

**ANALISIS SIMULASI KEKUATAN STRUKTUR RANGKA
TRAINER SEPEDA LISTRIK MENGGUNAKAN METODE
*FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA)***

SKRIPSI

*Skripsi Ini Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana pada
Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif, Departemen Teknik Otomotif,
Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang*



Oleh:

WENDIKA OKVIANDA

NIM/TM. 21073114/2021

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF
DEPARTEMEN TEKNIK OTOMOTIF
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

2025

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

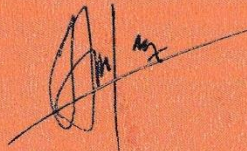
ANALISIS SIMULASI KEKUATAN STRUKTUR RANGKA TRAINER SEPEDA LISTRIK MENGGUNAKAN METODE *FINITE ELEMENT* *ANALYSIS* (FEA)

Nama : Wendika Okvianda
NIM/BP : 21073114/2021
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif
Departemen : Teknik Otomotif
Fakultas : Teknik

Padang, November 2025

Disetujui Oleh:

Dosen pembimbing

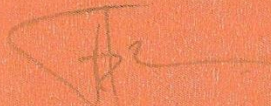


Ahmad Arif, S.Pd., M.T.
NIP. 198902272019031013

Mengetahui

Kepala departemen Teknik Otomotif

Fakultas Teknik UNP.



Wawan Purwanto, S.Pd., M.T., Ph.D
NIP. 198409152010121006

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS SIMULASI KEKUATAN STRUKTUR RANGKA TRAINER SEPEDA LISTRIK MENGGUNAKAN METODE *FINITE ELEMENT* *ANALYSIS* (FEA)

Nama : Wendika Okvianda
NIM/BP : 21073114/2021
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif
Departemen : Teknik Otomotif
Fakultas : Teknik

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan dinyatakan Lulus sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif, Departemen Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.

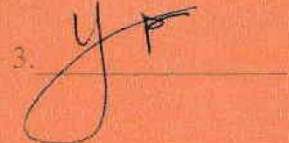
Padang, November 2025

Tim Penguji

Nama

1. Ketua : Ahmad Arif, S.Pd., M.T.
2. Anggota : Wawan Purwanto, S.Pd., M.T, Ph.D
3. Anggota : M. Yasep Setiawan, S.Pd., M.T.

Tanda Tangan

1. 
2. 
3. 

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wendika Okvianda
NIM/TM : 21073114/2021
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif
Departemen : Teknik Otomotif
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan, bahwa Skripsi saya yang judul “Analisis Simulasi Kekuatan Struktur Rangka Trainer Sepeda Listrik Menggunakan Metode *Finite Element Analysis* (FEA)” adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, November 2025
Yang menyatakan,



Wendika Okvianda
NIM. 21073114

BIODATA

A. Data diri

Nama : Wendika Okvianda
Tempat/tanggal lahir : Arah Tiga/18 Oktober 2002
Agama : Islam
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Golongan darah : AB
Anak ke : 4
Jumlah saudara : 4
Nama ayah : Dedi Sumandi
Nama ibu : Zulkhaidah
Alamat : Dusun III Pasar Bukit, Desa Arah Tiga, Kec. Lubuk
Pinang, Kab. Mukomuko, Bengkulu
Email : Wendika.okvianda@gmail.com



B. Riwayat pendidikan

SD : SD Negeri 06 Lubuk Pinang
SMP : MTs N 5 Sumber Makmur
SMA/SMK sederajat : SMA Negeri 05 Mukomuko

C. Tugas Akhir

Judul : Analisis Simulasi Kekuatan Struktur Rangka
Trainer Sepeda Listrik Menggunakan Metode
Finite Element Analysis (FEA)
Tanggal Sidang : 31 Oktober 2025

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, serta kekuatan sehingga skripsi yang berjudul: “Analisis Simulasi Kekuatan Struktur Rangka Trainer Sepeda Listrik Menggunakan Metode *Finite Element Analysis* (FEA)” dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini bukan hanya sebuah karya tulis ilmiah, melainkan juga bukti nyata dari doa, pengorbanan, serta dukungan yang tidak pernah berhenti mengalir dari berbagai pihak.

Karya ini dengan segala kerendahan hati saya persembahkan kepada:

Kedua orang tua Ayahanda tercinta, Dedi Sumandi, dan Ibunda tersayang, Zulkhaidah yang telah mencurahkan seluruh cinta, kasih sayang, pengorbanan, dan doa terbaik sepanjang hidup saya. Terima kasih atas setiap tetes keringat yang dicurahkan demi pendidikan anakmu, atas doa-doa yang terucap di setiap sujud, dan atas kasih sayang yang menjadi cahaya penerang jalan hidupku. Kalian adalah alasan terkuat mengapa saya tetap berdiri tegak hingga titik ini. Setiap pencapaian kecil ini adalah milik kalian, bukan hanya milik saya.

Bapak Ahmad Arif, S.Pd., M.T., selaku dosen pembimbing, yang dengan penuh kesabaran dan ketulusan selalu membimbing, mengarahkan, serta memberikan motivasi kepada saya dalam menyelesaikan skripsi ini. Nasihat dan bimbingan yang Bapak berikan tidak hanya berarti dalam penyusunan karya ilmiah ini, tetapi juga menjadi pelajaran berharga bagi perjalanan akademik dan kehidupan saya.

Bapak Wawan Purwanto, S.Pd., M.T., Ph.D., selaku penguji I, dan Bapak M. Yasep Setiawan, S.Pd., M.T., selaku penguji II, yang telah meluangkan waktu, memberikan kritik, saran, serta wawasan yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan penelitian ini. Kehadiran Bapak berdua dalam proses ujian skripsi menjadi pengalaman berharga yang tak ternilai bagi saya.

Keluarga besar Teknik Otomotif angkatan 2021. Teman-teman seperjuangan yang telah memberikan warna tersendiri dalam perjalanan studi ini. Terima kasih

atas semangat, dukungan, kerja sama, dan kebersamaan yang kita lalui bersama. Suka duka yang kita jalani telah membentuk persaudaraan yang tak akan pernah saya lupakan.

Tidak lupa, saya juga menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu dan mendoakan dalam setiap langkah.

Akhirnya, skripsi ini saya persembahkan sebagai bukti kecil atas perjuangan panjang, sekaligus sebagai doa agar karya sederhana ini dapat memberi manfaat, baik bagi saya pribadi, keluarga, almamater, maupun bagi dunia pendidikan. Semoga setiap usaha dan ilmu yang terkandung di dalamnya bernilai amal jariyah di sisi Allah SWT.

Hormat saya,



Wendika Okvianda
21073114

ABSTRAK

Wendika Okvianda, 2025. ANALISIS SIMULASI KEKUATAN STRUKTUR RANGKA TRAINER SEPEDA LISTRIK MENGGUNAKAN METODE *FINITE ELEMENT ANALYSIS* (FEA)

Kendaraan listrik kini semakin populer sebagai alternatif transportasi ramah lingkungan, salah satunya melalui penggunaan sepeda listrik. Komponen utama yang sangat berperan adalah rangka, karena fungsinya menopang seluruh beban kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan struktur rangka pada trainer sepeda listrik dengan menerapkan metode *Finite Element Analysis* (FEA) menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2021. Tiga jenis material diuji, yaitu Baja *Chromoly SAE 4130*, *Aluminium 6061-T6*, dan *Hi-Ten Steel (AISI 1015)*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Baja *Chromoly SAE 4130* mampu menahan tegangan *Von Mises* tertinggi sebesar 891 MPa, dengan *displacement* 12,1 mm dan *safety of factor* minimum 0,516. *Aluminium 6061-T6* mencatat *displacement* terbesar sebesar 21,3 mm dengan *safety of factor* minimum 0,499, sedangkan *Hi-Ten Steel (AISI 1015)* memiliki *displacement* 12,1 mm dan *safety of factor* minimum terendah 0,366. Berdasarkan hasil tersebut, Baja *Chromoly SAE 4130* direkomendasikan sebagai material rangka yang paling optimal, karena memberikan kombinasi terbaik antara kekuatan, kestabilan, dan keamanan struktur.

Kata Kunci : Sepeda listrik, rangka, simulasi, Analisis Elemen Hingga

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatulahi wabarakatuh,

Alhamdulillahilahirabil'alamin, puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat dan hidayah Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian ini yang berjudul “Analisis Simulasi Kekuatan Struktur Rangka Trainer Sepeda Listrik Menggunakan Metode *Finite Element Analysis* (FEA)”. Sholawat beriringan salam tidak lupa pula peneliti ucapkan kepada pimpinan umat islam yaitu Nabi Muhammad SAW, yang telah membimbing umat manusia dari zaman zahiliah kezaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan seperti pada saat ini.

Penyusunan proposal ini dapat terselesaikan atas kerjasama, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua yang terus memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang yang begitu besar.
2. Bapak Ir, Krismadinata, S.T., M.T., Ph.D. selaku Rektor Universitas Negeri padang (UNP)
3. Bapak Prof. Dr. Muhammad Anwar, S.Pd., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang (UNP)
4. Bapak Wawan Purwanto, S.Pd., M.T., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang
5. Bapak Ahmad Arif, S.Pd.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah membimbing dan memberikan masukan kepada penulis.
6. Bapak M. Yasep Setiawan, S.Pd., M.T. selaku Dosen Penasehat Akademik
7. Sahabat seperjuangan mahasiswa Departemen Teknik Otomotif.
8. Orang-orang terdekat penulis yang telah memberikan dorongan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian ini sebagaimana mestinya.

Semoga segala bantuan, bimbingan dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis dapat menjadi amal yang diridhoi oleh Allah SWT. Penulis menyadari bahwa proposal ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak untuk kesempurnaan proposal ini dan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga proposal ini dapat memberi manfaat bagi penulis sendiri dan pembaca serta menjadi pedoman bagi peneliti selanjutnya.

Padang, November 2025

penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT	iv
BIODATA.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Batasan Masalah.....	3
D. Rumusan Masalah	3
E. Tujuan Penelitian.....	4
F. Manfaat Penelitian	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
A. Kajian Teori.....	5
B. Penelitian Yang Relevan.....	11
C. Kerangka Berfikir.....	13
D. Pertanyaan Penelitian	13
BAB III METODE PENELITIAN	14
A. Metode Penelitian.....	14
B. Waktu dan Tempat Penelitian.....	14
C. Alat dan Bahan.....	15
D. Prosedur Penelitian.....	18

E. Teknik Pengumpulan Data	19
F. Teknik Analisis Data	20
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	21
A. Simulasi sasis sepeda listrik	21
B. Hasil Penelitian	23
1. Von Mises stress	23
2. Displacement	26
3. Safety of Factor	29
4. Weight	32
C. Pembahasan	34
BAB V PENUTUP	39
A. Kesimpulan	39
B. Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	44

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi Sepeda Listrik	7
Tabel 2. Spesifikasi Rangka Sepeda Listrik	18
Tabel 3. Hasil Simulasi	19
Tabel 4. Hasil simulasi	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Sepeda Listrik.....	7
Gambar 2. Kerangka Berfikir.....	13
Gambar 3. Laptop Lenovo Ideapad 3 Slim 3	15
Gambar 4. Aplikasi Solidworks	16
Gambar 5. Rangka Sepeda Listrik	17
Gambar 6. Desain 3D Rangka Sepeda Listrik	17
Gambar 7. Posisi pembebanan dan <i>fixed support</i>	21
Gambar 8. Ukuran Rangka depan	22
Gambar 9. Ukuran Rangka Belakang.....	22
Gambar 10. Hasil simulasi <i>Von Mises stress</i> material Baja <i>Chromoly SAE 4130</i> . 23	
Gambar 11. Hasil simulasi <i>Von Mises stress</i> material Aluminium 6061-T6.....	23
Gambar 12. Hasil Simulasi <i>Von Mises Stress</i> material <i>Hi-Ten Steel (AISI 1015)</i> 24	
Gambar 13. Grafik Hasil Pengujian <i>Von Mises Stress</i> Pada Ketiga Material	24
Gambar 15. Hasil simulasi <i>Displacement</i> material Baja <i>Chromoly SAE 4130</i>	26
Gambar 16. Hasil simulasi <i>Displacement</i> material Aluminium 6061-T6.....	26
Gambar 17. Hasil simulasi <i>Displacement</i> material <i>Hi-Ten Steel (AISI 1015)</i>	27
Gambar 18. Grafik Hasil Pengujian <i>Displacement</i> Pada Ketiga Material	27
Gambar 19. Hasil simulasi <i>Safety of Factor</i> material Baja <i>Chromoly SAE 4130</i> . 29	
Gambar 20. Hasil simulasi <i>Safety of Factor</i> material Aluminium 6061-T6	29
Gambar 21. Hasil simulasi <i>Safety of Factor</i> material <i>Hi-Ten Steel (AISI 1015)</i> ..	30
Gambar 22. Grafik Hasil Pengujian <i>Safety of Factor</i> Pada Ketiga Material	30
Gambar 23. Berat Rangka material Aluminium 6061-T6.....	32
Gambar 24. Berat Rangka material Baja <i>Chromoly SAE 4130</i>	32
Gambar 25. Berat Rangka material <i>Hi-Ten Steel (AISI 1015)</i>	33

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian	44
Lampiran 3. Surat Tugas Dosen Pembimbing	48
Lampiran 4. Surat Izin Pemakaian Labor	49

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kendaraan roda dua menjadi salah satu alat transportasi yang paling umum digunakan oleh masyarakat. Hingga saat ini, mayoritas kendaraan tersebut masih mengandalkan mesin berbahan bakar minyak (BBM) sebagai sumber tenaganya. Seiring meningkatnya kesadaran terhadap isu lingkungan, sejumlah negara mulai mengadopsi kendaraan berbasis energi ramah lingkungan sebagai alternatif pengganti kendaraan berbahan bakar fosil. Upaya ini merupakan bagian dari strategi global untuk menurunkan tingkat emisi polutan serta meminimalkan dampak negatif dari perubahan iklim yang kian mengkhawatirkan. Sepeda listrik merupakan solusi terhadap berbagai permasalahan lingkungan seperti polusi udara, polusi suara, serta tingginya biaya konsumsi bahan bakar minyak. Energi yang dihasilkan dari motor dinamo tidak menghasilkan emisi gas buang dan tidak memerlukan pembakaran bahan bakar fosil, serta beroperasi dengan tingkat kebisingan yang sangat rendah sehingga lebih ramah lingkungan dan efisien (Anisa dkk., 2020).

Rangka merupakan salah satu elemen utama dalam sepeda listrik. Dalam proses perancangannya, terdapat sejumlah aspek penting yang harus dipertimbangkan, tidak hanya dari segi tampilan dan kenyamanan, tetapi juga dari sisi kekuatan struktur rangka itu sendiri. Struktur rangka pada sepeda listrik memegang peran krusial dalam menopang seluruh beban kendaraan. Oleh karena itu, diperlukan analisis yang cermat dan tepat guna memastikan hasil yang optimal, baik dari segi kekuatan maupun kenyamanan penggunaan (Awwaluddin, 2019).

Penerapan simulasi menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) sangat penting dalam analisis rangka trainer sepeda listrik, karena dapat membantu menemukan bagian-bagian yang berpotensi menjadi titik lemah pada struktur rangka. Melalui simulasi ini, desain rangka bisa dioptimalkan agar tidak hanya memiliki kekuatan dan tingkat keamanan yang baik, tetapi

juga tetap ringan sehingga lebih efisien untuk digunakan. Selain itu, metode FEA dinilai lebih presisi dibandingkan perhitungan manual, sebab mampu menggambarkan bentuk serta kondisi pembebanan yang kompleks secara lebih detail.

Penggunaan metode *Finite Element Analysis* (FEA) melalui perangkat lunak CAD seperti SolidWorks telah menjadi pendekatan umum dalam mengevaluasi kekuatan struktur rangka. Fitur simulasi yang tersedia pada SolidWorks memungkinkan analisis terhadap tegangan *Von Mises*, pergeseran (*displacement*), dan perhitungan nilai faktor keamanan (*safety of factor*) secara menyeluruh (Solidworks, 2023). Pada beberapa studi desain rangka sepeda motor listrik melakukan analisis *Finite Element Analysis* (FEA) untuk memastikan kekuatan struktur sambil menekan berat.

Dalam dunia pendidikan, penggunaan trainer berbasis kendaraan listrik menjadi kebutuhan penting untuk mendukung proses pembelajaran. Alat ini dirancang agar peserta didik dapat memahami secara langsung mekanisme kerja dari kendaraan listrik. Komponen utama dalam trainer tersebut adalah rangkanya, yang berperan sebagai struktur utama penopang dan sangat mempengaruhi aspek keselamatan serta daya tahan saat digunakan dalam praktik pembelajaran.

Trainer sepeda listrik mengalami beban dinamis dan berulang selama proses pelatihan, sehingga memerlukan konstruksi rangka yang kokoh dan tahan terhadap kelelahan material. Penggunaan simulasi melalui SolidWorks menjadi solusi efektif untuk menganalisis pola penyebaran tegangan, deformasi tertinggi, serta perilaku getaran alami dari struktur trainer tersebut.

Pemanfaatan SolidWorks CAD dan fitur simulasinya memungkinkan perancangan rangka trainer secara menyeluruh, yang langsung terintegrasi dengan *Finite Element Analysis* (FEA). Melalui proses meshing yang optimal, penerapan kondisi beban dinamis maupun statis secara realistis, simulasi ini mampu menghasilkan visualisasi kekuatan struktur trainer sepeda listrik secara akurat.

Dengan demikian, penelitian berjudul “Analisis Simulasi Kekuatan Struktur Rangka Trainer Sepeda Listrik Menggunakan Metode *Finite Element Analysis* (FEA)” difokuskan pada analisis statis, dan simulasi kekuatan rangka sepeda listrik menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA) pada perangkat lunak Solidworks. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana hasil simulasi rangka dengan menggunakan aplikasi solidworks, khususnya untuk kebutuhan trainer sepeda listrik.

B. Identifikasi Masalah

Merujuk pada uraian latar belakang yang telah disampaikan sebelumnya, maka dapat dirumuskan permasalahan utama dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Tingginya ketergantungan kendaraan roda dua pada bahan bakar fosil.
2. Trainer kendaraan listrik sebagai media pembelajaran saat ini belum banyak tersedia.
3. Belum diterapkannya teknologi simulasi seperti *Finite Element Analysis* (FEA) dalam proses perancangan rangka trainer.

C. Batasan Masalah

Peneliti menetapkan batasan masalah dari penelitian yang akan dilaksanakan dengan hanya terfokus pada simulasi kekuatan struktur rangka trainer sepeda listrik tanpa mensimulasikan sistem transmisi, kelistrikan, dan motor penggerak.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang dan batasan masalah yang telah peneliti sampaikan, rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik desain struktur rangka trainer sepeda listrik yang sesuai untuk digunakan sebagai media pembelajaran?
2. Bagaimana hasil simulasi kekuatan struktur rangka trainer sepeda listrik menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) dalam perangkat lunak SolidWorks?
3. Seberapa layak desain struktur rangka trainer sepeda listrik yang disimulasikan dengan SolidWorks?

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur rangka trainer sepeda listrik yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran praktik di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK). Secara khusus, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang struktur rangka trainer sepeda listrik yang sesuai dengan kendaraan yang sebenarnya. menguji dari aspek kekuatan, keselamatan dan biaya produksi.
2. Menganalisis kekuatan dan performa struktur rangka trainer sepeda listrik melalui simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) menggunakan *software* SolidWorks.
3. Menilai kelayakan desain struktur rangka trainer sepeda listrik berdasarkan hasil simulasi dari *software* SolidWorks.

F. Manfaat Penelitian

Kegiatan penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi peneliti, penelitian ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan tugas akhir skripsi sekaligus sebagai prasyarat dalam memperoleh gelar sarjana di Departemen Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.
2. Bagi pengguna sepeda listrik, hasil penelitian ini dapat dijadikan panduan untuk memahami sejauh mana kemampuan kendaraan listrik tersebut dalam menopang beban.
3. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya yang berminat untuk mengembangkan kajian pada topik yang serupa.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa material dengan performa terbaik dalam menahan beban statis sesuai kondisi operasional adalah Baja *Chromoly* SAE 4130. Material *Hi-Ten Steel* (AISI 1015) menempati urutan berikutnya, sementara *Aluminium* 6061-T6 menunjukkan kinerja paling rendah dibandingkan dua material lainnya. Lalu untuk ketiga material mampu menahan tegangan, tetapi dengan variasi nilai yang berbeda. Baja *Chromoly* SAE 4130 menunjukkan performa paling tinggi dengan 891 MPa, *Hi-Ten Steel* (AISI 1015) mendekati dengan 889 MPa, dan *Aluminium* 6061-T6 menghasilkan nilai terendah, yaitu 551 MPa, semua material di ujikan pada pembebanan 120 kg, dan deformasi maksimum yang terjadi pada Baja *Chromoly* SAE 4130 dan *Hi-Ten Steel* (AISI 1015) tercatat sebesar 12,1 mm, menandakan keduanya memiliki ketahanan yang sama terhadap beban. Namun, *Aluminium* 6061-T6 memperlihatkan nilai *displacement* yang jauh lebih tinggi, yakni 21,3 mm, sehingga dinilai kurang baik.

Analisis faktor keamanan memperlihatkan bahwa ketiga material memiliki perbedaan nilai minimum yang tidak terlalu besar. Baja *Chromoly* SAE 4130 mencatat nilai tertinggi sebesar 0,516, diikuti *Aluminium* 6061-T6 dengan 0,499, sementara *Hi-Ten Steel* (AISI 1015) menjadi yang terendah dengan 0,366. Meskipun demikian, nilai faktor keamanan tersebut masih belum mencapai batas standar keamanan, yakni antara 1,5 hingga 3 sesuai dengan beban operasional (Mustaqim & Santoso, 2025).

Penerapan analisis simulasi kekuatan struktur rangka trainer sepeda listrik dengan metode *Finite Element Analysis* (FEA) memperoleh tanggapan positif dari kalangan pendidik maupun peserta didik di lingkungan SMK. Metode ini diapresiasi karena mampu menghadirkan pengalaman pembelajaran yang interaktif, aplikatif, dan berbasis teknologi modern melalui visualisasi hasil simulasi rangka secara rinci serta realistis. Dengan dukungan perangkat

lunak SolidWorks, para pendidik menilai bahwa penggunaan metode FEA menjadi sarana pembelajaran yang efektif dan relevan, karena memungkinkan siswa memahami konsep mendalam tentang kekuatan material, distribusi tegangan, hingga faktor keamanan pada struktur sepeda listrik.

Bagi peserta didik, penggunaan FEA memberikan kemudahan dalam mempelajari prinsip mekanika dan karakteristik struktural, sebab hasil simulasi menampilkan gambaran visual berupa pola tegangan, deformasi, serta nilai *safety factor* yang mudah dianalisis. Proses ini tidak hanya meningkatkan pemahaman konseptual, tetapi juga menumbuhkan rasa ingin tahu serta kemampuan berpikir kritis siswa dalam menerapkan teori ke praktik nyata.

Secara keseluruhan, penerapan metode *Finite Element Analysis* (FEA) dalam pembelajaran SMK terbukti mampu meningkatkan kualitas proses belajar-mengajar. Pendekatan ini sejalan dengan semangat Kurikulum Merdeka Belajar yang menekankan pembelajaran berbasis proyek dan pengalaman langsung, serta mendukung penguasaan keterampilan abad ke-21 seperti berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif dalam konteks teknologi kendaraan listrik.

B. Saran

Dalam konteks penerapan pada rangka sepeda listrik, Baja *Chromoly* SAE 4130 direkomendasikan sebagai material yang paling sesuai, karena memiliki keunggulan dalam hal kekuatan, kekakuan, serta faktor keselamatan struktur. Temuan ini dapat dijadikan acuan penting dalam proses pemilihan material pada tahap desain dan perancangan produk sepeda listrik yang menekankan pada performa struktural.

Penelitian ini merekomendasikan penggunaan Baja *Chromoly* SAE 4130 sebagai fokus utama pemilihan material rangka pada penelitian lanjutan, mengingat keunggulannya dalam aspek kekuatan dan keselamatan struktur. Walaupun demikian, faktor berat material juga harus dipertimbangkan karena dapat memengaruhi efisiensi operasional kendaraan. Dengan demikian, optimasi desain menjadi langkah penting yang harus ditempuh. Selain itu, validasi hasil simulasi melalui uji eksperimental prototipe fisik serta kajian

simulasi pada kondisi dinamis sangat diperlukan untuk memastikan keandalan struktur dalam aplikasi nyata.

Akan tetapi demikian jika ditinjau dari aspek biaya produksi Penelitian ini disarankan menggunakan material *Hi-Ten Steel* (AISI 1015) karena memiliki biaya produksi yang relatif murah di antara ketiga material, urutan kedua yaitu Baja *Chromoly* SAE 4130, dan untuk material yang memiliki biaya produksi yang paling mahal adalah *Aluminium* 6061-T6.

Penelitian ini juga dapat dikembangkan oleh peneliti selanjutnya yang berkaitan dengan faktor keamanan pada desain rangka yang telah diteliti yang hanya mendapatkan nilai minimum hanya sebesar 0,516, sedangkan untuk batas aman *safety of factor* untuk struktur kendaraan biasanya ditetapkan antara 1,5 sampai 3, dengan penyesuaian pada beban kerja dan lingkungan operasional (Mustaqim & Santoso, 2025).

DAFTAR PUSTAKA

- Anisa, S., Gunade, D. T., Studi, P., Publik, A., Tinggi, S., & Administrasi, I. (2020). Implementasi Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 45 Tahun 2020 Tentang Kendaraan Tertentu Dengan Menggunakan Penggerak Motor Listrik (Studi Kasus Pelajar Sebagai Pengguna Sepeda Listrik) Di Kecamatan. 1–11.
- Artizono. (2025). Baja *Hi-Ten* vs Baja *Chromoly*: Apa Perbedaannya? Artizono. <https://artizono.com/id/hi-ten-steel-vs-chromoly-steel-apa-bedanya/>
- Awwaluddin, M. (2019). Analisa Kekuatan Rangka Sepeda Listrik Menggunakan Software SolidWorks. *Piston: Journal of Technical Engineering*, 3(1), 5–16. <http://openjournal.unpam.ac.id/index.php/Piston/article/view/7486>
- Budiman, F. A., Septiyanto, A., Sudiyono, Musyono, A. D. N. I., & Setiadi, R. (2021). Analisis Tegangan *von Mises* dan *Safety Factor* pada Chassis Kendaraan Listrik Febrian Arif Budiman dkk / Jurnal Rekayasa Mesin. *Rekayasa Mesin*, 16(1), 100–108.
- Muhlisin, I., & Feblidiyanti, N. (2024). *Comparison of strength and stability of bicycle frames made from 6061-T6 Aluminum (SS) and Commercially Pure CP-Ti UNS R50700 Grade 4 (SS) materials*. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 20(1), 132. <https://doi.org/10.62870/tjst.v20i1.24163>
- Mustaqim, M. D., & Santoso, D. T. (2025). *Design and Structural Evaluation of an Electric Motorcycle Frame Using FEA*. 04(03), 168–178.
- Mutiara, A. (2024). *SolidWorks* : pengertian, fungsi, jenis. Telkom University. <https://dte.telkomuniversity.ac.id/solidworks-pengertian-fungsi-jenis/>
- PT Steel Pipe Industry Indonesia Tbk. (2008). Mengenal Berbagai Jenis-Jenis Rangka Sepeda Motor dan Fungsinya. PT Steel Pipe Industry Indonesia Tbk. <https://www.spindo.com/mengenal-berbagai-jenis-jenis-rangka-sepeda-motor-dan-fungsinya#:~:text=Rangka sepeda motor berfungsi sebagai tulang punggung yang,sepeda motor dengan karakteristik dan keunggulan yang beragam.>
- Rachmawati, D. W., Nasution, B., Firmansyah, H., Asiah, S., & Ridho, A. (2021). Teori & Konsep Pedagogik (A. Kurniawan & I. Irayanti, Eds.). Penerbit Insania.
- Santoso, J. T. (2022). Sepeda listrik Perencanaan, Perakitan dan Perbaikan. In M. Sholokan (Ed.), *Universitas Sains & Teknologi Komputer*.
- Setiawan, R., Sugiyanto, D., & Daryus, ari. (2023). Analisis Simulasi Kekuatan Dan Pembuatan Rangka Kendaraan Sepeda Motor Listrik *Analysis of Strength*

Simulation and Frame Fabrication of Electric Motorcycle Vehicle. Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur, 8(1), 58–66.

Solidworks. (2023). *Designing for Strength and Durability: How Strong Is the Bike Frame?* SolidWorks Corporation.
https://blogs.solidworks.com/solidworksblog/2023/09/getting-started-with-simulation-on-the-3dexperience-platform-4-how-strong-is-the-frame.html?utm_source=chatgpt.com

Suska, U. (2016). BAB II Dasar Teori. *UIN Suska*, 5(1), 1689–1699.