

TUGAS AKHIR
TRAJECTORY PREDICTION MENGGUNAKAN METODE
KALMAN FILTER SEBAGAI PENILAIAN RISIKO
TABRAKAN PADA TREM OTONOM



Oleh :

Nizar Fadila Anhari

1461900258

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
2023

Halaman ini sengaja dikosongkan

TUGAS AKHIR

TRAJECTORY PREDICTION MENGGUNAKAN METODE KALMAN FILTER SEBAGAI PENILAIAN RISIKO TABRAKAN PADA TREM OTONOM

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Komputer di Program Studi Informatika



Oleh :

Nizar Fadila Anhari

1461900258

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
2023**

Halaman ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT

TRAJECTORY PREDICTION USING KALMAN FILTER
METHOD AS COLLISION RISK ASSESSMENT ON
AUTONOMOUS TRAM

Prepared as partial fulfilment of the requirement for the degree of
Sarjana Komputer at Informatics Department



By :

Nizar Fadila Anhari

1461900258

INFORMATICS DEPARTMENT
FACULTY OF ENGINEERING
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
2023

PROGRAM STUDI INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nama : Nizar Fadila Anhari
NBI : 1461900258
Prodi : S-1 Informatika
Fakultas : Teknik
Judul : TRAJECTORY PREDICTION MENGGUNAKAN
METODE KALMAN FILTER SEBAGAI PENILAIAN
RISIKO PADA TREM OTONOM

Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing



Dr. Fajar Astuti Hermawati, S.Kom., M.Kom
NPP. 20460.00.0512

Dekan Fakultas Teknik
Universitas 17 Agustus 1945
Surabaya



Dr. Ir. Saftyo, M.Kes. IPU., ASEAN Eng
NPP. 20410.90.0197

Ketua Program Studi Informatika
Universitas 17 Agustus 1945
Surabaya



Aidil Primasetya Armin, S.ST., MT.
NPP. 20460.16.0700

PERNYATAAN KEASLIAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan di bawah ini

Nama : Nizar Fadila Anhari
NBI : 1461900258
Fakultas/Program Studi : Teknik/Informatika
Judul Tugas Akhir : Trajectory Prediction Menggunakan Metode Kalman
Filter Sebagai Penilai Risiko Tabrakan pada Trem Otonom

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

1. Tugas akhir dengan judul di atas bukan merupakan tiruan atau duplikat dari Tugas Akhir yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di lingkungan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya tercantum sebagaimana mestinya.
2. Tugas akhir dengan judul di atas bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material maupun non – material, ataupun segala kemungkinan lain yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis tugas akhir saya secara orisinal dan otentik.
3. Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya memberikan hak atas Tugas Akhir ini kepada Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya untuk menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta
4. Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran diri sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak maupun demi menegakkan integritas akademik di institusi ini dan bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan.

Surabaya, 9 Juni 2023



Nizar
1461900258

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Puji dan Syukur atas Kehadiran Allah Yang Maha Kuasa yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Penulis mampu untuk menyelesaikan Skripsi ini. Disini, Penulis mengambil judul “TRAJECTORY PREDICTION MENGGUNAKAN METODE KALMAN FILTER SEBAGAI PENILAIAN RISIKO TABRAKAN PADA TREM OTONOM”. Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana (S1) Jurusan Informatika Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.

Skripsi ini dapat selesai atas bantuan,dukungan , motivasi , dan bimbingan dari banyak pihak , maka dikesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Fajar Astuti Hermawati, S.Kom., M.Kom. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya membantu dan membimbing dalam penulisan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Riyanto Trilaksono selaku ketua tim peneliti proyek trem otonom
3. Mas Dimas, Mba Khansa, Mba Rini, Richard, dan teman – teman lainnya dari tim autonomous vehicle yang telah sangat membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Aidil Primasetya Armin, S.ST., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
5. Kedua orang tua dan keluarga besar Penulis, yang selalu mendo'akan dan memberikan dukungan atas segala proses yang dilalui penulis untuk meraih masa depan yang lebih baik.
6. Mas Farhan dan teman – teman dari 99G, SYN, Famatsu, KTB dan lainnya yang telah mendukung dan menemani penulis disaat jenuh dengan skripsi ini.

ABSTRAK

Nama : Nizar Fadila Anhari
Program Studi : Teknik Informatika
Judul : Trajectory Prediction Menggunakan Metode Kalman Filter
Sebagai Penilaian Risiko Tabrakan Pada Trem Otonom

Trem otonom adalah kendaraan LRV yang memiliki relnya sendiri di dalam kota. Kendaraan ini menggunakan berbagai macam sistem sebagai alat bantu pengemudi dalam mengoperasikannya. Salah satu sistem tersebut ialah prediksi lintasan. Prediksi lintasan berguna untuk memprediksi potensi tabrakan yang akan terjadi antara trem dengan objek bergerak (kendaraan lain atau pejalan kaki) di sekitarnya. Kalman filter merupakan salah satu algoritma pengolahan sinyal yang paling banyak digunakan. Pada penelitian ini, algoritma Kalman filter digunakan guna memprediksi lintasan suatu objek bergerak di sekitar trem. Informasi tersebut nantinya akan digunakan guna menghitung waktu ke tabrakan (TTC) dan jarak ke tabrakan (DTC) yang akan menentukan keputusan yang harus diambil dan dilakukan oleh trem.

Kata Kunci : *Kalman filter, Prediksi lintasan, Tabrakan, Trem otonom*

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

Name : Nizar Fadila Anhari
Department : Informatics Engineering
Title : Trajectory Prediction Using Kalman Filter Method As Collision Risk Assessment On Autonomous Tram

Autonomous tram is an LRV that have its own rail inside the city. This vehicle uses many different kind of systems to help its driver maneuvering the vehicle. One of those system is trajectory prediction. Trajectory prediction used to predict the collision risk between tram and other moving object (other vehicle or pedestrian) around it. Kalman filter is one of the most used signal processing algorithm. In this research, Kalman filter algorithm will be used to predict the trajectory of a moving object around tram. That information will be used to calculate the time to collision (TTC) and distance to collision (DTC) that will determine the decision tram should take.

Keywords : *Autonomous tram, Collision, Kalman filter, Trajectory prediction,*

DAFTAR ISI

<i>Halaman Judul</i>	i
<i>Halaman Judul</i>	iii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iv
PERNYATAAN KEASLIAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.3 Landasan Teori	9
2.3.1 Trem Otonom	9
2.3.2 Kalman Filter	10
2.3.3 Interacting Multiple Model Kalman Filter (IMM-KF)	15
2.3.4 Time To Collision (TTC)	18
2.3.4 Distance To Collision (DTC)	19
BAB III	21
3.1 Perangkat Penelitian	21
3.1.1 Perangkat Keras (Hardware)	21
3.1.2 Perangkat Lunak (Software)	21

3.2 Objek Penelitian	21
3.3 Perancangan GUI plotting hasil prediksi	22
3.3 Penerapan algoritma.....	23
3.3.1 KFCV	23
3.3.2 IMM-KF.....	23
3.3.3 Proses Penilaian Keselamatan.....	32
3.3.3.1 Penerapan Penilaian Keselamatan.....	34
3.4 Pengujian.....	36
BAB 4.....	39
4.1 Stress test 50 run algoritma <i>Kalman filter constant velocity</i> (KFCV).....	39
4.2 Tahapan perbaikan sensor objek yang berada pada rel trem.....	40
4.3 Tahapan stress test 50 run algoritma KFCV setelah <i>yaw filter</i>	41
4. 4 Tahapan stress test 50 run algoritma IMM.....	45
4. 5 Tahapan <i>tuning hyperparameter</i> IMM.....	51
4. 5 <i>Stress test 50 run</i> IMM setelah <i>tuning</i>	53
BAB 5.....	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran.....	57
Daftar Pustaka	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Trem otonom milik PT.INKA.....	9
Gambar 2.2 Arsitektur mengemudi otonom. (Schwartzing dkk, 2018)..	10
Gambar 2.3 Blok diagram Kalman filter (Revach dkk, 2021).....	14
Gambar 3.1 Desain window plot hasil prediksi	22
Gambar 3.2 Desain plot hasil prediksi pada window simulasi	22
Gambar 3.3 Class KFCV	23
Gambar 3.4 Fungsi init <i>Kalman Filter</i>	24
Gambar 3.5 Fungsi prediksi <i>Kalman Filter</i>	24
Gambar 3.6 Fungsi <i>update Kalman Filter</i>	24
Gambar 3.7 Fungsi <i>filter Kalman Filter</i>	24
Gambar 3.8 Fungsi inisialisasi IMM.....	25
Gambar 3.9 Fungsi <i>filter</i> IMM bagian <i>input mix</i> bagian 1	25
Gambar 3.10 Fungsi <i>filter</i> IMM bagian <i>input mix</i> bagian 2	25
Gambar 3.11 Fungsi <i>filter</i> IMM bagian <i>filter</i>	26
Gambar 3.12 Fungsi <i>filter</i> IMM bagian <i>update probability</i>	26
Gambar 3.13 Fungsi KFCV (<i>constant velocity</i>).....	26
Gambar 3.14 Fungsi KFCA (<i>constant acceleration</i>).....	27
Gambar 3.15 Fungsi KFCT (<i>constant turn rate</i>)	27
Gambar 3.16 Fungsi kompilasi KF (CV,CA,CT) bagian 1.....	28
Gambar 3.17 Fungsi kompilasi KF (CV,CA,CT) bagian 2.....	28
Gambar 3.18 Fungsi IMM DM bagian 1	29
Gambar 3.19 Fungsi IMM DM bagian 2	29
Gambar 3.20 Fungsi IMM DM bagian 3	30
Gambar 3.21 Fungsi IMM DM bagian 4	30
Gambar 3.22 Fungsi IMM DM bagian 5	30

Gambar 3.23 Fungsi IMM DM bagian 6	31
Gambar 3.24 Fungsi IMM DM bagian 7	32
Gambar 3.25 Diagram alir subsistem penilai risiko tabrakan	33
Gambar 3.26 fungsi penilai resiko tabrakan	34
Gambar 3.27 fungsi penilai resiko tabrakan	35
Gambar 3.28 Map Town02 pada Carla Simulator (<i>Town 2 - CARLA Simulator</i> , n.d.)	36
Gambar 3.29 Map Town10 pada Carla Simulator	37
Gambar 4.1 Jalur yang dilalui trem pada map Town 02	39
Gambar 4.2 Contoh Atribut roll, pitch dan yaw pada sebuah pesawat .40	
Gambar 4.3 Objek pada rel trem terdeteksi oleh sensor	41
Gambar 4.4 Lintasan objek sekitar trem diprediksi	41
Gambar 4. prediksi lintasan objek oleh algoritma IMM	45
Gambar 4.6 objek tidak terdeteksi	49
Gambar 4.7 objek terdeteksi	50
Gambar 4.8 Prediksi lintasan IMM sebelum tuning	51
Gambar 4.9 Prediksi lintasan IMM sesudah tuning	52
Gambar 4.10 Jalur pengujian <i>Stress test</i>	55
Gambar 4.11 Tampilan proses pengujian <i>Stress test</i>	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.1 Penelitian Terdahulu	7
Tabel 4.1.1 hasil <i>stress test</i> 50 run setelah <i>yaw filter</i>	42
Tabel 4.2.1 hasil <i>stress test</i> 50 run IMM	45
Tabel 4.3.1 hasil <i>stress test</i> 50 run IMM setelah tuning + FSM baru...	53