

PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM KERETA API OTOMATIS MENGUNAKAN DUA BUAH LOKOMOTIF

DESIGN AND SIMULATION OF AN AUTOMATIC TRAIN SYSTEM USING TWO LOCOMOTIVES

Defrizal Sudarfiero¹, Agung Surya Wibowo², Ahmad Sugiana³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

defrizalviero@student.telkomuniversity.ac.id¹, agungsw@telkomuniversity.ac.id²,
sugiana@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Kereta api merupakan sistem ideal untuk otomatisasi karena menggunakan sistem panduan yang tetap, akselerasi dan pengeremannya dapat diprediksi, posisinya terdeteksi, arahnya dikonfirmasi, serta waktunya diatur. Sistem FSM akan membantu *Fail safe* yang akan digunakan untuk melengkapi interlocking sistem pada persinyalan ini membuat keamanan yang cukup membantu untuk penelitian ini. Kereta yang akan digunakan adalah dua buah miniatur skala HO (1:87) dengan dua stasiun dengan dua lajur pada stasiun, dua lokomotif, dan sensor Infrared sebagai pendeteksi kereta api. Komunikasi Master-slave yang terdiri dari satu master pada persinyalan dan dua slave kereta dengan respon waktu rata-rata pengiriman master ke slave 1 yaitu 2.17 detik dan 2.16 detik untuk slave 2. Kereta dapat berjalan pada lintasan lurus dengan kecepatan maksimum pada kereta 1 yaitu 0.28 m/s dan kecepatan minimum 0.22 m/s sedangkan pada kereta 2 kecepatan maksimum yaitu 0.26 m/s dan kecepatan minimum yaitu 0.21 m/s. Waktu yang ditempuh oleh kereta satu dari stasiun A1 ke B1 dan sebaliknya yaitu 9.87 detik. Sedangkan waktu yang ditempuh oleh kereta 2 dari stasiun A2 ke B2 dan sebaliknya yaitu 10.57 detik. Dari hasil tersebut, maka perancangan sistem kereta api otomatis telah mencapai tingkat keberhasilan 100% pada sistem interlocking dengan kontrol kereta yang berkerja dengan baik.

Kata kunci : *Interlocking System, Sensor Infrared, Automatic Train System, Persinyalan Kereta Api, Master-Slave*

Abstract

The train is an ideal system for automation because it utilizes a fixed guiding system, its acceleration and braking can be predicted, its position is detected, its direction is confirmed, and its timing is scheduled. The FSM (Finite State Machine) system will assist in fail-safe, which will be used to complement the interlocking system in this signaling, ensuring a considerably secure environment for this research. The trains used are two HO scale (1:87) miniature models with two stations having two tracks each, two locomotives, and Infrared sensors as train detectors. The communication is implemented using a Master-Slave configuration, with one master at the signaling station and two slave trains. The average response time for the master-to-slave communication is 2.17 seconds for slave 1 and 2.16 seconds for slave 2. The trains can operate on straight tracks with maximum speeds of 0.28 m/s for train 1 and 0.26 m/s for train 2, while their minimum speeds are 0.22 m/s and 0.21 m/s, respectively. The time taken by train 1 from station A1 to B1 and vice versa is 9.87 seconds, while train 2 takes 10.57 seconds to travel from station A2 to B2 and back. Based on the results, the automated train system design has achieved a 100% success rate in the interlocking system, with the train control functioning effectively.

Keywords : *Infrared Sensor, Interlocking System, Automatic Train System, Railway Signaling, Master-Slave.*

1. Pendahuluan

Kereta api merupakan salah satu transportasi darat massal yang sering digunakan karena memiliki keunggulan dalam efisiensi biaya, kenyamanan, serta praktis digunakan untuk perjalanan dekat maupun jauh. Hal tersebut membuat perkembangan industri kereta api terus berkembang pesat dengan segala teknologinya terutama Indonesia yang sedang banyak melakukan pembangunan pada perkeretaapian.

Perkembangan industri kereta api Indonesia sangat meningkat. Banyaknya pembangunan yang dilakukan pada industri kereta api seperti kereta cepat, MRT, dan LRT harus memiliki tingkat keamanan semaksimal mungkin. Beberapa daerah Indonesia yaitu Kalimantan dan Sulawesi sedang melakukan pembangunan pada industri perkeretaapian ini hingga total panjang track sejauh 347 km mencakup Sulawesi dengan panjang jalur track 144 km dan Kalimantan dengan panjang jalur track 203 km [1]. Keamanan pada perkeretaapian yang sangat penting yaitu berada pada persinyalan kereta api. Persinyalan dan telekomunikasi pada perkeretaapian memiliki peran penting dalam mengamankan perjalanan kereta api, baik lajur tunggal maupun ganda. Persinyalan kereta api merupakan sistem yang menghubungkan beberapa alat seperti lampu sinyal, sistem *interlocking*, dan track sirkuit,

lidah wessel yang berfungsi mengamankan kereta api yang hendak masuk stasiun, di stasiun dan keluar stasiun. Sedangkan telekomunikasi pada perkeretaapian berguna untuk mengamankan hubungan antardua stasiun [2][4]. Maka dibutuhkan tenaga ahli yang mengerti sistem persinyalan kereta api agar perkembangan kereta api sejalan dengan keamanan yang maksimal. Sistem *interlocking* merupakan sistem terpadu yang berfungsi mengontrol, memonitor, dan pengamanan perangkat pada jalur kereta api untuk mencegah terjadinya kesalahan komunikasi pada jalur yang menyebabkan kereta bertabrakan [4]. Kereta api juga merupakan sistem yang ideal untuk otomatisasi karena menggunakan sistem panduan yang tetap, akselerasi dan pengeremannya dapat diprediksi, posisinya terdeteksi, arahnya dikonfirmasi, serta waktunya diatur. Semua ini membuat otomatisasi kontrol kereta api menjadi tugas yang relatif sederhana [3].

Maka penelitian ini akan membahas perancangan dan simulasi sistem persinyalan kereta api dengan komunikasi satu master dan dua slave untuk kereta api otomatis, menggunakan keamanan *failsafe* dari *interlocking system* dengan satu buah Arduino mega dan wemos D1 mini pada pusat persinyalan untuk mengontrol persinyalan kereta api dan satu buah wemos D1 mini pada tiap kereta sebagai kontroler yang dapat mengontrol kereta api melaju dan berhenti sesuai dengan arahan dari arduino mega. Dengan sistem *failsafe* dan menggunakan teknologi kereta api otomatis, persinyalan menggunakan dua buah lokomotif dan empat stasiun dapat mengontrol persinyalan perkereta apian dan mengontrol lokomotif kapan akan maju ataupun berhenti secara bergantian, sehingga kereta tidak akan mungkin bertabrakan dan akan berjalan bergantian sesuai dengan jadwal masing-masing yang telah ditentukan.

2. Dasar Teori

2.1 Persinyalan Kereta Api

Persinyalan dan telekomunikasi pada perkeretaapian memiliki peran penting dalam mengamankan perjalanan kereta api, baik lajur tunggal maupun ganda. Seiring berkembangnya zaman dan dimasa yang akan datang, kereta api mekanik akan tergantikan oleh kereta api listrik ataupun kereta api otomatis. Peralatan Persinyalan Perkeretaapian adalah fasilitas operasi kereta api yang berfungsi memberi petunjuk atau isyarat berupa warna, cahaya atau informasi lainnya dengan arti tertentu. Jenis sinyal pada perkeretaapian digolongkan dalam sinyal elektrik dan sinyal mekanik [7]:

2.3 Interlocking System

Sistem *interlocking* adalah suatu sistem terpadu yang berfungsi untuk mengontrol, memonitor, dan pengamanan perangkat pada jalur kereta api untuk mencegah kesalahan komunikasi di jalur yang menyebabkan tabrakan kereta api [4]. 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 mereka cocok. Jika tidak, permintaan yang tertunda akan ditolak, dan pemberitahuan yang diperlukan juga ditransfer ke Lalu Lintas Pusat Kontrol dengan sistem *interlocking* [6]. Sistem *interlocking* ini terbagi menjadi dua, yaitu sistem *interlocking vital* (motor wesel, lampu sinyal, pendeteksi kereta) dan sistem *interlocking nonvital* (HMI, LCP).

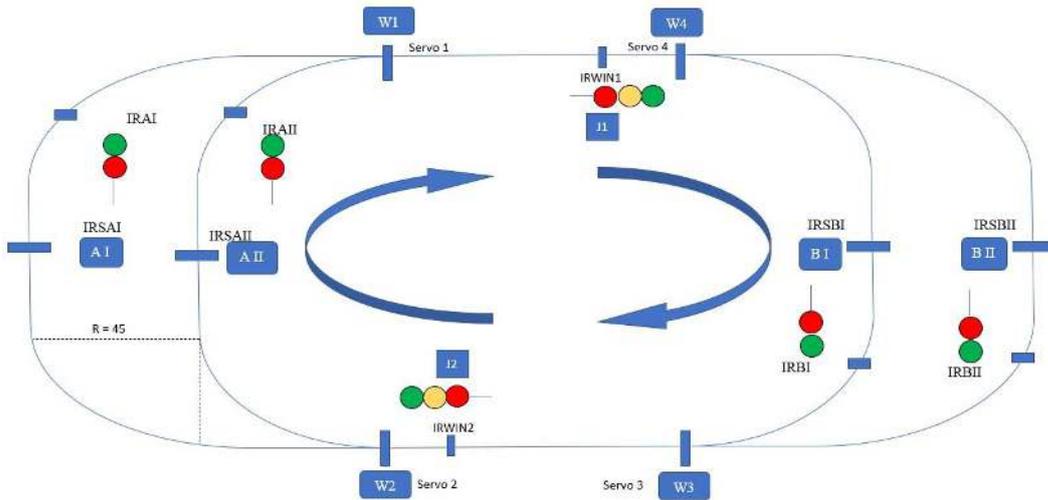
2.4 Finite State Machine

FSM atau Finite State Machine adalah model perhitungan yang dapat dijalankan dengan bantuan perangkat keras atau perangkat lunak. FSM digunakan untuk membuat logika sekuensial serta beberapa program komputer. FSM digunakan untuk memecahkan masalah di bidang-bidang seperti matematika, permainan, linguistik, dan kecerdasan buatan. Dalam sistem di mana input spesifik dapat menyebabkan perubahan spesifik pada status yang dapat ditandai dengan bantuan FSM [5].

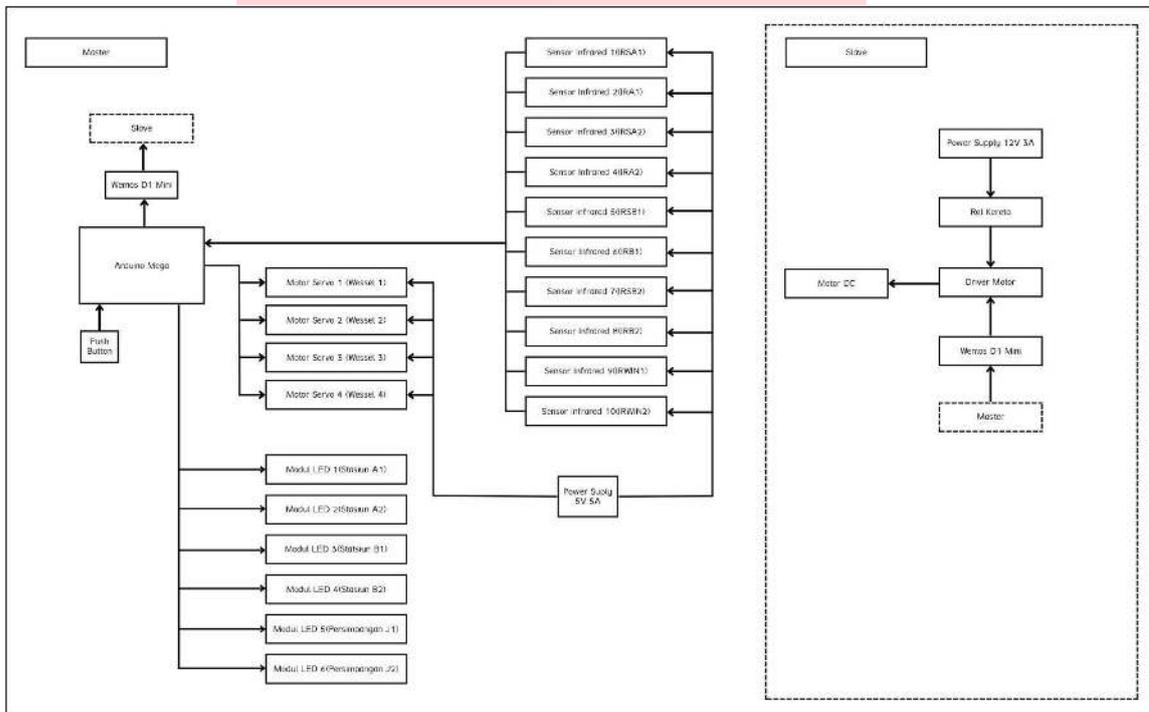
3. Perancangan Sistem

3.1 Desain Sistem

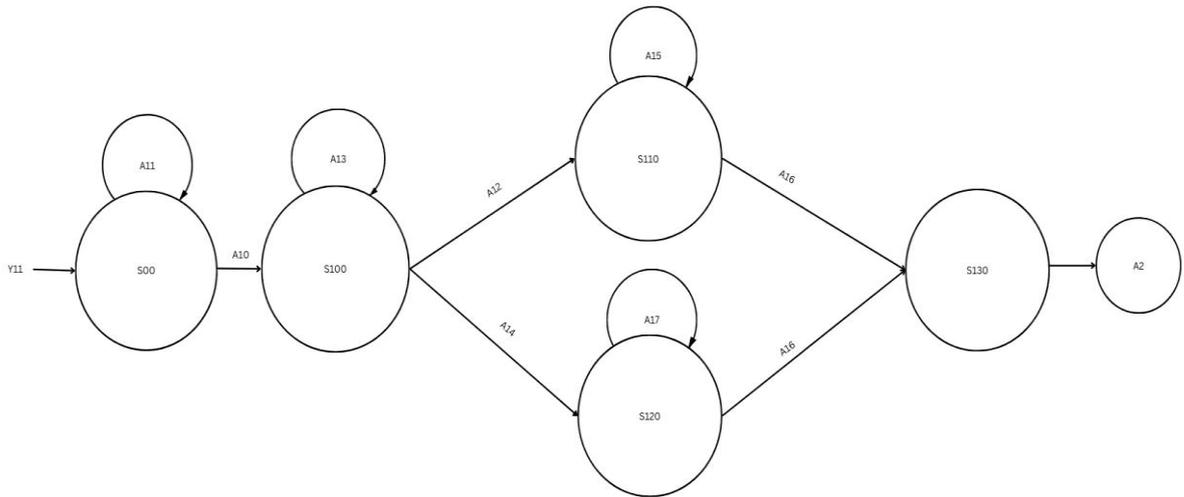
Pada tugas akhir ini akan menggunakan beragam komponen yang dikonfigurasi agar dapat bekerja sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.



Gambar 1 Disain Rute Persinyalan Kereta Api



Gambar 2 Diagram Blok Sistem Keseluruhan

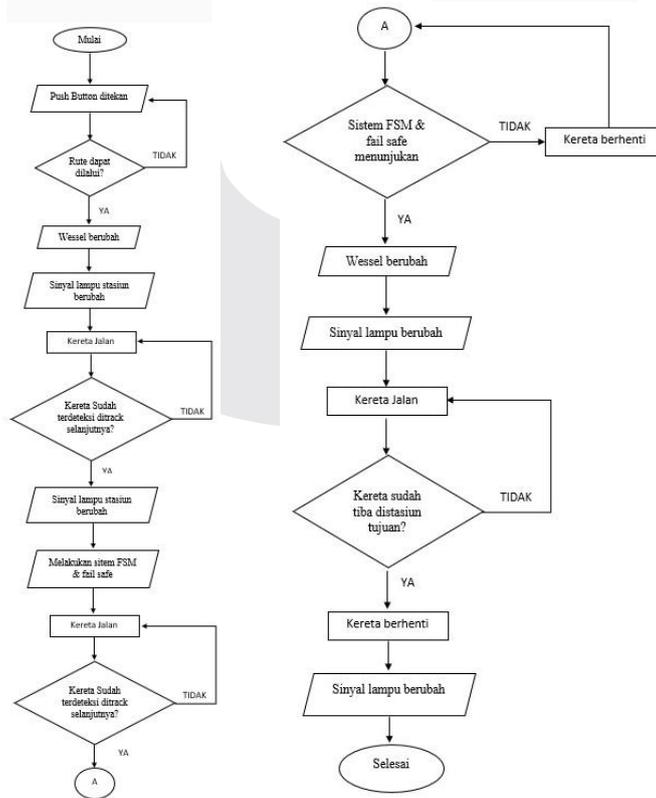


Gambar 3 Diagram Finite state machine A1 menuju B

Penelitian yang dibuat adalah Perancangan dan Simulasi Sistem Kereta Api Otomatis Menggunakan Dua Buah Lokomotif. Pada gambar 1 terdapat desain persinyalan kereta api dengan dua buah stasiun A dan B dengan dua lajur disetiap stasiun. Terdapat lampu dua aspek pada tiap stasiun dan lampu tiga aspek pada persimpangan sebelum memasuki stasiun serta terdapat empat buah wessel. Terdapat 10 pendeteksi kereta api (IRSA1, IRA1, IRSA2, IRA2, IRSB1, IRB1, IRSB2, IRB2, IRWIN1, dan IRWIN2) guna mendeteksi keberadaan kereta api. Dapat dilihat pada Gambar 2 pada bagian master Arduino Mega akan menerima masukan dari sensor IR yang mendeteksi keberadaan kereta kemudian Motor Servo dan Modul LED akan mengeluarkan output sesuai dengan diagram finite state machine pada Gambar 3 dan wemos akan mengirimkan perintah kepada bagian Slave untuk menjalankan kan kereta. Kereta akan berjalan ketika slave mendapatkan perintah dari master untuk berjalan dan akan berhenti ketika mendapatkan perintah untuk berhenti serta slave dapat mengatur kecepatan kereta sesuai dengan program yang dibuat.

3.2 Desain Perangkat Lunak

Pada tugas akhir ini akan menggunakan arduino dan wemos yang akan mengontrol persinyalan kereta api dan menggerakkan kereta secara nirkabel.



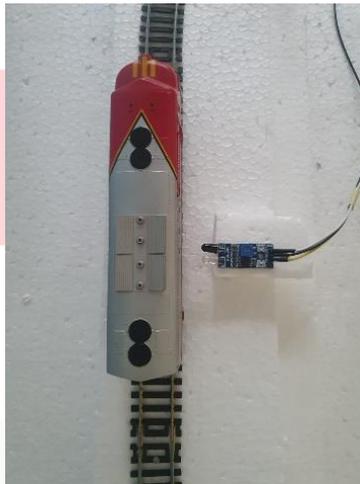
Gambar 4 Diagram Alir Sistem

Dapat pada Gambar 4 merupakan digram alir dari sistem persinyalan kereta api. Dimulai setelah push button ditekan atau *value* bernilai satu. Jika jalur yang akan dilalui aman, maka wesel akan bergerak, lampu sinyal akan berubah, kemudian kereta berjalan. Selanjutnya sistem akan memeriksa apakah kereta sudah terdeteksi oleh sensor selanjutnya. Jika ya maka lampu sinyal pada stasiun berubah dan melakukan sistem keamanan interlocking kereta. Kereta akan berjalan menuju stasiun tujuan bila failsafe menyatakan aman untuk memasuki stasiun, jika tidak maka kereta akan berhenti pada persimpangan menunggu hingga stasiun kosong dan kereta akan masuk kembali jika stasiun kosong.

4. Hasil Pengujian dan Analisis Sistem

4.1 Pengujian Sensor Infrared

Sebelum dilakukan pengujian terhadap sistem, telah dilakukan pengujian terhadap sensor *infrared* yang bertujuan untuk menguji kelayakan dari alat agar berfungsi dengan baik untuk mendeteksi kereta yang akan berjalan pada jalur. Sensor berhasil mendeteksi ketika kedua lampu indikator pada sensor menyala.



Gambar 4 Sensor IR Mendeteksi Kereta

Tabel 1 Uji Coba Sensor Infrared

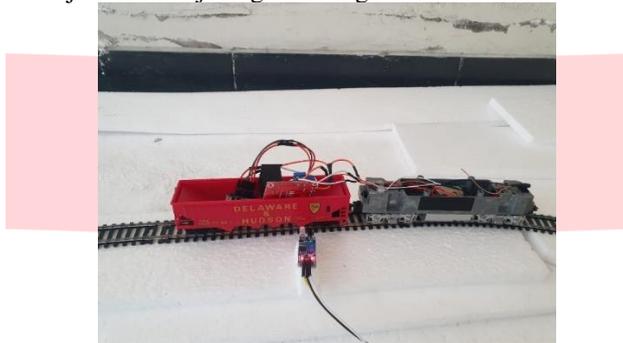
No	Sensor	Track circuit	Uji Coba Pendeteksian Miniatur Kereta		Tingkat Keberhasilan (%)
			Berhasil	Gagal	
1	Sensor 1	IRSA1	20	0	100%
2	Sensor 2	IRA1	20	0	100%
3	Sensor 3	IRSA2	20	0	100%
4	Sensor 4	IRA2	20	0	100%
5	Sensor 5	IRSB1	20	0	100%
6	Sensor 6	IRB1	20	0	100%
7	Sensor 7	IRSB2	20	0	100%
8	Sensor 8	IRB2	20	0	100%

9	Sensor 9	IRWIN1	20	0	100%
10	Sensor 10	IRWIN2	20	0	100%
Rata-rata Keberhasilan					100%

Berdasarkan hasil dari Tabel 1 didapatkan tingkat keberhasilan dari pengujian sensor yaitu 100%. Tingkat keberhasilan didapatkan ketika sensor sudah diletakan dekat jalur rel kereta api dengan jarak 1.5 cm sehingga kereta masih berada dalam jangkauan sensor.

4.2 Pengujian Kontrol Kereta

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah kereta dapat berjalan secara bergantian secara terkontrol. Pengujian ini dilakukan karena kereta yang dijalankan tidak memiliki masinis atau *driverless*. Parameter keberhasilan pada uji coba ini ketika kereta bisa berjalan secara bergantian sesuai dengan sistem yang dijalankan dari stasiun asal menuju stasiun tujuan guna menghindari tabrakan antar kereta.



Gambar 5 Lokomotif Kereta yang Sudah Dimodifikasi

Tabel 2 Uji Coba Kontrol Kereta

No	Route K1		Route K2		Banyak Uji Coba	Keberhasilan (%)
	Asal	Tujuan	Asal	Tujuan		
1	A1	B1	A2	B2	20	100
2	B1	A2	B2	A1	20	100
Rata-rata						100

Berdasarkan data dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa tingkat keberhasilan pada kontrol kereta mencapai 100%. Tingkat keberhasilan didapatkan ketika kereta dapat berjalan secara bergantian sesuai dengan perintah dari master sehingga kereta tidak akan menabrak satu sama lain.

4.3 Pengujian Sistem Failsafe

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat dari keamanan sistem interlocking sistem yang telah dirancang. Terdapat empat skenario yang akan dilakukan dalam pengujian ini. Pertama hambatan atau dummy akan diletakan pada track circuit tepat didepan kereta yang akan berjalan. Kedua, hambatan atau dummy akan diletakan pada track circuit J1 yaitu pada persimpangan sebelum sampai pada stasiun tujuan. Ketiga, hambatan atau dummy akan diletakan pada satu stasiun tujuan dan mengamati jalanya kereta kedua berjalan menuju stasiun. Keempat, hambatan atau dummy akan diletakan pada kedua stasiun tujuan.

Tabel 3 Hasil Pengujian Failsafe Skenario 1

No	Route		Uji Coba		Keberhasilan (%)
	Asal	Tujuan	Diam	Jalan	
1	A1	B	20	0	100%
2	A2	B	20	0	100%
3	B1	A	20	0	100%

4	B2	B	20	0	100%
Rata-rata					100%

Berdasarkan hasil analisis dari pengujian failsafe skenario pertama, dapat disimpulkan bahwa sistem interlocking pada jalur kereta berhasil dengan sangat baik dalam mengatasi situasi dengan satu hambatan tepat didepan stasiun, dan tingkat keberhasilan 100% menunjukkan tingkat keamanan yang tinggi.

Tabel 4 Hasil Pengujian Failsafe Skenario 2

No	Route		Uji Coba Kereta		Keberhasilan (%)
	Asal	Tujuan	Diam	Jalan	
1	A1	B	20	0	100%
2	A2	B	20	0	100%
3	B1	A	20	0	100%
4	B2	B	20	0	100%
Rata-rata					100%

Berdasarkan hasil analisis dari pengujian failsafe skenario kedua, dapat disimpulkan bahwa sistem interlocking pada jalur kereta berhasil dengan sangat baik dalam mengatasi situasi dengan satu hambatan pada persimpangan sebelum memasuki stasiun tujuan, dan tingkat keberhasilan 100% menunjukkan tingkat keamanan yang tinggi.

Tabel 5 Hasil Pengujian Failsafe Skenario 3 Route K1

No	Route K1		Posisi		Uji Coba		Keberhasilan (%)
	Asal	Tujuan	Hambatan	Akhir	Berhasil	Gagal	
1	A1	B	B1	B2	20	0	100%
2	B1	A	A2	A1	20	0	100%
Rata-rata							100%

Tabel 6 Hasil Pengujian Failsafe Skenario 3 Route K2

No	Route K2		Posisi		Uji Coba		Keberhasilan (%)
	Asal	Tujuan	Hambatan	Akhir	Berhasil	Gagal	
1	A2	B	B1 & B2	J1	20	0	100%
2	B2	A	A1 & A2	J2	20	0	100%
Rata-rata							100%

Berdasarkan hasil analisis dari pengujian failsafe skenario ketiga, dapat disimpulkan bahwa sistem interlocking pada jalur kereta berhasil dengan sangat baik dalam mengatasi situasi dengan satu hambatan di stasiun tujuan, dan tingkat keberhasilan 100% menunjukkan tingkat keamanan yang tinggi.

Tabel 7 Hasil Pengujian Failsafe Skenario 4

No	Route		Posisi		Uji Coba		Keberhasilan (%)
	Asal	Tujuan	Hambatan	Akhir	Berhasil	Gagal	
1	A1	B	B1 & B1	J1	20	0	100%
2	B1	A	A1 & A2	J2	20	0	100%
Rata-rata							100%

Berdasarkan hasil analisis dari pengujian failsafe skenario keempat, dapat disimpulkan bahwa sistem interlocking pada jalur kereta berhasil dengan sangat baik dalam mengatasi situasi dengan dua hambatan di stasiun tujuan, dan tingkat keberhasilan 100% menunjukkan tingkat keamanan yang tinggi.

4.4 Pengujian Kecepatan Kereta

Pada pengujian tahapan ini akan dilakukan pengujian pada kecepatan kereta dengan jarak tempuh yang dituju. Parameter yang akan ditinjau adalah kecepatan dan jarak tempuh kereta dari stasiun asal menuju ke stasiun yang akan dituju.

Tabel 8 Data Uji Coba PWM

No	Duty Cycle (%)	PWM	Banyak Percobaan	Kereta 1 Voltage	Kereta 2 Voltage
1	10	26	3	0.37	0.39
2	15	38	3	0.39	0.42
3	20	51	3	0.52	0.53
4	25	64	3	0.98	0.94
5	30	77	3	1.20	1.22
6	35	89	3	1.44	1.44
7	40	102	3	2.49	2.47
8	45	115	3	3.23	3.18
9	50	128	3	3.76	3.82
10	55	140	3	4.73	4.58
11	60	153	3	5.31	5.26
12	65	166	3	5.81	5.88
13	70	179	3	6.22	6.31
14	75	191	3	6.57	6.7
15	80	204	3	7.03	7.01
16	85	217	3	7.82	7.84
17	90	230	3	8.56	8.56
18	92	235	3	8.83	8.89
19	95	242	3	9.04	9.15
20	100	255	3	9.62	9.64

Pada tabel 8 merupakan uji coba yang dilakukan pada duty cycle 92% kereta 1 dan kereta 2 dapat berjalan dengan lancar. Pada baris pertama terdapat duty cycle yang digunakan untuk mendapatkan PWM dari nilai duty cycle 10% ditambah 5% hingga duty cycle mencapai 100%. Maka dari itu dipilih PWM dengan duty cycle sebesar 92% dengan dilai PWM 235 hingga PWM maksimum 255 sebagai acuan untuk dapat menjalankan kereta tanpa terhenti. PWM minimum dengan nilai 235 dipilih karena kereta 1 dan kereta 2 dapat berjalan selama jumlah uji coba yang dilakukan. Kemudian terdapat kereta 1 voltage dan kereta 2 voltage dimana pada kolom tersebut merupakan output voltage yang dikeluarkan sesuai dengan nilai PWM yang telah diatur. Output voltage tersebut dihitung dengan cara menggunakan multimeter untuk mengetahui nilai tegangan yang dihasilkan.

Tabel 9 Data Uji Coba Waktu Tempuh PWM

Percobaan	PWM 235	
	Waktu Tempuh (detik)	
	Kereta 1	Kereta 2
1	2.85	3.01
2	2.96	3.14
3	2.97	3.19
4	2.86	3.18
5	2.87	3.15
6	2.92	3.34
7	3.01	3.30
8	2.87	3.24
9	3.05	3.26
10	2.91	3.34
11	3.08	3.34
12	2.98	3.23
13	3.06	3.30
14	3.00	3.28
15	3.13	3.33
16	2.85	3.13
17	3.13	3.09
18	2.90	3.27
19	2.92	3.03
20	2.99	3.19

Pada kereta 1 dengan nilai PWM 235 didapat nilai rata-rata 2.96 detik dan untuk kereta 2 dengan nilai PWM 235 didapat nilai rata-rata 3.01 detik. Kemudian untuk nilai PWM maksimum 255 didapatkan nilai 2.34 detik dan untuk kereta 2 dengan nilai PWM 255 didapatkan nilai 2.44 detik. Pada jarak uji 65 cm rel lurus didapatkan kecepatan pada kereta 1 yaitu 2.96 detik dan kereta 2 yaitu 21.59 detik

4.5 Pengujian Komunikasi Master-Slave

Pada pengujian tahap ini dilakukan pengujian terhadap komunikasi master-slave untuk mengetahui apakah komunikasi berjalan lancar atau tidak karena komunikasi ini cukup penting untuk menjalankan dan memberhentikan kereta sesuai dengan tempat dan tujuannya.

No	Perintah master		Respon		Banyak Uji Coba	Berhasil (%)
	Slave 1	Slave 2	Slave 1	Slave 2		
1	Jalan	Diam	Jalan	Diam	20	100
2	Diam	Jalan	Diam	Jalan	20	100
Rata-rata						100

Pada Tabel 10 merupakan hasil dari pengujian Komunikasi Master-Slave. Dapat dilihat bahwa tingkat rata-rata keberhasilan yang didapat yaitu 100% pada perintah dan respon pada komunikasi master-slave merupakan hasil dari pengujian Komunikasi Master-Slave. Dapat dilihat bahwa tingkat rata-rata keberhasilan yang didapat yaitu 100% pada perintah dan respon pada komunikasi master-slave. Hasil analisis yang didapatkan pada pengujian komunikasi master-slave tidak mengalami kendala dengan tingkat keberhasilan 100%.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisis pada Tugas Akhir diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Persinyalan dan kontrol berkerja dengan baik serta dapat menjalankan sistem interlocking yang sesuai dengan implementasi ril dilapangan.
2. FSM dapat berkerja pada sistem interlocking dengan mengatasi failsafe ketika mengalami hambatan pada jalur perlintasan sehingga kereta berjalan dengan tingkat keaman 100%.
3. Komunikasi master-slave bekerja dengan baik sehingga kereta dapat dikontrol dengan baik dan dapat berjalan secara bergantian sesuai dengan respon waktu pengiriman dari master ke slave 1.
4. Kereta dapat berjalan pada track lurus dengan kecepatan maksimum pada kereta 1 yaitu 28.13 cm/detik serta kecepatan minimum yaitu 21.95cm/detik dan kereta 2 dapat berjalan pada track lurus dengan kecepatan maksimum yaitu 26.63 cm/detik serta kecepatan minimum yaitu 21.59 cm/detik
5. Waktu yang ditempuh kereta 1 dari stasiun A1 menuju stasiun B1 dan sebaliknya yaitu 9.87 detik dan dari stasiun A1 menuju stasiun B2 dan sebaliknya yaitu 10.02 detik . Sedangkan pada kereta 2 waktu yang ditempuh dari stasiun A2 menuju stasiun B2 dan sebaliknya yaitu 10.57 detik dan dari stasiun A2 menuju stasiun B1 dan sebaliknya yaitu 11.13 detik.

5.2 Saran

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisis pada Tugas Akhir diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Melakukan pengembangan dengan menambah track aktif menjadi dua jalur dan penambahan stasiun.
2. Menambahkan jumlah lokomotif.
3. Penambahan jumlah kereta serta berjalan secara beriringan dengan arah yang dapat diputar balik.
4. Memperkaya route perjalanan kereta api.
5. Menambahkan sistem IOT (Internet Of Things).

Daftar Pustaka :

- [1] "Proyek prioritas – Makassar-Parepare," 2019. <https://kppip.go.id/proyek-prioritas/kereta-api/kereta-api-makassar-parepare/> (accessed Oct. 24, 2021).
- [2] "Persinyalan Kereta Api," 2014.<https://heritage.kai.id/page/Persinyalan%20Kereta%20Api%20Dari%20Sinyal%20Tebeng%20Sampai%20Elektrik> (accessed Nov. 21, 2021).
- [3] "Railway – Interlocking Principles," 2014. <https://www.railwaysignalling.eu/railway-interlocking-principles> (accessed Nov. 21, 2021).
- [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] "Finite state maching: Mealy state machine and moore state machine," 2013. <https://www.elprocus.com/finite-state-machine-mealy-state-machine-and-moore-state-machine/> (accessed Oct. 24,2021)
- [6] A. Sugiana, A. S. Wibowo, S. N. Waqash, and A. Rusdinar, "Design of railway signaling system using IR sensor as train detection," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1098, no. 4, p. 042041, 2020, doi: 10.1088/1757- 899x/1098/4/042041.
- [7] 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