



***REDESIGN RANGKA MONOCOQUE BAGIAN
BAWAH (MAIN FRAME) BUS LISTRIK PT. MAB DAN
PERENCANAAN SAFETY FACTOR BERBASIS
SOFTWARE INVENTOR***

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin

Oleh

Ade Kohar Syah

NIM. 5212414048

TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 14 Maret 2020

Yang membuat pernyataan



Ade Kohar, Syah

NIM. 5212414048

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Ade Kohar Syah

Nim : 5212414048

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : *Redesign Rangka Monocoque Bagian Bawah (Main Frame) Bus Listrik PT. MAB Dan Perencanaan Safety Factor Berbasis Software Inventor*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 20 April 2020

Dosen Pembimbing



Widya Aryadi, S.T., M.Eng.

NIP.197209101999031001

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “*Redesign* Rangka *Monocoque* Bagian Bawah (*Main Frame*) *Bus* Listrik PT. MAB Dan Perencanaan *Safety Factor* Berbasis *Software Inventor*” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal bulan tahun

Oleh

Nama : Ade Kohar Syah

NIM : 5212414048

Program Studi : Teknik Mesin

Panitia:

Ketua

Sekretaris



Rusiyanto, S.Pd., M.T.

NIP. 197403211999031002



Samsudin Anis S.T., M.T. Ph.D.

NIP. 197601012003121002

Penguji 1

Penguji 2

Pembimbing



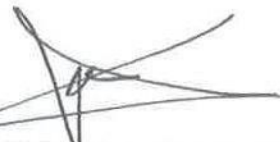
Dr. Rahmat Doni Widodo, ST, MT.IPP.

NIP.197509272006041002



Dr. Wirawan Sumbodo M.T.

NIP.196601051990021002



Widya Aryadi, S.T., M.Eng

NIP.197601012003121002

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Nur Qudus, M.T., IPM.

NIP.199691130199403100

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

- Hidup itu ibarat sungai yang mengalir, ada aja sampah yang lewat
- F – E – A – R has 2 meanings : Forget Everything And Run or Face Everything And Rise, the choice is yours
- Melihatlah ke atas untuk mengetahui bahwa akan ada orang yang lebih baik dari kita dan melihatlah ke bawah untuk mengetahui bahwa kita termasuk orang yang beruntung

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Keluarga dan saudara yang senantiasa memberikan doa
2. Teman-teman TM 2014
3. Teman seperjuangan Proyek MAB
4. Almamater yang ku kenakan
5. Sahabat dan teman-teman yang selalu mengajak saya jalan-jalan

ABSTRAK

Ade Kohar Syah. 2019. *Redesign Rangka Monocoque Bagian Bawah (Main Frame) Bus Listrik PT. MAB Dan Perencanaan Safety Factor Berbasis Software Inventor.* Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Pembimbing (1) Widya Aryadi, S.T., M.Eng.

Chassis merupakan komponen penting yang berfungsi untuk menopang berbagai komponen kendaraan sehingga perlu diketahui nilai tegangan dan *safety factor* yang baik sebelum digunakan. Tujuan penelitian ini adalah: 1) menganalisa desain *chassis* aktual bus listrik, 2) mendesain ulang *chassis* yang aman digunakan pada bus listrik, 3) menganalisis *redesign chassis* yang sesuai untuk bus listrik. Perlakuan gaya yang bekerja pada *chassis* diasumsikan sebagai massa tiap komponen, beban torsi dan *bending*.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode simulasi menggunakan *finite element method* dengan *software* Inventor 2019. Simulasi dilakukan pada desain aktual dan *redesign chassis* bus PT. MAB untuk mengetahui nilai *von-mises stress*, *displacement*, *safety factor* dan massa *chassis*.

Nilai *Von-mises stress* desain asli *chassis*, *redesign 1*, *redesign 2* dan *redesign 3* berturut-turut 215.4 MPa, 203.4 MPa, 225.7 MPa dan 202.9 MPa. Nilai *displacement* desain asli *chassis*, *redesign 1*, *redesign 2* dan *redesign 3* berturut-turut 5.393 mm, 4.17 mm, 4.78 mm dan 4.182 mm. Nilai *safety factor* desain asli *chassis*, *redesign 1*, *redesign 2* dan *redesign 3* berturut-turut 1.5, 1.59, 1.43 dan 1.6. Nilai massa desain asli *chassis*, *redesign 1*, *redesign 2* dan *redesign 3* berturut-turut 2326.83 kg, 2319.32 kg, 2311.65 dan 2341.57 kg. Berdasarkan hasil analisis *redesign 1* adalah yang terbaik karena semua parameternya lebih baik dibandingkan dengan desain asli.

Kata Kunci: *redesign, bus, motor mounting system, safety factor* dan *chassis*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis dalam bentuk skripsi dengan judul “*REDESIGN RANGKA MONOCOQUE BAGIAN MAIN FRAME BUS LISTRIK MAB DAN PERENCANAAN SAFETY FACTOR BERBASIS SOFTWARE INVENTOR*” ini dengan baik.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin S1 Universitas Negeri Semarang. Perwujudan karya tulis ini tidak lain berkat bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
2. Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
3. Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D., Ketua Program Studi Teknik Mesin S1 Universitas Negeri Semarang
4. Widya Aryadi S.T.,M.Eng., selaku pembimbing yang memberikan bimbingan, nasihat serta waktunya selama penulisan skripsi ini.
5. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan doa agar penulis diberikan kemudahan dan kelancaran.
6. Teman-teman program studi Teknik Mesin yang senantiasa memberikan penulis semangat dan motivasi.

7. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan penyusunan skripsi.

Penulis sudah berusaha dengan maksimal untuk bisa menyelesaikan skripsi ini. Jika masih ada salah kata atau yang kurang berkenan bagi pembaca dari penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi penyempurnaan penulisan selanjutnya.

Semarang, 14 Februari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	iii
PENGESAHAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Rumusan Masalah.....	4
1.5 Tujuan.....	4
1.6 Manfaat.....	5
1.7 Spesifikasi Produk yang Dikembangkan	5
1.8 Asumsi dan Keterbatasan Pengembangan.....	5
BAB II.....	7
LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Deskripsi Teori	7

2.2.1	Rangka Kendaraan	7
2.2.2	Material	10
2.2.3	Dasar Pembebanan	13
2.2.4	Teori Elastisitas	16
2.2.5	<i>Safety Factor</i>	18
2.2.6	Analisa Kegagalan	19
2.2.7	Metode Elemen Hingga.....	21
2.2	Kajian Penelitian yang Relevan.....	23
2.3	Kerangka Pikir.....	25
2.4	Hipotesis Penelitian	26
BAB III		28
METODE PENELITIAN.....		28
3.1	Model Pengembangan	29
3.2	Prosedur Pengembangan	29
3.3	Uji Coba Produk	38
3.3.1	Desain Uji Coba	38
3.3.2	Subjek Uji Coba	38
3.3.3	Jenis Data	38
3.3.4	Instrumen Pengumpul Data.....	39
3.3.5	Teknik Analisis Data.....	42
BAB IV		43
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		43
4.1	Hasil Penelitian	43
4.1.1	Pengukuran Dimensi	43
4.1.2	Spesifikasi Material.....	51

4.1.3	Desain Rangka 3D	51
4.1.4	Pemberian Beban.....	52
4.1.5	Hasil Analisis	53
4.2	Hasil Pengembangan	54
4.2.1	<i>Redesign Chassis</i>	54
4.2.2	Hasil Uji <i>Redesign</i>	59
4.2.3	Perbandingan Hasil Analisis	63
4.3	Pembahasan Produk Akhir.....	63
BAB V.....		66
SIMPULAN, IMPLIKASI DAN SARAN.....		66
5.1	Kesimpulan Tentang Produk	66
5.2	Keterbatasan Hasil Penelitian	66
5.3	Implikasi Hasil Penelitian	67
5.4	Saran	67
DAFTAR PUSTAKA		68
LAMPIRAN.....		70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Properti Baja STKM16A	11
Tabel 2.2 Faktor Keamanan yang Disarankan Dalam Perancangan	19
Tabel 2.3 Faktor Keamanan Material Getas	19
Tabel 3.1 Spesifikasi Umum Bus Listrik PT. MAB	28
Tabel 3.2 Dimensi Bus PT. MAB	28
Tabel 3.3 Variabel Penelitian	30
Tabel 3.4 Perbandingan Hasil Analisis	42
Tabel 4.1 Spesifikasi Material STKM16A	51
Tabel 4.2 Asumsi Beban Pada <i>Chassis</i>	52
Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Analisis	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Desain Asli <i>Chassis</i>	2
Gambar 2.1 <i>Ladder Frame Chassis</i>	8
Gambar 2.2 <i>Space Frame Chassis</i>	8
Gambar 2.3 <i>Backbone Chassis</i>	9
Gambar 2.4 <i>Perimeter Frame Chassis</i>	9
Gambar 2.5 <i>Monocoque Chassis</i>	10
Gambar 2.6 Gaya Pembebanan	14
Gambar 2.7 Gaya Torsi	15
Gambar 2.8 Gaya <i>Bending</i>	16
Gambar 2.9 Kerangka Penelitian	26
Gambar 3.1 Kotak Dialog <i>Document Settings</i>	31
Gambar 3.2 <i>Constraint</i>	32
Gambar 3.3 <i>Constraint</i> dan Pembebanan	34
Gambar 3.4 Pemberian <i>Constraint</i> , Pembebanan dan <i>Meshing</i>	34
Gambar 3.5 Diagram Alir	37
Gambar 3.6 Pengukuran Awal	39
Gambar 3.7 Pembuatan Rangka 3D	40
Gambar 3.8 3D <i>Surface</i>	40
Gambar 3.9 Pemberian Pembebanan	41
Gambar 3.10 <i>Meshing</i>	41
Gambar 4.1 Driver Deck 3D	43
Gambar 4.2 Desain Asli <i>Driver Deck</i>	44
Gambar 4.3 Desain Asli <i>Front Axle</i>	45
Gambar 4.4 <i>Front Axle</i> 3D	46
Gambar 4.5 <i>Space Frame</i> 3D	46
Gambar 4.6 Desain Asli <i>Space Frame</i>	47
Gambar 4.7 Desain Asli <i>Rear Axle</i>	48
Gambar 4.8 <i>Rear Axle</i> 3D	49
Gambar 4.9 <i>Engine Compartment</i> 3D	49

Gambar 4.10 Desain Asli <i>Engine Compartment</i>	50
Gambar 4.11 Desain Asli <i>Chassis Bus</i>	51
Gambar 4.12 Nilai <i>Von-Mises Stress</i> Desain Asli	53
Gambar 4.13 Nilai <i>Displacement</i> Desain Asli.....	53
Gambar 4.14 Massa <i>Chassis</i> Desain Asli	54
Gambar 4.15 <i>Redesign 1</i>	56
Gambar 4.16 <i>Redesign 2</i>	57
Gambar 4.17 <i>Redesign 3</i>	58
Gambar 4.18 Nilai <i>Von-Mises Stress Redesign 1</i>	59
Gambar 4.19 Nilai <i>Displacement Redesign 1</i>	59
Gambar 4.20 Massa <i>Chassis Redesign 1</i>	60
Gambar 4.21 Nilai <i>Von-Mises Stress Redesign 1</i>	60
Gambar 4.22 Nilai <i>Displacement Redesign 1</i>	61
Gambar 4.23 Massa <i>Chassis Redesign 2</i>	61
Gambar 4.24 Nilai <i>Von-Mises Stress Redesign 3</i>	62
Gambar 4.25 Nilai <i>Displacement Redesign 3</i>	62
Gambar 4.26 Massa <i>Chassis Redesign 3</i>	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Konstruksi *Engine Compartment* Aktual

Lampiran 2 Hasil Analisis *Von-Mises Stress* Pada *Redesign*

DAFTAR SINGKATAN

Lambang	Singkatan	Satuan	Halaman
PT. MAB	PT. Mobil Anak Bangsa		1
CAD	<i>Computer Aided Design</i>		3
FEM	<i>Finite Element Method</i>		5
CAD	<i>Computer Aided Design</i>		7
CFRP	<i>Carbon Fibre Reinforced Plastic</i>		13
F	Gaya	N	14
m	Massa	kg	14
g	Gaya gravitasi	m/s ²	14
τ	Tegangan Torsi	MPa	15
r	Jari-jari	mm	15
T	Momen Torsi	Nmm	15
J	Momen Inersia	mm ⁴	15
σ	Tegangan	N/m ²	16
F	Gaya	N	16
A	Luas permukaan	m ²	16
ε	Regangan		17
δ	Perubahan panjang	m	17
l	Panjang awal	m	17
E	Modulus elastisitas	N/m ²	17
N	Faktor rancangan		19
σ_1	Tegangan 1	N/m ²	19
σ_2	Tegangan 2	N/m ²	19
σ_3	Tegangan 3	N/m ²	19
S_{yt}	Kekuatan luluh terhadap gaya tarik	N/mm ²	20
S_{yx}	Kekuatan luluh terhadap gaya tekan	N/mm ²	20
σ_1	Tegangan 1	N/m ²	20
σ_2	Tegangan 2	N/m ²	20
σ_3	Tegangan 3	N/m ²	20
τ_{max}	Tegangan maksimum	N/mm ²	20
S_y	Kekuatan geser	N/mm ²	20
σ'	Tegangan <i>Von-mises</i>	N/mm ²	20
σ_x	Tegangan pada sumbu x	N/mm ²	20
σ_y	Tegangan pada sumbu y	N/mm ²	20
σ_z	Tegangan pada sumbu z	N/mm ²	20
FEM	<i>Finite Element Method</i>		21

MEH	Metode elemen hingga	21
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>	21
RnD	<i>Research and Development</i>	29

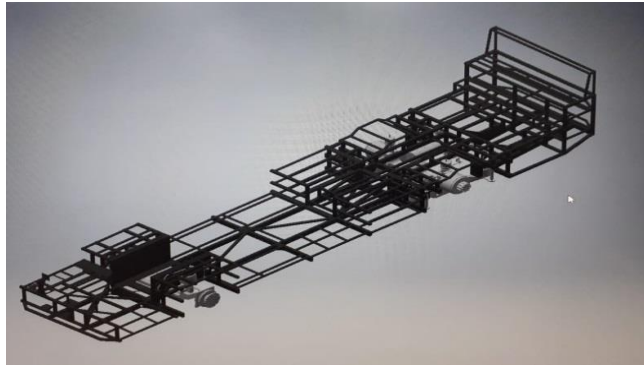
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bagian terpenting dari semua kendaraan termasuk bus listrik adalah *chassis*. *Chassis* sebagai tempat penopang berbagai komponen kendaraan yang terdiri dari mesin, transmisi, roda, sistem kemudi, sistem suspensi, sistem rem dan kelengkapan lainnya (Novian dan Rahmawati, 2015). Kekuatan, ketangguhan dan elastisitas *chassis* memainkan peranan penting untuk menghindari terjadinya kecelakaan dan *fatigue* (Hendrawan dkk, 2018). *Chassis* memiliki berbagai bentuk. Setiap tipe *chassis* memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing. Bus listrik di PT. MAB menggunakan *chassis monocoque* seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.1.

Chassis monocoque adalah sebuah struktur yang mengintegrasikan *chassis* dan bodi kendaraan agar kendaraan memiliki kekakuan yang lebih baik serta lebih ringan. Tegangan yang dihasilkan oleh kendaraan selama bergerak, akan didistribusikan ke seluruh struktur sehingga mencegah terbentuknya tegangan terpusat yang memiliki nilai deformasi lebih tinggi (Fauzi, 2013). *Chassis monocoque* dipilih dikarenakan lebih ringan dan lebih mudah dirakit. *Chassis* ini selalu mengalami perkembangan untuk meningkatkan performa *chassis*.



Gambar 1.1 Desain Asli *Chassis*

Redesign adalah sebuah aktifitas untuk melakukan pembaharuan/pengubahan dengan menjadikan desain awal sebagai referensi yang bertujuan untuk memenuhi tujuan yang diinginkan. *Redesign* terhadap *chassis monocoque* dilakukan dengan mengubah konstruksi, dimensi *frame* dan jenis material yang digunakan. *Redesign chassis* ini dilakukan untuk mengubah posisi pembebanan pada *chassis* dengan cara mengubah konstruksi sehingga beban *chassis* menjadi lebih ringan. Hal lainnya tentu saja untuk meningkatkan kualitas *chassis* dalam hal distribusi tegangan, *displacement* dan *safety factor* (Vijayan dkk, 2016). *Redesign* sederhana pada bagian struktur dibatasi oleh kekuatan dan kekakuan material. *Redesign* diperlukan pemahaman tentang distribusi kekuatan dan kekakuan dalam sebuah komponen agar mencapai optimisasi dalam pengurangan massa *chassis*, kekuatan dan kekakuan struktural yang efektif (Lan dkk, 2003).

Chassis bagian bawah (*main frame*) seperti pada gambar 1.1 dipilih karena hubungannya dengan perencanaan *safety factor*. Alasan menggunakan nilai *safety factor* sebagai acuan dalam *redesign* karena dalam perancangan, hal yang utama adalah mengenai keselamatan atau faktor keamanan dari komponen tersebut

sebelum mendiskusikan mengenai performa atau kualitas komponen tersebut (Nur, R. dan M. A. Suyuti, 2017). Pada perancangan *safety factor* ada beberapa hal yang harus diperhatikan seperti data material, posisi pembebanan, metode pengukuran dan lain-lain. Pada *chassis* bagian bawah (*main frame*) dipilih karena banyaknya komponen dan pembebanan lainnya yang jika dilakukan perubahan konstruksi akan menyebabkan distribusi beban berubah. Perubahan konstruksi boleh dilakukan dengan catatan jumlah komponen tidak berkurang. Hal tersebut bukan berarti performa *chassis* akan meningkat hanya dengan perubahan konstruksi sehingga perlu dilakukan kajian ulang terkait hal tersebut.

Analisis elemen hingga pada *chassis* sangat diperlukan untuk mengetahui seberapa kuatnya desain *chassis* sebelum dilakukan produksi. Analisis tersebut dilakukan menggunakan *software* untuk mendapatkan hasil yang akurat. (Eddy dkk, 2016). *Software* yang dipakai adalah Inventor dikarenakan mudah dalam pengoperasiannya, banyak referensi dan sudah terintegrasi dengan *software* CAD lainnya seperti Catia, Solidwork dan Auto CAD.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari latar belakang masalah dapat diidentifikasi permasalahan yang terjadi ialah :

1. Desain *chassis* yang bagus untuk bus
2. Letak pembebanan pada *chassis* berpengaruh terhadap kualitas *chassis*
3. Hal yang harus dilakukan untuk menambah kualitas *chassis*
4. Material yang sesuai untuk *chassis* bus

1.3 Batasan Masalah

Karena luasnya permasalahan pada analisis desain, maka ada batasan pada :

1. Jenis rangka yang digunakan adalah rangka *monocoque*.
2. Material yang dipakai adalah STKM16A.
3. Desain *chassis* dibuat dalam bentuk 3D.
4. Nilai pembebanan yang dimasukkan dalam analisis adalah beban komponen mesin, beban *torsion* dan *bending* dan beban *payload*.
5. Metode pembebanan yang digunakan adalah pembebanan *torsion* dan *bending*.
6. Pemodelan 3D dan analisis menggunakan *software* Inventor.
7. Hasil analisis yang diperhatikan adalah perbedaan antara nilai *Von-mises stress*, *displacement*, *safety factor* dan massa.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Berapa nilai *displacement* dan *Von-Mises stresses* hasil analisis *redesign* dibandingkan dengan desain asli *chassis*?
2. Berapa nilai *safety factor* hasil analisis *redesign* dibandingkan dengan desain asli *chassis*?
3. Berapa massa hasil analisis *redesign* dibandingkan dengan desain asli *chassis*?

1.5 Tujuan

1. Mendapatkan hasil analisis nilai *displacement* dan *Von-Mises stresses* pada rangka desain asli dan *redesign*.
2. Mendapatkan hasil analisis nilai *safety factor* pada rangka hasil desain asli dan *redesign*.

3. Mendapatkan hasil analisis nilai massa pada rangka *redesign*.

1.6 Manfaat

1. Mengetahui penerapan dan hasil perbandingan dari *redesign chassis*.
2. Mengetahui caramenggunakan *software* Inventor dalam kaitannya terhadap analisis struktur FEM sehingga hasilnya dapat digunakan secara nyata.
3. Hasil yang diperoleh dapat dijadikan referensi oleh pihak lain yang berkepentingan.

1.7 Spesifikasi Produk yang Dikembangkan

1. *Redesign* dilakukan pada *chassis monocoque* bagian bawah (*main frame*) yang berdasarkan desain asli *chassis* PT. Mobil Anak Bangsa.
2. *Redesign* dan analisis menggunakan *software* Inventor.
3. *Chassis* ini terdiri dari 5 bagian yakni *driver deck*, *front axle*, *space frame*, *rear axle* dan *engine compartment*.

1.8 Asumsi dan Keterbatasan Pengembangan

1. Asumsi Pengembangan
 - a) Pihak PT. Mobil Anak Bangsa menginginkan adanya peningkatan kualitas/performa dari *chassis* yang bersangkutan.
 - b) *Redesign* dan analisis dapat dilakukan dengan menggunakan *software* Inventor. Analisis FEM dapat dilakukan lebih cepat, akurat dan mudah dengan bantuan *software* dibandingkan dengan menggunakan analisis manual.

2. Keterbatasan Pengembangan

- a) Keterbatasan peneliti terkait dengan waktu, tempat dan teknologi dalam melakukan *redesign* dan analisis dikarenakan peneliti melakukannya di perusahaan terkait.
- b) Banyaknya komponen dan pembebanan lainnya maka ruang untuk dilakukan *redesign* menjadi terbatas.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Deskripsi Teori

2.2.1 Rangka Kendaraan

Rangka adalah komponen utama yang menopang komponendari *chassis* seperti mesin, pemindah tenaga, roda, sistem kemudi, sistem suspensi, sistem rem dan lain-lain. Konstruksi rangka harus kuat dan kaku sehingga dapat memberikan keamanan bagi pengguna kendaraan. *Chassis* dibuat dengan memperhatikan distribusi beban sehingga akan membuat kendaraan tersebut memiliki tingkat kekakuan yang optimal (Sadikin, 2013).

a. Ladder Frame Chassis

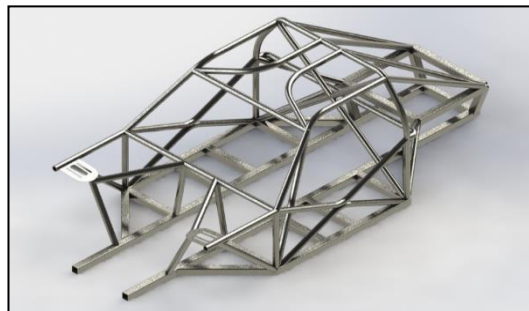
Tipe rangka yang mempunyai bentuk seperti tangga. *Ladder frame* adalah tipe rangka yang paling simple dan tua. Rangka tersebut terdiri dari 2 balok logam simetris yang mengikuti panjang kendaraan dan beberapa perpotongan rangka yang menghubungkan keduanya seperti pada gambar 2.1 (Fadila dan Syam, 2013). Rangka jenis ini hampir digunakan pada semua jenis kendaraan, tetapi *ladder frame* secara bertahap mulai diganti pada mobil dan sekarang lebih banyak digunakan pada truk dan bus. Desain ini menawarkan kekakuan yang baik karena balok yang berlanjut dari depan sampai belakang, tapi mempunyai ketahanan yang buruk terhadap torsi.



Gambar 2.1 *Ladder Frame Chassis*

b. *Space Frame Chassis*

Pada *space frame chassis* (tabung), suspensi, mesin dan panel bodi melekat pada rangka 3 dimensi dan panel bodi mempunyai sedikit atau tidak sama sekali fungsi struktural seperti pada gambar 2.2. *Chassis* tipe ini, untuk memaksimalkan kekakuan dan meminimalkan massa, desain dibuat dengan memaksimalkan bentuk segitiga dan semua gaya di setiap daerah penopang baik secara tegangan tarik atau tegangan tekan dan tegangan lentur sehingga dapat diminimalkan semua gaya pembebanannya (Fadila dan Syam, 2013).



Gambar 2.2 *Space Frame Chassis*

c. *Backbone Chassis*

Salah satu tipe konstruksi *chassis* kendaraan yang menyerupai desain *body on frame*. Tipe ini dibandingkan dengan tipe struktur *ladder frame*, tipe ini terdiri dari tulang punggung (*backbone*) tabung yang

kuat (biasanya persegi panjang dalam penampang yang melintang) yang menghubungkan suspensi depan dan belakang seperti pada gambar 2.3. Bodi ditempatkan pada bagian atas struktur ini (Fadila dan Syam, 2013).



Gambar 2.3 *Backbone Chassis*

d. *Perimeter Frame Chassis*

Tipe ini mirip seperti *ladder frame*, tapi bagian tengah dari rangka balok menempel di luar dari *front* dan *rear rails* tepat di belakang *rocker* atau *sill panel* seperti pada gambar 2.4. Hal ini dilakukan untuk memungkinkan lantai lebih rendah, terutama pada tempat pijakan penumpang, untuk mengurangi ketinggian tempat duduk penumpang dengan begitu dapat mengurangi ketinggian kendaraan (Fauzi, 2013).



Gambar 2.4 *Perimeter Frame Chassis*

e. *Monocoque Chassis*

Tipe *chassis* yang paling banyak digunakan dalam pembuatan kendaraan berkaitan dengan produksi massal karena lebih ringan dan lebih mudah dirakit di pabrik yang sudah terkomputerisasi. Desain rangka ini memungkinkan pendekatan struktural untuk menahan beban melalui panel bodi seperti pada gambar 2.5. Sebuah desain yang menggabungkan *chassis* dan bodi sehingga dapat mendistribusikan semua beban struktural. Kelemahan desain ini seperti sulitnya dilakukan perombakan dan sulit untuk diperbaiki (Dwinanto dan Muhammad, 2015).



Gambar 2.5 *Monocoque Chassis*

2.2.2 Material

Salah satu hal yang penting dalam *redesign* adalah memilih material yang tepat sesuai dengan tujuan konstruksi kendaraan. Pemilihan material yang tepat akan membuat konstruksi sebuah komponen menjadi lebih baik. Baja dalam segala bentuk adalah material yang paling banyak digunakan dalam pembuatan *chassis* kendaraan, tapi dalam beberapa tahun terakhir mulai ada material lain

yang digunakan. Material yang digunakan adalah baja STKM16A dengan spesifikasi yang terlihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Data Properti Baja STKM16A

No.	Sifat Material	Nilai	Satuan
1	<i>Yield Stress</i>	325	MPa
2	<i>Tensile Stress</i>	510	MPa
3	<i>Poisson's Ratio</i>	0.3	
4	<i>Density</i>	$7.85 e-6$	kg/mm ³
5	<i>Modulus Elasticity</i>	$1.9 e+5$	MPa

a. Baja

Material yang paling mudah dicari, mudah dibuat dan ekonomis. Logam ini sangat ideal untuk pembuatan *chassis* kendaraan pada skala komersial serta fakta bahwa sifat fisik baja memberikan banyak manfaat yang besar. Sebagai contoh, baja sebagai material memungkinkan struktur *chassis* lebih kaku sehingga komponen lain yang terpasang pada *chassis* dapat bekerja secara efisien. Logam ini mempunyai *yield strength* dan *ultimate strength* yang tinggi. Keuntungan lain adalah bahwa baja memiliki ketahanan yang tinggi terhadap kegagalan *fatigue* yang berarti jika *chassis* melentur di bawah beban, itu tidak akan menyebabkan kegagalan kritis.

Kelemahan terbesar mengenai baja adalah densitasnya (massa material untuk volume tertentu) yang menyebabkannya massanya lebih tinggi. Ini telah menjadi masalah karena membuat kendaraan menjadi lebih ringan

sangat penting saat ini untuk menghemat konsumsi bahan bakar. Selain itu, peralatan keselamatan yang dipasang juga menyebabkan kendaraan menjadi lebih berat. Kelemahan kecil lainnya adalah korosi. Korosi dapat dicegah dengan memberi lapisan perlindungan pada kendaraan. Perbandingan antara keuntungan dan kerugian dari bahan ini, bisa disimpulkan bahwa ada keuntungan yang jauh lebih besar, dan sebagai hasilnya dapat diprediksi bahwa baja akan menjadi bahan yang paling disukai di tahun-tahun mendatang (Fauzi, 2013).

b. Aluminium

Aluminium dibandingkan dengan baja, jauh lebih ringan karena kepadatannya yang lebih kecil (35% dari baja). Aluminium *alloy* yang berarti bahwa logam lain ditambahkan seperti magnesium, seng atau lainnya untuk menciptakan logam paduan. Aluminium *alloy* yang paling banyak digunakan karena aluminium sendiri memiliki *yield strength* yang sangat rendah untuk *chassis* kendaraan sehingga untuk menghilangkan kekurangannya dibutuhkan bahan logam lainnya sebagai bahan campuran. Aluminium sebagai paduan memiliki kekakuan lebih sedikit (dibandingkan dengan baja yang tiga kali lebih keras), tetapi pada saat yang sama, paduan aluminium adalah bahan yang dapat mengurangi massa. Inilah sebabnya mengapa produsen mencari cara untuk mengatasi *stiffness drawback* yang terjadi dan sekaligus memanfaatkan keringannya.

Struktur aluminium menjadi kaku karena fakta bahwa bahan ini memiliki toleransi kelelahan yang secara signifikan lebih rendah bila dibandingkan

dengan baja. Struktur aluminium dibangun jauh lebih kaku daripada baja untuk menghilangkan *fatigue*. Perbedaan massa antara desain yang sama antara aluminium dan baja, kami mencatat bahwa perbedaan densitasnya sekitar 65%. Mengenai korosi, aluminium *alloy* lebih baik karena bahan itu sendiri membentuk lapisan oksida luar yang mencegahnya dari korosi. Bahan aluminium lebih mahal dan lebih sulit untuk digunakan, tetapi bahan ini masih sering digunakan dalam desain *chassis* (Tata dan Saito, 1995).

c. *Carbon Fibers*

Carbon Fibers Reinforced Plastic (CFRP) adalah gagasan yang mirip dengan *fiberglass* di mana helai karbon ditambahkan untuk memperkuat medium yang digunakan. Kepadatan serat karbon mirip dengan *fiberglass*, tapi yang perlu diperhatikan adalah bahwa material ini memiliki kekuatan seperti paduan aluminium dan kekakuan seperti baja. Alasannya adalah bahwa serat karbon menggunakan alas serat dan untuk mencapai kekuatan dan kekakuan yang optimal, seseorang harus mempertahankan kesejajaran yang benar dari tenunan ini. Dengan kata lain bahan ini tidak dapat dicetak, tetapi harus diletakkan berlapis-lapis, yang membutuhkan keahlian khusus ditambah dengan fakta bahwa itu memakan waktu. Bahan ini memerlukan biaya sangat tinggi (Dwinanto dan Muhammad, 2015).

2.2.3 Dasar Pembebanan

a. Gaya

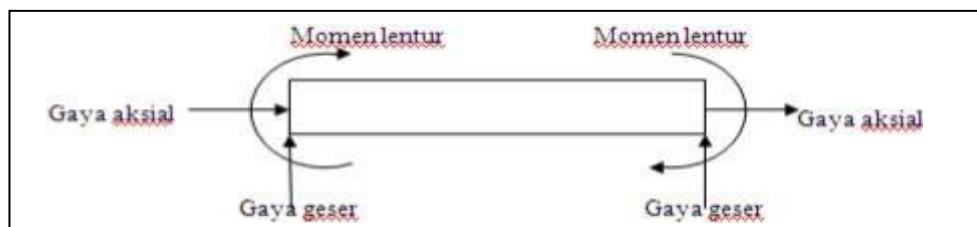
Setiap gaya menghasilkan tegangan pada komponen mesin dan juga deformasi yang dapat merubah bentuk. Gaya aksial menghasilkan tegangan

normal. Torsi dan geser murni menghasilkan tegangan geser. Bending menghasilkan tegangan normal dan tegangan geser. Pembebanan dalam kondisi normal dipengaruhi oleh kondisi jalan yang tidak rata dan manuver yang dilakukan oleh pengemudi. Kasus pembebanan dasar seperti kasus bending, torsi, gabungan antara bending dan torsi serta pembebanan lateral dan longitudinal (Prasetyo, 2010).

$$F = m \times g \quad (2.1)$$

Setiap komponen gaya mempengaruhi beban pada struktur yang berbeda. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2.6.

- Gaya aksial
Gaya yang bekerja searah dengan sumbu aksial dari sebuah material.
- Gaya geser
Gaya yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu aksial dari sebuah material.
- Momen lentur
Gaya putar yang terjadi di ujung struktur maupun di sepanjang bidang struktur.



Gambar 2.6 Gaya Pembebanan.

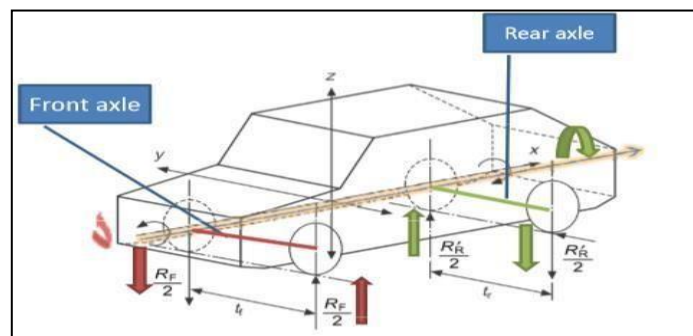
(Prasetyo, 2010)

b. Tegangan Torsi

Definisinya adalah ketika bagian mesin menerima aksi 2 kopel yang sama dan berlawanan dalam bidang sejajar, maka bagian mesin ini menerima beban torsi seperti pada gambar 2.7. Hal ini terjadi ketika kendaraan melintasi jalan yang tidak rata. Dalam keadaan aktual tegangan torsi selalu terjadi bersama dengan tegangan bending karena adanya gravitasi. Momen torsi maksimal berdasarkan beban pada poros yang pembebanannya lebih ringan. Persamaan tegangan torsi adalah:

$$\frac{\tau}{r} = \frac{T}{J}$$

(2.2)



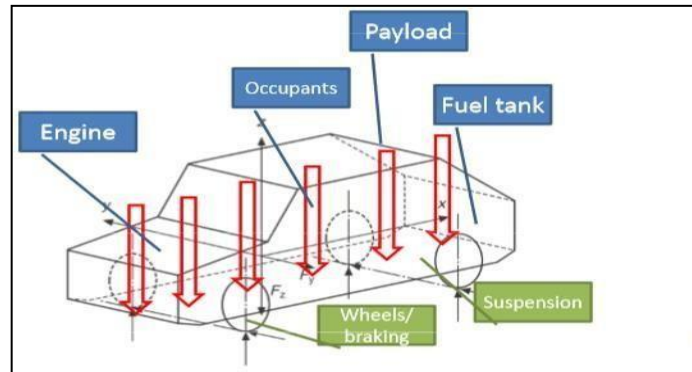
Gambar 2.7 Gaya Torsi

c. Tegangan Bending

Definisinya adalah ketika balok mengalami momen bending, bagian atas balok akan memendek akibat kompresi dan bagian bawah akan memanjang akibat tarikan. Bagian mesin dari batang struktur mengalami beban statis atau dinamis, selain menyebabkan tegangan bending pada bagian penampang ada juga tegangan lain seperti tegangan tarik, tekan dan geser. Hal ini terjadi

akibat adanya pembebanan secara vertikal seperti yang diperlihatkan gambar

2.8.



Gambar 2.8 Gaya *Bending*

2.2.4 Teori Elastisitas

A. Tegangan

Sebuah gaya yang bekerja pada luas penampang sebuah benda. Bahan yang digunakan dalam perancangan atau konstruksi sebuah komponen berpengaruh terhadap tegangan. Tegangan yang ditentukan sebelum proses perancangan adalah tegangan batas dan tegangan ijin. Tegangan batas didefinisikan sebagai tegangan maksimal suatu material/bahan yang dapat ditahan sebelum mengalami deformasi. Tegangan ijin adalah tegangan maksimum (tarik, tekan atau lentur) yang diijinkan untuk diterapkan pada bahan struktural (Arif, 2014).

$$\sigma = F/A$$

(2.3)

Dimana: σ = Tegangan (N/m^2)

F = Gaya (N)

A = Luas permukaan (m^2)

1. Tegangan Normal

Tegangan yang bekerja normal atau secara tegak lurus terhadap permukaan sebuah material. Tegangan ini dapat berupa tegangan tarik (*tensile stress*) dan tegangan tekan (*compressive stress*).

2. Tegangan Geser

Tegangan yang bekerja tangensial terhadap permukaan sebuah material.

B. Regangan

Perubahan relatif ukuran atau bentuk benda yang mengalami tegangan.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{l} \tag{2.4}$$

Dimana: ε = Regangan

δ = Perubahan panjang (m)

l = Panjang awal (m)

C. Hukum Hooke

Perbandingan antara tegangan dan regangan dari sebuah benda.

$$E = \sigma/e \tag{2.5}$$

Dimana: E = Modulus elastisitas (N/m^2)

σ = Tegangan (N/m^2)

e = Regangan

(Arif, 2014)

2.2.5 *Safety Factor*

Safety factor adalah angka yang harus ada dalam perancangan struktur sebuah komponen. Faktor keamanan elemen dan sistem struktur sangat tergantung pada ketahanan struktur. *Safety factor* digunakan untuk mengevaluasi agar perencanaan elemen mesin keamanannya dengan dimensi yang minimal.

Prinsip umum untuk mengetahui *safety factor* didefinisikan sebagai analisis ketahanan struktur akibat beban yang bekerja pada struktur tersebut. Metode tersebut menggunakan perbandingan antara tegangan luluh material yang dibagi dengan tegangan ijin. Struktur dikatakan gagal atau *failure* jika tegangan yang terjadi akibat beban yang bekerja lebih besar dari tegangan ijin. Pada material ulet (*ductile*) seperti baja, tegangan *ultimate* diambil dari tegangan luluh sedangkan pada material getas (*brittle*) seperti beton, tegangan *ultimate* diambil dari tegangan runtuh.

$$\text{Faktor Keamanan} = \frac{\text{yield point stress}}{\text{working atau design stress}} \quad (2.6)$$

Safety factor dapat dimasukkan dalam desain melalui tegangan atau kriteria kekuatan lainnya. Tegangan *ultimate* sering digunakan untuk menentukan *safety factor*. Hal yang perlu diperhatikan adalah desain tegangan yang sama tidak perlu digunakan ketika *safety factor* yang didasarkan pada tegangan *ultimate* sama dengan desain tegangan didasarkan pada batas luluh. Faktor keamanan pada tabel 2.2 adalah untuk material ulet dan tabel 2.3 untuk material getas.

Tabel 2.2 Faktor Keamanan Material Ulet.

No.	Faktor Keamanan yang Disarankan	Parameter dan Tingkat Ketidakpastian
1	$N = 1.25 - 1.5$	Data material sangat akurat, jenis pembebanan yang spesifik dan metode perhitungan tegangan yang akurat.
2	$N = 1.5 - 2$	Data material cukup baik, kondisi lingkungan stabil dan metode perhitungan beban dan tegangan yang baik.
3	$N = 2 - 2.5$	Data material biasa, komponen dioperasikan pada lingkungan normal, beban dan tegangan dapat dihitung dengan material.
4	$N = 2.5 - 3$	Data material yang kurang baik atau material getas dengan pembebanan dan kondisi lingkungan rata-rata.
5	$N = 3 - 4$	Material yang belum diuji dengan pembebanan dan kondisi lingkungan yang rata-rata. Angka ini juga disarankan untuk material yang teruji dengan baik tetapi kondisi lingkungan dan pembebanan tidak pasti.

Tabel 2.3 Faktor Keamanan Material Getas.

No.	Faktor Keamanan yang Disarankan	Parameter dan Tingkat Ketidakpastian
1	$N = 3 - 4$	Perancangan struktur yang menerima beban secara statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data perancangan.
2	$N = 4 - 8$	Pada perancangan struktur statis atau pada elemen-elemen mesin yang akan menerima pembebanan secara dinamis dengan ketidakpastian mengenai beban, sifat pada bahan, analisis tegangan atau lingkungan.

2.2.6 Analisa Kegagalan

Dalam perancangan teknik, menentukan batasan tegangan yang menyebabkan kegagalan dari material adalah hal yang penting. Hal ini didahului

dengan menentukan tegangan utama (*principal stress*). Ada 3 teori kriteria kegagalan statis yang sering dipakai.

A. Teori Tegangan Normal Maksimum

Kegagalan terjadi bila salah satu tegangan utama sama dengan kekuatan material. Contoh tegangan utama jika disusun seperti $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, jika kriteria kegagalan adalah titik luluh, maka kegagalan terjadi jika:

$$\sigma_1 = S_{yt} \text{ atau } \sigma_3 = -S_{yx} \quad (2.7)$$

Dimana S_{yt} dan S_{yx} adalah kekuatan luluh terhadap gaya tarik dan gaya tekan (Nugroho, 2012).

B. Teori Tegangan Geser Maksimum

Kegagalan terjadi bila tegangan geser maksimum pada komponen mesin sama dengan kekuatan geser material. Jika tegangan utama disusun seperti $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, kegagalan akan terjadi jika:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \geq \frac{S_y}{2} \text{ atau } \sigma_1 - \sigma_3 \geq S_y \quad (2.8)$$

Teori ini menyatakan kekuatan luluh pada kekuatan geser diberikan oleh persamaan:

$$S_{yx} = 0.5 S_y \quad (2.9)$$

(Nugroho, 2012)

C. Teori Tegangan *Von-Mises*

Kegagalan terjadi dalam keadaan tegangan geser yang diijinkan lebih besar dari tegangan geser maksimum yang diperkirakan. Analisis perancangan lebih mudah menggunakan tegangan *Von-Mises* karena persamaannya berkaitan dengan tegangan 3 sumbu. Persamaannya seperti:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2}{2}} \quad (2.10)$$

(Nugroho, 2012)

2.2.7 Metode Elemen Hingga

Metode ini juga disebut *Finite Element Method* (FEM). Suatu metode numerik yang dipakai untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dengan tingkat ketelitian yang akurat. Jenis permasalahan tersebut seperti, analisis struktur, perpindahan panas, aliran fluida, perpindahan massa dan elektromagnetik (Sari dan Santoso, 2014).

Metode elemen hingga, dalam penyelesaian masalah menggunakan pendekatan diskritisasi elemen untuk menemukan perpindahan titik simpul/*joint/grid* dan gaya dari struktur. Diskritisasi yang dilakukan dapat dilakukan dengan menggunakan elemen satu dimensi (elemen garis), dua dimensi (elemen bidang) atau tiga dimensi (elemen *solid/kontinum*). Proses inti metode elemen hingga adalah membagi problem yang kompleks menjadi bagian-bagian kecil atau elemen-elemen dari mana solusi yang lebih sederhana dapat dengan mudah diperoleh. Solusi dari setiap elemen jika digabungkan akan menjadi solusi

problem secara keseluruhan. Persamaan yang menggunakan elemen diskret mengacu pada metode matrik untuk analisis struktur dan hasil yang diperoleh identik dengan analisis klasik untuk struktur. Penggunaan metode matrik adalah melakukan penghitungan metode elemen hingga secara manual.

Pada awal perkembangannya, MEH agak sedikit lambat karena kemampuan komputer saat itu membatasi kegunaan dari MEH dan kurangnya bukti-bukti matematik yang *solid*. Namun demikian beberapa peneliti seperti Zienkiwicz, Iron, Owen dan Gallagher melihat potensi dari MEH dan terus mengembangkan teknik MEH. Seiring dengan perkembangan perangkat komputer maka permasalahan yang dapat dipecahkan semakin bervariasi dan berbagai program komputer ditulis. Salah satunya Nastran yang dikembangkan oleh NASA pada tahun 1965. Dalam *software* Inventor menggunakan Nastran dalam melakukan analisisnya. Organisasi fungsional Nastran terdiri dari *data base*, *executive system*, dan 3 buah modul, yaitu modul untuk pemodelan (*modelling*), manipulasi *data base* (*functional*), serta masukan/keluaran (*input/output*). *Data base* dapat diciptakan langsung melalui modul masukan/keluaran atau modul pemodelan, kemudian dimanipulasi oleh modul fungsional (penjumlahan, pengurangan, penyelesaian persamaan, dll).

Program MSC/NASTRAN dikendalikan sepenuhnya melalui data masukan, yang berupa:

1. *Executive control deck*, berfungsi mengendalikan fungsi-fungsi eksekutif, antara lain menentukan *rigid format*, memodifikasi *rigid format*, menyimpan data sementara dan menggunakannya kembali serta mencetak *data set*.

2. *Case control deck*, berfungsi mengendalikan masukan dan keluaran, antara lain menentukan himpunan data yang digunakan pada saat eksekusi, memilih metode penyelesaian, dan mengendalikan kasus.
3. *Bulk data deck*, berfungsi menentukan masalah yang dihadapi. Batas serta besaran-besaran yang dibutuhkan dalam suatu *rigid format* antara lain berupa : koordinat titik simpul, data elemen, tumpuan, beban, sifat elemen, dan sifat material. *Bulk data deck* mendefinisikan model struktur yang dianalisa dengan menggunakan himpunan data yang memungkinkan pemasukan berbagai beban dan syarat batas. Himpunan data diberikan nomor identifikasi dan digunakan pada saat eksekusi melalui perintah pada *case control deck*.

Analisis metode elemen hingga menggunakan bantuan *software* menjadi lebih akurat dan efisien. Perkembangan dalam analisis metode elemen hingga sangat bagus sehingga dapat memudahkan dalam proses analisis (Nugroho, 2012).

2.2 Kajian Penelitian yang Relevan

Rajpal dkk (2014) melakukan penelitian yang berhubungan dengan *chassis*. Isi dari penelitian tersebut untuk kasus pertama adalah melakukan analisis struktural pada *frame* dan memodifikasi desain untuk mengurangi beban *chassis*. Kasus kedua mempelajari efek *rolling over* dan *axle drive* dengan *active bogies* untuk penyamaraan *chassis*. Ketiga mengenai implementasi dari kasus kedua untuk mencegah terjadinya *rolling over*.

Palde dkk (2016) melakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik statis dan dinamis seperti *torsional stiffness* dan frekuensi alami dari sebuah *chassis* mobil. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan metode elemen

hingga dan eksperimen. Berdasarkan salah satu model *chassis* yang dimodifikasi untuk tujuan analisis statis struktural, analisis modal dan analisis eksperimental. *Chassis* dibuat menggunakan *software* PRO-E. Analisis menggunakan *software* ANSYS 14.5 dan RADIOSS. Hasil dari analisis tersebut dapat di amati bahwa *chassis* yang telah di modifikasi memiliki peningkatan *torsional stiffness* dan frekuensi alami.

Utama dkk (2016) menjelaskan dalam penelitiannya yang berjudul “Optimasi Bentuk Rangka Dengan Menggunakan *Prestress* Pada Prototipe Kendaraan Listrik” membahas mengenai optimasi *chassis* dengan metode *prestress* pada *prototipe* kendaraan listrik dengan menggunakan pemodelan CAD secara 3 dimensi. Metode simulasi elemen hingga digunakan, pembebanan statis diterapkan untuk mendapatkan beban maksimum dan defleksi maksimum serta lokasinya. Dengan membuat variabel bentuk struktur rangka pada bagian tengah kendaraan maka didapatkan rangka yang paling optimal dimana rangka memiliki defleksi terkecil dan kuat untuk menahan beban penumpang.

Vijayan dkk (2015) melakukan penelitian dengan judul *Design And Analysis Of Automotive Chassis Considering Cross-Section And Material*. Jurnal tersebut berisi mengenai desain dan analisis *chassis* kendaraan berat sebagai objek utama dari industri otomotif saat ini. Informasi yang diberikan adalah *chassis* kendaraan berat EICHER digunakan sebagai desain dan untuk proses analisis dengan memperhatikan material komposit *polymer*, S-Glass Epoxy dan *cross-section* seperti C, I dan tipe kotak untuk pembebanan yang sama seperti *chassis* baja.

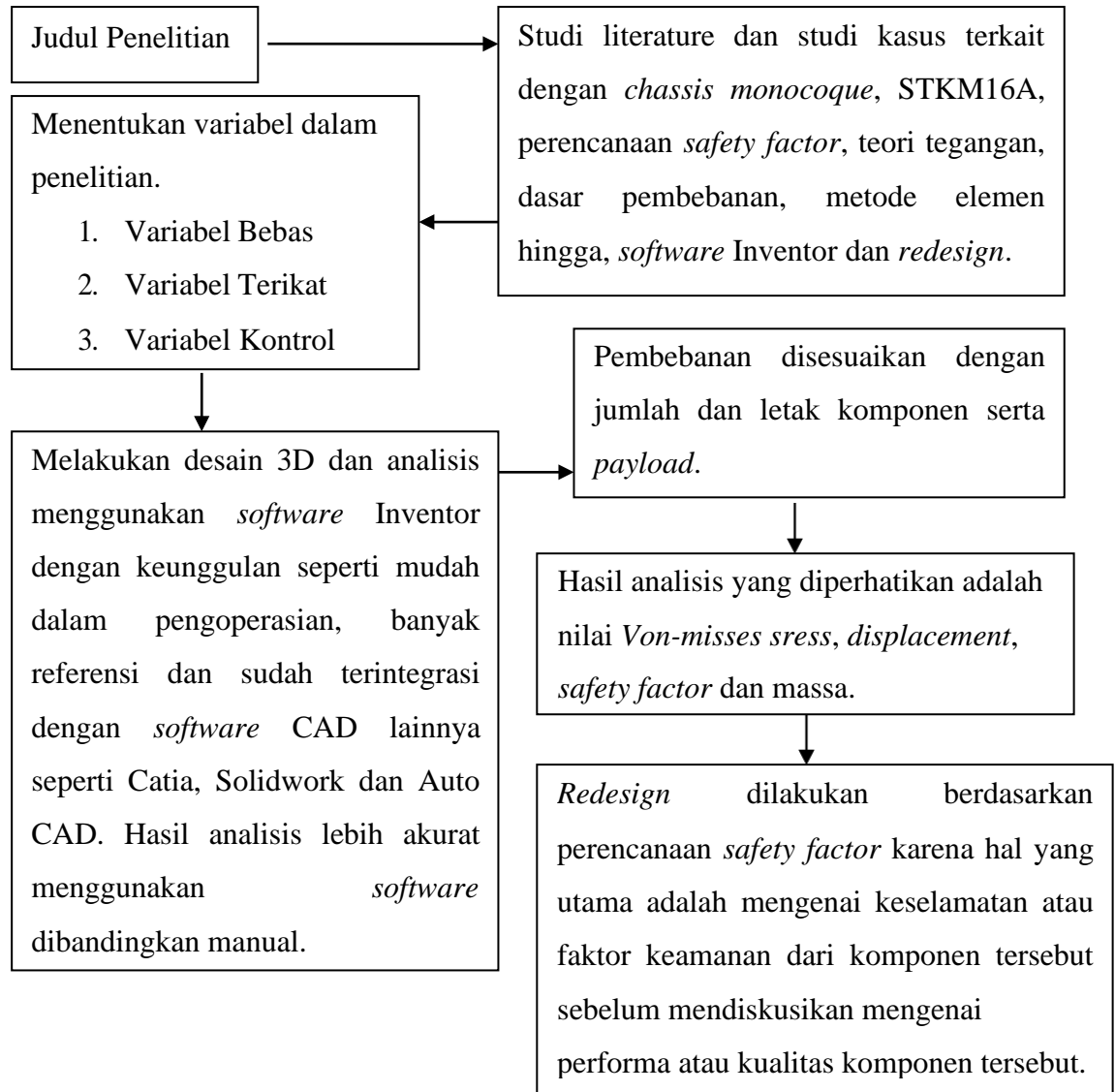
2.3 Kerangka Pikir

Chassis adalah salah satu komponen penting dalam sebuah kendaraan. Hal tersebut berkaitan dengan fungsinya sebagai tempat diletakkannya berbagai komponen kendaraan. Ada beberapa jenis *chassis* dengan keunggulan dan kekurangannya masing-masing. Salah satunya adalah *chassis monocoque*. *Chassis monocoque* adalah sebuah struktur yang mengintegrasikan *chassis* dan bodi kendaraan agar kendaraan memiliki kekakuan yang lebih baik serta lebih ringan.

Material yang dipilih adalah STKM16A. Material tersebut termasuk logam jenis baja. Material tersebut dipilih karena mudah dicari, mudah dibuat dan ekonomis. Baja sebagai material memungkinkan struktur *chassis* lebih kaku sehingga komponen lain yang terpasang pada *chassis* dapat bekerja secara efisien. Logam ini mempunyai *yield strength* dan *ultimate strength* yang tinggi. Keuntungan lain adalah bahwa baja memiliki ketahanan yang tinggi terhadap kegagalan *fatigue* yang berarti jika *chassis* melentur di bawah beban, itu tidak akan menyebabkan kegagalan kritis.

Redesign adalah sebuah aktifitas untuk melakukan pembaharuan/pengubahan dengan menjadikan desain awal sebagai referensi yang bertujuan untuk memenuhi tujuan yang diinginkan. Hal tersebut dilakukan untuk meningkatkan kualitas *chassis*. *Redesign* dilakukan pada *chassis monocoque* bagian bawah (*main frame*). *Redesign* dilakukan berdasarkan nilai *safety factor* sebagai acuan karena dalam perancangan, hal yang utama adalah mengenai keselamatan atau faktor keamanan dari komponen tersebut sebelum mendiskusikan mengenai performa atau kualitas komponen tersebut (Nur, R. dan

M. A. Suyuti, 2017). Pada perancangan *safety factor* ada beberapa hal yang harus diperhatikan seperti data material, posisi pembebanan, metode pengukuran dan lain-lain. Kerangka penelitian ini diperlihatkan pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Kerangka Penelitian

2.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis merupakan jawaban sementara terhadap rumusan masalah penelitian. Dikatakan sementara, karena jawaban yang diberikan baru didasarkan

pada teori yang relevan, belum didasarkan pada fakta-fakta empiris yang diperoleh melalui pengumpulan data. Jadi hipotesis juga dapat dinyatakan sebagai jawaban teoritis terhadap rumusan masalah penelitian, belum jawaban yang empirik (Sugiyono, 2012). Hipotesis penelitian dalam penelitian ini adalah:

1. Nilai *displacement* dan *Von-Mises stresses* hasil analisis *redesign* lebih baik dibandingkan desain asli. Alasannya adalah karena perubahan pada dimensi *frame*, posisi *frame* dan mengurangi/menambah *frame* akan berdampak terhadap distribusi tegangan menjadi lebih rata. Perubahan konstruksi *chassis* akan menyebabkan perubahan pada letak komponen yang mengubah letak pembebanan dan berpengaruh terhadap distribusi tegangan.
2. Nilai *safety factor* hasil analisis *redesign* lebih baik dibandingkan desain asli. Alasannya adalah karena berkaitan dengan pemilihan material dengan nilai *yield strength* yang bagus dan nilai *Von-Mises stresses* hasil analisis. Semakin rendah nilai *Von-Mises stresses* maka nilai *safety factor* semakin tinggi.
3. Nilai massa hasil analisis *redesign* akan lebih ringan dibandingkan desain asli. Hal tersebut berhubungan dengan dimensi *frame* dan mengurangi/menambah *frame* yang akan mengurangi nilai massa.

BAB V

SIMPULAN, IMPLIKASI DAN SARAN

5.1 Kesimpulan Tentang Produk

a Nilai *Von-mises stress* desain asli *chassis*, *redesign 1*, *redesign 2* dan *redesign 3* berturut-turut 215,4 MPa, 203,4 MPa, 225,7 MPa dan 202,9 MPa.

Nilai *displacement* desain asli *chassis*, *redesign 1*, *redesign 2* dan *redesign 3* berturut-turut 5,393 mm, 4,17 mm, 4,78 mm dan 4,182 mm.

b Nilai *safety factor* desain asli *chassis*, *redesign 1*, *redesign 2* dan *redesign 3* berturut-turut 1,5; 1,59; 1,43 dan 1,6.

c Nilai massa desain asli *chassis*, *redesign 1*, *redesign 2* dan *redesign 3* berturut-turut 2326,83 kg, 2319,32 kg, 2311,65 dan 2341,57 kg.

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, *redesign 1* adalah yang terbaik karena semua parameternya lebih baik dibandingkan dengan desain asli.

5.2 Keterbatasan Hasil Penelitian

Penelitian ini telah diusahakan dan dilaksanakan sesuai dengan prosedur ilmiah, namun demikian masih memiliki keterbatasan yaitu:

a Banyaknya *frame* yang tumpah tindih mengakibatkan massa *chassis* bertambah. Hal itu juga berpengaruh pada hasil analisis sehingga perlu diperhatikan secara teliti.

b Persiapan analisis terkait pembebanan dan permukaan yang diberi beban.

Hal tersebut akan berpengaruh terhadap banyaknya tegangan yang diberikan kepada *chassis* sehingga distribusi tekanan akan berubah.

5.3 Implikasi Hasil Penelitian

Implikasi dari penelitian ini ada 2 yaitu:

a. Implikasi Teoritis

Terkait dengan hubungan antara teori dengan hasil penelitian. Contohnya teori tegangan dengan memperluas area permukaan dari *chassis* dengan cara menambahkan *frame* pada bagian tertentu menyebabkan tegangan yang terjadi pada area tersebut semakin rendah.

b. Implikasi Praktis

Terkait dengan manfaat hasil penelitian. Hal ini berkaitan dengan hasil penelitian yang dapat digunakan sebagai referensi dalam melakukan pengembangan *chassis* yang dimaksud dari pihak perusahaan atau bentuk konstruksi *chassis monocoque* tersebut terhadap pihak yang berkebutuhan.

5.4 Saran

Beberapa saran yang bisa diberikan dari penulis adalah sebagai berikut:

- a. Perhatikan *frame* ketika dilakukan *assembly*, hal itu untuk mencegah adanya *frame* yang saling tumpang tindih, karena akan mempengaruhi hasil analisis.
- b. Ketika proses persiapan analisis, perhatikan dengan teliti mengenai pemberian beban, *constraint*, tebal *frame* dan jenis material sebelum dilakukan analisis.
- c. Pelajarilah tentang posisi komponen/pembebanan secara aktual, konstruksi *chassis* dan sifat material untuk membantu dalam proses *redesign*.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, Z. 2014. *Mekanika Kekuatan Material*. Fakultas Teknik Universitas Samudra Langsa.
- Dwinanto, A. Y. dan F. B. Muhammad. 2015. Analisis Karakteristik Bodi Dan Chassis Pada Prototype Kendaraan Listrik. *Jurnal Rekayasa Mesin* 6(2): 119-126
- Eddy, N., M. I. Nofa dan A. C. Arya. 2016. Optimalisasi Struktur Rangka Bus Wisata Dengan Analisa Metode Elemen Hingga. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*: 423-432
- Fadila, A. dan B. Syam. 2013. Analisis Simulasi Struktur Chassis Mobil Mesin USU Berbahan Besi Struktur Terhadap Beban Statik Dengan Menggunakan Perangkat Lunak ANSYS 14.5. *Jurnal e-Dinamis* 6(2): 70-79
- Fauzi, H. 2013. Analisis Tegangan Pada Frame Mobil Listrik Sinosi Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Jember. Jember.
- Hendrawan, M. A., P. I. Purboputro, M. A. Saputro dan W. Setiyadi. 2018. Perancangan Chassis Mobil Listrik Prototype “Ababil” dan Simulasi Pembebanan Statik dengan Menggunakan Solidworks Premium 2016. *The 7th University Research Colloquium 2018 STIKES PKU Muhammadiyah Surakarta*: 96-105
- Lan, F., J. Chen dan J. Lin. 2003. Comparative analysis for bus side structures and lightweight optimization. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers 218(D) Journal of Automobile Engineering*: 1067-1075
- Novian, M. S. dan Rahmawati. 2013. Perancangan Sasis Mobil Harapan Dan Analisis Simulasi Pembebanan Statik Menggunakan Perangkat Lunak ANSYS 14.0. *Biltek* 4(043):1-11.
- Nugroho, Y. A. 2012. Desain Dan Analisa Gerbong Kereta Api Pengangkut Bahan Bakar Premium Dengan Metode Elemen Hingga. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang
- Nur, R. dan M. A. Suyuti. 2017. Perancangan Mesin-Mesin Industri. Sleman : CV BUDI UTAMA
- Palde, N. V., S. V. I. T. Nashik dan V. L. Kadlag. 2016. Design improvement and analysis of car chassis for Static and Dynamic Characteristics. *International Engineering Research Journal (IERJ)*: 238-244.
- Prasetyo, A. J. 2010. Aplikasi Metode Elemen Hingga (MEH) Pada Struktur Rib Bodi Angkutan Publik. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Rajpal, J., S. G. Thorat, B. S. Kothavale dan S. S. Hatwalane. 2014. Design Considerations for Automobile Chassis for Prevention of Rolling Over of a Vehicle. *Applied Mechanics and Materials* 612(2014): 41-49.
- Roby, D. W. Utama dan N. Eddy. 2014. Optimasi Massa Rangka Kendaraan Elektrik Pengangkut Sampah Dengan Simulasi Metode Elemen Hingga. *POROS* 12(1): 66-73

- Sadikin, A. 2013. Perancangan Rangka *Chassis* Mobil Listrik Untuk 4 Penumpang Menggunakan *Software* 3D SIEMENS NX8. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Semarang
- Sari, S. P. dan P. Santoso. 2014. Analisis Tegangan Statik Pada Rangka Sepeda Motor Jenis Matic Menggunakan *Software* CATIA P3 V5R14. <http://repository.gunadarma.ac.id/id/eprint/533>. 10 Desember 2019 (14:20).
- Shantika, T., E. T. Firmansyah dan I. Naufan. 2017. Perancangan *Chassis* Type Tubular Space Frame Untuk Kendaraan Listrik. *POROS 15(1): 9-17*
- Sugiyono. 2012. Metode Penelitian Kuantitatif dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- Surdia, T. dan S. Saito. 1995. Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Utama, D. W., W. D. Chandra dan R. Danardono. 2013. Optimasi Bentuk Rangka Dengan Menggunakan *Prestress* Pada Prototipe Kendaraan Listrik. *Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI8) 2013: 346-353*
- Vijayan S. N., S. Karthik dan K. Maharaja. 2016. Finite Element Analysis of Automotive *Chassis* with Various Cross-Section. *International Conference on Systems, Science, Control, Communication, Engineering and Technology 2016 [ICSSCCET 2016]: 201-205*
- Vijayan S. N., S. Sendhilkumar dan K. M. K. Babu. 2015. Design And Analysis Of Automotive *Chassis* Considering Cross-Section And Material. *International Journal of Current Research 7(05):15697-15701*