 2022)

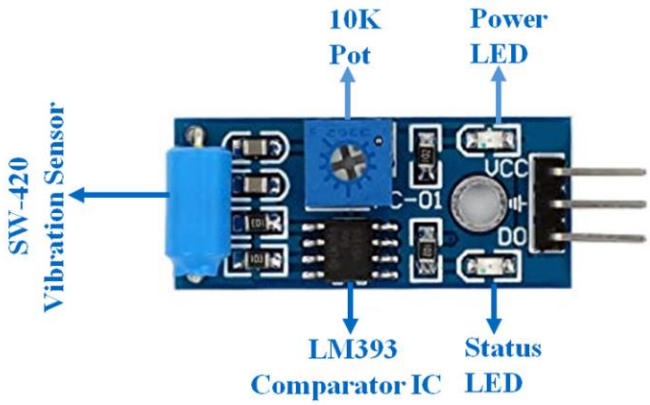
Tabel 2.3 Spesifikasi Sensor Infranerah

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Tegangan Kerja	3.3V - 5V DC
2	Jarak Deteksi	2 cm - 30 cm (tergantung permukaan)
3	Tipe Output	Digital (HIGH / LOW)
4	Indikator LED	LED Power & LED Deteksi
5	Dimensi	±3 cm x 1.5 cm
6	Potensiometer	Ya (untuk atur jarak deteksi)
7	Sensor Pemancar	LED Inframerah (IR LED)
8	Sensor Penerima	Photodiode
9	Penggunaan Umum	Deteksi objek, robot penghindar halangan
10	Tegangan Kerja	3.3V - 5V DC
11	Arus Operasi	20 mA - 30 mA

G. Sensor Getar SW420

Sensor getaran SW420/*vibration* sensor SW-420 mendeteksi getaran dan mengubahnya menjadi sinyal listrik ketika menerima getaran atau guncangan

melalui tabung yang berisi dua elektroda. Akan memberikan *input* 1 (*HIGH*) jika ada getaran, dan 0 (*LOW*) jika tidak ada getaran.



Gambar 2.5 Sensor Getar SW-420
Sumber : (https://components101.com/sensors/sw-420-vibration-sensor-module)

Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor Getar SW-420

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Tipe Sensor	Getaran (*Vibration*)
2	Prinsip Kerja	Bola logam di dalam tabung bergetar saat terjadi getaran, dan menyentuh kontak listrik
3	*Output* Sinyal	Digital (0/1)
4	Tegangan Operasi	3.3V - 5V
5	Arus Operasi	< 15 mA
6	Frekuensi Getaran Maksimum	10 Hz
7	Sensitivitas Getaran	Dapat diatur dengan potensiometer
8	Sudut Pemicu	360 derajat
9	Ukuran	25 mm x 15 mm x 10 mm
10	Bahan	Plastik ABS
11	Berat	5gram

H. Buzzer

Buzzer adalah perangkat elektronik yang mengonversi getaran listrik menjadi suara. Cara kerjanya melibatkan kumparan yang terhubung ke diafragma; ketika dialiri arus, kumparan menjadi elektromagnet. Pergerakan kumparan

(masuk atau keluar) bergantung pada arah arus dan polaritas magnet, yang secara bergantian menggerakkan diafragma untuk menghasilkan suara.



Gambar 2.6 Buzzer
Sumber: (Rahadian dan Aqwam, 2012)

Sebagai alat peringatan, buzzer sering dipakai untuk menandakan selesainya suatu operasi atau terjadinya malfungsi pada instrumen. Buzzer merupakan komponen elektronik yang mengubah getaran menjadi suara melalui elemen piezoceramics pada diafragmanya, serta menggunakan resonansi untuk meningkatkan volume suara. (Rahadian dan Aqwam, 2012).

Tabel 2.5 Spesifikasi Buzzer

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Tipe	Pasif dan Aktif
2	Cara Kerja	Pasif: Membutuhkan sinyal eksternal untuk menghasilkan bunyi. Aktif: Memiliki osilator internal dan dapat menghasilkan bunyi tanpa sinyal eksternal.
3	Bentuk	Bulat, persegi panjang, dan lainnya
4	Ukuran	Beragam, dari kecil hingga besar
5	Tegangan Operasi	3V - 12V
6	Arus Operasi	< 20mA
7	Frekuensi Bunyi	2kHz - 5kHz
8	Intensitas Bunyi	80dB - 110dB
9	Cara Pemasangan	Lubang pemasangan, kaki solder, dan lainnya
10	Aplikasi	Alarm, indikator, timer, dan lainnya

I. Motor Servo

Motor servo adalah sebuah aktuator putar yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik tertutup, yang memungkinkan penentuan dan pengaturan sudut poros keluaran motor secara akurat. Motor ini terdiri dari motor DC, gear, rangkaian kontrol, dan potensiometer. Ketika motor DC terpasang pada porosnya, sejumlah gear akan mengurangi kecepatan putaran poros dan meningkatkan torsi motor servo. Saat motor DC berputar, potensiometer akan mengubah resistansinya, yang kemudian digunakan untuk menetapkan batas posisi putaran poros motor servo.

Motor servo dapat memanfaatkan sistem kontrol loop tertutup untuk mengatur gerakan dan posisi akhir porosnya. Terdapat dua jenis motor servo: motor DC dan AC. Motor DC umumnya dipakai untuk aplikasi berskala kecil, seperti prototipe, sedangkan motor AC lebih sering digunakan untuk menangani arus atau beban yang lebih besar, lazim ditemukan pada mesin industri.



Gambar 2.7 Motor Servo
Sumber: (https://www.hwlibre.com/zu/isevisi-sg90/)

Tabel 2.6 Spesifikasi Servo

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Torsi	1.8 kgf.cm
2	Kecepatan Putar	0.12 detik/60 derajat
3	Sudut Putar	90 derajat (45 derajat ke kiri dan 45 derajat ke kanan)
4	Tegangan Operasi	4.8V - 6V

Lanjutan **Tabel 2.6** Spesifikasi Servo

No	Spesifikasi	Keterangan
5	Arus Operasi	< 600mA
6	Frekuensi Kontrol	50Hz
7	Dimensi	22.2 mm x 11.8 mm x 31 mm
8	Berat	9gram
9	Bahan Gear	Plastik
10	Material Body	Plastik ABS
11	Mode Kontrol	Analog (PWM)
12	Sinyal Kontrol	Pulsa 500ĀµS - 2500ĀµS
13	Kompatibilitas	Arduino, Raspberry Pi, dan mikrokontroler lainnya

J. LED

LED (*Light Emitting Diode*) adalah jenis dioda semikonduktor yang mampu memancarkan cahaya monokromatik saat dialiri tegangan maju. Warna cahaya yang dihasilkan LED bervariasi tergantung pada material semikonduktornya. Selain itu, LED juga dapat mengeluarkan sinar inframerah yang tidak kasat mata, serupa dengan yang dipancarkan oleh remot kontrol TV atau perangkat elektronik lain. Secara fisik, LED mirip dengan bola lampu biasa, dan dapat dimasukkan ke berbagai perangkat elektronik. LED tidak menghasilkan panas saat menghasilkan cahaya, LED (*Light Emitting Diode*) tidak seperti lampu pijar karena tidak memerlukan filamen yang terbakar. Konsekuensinya, LED kecil telah banyak dipakai sebagai sumber cahaya pada TV LCD, menggantikan peran lampu pipa.



Gambar 2.8 LED
Sumber: (https://ie.rs-online.com/web/p/leds/2285988)

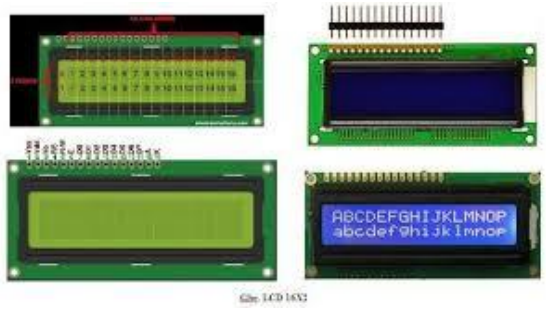
Tabel 2.7 Spesifikasi LED

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Jenis LED	Umumnya menggunakan LED SMD 5mm
2	Ukuran LED	3mm x 5mm
3	Warna Cahaya	Merah, hijau, biru, kuning, putih, dan warna lainnya
4	Sudut Pandang	30 derajat - 180 derajat
5	Intensitas Cahaya	20 - 30 mcd
6	Tegangan Operasi	3.3V
7	Arus Operasi	20mA
8	Kaki LED	Anode (+), Katoda (-)
9	Cara Pemasangan	Menggunakan resistor dan kabel jumper
10	Aplikasi	Indikator, tampilan status, dan efek pencahayaan

J. LCD

Display elektronik adalah komponen elektronika yang menampilkan data, seperti karakter, huruf, atau grafik. LCD (Liquid Crystal Display) adalah jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS logik dan bekerja dengan memantulkan cahaya di sekelilingnya terhadap front-lit atau mentransmisikan cahaya dari back-lit. LCD terdiri dari lapisan campuran organic yang terletak antara lapisan kaca bening dan elektroda indium oksida transparan dalam bentuk tampilan seven-segment. Lapisan elektroda terletak pada kaca belakang. Molekul organik yang panjang dan silinder smenyesuaikan dengan elektroda dari segmen ketika elektroda diaktifkan dengan medan listrik (tegangan). Pada lapisan sandwich terdapat polarizer cahaya vertical depan dan polarizer cahaya horizontal belakang, dan lapisan reflektor diikuti setelahnya. Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati molekul-molekul yang telah menyesuaikan diri, sehingga segmen

yang diaktifkan menjadi gelap dan membentuk karakter data yang ingin ditampilkan.



Gambar 2.9 LCD (*liquid crystal Display*)
Sumber(https://yoskin.wordpress.com/arduino/liquid-crystal-display-lcd-16-x-2/)

Tabel 2.8 Spesifikasi LCD

No	Nama	Fungsi
1	GND	Catu daya (0 V atau GND)
2	VCC	Catu daya +5 V
3	SDA	Perubahan tegangan dari ”1” menjadi “0” pada saat SCL”!”
4	SCL	Perubahan tegangan dari “0” menjadi “1” pada saat SCL “!”

K. Arduino IDE

Melalui aplikasi ini, yang berperan sebagai editor teks, Anda bisa membuat, membuka, mengedit, dan memverifikasi kode, lalu mengunggahnya ke board Arduino. Istilah "sketch" mengacu pada file source code Arduino dengan ekstensi, atau program yang dibuat dengan Arduino.ino (Sinau Arduino, 2016).

Komponen Arduino IDE mirip dengan editor teks biasa, dengan kemampuan untuk memotong dan memindahkan teks dan menemukan atau menggantinya. Ketika menyimpan dan mengekspor, aplikasi akan menampilkan pesan kesalahan dan umpan balik di area keterangan. Konsol log berfungsi untuk menampilkan teks keluaran dari program Arduino (IDE), seperti pesan kesalahan

lengkap dan berbagai informasi tambahan. Papan yang dikonfigurasi dan port serial dapat ditemukan di pojok kanan bawah jendela. Anda dapat membuat, membuka, dan menyimpan desain, membuka monitor serial, dan memverifikasi dan meng-upload aplikasi dengan tombol di toolbar.

1. Verify

Dalam versi sebelumnya, istilah yang digunakan adalah kompilasi. Sebelum mengunggah aplikasi ke board Arduino, pastikan untuk memverifikasi citra yang telah dibuat. Proses verifikasi atau kompilasi ini berfungsi mengubah sketsa menjadi kode biner yang akan diunggah ke mikrokontroler, dan akan mengidentifikasi kesalahan jika ada.

2. Unggah

Tanpa mengklik tombol verifikasi, sketsa akan dikompilasi dan diunggah ke board Arduino. Ini berbeda dengan tombol verifikasi yang hanya berfungsi untuk memeriksa source code.

3. New Sketch

Memulai sketch baru dengan membuka window.

4. Buka Sketch

Desain yang telah dibuat sebelumnya dapat dibuka. Perlu diketahui bahwa desain yang dibuat menggunakan IDE Arduino akan disimpan dengan ekstensi file .ino.

5. Simpan Sketch

Mencatat rencana, tetapi tidak disertakan dalam mengkompile.

6. Serial Monitor

Membuka tampilan antar muka untuk komunikasi serial.

7. Keterangan Aplikasi

Ketika kita mengkompilasi dan mengunggah gambar ke papan arduino, pesan seperti "Mengkompilasi" dan "Mengupload selesai" akan muncul di sini.

8. Konsol log

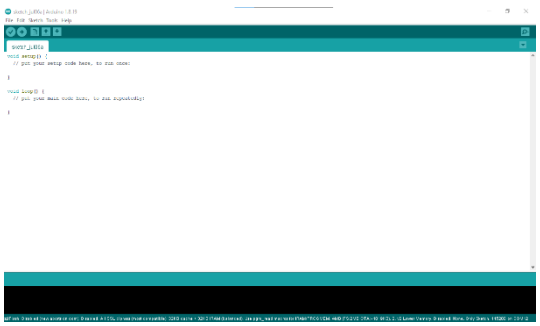
Bagian ini akan menampilkan pesan tentang sketch dan serta pesan yang diproses oleh aplikasi. Contohnya, saat aplikasi melakukan kompilasi atau jika terdapat kesalahan pada sketsa yang dibuat, baris dan detail informasi kesalahan akan ditampilkan di sini.

9. Baris Sketch

Bagian ini akan menampilkan baris tempat kursor aktif berada dalam sketsa.

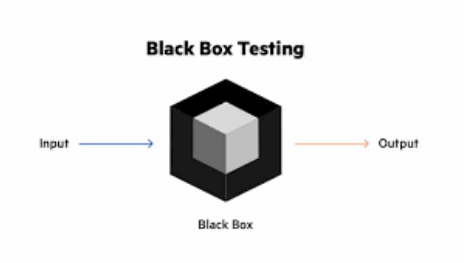
10. Informasi Board dan Port

Di bagian ini, Anda akan menemukan detail port yang terhubung dengan board Arduino.



Gambar 2.10 Arduino IDE

L. *Black Box*



Gambar 2.11 *Black Box Testing*
Sumber: (https://www.imperva.com/learn/application-security/black-box-testing/)

Dalam pengujian *Black Box*, evaluasi perangkat lunak dilakukan semata-mata dengan menganalisis *output* dari data uji untuk memverifikasi kinerja yang benar. Konsep ini diibaratkan seperti mengamati kotak hitam, di mana kita hanya bisa melihat bagian luarnya tanpa mengetahui isi di dalamnya. Demikian pula, pengujian ini menilai fungsionalitas berdasarkan antarmuka, tanpa memerlukan pemahaman mendalam tentang proses internal, melainkan hanya fokus pada *input* dan *output*.

Pengujian *black box* adalah pendekatan dalam pengujian perangkat lunak yang mengevaluasi fungsionalitas aplikasi tanpa mempertimbangkan struktur internal atau cara kerjanya. Umumnya, tidak dibutuhkan pemahaman mendalam tentang pemrograman atau struktur kode aplikasi. Uji kasus berpusat pada spesifikasi, persyaratan, atau ekspektasi aplikasi, dengan memanfaatkan deskripsi perangkat lunak dari sumber eksternal seperti spesifikasi, persyaratan, dan desain untuk menyusun kasus uji. Pengujian ini dapat bersifat fungsional atau non-fungsional, namun seringkali berfokus pada fungsionalitas. Perancang uji menentukan *input* yang valid dan tidak valid, lalu memverifikasi *output* yang benar. Struktur internal objek yang diuji tetap tidak diketahui.

Seluruh level pengujian perangkat lunak—yaitu unit, integrasi, fungsional, sistem, dan penerimaan dapat memanfaatkan metode uji ini. Biasanya, metode ini mencakup sebagian besar, jika tidak semua, pengujian pada level yang lebih tinggi, tetapi juga dapat menjadi fokus utama dalam pengujian unit.

Dalam pengujian *Black Box*, fokusnya adalah menemukan cacat seperti:

a. Fungsionalitas yang salah atau absen.

b. Kesalahan pada tampilan atau interaksi pengguna.

c. Masalah terkait struktur data atau konektivitas database eksternal.

d. Penurunan performa.

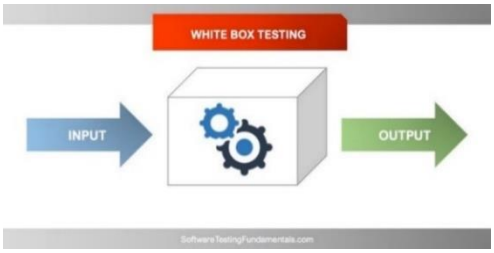
e. Kesalahan pada proses awal dan akhir.

Contoh pengujian *black box* pada system aplikasi penghitung anggaran rumah batu berbasis android.

Tabel 2.9 Halaman Utama

Test Faktor	**Hasil**	**Kesimpulan**
Halaman utama, apabila baru membuka aplikasi.	✓	Informasi, tampil halaman utama.
Screenshot		
		

M. *White Box*



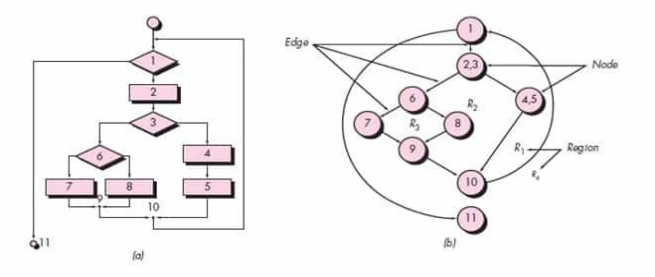
Gambar 2.12 *White Box Testing*
Sumber: (https://softwaretestingfundamentals.com/white-box-testing/)

White Box Testing adalah pendekatan pengujian perangkat lunak yang melibatkan pemeriksaan modul internal untuk mengidentifikasi kesalahan dalam kode program. Apabila modul yang diuji menghasilkan keluaran yang tidak sesuai ekspektasi, kode program akan dikompilasi ulang dan dievaluasi kembali sampai hasilnya memenuhi harapan. Nidhra and Dondetti (2012). Pengujian *White Box* seringkali melibatkan beberapa tahapan, yaitu:

a. Memverifikasi semua keputusan yang didasarkan pada logika.
b. Menguji semua perulangan (*loop*) sesuai dengan batasannya.
c. Memeriksa struktur data internal untuk memastikan validitasnya.
d. Kesalahan Logika: Dengan menggunakan sintaks 'if' dan perulangan, metode ini akan mencari dan mendeteksi kondisi yang tidak sesuai serta menentukan kapan proses perulangan berakhir.
e. Ketidaksesuaian Asumsi: Menampilkan dan memantau asumsi yang dianggap tidak sesuai dengan harapan atau tujuan, untuk kemudian dianalisis dan diperbaiki.
f. Kesalahan Pengetikan: Mendeteksi dan mencari bahasa pemrograman yang dianggap peka terhadap huruf besar/kecil (*case-sensitive*).

Kelemahan pengujian *white box* terletak pada perangkat lunak berskala besar, di mana metode ini dianggap tidak efisien karena memerlukan banyak sumber daya. Nidhra and Dondetti, (2012).

Metode basis path, atau uji *white box testing* pertama, memungkinkan pengembang untuk mengukur kompleksitas desain prosedur. Nanti, ukuran ini akan digunakan sebagai referensi untuk menentukan rangkaian jalur dasar eksekusi dan perancangan pengujian untuk setiap jalur.



Gambar 2.13 *Flowchat* dan *Flowgraph*
Sumber:
(https://www.dosenpendidikan.co.id/wpcontent/uploads/2019/09/Basis-Path.jpg)

Prinsip dasar *white box* testing berbasis jalur adalah analisis alur dan struktur percabangan sistem, termasuk kode dan logika fungsionalnya. Tujuan metode ini adalah untuk mengidentifikasi jumlah jalur independen, yang memungkinkan penentuan kasus uji secara presisi guna mencapai cakupan pengujian yang maksimal.

Dalam *white box testing*, terdapat dua tipe jalur: *zero path* dan *one path*. Kedua tipe ini dibedakan berdasarkan signifikansi jalur pintas atau penghubung dalam pemrosesan sistem. *Zero path* adalah jalur penghubung yang tidak penting atau tidak ada, sedangkan *one path* adalah jalur yang penting.

Contoh *testing white box*:

Table 2.10 Contoh *script* pengujian

```
Program if_then;
Uses crt;
Var
                Nilai: intenger;
                Nama,ket: string(15);
Begin
write('Input nama mahasisswa: '); readln(nama);
write('Input nilai mahasisswa: '); readln(nilai);
if nilai >= 60 then
                ket: = 'lulus'
else
                ket: ='tidak lulus';
writeln ('Nama mashasiswa =',nama,'  ',ket);
end
```

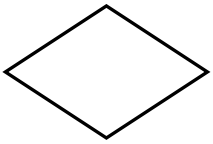
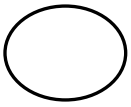
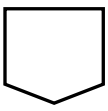
N. *Flowchart*

Flowchart, atau bagan alir, adalah representasi visual yang menggunakan simbol-simbol khusus untuk menguraikan urutan dan keterkaitan antar proses atau instruksi dalam sebuah program.

Flowchart merupakan hasil dari analisis masalah komputer, dan tidak ada aturan baku dalam perancangannya karena setiap analisis dapat menghasilkan variasi yang berbeda. Namun, secara umum, desain *flowchart* terdiri dari tiga elemen utama: masukan, proses, dan keluaran. (Ilham Aksanu Ridlo, 2017)

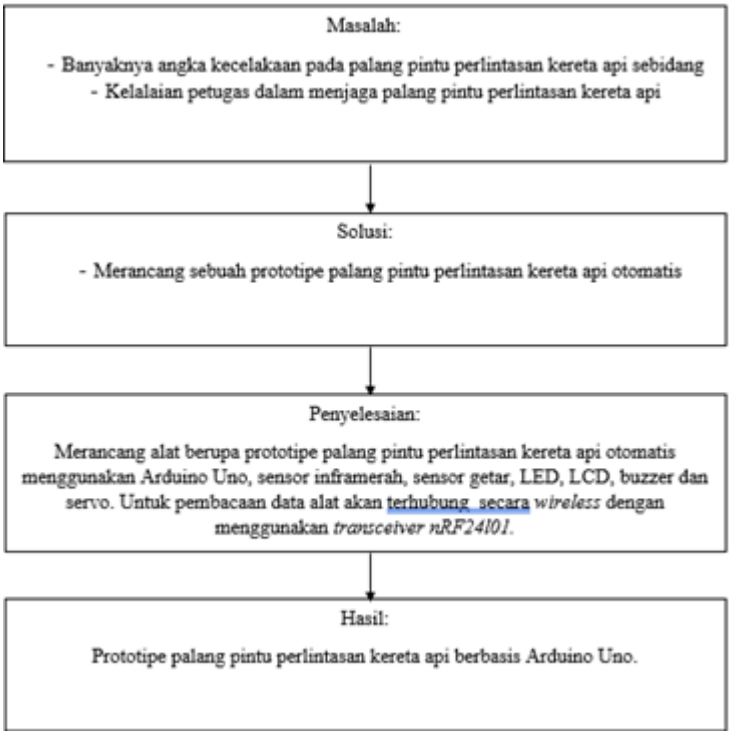
Berikut ini adalah beberapa simbol yang digunakan dalam menggambar suatu *flowchart*:

Tabel 2.11 Simbol *flowchart*

Simbol	Nama	Fungsi
	Terminator	Permulaan / akhir program
	Garis alir (*flow line*)	Arah aliran program
	Preparation	Proses inisialisasi / pemberian harga awal
	Proses	Proses perhitungan / proses pengolahan data
	Input / output data	Proses input / output data, parameter, informasi
	*Predefined process* (sub program)	Permulaan sub program / proses menjalankan sub program
	*Decision*	Perbandingan pernyataan, penyeleksian data yang memberikan pilihan untuk langkah selanjutnya
	*On page connector*	Penghubung bagian-bagian flowchart yang berada pada satu halaman
	*Off page connector*	Penghubung bagian-bagian flowchart yang berada pada halaman berbeda

O. Kerangka Pikir

Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang alur penelitian di atas, kami akan membahasnya dalam kerangka bepikir berikut:



Gambar 2.14 Kerangka Pikir

P. Kajian Hasil Penelitian Terdahulu

1. Penelitian Shendi Pratama, Ahmad Taqwa, & Irma Salamah (2019) yang berjudul "Palang Pintu Perlintasan Kereta Api Otomatis Berbasis Arduino" Palang pintu kereta otomatis ini dirancang menggunakan dua sensor inframerah dan satu sensor piezotronik, yang semuanya dikendalikan oleh Arduino. Sensor-sensor ini akan aktif saat mendeteksi kedatangan kereta api. Setelah kereta api melewati sensor pertama, palang pintu akan otomatis tertutup. Kemudian, ketika kereta api melewati sensor kedua, palang pintu akan otomatis terbuka. Untuk memberikan informasi kepada masyarakat mengenai kedatangan kereta api, sistem ini juga dilengkapi dengan buzzer dan lampu indikator.
2. Penelitian Asyari, M. F., & Sumpena, S (2021) dengan judul "Palang Pintu Perlintasan Kereta Api Otomatis Berbasis Arduino Uno". Jurnal ini menguraikan

pengembangan sistem otomatis untuk palang pintu perlintasan kereta api yang berbasis Arduino Uno. Sistem ini menggunakan sensor inframerah dan sensor getar untuk mendeteksi kedatangan kereta api, sementara NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai alat pemantau yang mengirimkan notifikasi via Telegram ketika sensor mendeteksi kereta yang mendekat.

3. Penelitian Suyetno, A (2022) yang berjudul "Pengembangan Palang Pintu Perlintasan Kereta Api dengan Kendali Remot dan Sensor Getar dengan Ldmicro". Dengan sensor getar dan kendali remot, sistem palang pintu kereta otomatis ini membantu petugas perlintasan dalam mengelola lalu lintas. Sistem verifikasi ganda ini menggunakan sensor getar untuk memberitahukan kedatangan kereta, lalu operator dapat secara manual menutup palang pintu melalui tombol remot.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian dan pengembangan (R&D) adalah pendekatan riset yang bertujuan untuk menciptakan produk spesifik dan mengevaluasi efektivitasnya. Produk ini tidak terbatas pada benda fisik atau perangkat keras seperti buku, alat tulis, dan sarana belajar lainnya, melainkan juga dapat berupa perangkat lunak. (Sugiono, 2012).

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Informatika Universitas Muhammadiyah Parepare dan membutuhkan waktu ± 2 Bulan.

C. Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan berbagai alat dan bahan, termasuk perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

1. Alat

Alat yang digunakan selama proses penelitian yaitu:

Tabel 3. 1 Spesifikasi Laptop Asus X441UB

No	Nama	Keterangan
1	*Processor*	Intel® Core™ i3-7020U CPU @ 2.30GHz (4 CPUs), ~2.3GHz
2	RAM	8,00 GB
3	SSD, HDD	128 GB, 500GB
4	Monitor	14 Inchi

Software yang digunakan dalam pembuatan aplikasi yaitu:

Tabel 3.2 Software yang digunakan

No	Nama	Keterangan
1	Sistem Operasi	Windows 10 Home Single Language
2	Program Aplikasi	Arduino IDE

Hardware yang digunakan dalam pembuatan alat yaitu:

Tabel 3.3 Hardware yang digunakan:

No	Nama	Jumlah
1	Miniatur Kereta Api	1 buah
2	Arduino Uno	2 buah
3	Infra merah	2 buah
4	Sensor Getar SW420	2 buah
5	Buzzer	1 buah
6	Motor Servo	1 buah
7	LED	1 buah
8	LCD	1 buah

2. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa data yang berasal dari hasil pengumpulan data yang telah dilakukan oleh peneliti yang nantinya akan di analisis lebih lanjut sebagai landasan untuk merancang sebuah sistem.

D. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dimaksud dalam studi ini berkaitan dengan proses implementasi penelitian.

1. Persiapan penelitian

Sebelum melakukan penelitian, peneliti melakukan tahan penyiapan. Ini dimulai dengan mempelajari masalah yang ada dan kemudian memeriksa penelitian sebelumnya yang serupa.

2. Studi Literatur

Pada tahap pelaksanaan, penelitian diimplementasikan. Untuk mencapai hasil optimal dengan metode pengumpulan data yang telah diuraikan, ada empat tahapan yang perlu diikuti: pengelolaan data, analisis data, dan penafsiran hasil analisis. Setelah selesai dengan proses ini, tugas lapangan untuk mengumpulkan data kemudian dilakukan. Analisis, penerapan masalah dalam aplikasi program, dan penyuntingan adalah proses yang dimaksud untuk menghasilkan hasil.

3. Pengumpulan Data

Peneliti kemudian menghimpun data dari berbagai sumber guna keperluan kajian mendalam.

4. Analisis

Pada tahap analisis, peneliti menganalisis sistem yang saat ini digunakan. Setelah itu, mereka merumuskan masalah pokok penelitian untuk membuat solusi alternatif.

5. Perancangan

Peneliti kemudian mengembangkan solusi pemecahan masalah alternatif.

6. Pengujian

Setelah merancang, peneliti kemudian menguji hasilnya jika ada kesalahan atau kelemahan. Jika tidak, peneliti kembali ke tahap analisis.

7. Implementasi

Aplikasi siap untuk digunakan setelah tidak ada kekurangan dalam desain.

8. Tahap Penyelesaian

Fase akhir yang dilakukan adalah tahap penyelesaian. Pada tahap ini penyusunan laporan penelitian disusun.

D. Teknik Pengumpulan Data

Menurut (Yamin, 2016) Metode pengumpulan data merujuk pada teknik atau cara yang digunakan peneliti untuk menghimpun informasi. Pengumpulan data ini bertujuan untuk mendapatkan keterangan yang diperlukan demi mencapai sasaran penelitian, dengan tahapan sebagai berikut:

1. Observasi, pada penelitian ini dilakukan pengamatan langsung ke lokasi penelitian.
2. Studi Pustaka, perpustakaan, web, dan jurnal-jurnal.

E. Metode Pengujian

1. *White box*

Pengujian *White box* adalah metode yang meninjau detail perancangan dan memanfaatkan struktur kontrol desain prosedural program untuk memecah pengujian menjadi beberapa kasus. Singkatnya, pengujian *White box* berfungsi sebagai panduan untuk memastikan program berfungsi dengan benar secara menyeluruh.

2. *Black box*

Pengujian *Black box* adalah jenis pengujian yang menilai kebenaran perangkat lunak hanya berdasarkan output data pengujian. Mirip dengan kotak hitam, Anda hanya dapat melihat permukaannya tanpa mengetahui apa yang ada di dalamnya.

Dengan demikian, pengujian *black box* hanya mengevaluasi antarmuka dan fungsionalitas, tanpa perlu memahami proses internal yang kompleks, melainkan hanya fokus pada *input* dan *output*.

BAB IV

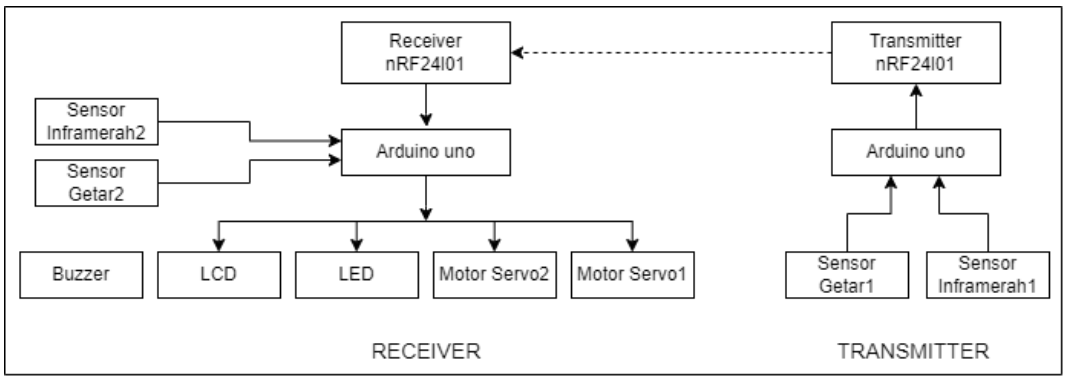
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Dari hasil penelitian adapun perencanaan sistem untuk lebih mendalami sebuah proses pencarian dan perancangan untuk membangun protipe.

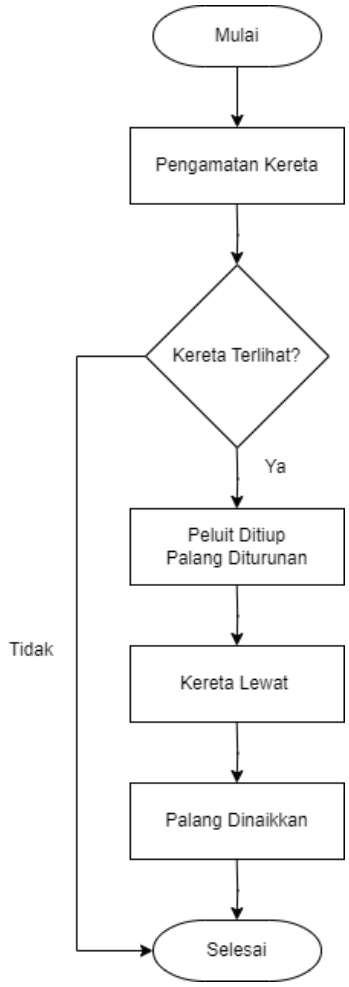
1. Diagram Sistem

Untuk merealisasikan Prototipe Palang Pintu Perlintasan Kereta Api Berbasis Arduino Uno perlu langkah-langkah dalam proses pengerjaan alat dengan komponen-komponen yang dibutuhkan seperti sensor inframerah dan sensor getar difungsikan untuk mendeteksi adanya objek yang lewat buzzer dan LED untuk memberikan peringatan bahwa kereta api akan lewat kemudian servo untuk menggerakkan palang pintu perlintasan kemudian status palang pintu akan ditampilkan pada LCD. Dalam perancangan sistem ini, kami menggunakan dua arduino uno, masing-masing dihubungkan dengan modul nRF24l01 untuk berfungsi sebagai pengirim dan penerima.



Gambar 4.1 Diagram Sistem

2. Sistem yang Berjalan

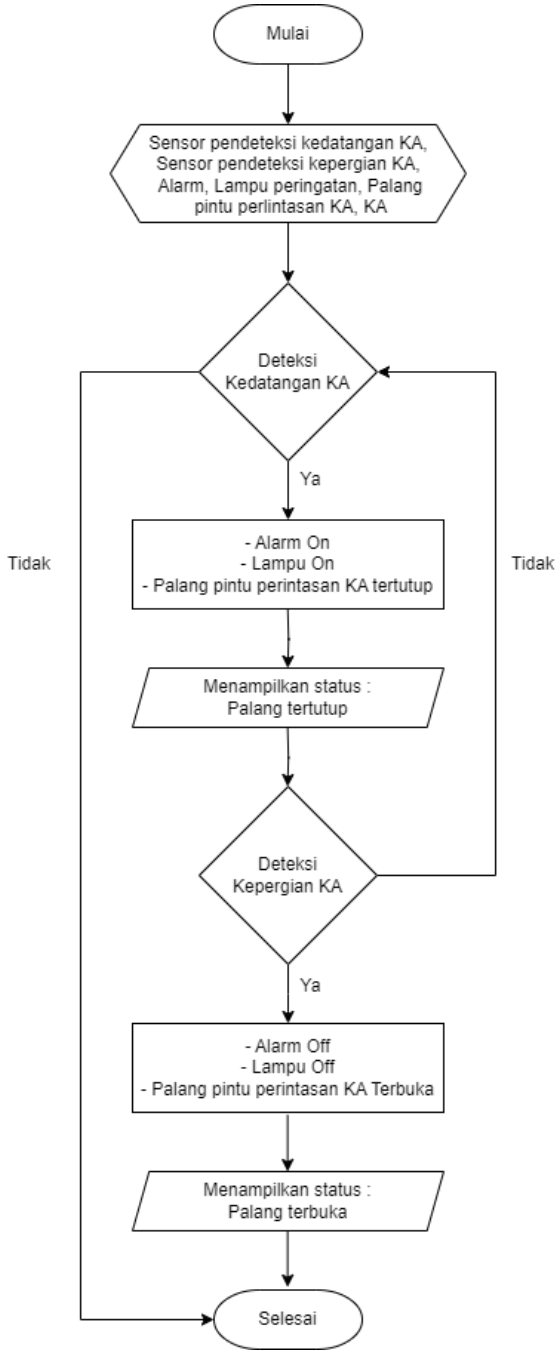


Gambar 4.2 *Flowchart* Sistem yang Berjalan

Flowchart sistem yang berjalan pada perlintasan kereta api menggambarkan proses operasional yang sepenuhnya bergantung pada petugas jaga. Proses dimulai dengan pengamatan visual terhadap jalur kereta untuk mendeteksi keberadaan kereta yang akan melintas. Jika kereta terlihat, petugas segera meniup peluit sebagai sinyal peringatan bagi pengguna jalan, lalu menurunkan palang secara manual menggunakan tuas atau sakelar motor listrik. Setelah kereta melintas sepenuhnya dan lintasan kembali aman, petugas menaikkan palang, menandakan bahwa kendaraan dapat melintas kembali. Sistem

ini memiliki risiko keterlambatan atau kelalaian karena sepenuhnya bergantung pada ketepatan dan kesiapsiagaan petugas.

3. Sistem yang Diusulkan

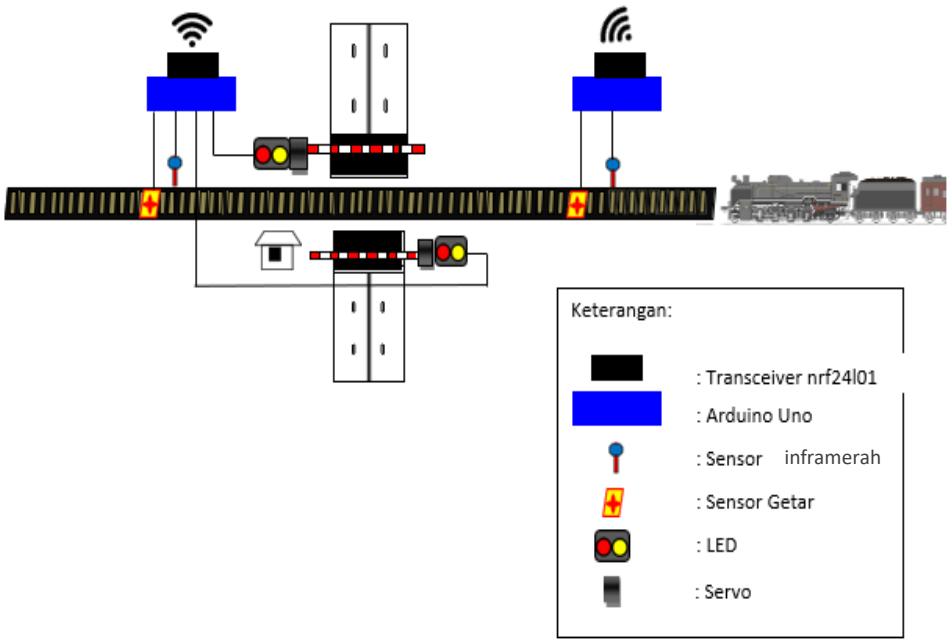


Gambar 4.3 Sistem yang Diusulkan

Pada gambar 4.3 Petugas palang pintu tidak perlu lagi membuka tutup palang pintu secara manual cukup menjalankan alat yang telah disediakan. Pada alat tersebut, dengan perintah dari Arduino Uno dengan modul nRF24l01 sebagai alat pembaca dan pengiriman data secara *wireless,* sistem akan mendeteksi adanya kereta api yang datang menggunakan sensor getar dan sensor inframerah, setelah kereta api melewati sensor yang dipasang, maka akan terdeteksi kereta lalu lampu penanda dan alarmnya akan menyala kemudian secara otomatis palang pintu perlintasan menutup. Setelah kereta melewati palang pintu maka palang pintu perlintasan kembali terbuka.

4. Rancangan Prototipe

Pada Gambar 4.4 menjelaskan rangkaian prototipe palang pintu perlintasan kereta api menggunakan 2 buah sensor inframerah dan 2 buah sensor getar yang dihubungkan menggunakan arduino uno kemudian untuk pembacaan data secara *wireless* memanfaatkan modul nRF24l01. Sensor inframerah dan sensor getar pertama diletakkan sebelum palang pintu perlintasan yang berfungsi untuk mendeteksi kedatangan kereta api, kemudian untuk sensor inframerah dan sensor getar kedua diletakkan setelah palang pintu perlintasan yang difungsikan untuk mendeteksi kereta api telah melintas. Servo digunakan untuk menggerakkan palang pintu perlintasan, buzzer dan LED memiliki fungsi untuk memberikan peringatan berupa audio dan visual.



Gambar 4.4 Rancangan Prototipe

B. Pembahasan

Proses penelitian ini melalui beberapa tahap dan alur kerja agar dapat mencapai hasil yang di inginkan mulai dari tahap studi literatur, perancangan perangkat keras (*hardware*), perancangan sistem (*software*) dan dilakukan pengujian prototipe.

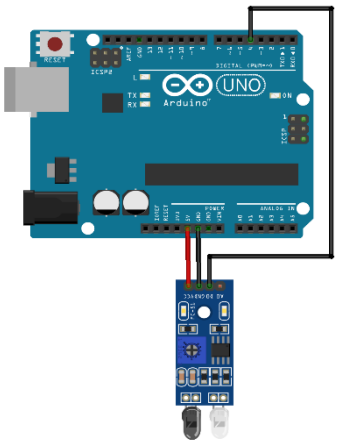
1. Perancangan Perangkat

Komponen-komponen yang membentuk palang pintu perlintasan kereta otomatis berbasis Arduino Uno meliputi sensor inframerah, mikrokontroler Arduino Uno, servo, buzzer, sensor getar, LED, dan LCD. Desain masing-masing komponen akan dibahas secara rinci di bawah ini.

a. Rangkaian Sensor Inframerah

Sensor inframerah digunakan untuk mendeteksi kereta api. Pada rancangan prototipe palang pintu perlintasan kereta api berbasis arduino uno digunakan

sebanyak 2 sensor inframerah. Sensor inframerah pertama diletakkan pada arduino *transmitter* untuk mendeteksi kedatangan kereta api dan sensor inframerah kedua diletakkan pada arduino *receiver* untuk mendeteksi kereta api sudah melewati palang pintu perlintasan. Berikut adalah gambar rangkaiannya.



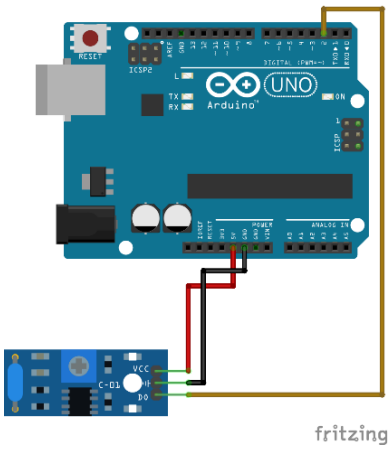
Gambar 4.5 Rangkaian Sensor Inframerah

Tabel 4.1 Rangkaian Arduino Uno dengan Sensor Inframerah

No	Sensor Inframerah	Arduino Uno
1	OUT	D4
2	VCC	5V
3	GND	GND

b. Rangkaian Sensor Getar

Sensor getar mengidentifikasi objek dengan mengukur getaran yang dihasilkannya. Pada prototipe palang pintu perlintasan kereta api berbasis arduino uno juga digunakan 2 buah sensor getar yang diletakkan pada arduino *receiver* dan arduino *transmitter*. Berikut adalah gambar rangkaiannya.



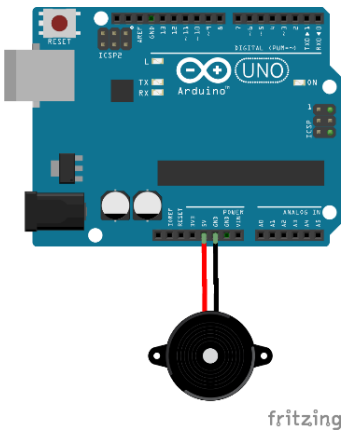
Gambar 4.6 Rangkaian Sensor Getar

Tabel 4.2 Rangkaian Arduino Uno dengan Sensor Getar

No	Sensor Getar	Arduino Uno
1	DIGITAL OUTPUT	D2
2	VCC	5V
3	GND	GND

c. Rangkaian Buzzer

Buzzer yang berfungsi sebagai alarm adalah alat elektronika yang mengeluarkan suara untuk menunjukkan tanda atau sinyal. Metode pemrograman menentukan kecepatan bunyi yang dihasilkan. Berikut adalah gambar rangkainnya.



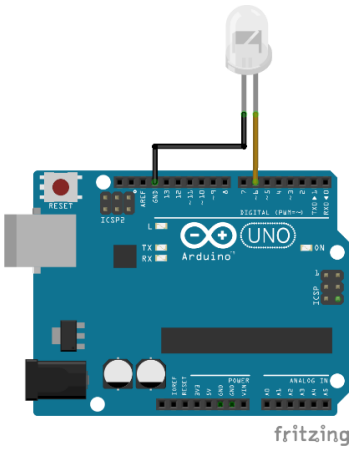
Gambar 4.7 Rangkaian Buzzer

Tabel 4.3 Rangkaian Arduino Uno dengan Buzzer

No	Buzzer	Arduino Uno
1	OUTPUT	D3
2	GND	GND

d. Rangkaian LED

LED merupakan komponen elektronik yang mampu menyajikan tanda visual atau informasi. Berikut adalah rangkaiannya.



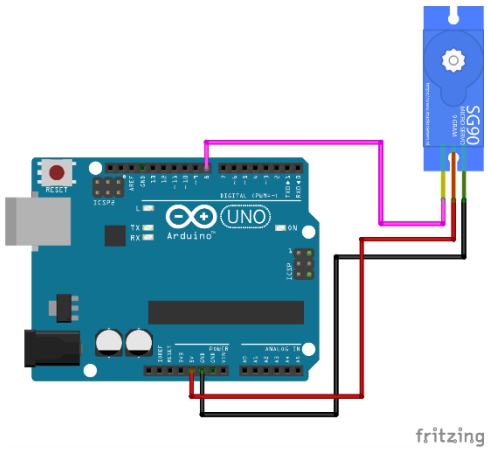
Gambar 4.8 Rangkaian LED

Tabel 4.4 Rangkaian Arduino Uno dengan LED

No	Led	Arduino Uno
1	ANODA	D1
2	KATODA	GND

e. Rangkaian Motor Servo

Fungsi motor servo adalah sebagai alat elektronika yang mengatur penutupan dan pembukaan suatu rangkaian. Motor servo ini memiliki torsi besar dan dengan sudut yang bisa di atur. Namun *micro* servo ini memiliki kapasitas berputar yang terbatas yaitu 180º atau 90º saja. Berikut adalah gambar rangkaiannya.



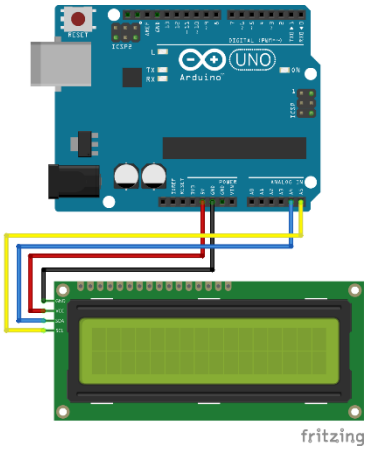
Gambar 4.9 Rangkaian Motor Servo

Tabel 4.5 Rangkaian Arduino Uno dengan Motor Servo

No	Motor Servo	Arduino Uno
1	SIGNAL	D8
2	VCC	5V
3	GND	GND

f. Rangkaian LCD

LCD (*Liquid Crystal Display*) dapat menampilkan data dalam bentuk angka, karakter, huruf, atau grafik. Berikut adalah gambar rangkaiannya.



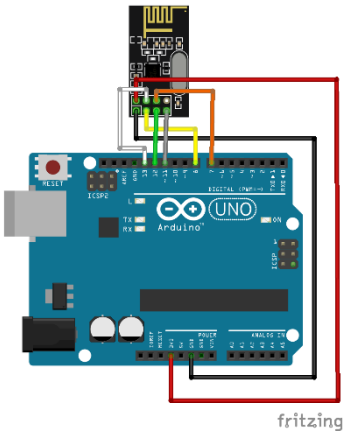
Gambar 4.10 Rangkaian LCD (*Liquid Crystal Display*)

Tabel 4.6 Rangkaian LCD (*Liquid Crystal Display*)

No	LCD	Arduino Uno
1	VCC	5V
2	GND	GND
3	SDA	A4
4	SCL	A5

g. Rangkaian Modul Nrf24L01

Nrf24L01 adalah perangkat elektronik yang mampu membaca dan menjalankan program secara nirkabel. Alat ini memiliki dua bagian: transmitter untuk mengirim perintah, dan receiver untuk menerima perintah. Berikut adalah gambar rangkaiannya.



Gambar 4.11 Rangkaian Modul Nrf24L01

Tabel 4.7 Rangkaian Arduino Uno dengan Nrf24L01

No	Nrf24l01	Arduino Uno
1	VCC	VCC 3.3V
2	GND	GND
3	CE	D9
4	CSN	D10
5	SCK	D13
6	MOSI	D11

Lanjutan **Tabel 4.7** Rangkaian Arduino Uno dengan Nrf24L01

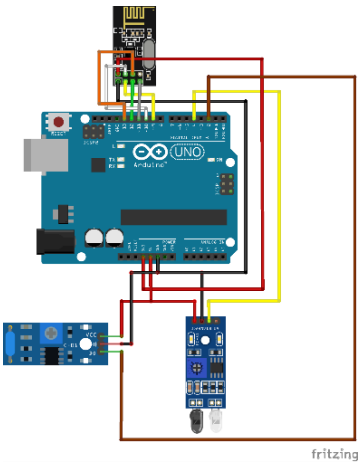
No	Nrf24l01	Arduino Uno
7	MISO	D12
8	IRQ	-

h. Rangkaian Keseluruhan Alat

Rangkaian keseluruhan alat pada penelitian protipe palang pintu perlintasan kereta api berbasis arduino uno menggunakan dua mikrokontroller. Mikrokontroller pertama berfungsi sebagai *transmitter* dan mikrokontroller kedua berfungsi sebagai *receiver* yang dihubungkan dengan modul nRF24L01. Berikut rangkaiannya:

1. Rangkaian Arduino Uno *Transmitter*

Pada gambar 4.12 di bawah menjelaskan bahwa Arduino Uno sebagai mikrokontroller *transmitter* yang dihubungkan pada nRF24L01, sensor getar, dan sensor inframerah. Pada nRF24L01 memiliki 8 pin yang dihubungkan pada Arduino Uno dimana pin VCC ke 3V, GND ke GND, CE ke D9, CSN ke D10, SCK ke D13, MOSI ke D11, dan MISO ke D12. Sementara itu, sensor getar dihubungkan ke Arduino Uno melalui 3 pin: VCC ke 5V, GND ke GND, dan OUT ke D2. Demikian pula, sensor inframerah memiliki 3 pin yang terhubung ke Arduino Uno: VCC ke 5V, GND ke GND, dan OUT ke D4.

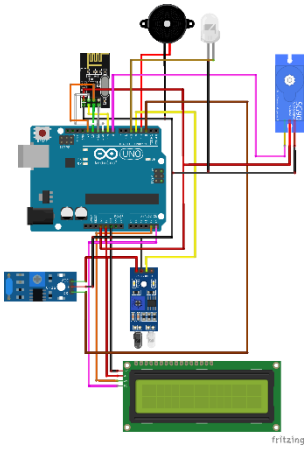


Gambar 4.12 Rangkaian Arduino Uno dengan *Transmitter*

2. Rangkaian Arduino Uno *Receiver*

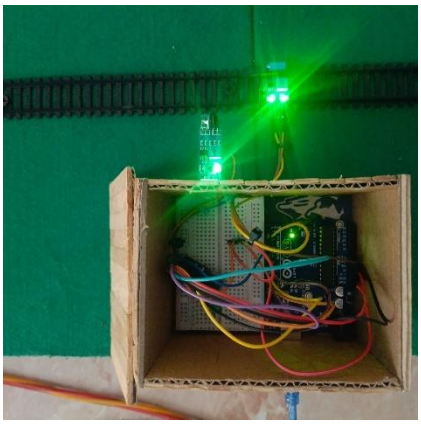
Pada gambar 4.13 di bawah menjelaskan bahwa Arduino Uno sebagai mikrokontroller *receiver* yang dihubungkan pada nRF24L01, sensor getar, dan sensor inframerah. Sensor atau alat yang dihubungkan pada Arduino Uno *transmitter* memiliki konfigurasi yang sama dengan konfigurasi Arduino Uno *receiver*, hanya ada beberapa tambahan alat seperti motor servo, LED, Buzzer dan LCD.

Motor servo dihubungkan ke Arduino Uno dengan tiga pin: VCC ke 5V, GND ke GND, dan PWM ke D8. LED memiliki dua pin yang terhubung ke Arduino Uno: Anoda ke D5, dan Katoda ke GND melalui resistor 220ohm. Buzzer juga memiliki dua pin yang disambungkan ke Arduino Uno: OUT ke D3, dan GND ke GND. Terakhir, LCD dihubungkan ke Arduino Uno dengan empat pin: VCC ke 5V, GND ke GND, SDA ke A4, dan SDL ke A5.

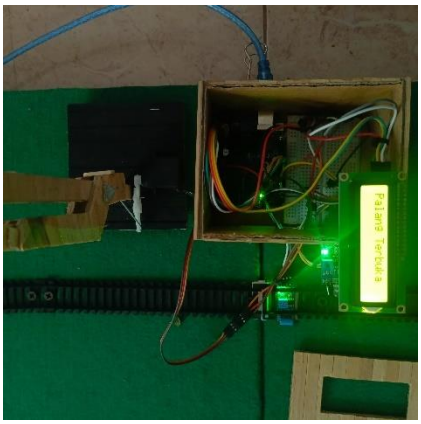


Gambar 4.13 Rangkaian Arduino Uno dengan *Receiver*

i. Hasil Rancangan Prototipe



Gambar 4.14 Rangkaian *Transmitter*



Gambar 4.15 Rangkaian *Receiver*

Rangkaian prototipe yang telah dibuat pada gambar di atas dirancang untuk dapat mengendalikan palang pintu perlintasan kereta api secara otomatis. Sensor pada gambar 4.14 yaitu *transmitter* berfungsi sebagai input yang akan dikirimkan ke *receiver* untuk mengaktifkan alarm dan menutup palang pintu perlintasan ketika kereta api terdeteksi. Sedangkan sensor pada gambar 4.15 yaitu *receiver* berfungsi sebagai input untuk menonaktifkan alarm dan membuka kembali palang pintu perlintasan ketika kereta api telah melewati palang pintu perlintasan.

Jarak pendeteksi kedatangan kereta api dengan palang pintu perlintasan pada prototipe 40 cm, jarak sebenarnya 8 km. Dapat dihitung skala:

Skala $= \frac{Jarak\ Prototipe}{Jarak\ Sebenarnya}$

$= \frac{40\ cm}{8km \times 100.000\ cm}$

$= \frac{40\ cm}{800.000\ cm}$

$= 1: 20.000$

Jadi penempatan sensor pendeteksi kedatangan kereta api pada miniatur 1 cm mewakili 20.000 cm pada jarak sebenarnya.

Kecepatan kereta api pada prototipe 20 cm/detik, kecepatan kereta api sebenarnya 80 km/jam. Dapat dihitung skala dengan rumus:

Skala Kecepatan = $\frac{Kecepatan\ Prototipe}{Kecepatan\ Sebenarnya}$

Konversi kecepatan sebenarnya km/jam ke dalam cm/detik:

Kecepatan Sebenarnya = 80 km/jam

Kecepatan Sebenarnya = $\frac{80 \times 100.000}{3600} = \frac{8.000.000}{3600} = 2222{,}22\ cm/detik$

Perhitungan Skala:

Skala Kecepatan = $\frac{20\ cm/s}{2222{,}22\ cm/s} = 1: 111{,}11$

Dengan demikian, skala kecepatan yang digunakan pada prototipe adalah 1: 111,11, yang berarti bahwa setiap 1 cm/detik pada prototipe mewakili 111,11 cm/detik di kondisi sebenarnya.

2. Pengujian Sistem

Dalam penelitian ini, pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan metode *Black Box Testing* dan *White Box Testing.* Hasil pengujian kedua metode

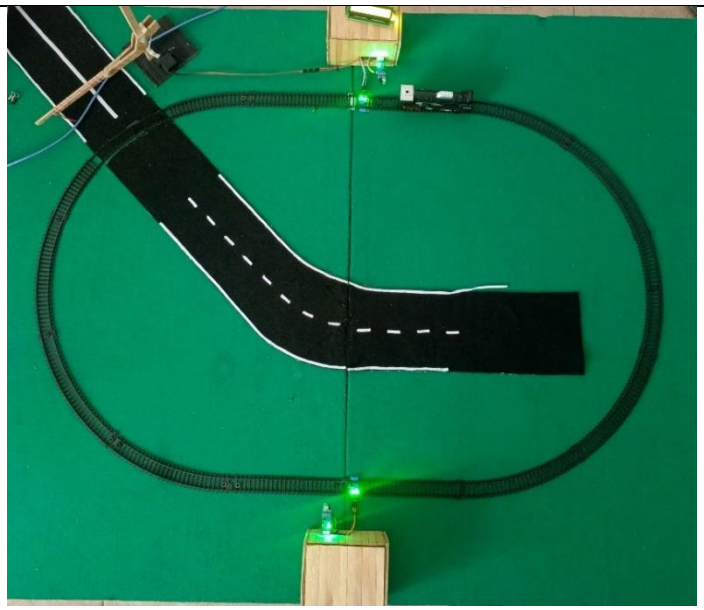
tersebut di bawah ini.

a. Pengujian *Black box*

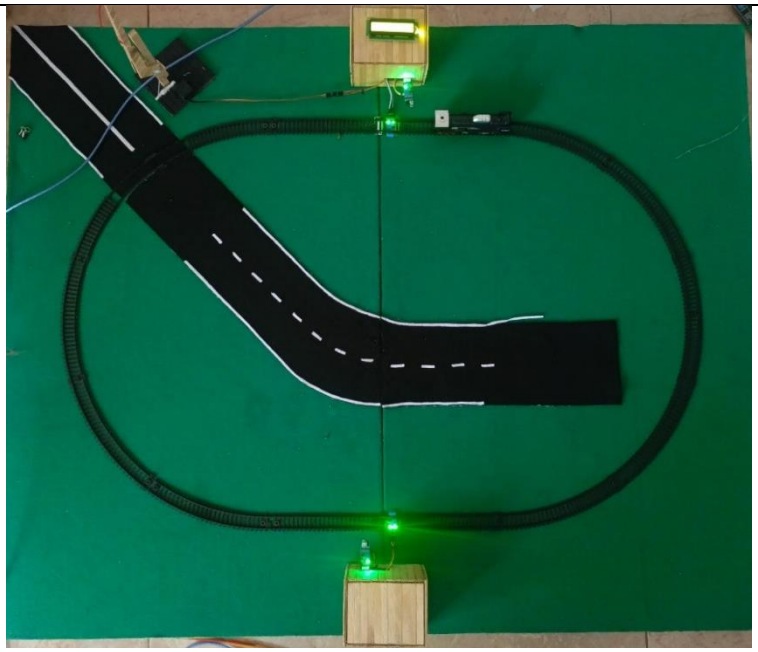
Pengujian *black box* dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat berfungsi atau tidak. Ini dilakukan untuk melihat hasil deteksi yang dilakukan alat berdasarkan instruksi yang diberikan sensor.

1) Pengujian tahap pertama

Tabel 4.8 Mendeteksi kereta api

Uji Coba	Hasil	Keterangan
Mendeteksi kedatangan kereta api	✓	Berhasil, karena sensor getar dan sensor Inramerah mendeteksi datangnya kereta api yang kemudian palang menutup.
Foto		
		

Tabel 4.9 Kereta Api tidak terdeteksi

Uji Coba	Hasil	Keterangan
Kereta Api tidak terdeteksi	✓	Berhasil, karena sensor getar dan sensor Inramerah tidak mendeteksi datangnya kereta api.
Foto		
		

2) Pengujian tahan kedua

Setiap komponen diuji secara mendalam pada tahap ini, baik untuk mengetahui kinerja sensor maupun untuk keperluan pengumpulan data penelitian.

a. Pengujian Modul Nrf24L01

Modul Nrf24L01 digunakan untuk komunikasi nirkabel. Pengujian dilakukan pada jarak antara 10 – 50meter. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel di bawah:

Tabel 4.10 Pengujian Modul nRF24L01

Percobaan Ke	Jarak Pengujian	Status Komunikasi	Keterangan
1	10 m	Berhasil	Koneksi Stabil
2	20 m	Berhasil	Sedikit Delay
3	30 m	Berhasil	Koneksi Tidak Stabil
4	40 m	Berhasil	Koneksi Tidak Stabil
5	50 m	Gagal	Koneksi Gagal

Hasil pengujian tabel 4.10 pada percobaan pertama komunikasi antara *transmitter* dan *receiver* berhasil dengan koneksi stabil. Pada percobaan kedua komunikasi masih berhasil tapi dengan koneksi sedikit delay, percobaan ketiga dan keempat komunikasi masih berhasil tapi koneksi mulai tidak stabil dan data yang dikirimkan oleh *transmitter* ke *receiver* mulai tidak terbaca. Sedangkan pada percobaan terakhir komunikasi gagal dan tidak terkoneksi.

b. Pengujian Sensor Getar SW420

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sensor getar dapat mendeteksi getaran dari kereta miniatur ketika melintas di dekat sensor. Sensor dipasang di bagian bawah atau rel miniatur. Ketika kereta berjalan, getaran dari lintasan akan diteruskan ke sensor dan menghasilkan output digital atau analog. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.11 Pengujian Sensor Getar SW420

Percobaan Ke	Nilai Getaran	Keterangan
1	1109	Terdeteksi
2	8032	Terdeteksi
3	1987	Terdeteksi
4	716	Terdeteksi
5	444	Terdeteksi

Hasil uji pada sensor getar pada tabel 4.11 menunjukkan sensor getar mampu mendeteksi getaran yang dihasilkan oleh miniatur kereta api secara namun dengan nilai getaran yang tidak konsisten namun bisa digunakan dalam prototipe.

c. Pengujian Sensor Inframerah

Pada prototipe palang pintu perlintasan kereta api yang dibuat dengan arduino uno, sensor inframerah adalah salah satu sensor utama yang digunakan untuk mendeteksi posisi kereta api saat melintasi halangan dalam jarak tertentu. Dalam pengujian ini menggunakan program Arduino IDE, yang menampilkan hasilnya pada serial monitor dan menggunakan mistar untuk mengukur jarak antara sensor dan objek. Pengujian menggunakan rentang jarak antara 2 – 10 cm. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 4.12 Pengujian Sensor Inframerah

Percobaan Ke	Jarak Ukur Menggunakan Mistar	Status Sensor	Keterangan
1	2 cm	High	Terdeteksi
2	4 cm	High	Terdeteksi
3	6 cm	High	Terdeteksi
4	8 cm	Low	Tidak Terdeteksi
5	10 cm	Low	Tidak Terdeteksi

Berdasarkan Tabel 4.12, terlihat bahwa sensor inframerah berhasil mendeteksi kereta api dari percobaan pertama hingga ketiga. Ini konsisten dengan fungsi sensor inframerah yang hanya efektif mendeteksi halangan dalam jarak maksimal 6 cm. Namun, pada percobaan keempat dan kelima, sensor inframerah gagal mendeteksi halangan kereta api karena jarak deteksi telah melebihi batas kemampuannya.

d. Pengujian Motor Servo

Motor servo berfungsi untuk menggerakkan palang pintu kereta berdasarkan perintah ketika nilai sensor getar memenuhi dan sensor inframerah mendeteksi objek. Pengujian dilakukan dengan memberikan sinyal PWM dari Arduino berdasarkan status sensor. Servo akan berputar 80° saat nilai sensor aktif (palang menutup) dan kembali ke 0° saat sensor tidak aktif (palang membuka).

Tabel 4.13 Pengujian Motor Servo

Percobaan Ke	Sensor	Status/Nilai Sensor	Sudut Servo
1	Getar *Transmitter*	High	80°
	Inframerah *Transmitter*	1452	
	Getar *Receiver*	High	0°
	Inframerah *Receiver*	1109	
2	Getar *Transmitter*	High	80°
	Inframerah *Transmitter*	3657	
	Getar *Receiver*	High	0°
	Inframerah *Receiver*	8032	
3	Getar *Transmitter*	High	80°
	Inframerah *Transmitter*	6966	
	Getar *Receiver*	High	0°
	Inframerah *Receiver*	1987	
4	Getar *Transmitter*	High	80°
	Inframerah *Transmitter*	2250	
	Getar *Receiver*	High	0°
	Inframerah *Receiver*	714	
5	Getar *Transmitter*	High	80°
	Inframerah *Transmitter*	3197	
	Getar *Receiver*	High	0°
	Inframerah *Receiver*	444	

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.13, motor servo dapat bekerja dengan baik dalam menggerakkan palang pintu secara otomatis. Servo berputar ke sudut 80° saat sensor getar memenuhi nilai getaran dan sensor inframerah

mendeteksi objek kereta api pada *transmitter*. Servo kembali ke sudut 0°saat sensor getar memenuhi nilai getaran dan sensor inframerah mendeteksi objek kereta api pada *receiver*. Respons motor servo konsisten di setiap percobaan, baik pada sisi *transmitter* maupun *receiver*.

e. Pengujian LCD

LCD menampilkan status sistem seperti palang terbuka atau palang tertutup ketika. Status palang tertutup ketika kereta api melewati sensor pada *transmitter* dan status palang terbuka ketika kereta api terdeteksi sensor pada *receiver.* LCD terhubung menggunakan modul I2C ke Arduino. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel di bawah:

Tabel 4.14 Pengujian LCD

Percobaan Ke	Posisi Kereta Api	Tampilan LCD
1	Melewati *Transmitter*	Palang Tertutup
	Melewati *Receiver*	Palang Terbuka
2	Melewati *Transmitter*	Palang Tertutup
	Melewati *Receiver*	Palang Terbuka
3	Melewati *Transmitter*	Palang Tertutup
	Melewati *Receiver*	Palang Terbuka
4	Melewati *Transmitter*	Palang Tertutup
	Melewati *Receiver*	Palang Terbuka
5	Melewati *Transmitter*	Palang Tertutup
	Melewati *Receiver*	Palang Terbuka

Hasil uji pada tabel 4.14 disimpulkan bahwa LCD berhasil menampilkan status sistem secara akurat dan konsisten sesuai. LCD menampilkan palang tertutup saat kereta melewati sensor pada *transmitter* dan palang terbuka saat kereta melewati sensor pada *receiver*.

f. Pengujian LED

LED berfungsi sebagai indikator visual atau sinyal. Dalam konteks palang pintu kereta api otomatis, LED memberikan peringatan kepada pengguna jalan bahwa kereta api akan segera melintas. Hasil pengujian LED dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Pengujian LED

Percobaan Ke	Posisi Kereta Api	Status LED
1	Melewati *Transmitter*	On
	Melewati *Receiver*	Off
2	Melewati *Transmitter*	On
	Melewati *Receiver*	Off
3	Melewati *Transmitter*	On
	Melewati *Receiver*	Off
4	Melewati *Transmitter*	On
	Melewati *Receiver*	Off
5	Melewati *Transmitter*	On
	Melewati *Receiver*	Off

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.15, LED menyala (*On*) saat kereta melewati sensor pada *transmitter* dan mati (*Off*) saat kereta melewati sensor pada *receiver*. Hal ini menunjukkan bahwa LED berfungsi dengan baik sebagai sinyal visual peringatan bagi pengguna jalan. Sistem ini memberikan peringatan dini saat kereta mendekat dan mematikan peringatan saat kereta telah lewat. Hasil yang konsisten pada seluruh percobaan membuktikan bahwa fungsi LED berjalan dengan baik.

g. Pengujian Buzzer

Alarm atau buzzer memberikan sinyal atau informasi dalam bentuk bunyi.

Buzzer di palang pintu kereta api otomatis menandakan posisi kereta api. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 4.16 Pengujian Buzzer

Percobaan Ke	Posisi Kereta Api	Status Buzzer
1	Melewati *Transmitter*	On
	Melewati *Receiver*	Off
2	Melewati *Transmitter*	On
	Melewati *Receiver*	Off
3	Melewati *Transmitter*	On
	Melewati *Receiver*	Off
4	Melewati *Transmitter*	On
	Melewati *Receiver*	Off
5	Melewati *Transmitter*	On
	Melewati *Receiver*	Off

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.16, buzzer menyala saat kereta melewati sensor *transmitter* dan mati saat melewati sensor *receiver*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa buzzer berfungsi dengan baik sebagai peringatan suara dan bekerja sesuai logika sistem.

h. Pengujian Prototipe Palang Pintu Perlintasa Kereta Api Berbasis Arduino Uno

Pengujian sistem kerja miniatur kereta api otomatis dilakukan dengan menggerakkan kereta api pada desain awal. Uji ini dilaksanakan dengan kecepatan kereta api yang konstan dan dalam satu arah. Hasil pengujian tersebut disajikan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Tabel hasil pengujian prototipe

Percobaan	Sensor	Status Sensor	Buzzer	Tampilan LCD	Status Palang Pintu
1	Inramerah Pengirim	High	Aktif	Palang Tertutup	Menutup
	Getar Pengirim	1452			
	Inramerah Penerima	High	Nonaktif	Palang Terbuka	Membuka
	Getar Penerima	1109			
2	Inramerah Pengirim	High	Aktif	Palang Tertutup	Menutup
	Getar Pengirim	3657			
	Inramerah Penerima	High	Nonaktif	Palang Terbuka	Membuka
	Getar Penerima	8032			
3	Inramerah Pengirim	High	Aktif	Palang Terbuka	Menutup
	Getar Pengirim	6966			
	Inramerah Penerima	High	Nonaktif	Palang Tertutup	Membuka
	Getar Penerima	1987			
4	Inramerah Pengirim	High	Aktif	Palang Terbuka	Menutup
	Getar Pengirim	2250			
	Inramerah Penerima	High	Nonaktif	Palang Tertutup	Membuka
	Getar Penerima	714			
5	Inramerah Pengirim	High	Aktif	Palang Terbuka	Menutup
	Getar Pengirim	3197			
	Inramerah Penerima	High	Nonaktif	Palang Tertutup	Membuka
	Getar Penerima	444			
6	Inramerah Pengirim	High	Aktif	Palang Terbuka	Menutup
	Getar Pengirim	2018			
	Inramerah Penerima	High	Nonaktif	Palang Tertutup	Membuka
	Getar Penerima	9949			

Lanjutan **Tabel 4.17** Tabel hasil pengujian prototipe

Percobaan	Sensor	Status Sensor	Buzzer	Tampilan LCD	Status Palang Pintu
7	Inramerah Pengirim	High	Aktif	Palang Terbuka	Menutup
	Getar Pengirim	2462			
	Inramerah Penerima	High	Nonaktif	Palang Tertutup	Membuka
	Getar Penerima	9154			
8	Inramerah Perngirim	High	Aktif	Palang Terbuka	Menutup
	Getar Pengirim	2432			
	Inramerah Penerima	High	Nonaktif	Palang Tertutup	Membuka
	Getar Penerima	2390			
9	Inramerah Perngirim	High	Aktif	Palang Terbuka	Menutup
	Getar Pengirim	1543			
	Inramerah Penerima	High	Nonaktif	Palang Tertutup	Membuka
	Getar Penerima	7848			
10	Inramerah Pengirim	High	Aktif	Palang Terbuka	Menutup
	Getar Pengirim	3001			
	Inramerah Penerima	High	Nonaktif	Palang Tertutup	Membuka
	Getar Penerima	2705			

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.17, sistem prototipe palang pintu perlintasan kereta api berbasis Arduino Uno menunjukkan bahwa seluruh sensor bekerja dengan baik. Sensor inframerah pengirim berhasil mendeteksi kedatangan kereta dengan status High, sehingga buzzer aktif sebagai tanda peringatan dan palang pintu otomatis menutup. Setelah kereta melewati sensor penerima, status sensor juga terbaca High untuk nonaktif buzzer, tampilan LCD menunjukkan palang terbuka, dan palang pintu kembali membuka.

Selain itu, nilai sensor getar yang bervariasi pada setiap percobaan menunjukkan sensitivitas sistem terhadap getaran kereta baik pada saat mendekati maupun meninggalkan perlintasan. Walaupun terdapat variasi nilai, pola kerja sistem konsisten pada setiap percobaan, yaitu palang pintu menutup ketika kereta datang dan membuka kembali setelah kereta meninggalkan jalur. Dengan demikian, prototipe dapat dikatakan bekerja secara otomatis, konsisten, dan sesuai dengan rancangan yang diharapkan.

i. Hasil Pengujian Tingkat Akurasi Prototipe

Hasil pengujian tingkat akurasi prototipe menggunakan dua miniatur kereta api yang dijalankan sekaligus untuk memverifikasi kinerja sistem palang pintu perlintasan kereta api berbasis Arduino Uno. Setiap percobaan menguji deteksi kedatangan dua miniatur kereta api dengan menggunakan sensor inframerah dan sensor getar. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa palang pintu menutup saat kereta terdeteksi pada *trasmitter* dan palang pintu kembali terbuka ketika palang kereta terdeteksi pada *receiver*.

Tabel 4.18 Tabel Hasil Pengujian Tingkat Akurasi Prototipe

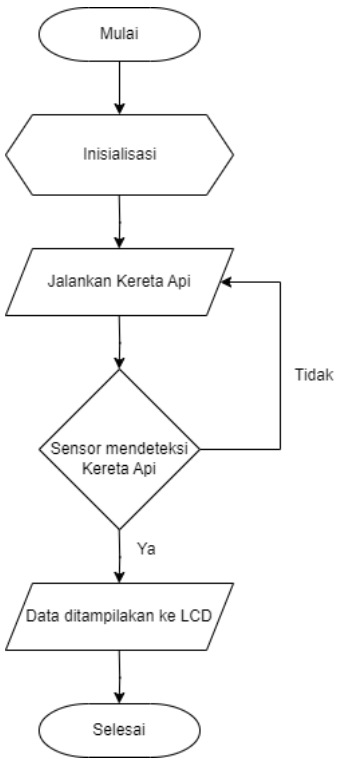
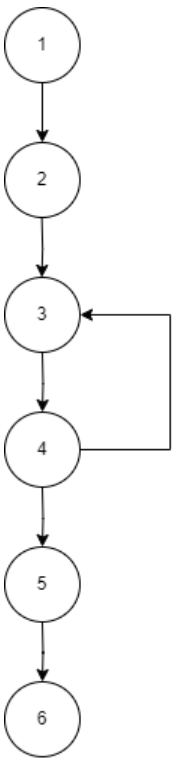
Percobaan	Kereta Api	Status Transmitter	Status Buzzer	Tampilan LCD	Status Palang	Durasi Palang Tertutup	Kereta Api	Status Receiver	Status Buzzer	Tampilan LCD	Status Palang	Durasi Palang Terbuka
1	Kereta Api1	Mendeteksi Kereta Api	On	Palang Tertutup	Menutup	5.77 Detik	Kereta Api1	Mendeteksi Kereta Api	Off	Palang Terbuka	Membuka	05.61 Detik
	Kereta Api2	Mendeteksi Kereta Api	On	Palang Tertutup	Menutup	3.81 Detik	Kereta Api2	Mendeteksi Kereta Api	Off	Palang Terbuka	Membuka	4.02 Detik
2	Kereta Api1	Mendeteksi Kereta Api	On	Palang Tertutup	Menutup	5.94 Detik	Kereta Api2	Mendeteksi Kereta Api	Off	Palang Terbuka	Membuka	5.45 Detik
	Kereta Api2	Mendeteksi Kereta Api	On	Palang Tertutup	Menutup	3.59 Detik	Kereta Api2	Mendeteksi Kereta Api	Off	Palang Terbuka	Membuka	4.17 Detik
3	Kereta Api1	Mendeteksi Kereta Api	On	Palang Tertutup	Menutup	6.17 Detik	Kereta Api1	Mendeteksi Kereta Api	Off	Palang Terbuka	Membuka	5.82 Detik
	Kereta Api2	Mendeteksi Kereta Api	On	Palang Tertutup	Menutup	3.71 Detik	Kereta Api2	Mendeteksi Kereta Api	Off	Palang Terbuka	Membuka	3.78 Detik
4	Kereta Api1	Mendeteksi Kereta Api	On	Palang Tertutup	Menutup	6.10 Detik	Kereta Api1	Mendeteksi Kereta Api	Off	Palang Terbuka	Membuka	5.57 Detik
	Kereta Api2	Mendeteksi Kereta Api	On	Palang Tertutup	Menutup	3.49 Detik	Kereta Api2	Mendeteksi Kereta Api	Off	Palang Terbuka	Membuka	3.73 Detik
5	Kereta Api1	Mendeteksi Kereta Api	On	Palang Tertutup	Menutup	6.06 Detik	Kereta Api1	Mendeteksi Kereta Api	Off	Palang Terbuka	Membuka	5.67 Detik
	Kereta Api2	Mendeteksi Kereta Api	On	Palang Tertutup	Menutup	3.88 Detik	Kereta Api2	Mendeteksi Kereta Api	Off	Palang Terbuka	Membuka	3.96 Detik

Pengujian tingkat akurasi dilakukan dengan menjalankan dua miniatur kereta api secara bersamaan untuk memverifikasi kinerja sistem palang pintu perlintasan kereta api berbasis Arduino Uno. Berdasarkan sepuluh kali percobaan, hasil menunjukkan bahwa sensor transmitter selalu berhasil mendeteksi kedatangan kereta api 1 dan kereta api 2. Saat kereta terdeteksi, buzzer aktif sebagai peringatan, tampilan LCD menampilkan status palang tertutup, dan palang pintu otomatis menutup.

b. Pengujian *Whitebox*

Pengujian *whitebox* dilakukan untuk melihat hasil kontrol yang dilakukan Arduino Uno berdasarkan perhitungan dan logika program untuk mengetahui efektifitas sistem yang telah dibangun.

Tabel 4.19 *Flowchat flowgraph* sistem

Flowchart	***Flowgraph***
	

Dari flowgraph di atas dapat dilakukan proses perhitungan sebagai berikut:

a. Menghitung *Cylomatic Complexcity* V(G) dari *Edge* dan *Node*:

Dengan rumus: V (G) = E – N + 2

Dengan E (*Edge*) = 6

N (*Node*) = 6

P (Predikat *node*) = 1

Penyelesaian: V (G) = E – N + 2

= 6 – 6 + 2

= 2

Predikat *node* (P) = P + 1

= 1 + 1

= 2

b. Berdasarkan perhitungan *Cyclomatic Complexcity* dari *Flowgraph* diatas memiliki *Region* = 2

c. *Independent Path* pada *Flowgraph* diatas adalah:

Path 1 = 1 – 2 – 3 – 4 – 3 – 4 – 5 – 6

Path 2 = 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6

d. *Graph Matrix*

Tabel 4.20 *Graph Matrix*

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**E – 1**
1		1					1 – 1 = 0
2			1				1 – 1 = 0
3				1			1 – 1 = 0
4			1		1		2 – 1 = 1
5						1	1 – 1 = 0
6							1 – 1 = 0
SUM (E + 1)							1 + 1 = 2

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa penulis sukses menciptakan prototipe palang pintu perlintasan kereta api dengan menggunakan arduino uno, modul nRF24l01, sensor getar SW420, sensor inframerah, buzzer, LED dan LCD. Sistem kerja dari prototipe menggunakan dua sistem deteksi yaitu pada arduino uno pertama terdapat sensor getar SW420 dan sensor inframerah untuk mendeteksi kedatangan kereta api kemudian data akan dikirim ke arduino uno kedua menggunakan modul nRF24l01 untuk mengaktifkan buzzer, menutup palang dan menampilkan status palang pada LCD. Pada arduino uno kedua juga terdapat sensor getar SW420 dan sensor inframerah untuk mendeteksi kereta api sudah melewati palang pintu perlintasan dan menonaktifkan alarm dan membuka kembali palang pintu perlintasan kereta api.

Hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan, sistem protipe palang pintu perlintasan kereta api berbasis arduino uno dapat mendeteksi kedatangan kereta api baik dari *transmitter* maupun *receiver*. Sensor getar SW420 dapat mendeteksi getaran dengan jarak nilai 300 sampai 10.000 untuk getaran kereta api serta sensor inframerah dapat mendeteksi objek kereta api yang kemudian di proses menggunakan mikrokontroller Arduino Uno untuk mengoperasikan palang pintu, alarm dan LED secara otomatis yang kemudian datanya akan ditampilkan pada LCD. Terdapat selisih antara nilai getaran pada pengujian pengukuran nilai

getaran kereta api. Nilai rata-rata pada *transmitter* adalah 2897,8, sedangkan pada *receiver* sebesar 4433,2, dari hasil tersebut diperoleh rata-rata selisih variasi sebesar 1535,4, yang menandakan bahwa sensor *receiver* membaca nilai getaran lebih tinggi dibandingkan sensor *transmitter.*

B. Saran

Sehubungan dengan keterbatasan penelitian yang sudah dilakukan, ada beberapa usulan yang dapat dipertimbangkan untuk riset berikutnya, yaitu:

1. Mengganti sensor getar SW420 menggunakan sensor yang lebih akurat untuk mendeteksi getaran.
2. Diharapkan untuk mengimplementasikan hasil penelitian prototipe palang pintu perlintasan kereta api berbasis arduino uno.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, S., & Khan, R. (2019). Automated railway gate control system using Arduino and ultrasonic sensors. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 8(5), 1550–1556.

Asyari, M. F., & Sumpena, S. (2021). Palang Pintu Perlintasan Kereta Api Automatis Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknologi Industri*, 9.

Banzi, M., & Shiloh, M. (2014). *Getting started with Arduino*. Maker Media, Inc.

Kumar, V., & Singh, P. (2020). Design and implementation of an Arduino-based automatic railway crossing system. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 9(7), 1120–1124.

Laudira, A. (2021). Palang Pintu Perlintasan Kereta Api Otomatis Berbasis Arduino Uno (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).

Monk, S. (2013). *Programming Arduino: Getting started with sketches*. McGraw-Hill Education.

Okpatrioka, O. (2023). Research and development (R&D) penelitian yang inovatif dalam pendidikan. *Dharma Acariya Nusantara: Jurnal Pendidikan, Bahasa dan Budaya*, 1(1), 86–100.

Patel, K., & Sharma, A. (2021). Arduino based automatic railway gate control and track switching. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 10(3), 234–240.

Ridlo, I. A. (2017). Panduan pembuatan flowchart. *Fakultas Kesehatan Masyarakat*, 11(1), 1–27.

Roy, R., & Saha, P. (2018). Design and development of an automatic railway gate control system using microcontroller. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 7(5), 225–229.

Satria, Y., & Pratama, A. (2022). Prototipe palang pintu perlintasan kereta api berbasis Arduino. *Jurnal Ilmiah Informatika dan Komputer (JIKO)*, 6(1), 44–51.

Shobrina, U. J., Primananda, R., & Maulana, R. (2018). Analisis Kinerja Pengiriman Data Modul Transmitter NRF24l01, Xbee dan Wifi ESP8266 Pada Wireless Sensor Network. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 2(4), 1510–1517.

Subagia, R., Alit, R., & Akbar, A. (2020). Pengujian White Box Pada Sistem Informasi Monitoring Skripsi Program Studi Informatika. *Jurnal Informatika dan Sistem Informasi (JIFoSI)*, 1(2).

Supriyadi, A., & Wibowo, R. (2020). Rancang bangun sistem palang pintu kereta api otomatis menggunakan sensor ultrasonik. *Jurnal Rekayasa dan Sistem*, 8(1), 15–22.

Suyetno, A. (2022). Pengembangan Palang Pintu Perlintasan Kereta Api dengan Kendali Remot dan Sensor Getar dengan LDmicro.

Universitas Muhammadiyah Parepare. (2021). *Panduan Penulisan Proposal dan Skripsi: FT Umpar*.