

**Rancang Bangun Sistem *Steering* Pada Sepeda Roda 3 *Trolley City*  
Dengan Mempertimbangkan Kuasi Dinamik**

**Tugas Akhir**

Disusun sebagai salah satu syarat untuk  
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Chelsea Evaxentzya Diva Budyarsa

221322002



**PROGRAM STUDI D4 REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK  
JURUSAN TEKNIK PERANCANGAN MANUFAKTUR  
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG  
2025**

**LEMBAR PENGESAHAN**

Tugas Akhir yang berjudul:

**Rancang Bangun Sistem *Steering* Pada Sepeda Roda 3 *Trolley City*  
Dengan Mempertimbangkan Kuasi Dinamik**

Oleh:

Chelsea Evaxentzya Diva Budyarsa

221322002

Telah Direvisi, Disetujui, dan Disahkan Sebagai Tugas Akhir Penutup Program

Pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)

Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 23 Juli 2025

Disetujui,

Pembimbing I,



**Iman Apriana Effendi, S.T., M.T.**  
NIP. 19750417200511004

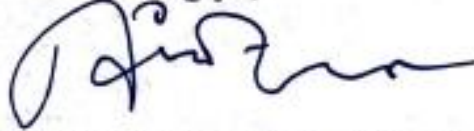
Pembimbing II,



**Kevin Putranda, S.T., M.T.**  
NIP. 199801232024061002

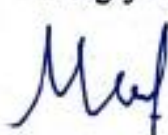
Disahkan,

Penguji I,



**Muhamad Aditva Royandi, S.Tr., M.Sc., Ph.D.**  
NIP. 199411122024061002

Penguji II,



**Metha Islameka, S.Pd., M.T**  
NIP. 199604152022032015

Penguji III,



**Ayunisa Fitriani Jihan, S.T., M.T**  
NIP. 199709092024062001

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Chelsea Evaxentzya Diva Budyarsa  
NIM : 221322002  
Jurusan : Teknik Perancangan Manufaktur  
Program Studi : Rekayasa Perancangan Mekanik  
Jenjang Studi : Diploma 4  
Jenis Karya : Tugas Akhir  
Judul Karya : Rancang Bangun Sistem *Steering* Pada Sepeda Roda 3 *Trolley City* Dengan Mempertimbangkan Kuasi Dinamik

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung  
Pada tanggal : 23/07/2025  
Yang Menyatakan,

(Chelsea Evaxentzya Diva  
Budyarsa)  
NIM 221322002

## PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Chelsea Evaxentzya Diva Budyarsa  
NIM : 221322002  
Jurusan : Teknik Perancangan Manufaktur  
Program Studi : Rekayasa Perancangan Mekanik  
Jenjang Studi : Diploma 4  
Jenis Karya : Tugas Akhir  
Judul Karya : Rancang Bangun Sistem *Steering* Pada Sepeda Roda 3 *Trolley City* Dengan Mempertimbangkan Kuasi Dinamik

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung  
Pada tanggal : 23/07/2025  
Yang Menyatakan,

(Chelsea Evaxentzya Diva  
Budyarsa)  
NIM 221322002

**MOTO PRIBADI**

*"It will pass"*

**(Rachel Venny)**

*"And it's fine to fake it 'till you make it, until you do, until it's true"*

**(Taylor Swift)**

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmatNya, hidayahNya, dan pertolonganNya penulis dapat menyelesaikan Karya Tulis Ilmiah (KTI) pada tugas akhir yang berjudul "Rancang Bangun Sistem *Steering* Pada Sepeda Roda Tiga *Trolley City* Dengan Mempertimbangkan Kuasi Dinamik". Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW sebagai suri tauladan penulis.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar di Jurusan Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung. Dengan penuh rasa syukur dan kebanggaan, penulis akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat waktu, meskipun penulis menyadari masih terdapat berbagai kekurangan yang perlu diperbaiki di masa mendatang. Proses penyusunan tugas akhir ini memberikan banyak pengalaman berharga, baik dalam hal pengembangan pengetahuan maupun keterampilan di bidang perancangan manufaktur. Penulis berharap hasil karya ini dapat memberikan manfaat, baik bagi diri sendiri, institusi, maupun pihak lain yang membutuhkan.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Pintu surgaku, Ibunda Isbandiyah, S.E., beliau sangat berperan penting dalam menyelesaikan tugas akhir ini. *Single parents* yang membesarkan kedua anaknya dengan segenap hati. Beliau sebagai ibu sekaligus ayah. Terimakasih kepada beliau karena selalu mengusahakan yang terbaik, bekerja hingga larut malam, tidak mengenal lelah, selalu mendoakan yang terbaik dan dengan hebatnya telah menyekolahkan anaknya hingga bangku perkuliahan. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada ibunda saya terkasih.
2. Kepada adik tercinta penulis, Axelskyez Maharadjasatria Budyarsa. Terimakasih karena selalu mendukung, memotivasi, dan bercanda gurau dengan penulis dalam proses menyelesaikan tugas akhir.

3. Ketua Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur, Bapak Bustami Ibrahim, S.S.T., M.T. . Ketua Program Studi, Bapak Reka Ardi Prayoga, S.T., M.T.
4. Pembimbing 1 tugas akhir yaitu Bapak Iman Apriana Effendi, S.T., M.T. yang selalu mendukung, memotivasi dan membimbing penulis untuk yakin menyelesaikan tugas akhir. Terimakasih kepada beliau yang dengan penuh kesabaran mengajarkan penulis, memberikan solusi dalam segala hal, memberikan penjelasan setiap materi dengan detail, dan membimbing setiap kekeliruan penulis dengan ramah tamah. Atas segala kebaikan dan bimbingan yang telah beliau berikan, penulis memandang beliau sebagai sosok yang layak dihormati dan dijadikan panutan layaknya orang tua sendiri.
5. Pembimbing 2 yaitu Bapak Kevin Putranda, S.T., M.T yang juga dengan penuh kesabaran mengajarkan penulis, membimbing dan memotivasi dalam penyelesaian tugas akhir.
6. Kepada Bapak Ayi Surya yang telah membantu dalam proses realisasi dari tugas akhir ini. Terimakasih karena sudah memberikan banyak saran dan masukan dalam proses pembentukan purwarupa.
7. Seluruh dosen dan staff di Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur yang telah membagi ilmu, bimbingan, pelayanan serta fasilitas sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Muhammad Daffa Marwinto Putra sebagai partner, sahabat dan rekan kuliah. Terimakasih karena sudah mendengarkan keluh kesah penulis, berkontribusi dalam penulisan tugas akhir ini, memberikan dukungan, semangat, tenaga, dan luka yang membekas. Terimakasih sudah menjadi bagian dalam perjalanan penyusunan tugas akhir ini hingga selesai.
9. Kepada rekan – rekan seperjuangan dan satu bimbingan, Bramanti, Fattahrani, Bangkit, Halida, Kaifa, Fahmi, Anggi, Daffa dan Aldi. Terimakasih karena sudah kebersamai dalam proses penyusunan tugas akhir ini.

10. Kepada teman – teman SMA penulis, Sarah Medina, Syahla Dhiya, Syaira Gita, dan Mikhaila Nadine yang selalu mendengarkan keluh kesah penulis dan menemani penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini.
11. Kepada teman magang penulis yaitu Putri Handayani. Terimakasih karena selalu menanyakan kabar penulis, mendengarkan keluh kesah, dan memberikan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
12. Kepada seluruh teman – teman DEB21 dan keluarga *Design Engineering 21* yang selalu memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis.
13. Semua pihak yang tidak mungkin disebutkan satu persatu yang telah memberikan kontribusinya dalam membantu pelaksanaan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, Juli 2025

Penulis

## ABSTRAK

Sepeda roda tiga *Trolley City* merupakan jenis sepeda dengan konfigurasi *tadpole* yang digunakan untuk membantu ibu rumah tangga berbelanja ke pasar modern membawa anak sebagai penumpang di belakang. *Trolley City* dikembangkan sejak tahun 2020, masih memiliki kekurangan pada sistem *steering* dan tidak mendukung mekanisme *tilting*. Komponen yang menunjang mekanisme *tilting* adalah *bracket*. Desain *bracket existing* terkunci dalam posisi tetap, menyebabkan manuver menjadi kaku dan membuat sepeda tidak stabil. *Trolley City* belum dilengkapi *stabilizer* untuk menyeimbangkan roda kiri dan kanan agar tetap berjalan lurus tanpa berbelok secara tiba-tiba dan membantu untuk bermanuver lebih nyaman.

Rancangan sistem *steering* yang dapat mendukung mekanisme *tilting* diperlukan perbaikan. Perbaikan dilakukan dengan pendekatan kuasi dinamik terhadap beban yang terjadi, khususnya saat berbelok. Kondisi berbelok dipilih sebagai skenario utama pengamatan karena mengalami kombinasi gaya yang paling kompleks. Metodologi perancangan yang digunakan ialah VDI 2221. Dihasilkan 2 rancangan *bracket* yang berbeda dari segi material, yaitu PLA dan ST 37.

Hasil rancangan diperiksa pada faktor tegangan *Von-Mises* dan nilai *Safety Factor*. Diperoleh hasil tegangan yang terjadi pada material PLA untuk *bracket* kiri/tengah/kanan secara berurutan sebesar 24,21/64,82/31,71 MPa, dengan tegangan izin sebesar 36,3 MPa. Menunjukkan hanya *bracket* tengah yang tidak aman. Sementara dengan material ST 37 diperoleh: 148,95/210,89/147,84 MPa, dengan tegangan izin sebesar 235 MPa, menunjukkan semua masih dalam kategori aman. Pemeriksaan nilai *Safety Factor* diperoleh antara 1,12 - 2,99 untuk PLA. dan bernilai 2,29 - 3,18 untuk ST 37. Hasil rancangan-pun direalisasikan dalam bentuk purwarupa, yang diuji karakteristik lapangannya berlintasan *u-turn* dengan variasi radius belok ( $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ ) dan variasi kecepatan (5 km/h, 10 km/h, 15 km/h, 20 km/h). Dari hasil uji coba lapangan, terjadi patahan pada *bracket* tengah PLA. Dan kondisi sepeda menjadi lebih stabil, manuver lebih responsif dan nyaman, dapat melakukan mekanisme *tilting*, dan kuat untuk menerima beban hingga 165 kg.

**Kata kunci:** kuasi dinamik, sepeda roda tiga, *tilting*, VDI 2221

## **ABSTRACT**

*The trolley city tricycle is a tadpole-configured bicycle designed to assist housewives in shopping at modern markets while carrying a child as a rear passenger. Developed since 2020, Trolley City still faces limitations in its steering system and lacks a tilting mechanism. The bracket is the key component supporting tilting, but the current design is locked in a fixed position, resulting in stiff maneuverability and reduced stability. Additionally, Trolley City does not yet feature a stabilizer to balance the left and right wheels, which is essential for maintaining straight movement and providing smoother, more comfortable maneuvers.*

*To address these issues, an improved steering system was designed to support the tilting mechanism, using a quasi-dynamic approach to analyze loads, especially during cornering—selected as the main scenario due to its complex force combinations. The design methodology applied is VDI 2221, which emphasizes systematic engineering design through phases such as task clarification, conceptual design, embodiment, and detailed design.*

*Two bracket designs were produced using different materials: PLA and ST 37. The designs were evaluated based on Von-Mises stress and Safety Factor. For PLA, the left/center/right brackets experienced stresses of 24.21/64.82/31.71 MPa, with an allowable stress of 36.3 MPa, indicating only the center bracket was unsafe. For ST 37, the stresses were 148.95/210.89/147.84 MPa, with an allowable stress of 235 MPa, confirming all brackets were safe. The Safety Factor ranged from 1.12 to 2.99 for PLA and from 2.29 to 3.18 for ST 37. Prototypes were fabricated and tested through u-turn tracks with varying turning radii (10°, 15°, 20°, 25°) and speeds (5, 10, 15, 20 km/h). Field tests showed a fracture in the PLA center bracket. However, the modified design significantly improved tricycle stability, maneuverability, comfort, enabled effective tilting, and supported loads up to 165 kg.*

*Keywords: tilting, tricycle, quasi-dynamic, VDI 2221*

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)</b> .....	<b>iii</b>
<b>MOTO PRIBADI</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN</b> .....	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>I-1</b>
I.1    Latar Belakang .....	I-1
I.2    Rumusan Masalah .....	I-6
I.3    Batasan Masalah.....	I-6
I.4    Tujuan dan Manfaat .....	I-6
I.5    Sistematika Penulisan.....	I-7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>II-1</b>
II.1    Tinjauan Teori.....	II-1
II.1.1    Konfigurasi Kendaraan Roda Tiga.....	II-1
II.1.2    Sepeda <i>Trolley City</i> .....	II-2
II.1.3    Mekanisme .....	II-3
II.1.4    Kestabilan Kendaraan .....	II-7
II.1.5    Sistem <i>Steering</i> .....	II-11
II.1.6    Mekanisme <i>Tilting</i> .....	II-12
II.1.7    Metode Kalkulasi Kuasi Dinamik.....	II-13
II.1.8    Mengukur Posisi Titik Berat .....	II-15
II.1.9 <i>Computer Aided Engineering (CAE)</i> .....	II-17
II.1.10    Teori Kegagalan .....	II-17

II.1.11	Faktor Keamanan .....	II-18
II.1.12	Proses Manufaktur .....	II-19
II.1.13	3D <i>Printing</i> .....	II-21
II.1.14	Metode Perancangan VDI 2221 .....	II-24
II.2	Tinjauan Material .....	II-28
II.2.1	Polylactid Acid (PLA).....	II-28
II.2.2	Baja ST 37.....	II-29
II.3	Tinjauan Penelitian Terdahulu .....	II-29
<b>BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH .....</b>		<b>III-1</b>
III.1	Klarifikasi Tugas.....	III-2
III.1.1	Penelitian Terdahulu .....	III-2
III.1.2	Sepeda <i>Existing</i> .....	III-3
III.1.3	Daftar Tuntutan .....	III-6
III.2	Perancangan Konsep .....	III-7
III.2.1	Menetapkan Struktur Fungsi .....	III-7
III.2.2	Menguraikan Fungsi Keseluruhan .....	III-8
III.2.3	9Alternatif Konstruksi Fungsi Bagian .....	III-11
III.2.4	Kotak Morfologi.....	III-23
III.2.5	Alternatif Fungsi Kombinasi (AFK) .....	III-24
III.2.6	Mengevaluasi Alternatif Fungsi Kombinasi .....	III-29
III.3	Perancangan Wujud .....	III-32
III.3.1	Perhitungan Awal.....	III-32
III.3.2	Membuat Rancangan Awal .....	III-32
III.4	Tahap Perancangan Detail.....	III-35
<b>BAB IV PROSES PEMBUATAN.....</b>		<b>IV-1</b>
IV.1	Proses Manufaktur .....	IV-1
IV.1.1	Persiapan Material.....	IV-2
IV.1.2	Proses Produksi .....	IV-3
IV.1.3	Proses Perakitan .....	IV-4
IV.1.4	Perbaikan Konstruksi .....	IV-4
IV.1.5	Hasil Akhir .....	IV-7
IV.2	Proses 3D <i>Printing</i> .....	IV-7

IV.2.1	Persiapan Material.....	IV-8
IV.2.2	Proses Produksi .....	IV-8
IV.2.3	Perbedaan Parameter Slicing.....	IV-13
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>V-1</b>
V.1	Perhitungan Gaya yang Terjadi pada <i>Bracket</i> .....	V-1
V.1.1	DBB Sepeda <i>Trolley City</i> – Gaya pada Roda .....	V-2
V.1.2	DBB pada Roda Ketika Dilepaskan.....	V-4
V.1.3	DBB pada <i>Fork</i> Ketika Dilepaskan.....	V-6
V.1.4	DBB pada <i>Head Tube</i> Ketika Dilepaskan.....	V-8
V.1.5	DBB pada <i>Bracket</i> Ketika Dilepaskan.....	V-9
V.2	Analisis <i>Finite Element</i> dengan <i>Solidworks</i> .....	V-10
V.2.1	Pendefinisian Material ST 37.....	V-11
V.2.2	Pendefinisian Beban dan Tumpuan.....	V-12
V.2.3	Konvergensi Mesh .....	V-12
V.2.4	<i>Meshing</i> .....	V-13
V.2.5	Hasil Simulasi .....	V-14
V.2.6	Pendefinisian Material PLA.....	V-16
V.2.7	Pendefinisian Beban dan Tumpuan.....	V-16
V.2.8	Konvergensi Mesh .....	V-17
V.2.9	<i>Meshing</i> .....	V-17
V.2.10	Hasil Simulasi .....	V-18
V.3	Pengujian Eksperimental.....	V-20
V.3.1	Skenario Pengujian untuk <i>Bracket</i> ST 37 .....	V-21
V.3.2	Hasil Analisis Pengujian .....	V-22
V.3.3	Skenario Pengujian untuk <i>Bracket</i> PLA .....	V-26
V.3.4	Hasil Analisis Pengujian .....	V-26
<b>VI BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>VI-1</b>
VI.1	Kesimpulan .....	VI-1
VI.2	Saran.....	VI-3
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>xx</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel III.1 Daftar Tuntutan .....	III-7
Tabel III. 2 Uraian Fungsi.....	III-9
Tabel III.3 Alternatif Fungsi <i>Middle Bracket</i> .....	III-11
Tabel III.4 Alternatif Fungsi <i>Left and Right Bracket</i> .....	III-13
Tabel III.5 Alternatif Tumpuan <i>Middle Bracket</i> .....	III-15
Tabel III.6 Alternatif Fungsi Tumpuan <i>Left and Right Bracket</i> .....	III-17
Tabel III.7 Alternatif Fungsi <i>Tie rod</i> .....	III-19
Tabel III. 8 Alternatif Fungsi Pengikat <i>Tie rod</i> .....	III-20
Tabel III. 9 Alternatif Fungsi Penyetabil Kemudi .....	III-21
Tabel III. 10 Alternatif Fungsi Dudukan Penyetabil.....	III-22
Tabel III.11 Kotak Morfologi .....	III-24
Tabel III.12 Parameter Penilaian.....	III-29
Tabel III.13 Penilaian Aspek Teknis.....	III-30
Tabel III.14 Penilaian Aspek Ekonomis .....	III-31
Tabel IV. 1 Material Standar.....	IV-2
Tabel IV. 2 Material Pemesinan.....	IV-2
Tabel IV.3 Proses Pengerjaan Komponen .....	IV-3
Tabel IV.4 Parameter <i>Slicing</i> .....	IV-10
Tabel IV.5 Variasi <i>Shell Thickness</i> .....	IV-13
Tabel V.1 Hasil Perhitungan Gaya pada Sepeda dikecepatan 20 km/jam .....	V-4
Tabel V.2 Nilai Gaya Reaksi dan Momen pada As .....	V-5
Tabel V.3 Nilai Gaya Reaksi pada <i>Fork</i> .....	V-7
Tabel V.4 Nilai Gaya Reaksi pada <i>Head tube</i> .....	V-9
Tabel V.5 Nilai Gaya Reaksi dan Momen pada <i>Bracket</i> .....	V-10
Tabel V.6 Pembebanan pada <i>Bracket</i> .....	V-11
Tabel V.7 Sifat Mekanik ST 37 .....	V-12
Tabel V.8 Hasil Simulasi Variasi Mesh.....	V-13
Tabel V.9 Spesifikasi <i>Mesh Middle Bracket</i> .....	V-13
Tabel V. 10 Spesifikasi <i>Mesh Right Bracket</i> .....	V-13
Tabel V. 11 Spesifikasi <i>Mesh Left Bracket</i> .....	V-14

Tabel V.12 Hasil Simulasi Von Mises Stress .....	V-14
Tabel V.13 Hasil Simulasi <i>Displacement</i> .....	V-15
Tabel V. 14 Hasil Simulasi <i>Safety factor</i> .....	V-15
Tabel V.15 Sifat Mekanik PLA .....	V-16
Tabel V.16 Konvergensi Mesh .....	V-17
Tabel V.17 Spesifikasi <i>Mesh Right Bracket</i> .....	V-18
Tabel V. 18 Spesifikasi <i>Middle Bracket</i> .....	V-18
Tabel V.19 Spesifikasi <i>Mesh Left Bracket</i> .....	V-18
Tabel V.20 Hasil Simulasi Von Mises Stress .....	V-19
Tabel V. 21 Hasil Simulasi <i>Displacement</i> .....	V-19
Tabel V.22 Hasil Simulasi <i>Safety factor</i> .....	V-20
Tabel V.23 Radius Ackerman .....	V-22
Tabel V.24 Data Spesifikasi .....	V-22
Tabel V.25 Hasil Pengujian Sepeda .....	V-24

## DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Data Jumlah Ekspor Sepeda Periode Januari – November 2021 .....	I-1
Gambar I.2 Sepeda <i>Trolley City</i> .....	I-3
Gambar I.3 Sistem <i>Steering</i> pada Sepeda <i>Trolley City</i> .....	I-4
Gambar I.4 (a) <i>Bracket</i> samping dan tengah(b) Kondisi <i>bracket</i> saat terpasang .I-4	
Gambar II.1 Perbandingan Konfigurasi Tadpole dan Delta.....	II-1
Gambar II.2 (a) Sepeda <i>Trolley City</i> (b) <i>system steering</i> roda depan (c) Sepeda <i>Trolley City</i> saat dilipat .....	II-2
Gambar II.3 Jenis - Jenis <i>Link</i> .....	II-3
Gambar II.4 <i>Revolute joint</i> .....	II-4
Gambar II.5 <i>Prismatic Joint</i> .....	II-5
Gambar II.6 <i>Spherical joint</i> .....	II-5
Gambar II.7 <i>Planar Joint</i> .....	II-5
Gambar II.8 <i>Cylindrical Joint</i> .....	II-6
Gambar II.9 Perilaku <i>Ackerman</i> .....	II-8
Gambar II.10 Perilaku Netral.....	II-9
Gambar II.11 Perilaku <i>Understeer</i> .....	II-10
Gambar II.12 Perilaku <i>Oversteer</i> .....	II-11
Gambar II.13 Sistem <i>Steering</i> pada Konfigurasi Dua Roda di Depan.....	II-12
Gambar II.14 Mekanisme <i>Tilting</i> .....	II-13
Gambar II.15 <i>Flowchart</i> Metode Kuasi Dinamik .....	II-15
Gambar II.16 Penimbangan Bagian Depan Dan Belakang Kendaraan.....	II-15
Gambar II.17 Penimbangan Roda Depan Dengan Roda Belakang Diangkat... II-16	
Gambar II.18 Kurva Tegangan-Regangan Material Ulet (a) dan Material Getas (b) .....	II-18
Gambar II.19 Contoh Proses Machining.....	II-20
Gambar II. 20 Proses Pengecoran .....	II-21
Gambar II. 21 Mesin <i>Stereolithography</i> .....	II-22
Gambar II. 22 Proses DLP .....	II-22
Gambar II. 23 Proses SLS.....	II-23
Gambar II.24 <i>Fused Deposition Modelling</i> .....	II-24

Gambar II.25 Metode Perancangan VDI 2221 .....	II-25
Gambar II. 26 Polylactic Acid (PLA) .....	II-28
Gambar II. 27 Baja ST 37 .....	II-29
Gambar III.1 Metodologi Penyelesaian .....	III-1
Gambar III.2 Sepeda <i>Trolley City Existing</i> .....	III-3
Gambar III.3 Bagian Depan Sepeda.....	III-4
Gambar III.4 <i>Bracket Existing</i> Saat Terpasang.....	III-5
Gambar III.5 Sepeda Kondisi Normal dan <i>Tilting</i> .....	III-5
Gambar III.6 Pandangan Atas Sistem <i>Steering</i> Sepeda .....	III-6
Gambar III. 7 <i>Black Box</i> .....	III-8
Gambar III. 8 <i>Glass Box</i> .....	III-8
Gambar III. 9 Diagram Blok Fungsi .....	III-9
Gambar III.10 Alternatif Fungsi Kombinasi 1 .....	III-25
Gambar III.11 Alternatif Fungsi Kombinasi 2 .....	III-26
Gambar III.12 Alternatif Fungsi Kombinasi 3 .....	III-28
Gambar III.13 Grafik Perbandingan Nilai Teknis dan Ekonomis.....	III-31
Gambar III.14 3D Design Keseluruhan .....	III-33
Gambar III.15 3D Design Keseluruhan .....	III-33
Gambar III.16 <i>3D Design Bracket</i> .....	III-34
Gambar III.17 <i>3D Design Dudukan Penyetabil</i> .....	III-34
Gambar IV.1 Diagram Alir Proses Pembuatan.....	IV-1
Gambar IV.2 <i>Bracket</i> Yang Sudah Terpasang Pada Sepeda.....	IV-5
Gambar IV.3 <i>Bracket</i> yang Ditambahkan Pelat Penahan .....	IV-5
Gambar IV.4 <i>Bracket</i> Dengan Penambahan <i>Double Link</i> .....	IV-6
Gambar IV.5 Dudukan <i>Gas spring</i> yang Sudah Terpasang.....	IV-7
Gambar IV.6 Hasil Akhir Produk .....	IV-7
Gambar IV.7 Material PLA.....	IV-8
Gambar IV.8 Mesin <i>3D Printing</i> Flashforge .....	IV-9
Gambar IV.9 Orientasi <i>Printing</i> .....	IV-9
Gambar IV.10 <i>Slicing</i> .....	IV-10
Gambar IV.11 Proses <i>Home</i> .....	IV-11
Gambar IV.12 Proses <i>Pre Heat</i> .....	IV-11

Gambar IV.13 Proses pencetakan produk.....	IV-12
Gambar IV.14 (a) Hasil Pencetakan <i>Bracket</i> Kiri (b) Hasil Pencetakan <i>Bracket</i> Tengah.....	IV-12
Gambar IV.15 <i>Bracket</i> yang Sudah Dilepaskan Dari Material <i>Support</i> .....	IV-12
Gambar V.1 Tahapan Perhitungan DBB.....	V-1
Gambar V.2 DBB pada Sepeda Ketika Berjalan Lurus .....	V-2
Gambar V.3 DBB Sepeda Trolley City Ketika Berbelok .....	V-3
Gambar V.4 DBB pada Roda.....	V-4
Gambar V.5 DBB pada <i>Fork</i> .....	V-6
Gambar V.6 DBB pada <i>Head Tube</i> .....	V-8
Gambar V.7 DBB pada <i>Bracket</i> .....	V-9
Gambar V.8 Pendefinisian Beban dan Tumpuan.....	V-12
Gambar V.9 Pendefinisian Beban dan Tumpuan.....	V-17
Gambar V.10 Diagram Alir Skenario Pengujian .....	V-21
Gambar V.11 Skenario Pengujian.....	V-21
Gambar V.12 Rute Lintasan Pengujian.....	V-26
Gambar V.13 <i>Bracket</i> tengah mengalami patahan.....	V-27
Gambar V.14 Patahan pada <i>Bracket</i> Kanan.....	V-27

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** *Curriculum Vitae*
- Lampiran 2** *Draft Rancangan*
- Lampiran 3** Dokumentasi Teknik
- Lampiran 4** Dokumentasi Proses Pembuatan
- Lampiran 5** Skenario Pengujian
- Lampiran 6** Rubrik Penilaian
- Lampiran 7** Laporan Anggaran Biaya

## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

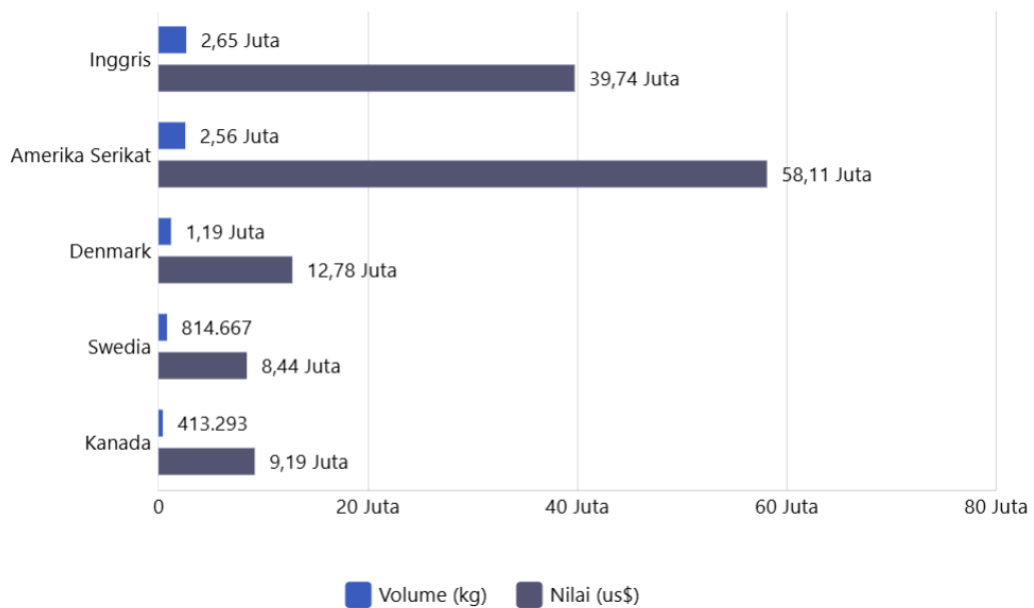
$O_a$	= Pusat Belok <i>Ackerman</i>
$\beta_a$	= Sudut Side <i>Slip</i>
$\delta_f$	= Sudut Belok Roda Depan
$R_{ack}$	= Radius <i>Ackerman</i>
$a$	= Jarak Titik Berat pada Sumbu Roda Depan
$b$	= Jarak Titik Berat pada Sumbu Roda Belakang
$\delta_f$	= Sudut Belok Roda Depan
$O_n$	= Pusat Belok Netral
$n$	= Lintasan Belok Netral
$R_n$	= Radius Belok Netral
$M$	= Momen
$F$	= Gaya
$R$	= Jarak
$F_x$	= Gaya Longitudinal
$F_y$	= Gaya Lateral
$F_N$	= Gaya Normal
$F_W$	= Gaya Berat
$h$	= Tinggi
$L$	= Wheelbase
$T_f$	= Wheeltrack
$D$	= Ukuran roda
$s_t$	= Sudut <i>Tilting</i>
$W_f$	= Berat Bagian Depan
$W_r$	= Berat Bagian Belakang

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Sepeda merupakan salah satu transportasi yang masih banyak digunakan oleh masyarakat. Penggunaan sepeda sebagai sarana transportasi mengalami peningkatan yang signifikan sejak adanya pandemi COVID-19. Pada tahun 2020, jumlah sepeda yang terjual di Indonesia meningkat hampir lima kali lipat dibandingkan periode sebelum pandemi COVID-19 [1]. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), selama Januari – November 2021, jumlah ekspor sepeda dari Indonesia mencapai 11,71 juta kg. Hal ini menunjukkan peningkatan 54,79% dibandingkan periode yang sama tahun sebelumnya yaitu 7,56 juta kg. Nilai ekspor sepeda nasional juga menunjukkan pertumbuhan signifikan bahkan naik hampir dua kali lipat dari US\$103 juta pada 2020 menjadi US\$204,15 juta atau sekitar Rp2,9 triliun pada 2021[1]. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar I.1.



Gambar I.1 Data Jumlah Ekspor Sepeda Periode Januari – November 2021[1]

Pada saat itu, sebagian masyarakat menggunakan sepeda untuk bersepeda santai sebagai hobi, dan sebagai sarana transportasi menuju stasiun, tempat kerja, sekolah dan tempat perbelanjaan seperti pasar dan supermarket [2]. Sebagian besar sepeda yang digunakan ialah sepeda dengan tenaga manusia yaitu dengan dikayuh.

Namun, jika hanya mengandalkan tenaga manusia, pesepeda berisiko merasa kelelahan yang berlebihan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknologi yang dapat diterapkan pada sepeda agar membantu mengurangi penggunaan tenaga manusia. Salah satu alternatifnya yaitu sepeda listrik [3]. Sepeda listrik merupakan sepeda yang menggunakan tenaga listrik sebagai sistem penggerakannya. Sepeda listrik bisa menjadi alternatif pengganti sepeda motor untuk transportasi jarak dekat hingga menengah [4]. Sepeda listrik sering dipandang sebagai salah satu solusi potensial untuk mengurangi emisi karbon dalam sektor transportasi darat [5]. Sepeda listrik terbagi menjadi dua jenis, yaitu *full-electric bike*, yang sepenuhnya mengandalkan tenaga listrik melalui motor listrik, serta *pedal assist electric bike (pedelec)*, yang menggunakan kombinasi tenaga manusia dan motor listrik sebagai sumber energinya [6].

Selain sistem kelistrikan, pengembangan model sepeda dengan menggunakan roda tiga juga diminati oleh masyarakat. Sepeda roda tiga atau biasa disebut dengan *tricycle* atau *trike* merupakan pengembangan dari desain sepeda yang memiliki roda tiga dan memiliki kelebihan pada stabilitasnya yang lebih baik daripada roda dua sehingga dapat secara aman dan nyaman digunakan [7]. Sepeda roda tiga digunakan untuk membawa beban yang berat karena stabilitasnya yang memungkinkan pengguna mengangkut muatan tanpa kehilangan keseimbangan. Terdapat dua konfigurasi sepeda roda tiga, yaitu *tadpole* yang memiliki dua roda pada bagian depan dan *delta* yang memiliki dua roda pada bagian belakang [8]. Konfigurasi *tadpole* memiliki kelebihan pada kenyamanan dan kestabilan penggunaan karena sistem kemudi yang terhubung dengan dua roda pada bagian depan mampu menahan gaya-gaya yang bekerja saat berbelok [9]. Gambar I.1 menampilkan sepeda roda tiga dengan konfigurasi *tadpole*.

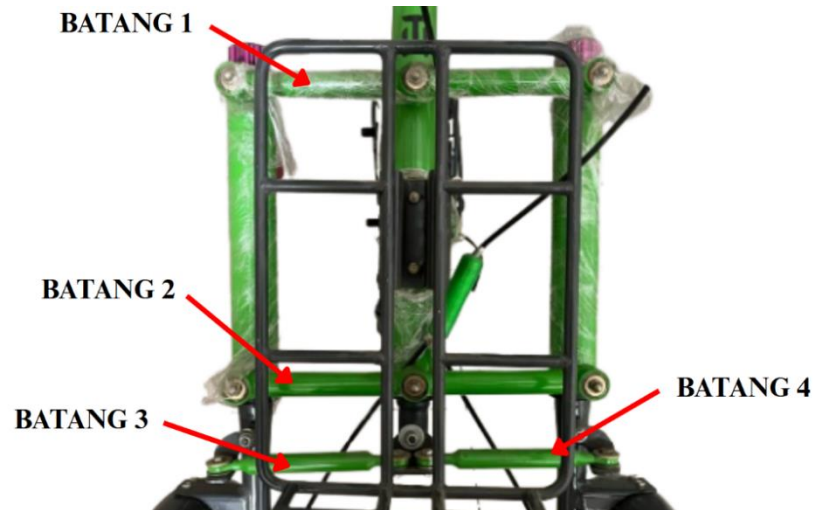


Gambar I.2 Sepeda *Trolley City*

Salah satu komponen penting pada sepeda roda tiga adalah sistem *steering* yang berfungsi untuk mengarahkan gerak sepeda. Selain itu, sistem ini juga harus mampu mendukung mekanisme *tilting*, yaitu mekanisme yang bertujuan meningkatkan kestabilan dan kemampuan manuver pada kendaraan roda tiga, khususnya saat berbelok. Mekanisme ini dapat memberikan kestabilan, fleksibilitas dan kenyamanan pengemudi dalam mengemudikan sepeda, terutama pada saat berbelok [10]. Mekanisme ini membuat bodi kendaraan dapat ikut miring ke arah tikungan seperti halnya sepeda motor.

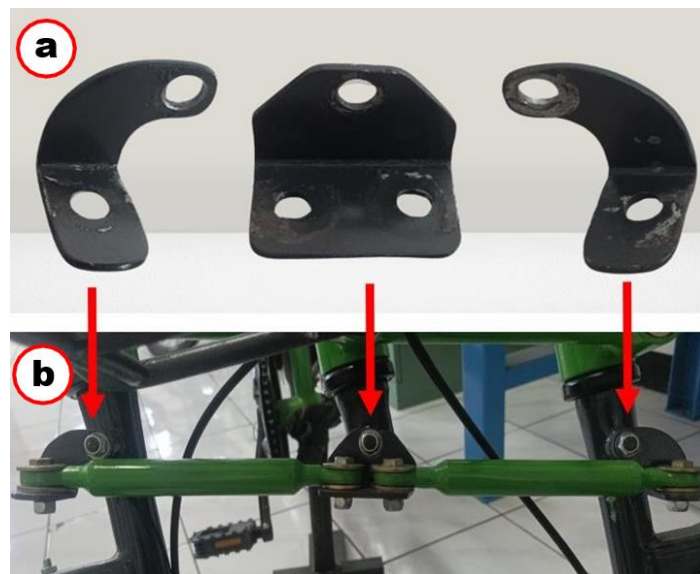
Saat ini, Politeknik Manufaktur Bandung telah mengembangkan sepeda roda tiga *Trolley City*. Sepeda *Trolley City* termasuk ke dalam jenis sepeda *tadpole* karena memiliki dua roda dibagian depan. Sepeda *Trolley City* merupakan sepeda yang sudah dilengkapi dengan troli pada bagian depan agar pengguna dapat mengangkut barang bawaan dengan lebih mudah, sehingga sepeda ini menjadi pilihan yang praktis dan efisien untuk kebutuhan transportasi sehari – hari [11]. Sepeda ini dibuat dengan mempertimbangkan kebutuhan ibu rumah tangga untuk mendukung kegiatan berbelanja ke pasar modern dengan membawa anak sebagai penumpang.

Pada sepeda tersebut, terdapat empat batang yang digunakan untuk membangun sistem kemudi (*steering*) dan mekanisme *tilting* seperti yang ditunjukkan pada Gambar I.3.



Gambar I.3 Sistem *Steering* pada Sepeda *Trolley City*

Pada sepeda roda tiga yang dikembangkan, masih terdapat permasalahan pada sistem *steering* yang tidak mendukung kebebasan mekanisme *tilting* sehingga sepeda tidak dapat bergerak bebas pada saat akan berbelok. Bentuk dari *bracket* tersebut tidak memungkinkan untuk melakukan mekanisme *tilting* karena *bracket* tersebut terkunci dalam posisi tetap yang membuat gerakan belok menjadi kaku. Pada batang 3 dan 4 terdapat *bracket* yang berbentuk pelat siku dengan material ST 37.



Gambar I.4 (a) *Bracket* samping dan tengah [1] (b) Kondisi *bracket* saat terpasang [12]

*Bracket* merupakan salah satu komponen yang dapat memengaruhi kestabilan dan dapat memberikan kekuatan tambahan pada rangka untuk menopang beban sepeda [11]. Selain itu, pada sistem kemudi tidak terdapat *stabilizer* untuk menyeimbangkan roda kiri dan kanan agar tetap berjalan lurus tanpa berbelok secara tiba-tiba dan membantu sepeda bermanuver lebih nyaman. Kondisi stabil pada kendaraan adalah situasi dimana kendaraan tetap dalam posisi diam ataupun bergerak, tidak mengalami pergeseran dan terguling [13]. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan desain rancangan sistem *steering* (kemudi) yang dapat mendukung mekanisme *tilting* dan kestabilan sepeda dengan mempertimbangkan kuasi dinamik. Kuasi dinamik disini merujuk pada pendekatan analisis yang mempertimbangkan bagaimana kendaraan harus bergerak dalam kondisi ideal, dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang memengaruhi stabilitas sepeda roda tiga tersebut [13]. Analisis kuasi dinamik akan membantu dalam menentukan desain optimal untuk sepeda roda tiga dengan mekanisme *tilting* yang efektif dan stabil. Dengan demikian, kuasi dinamik memungkinkan perhitungan yang lebih tepat mengenai kekuatan, kestabilan, dan kenyamanan sepeda, sehingga memastikan bahwa sistem kemudi dan *tilting* dapat bekerja dengan baik dalam berbagai kondisi. Untuk menciptakan sepeda yang dapat melakukan mekanisme *tilting* dan sepeda yang stabil maka akan dilakukan pendekatan menggunakan kuasi dinamik dalam proses analisis beban. Metode ini dipilih karena dapat merepresentasikan kondisi saat sepeda berbelok dimana interaksi berbagai gaya seperti gaya sentrifugal dan momen menjadi sangat kompleks. Dengan demikian, analisis kuasi dinamik memungkinkan perancangan sistem *tilting* yang responsif terhadap perubahan gaya selama manuver, sehingga kinerja stabilitas dan manuverabilitas sepeda dapat dioptimalkan baik pada kondisi ekstrem maupun saat berkendara normal. Mekanisme *tilting* berperan penting dalam menjaga keseimbangan sepeda saat berbelok, serta memberikan fleksibilitas dalam pengendalian sepeda. Dengan menggunakan pendekatan kuasi dinamik, tujuan *tilting* dapat dicapai dengan lebih efisien, sehingga sepeda roda tiga dapat beroperasi dengan lebih stabil dan aman.

## I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang sebelumnya, maka rumusan masalah yang akan menjadi fokus tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana modifikasi rancangan sistem *steering* yang mendukung sistem *tilting* dan kestabilan pada sepeda roda tiga *Trolley City*?
2. Bagaimana analisis dan evaluasi kinerja dari modifikasi rancangan sistem *steering*?

## I.3 Batasan Masalah

Batasan masalah akan menentukan ruang lingkup tugas akhir agar dapat lebih fokus dalam melakukan analisis dan pemahaman terhadap hal-hal yang relevan. Batasan masalah pada tugas akhir ini mencakup hal-hal sebagai berikut.

1. Modifikasi hanya dilakukan pada sistem *steering* dengan memodifikasi bagian *bracket* dan menambahkan sistem penyetabil.
2. Hanya membandingkan *bracket* antara dua material yaitu PLA dan baja umum (ST 37).
3. Membandingkan kebebasan area lintasan gerak ketika menggunakan *bracket* lama dan baru.
4. Tidak membahas optimalisasi topologi.

## I.4 Tujuan dan Manfaat

Berdasarkan uraian rumusan masalah sebelumnya, tujuan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Meningkatkan stabilitas sepeda roda tiga *Trolley City* dengan melakukan modifikasi *bracket* dan menambahkan penyetabil pada sistem *steering*.
2. Menganalisis dan mengevaluasi kinerja dari modifikasi rancangan sistem *steering* dengan menggunakan metode uji coba dikendarai dan metode kalkulasi kekuatan mekanika dengan pendekatan FEM (*Finite Element Method*).

Sedangkan manfaat yang dapat dihasilkan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Peningkatan kenyamanan dan keamanan penggunaan sepeda roda tiga *Trolley City*.

2. Validasi efektivitas modifikasi dalam meningkatkan kinerja sepeda roda tiga *Trolley City*.

### **I.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH, berisi langkah – langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

BAB IV PROSES PEMBUATAN, berisi penjelasan proses pembuatan *prototype*.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi penjelasan tentang hasil dari setiap uji coba pada proses penelitian tugas akhir.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN, berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran yang sebaiknya dilakukan pada penelitian yang serupa.