

PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM PERSINYALAN KERETA API SECARA NIRKABEL

DESIGN AND SIMULATION RAILWAY SIGNAL SYSTEM WIRELESSLY

Richard Pradana¹, Agung Surya Wibowo², Ahmad Sugiana³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

richardsinaga@student.telkomuniversity.ac.id¹,
agungsw@telkomuniversity.ac.id², sugianaa@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Belakangan ini, perkembangan industri perkeretaapian di Indonesia sangat meningkat. Untuk memastikan keselamatan pada pada industri perkeretaapian, maka sistem persinyalan kereta merupakan bagian terpenting yang perlu diperhatikan. Pada penelitian kali ini akan dilakukan perancangan dan simulasi sistem persinyalan kereta api secara nirkabel menggunakan aplikasi android. Kereta yang akan digunakan adalah miniatur kereta api dengan tiga stasiun dan sensor *infrared*(IR) sebagai pendeteksi kereta api. Untuk sistem *interlocking* menggunakan *Finite State Machine*(FSM) dan menggunakan arduino sebagai controllernya. Perancangan sistem persinyalan kereta api telah mampu mencapai tingkat keberhasilan 100% pada sistem *interlocking* dengan waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk menerima data dari arduino ke aplikasi android dan sebaliknya adalah 0,472 detik. Sinyal lampu, wesel, dan *track circuit*(posisi kereta) dapat dimonitor secara real time dengan aplikasi android. Pada simulasi sistem persinyalan kereta api, waktu yang ditempuh kereta untuk rute AC dan CA yaitu 6,357 detik dengan waktu pengereman 1,714 detik. Sedangkan waktu tempuh untuk rute BC dan CB yaitu 5,272 detik dengan waktu pengereman 1,629 detik. Semua sinyal lampu akan berwarna merah dan kereta tidak akan berjalan selama ada kereta lain di depan kereta utama maupun di stasiun tujuan. Tombol *set route* juga tidak akan berhasil jika tidak sesuai dengan ketentuan.

Kata Kunci : *Sistem Persinyalan Kereta, Sensor IR, Aplikasi Android, Finite State Machine, Sistem Interlocking.*

Abstract

Lately, the development of the railway industry in Indonesia greatly increased. To ensure safety in the railway industry, the train signaling system is the most important part that needs attention. In this study, the design and simulation of a train signaling system wirelessly will be carried out using an android application. The train that will be used is a miniature train with three stations and infrared (IR) sensors as a train detector. For interlocking system using Finite State Machine (FSM) and using Arduino as controller. The design of the train signaling system has been able to achieve a 100% success rate on the interlocking system with the average time required to receive data from the Arduino to the Android application and vice versa is 0.472 seconds. Light signals, point machine, and track circuits (train position) can be monitored in real time with the android application. In the train signaling system simulation, the time taken by the train for the AC and CA routes is 6.357 seconds with a braking time of 1.714 seconds. While the travel time for the BC and CB routes is 5.272 seconds with a braking time of 1.629 seconds. All signal lights will be red and the train will not run as long as there is another train in front of the main train or at the destination station. The set route button also won't work if it doesn't match the conditions.

Keywords : *Train Signaling System, IR Sensor, Android Application, Finite State Machine, Interlocking System.*

1. Pendahuluan

Belakangan ini, perkembangan industri perkeretaapian di Indonesia sangat meningkat. Dengan berkembangnya pembangunan industri perkeretaapian, maka dibutuhkan tenaga ahli yang mengerti sistem persinyalan kereta api, karena sistem persinyalan kereta api merupakan bagian terpenting yang perlu diperhatikan. Sistem persinyalan kereta api merupakan sistem elektronik yang menghubungkan beberapa peralatan di pinggir rel kereta api seperti titik mesin, sirkuit rel, lampu sinyal, dan sistem *interlocking* sebagai pengontrolnya[1]. Untuk tetap terjaga keamanannya, sistem persinyalan kereta api harus memperhatikan semua peralatan yang berada di

pinggir rel kereta api tetap berjalan dengan baik dan aman. Karena aspek terpenting dari sistem persinyalan kereta api adalah keselamatan, pengambilan keputusan dari “*interlocking system*” merupakan elemen penting dari sistem persinyalan kereta api[2]. *Interlocking System* adalah sistem terkomputerisasi yang mengontrol dan memonitor kumpulan objek di rel kereta api untuk mencegah kereta bertabrakan[1]. Sistem *interlocking* memeriksa kesesuaian perintah yang diminta dari Pusat Kontrol Lalu Lintas dengan bantuan sinyal umpan balik dan menyetujui perintah ini untuk mengirimkannya ke lapangan jika sesuai[2].

Berdasarkan berkembangnya industri perkeretaapian maka pada penelitian ini akan dibahas perancangan dan simulasi sistem persinyalan kereta api menggunakan teknologi *wireless* dan menggunakan sistem keamanan *fail safe* dari *interlocking system* dengan arduino sebagai kontrolernya. *Wireless* atau yang biasa disebut sebagai nirkabel adalah jenis jaringan yang tidak menggunakan kabel sebagai media transmisi data. Dengan teknologi *wireless*, operator atau PPKA (Pengatur Perjalanan Kereta Api) dapat berganti device dengan mudah jika terjadi masalah atau kerusakan pada device yang digunakan. Operator juga tidak perlu memasang kabel baru jika kabel yang lama sudah rusak atau sudah usang. Dipilihnya modul bluetooth sebagai teknologi *wireless* karena bluetooth lebih hemat energi karena menggunakan sistem transmisi FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) yang memungkinkan pada proses pengiriman data. Bluetooth juga memiliki tingkat keamanan yang terjamin dikarenakan bluetooth bekerja dalam lingkup PAN (Private Area Network). Sinyal pada bluetooth juga mampu menembus dinding sehingga meskipun terhalang tidak akan mengurangi kecepatan transmisi datanya. Perancangan sistem persinyalan kereta api telah mampu mencapai tingkat keberhasilan 100% pada sistem *interlocking* dengan waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk menerima data dari arduino ke aplikasi android dan sebaliknya adalah 0,472 detik. Sinyal lampu, wesel, dan *track circuit* (posisi kereta) dapat dimonitor secara real time dengan aplikasi android. Pada simulasi sistem persinyalan kereta api, waktu yang ditempuh kereta untuk rute AC dan CA yaitu 6,357 detik dengan waktu pengereman 1,714 detik. Sedangkan waktu tempuh untuk rute BC dan CB yaitu 5,272 detik dengan waktu pengereman 1,629 detik. Semua sinyal lampu akan berwarna merah dan kereta tidak akan berjalan selama ada kereta lain di depan kereta utama maupun di stasiun tujuan. Tombol *set route* juga tidak akan berhasil jika tidak sesuai dengan ketentuan.

2. Dasar Teori

2.1 Persinyalan Kereta Api

Sistem persinyalan kereta api merupakan sistem elektronik yang menghubungkan beberapa peralatan di pinggir rel kereta api seperti titik mesin, sirkuit rel, lampu sinyal, dan sistem *interlocking* sebagai pengontrolnya[1]. Persinyalan perkeretaapian adalah fasilitas operasi kereta api yang berfungsi memberi petunjuk atau isyarat berupa warna, cahaya atau informasi lainnya dengan arti tertentu.

2.2 Interlocking System

Interlocking System adalah sistem terkomputerisasi yang mengontrol dan memonitor kumpulan objek di rel kereta api untuk mencegah kereta bertabrakan. Sistem *interlocking* terdiri dari dua bagian yaitu vital dan non vital[2][3][4]. Sistem *interlocking* vital merupakan perangkat yang terhubung langsung pada jalur kereta api yang digunakan sebagai pengontrol utama. Sistem *interlocking* non vital merupakan sistem yang menerima perintah dan memberikan indikasi pada perangkat yang terpasang di sekitar lintasan kereta.

2.3 Finite State Machine

FSM (*Finite State Machine*) adalah model komputasi matematika untuk representasi rangkaian logika sekuensial dengan jumlah keadaan terbatas[3]. FSM sangat cocok digunakan untuk merancang sistem rangkaian sistem digital menyerupai sistem *interlocking*. Dengan FSM bisa mengkondisikan hanya satu state yang aktif. FSM sangat cocok karena akan membuat program lebih terstruktur dan lebih mudah dipahami.

2.4 Arduino Mega

Arduino adalah platform elektronik open-source berdasarkan perangkat keras dan perangkat lunak yang mudah digunakan[5]. Arduino dapat membaca input dan mengubahnya menjadi output sesuai dengan yang diinginkan. Dipilihnya arduino mega dikarenakan input dan outputnya yang banyak sehingga dapat menampung komponen elektronika yang jumlahnya banyak.

2.5 HC05

Modul bluetooth merupakan tambahan untuk board-board mikrokontroler yang mampu melakukan komunikasi nirkabel secara master-slave. HC-05 memiliki dua mode operasi, satu mode data di mana ia dapat mengirim dan menerima data dari perangkat Bluetooth lain dan mode lainnya adalah mode AT Command di mana pengaturan perangkat default dapat diubah[6].

2.6 KY-019 Relay Module

KY-019 Relay Module digunakan untuk mengontrol rangkaian AC, relay bertindak sebagai saklar yang merespon sinyal yang diterima dari Arduino, memiliki LED terintegrasi yang menandakan sinyal tinggi atau rendah[7].

2.7 Servo Motor

Servo merupakan gabungan perangkat yang terdiri dari motor DC, serangkaian gear, rangkaian kontrol dan potensiometer. Servo adalah aktuator yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik tertutup, sehingga dapat menginformasikan kembali posisi rotor ke rangkaian kontrol[8].

2.8 Sensor IR(FC-51)

Sensor *infrared* FC-51 merupakan sebuah sensor yang dapat mendeteksi objek yang berada didepan modul sensor. Modul sensor *infrared* FC-51 ini memiliki dua bagian, yang pertama IR transmitter, berfungsi untuk memancarkan radiasi inframerah kepada sebuah objek ataupun hambatan. Bagian kedua yaitu IR receiver berfungsi untuk mendeteksi radiasi yang telah dipantulkan oleh objek yang berasal dari IR transmitter[9].

2.9 L298N

Driver Motor L298N adalah sebuah modul yang sering sekali digunakan untuk mengendalikan motor DC. Driver Motor L298N bisa dengan mudah mengendalikan baik itu kecepatan maupun arah rotasi 2 motor sekaligus. Driver Motor L298N dirancang menggunakan IC L298 Dual H-Bridge Motor Driver berisikan gerbang gerbang logika yang sudah sangat populer dalam dunia elektronika sebagai pengendali motor[10].

2.10 Traffic Light LED Module

Traffic Light LED Module adalah sebuah modul dengan 3 LED di dalamnya dengan warna merah, kuning dan hijau. Modul ini dapat mengontrol 3 LED terang untuk menampilkan informasi dengan mudah[11].

2.11 Miniatur Kereta

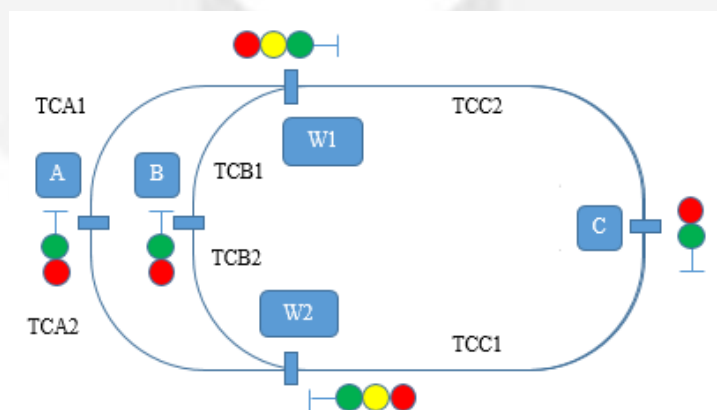
Pada penelitian ini miniatur kereta yang digunakan adalah miniatur kereta dengan skala HO 1:87. Skala HO adalah skala pemodelan transportasi kereta api menggunakan skala 1:87(3,5 mm hingga 1 kaki). Skala ini merupakan skala model kereta api yang populer di dunia.

2.12 MIT APP Inventor

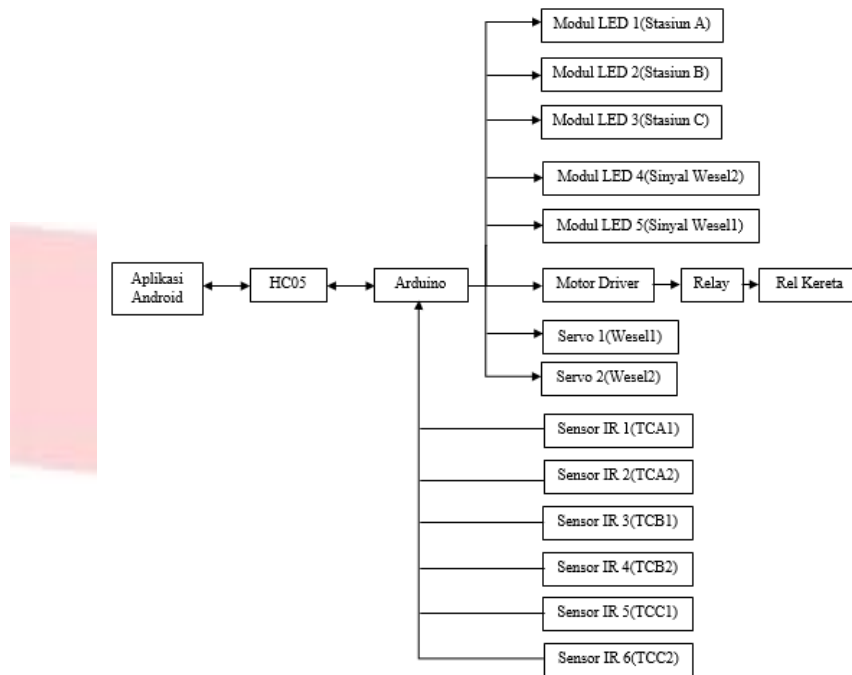
MIT App Inventor adalah alat yang memanfaatkan Bahasa visual berbasis blok untuk merancang dan membangun aplikasi seluler yang berfungsi penuh untuk Android[12][13].

3. Perancangan Sistem

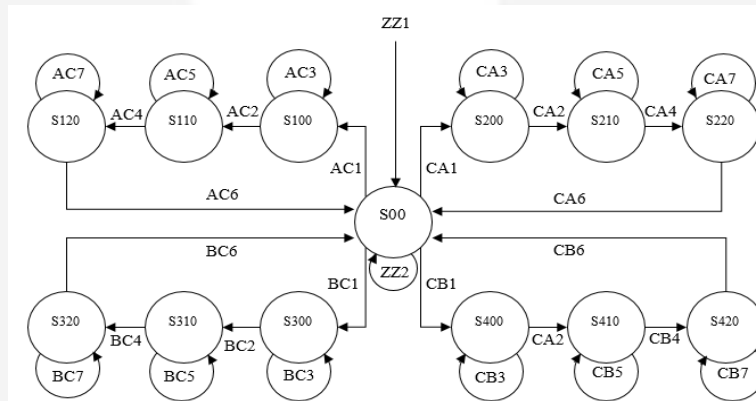
3.1 Desain Sistem



Gambar 1 Desain Persinyalan Kereta Api



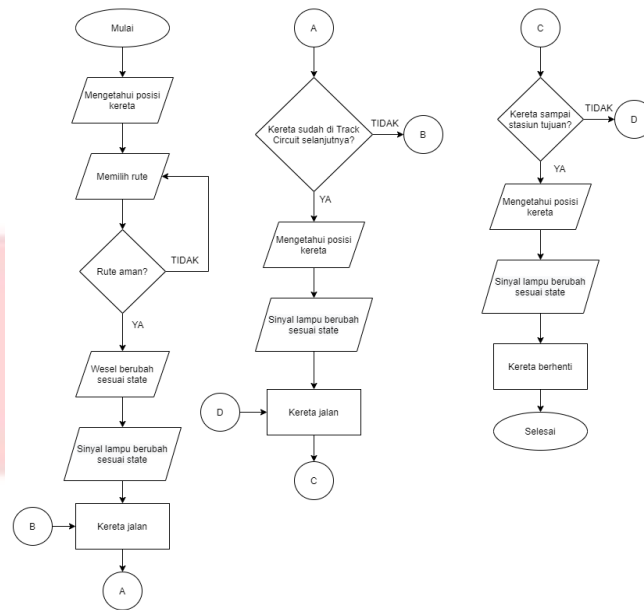
Gambar 2 Blok Diagram Sistem Keseluruhan



Gambar 3 Diagram State Persinyalan Kereta

Penelitian yang dibuat adalah Perancangan Dan Simulasi Sistem Persinyalan Kereta Api Secara Nirkabel. Pada Gambar 1 terdapat Desain Persinyalan Kereta Api dengan 3 buah stasiun yaitu stasiun A, B dan C. Juga terdapat sinyal lampu 3 aspek (merah, kuning dan hijau) di dekat wesel (W1 dan W2) dan juga sinyal lampu 2 aspek di dekat stasiun. Ada 6 *Track circuit* (TCA1, TCA2, TCB1, TCB2, TCC1 dan TCC2) sebagai pendeteksi kereta api. Bisa dilihat dari Gambar 2 Aplikasi android akan menerima masukan dari sensor IR yang telah mendeteksi keberadaan kereta. Data akan dikirim dari arduino ke aplikasi android melalui HC05. Pada aplikasi android terdapat indikator sinyal, wesel dan *track circuit*, dan juga ada tombol *set route*. Setelah *set route* dipilih, arduino akan menerima data dari aplikasi android melalui HC05 lalu modul LED dan servo akan bekerja sesuai diagram state yang ada pada Gambar 3. Motor driver akan mengatur kecepatan kereta dengan menghasilkan keluaran tegangan ke rel kereta yang membuat motor pada kereta akan bergerak. Relay berfungsi untuk memutus tegangan yang mengalir pada rel kereta supaya kereta bisa berhenti.

3.2 Desain Perangkat Lunak



Gambar 4 Diagram Alir Sistem

Bisa dilihat dari Gambar 4 merupakan diagram alir dari sistem persinyalan kereta api. Yang dimulai dari sistem harus mengetahui posisi kereta. Lalu memilih rute yang sesuai. Jika rute yang dipilih tidak aman, maka akan menunggu sampai rute aman, lalu memilih rute kembali. Setelah rute aman, maka wesel dan sinyal lampu akan berubah sesuai state diagram. Selanjutnya kereta akan jalan. Sensor akan mendeteksi apakah kereta sudah di *track circuit* selanjutnya. Jika iya maka posisi kereta akan diketahui, jika tidak maka akan ditunggu sampai kereta jalan dan terdeteksi oleh sensor. Setelah itu sinyal lampu akan berubah sesuai state diagram dan kereta akan jalan. Selanjutnya sensor akan mendeteksi lagi jika kereta sudah sampai stasiun tujuan, jika tidak maka akan ditunggu sampai kereta jalan dan terdeteksi oleh sensor. Setelah kereta sampai di stasiun tujuan, sinyal lampu akan berubah sesuai state diagram dan kereta akan berhenti.

4. Hasil Percobaan dan Analisis

4.1 Pengujian Sensor

Sebelum dilakukannya pengujian terhadap *set route* setiap stasiun, dilakukan pengujian terhadap sensor *infrared* yang bertujuan agar sensor sudah berfungsi dengan baik dalam mendeteksi posisi kereta api. Pada Gambar 5 merupakan pengujian sensor dalam mendeteksi kereta. Kereta akan dianggap terdeteksi apabila indikator LED



Gambar 5 Pengujian Sensor IR

pada sensor sudah menyala dan posisi kereta bisa diketahui pada software arduino dan aplikasi android.

Tabel 1 Tabel Uji Coba Sensor *Infrared*

| No | Sensor | Track circuit | Uji Coba Pendeteksian Miniatur Kereta | Tingkat Keberhasilan |
|----|--------|---------------|---------------------------------------|----------------------|
|----|--------|---------------|---------------------------------------|----------------------|

| | | | Berhasi | Gagal | (%) |
|-------------------------------|----------|------|---------|-------|---------------|
| 1 | Sensor 1 | TCA1 | 30 | 0 | 100.00 |
| 2 | Sensor 2 | TCA2 | 30 | 0 | 100.00 |
| 3 | Sensor 3 | TCB1 | 30 | 0 | 100.00 |
| 4 | Sensor 4 | TCB2 | 30 | 0 | 100.00 |
| 5 | Sensor 5 | TCC1 | 30 | 0 | 100.00 |
| 6 | Sensor 6 | TCC2 | 30 | 0 | 100.00 |
| Rata-rata Keberhasilan | | | | | 100.00 |

Berdasarkan Tabel 1 didapatkan tingkat keberhasilan pendeteksian miniatur kereta oleh sensor sebesar 100%. Tingkat keberhasilan yang didapatkan karena sensor ditempatkan dekat dengan rel kereta sehingga kereta masih berada dalam jangkauan pendeteksian sensor. Warna badan kereta juga berwarna cerah sehingga bisa terdeteksi sensor dengan baik. Jika badan kereta berwarna gelap, bisa dipastikan kereta tidak akan terdeteksi oleh sensor.

4.2 Pengujian Terhadap Set route Setiap Stasiun

Dalam pengujian kali ini, kereta akan diposisikan di semua stasiun secara bergantian sehingga akan diamati apakah *set route* sudah berjalan sesuai sistem *interlocking* dan apakah sensor berjalan sesuai dengan *set route* yang dipilih.

Tabel 2 Tabel Uji Coba Set route

| No | Set route | Uji Coba | | Keberhasilan Set route (%) |
|------------------|-----------|----------|-------|----------------------------|
| | | Berhasil | Gagal | |
| 1 | AC | 30 | 0 | 100.00 |
| 2 | CA | 30 | 0 | 100.00 |
| 3 | BC | 30 | 0 | 100.00 |
| 4 | CB | 30 | 0 | 100.00 |
| Rata-rata | | | | 100.00 |

Berdasarkan data Tabel 2 didapatkan tingkat keberhasilan kereta dalam menjalankan *set route* hingga selesai sebesar 100%. Tingkat keberhasilan yang didapatkan karena rute yang akan dilewati kereta sudah dalam kondisi aman atau tidak ada kereta didepannya. Jika ada kereta lain di rute tersebut, maka kereta akan berhenti dan menjalankan sistem failsafe.

4.3 Pengujian Respon Waktu Pengiriman Data

Dalam pengujian kali ini, parameter yang akan ditinjau adalah waktu pengiriman data dari arduino ke aplikasi android dan sebaliknya dengan perantara bluetooth. Data yang dikirim dari arduino ke aplikasi android adalah kondisi sinyal lampu, kondisi wesel, dan posisi kereta. Sedangkan data yang dikirim dari aplikasi android ke arduino adalah tombol *set route*.

Tabel 3 Tabel Uji Coba Rata-rata Waktu Pengiriman Data

| No | Nama | Banyak Percobaan | Rata-rata waktu (detik) |
|----|------|------------------|-------------------------|
| 1 | TCA1 | 30 | 0,469 |
| 2 | TCA2 | 30 | 0,466 |
| 3 | TCB1 | 30 | 0,475 |
| 4 | TCB2 | 30 | 0,460 |
| 5 | TCC1 | 30 | 0,480 |
| 6 | TCC2 | 30 | 0,464 |
| 7 | W1 | 30 | 0,476 |
| 8 | W2 | 30 | 0,481 |
| 9 | LW1 | 30 | 0,461 |
| 10 | LW2 | 30 | 0,462 |
| 11 | LA | 30 | 0,481 |
| 12 | LB | 30 | 0,465 |

| | | | |
|------------------------------------|------------------|----|--------------|
| 13 | LC | 30 | 0,490 |
| 14 | Set route Button | 30 | 0,471 |
| Rata-rata Keseluruhan Waktu | | | 0,472 |

Berdasarkan Tabel 4.9 didapatkan rata-rata waktu untuk pengiriman dan penerimaan data baik dari arduino ke aplikasi android maupun sebaliknya yaitu 0,472 detik. Dengan rata-rata waktu 0,472 detik untuk pengiriman dan penerimaan data masih tergolong cukup baik, karena waktu tempuh kereta dari *track circuit* ke *track circuit* lain lebih dari 0,472 detik.

4.4 Pengujian Terhadap Fail Safe

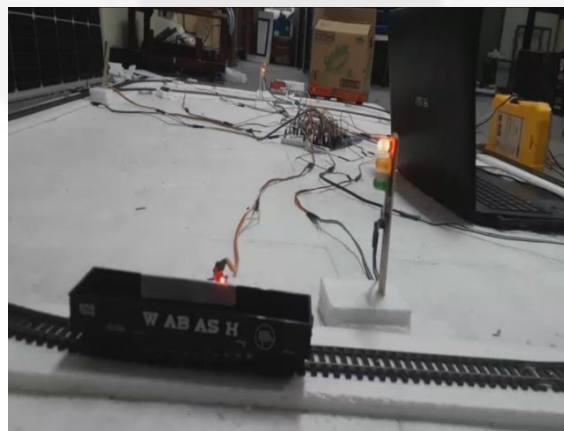
Dalam pengujian kali ini, parameter yang akan ditinjau adalah seberapa baik kereta dalam menjalankan sistem *interlocking*. Terdapat 3 skenario yang akan dilakukan untuk pengujian ini. Pertama sebuah kereta *dummy* akan ditempatkan di *track circuit* di depan kereta utama tepat di posisi sensor *infrared*. Kedua sebuah kereta *dummy* akan ditempatkan pada stasiun tujuan kereta utama. Ketiga menentukan rute perjalanan kereta secara acak.

Tabel 4 Tabel Data Uji Coba Failsafe Skenario 1



Gambar 6 Kereta Dummy di Depan Kereta Utama

| No | Set route | Uji Coba Kereta | | Keberhasilan (%) |
|------------------|-----------|-----------------|-------|------------------|
| | | Diam | Jalan | |
| 1 | AC | 30 | 0 | 100.00 |
| 2 | CA | 30 | 0 | 100.00 |
| 3 | BC | 30 | 0 | 100.00 |
| 4 | CB | 30 | 0 | 100.00 |
| Rata-rata | | | | 100.00 |



Gambar 7 Kereta Dummy di Stasiun Tujuan

Tabel 5 Tabel Data Uji Coba Failsafe Skenario 2

| No | Set route | Uji Coba Kereta | | Keberhasilan (%) |
|------------------|-----------|-----------------|-------|------------------|
| | | Diam | Jalan | |
| 1 | AC | 30 | 0 | 100.00 |
| 2 | CA | 30 | 0 | 100.00 |
| 3 | BC | 30 | 0 | 100.00 |
| 4 | CB | 30 | 0 | 100.00 |
| Rata-rata | | | | 100.00 |

Dalam pengujian skenario ketiga, kereta akan ditempatkan pada setiap stasiun. Pada Tabel 6 menunjukkan aturan sistem *interlocking* yang harus dilaksanakan.

Tabel 6 Tabel Autran Tombol Set route

| Stasiun Saat Ini | Set route yang Diperbolehkan | Set route yang Tidak Diperbolehkan |
|------------------|------------------------------|------------------------------------|
| A | AC | BC, CA, CB |
| B | BC | AC, CA, CB |
| C | CA, CB | AC, BC |

Tabel 7 Tabel Data Uji Coba Failsafe Skenario 3

| No | Stasiun | | Set route yang Tidak Diperbolehkan Ditekan | | Keberhasilan (%) |
|------------------|---------|-------|--|-------|------------------|
| | Awal | Akhir | Diam | Jalan | |
| 1 | A | C | 30 | 0 | 100.00 |
| 2 | B | C | 30 | 0 | 100.00 |
| 3 | C | A | 30 | 0 | 100.00 |
| 4 | C | B | 30 | 0 | 100.00 |
| Rata-rata | | | | | 100.00 |

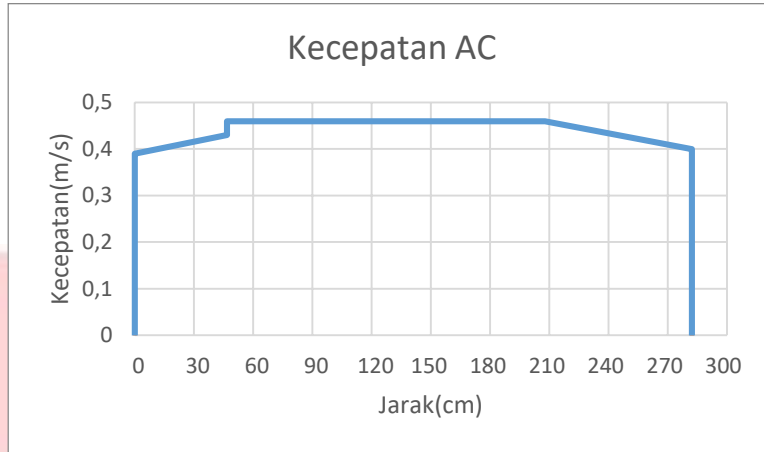
Berdasarkan data skenario satu dua dan tiga, Tabel 4, Tabel 5 dan Tabel 6 didapatkan tingkat keberhasilan kereta menjalankan sistem *interlocking* nya sebesar 100%. Tingkat keberhasilan ini didapatkan karena relay yang terhubung dengan rel kereta akan memutuskan tegangan listrik yang mengalir ke rel kereta sehingga kereta tidak akan berjalan jika ada kereta lain di depan *track circuit* kereta utama maupun di stasiun tujuan. Sedangkan jika tombol *set route* yang tidak diperbolehkan ditekan, kereta akan diam saja karena sudah diprogram supaya tidak mengeksekusi selain yang diperbolehkan. Didalam program, sinyal lampu juga akan berada pada kondisi merah semua.

4.5 Pengujian Kecepatan Kereta

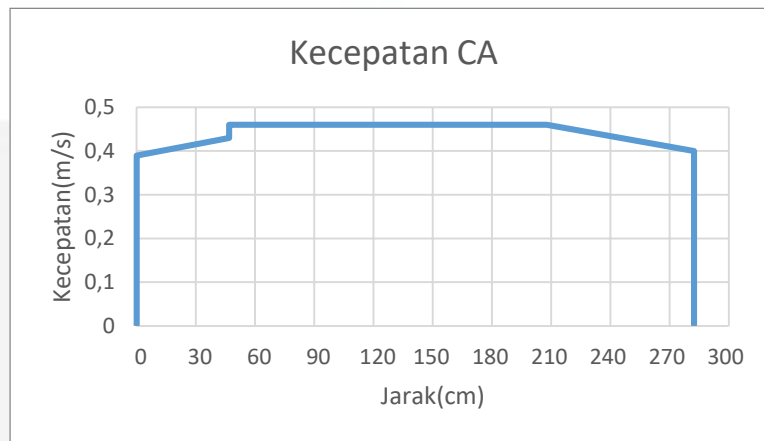
Dalam pengujian kali ini, parameter yang akan ditinjau adalah kecepatan dan jarak tempuh kereta dari sebuah stasiun menuju ke stasiun yang diinginkan. Kecepatan kereta tidak konstan mengikuti seperti kereta aslinya dengan percepatan dan perlambatan.

Tabel 8 Tabel Data Uji Coba Jarak dan Kecepatan Pada Segment Rute AC dan CA

| Segment ke- | Jarak(cm) | Kecepatan(m/s) |
|-------------|------------------|----------------|
| 1 | 0 - 46,825 | 0,39 - 0,43 |
| 2 | 46,825 - 207,825 | 0,46 |
| 3 | 207,825 - 282,3 | 0,46 - 0,4 |



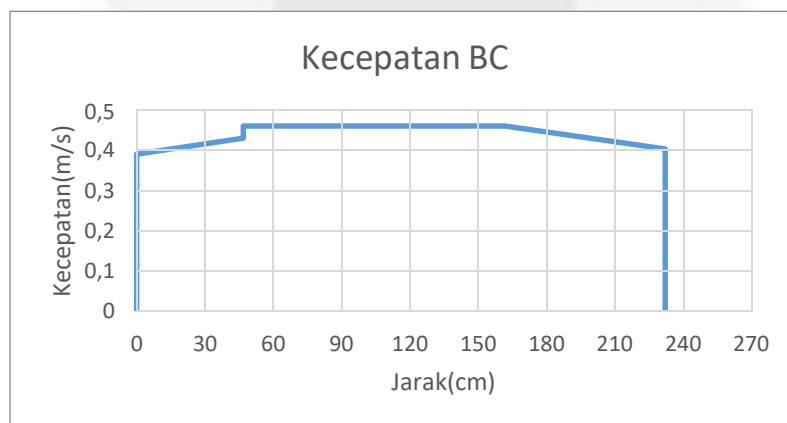
Gambar 8 Kurva Kecepatan AC



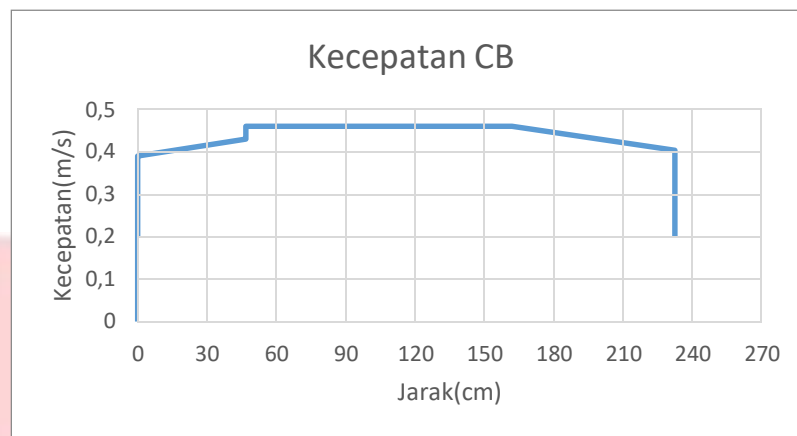
Gambar 9 Kurva Kecepatan CA

Tabel 9 Tabel Data Uji Coba Jarak dan Kecepatan Pada Segment Rute BC dan CB

| Segment ke- | Jarak(cm) | Kecepatan(m/s) |
|-------------|------------------|----------------|
| 1 | 0 - 46,825 | 0,39 - 0,43 |
| 2 | 46,825 - 161,825 | 0,46 |
| 3 | 161,825 - 232,3 | 0,46 - 0,403 |



Gambar 10 Kurva Kecepatan BC



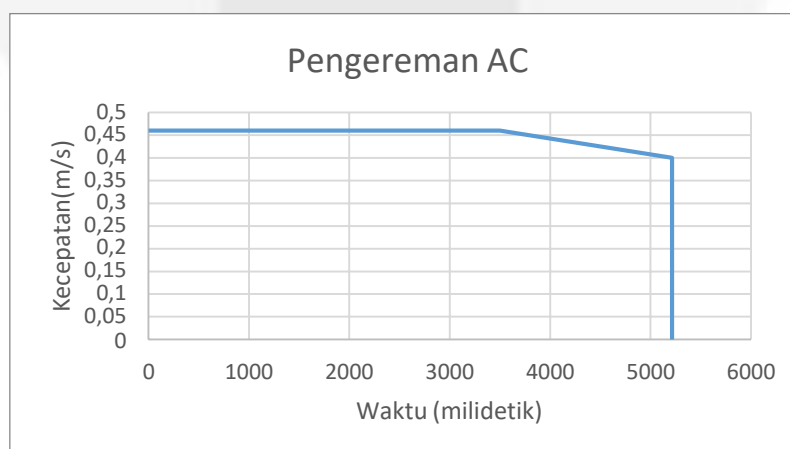
Gambar 11 Kurva Kecepatan CB

Pada Gambar 8 dan Gambar 9 memiliki grafik yang sama karena memiliki panjang jalur yang sama dan memiliki percepatan dan perlambatan yang sama. Pada jarak ke 0cm memiliki percepatan dari 0m/s sampai 0,39m/s tanpa perubahan jarak, hal ini dikarenakan masukan kecepatan awal kereta yaitu 0,39m/s. Sehingga kereta yang awalnya diam(kecepatannya 0m/s) akan bergerak ketika kecepatan sudah mencapai 0,39m/s. Lalu pada jarak ke 46,825cm memiliki dua kecepatan yaitu 0,43m/s dan 0,46m/s dikarenakan ketika kereta sudah dideteksi sensor(pada jarak ke 46,825cm), maka pada kecepatan 0,43m/s program arduino langsung merubah kecepatannya menjadi 0,46m/s. Pada jarak ke 207,825cm kereta akan melakukan perlambatan sampai jarak ke 282,3cm, Kecepatan akhir kereta pada jarak 282,3cm adalah 0,4m/s lalu menuju ke 0m/s dikarenakan pada saat kereta sudah mencapai jarak ke 282,3cm relay akan memutuskan tegangan yang mengalir pada rel kereta.

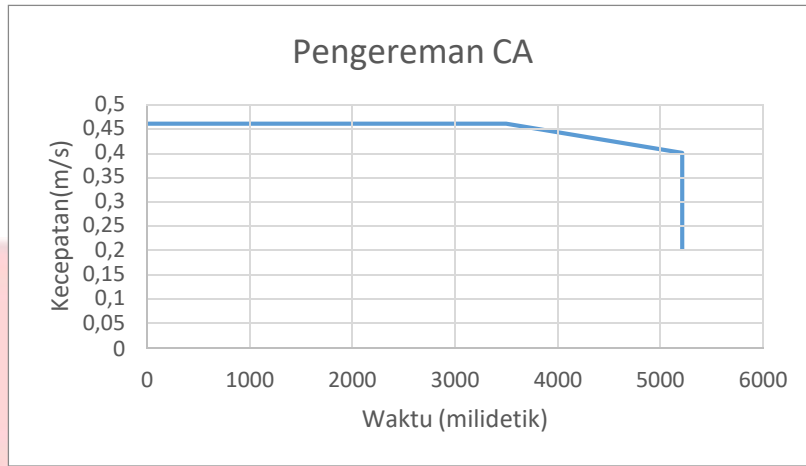
Begitu pula dengan Gambar 10 dan Gambar 11 memiliki grafik yang sama karena memiliki panjang jalur yang sama dan memiliki percepatan dan perlambatan yang sama. Pada jarak ke 0cm memiliki percepatan dari 0m/s sampai 0,39m/s tanpa perubahan jarak, hal ini dikarenakan masukan kecepatan awal kereta yaitu 0,39m/s. Sehingga kereta yang awalnya diam(kecepatannya 0m/s) akan bergerak ketika kecepatan sudah mencapai 0,39m/s. Lalu pada jarak ke 46,825cm memiliki dua kecepatan yaitu 0,43m/s dan 0,46m/s dikarenakan ketika kereta sudah dideteksi sensor(pada jarak ke 46,825cm), maka pada kecepatan 0,43m/s program arduino langsung merubah kecepatannya menjadi 0,46m/s. Pada jarak ke 161,825cm kereta akan melakukan perlambatan sampai jarak ke 232,3cm, Kecepatan akhir kereta pada jarak 232,3cm adalah 0,403m/s lalu menuju ke 0m/s dikarenakan pada saat kereta sudah mencapai jarak ke 232,3cm relay akan memutuskan tegangan yang mengalir pada rel kereta.

4.6 Pengujian Pengereman Kereta

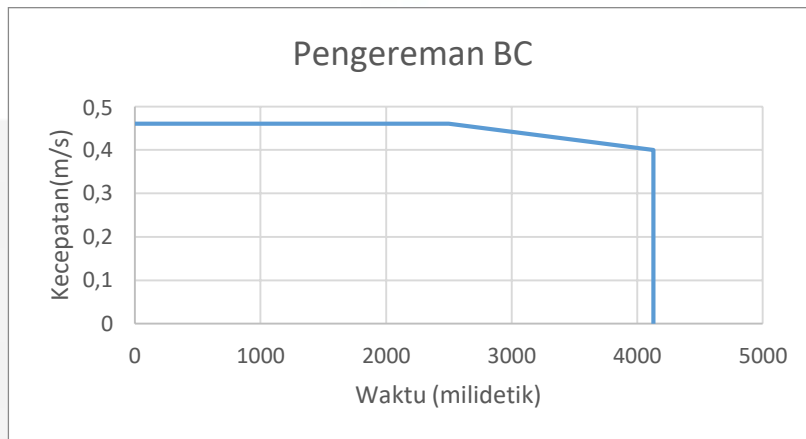
Dalam pengujian kali ini, parameter yang akan ditinjau adalah waktu dan kecepatan kereta pada saat pengerem. Pengereman akan dihitung dari dua segment sebelum kereta berhenti pada pengujian sebelumnya.



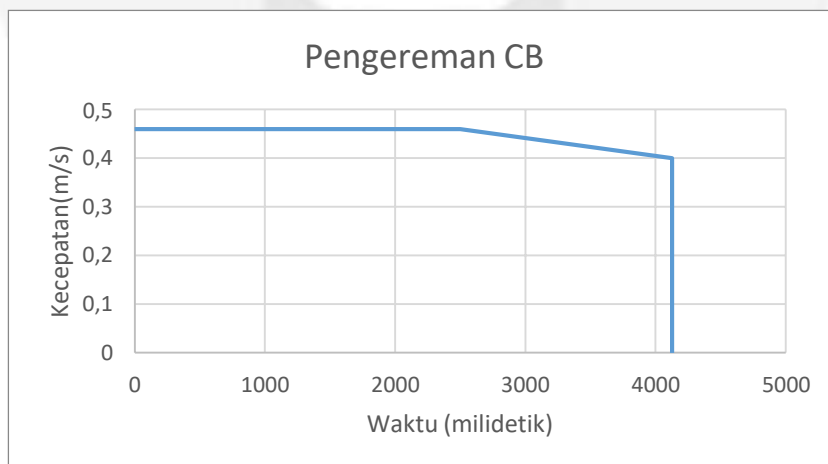
Gambar 12 Kurva Pengereman AC



Gambar 13 Kurva Pengereman CA



Gambar 14 Kurva Pengereman BC



Gambar 15 Kurva Pengereman CB

Pada Gambar 12 dan Gambar 13 memiliki grafik yang sama karena memiliki panjang jarak yang sama. Pada waktu ke 0 detik sampai ke 3,5 detik, kereta bergerak dengan kecepatan konstan yaitu 0,46m/s. Lalu pada waktu ke 3,5 detik sampai ke 5,214 detik, kereta melakukan perlambatan dari kecepatan 0,46m/s sampai ke 0,4m/s.

Kecepatan akhir kereta pada detik ke 5,214 detik adalah 0,4m/s lalu menuju ke 0m/s dikarenakan relay yang memutuskan tegangan yang mengalir pada rel kereta. Sehingga dari grafik bisa dilihat bahwa kereta akan berhenti dari kecepatan maksimumnya yaitu 0,46m/s ke 0,4m/s hingga berhenti dengan waktu 1,714 detik.

Begitu pula dengan Gambar 14 dan Gambar 15 memiliki grafik yang sama karena memiliki panjang jarak yang sama. Pada waktu ke 0 detik sampai ke 2,5 detik, kereta bergerak dengan kecepatan konstan yaitu 0,46m/s. Lalu pada waktu ke 2,5 detik sampai ke 4,129 detik, kereta melakukan perlambatan dari kecepatan 0,46m/s sampai ke 0,403m/s. Sehingga dari grafik bisa dilihat bahwa kereta akan berhenti dari kecepatan maksimumnya yaitu 0,46m/s ke 0,403m/s hingga berhenti dengan waktu 1,629 detik.

5. Kesimpulan

Berdasarkan dari perancangan dan percobaan yang telah dilakukan pada sistem persinyalan kereta api, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Persinyalan kereta api mampu menjalankan misinya untuk setiap rute dari stasiun A ke C, C ke A, B ke C dan C ke B dengan tingkat keberhasilan 100%.
2. FSM dapat bekerja dalam desain *interlocking* dengan tingkat keakuratan kereta dalam mengatasi failsafe ketika ada kereta *dummy* di depan kereta utama, ketika ada kereta *dummy* di stasiun tujuan dan ketika *set route* button ditekan secara sembarang.
3. Pengiriman data dari arduino ke aplikasi android dan sebaliknya didapat waktu rata-rata 0,472 detik.
4. Waktu yang ditempuh kereta untuk rute AC dan CA yaitu 6,357 detik dengan waktu pengereman 1,714 detik. Sedangkan waktu tempuh untuk rute BC dan CB yaitu 5,272 detik dengan waktu pengereman 1,629 detik.

Referensi :

- [1] C. P, "Railway-technical," 2020. <http://www.railway-technical.com/signalling/> (accessed Oct. 01, 2020).
- [2] E. Dincel, O. Eris, and S. Kurtulan, "Automata-based railway signaling and *interlocking* system design," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 55, no. 4, pp. 308–319, 2013, doi: 10.1109/MAP.2013.6645212.
- [3] X. Chen, Y. He, and H. Huang, "An approach to automatic development of *interlocking* logic based on statechart," *Enterp. Inf. Syst.*, vol. 5, no. 3, pp. 273–286, 2011, doi: 10.1080/17517575.2011.575475.
- [4] F. M. Lf, "Makalah Seminar Kerja Praktek PRINSIP PEMBENTUKAN JALUR KERETA API DI KAWASAN TAWANG DENGAN bagian rute , atau sinyal untuk melanjutkan dibatalkan dan ada cukup waktu untuk memastikan bahwa kereta dapat berhenti . Sejarah *Interlocking* Sebuah *interlocking* ," 1945.
- [5] Arduino, "Arduino," *arduino*, 2018. <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> (accessed Oct. 01, 2020).
- [6] Components101, "HC-05 - Bluetooth Module," 2018. <https://components101.com/wireless/hc-05-bluetooth-module>.
- [7] Arduinomodules, "KY-019 5V RELAY MODULE," 2020. <https://arduinomodules.info/ky-019-5v-relay-module/>.
- [8] S. Database, "TowerPro SG90 Servo." <https://servodatabase.com/servo/towerpro/sg90> (accessed Oct. 31, 2020).
- [9] D. De, "SENSOR *INFRARED* FC-51," 2019. [https://teknisibali.com/cara-program-modul-sensor-infrared-fc-51-dengan-arduino/#:~:text=Fitur dan Spesifikasi Modul Sensor *Infrared* FC-51&text=Output level adalah digital output,Modul ini menggunakan komparator LM393](https://teknisibali.com/cara-program-modul-sensor-infrared-fc-51-dengan-arduino/#:~:text=Fitur dan Spesifikasi Modul Sensor Infrared FC-51&text=Output level adalah digital output,Modul ini menggunakan komparator LM393).
- [10] M. H. Al Khairi, "Tutorial Lengkap Menggunakan Driver L298N dengan Arduino," 2021. <https://www.mahirelektro.com/2020/02/tutorial-menggunakan-driver-motor-l298n-pada-Arduino.html>.
- [11] F. Workshop, "Traffic Light LED Module." <https://fluxworkshop.com/products/bbaa100043-traffic-light-black?variant=32458452631612>.
- [12] S. C. Pokress, "MIT App Inventor Enabling personal mobile computing," pp. 0–2, 2013.
- [13] B. Xie and H. Abelson, "Skill Progression in MIT App Inventor," pp. 213–217, 2016.