



Buku Tugas Akhir

Perancangan Sistem *Multibody* dari kendaraan Traktor *Trailer* dan Penerapannya pada *Tugger Train* *System*

Justin Sunarto Budiman

2017630002

Pembimbing:

Dr. Ir. Bagus Arthaya, M.Eng.

Tua Agustinus Tamba, Ph.D

Diajukan untuk memenuhi salah satu
syarat mendapatkan gelar Sarjana
Teknik

Agustus 2022



Buku Tugas Akhir

Multibody System Design of Tractor Trailer Vehicles and its Application in The Tugger Train System

Justin Sunarto Budiman

2017630002

Pembimbing:

Dr. Ir. Bagus Arthaya, M.Eng.

Tua Agustinus Tamba, Ph.D

Diajukan untuk memenuhi salah satu
syarat mendapatkan gelar Sarjana
Teknik

Agustus 2022

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Judul Laporan Tugas Akhir:

PERANCANGAN SISTEM *MULTIBODY* DARI KENDARAAN TRAKTOR-*TRAILER* DAN PENERAPANNYA PADA *TUGGER TRAIN* *SYSTEM*

Peserta Tugas Akhir II:

Justin Sunarto Budiman

(2017630002)

Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika), Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan di atas telah melaksanakan proses bimbingan pembuatan dan penyusunan Proposal Tugas Akhir sesuai ketentuan yang telah ditetapkan serta dinyatakan layak untuk mengikuti Sidang Proposal.

Bandung, 15 Juli 2022

Dosen Pembimbing:



Dr. Ir. Bagus Made Arthaya, M.Eng.
Pembimbing I



Tua Agustinus Tamba, Ph.D.
Pembimbing II

PERNYATAAN TIDAK MENCONTEK ATAU MELAKUKAN TINDAKAN PLAGIAT

Saya yang bertandatangan dibawah ini,

JUSTIN SUNARTO BUDIMAN

Dengan ini menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir dengan judul:

”PERANCANGAN SISTEM *MULTIBODY* DARI KENDARAAN
TRAKTOR-*TRAILER* DAN PENERAPANNYA PADA *TUGGER TRAIN*
SYSTEM”

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, 15 Juli 2022



Justin Sunarto Budiman

NPM: 2017630002

Abstrak

Lead time pada sebuah industri mendefinisikan waktu tunggu mulai dari pesanan masuk sampai pesanan diterima kembali oleh customer. Salah satu faktor yang mempengaruhi *lead time* adalah waktu transport material yang salah satunya menggunakan *forklift*. Berdasarkan spesifikasi *forklift* buatan Toyota, dalam satu siklus, *forklift* mampu membawa beban maksimal 3.600 kg dan untuk dapat bermanuver, membutuhkan aisle dengan lebar 3,65 meter. Seiring berkembangnya zaman, ketersediaan ruang untuk membangun sebuah industri akan semakin terbatas, sementara biaya yang diperlukan akan semakin besar. Dikembangkanlah *Tugger Train System* (TTS) yang terdiri dari traktor, trailer, dan *trolley*. Dengan kemampuan membawa beban yang sama dengan *forklift*, TTS hanya memerlukan aisle sekitar 2,18 meter untuk dapat bermanuver dengan sempurna. Pada penelitian ini, dirancang sistem TTS yang dapat bergerak pada ruang yang sempit dengan cara membuat trailer bergerak pada jalur yang sama dengan traktor. Pada penelitian ini, dirancang traktor yang dapat berjalan secara otomatis dan/atau dikendalikan yang memiliki satu (1) roda kemudi (sistem kemudi Ackermann). Untuk kemudahan analisis, TTS dikonfigurasi membentuk konfigurasi DSTTMR dengan konfigurasi link penghubung traktor dengan trailer adalah *on-axle hitching*. Trailer harus memiliki kemampuan untuk mengatur dan menjaga orientasi dari *axle* roda belakangnya, sehingga membentuk konfigurasi yang memungkinkan trailer bergerak tepat di atas jalur yang telah dilewati traktor tanpa adanya pemandu. Untuk tujuan tersebut, dirancanglah algoritma kontrol geometri yang digunakan untuk menjaga orientasi trailer. Kontrol ini lebih sederhana dan tidak memerlukan persamaan yang rumit untuk diimplementasikan. Hasil dari pergerakan sistem didapatkan di mana trailer sudah mampu mempertahankan posisinya agar bergerak di atas jalur pergerakan yang dihasilkan oleh traktor dengan nilai error $< 5\%$. Selain itu, pada traktor juga memiliki kemampuan untuk melakukan penjajakan jalur dengan menggunakan algoritma Pure Pursuit yang secara berulang menentukan besar sudut kemudi dari traktor sesuai dengan posisi aktual traktor yang didapatkan dari hasil lokalisasi menggunakan kamera dengan bantuan *object detection*.

Kata kunci:

tugger train system, sistem kemudi ackermann, algoritma pure pursuit, sistem lokalisasi

Abstract

Lead time in an industry defines the waiting time from the order entry until the order is received back by the customer. One of the factors that affect the lead time is the material transport time. Forklift is one of the conventional material transport vehicles. Based on the specifications of the Toyota forklift, in one cycle, the forklift is able to carry a maximum load of 3,600 kg and to be able to maneuver, it requires an aisle with a width of 3.65 meters. As time goes by, the availability of space to build an industry will be increasingly limited, while the costs required will be even greater. The Tugger Train System (TTS) was developed which consists of a tractor, trailer and trolley with the ability to carry the same load as a forklift, TTS only requires an aisle of about 2.18 meters to be able to maneuver perfectly. In this study, a TTS system was designed that can move in a narrow space by making the trailer move on the same track as the tractor. In this research, a tractor that can run automatically and/or be controlled has one (1) steering wheel (Ackermann steering system) designed. For ease of analysis, TTS is configured to form a DSTTMR configuration with the link configuration connecting the tractor to the trailer is on-axle hitching. The trailer must have the ability to adjust and maintain the orientation of the rear axle, thus forming a configuration that allows the trailer to move directly over the tractor's path without presence of a guide. For this purpose, a geometry control algorithm is designed which is used to maintain the orientation of the trailer. These controls are simpler and don't require complex equations to implement. The results of the movement of the system are obtained where the trailer is able to maintain its position so that it moves over the movement path generated by the tractor with an error value of $< 5\%$. In addition, the tractor also has the ability to explore the path using the Pure Pursuit algorithm which repeatedly determines the steering angle of the tractor according to the actual position of the tractor obtained from localization results using a camera with the help of object detection.

Keywords:

tugger train system, ackermann steering system, path following, pure pursuit algorithm, localization system

Kata Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah YME, karena dengan rahmat-Nya lah penyusunan Buku Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku Tugas Akhir yang berjudul "Perancangan Sistem *Multibody* dari kendaraan Traktor *Trailer* dan Penerapannya pada *Tugger Train System*" disusun, sebagai syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam sebuah industri, *lead time* menjadi *point* yang sangat penting untuk ditinjau dan diteliti, karena sangat berpengaruh terhadap aspek produksi. Menanggapi hal tersebut, terus bermunculan ide-ide keratif untuk mengurangi *lead time*, salah satunya adalah menggunakan *Tugger Train System* atau yang biasa disingkat TTS. TTS merupakan sistem yang menyerupai kereta api namun tanpa adanya *rail* sebagai pemandu gerakan. Meskipun demikian, TTS memiliki kemampuan yang sama dengan kereta api, yaitu *trailer* dapat bergerak tepat di atas trajektori dari traktor. Oleh karena itu, pada laporan Tugas Akhir ini, ditinjau model TTS yang dikonfigurasi sehingga membentuk konfigurasi DSTTMR, dengan traktor yang memiliki sistem kemudi *Ackermann*, serta konfigurasi *link* penghubung antara traktor dan trailer adalah *on-axle hitching*. Untuk memenuhi tujuan pergerakan *trailer* yang dapat bergerak tepat mengikuti trajektori traktor, maka pada laporan Tugas Akhir ini, berfokus pada perancangan model kinematika sistem yang nantinya berfungsi sebagai model *tracking* dan kontrol untuk pergerakan *trailer*.

Dalam melakukan penelitian ini, penulis mendapat banyak bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, diantaranya:

- Dr. Ir. Bagus Arthaya, M.Eng. dan Tua Agustinus Tamba, Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir di Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika Universitas Katolik Parahyangan.
- Orangtua penulis yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis.
- Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan dorongan, perhatian serta diskusi yang sangat bermanfaat saat mengerjakan Tugas Akhir ini.

- Nicholas Ferry angkatan 2018 yang membantu penulis dalam menyediakan mesin cetak 3D dengan sangat responsif sehingga Buku Tugas Akhir dapat selesai dengan baik.
- Stephen Gulo, Wendi Kristianto, dan Glenn Bonaventura sebagai rekan diskusi dan penyemangat dalam menyelesaikan Buku Tugas Akhir ini.
- Mathilda Laurensia, Kharisma Surya, Alicia Virgia, Farhan Trirama dan rekan-rekan terdekat penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang memberikan dukungan semangat baik langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa penulisan Buku Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Maka dari itu, penulis mengharapkan kritik, saran, masukan guna perbaikan dan pengembangan dari penelitian ini. Semoga Buku Tugas Akhir ini bermanfaat guna memperkaya ilmu pengetahuan pembaca, akademisi, masyarakat umum dan juga Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika Universitas Katolik Parahyangan. Terima kasih atas pengertian dan kerja sama yang telah diberikan, dan penulis mohon maaf apabila terdapat kesalahan yang kurang berkenan pada penulisan Buku Tugas Akhir ini.

Daftar Isi

Abstrak	ix
Abstract	xi
Kata Pengantar	xiii
Daftar Isi	xv
Daftar Tabel	xix
Daftar Gambar	xxi
Daftar Simbol dan Variabel	xxv
Daftar Singkatan	xxvii
1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah.	4
1.3 Batasan Masalah dan Asumsi	5
1.4 Tujuan Tugas Akhir	5
1.5 Manfaat Tugas Akhir	5
1.6 Metodologi Tugas Akhir	5
1.7 Sistematika Penulisan Tugas Akhir	6
2 Tinjauan Pustaka	9
2.1 <i>Tugger Train System</i>	9
2.1.1 Konfigurasi <i>On-Axle hitching</i> dan <i>Off-Axle Hitching</i>	9
2.1.2 Konfigurasi DSTTMR dan SSTTMR	10
2.2 Kinematika Robot	12
2.2.1 Matriks Rotasi	13

2.2.2	Matriks Translasi	13
2.2.3	Matriks Transformasi Homogeneous	14
2.3	Model Kinematika <i>Bicycle Model</i>	14
2.3.1	Titik ICR pada <i>Azle</i> Roda Belakang	15
2.3.2	Titik ICR pada <i>Azle</i> Roda Depan	15
2.3.3	Titik ICR pada Titik COG (<i>Center of Gravity</i>)	16
2.4	Algoritma Kontrol Penjejakan Lintasan	17
2.4.1	Menghitung <i>Curvature</i>	19
2.5	Kinematika Planar pada Benda Tegar	20
2.6	Riset Pendahulu	21
3	Perancangan Sistem	23
3.1	Penentuan Titik Belok pada Traktor sebagai Titik Input untuk Trailer	23
3.2	Model Pergerakan Sistem Traktor-trailer dengan Konfigurasi SSTTMR dan DSTTMR	27
3.3	Model Kinematika Sistem Traktor trailer	28
3.4	Model Pergerakan Sistem Traktor Trailer	30
3.4.1	Peletakkan Motor pada trailer	32
3.5	Generasi Lintasan (Kurva Halus)	33
3.5.1	Ilustrasi <i>Bezier Curve</i>	33
3.6	Rincian Desain	36
3.6.1	Komponen Mekanik	36
3.6.2	Komponen Elektrik	42
3.6.3	Perangkat Lunak	43
3.6.4	Rangkaian Listrik	43
3.6.5	Pengambilan Data Kecepatan Traktor	50
4	Analisis Sistem	53
4.1	Hasil Rancang Bangun Robot	53
4.1.1	Hasil Perancangan Traktor	53
4.1.2	Hasil Perancangan Trailer	55
4.2	Proses Pengolahan Data Posisi Traktor Trailer	57
4.2.1	Pengaturan Ruang Pengujian	58
4.2.2	Kalibrasi Kamera	59
4.2.3	Pengolahan Citra	62
4.3	Koneksi MATLAB dan NodeMCU ESP8266	66
4.4	Hasil Uji Coba dan Analisis	68
4.4.1	Simulasi dan Implementasi Algoritma <i>Pure Pursuit</i> pada Traktor	69
4.4.2	Uji Coba Gerak Melingkar Traktor	72
4.4.3	Uji Gerak Traktor dengan Algoritma <i>Pure Pursuit</i>	73
4.4.4	Uji Gerak Melingkar Traktor Trailer	76
4.4.5	Uji Belok Kanan Traktor Trailer	77
5	Simpulan dan Saran	79

5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	81
Daftar Pustaka	83
Lampiran A Program MATLAB	88
A.1 Generasi Kurva Halus	88
A.2 Simulasi <i>Pure Pursuit</i>	89
Lampiran B Program Komunikasi I2C NodeMCU dan Arduino UNO	93
B.1 Master NodeMCU	93
B.2 Slave Arduino UNO	95

Daftar Tabel

1.1	Perbandingan massa dan lebar <i>aisle</i> yang diperlukan oleh <i>Forklift</i> dan TTS	3
3.1	Spesifikasi masing-masing roda gigi.	41
3.2	Data kalibrasi pengukuran sensor KY-040.	45
3.3	Data hasil kalibrasi servo MG90S.	46
3.4	Data hasil kalibrasi servo TD8210MG.	48
3.5	Tabel hasil pengukuran jarak.	51
4.1	Tabel konversi satuan piksel ke mm.	66

Daftar Gambar

1.1	Contoh <i>forklift</i> buatan Toyota. [1]	2
1.2	Contoh TTS buatan STILL. [2]	2
1.3	Contoh kereta api yang sedang bergerak.	4
1.4	Diagram metodologi penelitian.	6
2.1	Konfigurasi mekanisme <i>on axle hitching</i> .	10
2.2	Konfigurasi mekanisme <i>off axle hitching</i> .	10
2.3	Konfigurasi <i>joint</i> pada DSTTMR.	11
2.4	Konfigurasi <i>joint</i> pada SSTTMR.	12
2.5	Penggambaran rotasi dari <i>frame</i> $\{s\}$ ke <i>frame</i> $\{b\}$. [3]	13
2.6	Penggambaran vektor pada <i>bicycle model</i> . [4]	14
2.7	Ilustrasi vektor pada <i>bicycle model</i> dengan ICR pada <i>axle</i> roda belakang. [4]	15
2.8	Ilustrasi vektor pada <i>bicycle model</i> dengan ICR pada <i>axle</i> roda depan. [4]	16
2.9	Ilustrasi vektor pada <i>bicycle model</i> dengan ICR pada titik COG. [4]	17
2.10	Representasi geometri algoritma <i>pure pursuit</i> . [5]	18
2.11	Ilustrasi koordinat kendaraan dan titik tujuan yang ingin dituju.	19
2.12	Struktur hubungan traktor-trailer.	21
3.1	Kondisi normal traktor sebelum berbelok. [6]	24
3.2	Model konfigurasi awal traktor pada saat akan belok. [6]	24
3.3	Model jalur yang terbentuk oleh titik B_0 dan A_0 pada Gambar 3.2.	25
3.4	Model jalur yang terbentuk jika menggunakan SSTTMR.	27
3.5	Model jalur yang terbentuk jika menggunakan DSTTMR.	27
3.6	Konfigurasi model sistem traktor-trailer yang ditinjau.	28
3.7	Penggambaran <i>frame</i> \dot{u}, \dot{v} pada traktor.	29
3.8	Ilustrasi model gerak sistem traktor-trailer.	31
3.9	Konfigurasi peletakkan motor pada model traktor trailer.	32
3.10	Contoh lintasan awal yang dirancang.	33
3.11	Ilustrasi lintasan yang dibentuk oleh tiga (3) titik kontrol.	34
3.12	Ilustrasi titik C_t pada lintasan yang dibentuk oleh tiga (3) titik kontrol.	34
3.13	Ilustrasi lintasan yang dibentuk oleh empat (4) titik kontrol.	35
3.14	Ilustrasi kurva halus yang dihasilkan oleh tiga (3) titik kontrol.	36

3.15	Representasi sistem roda gigi differensial.	37
3.16	Hasil <i>drawing</i> dari <i>bevel gear</i>	38
3.17	Hasil <i>drawing</i> dari <i>pinion gear</i>	38
3.18	Tampak isometri desain perancangan <i>case</i> gardan atas.	39
3.19	Tampak isometri desain perancangan <i>case</i> gardan bawah.	39
3.20	Hasil <i>drawing</i> bagian atas dari kerangka roda kemudi traktor.	40
3.21	Hasil <i>drawing</i> tiang dari kerangka roda kemudi traktor.	40
3.22	Hasil <i>drawing</i> penghubung roda dari kerangka roda kemudi traktor.	40
3.23	Roda gigi pada <i>axle</i> trailer, yang adalah roda gigi pada motor servo.	41
3.24	Roda gigi pada <i>axle</i> trailer, yang adalah roda gigi pada <i>axle joint</i>	42
3.25	Hasil <i>drawing link</i> penghubung traktor dan trailer.	42
3.26	Pengaturan letak sensor pada saat kalibrasi.	44
3.27	Grafik regresi linear antara nilai derajat riil dan output sensor KY-040.	45
3.28	Ilustrasi proses kalibrasi kedua motor servo yang digunakan.	46
3.29	Grafik regresi linear antara nilai posisi input servo MG90S dan derajat riil.	47
3.30	Grafik regresi linear antara nilai posisi input servo TD8210MG dan derajat riil.	48
3.31	Skematik rangkaian elektronik sistem.	50
3.32	Posisi awal uji kecepatan traktor.	50
3.33	Masing-masing titik akhir dari pengukuran.	51
4.1	<i>Exploded view</i> gardan.	53
4.2	Hasil <i>assembly driving wheel</i>	54
4.3	Tampak atas bagian dalam gardan.	54
4.4	Tampak atas gardan setelah <i>assembly</i>	55
4.5	Tampak samping traktor.	55
4.6	Tampak atas hasil perancangan trailer.	56
4.7	Tampak samping hasil perancangan trailer.	56
4.8	Tampak atas hasil perancangan sistem traktor trailer.	57
4.9	Tampak samping hasil perancangan traktor trailer.	57
4.10	Langkah yang dilakukan pada saat proses pengambilan data.	58
4.11	Desain pengaturan ruang eksperimen.	58
4.12	Dimensi riil lintasan robot sesuai dengan hasil tangkapan kamera.	59
4.13	Visualisasi efek distorsi. (a) Gambar normal; (b) Distorsi radial negatif (<i>pinchusion</i>); (c) Distorsi radial positif (<i>barrel</i>).	59
4.14	Pola papan catur yang digunakan.	60
4.15	Beberapa contoh pengambilan gambar pola papan catur.	61
4.16	Rata-rata nilai error dari hasil kalibrasi kamera.	61
4.17	Visualisasi posisi kamera pada ruang tiga (3) dimensi.	62
4.18	Contoh objek dengan warna berbeda.	63
4.19	Hasil deteksi <i>threshold</i> warna merah.	63
4.20	Hasil deteksi <i>threshold</i> warna hijau.	64
4.21	Konfigurasi koordinat piksel dan kartesian.	64
4.22	Hasil konversi satuan piksel ke mm pada sumbu-x.	65

4.23	Hasil konversi satuan piksel ke mm pada sumbu-y.	65
4.24	GUI yang dirancang untuk menghubungkan MATLAB dan NodeMCU.	67
4.25	Tampilan penuh GUI yang dirancang.	68
4.26	Diagram Alir proses yang terjadi pada NodeMCU (A) dan Arduino UNO (B).	69
4.27	Diagram blok sistem lokalisasi yang dirancang untuk mendeteksi posisi traktor.	70
4.28	Hasil simulasi gerak lurus traktor.	70
4.29	Hasil simulasi gerak belok traktor dengan $ld = 10$ cm.	71
4.30	Hasil simulasi gerak belok traktor dengan $ld = 50$ cm.	71
4.31	Hasil simulasi gerak traktor pada saat belok kiri.	72
4.32	Hasil plot posisi traktor pada saat bergerak melingkar.	73
4.33	Hasil uji traktor pada saat belok kanan mengikuti jalur referensi.	74
4.34	Grafik error posisi antara lintasan yang dihasilkan trakto dan lintasan referensi pada saat belok kanan.	74
4.35	Hasil uji traktor pada saat belok kiri mengikuti jalur referensi.	75
4.36	Grafik error posisi antara lintasan yang dihasilkan traktor dan lintasan referensi pada saat belok kiri.	76
4.37	Hasil plot posisi traktor dan trailer pada saat bergerak melingkar.	76
4.38	Hasil plot posisi traktor dan trailer pada saat bergerak melingkar dengan beban tambahan.	77
4.39	Hasil plot posisi traktor dan trailer pada saat bergerak dengan pola lurus, belok, lurus.	78

Daftar Simbol dan Variabel

(O_x, O_y, O_z)	Komponen translasi titik O terhadap sumbu x, y, dan z
R_1^0	matriks rotasi titik 1 terhadap titik 0
T_1^0	matriks translasi titik 1 terhadap titik 0
H_1^0	matriks transformasi Homogeneous titik 1 terhadap titik 0
v_1	kecepatan linear traktor
v_2	kecepatan linear trailer
tr	titik pada traktor yang ditinjau
tl	titik pada <i>trailer</i> yang ditinjau
θ_1	sudut orientasi traktor
θ_2	sudut orientasi trailer
ω_{tr}	kecepatan sudut traktor
ω_{tl}	kecepatan sudut <i>trailer</i>
ω_r	kecepatan putar roda kanan traktor
ω_l	kecepatan putar roda kiri traktor
(x_r, y_r)	koordinat x dan y robot
(\dot{x}_r, \dot{y}_r)	komponen kecepatan linear pada sumbu x dan y
(\dot{x}_u, \dot{y}_u)	komponen kecepatan linear pada sumbu u
(\dot{x}_v, \dot{y}_v)	komponen kecepatan linear pada sumbu v
$\dot{\theta}$	kecepatan sudut
h_1	jarak antara <i>axle</i> belakang ke roda depan traktor
h_2	jarak <i>link</i> penghubung traktor dengan <i>trailer</i>
r	jari-jari roda traktor
$2R$	jarak antar roda traktor
ϕ_2	Sudut orientasi <i>link</i> penghubung traktor dan <i>trailer</i>
p	titik tengah <i>axle</i> belakang traktor
q	titik tengah <i>axle</i> depan <i>trailer</i>
s	lebar total yang dihasilkan oleh pergerakan TTS
d	panjang <i>axle</i> traktor
r_1	jari-jari yang dibentuk traktor pada saat berbelok
r_2	jari-jari yang dibentuk <i>trailer</i> pada saat berbelok

Daftar Singkatan

FTI	Fakultas Teknologi Industri
TTS	<i>Tugger Train System</i>
AGV	<i>Automated Guided Vehicle</i>
DSTTMR	<i>Double Steering Tractor Trailer Mobile Robot</i>
SSTTMR	<i>Single Steering Tractor Trailer Mobile Robot</i>
ROI	<i>Region of Interest</i>
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>
ICR	<i>Instantaneous Center of Rotation</i>
COG	<i>Center of Gravity</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
PLA	<i>Polylactic Acid</i>
LQR	<i>Linear Quadratic Regulator</i>
LQR	<i>Linear Quadratic Regulator</i>
MPC	<i>Model Predictive Controller</i>
GTSMC	<i>Global Terminal Sliding Mode Control</i>
UNPAR	Universitas Katolik Parahyangan

Bab 1

Pendahuluan

Bab pendahuluan berisi tentang latar belakang masalah dalam meneliti sistem kemudi dan model trailer dari *Tugger Train System*. Bab ini juga membahas mengenai identifikasi, perumusan masalah, asumsi dalam penelitian, tujuan, manfaat, metodologi dan sistematika penulisan Laporan Tugas Akhir ini.

1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam sebuah industri, terdapat istilah *lead time* yang menggambarkan waktu yang diperlukan pada saat pesanan (*order*) diterima oleh pihak industri, sampai pesanan dapat diterima kembali oleh *customer*. Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi *lead time* dari sebuah siklus, di antaranya adalah waktu *transport* material. Waktu *transport* material ini menggambarkan waktu yang diperlukan untuk memindahkan suatu material produksi dan/atau produk jadi dari satu pos ke pos yang lain. Salah satu faktor yang berkaitan dengan waktu *transport* material adalah *material handling* atau penanganan material.

Sistem penanganan material, dapat didefinisikan sebagai penyediaan material yang benar dengan komposisi, kondisi, lokasi, posisi, urutan, biaya, dan metode yang benar. Berdasarkan jenisnya, sistem penanganan material ini mempengaruhi waktu total produksi sebanyak 87%, biaya produksi sebesar 15 s/d 70%, dan ketersediaan ruang pada industri sebesar 55% [7].

Pengembangan sistem penanganan material ini terus dilakukan dengan tujuan untuk memperkecil biaya, dan meningkatkan efisiensi kerja dari sistem penanganan material itu sendiri. Salah satu contohnya adalah *industrial vehicle*. Fungsi dari *industrial vehicle* sendiri adalah untuk memindahkan material dari satu titik ke titik yang lain dalam sebuah industri. Banyak jenis kendaraan industri telah yang digunakan, salah satunya adalah *forklift*. Beberapa faktor yang ditinjau dari kendaraan ini adalah beban maksimum dan lebar *aisle* yang diperlukan agar kendaraan dapat

bermanuver secara maksimal. Lebar *aisle* merupakan jarak antara barang dan/atau mesin yang memungkinkan untuk dilakukannya pergerakan bebas oleh manusia maupun kendaraan pembawa material [7]. Menurut OSHA (*Operational Safety and Health Administration*), lebar minimal *aisle* dalam sebuah industri adalah 0,91 meter. Gambar 1.1 merupakan tampilan dari *forklift* buatan Toyota di mana beban



Gambar 1.1 Contoh *forklift* buatan Toyota. [1]

maksimum yang dapat diangkat/dibawa oleh *forklift* tersebut adalah 1.600 - 3.600 kg per 1 kali pengangkatan. Sedangkan, untuk lebar *aisle* minimal yang diperlukan adalah 3,65 meter pada pergerakan 1 arah.

Terdapat pula 1 sistem lain yang termasuk ke dalam *industrial vehicle* yaitu *Tugger Train System* atau yang disingkat TTS. Pada TTS terdapat 3 bagian utama yaitu traktor, trailer, dan *trolley*. Traktor digunakan untuk menarik trailer yang mengangkat *trolley* berisi barang atau material produksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Contoh TTS buatan STILL. [2]

Tugger Train System atau TTS ini mengadopsi struktur *body* dan konsep pergerakan dari kereta api. Struktur *body* yang dimaksud adalah berkaitan dengan kemampuan TTS untuk menarik lebih dari 1 buah trailer pada satu (1) siklus perjalanan. Kemudian konsep pergerakan sistem ini (TTS) mengadopsi konsep pergerakan dari kereta api yang mana gerbong dan lokomotif bergerak di atas jalur (*path*) yang sama. Hal tersebut dikarenakan adanya rel sebagai pemandu pergerakan dari kereta api, namun pada TTS, tidak ada rel yang berperan sebagai pemandu gerak (*railless*).

Menurut STILL [2] yang merupakan salah satu pengembang dari TTS ini, TTS sendiri mampu mengangkat/membawa barang dengan beban maksimum 1.000 - 1.600 kg per trailer, dan untuk bermanuver secara sempurna, memerlukan *aisle* dengan lebar 2,18 meter untuk pergerakan 1 arah.

Berdasarkan pemaparan di atas, menurut [1] dan [2] didapatkan perbandingan beban maksimum dan lebar *aisle* yang diperlukan untuk mengoperasikan *forklift* dan TTS pada Tabel 1.1 di bawah. Luas ruangan pada sebuah industri harus diatur sedemikian

Tabel 1.1

PERBANDINGAN MASSA DAN LEBAR AISLE YANG DIPERLUKAN OLEH FORKLIFT DAN TTS

	Beban Maksimum (kg)	Lebar Aisle (m)
<i>Forklift</i>	1.600 - 3.600	3,65
TTS	1.000 - 1.600	2,18

rupa sehingga memenuhi kebutuhan produksi. Namun, jika jumlah rak penyimpanan, material, atau mesin produksi yang banyak sementara ketersediaan ruang yang terbatas, maka salah satu hal yang bisa dikondisikan adalah kendaraan industri yang diatur agar rentetan traktor *trailers* di belakangnya dapat mengikuti lintasan seperti kereta api walau pada ruang sempit. Berdasarkan Tabel 1.1, maka TTS dapat dipilih sebagai solusi dari pemilihan kendaraan industri karena memiliki kemampuan untuk dapat bergerak pada ruang yang sempit.

Definisi bergerak di ruang yang sempit ini muncul karena kemampuan trailer TTS yang dapat bergerak tepat di atas jalur *path* yang telah dilalui oleh traktor. Gambar 1.3 menunjukkan sebuah kereta api yang sedang bergerak. Gerbong kereta akan selalu berada pada satu (1) jalur yang sama dengan lokomotif yang disebabkan karena rel. Konsep pergerakan kereta api inilah yang ingin diadopsi oleh TTS yang dirancang, namun tanpa rel sebagai pemandu gerakannya. Dengan kata lain, trailer yang ditarik oleh traktor harus dirancang agar bergerak pada satu (1) jalur yang sama dengan traktor namun tanpa rel. Sehingga, trailer tidak akan menabrak rak/barang yang ada di sebelahnya, terlebih pada saat TTS sedang berbelok. Untuk dapat menggantikan rel yang berlaku sebagai pemandu gerak dari kereta api dan menerapkannya pada TTS, pada Tugas Akhir ini, dirancang sebuah konfigurasi dan algoritma sistem *multibody* dari kendaraan traktor-trailer agar dapat bergerak



Gambar 1.3 Contoh kereta api yang sedang bergerak.

layaknya kereta api yang memiliki rel sebagai pemandu gerakannya. Sehingga trailer dapat bergerak dengan menduplikasi hasil pergerakan traktor.

Memasuki era digital, permasalahan lain muncul di mana otomasi sudah masuk ke berbagai bidang, salah satunya dalam industri. AGV (Automated Guided Vehicle) merupakan salah satu contoh otomasi yang terdapat di industri, di mana fungsi dari AGV ini juga sebagai lokomotif (penarik) untuk gerbong-gerbong atau trailer yang membawa barang/material industri. Namun, pembuatan dan/atau penanaman jalur AGV pada lantai pabrik memakan cukup tempat dan biaya. Maka dari itu, tugas akhir ini juga merancang sebuah sistem di mana traktor dapat bergerak tanpa pengemudi (otonom) dan juga tanpa rel fisik. Sistem tersebut dinamakan *path following*, di mana terlebih dahulu dirancang sebuah jalur virtual yang harus diikuti oleh traktor dan posisi traktor dapat diketahui secara langsung.

1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah.

Berdasarkan pemaparan latar belakang pada bab 1.1 di atas, maka dapat diidentifikasi dua (2) masalah, yaitu menentukan cara agar traktor dapat bergerak mengikuti jalur yang telah dirancang dan kedua adalah menentukan model pergerakan dari kendaraan traktor-trailer di mana trailer dapat bergerak tepat di atas *path* yang telah dilewati traktor. Dari identifikasi tersebut, dapat dirumuskan beberapa masalah pada Buku Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Algoritma apa yang digunakan agar traktor dapat bergerak mengikuti *path* yang sudah dirancang?
2. Bagaimana sistem lokalisasi yang dirancang untuk mendeteksi posisi traktor dan traktor-trailer yang sedang bergerak?
3. Metode apa yang diimplementasikan agar trailer dapat bergerak pada jalur yang sama dengan traktor tanpa adanya jalur pemandu?
4. Parameter apa yang harus diperhatikan agar trailer dapat bergerak di atas jalur pergerakan yang sama dengan traktor?

5. Bagaimana hasil implementasi algoritma pada sistem traktor trailer yang dirancang?

1.3 Batasan Masalah dan Asumsi

Adapun beberapa batasan masalah yang ada pada Laporan Tugas Akhir ini, adalah:

1. Traktor yang ditinjau adalah traktor yang dapat bergerak secara otomatis.
2. Sistem yang ditinjau bergerak pada lintasan yang datar dan kering.
3. Model TTS yang ditinjau adalah model dengan 1 buah traktor yang menarik 1 buah trailer.
4. Pada tugas akhir ini, traktor memiliki kemampuan untuk melacak dan mengikuti jalur, sedangkan trailer, hanya mengikut pergerakan dari traktor saja.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan dari dibuatnya Tugas Akhir ini adalah:

1. Merancang model gerakan dari kendaraan traktor-trailer.
2. Merancang model prototipe kendaraan sistem traktor-trailer.
3. Merancang model tumpuan dari sistem traktor-trailer.
4. Merancang algoritma penjejakan jalur untuk traktor.
5. Merancang algoritma kontrol agar trailer dapat bergerak di atas jalur yang dihasilkan oleh traktor tanpa jalur pemandu.

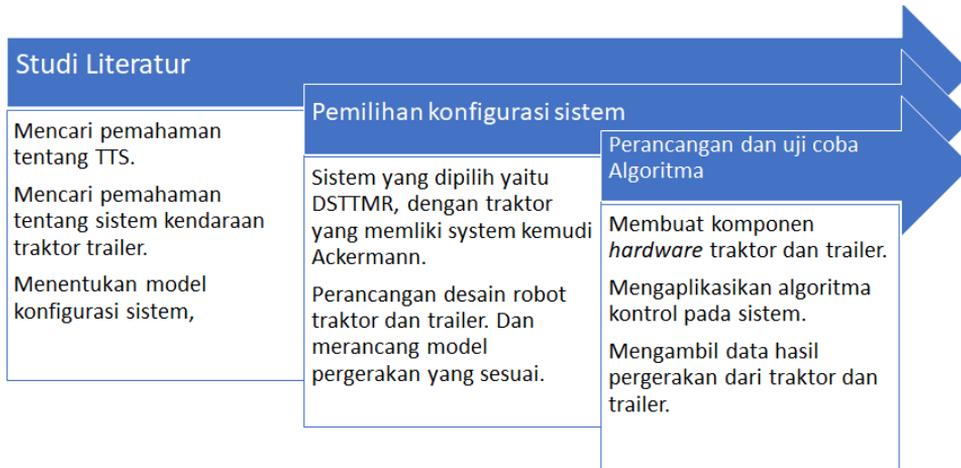
1.5 Manfaat Tugas Akhir

Adapun beberapa Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Merancang sebuah konfigurasi kendaraan industri yang dapat bergerak di ruang yang sempit.
2. Membuat algoritma yang berguna agar model pergerakan sistem traktor-trailer dapat bergerak pada satu (1) jalur yang sama.

1.6 Metodologi Tugas Akhir

Kegiatan Tugas Akhir dilakukan dengan metodologi yang ditunjukkan pada diagram Gambar 1.4.



Gambar 1.4 Diagram metodologi penelitian.

1.7 Sistematika Penulisan Tugas Akhir

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

1. **Bab 1 Pendahuluan.** Dalam bab ini dijelaskan mengenai latar belakang masalah, identifikasi dan perumusan masalah, batasan masalah dan asumsi, tujuan Tugas Akhir, manfaat Tugas Akhir, metodologi Tugas Akhir serta sistematika penulisan Buku Tugas Akhir.
2. **Bab 2 Tinjauan Pustaka.** Bab ini berisi pemaparan teori dasar mengenai apa itu TTS secara umum, model kinematika dasar, perbedaan DSTTMR (*Double Steering Tractor Trailer Mobile Robot*) dengan SSTTMR (*Single Steering Tractor Trailer Mobile Robot*), kinematika robot, model kinematika *mobile robot* dengan konfigurasi *bicycle model* dan kinematika planar pada benda tegar dan riset pendahulu.
3. **Bab 3 Perancangan Sistem.** Dalam bab ini dipaparkan antara lain:
 - (a) Penentuan titik belok trailer.
 - (b) Model pergerakan sistem TTMR dengan konfigurasi SSTTMR dan DSTTMR.
 - (c) Model kinematika traktor secara umum.
 - (d) Model pergerakan sistem yang diinginkan dan peletakan motor pada trailer.
 - (e) Algoritma *path following* yang digunakan.
 - (f) Sistem lokalisasi yang dirancang.

(g) Rincian rancangan desain.

4. **Bab 4 Data dan Analisis Sistem** Bab ini berisi tentang hasil rancang bangun robot, proses pengolahan data posisi pada sistem, penerapan algoritma metode geometri dan hasil plot jalur traktor dan trailer pada saat bergerak.
5. **Bab 5 Kesimpulan dan Saran** Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian ini dan saran yang bermanfaat untuk pengembangan penelitian ini ke depannya.

