



Buku Tugas Akhir

# **Studi Implementasi Teknik *Multi Agent Vehicle Platooning* Pada Desain *Communication Based Train Control (CBTC)***

**Ivan Dwi Putra**

2015630029

Pembimbing:

Dr. Ali Sadiyoko, S.T., M.T.

Tua Agustinus Tamba, Ph.D.

Diajukan untuk memenuhi salah  
satu syarat mendapatkan gelar  
Sarjana Teknik

**Februari 2021**



# **Studi Implementasi Teknik *Multi Agent Vehicle Platooning* Pada Desain *Communication Based Train Control* (CBTC)**

**Ivan Dwi PUTRA**  
2015630029

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Universitas Katolik Parahyangan.

## **Panitia Penguji :**

Dr. Ali Sadiyoko, S.T., M.T., Pembimbing 1  
Tua Agustinus Tamba, Ph.D., Pembimbing 2  
Faisal Wahab, S.Pd., M.T., Penguji 1  
Nico Saputra, PhD., Penguji 2

---

© 2021, Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekanika)– Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Katolik Parahyangan, Jl. Ciumbuleuit no 94, Bandung 40141, INDONESIA.

Dokumen ini dilindungi oleh undang-undang. Tidak diperkenankan mereproduksi seluruh ataupun sebagian isi dokumen ini dalam bentuk apa pun, baik secara cetak, photoprint, mikrofilm, elektronik, atau cara lainnya tanpa izin tertulis dari Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekanika), Universitas Katolik Parahyangan.

All rights reserved. No part of the publication may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm, electronic or any other means without written permission from the Department of Electrical Engineering (Mechatronics), Parahyangan Catholic University.

# Lembar Persetujuan Selesai



Tugas Akhir berjudul:

***Studi Implementasi Teknik **Multi Agent Vehicle Platooning** Pada Desain **Communication Based Train Control (CBTC)*****

oleh:

Ivan Dwi Putra

NPM : 2015630029

ini telah diujikan pada Sidang Tugas Akhir 2 (IME 184500) di Program Studi Sarjana Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan serta dinyatakan SELESAI.

**TANDA PERSETUJUAN SELESAI,**

Bandung, Januari 2021

Ketua Program Studi Sarjana

Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika

**Dr. Ir. Ali Sadiyoko, M.T**

Pembimbing Pertama,

Pembimbing Kedua,

**Dr. Ali Sadiyoko, S.T., M.T.**

**Tua Agustinus Tamba, Ph.D.**



**PERNYATAAN TIDAK MENCONTEK ATAU  
MELAKUKAN TINDAKAN PLAGIAT**

Saya yang bertandatangan dibawah ini,

**IVAN DWI PUTRA**

Dengan ini menyatakan bahwa Buku Tugas Akhir dengan judul:

**"STUDI IMPLEMENTASI TEKNIK *MULTI AGENT VEHICLE  
PLATOONING* PADA DESAIN *COMMUNICATION BASED TRAIN  
CONTROL (CBTC)*"**

adalah hasil pekerjaan Saya. Seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini Saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan maka Saya bersedia menanggung sanksi yang akan dikenakan kepada Saya.

Bandung, .....

**Ivan Dwi Putra**

NPM: 2015630029



# Lembar Persembahan

Tugas Akhir ini dipersembahkan untuk  
orang tua,  
serta keluarga tercinta.



# Pedoman Penggunaan Buku Tugas Akhir

Buku Tugas Akhir yang tidak dipublikasikan, terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Katolik Parahyangan, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Universitas Katolik Parahyangan. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh Buku Tugas Akhir haruslah seizin Ketua Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan.

Staf dosen dan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan dapat menggunakan Buku Tugas Akhir ini sebagai rujukan pada penelitian-penelitian yang akan dilakukan sesuai dengan rekomendasi yang dikeluarkan oleh Koordinator Tugas Akhir dan/atau Tim Dosen Pembimbing.



## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan mengontrol model dinamika kereta api yang bergerak berdasarkan sistem persinyalan blok bergerak dalam skema teknologi communication-based train control (CBTC). Pemodelan dinamika sistem dilakukan berdasarkan diagram benda bebas sistem, sedangkan pengontrolan rangkaian kereta dirancang dengan algoritma DMPC. Analisis dinamika dilakukan pada model kereta api dengan melakukan simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB untuk melihat respon dari model. Dengan menggunakan hasil analisis, maka dapat ditentukan metoda pengontrol yang tepat dalam hal ini algoritma pengontrol *Distributed Model Predictive Control* (DMPC) yang digunakan. Algoritma pengontrol DMPC ini digunakan untuk beberapa rangkaian kereta dengan topologi searah dan titik tujuan yang diinginkan tidak diketahui. Setiap rangkaian kereta memiliki masalah optimal kontrol lop terbuka yang hanya mengandalkan informasi dari node tetangga, dimana fungsi cost di desain untuk meminimalisasi error antara lintasan yang diprediksi dan lintasan yang diasumsikan. Analisis model kereta api setelah diberi algoritma pengontrol DMPC juga dilakukan dalam penelitian ini. Tujuan penggunaan algoritma pengontrol DMPC adalah untuk mengoptimalkan jarak aman antar kereta dalam sistem persinyalan blok bergerak..

---

**Kata Kunci:**

*Sistem persinyalan blok bergerak, DMPC, Kereta Api, Jarak aman*



## Abstract

This research aim to model and control the dynamic model of a moving train based on the moving block signaling system in the communication-based train control (CBTC) technology scheme. System dynamics modeling is carried out based on the free-body diagram of the system, while the control of the train circuit is designed with the DMPC algorithm. Dynamic analysis is carried out on the railroad model by simulating using MATLAB software to see the response of the model. Using the results of the analysis, it can be determined the appropriate control method in this case the Distributed Model Predictive Control (DMPC) controller algorithm used. This DMPC controller algorithm is used for several series of trains with unidirectional topology and unknown points of interest. Each train series has an optimal open loop control problem that only relies on information from neighboring nodes, where the cost function is designed to minimize errors between the predicted and assumed lines. Analysis of the train model after being given the DMPC controller algorithm was also carried out in this research. The objective of using the DMPC controller algorithm is to optimize the safe distance between trains in the moving block signaling system.

---

**Keywords:**

*Moving Block Signaling System, Train, Safe Distance*



# Kata Pengantar

Puji dan syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya proposal Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Disadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, penulisan laporan Tugas Akhir ini tidak akan terselesaikan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ali Sadiyoko, S.T., M.T. dan Tua Agustinus Tamba, Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir di Program Studi Sarjana Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika Universitas Katolik Parahyangan.
2. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan secara material dan moral.
3. Dr. Ir. Bagus M. Arthaya, M.Eng. selaku ketua jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika;
4. Sahabat yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan laporan praktek kerja lapangan ini.

Penulisan laporan Tugas Akhir dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika. Proposal ini berisikan tentang studi implementasi *multi agent vehicle-platooning* pada desain *Communication Based Train Control* (CBTC) yang akan dianalisa dan dibahas lebih lanjut.

Akhir kata, mohon maaf yang sebesar-besarnya jika ada kekurangan maupun hal-hal yang tidak berkenan pada Laporan Tugas Akhir ini, semoga Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu dan besar harapan untuk Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat serta pengembangan ilmu pengetahuan ke depannya.



# Daftar Isi

Abstrak	ix
Abstract	xi
Kata Pengantar	xiii
Daftar Isi	xv
Daftar Tabel	xix
Daftar Gambar	xxi
Daftar Simbol dan Variabel	xxiii
Daftar Singkatan	xxv
<b>1 Pendahuluan</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah . . . . .	1
1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah . . . . .	3
1.3 Batasan Masalah dan Asumsi . . . . .	4
1.4 Tujuan Tugas Akhir . . . . .	4
1.5 Manfaat Tugas Akhir . . . . .	4
1.6 Metodologi Tugas Akhir . . . . .	5
1.7 Sistematika Penulisan . . . . .	5
<b>2 Tinjauan Pustaka</b>	<b>9</b>
2.1 Sejarah Kereta Api Berkecepatan Tinggi . . . . .	9
2.2 Sistem Persinyalan Kereta Api . . . . .	10

2.2.1	Sistem Persinyalan Blok Statis . . . . .	11
2.2.2	Sistem Persinyalan Blok Bergerak . . . . .	11
2.2.3	<i>Communication Based Train Control (CBTC)</i> . . . . .	12
2.3	Review Penelitian CBTC . . . . .	13
2.4	Referensi Metode Pengontrol . . . . .	14
2.5	Matriks Survei Literatur . . . . .	14
2.6	Sistem <i>Multi Agent (MAS)</i> . . . . .	15
2.7	<i>Model Predictive Control (MPC)</i> . . . . .	16
2.8	<i>Distributed Model Predictive Control (DMPC)</i> . . . . .	17
2.8.1	Objektivitas Pengontrol Kendaraan Pada DMPC . . . . .	19
2.8.2	Desain DMPC . . . . .	19
2.8.3	Kontrol Optimal Lup Terbuka DMPC . . . . .	19
2.8.4	Algoritma DMPC . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Perancangan Sistem</b>	<b>23</b>
3.1	Model Ruang Keadaan Rangkaian Kereta Waktu Diskrit . . . . .	23
3.2	Implementasi Algoritma DMPC Pada Model Ruang Keadaan Kereta Waktu Diskrit . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Analisis Sistem</b>	<b>29</b>
4.1	Hasil Pengujian . . . . .	29
4.1.1	Hasil Simulasi Model Rangkaian Kereta <i>Open Loop</i> . . . . .	29
4.1.2	Hasil Simulasi Rangkaian Kereta dengan Implementasi Algoritma DMPC . . . . .	32
4.2	Rancangan Pengujian . . . . .	36
4.3	Analisis . . . . .	38
<b>5</b>	<b>Simpulan dan Saran</b>	<b>39</b>
5.1	Simpulan . . . . .	39
5.2	Saran . . . . .	39
	<b>Daftar Pustaka</b>	<b>41</b>
	<b>Lampiran A Kode MATLAB</b>	<b>45</b>
A.1	Parameter yang digunakan tanpa pengontrol . . . . .	45
A.2	Animasi Pergerakan Kereta . . . . .	50
	<b>Lampiran B Kode MATLAB</b>	<b>54</b>
B.1	Parameter yang digunakan dengan pengontrol DMPC pada model dinamis waktu diskrit rangkaian kereta . . . . .	54
B.2	Model Dinamis waktu diskrit rangkaian kereta . . . . .	55

B.3 Fungsi cos pada algoritma pengontrol DMPC . . . . .	55
B.4 Fungsi batasan non linear pengontrol DMPC . . . . .	57
B.5 Fungsi Figure Plot . . . . .	57
B.6 Kode Program Utama Model dinamis waktu diskrit rangkaian kereta dengan algoritma pengontrol DMPC . . . . .	60
B.7 Kode Matlab untuk Animasi Pergerakan Kereta . . . . .	70



# Daftar Tabel

2.1	Tabel Kesimpulan Survei Literatur . . . . .	14
4.1	Parameter Pada Model Kereta <i>Open Loop</i> . . . . .	30
4.2	Parameter Pada Model Kereta DMPC . . . . .	32



# Daftar Gambar

1.1	Data Penumpang Kereta Api di Indonesia Tahun 2013 - 2018 . . . . .	2
1.2	Data penumpang KRL <i>Commuter Line</i> Tahun 2013 Sampai Tahun 2018 . . . . .	2
1.3	Metodologi Tugas Akhir . . . . .	5
2.1	Struktur dari ATC . . . . .	10
2.2	Sistem Persinyalan Blok Statis . . . . .	11
2.3	Sistem Persinyalan Blok Bergerak . . . . .	12
2.4	Ilustrasi Sistem CBTC . . . . .	12
2.5	Gambaran Umum Sistem <i>Multi Agent</i> . . . . .	15
2.6	Konsep MPC . . . . .	17
2.7	Contoh 4 Algoritma DMPC. (a) PF, (b) PLF, (c) TPF, (d) TPLF . . . . .	18
3.1	Ilustrasi Model Rangkaian Kereta . . . . .	23
4.1	Hasil Simulasi Posisi Model Rangkaian Kereta <i>Open Loop</i> . . . . .	30
4.2	Hasil Simulasi Kecepatan Model Rangkaian Kereta <i>Open Loop</i> . . . . .	31
4.3	Hasil Simulasi Torsi Model Rangkaian Kereta <i>Open Loop</i> . . . . .	31
4.4	<i>Spacing Errors</i> Posisi Terhadap Jarak Aman Pada Model Rangkaian Kereta untuk Topologi PF . . . . .	33
4.5	<i>Spacing Errors</i> Posisi Terhadap Posisi Awal Pada Model Rangkaian Kereta untuk Topologi PF . . . . .	33
4.6	Respon Kecepatan Pada Model Rangkaian Kereta untuk Topologi PF Pada Step 0 - 6 . . . . .	34
4.7	Respon Kecepatan Pada Model Rangkaian Kereta untuk Topologi PF Pada Step 0 -10 . . . . .	34
4.8	Respon akselerasi Pada Model Rangkaian Kereta untuk Topologi PF . . . . .	35
4.9	Respon Torsi Pada Model Rangkaian Kereta untuk Topologi PF . . . . .	35
4.10	Diagram Alir Rancangan Pengujian . . . . .	36

---

4.11 Animasi Pergerakan Kereta dengan Implementasi Algoritma Pengontrol DMPC . . . . .	37
4.12 Animasi Pergerakan Kereta Tanpa Pengontrol . . . . .	37

## Daftar Simbol dan Variabel

$X_0$	Perkiraan State Saat Ini
$U_0$	Input Pengontrol
$N$	Rentang Prediksi
$v_i(t)$	Kecepatan Rangkaian Kereta Ke- $i$
$v_0(t)$	Kecepatan Referensi
$s_i$	Posisi Rangkaian Kereta Ke- $i$
$i$	Rangkaian Kereta Ke- $i$
$d_{i-1,i}$	Jarak yang Diinginkan Antara Rangkaian Kereta
$d_0$	Jarak Aman Optimal
$S_0(t)$	Posisi Rangkaian Kereta Paling Depan
$V_0(t)$	Kecepatan Rangkaian Kereta Paling Depan
$s_{des,i}(t)$	Posisi Rangkaian Kereta yang Diinginkan
$v_{des,i}(t)$	Kecepatan Rangkaian Kereta yang Diinginkan
$T_{des,i}(t)$	Torsi Rangkaian Kereta yang Diinginkan
$h_i(v_0)$	Mengimbangi Tarikan Eksternal
$R_i$	Radius Roda Rangkaian Kereta
$\eta T, i$	Efisiensi Mekanik
$Mass_i$	Massa Rangkaian Kereta Ke- $i$
$g$	Gaya Gravitasi
$f$	Koefisien dari <i>Rolling Resistance</i>
$y_{-i}(t)$	Output dari <i>neighbour mode</i>
$u_{-i}(t)$	Input dari <i>neighbour mode</i>
$y_i^P(k t)$	<i>Predicted Output Trajectory</i>
$y_i^*(k t)$	<i>Optimal Output Trajectory</i>
$y_i^a(k t)$	<i>Assumed Output Trajectory</i>
$u_i^P(k t)$	<i>Predicted Control Input</i>
$u_i^*(k t)$	<i>Optimal Control Input</i>
$u_i^a(k t)$	<i>Assumed Control Input</i>
$\tau_i$	Kelambatan inersia dari dinamika longitudinal
$\Delta t$	Interval Waktu Diskrit



## Daftar Singkatan

CBTC	<i>Communication Based Train Control</i>
DMPC	<i>Distributed Model Predictive Control</i>
PF	<i>Predecessor Following</i>
PLF	<i>Predecessor-leader following</i>
TPF	<i>Predecessor Following</i>
TPLF	<i>Two-predecessor-leader following</i>
CTCS	<i>China Train Control System</i>
TBTC	<i>Track Circuit Based Train Control</i>
TCS	<i>Train Control System</i>
ATC	<i>Automatic Train Control</i>
ATS	<i>Automatic Train Supervision</i>
ATO	<i>Automatic Train Operation</i>
MAS	<i>Sistem Multi Agent</i>
MPC	<i>Model Predictive Control</i>



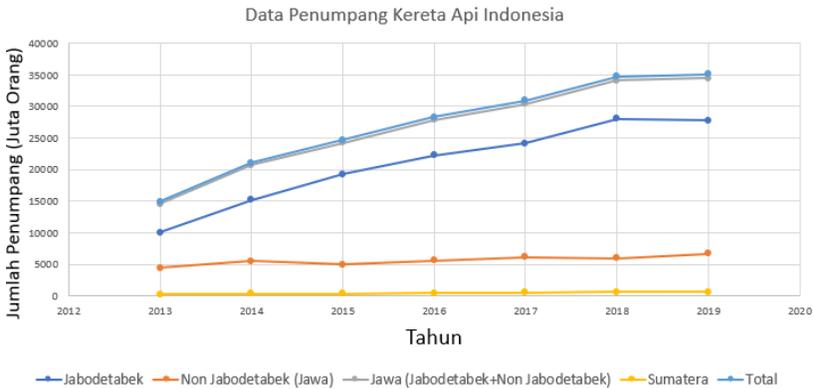
# Bab 1

## Pendahuluan

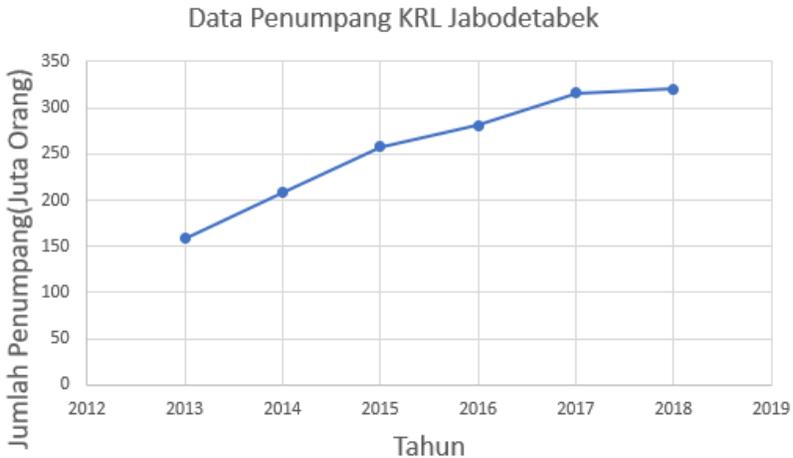
Topik Tugas Akhir ini adalah tentang studi implementasi teknologi *Communication Based Train Control* (CBTC) untuk sistem persinyalan kereta api di Indonesia. Bab ini berisi latar belakang permasalahan dibutuhkannya CBTC untuk teknologi sistem persinyalan kereta api di Indonesia. Selain itu pada Bab 1 Pendahuluan ini juga berisi identifikasi dan perumusan masalah berdasarkan penelitian yang dilakukan, batasan masalah dan asumsi yang digunakan, manfaat, metodologi serta sistematika penulisan Tugas Akhir.

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Masalah yang dihadapi oleh sistem persinyalan kereta api di Indonesia saat ini adalah kenaikan jumlah penumpang yang meningkat tajam namun tidak sebanding dengan jumlah kereta yang ada . Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik, sejak tahun 2013 terjadi kenaikan jumlah yang signifikan pada penumpang kereta api di Indonesia, khususnya pada jumlah penumpang KRL Jabodetabek. Hal ini terlihat dari grafik penumpang kereta api di Indonesia pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2. Kenaikan jumlah penumpang menyebabkan terjadinya penumpukan jumlah penumpang di stasiun [1, 2].



**Gambar 1.1.** Data Penumpang Kereta Api di Indonesia Tahun 2013 - 2018 [3]



**Gambar 1.2.** Data penumpang KRL *Commuter Line* tahun 2013 sampai tahun 2018 [3, 4]

Masalah penumpukan penumpang di stasiun tersebut terjadi karena teknologi sistem persinyalan kereta api di Indonesia yang masih menggunakan sistem persinyalan blok statis. Pada sistem persinyalan blok statis, rel kereta dibagi menjadi beberapa blok dengan panjang tetap misalnya 1 kilometer. Setiap blok hanya dapat ditempati oleh 1 rangkaian kereta dalam jangka waktu tertentu, sampai kereta meninggalkan blok tersebut. Kereta kedua atau kereta yang di belakangnya baru dapat berjalan apabila sudah terdapat satu blok kosong di

depan kereta kedua. 1 blok antar kereta tersebut berfungsi sebagai jarak aman antar kereta. Definisi 1 blok tersebut diperhitungkan sebagai jarak pengereman kereta [5]. Pada sistem kereta api di Indonesia, 1 rangkaian kereta itu terdiri dari 1 lokomotif dan maksimal 10 gerbong penumpang atau barang [2].

Pada sistem persinyalan blok statis, posisi dan kecepatan rangkaian kereta tidak dapat diketahui secara akurat, yang dapat dipastikan hanya kereta sedang berada atau sudah keluar dari blok tertentu. Akibat dari permasalahan tersebut, maka pada sistem persinyalan blok statis dibutuhkan setidaknya 1 blok kosong diantara 2 blok yang terokupansi untuk menjaga jarak aman antar kereta saat pengereman. Karena adanya jarak 1 blok antar rangkaian kereta, maka jumlah rangkaian kereta yang beroperasi tidak dapat ditambah tanpa memperhatikan jarak aman antar kereta [5]. Untuk mengatasi masalah pada sistem persinyalan blok statis, maka diusulkan sistem persinyalan blok bergerak sebagai salah satu alternatif solusi [6, 7]. Pada sistem ini, rel kereta dianggap sebagai satu rel tanpa adanya pembagian blok. Karena tidak adanya pembagian blok pada sistem persinyalan blok bergerak, maka jumlah kereta dapat ditambah dengan batasan jarak aman antar kereta tetap terpenuhi [8]. Namun agar sistem persinyalan blok bergerak statis aman, diperlukan komponen lain yang terpasang pada rangkaian kereta itu sendiri dan di sepanjang rel. Komponen tersebut adalah sensor posisi (lokasi) dan kecepatan rangkaian kereta itu sendiri [9].

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai model dinamika rangkaian kereta [10] serta akan dijelaskan mengenai perbandingan simulasi pergerakan kereta tanpa pengontrol dan dengan implementasi pengontrol DMPC [11, 12]. Perbandingan antara pergerakan kereta tanpa pengontrol dan dengan implementasi pengontrol DMPC ditampilkan dengan melakukan simulasi pada perangkat lunak Matlab. Hasil simulasi antara model rangkaian kereta tanpa pengontrol dan dengan pengontrol DMPC dibandingkan untuk mengetahui respon posisi dan kecepatan rangkaian kereta terhadap waktu yang akan dicapai. Penelitian pada Tugas Akhir ini bertujuan untuk menjelaskan fungsi dari implementasi pengontrol DMPC pada model rangkaian kereta serta alasan dibutuhkannya sistem persinyalan blok bergerak pada teknologi sistem persinyalan kereta api di Indonesia.

## 1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang pada Subbab 1.1, maka masalah yang ditinjau dalam Tugas Akhir dapat diformulasikan dalam beberapa pertanyaan sebagai berikut :

1. Bagaimana cara mengatasi penumpukan jumlah penumpang di stasiun?

2. Apa alternatif solusi yang dapat diusulkan jika frekuensi perjalanan kereta api akan ditambah?
3. Bagaimana implementasi DMPC pada model dinamik kereta untuk mengatasi penumpukan jumlah penumpang di stasiun ?

### 1.3 Batasan Masalah dan Asumsi

Agar penelitian Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik, diperlukan adanya batasan pada permasalahan Subbab 1.2. Batasan masalah tersebut antara lain :

1. Model rangkaian kereta yang ditinjau adalah model non linear.
2. Model sistem hanya menggunakan 7 rangkaian kereta.
3. Simulasi model rangkaian kereta dengan menggunakan perangkat lunak Matlab.
4. Implementasi DMPC hanya menggunakan algoritma *Predecessor Following* (PF).
5. Animasi pergerakan kereta menggunakan perangkat lunak Matlab.

### 1.4 Tujuan Tugas Akhir

Berdasarkan identifikasi masalah pada Subbab 1.2, maka dapat diformulasikan tujuan dari Tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Mencari solusi untuk mengatasi masalah penumpukan penumpang di stasiun.
2. Merancang sistem CBTC dengan implementasi algoritma DMPC.
3. Memperoleh perbandingan hasil simulasi pergerakan kereta tanpa menggunakan pengontrol dan dengan menggunakan pengontrol DMPC.

### 1.5 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat dari topik tugas akhir ini dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Dapat memberikan pemahaman tentang implementasi teori kontrol pada masalah persinyalan kereta api di Indonesia.
2. Dapat memberikan ilustrasi visual bagi para mahasiswa atau peneliti yang akan mempelajari sistem persinyalan blok bergerak.

## 1.6 Metodologi Tugas Akhir

Metodologi yang digunakan pada Tugas Akhir ini dijelaskan dengan diagram alir yang dapat diperhatikan pada Gambar 1.3.



**Gambar 1.3.** Metodologi Tugas Akhir

## 1.7 Sistematika Penulisan

Buku Tugas Akhir ini dibagi menjadi 5 bab, yakni sebagai berikut:

1. **Bab 1 Pendahuluan.** Pada bab ini terdiri dari :

- (a) **Latar Belakang**  
Latar belakang yang menjelaskan masalah yang berkaitan dengan sistem persinyalan kereta api di Indonesia dan alternatif solusi untuk mengatasi masalah pada sistem persinyalan kereta api di Indonesia.
  - (b) **Identifikasi dan Perumusan Masalah**  
Identifikasi dan perumusan masalah pada sistem persinyalan kereta api di Indonesia.
  - (c) **Batasan Masalah dan Asumsi**  
Pada bagian ini dijabarkan batasan masalah pada penelitian sistem persinyalan kereta api di Indonesia dan asumsi yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir.
  - (d) **Tujuan Tugas Akhir**  
Bagian ini berisi tujuan yang akan dicapai pada penelitian Tugas Akhir ini.
  - (e) **Manfaat Tugas Akhir**  
Bagian ini menjelaskan manfaat yang dapat diberikan oleh penelitian Tugas Akhir ini pada peneliti sendiri dan pada jurusan.
  - (f) **Metodologi Tugas Akhir**  
Bagian ini menjelaskan metodologi yang digunakan dalam mendukung penelitian Tugas Akhir.
2. **Bab 2 Tinjauan Pustaka**  
Bab ini berisi sejarah kereta api berkecepatan tinggi, sistem persinyalan kereta api, telaah penelitian CBTC, dan metode pengontrol DMPC.
  3. **Bab 3 Perancangan Sistem.** Dalam bab perancangan ini dipaparkan antara lain:
    - (a) Model Ruang Keadaan Rangkaian Kereta Waktu Diskrit.
    - (b) Implementasi Algoritma DMPC Pada Model Ruang Keadaan Rangkaian Kereta Waktu Diskrit
  4. **Bab 4 Analisis Sistem.** Dalam bab analisis ini dipaparkan antara lain:
    - (a) Hasil Simulasi Model Rangkaian Kereta Tanpa Pengontrol .
    - (b) Hasil simulasi Model Rangkaian Kereta dengan Implementasi DMPC.
    - (c) Rancangan Pengujian.
    - (d) Analisis.
  5. **Bab 5 Simpulan dan Saran.** Dalam bab simpulan dan saran ini dipaparkan antara lain :

(a) Simpulan.

(b) Saran.



