



***REDESAIN DAN ANALISIS FINITE ELEMENT
METHOD RANGKA MONOCOQUE BAGIAN ATAS
(TOP FRAME) PADA BUS LISTRIK PT MAB
BERBASIS SOFTWARE INVENTOR***

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin

Oleh

Arief Putranto

NIM. 5212414015

TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Arief putranto
Nim : 5212414015
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : *Redesign dan Analisis Finite Element Method Rangka*

Monocoque Bagian Atas (*Top Frame*) Pada Bus Listrik PT. MAB
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,

Dosen Pembimbing

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

NIP.197209101999031001

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “*Redesign dan Analisis Finite Element Method Rangka Monocoque Bagian Atas (Top Frame) Pada Bus Listrik PT. MAB Berbasis Software Inventor.*” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal ... bulan ... tahun
Oleh

Nama : Arief Putranto

NIM : 5212414015

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. Ir. 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

Dr. Nur Qudus, M.T.,IPM.

NIP.199691130199403100

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, 2019

Yang membuat pernyataan

Arief Putranto

NIM. 5212414015

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

- Selalu mencari jalannya syukur dalam keadaan apapun.
- Jangan terus mencari uang, karena bila terus di cari akan semakin kurang.
- Melihatlah ke atas untuk urusan akhiratmu dan melihatlah ke bawah untuk urusan duniamu, insyaallah hidup akan damai tentram.

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 menyemangati

SARI ATAU RINGKASAN

Arief putranto. 2019. *Redesign dan Analisis Finite Element Method Rangka Monocoque Bagian Atas (Top Frame) Pada Bus Listrik PT MAB Berbasis Software Inventor*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Pembimbing (1) Widya Aryadi, S.T., M.Eng

Tujuan penelitian ini Tujuan Penelitian ini adalah untuk menguji analisis dan pendesain ulang rangka bodi menggunakan *Software Inventor 2019* dengan cara memodifikasi ketebalan pilar rangka bodi yang ditentukan pada hasil uji analisis. Perlakuan gaya yang bekerja pada rangka bodi di bebaskan pada bagian atas sehingga dapat mengetahui seberapa kuat *redesign* bodi yang di buat.

Hasil uji analisis rangka bodi aktual selanjutnya digunakan acuan dasar untuk mendesain ulang sebagai upaya pengoptimalisasian. Pada penelitian ini parameter yang digunakan sebagai pembanding hasil yaitu *Von-Mises stress*, *Displacement*, *Safety factor*, *principal 1 stress* dan *shear stress*.

Hasil penelitian uji analisis menunjukkan peningkatan parameter mutu kualitas struktur pada *redesign* ke-2, yaitu nilai *massa* dari *redesign* yang semula 1082,879 kg menjadi 503,947 kg *Von-Mises Stress* menjadi 222,6 MPa, *Safety factor* menjadi 1,2 dan 3. Dengan demikian hasil redesign dikatakan optima karena memenuhi kriteria pengujian yang telah di tentukan.

Kata Kunci : *redesign*, *rangka bodi* , *bus*, *software inventor* , dan *safety factor*.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis dalam bentuk proposal skripsi dengan judul “Re-Disain dan Analisis *Finite Element Method* Rangka *Monocoque* Bagian Atas (*top frame*) Pada Bus Listrik PT. MAB 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 yang tiada terkira 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 bijaksana memberikan bimbingan, nasihat serta waktunya selama penulisan proposal skripsi ini.
5. Kedua orang tua dan keluarga yang senantiasa 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.

Penulisan skripsi ini masih memiliki kekurangan yang disebabkan keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi penyempurnaan penulisan selanjutnya.

Semarang, Februari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Tujuan	4
1.6 Manfaat	5
BAB II	6
KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1 Kontruksi Rangka <i>Monocoque</i>	7
2.2.2 Kontruksi Rangka <i>Composite</i>	7
2.2.3 Perancangan	8
2.2.4 Aluminium	9
2.2.5 Kekuatan Bahan	10
2.2.6 Beban	10
2.2.7 Gaya	11

2.2.8	Kekuatan Bending.....	12
2.2.9	Defleksi.....	13
2.2.10	Teori <i>Elastisitas</i>	14
2.2.11	Tegangan.....	14
2.2.12	Regangan.....	16
2.2.13	Teori Umum FEM (<i>Finite Element method</i>).....	17
2.2.14	<i>Software inventor</i>	18
BAB III.....		20
METODE PENELITIAN		20
3.1	Waktu dan tempat Pelaksanaan	20
3.1.1	Waktu penelitian	20
3.1.2	Tempat penelitian.....	21
3.2	Desain penelitian.....	21
3.3	Alat dan bahan yang digunakan	24
3.4	Paremeter Penelitian	25
3.5	Teknik Pengumpulan Data.....	25
3.5.1	Memahami obyek penelitian.....	27
3.5.2	Karakterisasi bahan baku	27
3.5.3	Modifikasi dan penggambaran 3D di <i>Software Inventor</i>	27
3.5.4	<i>Meshing</i>	29
3.5.5	Letak pembebanan dan penentuan <i>fixed</i>	29
3.5.6	<i>Solving</i> (pengujian) FEM (<i>finite element method</i>)	30
3.6	Kalibrasi instrument	31
3.7	Teknik Analisis Data	36
BAB IV.....		37
4.1	Hasil Penelitian.....	37
4.1.1	<i>Existing design</i>	37

4.1.2 <i>Improvement design 1</i>	41
4.1.3 <i>Improvement design 2</i>	46
4.1.4 <i>Improvement design 3</i>	51
4.2 Pembahasan.....	56
BAB V	60
KESIMPULAN DAN SARAN.....	60
5.1. Kesimpulan.....	60
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Beban terpusat pada batang sederhana.....	10
Gambar 2.2. Beban merata pada batang sederhana.....	11
Gambar 2.3. Gaya yang bekerja pada batang sederhana.....	12
Gambar 2.4. <i>Defleksi</i> yang terjadi pada batang.....	13
Gambar 2.5 Enam komponene tegangan	15
Gambar 3.1. Diagram alir tahapan penelitian.	23
Gambar 3.2. Proses awal modifikasi dan penggambaran 3D drawing di <i>inventor</i> ...	27
Gambar 3.3. Rangka bodi bus listrik hasil modifikasi <i>re-desing</i>	28
Gambar 3.4. <i>Meshing</i> 3d rangka bodi bus listrik pada <i>software inventor</i>	29
Gambar 3.5. Letak pembebanan dan penentuan <i>fixed</i>	30
Gambar 3.6. Menu <i>Autodesk Nastran In-CAD</i>	32
Gambar 3.7. <i>Set up</i> untuk perhitungan <i>FEA</i> baru.....	33
Gambar 3.8. <i>Set up</i> tipe elemen dan ketebalan <i>surface</i>	33
Gambar 3.9. <i>Set up</i> material.....	34
Gambar 3.10. Pembuatan <i>mesh</i> dan hasil <i>meshing</i>	35
Gambar 3.11. <i>Set up constraint</i>	35
Gambar 3.12. <i>Set up</i> pembebanan.....	36
Gambar 3.13. Tampilan <i>set up Autodesk Nastran In-CAD</i>	36
Gambar 3.14. Dimensi dan penjelasan komponen yang dibentuk dari proses desain rangka bodi.....	37
Gambar 4.1. <i>Existing design body prototype 3</i>	38
Gambar 4.2. Hasil pengukuran berat <i>Existing design body prototype 3</i>	39
Gambar 4.3. Pemasukan beban yang ditumpukan ke rangka bodi atas.....	41
Gambar 4.4. Input <i>idealization</i> 3 mm.....	43
Gambar 4.5. Hasil pengukuran massa <i>improvment design 1</i>	43
Gambar 4.6. Hasil uji <i>von mises stress improvment design 1</i>	44
Gambar 4.7. Hasil uji <i>displacement improvment design 1</i>	45
Gambar 4.8. Hasil uji <i>1st Principal Stress improvment design 1</i>	46

Gambar 4.9. Hasil uji <i>Shear stress improvment design 1</i>	47
Gambar 4.10. Input <i>idealization 5 mm</i>	48
Gambar 4.11. Hasil perhtungan berat <i>improvment design 2</i>	48
Gambar 4.12. Hasil uji <i>von mises stress improvment body 2</i>	49
Gambar 4.13. Hasil uji <i>displacement improvment design 2</i>	50
Gambar 4.14. Hasil uji <i>1st Principal Stress improvment design 2</i>	51
Gambar 4.15. Hasil uji <i>Shear stress improvment design 2</i>	52
Gambar 4.16. input data <i>idealization sebesar 7 mm improvment design 3</i>	53
Gambar 4.17. Hasil perhitungan massa <i>improvment design 3</i>	53
Gambar 4.18. Hasil uji <i>von mises stress improvment design 3</i>	54
Gambar 4.19. Hasil uji <i>displacment improvment design 3</i>	55
Gambar 4.20. hasil uji <i>1st principal stress improvment design 3</i>	56
Gambar 4.21. Hasil uji <i>shear stress improvment design 3</i>	57

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Spesifikasi aluminium 6061.....	24
Tabel 3.2. <i>Massa</i>	26
Tabel 3.3. pengujian.....	26
Tabel 4.1. <i>Massa</i> keseluruhan.....	59
Tabel 4.2. Data perbandingan uji <i>von mises stress</i>	59
Tabel 4.3. Data perbandingan uji <i>Sefty factor</i>	60
Tabel 4.4. Data perbnadingan uji <i>displacement</i>	60
Tabel 4.5. Data perbandingan uji <i>1 st principal stress</i>	60
Tabel 4.6. Data perbandingan uji <i>shear stress</i>	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Tugas Penguji Seminar Proposal	64
Lampiran 2. Persetujuan Seminar Proposal	65
Lampiran 3. Daftar Hadir Seminar Proposal Skripsi	66
Lampiran 4. Halaman Persetujuan Proposal	67
Lampiran 5. Spesifikasi Bus Listrik PT MAB	68
Lampiran 6. Sertifikat <i>Autodesk Inventor</i>	69
Lampiran 7. Sertifikat Selesai Magang di PT MAB	70
Lampiran 8. Gambar 2D bodi tampak atas	71
Lampiran 9. Gambar 2D bodi tampak samping	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Industri otomotif kini mulai mengarah pada kendaraan listrik yang ramah lingkungan. Kendaraan listrik merupakan kendaraan yang menggunakan motor listrik sebagai penggerak utama dimana baterai sebagai penyimpan energi utamanya.

Indonesia tercatat memiliki rata-rata 55 mikrogram per meter kubik CO_2 , kondisi ini dapat membahayakan kesehatan manusia (Utama, *et al*, 2013: 346). Berkembangnya kendaraan listrik membuat industri otomotif semakin mengembangkan kendaraan listrik khususnya bus listrik. Dalam membuat kendaraan listrik khususnya bus listrik masih banyak menemui berbagai permasalahan baru yang jarang ditemui pada industri bus konvensional khususnya pada bagian rangka bodi yang terdapat berbagai macam efisiensi penempatan pilar penyangga rangka bodi atau dudukan dari berbagai komponen.

Rangka merupakan bagian yang penting karena berfungsi sebagai tempat tumpuan bodi dan beban dari komponen lain pada kendaraan (Roby, *et al*, 2014: 66). Perbedaan komponen rangka bodi sangat berpengaruh pada berat bus keseluruhan semakin ringan pilar yang digunakan maka semakin baik, meskipun demikian dalam pemilihan rangka juga harus memperhatikan faktor kekuatan pilar sebagai penyangga bodi bus.

Persaingan di dunia industri yang ketat saat ini mendorong perlunya efisiensi dan inovasi dengan proses produksi yang tidak mengabaikan kualitas produk yang di hasilkan (Saputa, 2012: 41). Bodi yang digunakan masih belum

optimal jika dibandingkan dengan berat bus keseluruhan sehingga perlu dilakukan desain ulang dan efisiensi penempatan pilar sebagai penyangga utama bodi bus listrik. Konstruksi bodi bus listrik apabila menggunakan pilar seperti yang digunakan pada bus konvensional maka efisiensi berat tidak bisa dilakukan dengan demikian perlu dilakukan *redesign* sebagai langkah utama memperbaiki tingkat efisiensi bodi pada bus listrik.

Maka dari itu perlu dilakukan desain ulang dan analisis perhitungan yang tepat untuk mendesain bodi bus yang optimal sesuai kebutuhan. Untuk pemilihan rangka yang baik perlu dipertimbangkan sifat sifatnya antara lain yaitu kekuatan, ketangguhan serta fleksibel (Hendrawan, *et al*, 2018: 97). Pengoptimalan juga bisa dilakukan pada bentuk pilar, penempatan pilar dan jenis material yang digunakan sebagai pilar bodi bus. Dengan pengoptimalan tersebut memungkinkan untuk mendesain ulang bodi kendaraan bus listrik dengan berat dan kinerja yang optimal pada tahap perancangan bodi bus listrik.

Analisis *finite element method* (FEM) dapat digunakan untuk menentukan frekuensi alami dan bentuk mode (Rajappan dan Vivekanandhan, 2013: 64). Dalam metode ini juga diharapkan dapat menentukan material yang tepat digunakan dalam merancang konstruksi bodi bus listrik, sehingga diharapkan akan didapatkan konstruksi bodi bus yang kuat dalam menahan berat dan faktor keamanan pada rangka bodi bus listrik. Konsep dasar metode elemen hingga adalah proses diskritisasi atau pembagian suatu kontinum menjadi beberapa bagian yang lebih kecil, bagian – bagian kecil ini disebut elemen hingga (Sugiarto, 2014: 19).

Sedangkan untuk membantu proses penyelesaian desain, simulasi dan analisis menggunakan bantuan *software Inventor*

1.2 Identifikasi Masalah

Dari latar belakang masalah dapat diidentifikasi permasalahan yang terjadi ialah :

1. Rangka bodi bus yang optimal dapat mempengaruhi total berat keseluruhan bus listrik
2. Kurang optimalnya desain rangka bodi bus berakibat pada tingkat keamanan terhadap bus listrik.
3. Perhitungan dan analisis digunakan sebagai indikator uji coba sebelum dilakukan perancangan secara aktual agar tingkat keamanan dapat dipenuhi.
4. Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 96, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5025);

1.3 Batasan Masalah.

Karena luasnya permasalahan pada analisis desain, maka dibatasi pada :

1. Penelitian dilakukan pada rangka bodi bus listrik PT MAB yang telah di desain ulang
2. Data spesifikasi diperoleh dari studi *literature* dan studi kasus.
3. Analisis pembebanan diasumsikan pada rangka atas pada bus listrik.
4. Struktur komponen yang dianalisis adalah pilar pada rangka bodi bus listrik

5. Pemodelan 3D dan analisis yang dilakukan berupa analisis statis dengan bantuan *software INVENTOR*.
6. Material yang digunakan berdasarkan acuan standart *ASME*
7. Tidak menghitung biaya produksi.
8. Gaya dari luar seperti aerodinamis diabaikan.
9. Hanya meneliti komponen Aluminium 6061 sebagai bahan pembuat rangka bodi
10. Mengabaikan struktur penyusun *roof* atap karena hanya meneliti tentang bodi bus listrik.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisis desain rangka bodi aktual sebagai upaya mengoptimisasi desain yang sebelumnya?
2. Bagaimana mendapatkan konstruksi dari rangka bodi bus yang sesuai untuk industri otomotif terkait?
3. Bagaimana membuat desain rangka bodi bus yang aman digunakan di industri bus listrik?

1.5 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini ialah untuk :

1. Mendapatkan konstruksi rancangan bodi bus listrik untuk industri terkait.
2. Mendapatkan rancangan rangka bodi bus listrik yang aman digunakan untuk industri karoseri.

3. Mendapatkan desain rangka bodi yang lebih optimal di gunakan untuk industri bus listrik PT MAB.

1.6 Manfaat

1. Mengetahui optimasi desain ulang rangka bodi yang sesuai standart untuk dipasangkan pada bus listrik.
2. Desain ulang rangka bodi dapat digunakan untuk referensi para mekanik industri bus listrik sebagai acuan dasar pembuatan rangka bodi bus listrik.
3. Mampu memberikan informasi mengenai manfaat rangka bodi

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Rangka merupakan salah satu bagian penting pada mobil yang harus mempunyai konstruksi kuat untuk menahan atau memikul beban kendaraan (Wahyudi dan Fahrudi, 2016: 71). Pada tahun 1920 setiap kendaraan khususnya mobil/bus meniru konstruksi rangka pada motor. Pada awalnya rangka bodi mobil maupun bus menggunakan bahan kayu sebagai pilar namun setelah ditemukannya pengelasan logam kerangka kayu pun digantikan dengan material logam hal ini disebabkan dengan menggunakan material logam konstruksi mobil/bus menjadi lebih kuat dan juga lebih mudah dibentuk sesuai keinginan mekanik.

Semakin berat beban kendaraan maka konsumsi daya listrik yang dibutuhkan akan semakin besar, begitu juga sebaliknya sehingga jika konsumsi daya listrik semakin besar maka jarak tempuh yang didapat akan semakin pendek (Dwinanto dan Burhannudin, 2015: 125). Secara umum bodi kendaraan berasal dari struktur baja *monocoque*. Untuk mengurangi berat bodi mobil secara drastis sampai lebih dari 10 % maka dilakukan perubahan bahan bodi mobil dari baja menjadi bahan yang lebih ringan seperti aluminium maupun komposit.

Aluminium banyak digunakan sebagai peralatan dapur, bahan konstruksi kendaraan dan lain sebagainya. Sifat aluminium yang dikenal kuat dan ringan sangat baik digunakan walaupun konduktivitas listriknya hanya 60% dari tembaga, tetapi aluminium baik digunakan sebagai bahan transmisi karena ringan.

Aluminium murni sangat lunak dan tidak kuat, tetapi dapat dicampurkan dengan logam yang lain seperti tembaga, magnesium, silikon, mangan, dan unsur-unsur lainnya untuk membentuk sifat-sifat yang menguntungkan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Kontruksi Rangka *Monocoque*

Monocoque merupakan satu kesatuan struktur chassis dari bentuk kendaraannya sehingga chassis ini memiliki bentuk yang beragam yang menyesuaikan dengan bodi mobil (Lombogia dan Hardianto, 2016: 2). Sambungan antara bodi dan *chassis* biasanya menggunakan sistem pengelasan, dengan menyatunya antara bodi dan chassis maka bentuk kendaraan menjadi lebih rendah jika dibandingkan dengan tipe rangka *composite*. Dengan begitu rangka *monocoque* menyebabkan kendaraan akan lebih stabil.

Pada rangka *monocoque* kekuatan utamanya terletak pada kontruksi pilar pilar penyangga pada bodi, dimana pada pembahasan ini menggunakan material aluminium. Kelebihan dari penggunaan rangka *monocoque* pada kendaraan yaitu dapat mengurangi beban kendaraan disamping itu juga dapat menghemat penggunaan bahan/material dan mempersingkat proses produksi.

2.2.2 Kontruksi Rangka *Composite*

Merupakan jenis kontruksi bodi kendaraan dan rangkanya terpisah. Keuntungan dari kontruksi bodi dan rangka terpisah yaitu kemudahan dalam penggantian bodi kendaraan yang mengalami kerusakan, terutama bodi bagian

bagian bawah atau putusnya rangka, dengan kata lain rangka *composite* adalah konstruksi bodi dimana bodi dan rangkanya terpisah dengan pertautan menggunakan baut dan mur (truck, bus, pick up) (Herminarto dan Gunadi, 2004:4).

2.2.3 Perancangan

Perancangan adalah penentuan akhir ukuran yang dibutuhkan untuk membentuk struktur atau komponen sebagai suatu keseluruhan dalam menentukan konstruksi sesungguhnya yang dapat dikerjakan. Masalah utama dalam proses perancangan struktur adalah masalah beban yang dapat ditahan oleh struktur tersebut. Oleh karena itu suatu struktur atau komponen harus dirancang sedemikian rupa sehingga mampu menahan tegangan maksimum yang ditimbulkan oleh beban baik dalam bentuk tegangan aksial, lentur maupun geser. Beberapa sifat yang menentukan kualitas bahan struktur antara lain :

- a. Kekuatan (*strength*) adalah kemampuan bahan untuk menahan tegangan tanpa terjadi kerusakan.
- b. Elastisitas (*elasticity*) adalah kemampuan bahan untuk kembali ke ukuran dan bentuk asalnya, setelah gaya luar dilepas. Sifat ini sangat penting pada semua struktur yang mengalami beban berubah-ubah.
- c. Kekakuan (*stiffness*) adalah sifat yang di dasarkan pada sejauh mana bahan mampu menahan perubahan bentuk.
- d. Keuletan (*ductility*) adalah sifat dari bahan yang memungkinkan bisa di bentuk secara permanen melalui perubahan bentuk yang besar tanpa terjadi kerusakan. Sifat ulet sangat diperlukan untuk bahan yang mengalami beban secara tiba – tiba.

2.2.4 Aluminium

Material aluminium pertama kali ditemukan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H.C. Oersted tahun 1825. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya semakin meningkat dengan urutan kedua setelah material besi dan baja di antara logam non ferro. Aluminium biasanya diaplikasikan secara luas baik pada peralatan rumah tangga, komponen otomotif, dan konstruksi bangunan dan lainnya. Produksi material aluminium di dunia pertahun mencapai 15 ton pada tahun 1981 (Surdia dan Saito, 2000:129).

Yasakau K.A. , et al., (2018:425) menyatakan bahwa, “banyaknya penggunaan aluminium dalam kehidupan sehari-hari baik itu dalam rumah tangga maupun industri akan membuat limbah aluminium semakin banyak pula. Karena reaktivitasnya yang tinggi, logam aluminium umumnya tidak ada di kerak bumi. Sifat aluminium telah ditemukan dan berbagai macam aplikasi, dengan kombinasi karakteristiknya yang luar biasa seperti kepadatan rendah, kemudahan pengerjaan yang mudah, ketahanan korosi unggul, dan konduktivitas listrik atau panas yang tinggi. Perlu inovasi baru yang berkelanjutan pada aluminium paduan dengan penambahan unsur lain sehingga diperoleh aluminium paduan yang kuat sekaligus ringan (Budiyono, 2012: 13).

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap sifat mekaniknya yang sangat meningkat dapat di lihat pada referensi yang sudah ada jika di tambahkannya unsur Cu, Mg,

Si, Mn, Zn, Ni. Secara satu persatu atau bersama-sama dan juga memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah (Surdia dan Saito 2000:129).

2.2.5 Kekuatan Bahan

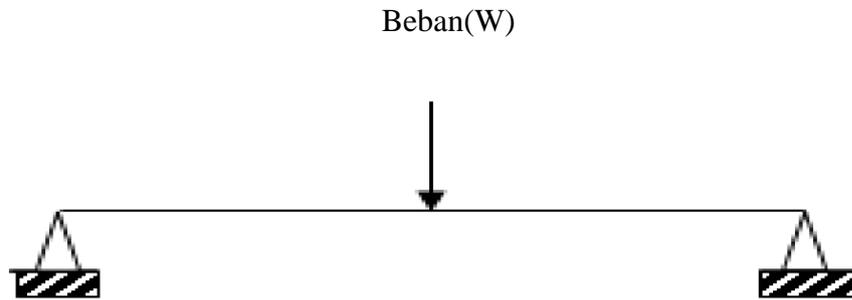
Kekuatan bahan adalah kemampuan material menopang gaya yang ditimbulkan oleh beban. Perhitungan kekuatan bahan adalah hubungan beban, luas, gaya dan tegangan yang bekerja pada struktur beban tersebut. Berdasarkan ilmu perhitungan kekuatan bahan, dimana kekuatan bahan dihitung dari tegangan nominal yang disebabkan oleh beban nominal pada tempat-tempat kritis dari komponen tersebut sehingga dapat ditentukan ukuran-ukuran komponen yang diperlukan pada tempat-tempat kritis tersebut. Sebuah perhitungan kekuatan bahan akan bermanfaat, bila kondisi kerja dan pembebanan yang timbul untuk struktur tersebut mendekati kenyataan sehingga struktur yang digunakan aman terhadap gaya maksimum yang bisa dihasilkan oleh setiap kombinasi beban.

2.2.6 Beban

Beban yang bekerja pada batang dibedakan menjadi 2 macam yaitu:

a. Beban terpusat

Beban terpusat adalah beban yang bekerja pada luasan yang relatif kecil, sehingga untuk memudahkan perhitungan luasan ini dianggap sebagai titik. Beban terpusat pada batang sederhana dapat digambarkan sebagai berikut :

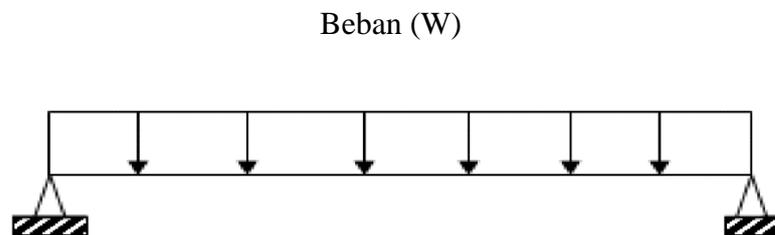


Gambar 2.1 :Beban terpusat pada batang sederhana

([http://: perpus teknik.com](http://perpus.teknik.com))

b. Beban terbagi merata

Beban terbagi merata adalah beban yang terjadi pada bidang luasan yang lebih besar. Beban terbagi merata pada batang sederhana dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.2: Beban merata pada batang sederhana

([http://: perpus teknik.com](http://perpus.teknik.com))

2.2.7 Gaya

Gaya dihasilkan dari beban yang bekerja pada suatu batang atau struktur.

Gaya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F = m \cdot a \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dimana : F = Gaya (Newton)

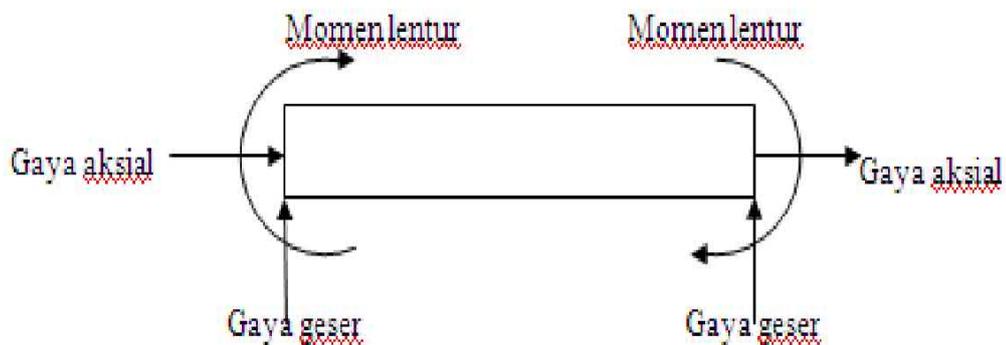
m = Massa (kg)

a = Percepatan grafitasi (m/S^2)

Setiap komponen gaya merefleksikan pengaruh beban terpasang yang berbeda pada struktur dan di berikan nama khusus sebagai berikut :

- a. Gaya Aksial (*Aksial Force*)
- b. Gaya geser (*Shear force*)
- c. Momen lentur (*Bending momen*)

Secara umum gaya dan momen lentur pada batang dapat di gambarkan :



Gambar 2.3 : Gaya yang bekerja pada batang sederhana

([http:// perpus teknik.com](http://perpus teknik.com))

2.2.8 Kekuatan *Bending*

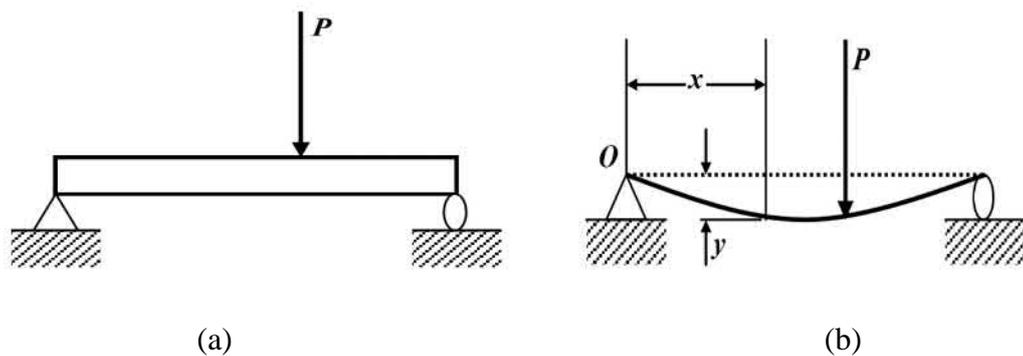
Kekuatan *bending* adalah tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Untuk mengetahui kekuatan *bending* suatu material, dapat dilakukan dengan pengujian *bending* terhadap material tersebut.

Akibat pengujian *bending*, pada bagian atas spesimen akan mengalami tekanan dan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Kegagalan yang terjadi akibat pengujian *bending*, komposit akan mengalami patah pada bagian bawah yang disebabkan karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima.

2.2.9 Defleksi

Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Gambar a memperlihatkan batang pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan b adalah batang dalam konfigurasi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan. Defleksi tersebut adalah lendutan material konstruksi dari posisi awal tanpa pembebanan, diukur dari permukaan netral awal ke permukaan netral setelah material konstruksi mengalami deformasi meskipun nilainya kecil (Fauzi, 2013: 13).

Aplikasi defleksi mempunyai peran penting dalam sebuah konstruksi bodi kendaraan. Dimana konstruksi bodi berfungsi sebagai penahan beban di atasnya yang lumayan besar. Hal ini tentunya membuat terjadinya defleksi pada konstruksi bodi tersebut. Defleksi yang terjadi secara berlebihan tentunya akan mengakibatkan perpatahan pada konstruksi bodi kendaraan hal itu sangat tidak diinginkan dalam pembuatan konstruksi bodi kendaraan



Gambar 2.4 : Defleksi yang terjadi pada batang

(www.slideshare.net)

Jarak perpindahan y didefinisikan sebagai defleksi batang. Selain faktor tegangan, spesifikasi yang digunakan dalam konstruksi bodi kendaraan sering

ditentukan oleh adanya defleksi. Dengan begitu konstruksi bodi kendaraan yang dirancang tidak hanya dapat menahan beban maksimum, namun juga mampu mengatasi terjadinya defleksi sampai batas aman yang ditentukan.

2.2.10 Teori *Elastisitas*

Teori *elastisitas* adalah kemampuan (*ability*) dari benda padat untuk kembali ke bentuk semula segera setelah gaya luar yang bekerja pada benda tersebut menghilang. Deformasi (perubahan bentuk) pada benda padat elastis mengikuti aturan yang dikemukakan *Robert Hooke* yang dikenal dengan *hukum hooke*. Hukum hooke : “Perubahan bentuk benda elastis akan sebanding dengan gaya yang bekerja padanya sampai batas tertentu (batas *elastisitas*). Jika gaya yang diberikan ditambah hingga melebihi batas *elastisitas* benda maka benda mengalami deformasi(perubahan bentuk) permanen” Sebuah benda yang kembali sepenuhnya kepada bentuk semula dinamakan elastis sempurna, apabila tidak sepenuhnya kembali kepada bentuk semula di namakan *elastis* sebagian (Sousia, 2011: 10).

2.2.11 Tegangan

Tegangan dapat didefinisikan sebagai besaran gaya yang bekerja pada satuan luas benda rumus tegangan dapat dituliskan (Arif, 2014:1):

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana: σ =Tegangan atau gaya persatuan luas (N/m^2)

P=Baban (Newton)

A=Luas penampang(m^2)

Dalam menentukan bahan perancangan suatu perancangan suatu struktur atau komponen maka hal yang paling utama yang harus ditentukan yaitu tegangan yang mampu ditopang pada struktur tersebut. Tegangan yang harus di tentukan pada material sebelum perancangan adalah :

- a. Tegangan batas didefinisikan sebagai beban yang mampu di tahan suatu material tanpa menimbulkan kerusakan.
- b. Tegangan ijin adalah batas aman yang dianjurkan pada perancangan. Pada perancangan struktur (komponen) umumnya menentukan tegangan ijin terlebih dahulu.

Secara umum tegangan di bagi menjadi dua jenis yaitu :

1. Tegangan normal

Tegangan normal adalah tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan yang mengalami tegangan. Tegangan normal dapat berupa tegangan tarik maupun tegangan tekan

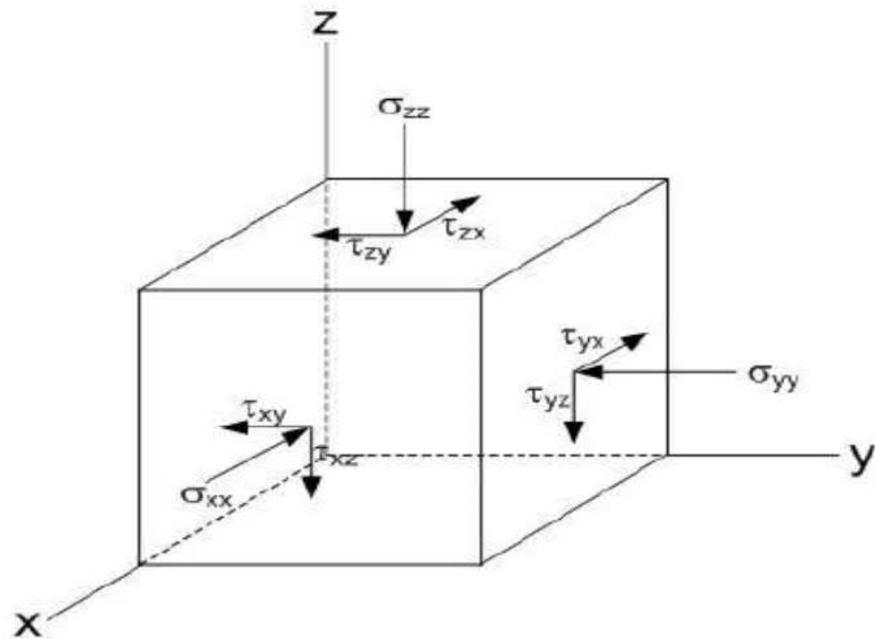
2. Tegangan geser

Tegangan geser dapat di definisikan sebagai tegangan yang bekerja sejajar terhadap permukaan yang mengalami tegangan.

Komponen tegangan (*stress*) bernilai positif apabila koordinat positif searah atau sebaliknya. Tegangan bekerja pada batang yang terdiri dari enam komponen diantaranya :

$$\{\sigma\}^T = \{ \sigma_{xx} \ \sigma_{yy} \ \sigma_{zz} \ \sigma_{xy} \ \sigma_{xz} \ \sigma_{yz} \ }$$

Keenam komponen tegangan ini dapat digambarkan seperti di bawah ini:



Gambar 2.5 : Enam komponen tegangan

(<https://sainsmini.blogspot.com>)

2.2.12 Regangan

Regangan digunakan untuk mempelajari besarnya deformasi yang terjadi pada suatu benda. Regangan dapat diperoleh dengan melakukan pembagian perpanjangan (δ) dengan panjang (L) yang telah diukur, maka dengan begitu diperoleh (Arif, 2014: 4):

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana : ε = regangan

δ = perubahan bentuk aksial total (mm)

L = panjang batang (mm)

2.2.13 Teori Umum FEM (*Finite Element method*)

Finite element method atau metode elemen hingga pertama kali diperkenalkan pada tahun 1950. Semenjak saat itu metode elemen hingga sampai sekarang terus dikembangkan. Saat ini metode elemen hingga merupakan alat canggih yang dapat digunakan sebagai penyelesaian berbagai persoalan teknik dan dipakai secara luas juga diterima oleh bidang industri.

Perkembangan metode elemen hingga antara lain dapat diaplikasikan dalam pembuatan industri kendaraan khususnya bus. Tahapan analisis dan evaluasi secara menyeluruh dapat dilakukan sebelum produksi kendaraan dilakukan secara aktual. Metode elemen hingga dapat digunakan untuk menganalisis kekuatan komponen komponen bus secara menyeluruh, sifat ketahanan tumbukan termasuk juga tegangan yang timbul pada bodi mobil. Metode ini dilakukan dengan menganalisa suatu benda kerja yang dibagi dalam bagian-bagian kecil untuk di analisis. pembagian dimaksudkan agar dapat membuat rekaan dari keseluruhan bagian (Hutton, 2004: 1).

FEM adalah suatu metode analisa dengan cara membagi sistem yang dianalisa menjadi elemen elemen yang lebih kecil dengan bentuk yang sederhana, elemen elemen tersebut terdiri dari beberapa nodal (Yulinto dan Winarso, 2012: 4). Karakteristik *FEM* yang membedakan dengan prosedur numerik yang lain adalah:

- a. *FEM* menggunakan penyelesain integral untuk menghasilkan sistem persamaan aljabar.
- b. *FEM* menggunakan fungsi-fungsi kontiyu untuk mendeteksi kuantitas atau kualitas yang belum diketahui.

Secara umum *FEM* dapat dioprasikan dengan lima langkah dasar yaitu:

1. Mendiskritisikan daerah-daerah yang meliputi penempatan titik-titik nodal, penomeran titik-titik nodal dan penentuan koordinatnya.
2. Menentukan derajat atau orde persamaan pendekatan linier atau kuadratik.persamaan juga harus dinyatakan sebagai fungsi nodal.
3. Menyusun sistem-sistem persamaan.
4. Menyelesaikan sistem persamaan-persamaan.
5. Menghitung kuantitas yang dicari. Kuantitas dapat merupakan komponen tegangan dan lain sebagainya.

Persamaan dalam FEM biasanya berbentuk :

$$[k] \{u\} = \{F\} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana : $[k]$ = Matrik kekakuan (N/m)

$\{u\}$ = Vektor kolom dengan komponen matrik berupa nilai nodal (m)

$\{F\}$ = Gaya yang bekerja pada nodal (N)

2.2.14 *Software inventor*

Software Inventor adalah produk dari *Autodesk Corporation* yang banyak digunakan dalam hal *engineering design* juga *drawing design*. Kelebihan *inventor* bila dibandingkan dengan *software* yang lain yaitu mempunyai tampilan yang menarik dan riil, dikarenakan material yang disediakan lebih banyak dan kompleks. *Software inventor* merupakan *software* yang sangat baik digunakan untuk menganalisis struktural material, *thermal* juga aliran. *Software* ini mampu menyatu dengan aplikasi *CAD* sehingga dalam pembuatan permodelan desain bisa

menggunakan aplikasi yang sejenis dengan CAD antara lain AutoCAD atau Solidwork. Hasil analisis berupa pendekatan dengan menggunakan analisis numerik dan ketelitiannya bergantung pada cara memecah model (Asroni, 2015:23)

Beberapa kelebihan *software inventor* di antaranya:

1. Memiliki kemampuan parametrik *solid modeling*, yaitu kemampuan untuk melakukan desain serta pengeditan dalam bentuk solid model dengan data yang telah tersimpan dalam database. Dengan kemampuan tersebut *designer/engineer* dapat di revisi atau memodifikasi *design* yang ada tanpa harus mendesain ulang sebagian atau secara keseluruhan.
2. Memiliki kemampuan *animation*, yaitu kemampuan untuk menganimasikan suatu file *assembly* mengenai jalannya suatu alat yang telah di *assembly* dan dapat disimpan dalam file *avi*.
3. Memiliki kemampuan *automatic create technical 2D drawing* serta *bill of material* dan tampilan *shading* serta *rendering* pada *layout*.
4. Di lengkapi dengan perhitungan analisa tegangan (*stress analysis*) yang modul perhitungannya di dukung dengan teknologi dari *software* terbaru.
5. *Adaptive* yaitu kemampuan untuk menganalisis gesekan dari animasi suatu alat serta dapat menyesuaikan dengan sendirinya.
6. Material atau bahan yang memberikan tampilan suatu part tampak lebih nyata.
7. Kapasitas file lebih kecil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil rancangan menggunakan standar ASME (*American Society of Mechanical Engineering*) yang selanjutnya dilakukan pemodelan gambar 3D dan 2D serta analisis *statis* dengan metode elemen hingga menggunakan *software Autodesk inventor 2019* didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. *Redesign body prototype 3* mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- a) Tekanan yang di berikan ke bagian roof : 21000 N
- b) Massa *redesign body* : 509,947 kg
- c) Dimensi *re design* :
 - 1) Panjang keseluruhan bodi : 10487 mm
 - 2) Lebar keseluruhan bodi : 2463 mm
 - 3) Tinggi keseluruhan bodi : 2560 mm
 - 4) *Tube* pilar : 120 mm x 60mm x 4mm, 100mm x 60mm x 40mm, 80mm x 40mm x 4mm, 60mm x 40mm x 4mm

2. Hasil analisis *body prptotype 3*:

Analisis *statis Redesign body prototype 3* menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software Autodesk inventor 2019* didapatkan hasil sebagai berikut

:

- 1) Tegangan *von mises* maksimal : 222,620 MPa

- 2) Nilai *Safety factor* : 1,243
- 3) *Displacement* maksimal : 328 mm
- 4) *1st principle stress* maksimal : 173,042 MPa
- 5) *Shear stress* maksimal : 113,203 MPa

Dari angka *safety factor* 1,243 dapat disimpulkan bahwa *redesign* rangka bodi *prototype 3* aman untuk digunakan karena nilai tegangan luluh material lebih besar dibanding tegangan *von misses*.

3. Desain optimasi :

Perbandingan besaran massa berdasarkan perhitungan dengan *software Autodesk inventor 2019 (i-property)* didapatkan hasil bahwasannya rancangan *redesign rangka bodi prototype 3* memiliki kualitas yang lebih baik dengan berat yang optimal.

Redesign rangka bodi prototype 3 juga merupakan *design* yang aman digunakan dalam produksi bus listrik selanjutnya, sehingga dalam produksi dapat mengurangi beban kendaraan bus listrik yang dikira cukup berat.

5.2 Saran

1. Dalam *redesign* rangka bodi bus listrik ini tidak memperhatikan faktor ekonomi dalam membuat rancangan desain, sehingga tidak diketahui berapa besaran biaya yang harus dikeluarkan untuk proses pembuatan rangka bodi bus listrik ini. Di harapkan agar lebih diperhatikan faktor ekonominya untuk perancangan berikutnya.
2. Perancang hanya melakukan analisis statis pada bagian *roof* sehingga hanya diketahui kekuatan dari konstruksi. Untuk ke depannya diharapkan dapat dilakukan analisis yang lebih kompleks pada rangka bodi bus listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, Z. (2014). *MEKANIKA KEKUATAN MATERIAL*. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Samudra Langsa.
- Asroni. 2015. Stress Analysis pada Stand Shock Absorbers Sepeda Motor dengan Menggunakan Software Inventor 2015. *Turbo* 4(1):23-27.
- Budiono, A. 2012. Peningkatan Sifat Mekanis Aluminium Bekas Yang Didaur Ulang Melalui Inokulasi Unsur Tembaga. *Saintekno* 10(1): 12-17.
- Dwinanto. A. Y dan Burhannudin, F.M. 2015. ANALISIS KARAKTERISTIK BODI DAN CHASSIS PADA PROTOTYPE KENDARAAN LISTRIK. *Jurnal Rekayasa Mesin* 6(2): 119-126
- Fauzi, H. (2013). *ANALISIS TEGANGAN PADA FRAME MOBIL LISTRIK SINOSI MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA* .Skripsi: FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS JEMBER .
- Hendrawan. M. A., P. I. Purboputro., M. A. Saputro dan W.. 2018. Perancangan Chassis Mobil Listrik “Ababil” dan Simulasi Pembebanan Statik Dengan Menggunakan Solidwork Premium 2016. *The 7 University Research Colloquium 2018*.STIKES PKU Muhammadiyah Surakarta. 96-105.
- Herminarto dan Gunandi.2004. *Perkembangan Bodi Kendaraan*.Modul KBK. OTO 328-01
- Hutton, D. V. 2004. *Fundamentals of Finite Element Analysis*. New York: McGraw-Hill.
- Lambogia. T. I.P dan Hardianto S.I. 2016. PERANCANGAN ALAT PERAGA LIFT SUSPENSION PADA CHASSIS MONOCOQUE. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Kristen Petra*: 1-5
- Rajjapan. R dan Vivekanandhan. M. 2013. Static and Modal Analysis Of Chassis By Using Fea. *The International Journal Of Engineering And Socience*2(2): 63-73
- Roby., D.W. Utama, dan Eddy.2014. N OPTIMASI MASSA RANGKA KENDARAAN ELEKTRIK PENGANGKUT SAMPAH DENGAN SIMULASI METODE ELEMEN HINGGA. *Jurnal poros* 12(1): 66-73.
- Saputra. H. 2012. *Study Perancangan Struktur Rangka Bus Menggunakan CAD/CAE*. *Jurnal Teknologi* 5(1): 40-47.

- Souisa, M. (2011). Analisa Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Bahan dengan Uji Tarik. *Barekeng* 5(2), 9-14
- Sugiarto. D. 2014. STUDI TENTANG FENOMENA COLLAPSE DAN BUCKLING PADA RANGKA BODI MOBIL. *Rotasi Jurnal Teknik Mesin* 15(4): 17-27
- Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Kuantitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Surdia. T dan S. Saito. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Utama. D. Widya .,W.D, Chandra dan R.Danardono A.S. 2013. OPTIMASI BENTUK RANGKA DENGAN MENGGUNAKAN PRESTRESS PADA PROTOTIPE KENDARAAN LISTRIK. *Riset Multidisiplin Untuk Menunjang Pengembangan Industri Nasional*. Universitas Tarumanegara. Jakarta. 346-353.
- Wahyudi. N dan Y. A. Fahrudi. 2016. Studi Eksperimen Rancang Bangun Rangka Jenis *Ladder Frame* pada Kendaraan Sport. *Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE)* 1(1):71-75.
- Yasakau. K.A., M.L. Zheludkevich., dan M.G.S. Feriera. 2018. Role Of Intermetallics In Corrosion Of Aluminium Alloy. *Smart Corrosion Protection*: 425-462.
- Yulianto. N dan R.Winarso. 2012. ANALISA TEGANGAN PADA RANGKA PROTOTYPE KENDARAAN BUGE MENGGUNAKAN ELEMEN HINGGA. *Simetris* 2(1):1-9