

SKRIPSI
OPTIMASI MASSA RANGKA MOBIL URBAN
DENGAN SIMULASI METODE ELEMEN HINGGA



OLEH:
DEVY DWIHANDA
02111003028

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWILAYA
2018

5
629.220 7
Dev
.0
2018

502545

2

SKRIPSI
OPTIMASI MASSA RANGKA MOBIL URBAN
DENGAN SIMULASI METODE ELEMEN HINGGA

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya



OLEH:
DEVRY DWINANDA
03121003028

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2018

HALAMAN PENGESAHAN

OPTIMASI MASSA RANGKA MOBIL URBAN DENGAN SIMULASI METODE ELEMEN HINGGA

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

DEVRY DWINANDA
03121005028

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001

Indralaya, Februari 2018
Diperiksa dan disetujui oleh,
Pembimbing Skripsi,

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001

HALAMAN PERSETUJUAN

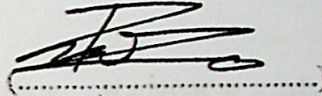
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul "Optimasi Massa Rangka Mobil Urban dengan Simulasi Metode Elemen Hingga" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 21 Februari 2018.

Indralaya, 21 Februari 2018

Tim penguji karya tulis ilmiah berupa Skripsi

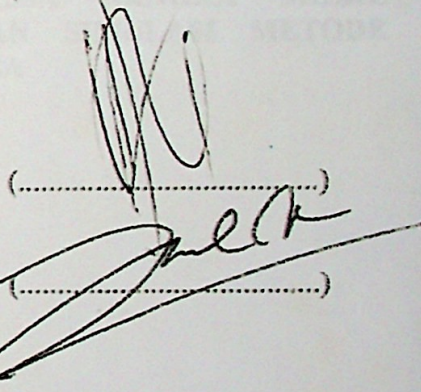
Ketua :

1. Ir. H. Fusito, M.T
NIP. 19570910 199102 1 001

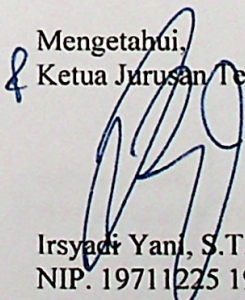


Anggota :

1. Ir. Firmansyah Burlian, M.T.
NIP. 19561227 198811 1 001
2. H. Ismail Thamrin, S.T, M.T
NIP. 19720902 199702 1 001

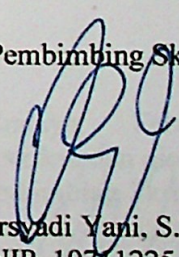


Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyad Yani, S.T., M.Eng, Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001

Pembimbing Skripsi,



Irsyad Yani, S.T., M.Eng, Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No.
Diterima Tanggal
Paraf

: 014/TM/AK/2018
: 6/4 - 2018
:

SKRIPSI

NAMA : DEVRY DWINANDA
NIM : 03121005028
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL : OPTIMASI MASSA RANGKA MOBIL
URBAN DENGAN SIMULASI METODE
ELEMEN HINGGA
DIBERIKAN : 21 Februari 2017
SELESAI : 21 Februari 2018

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001

Indralaya, Februari 2018
Diperiksa dan disetujui oleh,
Pembimbing Skripsi

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Devry Dwinanda

NIM : 03121005028

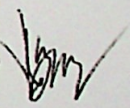
Judul : Optimasi Massa Rangka Mobil Urban dengan Simulasi Metode Elemen Hingga

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Indralaya, Februari 2018


Devry Dwinanda
NIM. 03121005028

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Devry Dwinanda

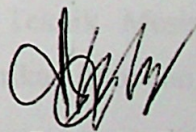
NIM : 03121005028

Judul : Optimasi Massa Rangka Mobil Urban dengan Simulasi Metode
Elemen Hingga

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (Corresponding author)

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Inderalaya, Februari 2018



Devry Dwinanda
NIM. 03121005028

KATA PENGANTAR

Pertama, penulis mengucapkan syukur dan berterimakasih kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan segala rahmat, karunia, dan anugerah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, adapun pihak tersebut:

1. Keluarga penulis, Ayahandaku Suhairi, Ibundaku Dedek Yulia, dan Adindaku Aditria Hernandes dan Alfredo Vicausar yang senantiasa selalu memberikan dukungan moral dan materi serta doanya yang tulus membimbing, mengarahkan, mendidik, dan memotivasi dari awal hingga selesai skripsi ini.
2. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang dengan ikhlas dan tulus telah membimbing, mengarahkan, mendidik, memotivasi serta banyak memberikan saran kepada penulis dari awal hingga selesainya skripsi ini
3. Bapak Irsyadi Yani, ST, M.Eng, P.hD selaku Ketua Jurusan dan Bapak Amir Arifin, S.T. M.Eng, selaku Sekretaris Jurusan di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Seluruh Dosen Pengajar di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu dan pengarahan selama proses perkuliahan.
5. Seluruh Staf Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya terkhusus Staf Laboratorium Fenomena Dasar yang telah banyak membantu dalam proses pengambilan data skripsi ini.
6. Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah banyak membantu dalam proses administrasi.
7. Seluruh Keluarga besar Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya terutama teman-teman seperjuangan Angkatan 2012.

8. Semua pihak yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Dalam penulisan skripsi ini, mungkin terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran serta masukan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk membantu dalam perbaikan. Penulis mengharapkan semoga skripsi dengan judul “Optimasi Massa Rangka Mobil Urban dengan Simulasi Metode Elemen Hingga” dapat berguna dan memberikan manfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi serta menjadi referensi bagi yang akan mengkaji dimasa yang akan datang.

Indralaya, 21 Februari 2018

Penulis

RINGKASAN

OPTIMASI MASSA RANGKA MOBIL URBAN DENGAN SIMULASI METODE ELEMEN HINGGA

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 21 Februari 2018

Devry Dwinanda; Dibimbing oleh Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D

Mass Optimization of Urban Car Chassis with Finite Element Method Simulation

xxv + 36 halaman, 29 gambar, 2 tabel, 2 lampiran

RINGKASAN

Rangka merupakan salah satu bagian paling penting pada suatu kendaraan dimana tempat menopangnya seluruh bagian pada kendaraan seperti penumpang dan mesin kendaraan itu sendiri. Rangka yang diinginkan adalah memiliki kekuatan yang baik dan massa yang ringan. Agar mendapatkan kekuatan dan massa yang baik, maka dapat dilakukan proses optimasi pada desain rangka tersebut dan melakukan simulasi tegangan statik berbasis metode elemen hingga pada desain rangka kendaraan, sehingga mendapatkan nilai batas tegangan maksimum, defleksi, faktor keamanan, dan massa. Faktor keamanan yang diambil pada penelitian ini adalah 4, agar tidak terjadi kegagalan pada saat pemakaian pada desain rangka tersebut. Dengan membandingkan nilai yang dihasilkan dari simulasi, maka akan didapatkan massa rangka yang paling efisien, dimana pada penelitian ini dilakukan pada rangka mobil urban. Mobil urban ini pada desain awalnya memiliki profil batang persegi panjang berturut-turut panjang x lebar x tebal sebesar 100mm x 25mm x 1mm. Dengan nilai profil batang tersebut maka dilakukan proses optimasi sebanyak tiga kali dengan pengurangan panjang pada profil batang menjadi 85mm, 70mm, dan 55mm. Dari hasil simulasi tegangan statik pada desain rangka awal dan yang telah dioptimasi, desain awal memiliki batas tegangan maksimum, defleksi, faktor keamanan, dan massa berturut-turut sebesar 25,68MPa, 0,45mm, 5,6, dan 7,52kg. Optimasi 1 didapatkan hasil yaitu, 21,74MPa, 0,59mm, 6,6, dan 6,94kg. Optimasi 2 didapatkan hasil yaitu, 26,92MPa, 0,86mm, 5,3, dan 6,36kg. Optimasi 3 didapatkan hasil yaitu, 36,55MPa, 1,34mm, 3,96, dan 5,77kg. Dari hasil simulasi ini, maka dapat disimpulkan bahwa desain profil batang pada rangka mobil urban yang paling efisien adalah pada optimasi 1, karena memiliki massa yang lebih ringan dan faktor keamanan yang besar.

Kata Kunci: Rangka, Optimasi, Massa, Faktor Keamanan, Efisien.

SUMMARY

MASS OPTIMIZATION OF URBAN CAR CHASSIS WITH FINETE ELEMENT METHOD SIMULATION

Scientific paper such as essay, February 21st, 2018

Devry Dwinanda; Supervised by Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D

Optimasi Massa Rangka Mobil Urban dengan Simulasi Metode Elemen Hingga

xxv + 36 pages, 29 images, 2 tables, 2 attachment

SUMMARY

Chassis is one of the most important parts of a vehicle where it supports all parts of the vehicle such as passengers and the vehicle's engine itself. The desired chassis is to have good strength and light mass. In order to obtain good strength and mass, optimization can be done on the chassis design and perform static-stress simulation based on finite element method on vehicle chassis design, thus obtaining von mises, deflection, factor of safety, and mass. The safety factor taken in this study is 4, in order to avoid failure in the use of the chassis design. By comparing the values generated from the simulation, the most efficient skeletal mass will be obtained, which in this study is done on the chassis of urban car. This urban car on its original design has a rectangular hollow section with lenght x width x thick are 100mm x 25mm x 1mm. With the value of the stem profile, the optimization process is done three times with the reduction of the length on the profile of the trunk to be 85mm, 70mm, and 55mm. From the static stress simulation results on the initial and optimized chassis design, the initial design has a von mises, deflection, factor of safety, and mass are 25.68MPa, 0.45mm, 5.6, and 7.52kg. First optimization got the result that is, 21,74MPa, 0,59mm, 6,6, and 6,94kg. Second optimization obtained results that is, 26.92MPa, 0.86mm, 5.3, and 6.36kg. Third optimization got result that is, 36,55MPa, 1,34mm, 3,96, and 5,77kg. From the results of this simulation, it can be concluded that the design of the stem profile in urban car chassis, most efficient chassis is on first optimization, because it has a lighter mass and the best safety factor.

Keywords: Chassis, Optimization, Mass, Safety Factor, Efficient.

DAFTAR ISI

UPT PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS SRIWIJAYA	
NO. DAFTAR	181737
TANGGAL	14 MAY 2018

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	v
HALAMAN AGENDA.....	vii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	ix
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
RINGKASAN.....	xv
SUMMARY.....	xvii
DAFTAR ISI.....	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sumber Data/ Metodologi.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Mobil Urban.....	5
2.2 Chassis.....	5
2.3 Bahan Chassis.....	7
2.4 Faktor Keamanan.....	7
2.5 Metode Elemen Hingga (MEH)	8
2.6 Optimasi.....	10

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	11
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	11
3.2 Gambar dan Dimensi Mobil Urban.....	13
3.3 Struktur dan Beban pada Chassis.....	14
3.4 Hasil yang Diharapkan.....	15
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1 Hasil Simulasi.....	17
4.1.1 Desain Chassis Awal.....	17
4.1.2 Desain Optimasi Rangka 1.....	20
4.1.3 Desain Optimasi Rangka 2.....	23
4.1.4 Desain Optimasi Rangka 3.....	26
4.2 Tabel dan Grafik Hasil Simulasi Tegangan pada Chassis.....	29
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	31
5.1 Kesimpulan.....	31
5.2 Saran.....	31
DAFTAR PUSTAKA.....	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pemodelan beban pada batang (Gross, 2011).....	6
Gambar 2.2. Suatu kontinum dan elemen hingga pada suatu materi.....	9
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	11
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian.....	12
Gambar 3.3. Dimensi <i>Chassis</i> dan Jarak Antar <i>Beam</i> Mobil Urban 1.....	13
Gambar 3.4. Dimensi <i>Chassis</i> dan Jarak Antar <i>Beam</i> Mobil Urban 2.....	13
Gambar 3.5. Profil Rangka Utama Desain Awal.....	14
Gambar 3.6. Pemberian Beban dan Fiksasi pada <i>Chassis</i> Utama.....	15
Gambar 4.1. Von Mises Tegangan pada Simulasi Tegangan Desain <i>Chassis</i> Awal.....	17
Gambar 4.2. Letak Von Mises Tegangan pada Simulasi Tegangan Desain <i>Chassis</i> Awal.....	18
Gambar 4.3. Defleksi pada Simulasi Tegangan Desain <i>Chassis</i> Awal.....	18
Gambar 4.4. Letak Defleksi pada Simulasi Tegangan Desain <i>Chassis</i> Awal...19	
Gambar 4.5. Factor Of Safety pada Simulasi Tegangan Desain <i>Chassis</i> Awal.....	19
Gambar 4.6. Letak Perubahan Profil Batang.....	20
Gambar 4.7. Von Mises Tegangan pada Simulasi Tegangan Desain Optimasi Profil Rangka 1.....	21
Gambar 4.8. Letak Von Mises Tegangan pada Simulasi Tegangan Desain Optimasi Profil Rangka 1.....	21
Gambar 4.9. Defleksi Maksimum pada Simulasi Tegangan Desain Optimasi Profil Rangka 1.....	22
Gambar 4.10. Letak Defleksi Maksimum pada Simulasi Tegangan Desain Optimasi Profil Rangka 1.....	22
Gambar 4.11. Factor Of Safety Optimasi Profil Rangka 1.....	23

Gambar 4.12. Von Mises Tegangan ada Simulasi Tegangan Desain Optimasi Profil Rangka 2.....	24
Gambar 4.13. Letak Von Mises Tegangan Pada Simulasi Tegangan Desain Optimasi Profil Rangka 2.....	24
Gambar 4.14. Defleksi Maksimum pada Simulasi Tegangan Desain Optimasi Profil Rangka 2.....	25
Gambar 4.15. Letak Defleksi Maksimum pada Simulasi Tegangan Desain Optimasi Profil Rangka 2.....	25
Gambar 4.16. Factor Of Safety pada Simulasi Tegangan Optimasi Profil Rangka 2.....	26
Gambar 4.17. Von Mises Tegangan pada Simulasi Tegangan Desain Optimasi Profil Rangka 3.....	27
Gambar 4.18. Letak Von Mises Tegangan yang Terjadi pada Simulasi Tegangan Desain Optimasi Profil Rangka 3.....	27
Gambar 4.19. Defleksi yang terjadi pada Simulasi Tegangan Desain Optimasi Rangka 3.....	28
Gambar 4.20. Letak Defleksi paa Simulasi Tegangan Desain Optimasi Profil Rangka 3.....	28
Gambar 4.21. Grafik Hasil Simulasi.....	29

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Profil Material Aluminium 6063 T5 (<i>Solid Works</i> , 2018).....	7
Tabel 4.1. Hasil Simulasi Tegangan Statis pada Desain Chassis Mobil Urban.....	29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.1	Tampak Samping Desain Awal Chassis Utama Mobil Urban.....	35
Lampiran A.2	Tampak Atas Desain Awal Chassis Utama Mobil Urban.....	36

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kendaraan merupakan suatu bukti bahwa perkembangan zaman yang sangat baik. Setiap kelompok berlomba-lomba membuat inovasi terhadap kendaraan. Seperti halnya dengan pembuatan mobil urban. Dikatakan mobil urban adalah suatu kendaraan yang di desain irit bahan bakar, hanya saja mobil ini masih berkapasitas satu orang, sehingga ukurannya lebih kecil dan masih dibuat secara khusus untuk mengikuti suatu kompetisi di dalam negeri.

Dalam membuat suatu mobil urban, tentunya ada bagian yang paling penting yaitu chassis. Chassis merupakan tempat menopangnya berbagai kebutuhan untuk pengoperasian kendaraan seperti bodi, sistem kemudi, komponen mesin, pengendara pada kendaraan itu sendiri, dan segala hal untuk kenyamanan pengendara. Chassis yang diharapkan adalah memiliki massa yang ringan dengan kekuatan yang baik. Untuk mencapai harapan tersebut, maka dapat dilakukan suatu modifikasi pada desain awal chassis dengan mengoptimasinya.

Optimasi salah satu cara untuk mendapatkan massa chassis yang lebih ringan. Dengan membandingkan tegangan maksimum, faktor keamanan dan deformasi yang terjadi akibat beban statis yang diterima pada desain chassis awal dan desain yang telah di modifikasi profil rangkanya agar mendapatkan hasil yang efisien dalam artian massa yang lebih ringan. Optimasi massa rangka dan analisa beban statis dilakukan dengan bantuan *software* simulasi berbasis metode elemen hingga agar lebih rinci terlihat posisi tegangan dan deformasi maksimum pada chassis kendaraan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Analisa kekuatan konstruksi rangka mobil urban berdasarkan beban statik baik rangka awal maupun yang telah di modifikasi profil rangkanya,
2. Analisa kekuatan profil rangka terbaik setelah di modifikasi, sehingga mendapatkan massa rangka yang efisien.

1.3 Batasan Masalah

Agar tidak terjadi pelebaran permasalahan, maka batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Struktur rangka yang di analisis adalah struktur rangka utama atau bagian bawah pada chassis mobil urban,
2. Kemampuan angkut chassis mobil urban diambil 100 kg dengan uraian 70 kg berat penumpang dan 30 kg berat mesin,
3. Beban statis yang diterima chassis pada simulasi adalah pengemudi dan mesin untuk menjalankan mobil urban tersebut,
4. Optimasi atau pengurangan profil rangka dan analisa beban statis dilakukan hanya pada chassis bagian bawah mobil urban,
5. Pembuatan gambar tiga dimensi dan simulasi dilakukan dengan bantuan *software Solid Works 2018* setelah didapatkan informasi tentang ukuran-ukuran rangka pada mobil urban,
6. Optimasi Profil rangka dibuat sebanyak tiga kali variasi optimasi, dengan profil rangka sebesar 85 x 25 x 1 mm, 70 x 25 x 1 mm, dan 55 x 25 x 1 mm.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan utama yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui gaya maksimum yang diizinkan, defleksi maksimum dan faktor keamanan yang terjadi pada struktur chassis mobil urban baik sebelum dan setelah dioptimasi sehingga dapat dikategorikan aman atau tidak,
2. Mendapatkan profil rangka yang efisien pada struktur rangka mobil urban dengan variasi optimasi profil rangka dari hasil analisa kekuatan struktur rangka tersebut.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian, manfaat yang diharapkan dalam penulisan ini sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan referensi untuk rangka mobil urban selanjutnya, agar dapat menghasilkan chassis mobil urban yang kuat dan ringan,
2. Dapat menerapkan pengembangan aplikasi ilmu mekanik kekuatan rangka terutama analisa tegangan statik pada struktur rangka dengan bantuan *software Solid Works 2018*.

1.6 Sumber Data / Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Observasi dan Survei Lapangan

Merupakan langkah awal yang bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai mobil listrik untuk transportasi kampus ini,

serta melakukan tanya jawab langsung atau wawancara dengan narasumber, dimana pada penelitian ini sumbernya adalah Tim Sriwijaya Eco dari Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.

2. Data Hasil Studi Pustaka

Dimana teori-teori hasil pembelajaran literatur ataupun e-book, dan juga teori-teori yang didapat dari internet yang terkait dengan rangka dan optimasi rangka.

3. Simulasi Statis Rangka Mobil Urban

Dengan data yang di dapatkan dari narasumber mengenai rangka mobil listrik, maka dilakukan simulasi statik pada rangka tersebut.

4. Optimasi Rangka

Setelah mendapatkan hasil simulasi statik pada desain chassis awal mobil urban, maka dapat dilakukan variasi pada profil rangka, dimana pada penelitian ini adalah optimasi profil rangka sehingga mendapatkan massa rangka yang optimal dengan membandingkan kekuatannya setelah di optimasi.

DAFTAR PUSTAKA



- Gere, James M. dan Stephen P. Timoshenko. 1996. Mekanika Bahan. *Translated by* Hans J Wospakrik. Jakarta: Erlangga.
- Mulyati. 2008. Bahan Ajar Mekanika bahan. Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Mott, Robert L. 2009. Elemen-Elemen Mesin dalam Perancangan Mekanis (Buku 1). *Translated by* Rines, Agus Unggul Santoso, Wibowo Kusbandono, Rusdi Sambada, I Gusti Ketut Puja dan A. Teguh Siswantoro. Yogyakarta: ANDI.
- Hariandja, Binsar. 1996. Mekanika Teknik: Statistika dalam Analisa Stuktur berbentuk Rangka. Jakarta: Erlangga.
- Jensen, Alfred dan Harry H. Chenoweth. 1989. Kekuatan Bahan Terapan (4 th Ed.). *Translated by* Darwin Sebayang. Jakarta: Erlangga.
- Mott, Robert L. 2004. *Machine Elements in Mechanical Design (4 th Ed.)*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- D.Gross *et al.* 2009. *Engineering Mechanics 1*. Jerman :Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- D.Gross *et al.* 2011. *Engineering Mechanics 2*. Jerman :Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- <https://id.wikipedia.org/wiki/Optimasi>, diakses pada tanggal 28 Maret 2017