



**ANALISIS PERBANDINGAN KEKUATAN STATIS
PADA VARIASI *DESIGN CHASSIS* MOBIL WARAK
TEAM MENGGUNAKAN *SOFTWARE ANSYS 16.0***

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif**

Oleh

Nur Arifin

NIM. 5202415049

**PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**



UNNES
Universitas Negeri Semarang

PERSETUJUAN PEMBIMBING

NAMA : Nur Arifin

NIM : 5202415049

Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif

Judul : **ANALISIS PERBANDINGAN KEKUATAN STATIS PADA VARIASI DESIGN CHASSIS MOBIL WARAK TEAM MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS 16.0**

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

Semarang, 7 November 2019

Pembimbing,



Wahyudi, S.Pd, M.Eng

NIP. 198003192005011001

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **ANALISIS PERBANDINGAN KEKUATAN STATIS PADA VARIASI DESIGN CHASSIS MOBIL WARAK TEAM MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS 16.0** telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 7 bulan November tahun 2019

Oleh

Nama : Nur Arifin

NIM : 5202415049

Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif S1

Panitia:

Ketua



Rusiyanto, S.Pd., M.T.

NIP. 197403211999031002

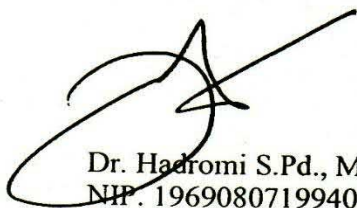
Sekretaris



Dr. Rahmat Doni Widodo, ST., M.T. IPP

NIP. 197509272006041002

Penguji 1



Dr. Hadromi S.Pd., M.T.

NIP. 196908071994031004

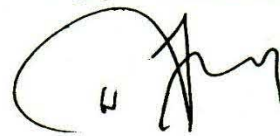
Penguji 2



Angga Septiyanto S.Pd., M.T.

NIP. 198709112019031012

Penguji 3/Pembimbing



Wahyudi, S.Pd, M.Eng

NIP. 198003192005011001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Negeri Semarang



Dr. Nur Oidus, M.T., IPM.

NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik Sarjana, 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, 7 November 2019

Yang membuat pernyataan,



Nur Arifin

NIM. 5202415049

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

1. Habis gelap terbitlah terang, sesudah kesulitan pasti datang kemudahan
2. Alloh bersama prasangka hamba Nya yang beriman, maka berprasangkalah positif terhadap kehendak Nya, niscaya hidup akan tenang dan barokah.
3. Hormatilah gurumu, karena restu gurumu yang akan membawamu kepada kemuliaan dunia dan akhirat.
4. Orang tua adalah semangat terbesarku untuk meraih kesuksesan, kemuliaan, dan jannah Nya.
5. Tiada detik, menit, jam, hari, bulan bahkan tahun tanpa sholawat, karena malaikat saja diperintah sholawat kepada baginda Nabi Muhammad SAW, bahkan Alloh SWT juga bersholawat kepada RosulNya
6. Kemuliaan itu akan tercapai menurut kadar kesengsaraan, orang yang mencari permatapun harus menyelam ke dasar lautan, barang siapa ingin meraih apa yang dicita-citakan maka ia harus menjadikan waktu malamnya sebagai kendaraan untuk mengejar cita-citanya (maqolah dalam kitab ta'lim muta'alim)

Persembahan

1. Skripsi ini dipersembahkan kepada yang tercinta, terkasih, pahlawanku Bapak Madsuhadi dan Ibu Sutijah yang telah mendoakan, mendukung secara finansial dan moril, serta selalu memotivasi putranya ini.

2. Kakak ku yang tersayang Mas Sudar yang telah memberikan tenaganya guna membantu biaya kuliahku.
3. Keluarga ku yang kusayangi semoga anakmu ini dapat menjadi kebanggan kalian

RINGKASAN

Nur Ariin, 2019, Analisis Perbandingan Kekuatan Statis Pada Variasi *Design Chassis* Mobil Warak *Team* Menggunakan *Software* ANSYS 16.0, Wahyudi, S.Pd., M.Eng. Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif.

Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan rancangan *chassis* mobil Warak *Team* kategori *prototype* yang kuat, dan bobot ringan, serta menghasilkan perbandingan analisis kekuatan *chassis* mobil Warak *Team* kategori *prototype* menggunakan *software* ANSYS 16.0.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan bantuan *software* ANSYS 16.0 untuk menganalisis kekuatan *chassis*. Analisis kekuatan *chassis* yang dilakukan adalah analisis tegangan, regangan, deformasi dan faktor keamanan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis statis desain baru 1 bahan *aluminium alloy* dengan beban 50 kg menghasilkan tegangan sebesar 293.44 MPa, regangan sebesar 4.1329e-003 mm/mm, deformasi sebesar 1.429 mm dan *safety factor* sebesar 0.95421 sedangkan analisis statis desain baru 2 bahan *aluminium alloy* dengan beban 50 kg menghasilkan tegangan sebesar 24.443 MPa, regangan sebesar 4.6045e-004 mm/mm, deformasi 0.62473 mm, dan *safety factor* sebesar 11.455. Untuk variasi beban 60 kg, 70 kg, 80 kg, dan 90 kg pada kedua desain menunjukkan hasil yang sebanding dengan pengujian beban 50 kg.

Berdasarkan hasil penelitian dari kedua desain 1 dan desain 2 pada beban 50 kg dapat disimpulkan bahwa desain 2 lebih aman dibandingkan desain 1 dengan nilai *safety factor* lebih besar dibandingkan desain 1. Sedangkan nilai tegangan, regangan dan *safety factor* pada desain 2 lebih rendah dibandingkan desain 1. Sehingga desain 2 dipilih sebagai rancangan *chassis* kategori *prototype* Warak *Team* yang akan diikuti dalam Kompetisi Mobil Hemat Energi (KMHE).

Kata kunci: tegangan, regangan, deformasi, *safety factor*

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **ANALISIS PERBANDINGAN KEKUATAN STATIS PADA VARIASI DESIGN CHASSIS MOBIL WARAK TEAM MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS 16.0**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita mendapat syafa'at di yaumul akhir nanti, Amiiin.

Penyelesain karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih serta penghargaan kepada:

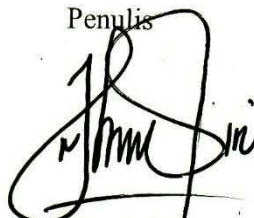
1. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, Rusiyanto, S. Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin, Wahyudi, S. Pd., M.Eng., Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
2. Wahyudi, S. Pd., M.Eng., Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, saran dan masukan kepada penulis dalam penyelesaian proposal skripsi ini
3. Dr. Hadromi S.Pd., M.T., Penguji 1, dan Angga Septiyanto S.Pd.,M.T., Penguji 2 yang telah memberikan masukan yang sangat berharga berupa saran, perbaikan, pertanyaan, menambah bobot dari karya tulis ini.

4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin FT UNNES yang telah memberikan bekal yang sangat berharga.
5. Bapak Madsuhadi dan Ibu Sutijah yang selalu memberikan doa, semangat dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Kakak, sahabat, dan teman-teman yang memberikan doa, semangat dan motivasi.
7. Abah KH. Almamnuhin Kholid serta Ibu nyai Ponpes Al Asror Semarang yang telah memberikan bimbingan, ilmu agama, yang suatu hari nanti sangat bermanfaat di kehidupan masyarakat.
8. Pengurus Ponpes Putra dan abdi ndalem serta seluruh santri Al Asror Semarang yang telah menjadi keluarga dalam menuntut ilmu agama dan selalu memberikan motivasi demi terselesaikannya skripsi ini.
9. Teman-teman Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif angkatan 2015 yang telah menjadi teman, sahabat, serta keluarga dalam menuntut ilmu di UNNES.
10. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan demi terselesaikannya karya tulis ini.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Semarang, 7 November 2019

Penulis



Nur Arifin

DAFTAR ISI

HALAMAN COVER.....	i
LEMBAR BERLOGO	
JUDUL DALAM	
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN KELULUSAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
RINGKASAN	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	8
1.3 Pembatasan Masalah	9
1.4 Rumusan Masalah	10
1.5 Tujuan Penelitian.....	10
1.6 Manfaat Penelitian	10

BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	13
2.1 Kajian Pustaka.....	13
2.2 Landasan Teori	20
2.2.1 <i>Chassis/Frame</i>	20
2.2.2 Jenis-Jenis Rangka	23
2.2.3 Konsep Tegangan Regangan	29
2.2.3.1 Tegangan	29
2.2.3.2 Regangan	29
2.2.3.3 Deformasi	31
2.2.3.4 Teori <i>von misses</i>	32
2.2.3.5 Faktor Keamanan	33
2.2.3.6 Rasio Tegangan	36
2.2.3.7 Tumpuan	37
2.2.3.8 Momen Inersia Penampang <i>Hollow</i> Segiempat	38
2.2.3.9 Momen Inersia Penampang <i>Hollow</i> Lingkaran	39
2.2.4 Kompetisi Mobil Hemat Energi	40
2.2.5 <i>Software</i> ANSYS	41
2.2.6 <i>Aluminum Alloy</i>	44
2.3 Pertanyaan Penelitian	47
BAB III. METODE PENELITIAN	48
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	48
3.1.1 Waktu Pelaksanaan Penelitian	48
3.1.2 Tempat Pelaksanaan Penelian	48

3.2	Desain Penelitian	48
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	57
3.3.1	Alat Penelitian	57
3.3.2	Bahan Penelitian	58
3.4	Parameter Penelitian	60
3.5	Teknik Pengumpulan Data	61
3.6	Kalibrasi Instrumen	62
3.7	Teknik Analisis Data	66
3.7.1	Deformasi	66
3.7.2	Teori <i>Von Misses</i>	67
BAB IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	69
4.1	Deskripsi Data	69
4.1.1	Pembebanan pada <i>Chassis</i>	69
4.2	Analisis Data	73
4.2.1	Analisis Statis Menggunakan ANSYS 16.0	74
4.3	Pembahasan	85
4.3.1	Perbandingan Massa Desain Baru 1 dan Desain Baru 2	85
4.3.2	Perhitungan Manual menggunakan rumus <i>von Misses</i>	87
4.3.3	Perbandingan Hasil Analisis	91
BAB V.	PENUTUP	98
5.1	Kesimpulan	98
5.2	Saran	99
DAFTAR PUSTAKA	100	

LAMPIRAN	104
-----------------------	-----

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

Simbol

σ_{\max}	Tegangan maksimal,
σ_{\min}	Tegangan minimal,
σ_m	Tegangan rata-rata,
σ_a	Tegangan bolak-balik (amplitudo tegangan)
σ	Tegangan (N/m ²)
σ_e	Tegangan Von Misses maksimum (N/m ²)
A	Luas Bidang
A	Rasio Tegangan
Al	<i>Aluminium</i>
D	Diameter
E	Modulus elastisitas
F	Gaya yang Bekerja
L	Panjang
ε	Regangan
η	Faktor Keamanan
S_n	Ketahanan Lelah
S_u	Tegangan Batas Tarik
S_y	Tegangan luluh material (N/m ²)

Singkatan

AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
ANSYS	<i>Analysis System</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Berat dan Intensitas Massa Aluminium	46
Tabel 2.2 Modulus Elastis dan Rasio Poisson Aluminium	46
Tabel 2.3 Besaran Mekanis Aluminium	46
Tabel 3.1 Kalkulasi Beban Badan dan Kaki Pengemudi	55
Tabel 3.2. Matrik Pengambilan Keputusan Jenis <i>Chassis</i>	59
Tabel 3.3 Beban <i>Driver</i>	62
Tabel 3.4 Jenis Material	62
Tabel 4.1 Kalkulasi Beban Badan dan Kaki Pengemudi	72
Tabel 4.2 Hasil tegangan beban <i>driver</i> 50 kg, 60 kg, 70 kg, 80 kg dan 90 kg.....	75
Tabel 4.3 Hasil regangan beban <i>driver</i> 50 kg, 60 kg, 70 kg, 80 kg dan 90 kg	78
Tabel 4.4 Hasil deformasi beban <i>driver</i> 50 kg, 60 kg, 70 kg, 80 kg dan 90 kg	81
Tabel 4.5 Hasil <i>Safety Factor</i> pada beban <i>driver</i> 50 kg, 60 kg, 70 kg, 80 kg dan 90 kg	83
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Statis Desain Baru 1 bahan <i>Aluminium alloy</i>	94
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Statis Desain Baru 2 bahan <i>Aluminium alloy</i>	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pertumbuhan Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia	2
Gambar 2.1 <i>Ladder Frame</i>	24
Gambar 2.2 <i>Ladder Frame</i> dengan palang X	25
Gambar 2.3 <i>Tubular Space Frame</i>	26
Gambar 2.4 <i>Chassis Monocoque</i>	27
Gambar 2.5 <i>Chassis Backbone</i>	28
Gambar 2.6 <i>Alluminium Chassis Frame</i>	28
Gambar 2.7 Diagram Tegangan Regangan	30
Gambar 2.8 Tegangan Statis	37
Gambar 2.9 Pemodelan Tumpuan Jepit	38
Gambar 2.10 Pemodelan Tumpuan Sendi	38
Gambar 2.11 Pemodelan Tumpuan Rol	38
Gambar 2.12 Penampang <i>Chassis</i> Utama	39
Gambar 2.13 Penampang <i>Rollbar</i>	39
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	47
Gambar 3.2 <i>Assembly Design</i> mobil Warak Team.....	51
Gambar 3.3 <i>Existing Design Chassis</i>	51
Gambar 3.4 Gambar 3.4 Variasi Desain Baru 1 ukuran profil <i>square</i> 25 x 40 mm Tebal 5 mm	51
Gambar 3.5 Gambar 3.5 Variasi Desain Baru 2 ukuran profil <i>square</i> 40 x 40 mm Tebal 3 mm	52
Gambar 3.6 Gambar 3.6 Beban yang diterima <i>chassis</i>	53

Gambar 3.7 Pembebanan <i>Rollbar</i> sebesar 700 N	56
Gambar 3.8 <i>Aluminum Square Hollow</i>	58
Gambar 3.9 <i>Aluminum Circular hollow</i>	59
Gambar 3.10 Membuka <i>workbench</i> ANSYS 16.0 memilih <i>static structural</i>	63
Gambar 3.11 Memilih <i>engineering data</i>	63
Gambar 3.12 <i>Return to project</i> kemudian pilih geometri yang disimulasikan	64
Gambar 3.13 <i>Pemberian meshing</i> pada <i>chassis</i> kategori <i>prototype</i>	64
Gambar 3.14 Masukkan parameter simulasi yaitu <i>Standard earth gravity, fixed support</i> , dan pemberian beban	65
Gambar 3.15 Menentukan variabel yang akan disimulasikan	66
Gambar 4.1 Beban yang diterima <i>chassis</i>	70
Gambar 4.2 Pembebanan <i>Rollbar</i> sebesar 700 N.....	73
Gambar 4.3 <i>Equivalent (von Mises) Stress</i> Desain Baru 1 beban <i>driver</i> 50 Kg	74
Gambar 4.4 <i>Equivalent (von Mises) Stress</i> Desain Baru 2 beban <i>driver</i> 50 Kg	75
Gambar 4.5 Grafik Tegangan N/m^2 (<i>von-Misses</i>) MPa.....	76
Gambar 4.6 <i>Equivalent Elastic Strain</i> Desain Baru 1 beban <i>driver</i> 50 Kg.....	77
Gambar 4.7 <i>Equivalent Elastic Strain</i> Desain Baru 2 beban <i>driver</i> 50 Kg.....	78
Gambar 4.8 Grafik Regangan (<i>Equivalent Elastic Strain</i>)	79
Gambar 4.9 <i>Total Deformation</i> Desain Baru 1 beban <i>driver</i> 50 Kg.....	80
Gambar 4.10 <i>Total Deformation</i> Desain Baru 1 beban <i>driver</i> 50 Kg.....	80
Gambar 4.11 Grafik Deformasi.....	81
Gambar 4.12 <i>Safety Factor</i> Desain Baru 1 dengan beban <i>driver</i> 50 Kg.....	82
Gambar 4.13 <i>Safety Factor</i> Desain Baru 2 dengan beban <i>driver</i> 50 Kg.....	83

Gambar 4.14 Grafik <i>Safety Factor</i>	84
Gambar 4.15 Massa <i>Chassis</i> Desain Baru 1 dengan material <i>Aluminium Alloy</i>	86
Gambar 4.16 Massa <i>chassis</i> Desain Baru 2 dengan material <i>Aluminium Alloy</i>	87
Gambar 4.17 Desain <i>Existing Chassis</i>	92
Gambar 4.18 Pengujian Desain <i>existing</i> mengalami kegagalan	92
Gambar 4.19 Desain Baru 1 dengan ukuran profil <i>square</i> 25 x 40 mm T 5 mm...93	
Gambar 4.20 Hasil Pengujian Statis Desain Baru 1.....	93
Gambar 4.21 Desain Baru 2 dengan ukuran profil <i>square</i> 40 x 40 mm T 3 mm...95	
Gambar 4.22 Hasil Pengujian Statis Desain Baru 2	95

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Drawing existing design</i>	105
Lampiran 2. <i>Drawing Variasi Desain Baru 1</i>	106
Lampiran 3. <i>Drawing Variasi Desain Baru 2</i>	107
Lampiran 4. <i>Drawing Assembly Chassis Warak Team</i>	108
Lampiran 5 Hasil Analisis Desain Baru 1 Beban Driver 50 kg Menggunakan <i>Software ANSYS 16.0</i>	109
Lampiran 6. Hasil Analisis Desain Baru 1 Beban <i>Driver</i> 60 kg Menggunakan <i>Software ANSYS 16.0</i>	136
Lampiran 7. Hasil Analisis Desain Baru 1 Beban <i>Driver</i> 70 kg Menggunakan <i>Software ANSYS 16.0</i>	144
Lampiran 8. Hasil Analisis Desain Baru 1 Beban <i>Driver</i> 80 kg Menggunakan <i>Software ANSYS 16.0</i>	152
Lampiran 9. Hasil Analisis Desain Baru 1 Beban <i>Driver</i> 90 kg Menggunakan <i>Software ANSYS 16.0</i>	160
Lampiran 10. Hasil Analisis Desain Baru 2 Beban <i>Driver</i> 50 kg Menggunakan <i>Software ANSYS 16.0</i>	168
Lampiran 11. Hasil Analisis Desain Baru 2 Beban Driver 60 kg Menggunakan <i>Software ANSYS 16.0</i>	176
Lampiran 12. Hasil Analisis Desain Baru 2 Beban Driver 70 kg Menggunakan <i>Software ANSYS 16.0</i>	184

Lampiran 13. Hasil Analisis Desain Baru 2 Beban Driver 80 kg Menggunakan <i>Software ANSYS 16.0</i>	192
Lampiran 14. Hasil Analisis Desain Baru 2 Beban Driver 90 kg Menggunakan <i>Software ANSYS 16.0</i>	200
Lampiran 15. Perhitungan Asumsi Pembebanan Rangka	208
Lampiran 16. Penetapan Dosen Pembimbing Skripsi.....	210
Lampiran 17. Surat Tugas Penguji dan Pembimbing Skripsi	211

BAB I

PENDAHULUAN

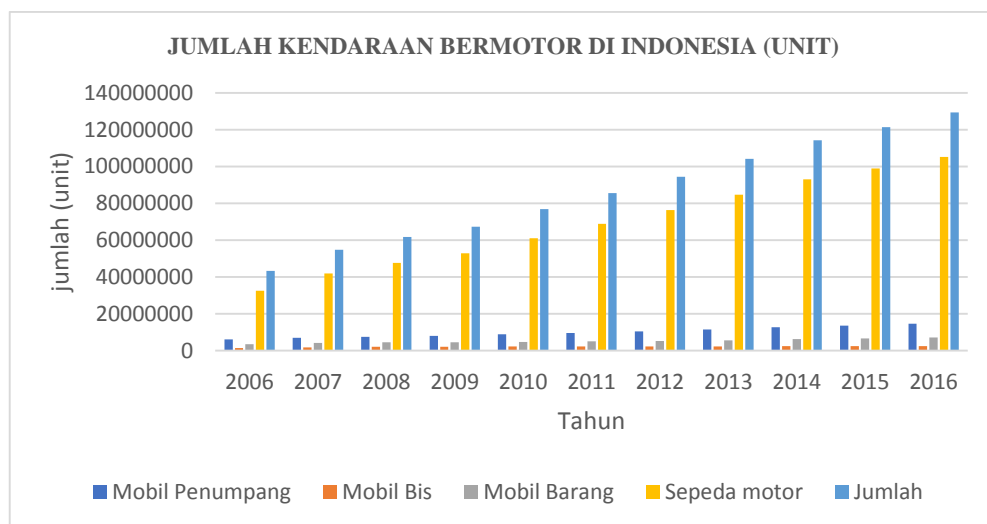
1.1 Latar Belakang

Era globalisasi saat ini mengakibatkan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk mendorong upaya-upaya pembaharuan dalam pemanfaatan hasil teknologi. Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi menuntut segala urusan manusia untuk bergerak cepat dan tepat dalam melakukan kegiatan. Salah satu diantaranya adalah kebutuhan transportasi guna menunjang setiap kegiatan yang dilakukan individu dalam masyarakat (Yusuf dan Sutjahjo, 2013: 44). Sesuai keadaan tersebut industri otomotif membuat kendaraan bermotor guna memenuhi kebutuhan moda transportasi.

Pertumbuhan kendaraan bermotor setiap tahun mengalami peningkatan yang pesat, baik roda dua maupun roda empat. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2017) jumlah kendaraan di Indonesia dalam kurun waktu 10 tahun terakhir terus mengalami peningkatan. Pada tahun 2016 jumlah kendaraan mobil penumpang sebanyak 14.580.666 unit, mobil bis sebanyak 2.486.898 unit, dan mobil barang sebanyak 7.063.433 unit, serta jumlah sepeda motor 105.150.082 unit. Berdasarkan grafik yang ditampilkan pada Gambar 1.1 jumlah kendaraan bermotor menunjukkan bahwa jumlah total kendaraan bermotor secara keseluruhan mencapai 129.281.079 unit.

Suwarso dan Wulandari (2015: 1), Jumlah kendaraan semakin meningkat berbanding lurus terhadap konsumsi bahan bakar minyak (BBM) yang mengakibatkan

kan polusi udara semakin parah. Muchammad, (2007: 6), Bahan bakar Minyak yang semakin menipis persediaannya dan harganya yang terus naik membuat banyak orang semakin kreatif dalam berupaya untuk mencari bahan bakar alternatif dan meningkatkan efisiensi pembakaran pada kendaraan bermotor. Sehingga muncul berbagai teknologi baru, antara lain ditemukannya mobil hybrid, mobil elektrik, penggunaan sistem injeksi pada mesin, sistem pengapian yang semakin cerdas, sampai penggunaan bahan bakar alternatif seperti *bio diesel* dan *bio gasoline*.



Gambar 1.1 Pertumbuhan Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia

(Badan Pusat Statistik, 2017)

Hijjah dan Adiwibowo (2014: 141), Semakin bertambah pesatnya volume kendaraan bermotor merupakan penyebab timbulnya emisi gas buang. Gas-gas yang dihasilkan oleh asap kendaraan bermotor berbahaya bagi kesehatan manusia baik dalam jangka pendek maupun dalam jangka panjang. Gas-gas tersebut adalah HC, CO, NO_x dan timbal (Pb). Selain pemerintah, perusahaan otomotif juga dituntut untuk menciptakan kendaraan yang ramah lingkungan. Hal ini diperkuat dengan dikeluarkannya peraturan pemerintah yang menetapkan bahwa semua

kendaraan yang diproduksi harus sudah memenuhi standar Euro 3 per 1 Agustus 2013. Menurut standar Euro 3, kendaraan roda 2 dengan kapasitas silinder kurang dari 150 cm³ hanya boleh menghasilkan 0,8 gr/km HC, 0,15 gr/km Nox, dan 2 gr/km CO. Sedangkan untuk kendaraan roda 2 dengan kapasitas silinder lebih dari 150 cm³ hanya boleh menghasilkan 0,3 gr/km HC, 0,15 gr/km Nox dan 2 gr/km CO.

Tsirogiannis, dkk (2018: 1), Dewasa ini industri otomotif memfokuskan pada peningkatan efisiensi energi. Tujuan utama pengembangan kendaraan adalah meminimalkan konsumsi energi dan memaksimalkan efisiensi kendaraan. Pada saat yang sama, negara-negara berusaha untuk memenuhi kebutuhan energi di masa depan dan mengurangi emisi polutan. Salah satu upaya yang dapat diwujudkan untuk menanggulangi krisis energi dibidang teknologi otomotif yaitu berpartisipasi dalam kontes mobil hemat energi.

Kompetisi mobil hemat energi merupakan sebuah *event* lomba irit bahan bakar yang secara rutin diadakan oleh Kemenristekdikti yang bekerjasama dengan perguruan tinggi tertentu yang telah ditunjuk sebelumnya. Kegiatan ini diikuti oleh mahasiswa dari seluruh Universitas/Institut/Politeknik di Indonesia yang memenuhi persyaratan yang diseleksi oleh panitia. Kemampuan untuk merancang dan membangun kendaraan yang irit, aman, dan ramah lingkungan merupakan kemampuan yang harus dimiliki oleh seluruh peserta dalam kegiatan ini. Kompetisi Mobil Hemat Energi ada dua kategori yaitu kategori *prototype* dan kategori *urban concept*. (KMHE, 2018).

Kategori *prototype* merupakan kendaraan masa depan dengan desain khusus yang memaksimalkan efisiensi. Kelas mesin penggerak kategori *prototype* antara lain: Motor Pembakaran Dalam (MPD) *Gasoline*, MPD *Diesel*, MPD Etanol, Motor Listrik. Sedangkan kategori *urban concept* merupakan kendaraan roda empat yang tampilannya mirip mobil pada umumnya dan sesuai untuk berkendara di jalanan. Kelas mesin penggerak kategori *urban concept* antara lain: MPD *Gasoline*, MPD *Diesel*, MPD Etanol, Motor Listrik. (KMHE, 2018: 1).

Berdasarkan Regulasi Teknis KMHE, pasal 20 tentang Berat minimal Pengemudi kendaraan kategori *prototype* adalah 50 kg ketika memakai perlengkapan mengemudi yang lengkap, termasuk alat komunikasi. Pemberat akan ditambahkan pada kendaraan apabila berat minimum tidak tercapai. Sedangkan berat minimal pengemudi kendaraan kategori *urban concept* adalah 70 kg ketika memakai perlengkapan mengemudi yang lengkap, termasuk alat komunikasi. Pemberat akan ditambahkan pada bagasi kendaraan apabila berat minimum tidak tercapai. (KMHE, 2018: 14)

Rancangan kendaraan dalam kompetisi diharuskan memperhatikan semua aspek keselamatan pengemudi, keselamatan anggota tim lainnya dan keselamatan penonton. Kendaraan kategori *prototype* harus mempunyai tiga atau empat roda, akan tetapi pada umumnya menggunakan tiga roda yang dibawah kondisi normal harus selalu menempel pada permukaan lintasan, memiliki *zona crumple* minimal 100 mm antara bagian depan bodi dan kaki pengemudi. Sedangkan kendaraan kategori *urban concept* harus mempunyai empat roda yang pada kondisi normal

harus selalu menempel pada permukaan lintasan. Roda kelima untuk tujuan apapun tidak diperbolehkan. (KMHE, 2018: 14)

Saputra, dkk (2017: 2) menyatakan bahwa *chassis* adalah salah satu komponen terpenting dari sebuah kendaraan yang berfungsi sebagai penopang mesin, sistem suspensi dan sistem kelistrikan sehingga menjadi satu kesatuan yang membuat sebuah kendaraan dapat berjalan. Oleh karena itu, *chassis* harus memiliki sifat yang kuat, ringan, kokoh dan tahan terhadap getaran, atau guncangan yang diterima dari kondisi jalan.

Menurut Dwinanto dan Muhammad (2015: 119), Karakteristik *chassis* dapat dipengaruhi oleh material dan struktur *chassis*. Struktur *chassis* yang digunakan sebagai penopang beban bodi dan kelengkapan *engine* sangat beragam, diantaranya yaitu *monocoque chassis* dan *ladder frame chassis*. Material *chassis* dapat berupa logam ataupun komposit. Material logam yang digunakan untuk struktur *chassis* dapat berupa *aluminium* paduan yang dapat diimplementasikan pada *ladder frame chassis*. Sedangkan material komposit pada *chassis* berbeda tidak seperti pada bodi kendaraan yang *reinforcement* berupa fiber, komposit pada *chassis* lebih pada struktur sebagai *reinforcement berupa foam core structure* dengan struktur *chassis* berupa *monocoque chassis*.

Setyono dan Gunawan (2015: 70) menyatakan bahwa pada perancangan kendaraan kategori *prototype* selain merancang bentuk bodi yang *streamline* dan ringan, ada hal yang sangat penting yaitu perancangan *chassis*. *Chassis* memiliki bentuk dan ukuran yang kompleks, sehingga apabila dilakukan perancangan secara manual akan memiliki banyak kendala dan hasilnya tidak akurat.

Berdasarkan Peraturan Teknis KMHE, pasal 26 tentang Kekuatan dan Kekakuan Rangka *Chassis/Monocoque*, struktur rangka/ *chassis/monocoque* kendaraan memiliki kekakuan dan kekuatan yang dapat melindungi bodi pengemudi secara efektif apabila terjadi tabrakan termasuk dampak depan, dampak samping, dan atau *rollover* kendaraan. *Monocoque* adalah konstruksi penopang beban struktur menggunakan bodi cangkang sebagai pengganti rangka *chassis*. *Chassis* kendaraan harus dilengkapi dengan *roll bar* yang memanjang berjarak 5 cm di sekitar helm pengemudi yang duduk pada posisi mengemudi normal dengan sabuk pengaman terpasang. *Roll bar* ini harus melebar melebihi bahu pengemudi dan dapat menahan beban statis sebesar 700 N (70 kg) pada arah vertikal, horizontal (pada segala arah) atau tegak lurus tanpa mengalami deformasi. (KMHE, 2018: 18)

Tim CRC Mesin merupakan komunitas mahasiswa mesin UNNES yang berfokus pada pengembangan mobil hemat energi. Produk yang telah dihasilkan yaitu kendaraan kategori *prototype* Warak G-Pro berbahan bakar *gasoline* yang akan diikuti dalam kompetisi Mobil Hemat Energi (KMHE). Perancangan desain *chassis* WARAK G-Pro menggunakan *software* Solidworks. Struktur *Chassis* yang dipilih dalam perancangan Warak G-Pro adalah jenis *ladder frame*. Jenis *ladder frame* memiliki keunggulan sebagai berikut: 1) mudah untuk didesain, dibangun dan dimodifikasi, 2) lebih cocok untuk kendaraan berat (*off-road*) dan lebih tahan lama, 3) mudah untuk reparasi bila terjadi tumbukan. (Dwinanto dan Muhammad, 2015: 121).

Hasil analisis menggunakan *software* Solidworks menunjukkan bahwa analisis besaran tegangan maksimum sebesar $3,343 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Sedangkan hasil

displacement maksimum sebesar $2,495 \times 10^{-1} \text{ N/m}^2$. Dan *factor of safety* dari hasil rancangan *chassis* Warak G-Pro yaitu sebesar 1. Pembuatan *chassis* merupakan bagian yang sangat fundamental dari sebuah kendaraan. Konstruksi *chassis* yang tepat dan kuat akan membuat kendaraan lebih stabil, tidak mudah rusak dan tahan lama, sehingga mampu menahan beban dari kendaraan dan tidak mengalami kegagalan struktur. Menurut Bagaskoro dan Ariatedja (2019: 94), Seiring perkembangan waktu, proses perancangan produk semakin canggih dan kompleks guna mendapatkan hasil yang terbaik maka dibutuhkan analisa teknik dari *design* suatu produk. Salah satu metode yang cukup populer dan sering dilakukan dalam perancangan adalah *finite element method*.

Perancangan mobil hemat energi dapat diwujudkan dengan mempertimbangkan faktor desain struktur *chassis*, yang berfungsi sebagai tempat penyangga untuk semua komponen kendaraan dan pengemudi. Proses desain *chassis* dimulai dari pemilihan bahan, desain model dan dilanjutkan dengan analisis statis. Menurut Gosavi dkk, (2014: 531) Analisis statis menggunakan teknik elemen hingga, berat rangka *chassis* dapat dioptimalkan dan layak untuk menganalisis bingkai *chassis* yang dimodifikasi sebelum pembuatan. Analisis statis dilakukan menggunakan *software* ANSYS.

ANSYS adalah paket pemodelan elemen hingga dengan tujuan umum untuk memecahkan berbagai masalah mekanis secara numerik. Masalah-masalah ini termasuk statis/dinamis, analisis struktural (baik linier dan nonlinier), perpindahan panas, dan masalah fluida, serta masalah akustik dan elektromagnetik. Secara umum, solusi elemen hingga dapat dipecah menjadi tiga tahap berikut. (1)

Preprocessing: mendefinisikan masalah, (2) Solusi: menetapkan beban, kendala, dan penyelesaian. (3) *Postprocessing*: pemrosesan lebih lanjut dan melihat hasilnya. (Nakasone, dkk, 2006: 37).

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, agar dapat memangkas bobot kendaraan dan konsumsi energi pada kendaraan maka perlu diadakannya penelitian berjudul **ANALISIS PERBANDINGAN KEKUATAN STATIS PADA VARIASI DESIGN CHASSIS MOBIL WARAK TEAM MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS 16.0..** Harapannya penelitian ini dapat dijadikan sumber rujukan bagi perancangan *chassis* untuk pengembangan kendaraan dengan konsumsi energi lebih hemat secara khusus dan pengembangan kendaraan pada umumnya.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang sudah dijabarkan, dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

- 1.2.1 *Chassis* memiliki bentuk dan ukuran yang kompleks, sehingga apabila dilakukan perancangan secara manual akan memiliki banyak kendala dan hasilnya tidak akurat.
- 1.2.2 *Software* Solidworks masih memiliki kekurangan dalam proses *meshing* yang kurang halus yang berpengaruh pada hasil analisis
- 1.2.3 Hasil analisis menggunakan *software* Solidworks menunjukkan analisis besaran tegangan maksimum sebesar $3,343 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Sedangkan hasil

displacement maksimum sebesar $2,495 \times 10^{-1} \text{ N/m}^2$. Dan *factor of safety* dari hasil rancangan *chassis* Warak G-Pro yaitu sebesar 1.

- 1.2.4 Mobil yang diikuti Kompetisi Mobil Hemat Energi membutuhkan rancangan *chassis* yang ringan namun kuat dan kokoh menopang beban kendaraan
- 1.2.5 Kebutuhan bahan bakar minyak sebagai bahan bakar kendaraan terus meningkat sedangkan persediaannya semakin berkurang.
- 1.2.6 Meningkatnya harga Bahan Bakar Minyak (BBM)
- 1.2.7 Pencemaran polusi udara yang semakin tinggi menyebabkan bahaya kesehatan dan lingkungan.

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah diuraikan tidak semua masalah dapat dibahas. Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu terfokus pada masalah poin 1.2.1 sampai 1.2.3 yaitu perbaikan rancangan dengan melakukan analisis ulang dengan bantuan *software* ANSYS 16.0. Sehingga Batasan masalah dalam penelitian ini dapat diperinci antara lain sebagai berikut:

- 1.3.1 Analisis pembebanan kekuatan diasumsikan merata pada *chassis* mobil kategori *prototype Warak Team*.
- 1.3.2 Beban penumpang dan kelengkapan kendaraan yang diinputkan adalah hasil pengasumsian yang mengacu pada Regulasi Teknis KMHE.
- 1.3.3 Struktur komponen yang dianalisis adalah *chassis* mobil *prototype Warak Team* yang sudah dibuat.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah dan pembatasan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka diperoleh rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1.4.1 Bagaimana perbandingan analisis kekuatan statis pada variasi *design chassis* kategori *prototype* mobil Warak Team menggunakan *software* ANSYS 16.0 ?
- 1.4.2 Bagaimana menghasilkan rancangan *chassis* mobil Warak Team kategori *prototype* yang kuat, namun dengan bobot ringan ?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan permasalahan diatas, maka tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah:

- 1.5.1 Menghasilkan perbandingan analisis kekuatan statis pada variasi *design chassis* mobil Warak Team menggunakan *software* ANSYS 16.0
- 1.5.2 Menghasilkan rancangan *chassis* mobil Warak Team kategori *prototype* yang kuat, dan bobot ringan.

1.6 Manfaat Penelitian

Hasil kegiatan penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik teoritis maupun praktis bagi pendidik, mahasiswa, penulis, dan semua pihak yang terkait dengan dunia teknik, adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1.6.1 Manfaat Teoritis

- a. Secara teoritis penelitian ini dapat dijadikan sebagai sumber referensi mengenai perhitungan kekuatan *chassis* menggunakan *software* ANSYS 16.0.
- b. Memberikan sumbangan positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam merancang *chassis* yang ringan, kokoh
- c. Dapat menerapkan pengembangan aplikasi keilmuan mekanika kekuatan bahan dan CAD (*Computer Aided Design*) khususnya Solidworks terkait dengan analisis kekuatan statis bahan menggunakan *software* ANSYS 16.0

1.6.2 Manfaat Praktis

a. Bagi Peneliti

Dapat menambah wawasan dan pengetahuan mengenai perhitungan kekuatan *chassis* menggunakan *software* ANSYS 16.0

b. Bagi Mahasiswa

- 1) Dapat menghasilkan rancangan yang lebih baik dari sebelumnya
- 2) Sebagai sumbangan karya ilmiah untuk Jurusan Teknik Mesin tentang uji *statis*
- 3) Dapat memotivasi mahasiswa untuk melakukan penelitian menggunakan *software* ANSYS 16.0

- 4) Sebagai perbandingan pada penelitian sejenisnya untuk pengembangan teknologi khususnya dibidang perancangan *chassis*.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian ini merujuk pada beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu:

Penelitian yang dilakukan oleh Setyono dan Gunawan (2015) yang berjudul “Perancangan Dan Analisis *Chassis* Mobil Listrik “Semut Abang” Menggunakan *Software Autodesk Inventor Pro 2013*”, didapat kesimpulan sebagai berikut: Penelitian dilakukan menggunakan fitur *stress analysis* yang dilengkapi dengan metode *Finite Element Analysis* (FEA) sehingga dapat diketahui fenomena yang terjadi pada struktur rangka mobil listrik yang telah dirancang sebelumnya, yaitu dengan hasil keluaran *Von Mises Stress*, *Displacement* dan *Safety Factor*. Dari hasil perancangan maka diperoleh dimensi keseluruhan *chassis* mobil listrik semut abang ITATS yaitu panjang = 2134 mm, lebar = 623,5 mm, tinggi = 711,5 mm. Sedangkan hasil dari analisa numerik dengan fitur *stress analysis* diperoleh besar tegangan maksimum *Von Mises Stress* yang terjadi pada bagian rivet plat penyambung bagian belakang rangka sebesar 108,8 Mpa. *Displacement* maksimum yang terjadi pada rangka tersebut adalah pada bagian *roll bar* yaitu 0,7136 mm kearah sumbu X. Angka keamanan (*safety factor*) yang diperoleh dari analisa tersebut adalah sebesar 2,53.

Penelitian yang dilakukan oleh Hidayat, dkk (2017), yang berjudul “Perancangan Dan Analisis Statik *Chassis* Kendaraan Shell Eco Marathon Tipe

Urban Concept”. Dari pembahasan penelitian rancang bangun *chassis* kendaraan hemat energi tipe *urban concept* konsep ini maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah diperoleh desain CAD bentuk fisik *chassis* kendaraan hemat energi dengan dimensi panjang 206 cm dan lebar 60 cm.
2. Berdasarkan hasil simulasi pembebanan statis menggunakan *autodesk inventor* diperoleh tegangan maksimum yang terjadi pada sebesar 19,36 MPa dengan defleksi sebesar 3,542 mm.
3. Dari perhitungan secara manual diperoleh tegangan maksimum yang terjadi pada struktur *chassis* sebesar 18,3 MPa. Dengan defleksi sebesar 3,35 mm.
4. Pemilihan *aluminium* AA 6010 sebagai material *chassis* dinyatakan aman karena memiliki *safety factor* besar dari satu yaitu sebesar 10,5.

Penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan, dkk (2019: 6) yang berjudul “Analisis Tegangan Statik *Frame Gokart* menggunakan *Software Solidwork 2017*” didapatkan hasil sebagai berikut: Distribusi tegangan static untuk tiga rancangan *frame gokart* telah diketahui berupa *Stress* untuk tegangan von mises maksimum terdistribusi pada dudukan mesin. *Displacement* untuk regangan maksimum terdistribusi pada dudukan pengendara dan regangan minimum terdistribusi pada poros roda belakang. *Factor of safety* untuk angka keamanan maksimum terdistribusi pada dudukan mesin dan angka keamanan minimum terdistribusi pada dudukan poros roda belakang. Pada penggunaan tiga profil *square tube* yang dimensinya divariasikan namun ketebalannya dibuat sama, profil *square tube*

dengan dimensi 30 x 30 x 2,0 mm pada pembebanan pertama sebesar 820 N *frame* sudah tidak bias menahan beban yang diberikan, profil *square tube* dengan dimensi 40 x 40 x 2,0 mm pada pembebanan pertama sebesar 980 N *frame* sudah tidak dapat menahan beban yang diberikan, dan profil *square tube* dengan dimensi 50 x 50 x 2,0 mm pada pembebanan pertama sebesar 930 N dan pembebanan kelima sebesar 1330 N *frame* masih dapat menahan beban yang diberikan. Sehingga dapat dipastikan *frame* dengan dimensi 50 x 50 x 2,0 mm yang aman dan layak untuk digunakan sebagai *frame gokart*.

Penelitian yang dilakukan oleh Koumartzakis, dkk (2017) dengan judul “*Design and Development of a Prototype Electric Vehicle’s Chassis*” didapatkan kesimpulan bahwa Analisis statis linier dari tiga model dilakukan oleh pemecah Epilisis. Untuk setiap model diminta untuk menghitung tegangan Von Mises dan deformasi. Hasil dari tiga model sasis yang berbeda, untuk sasis 2014, hasilnya yaitu nilai tegangan maksimum sebesar 63,89 MPa dan deformasi hingga 1,62 mm. Untuk sasis 2016, nilai tegangan maksimum adalah 56,63 MPa dan nilai deformasi maksimum adalah 2,8 mm.

Penelitian yang dilakukan oleh Thaivai, dkk (2015) dengan judul “*Static Analysis of Go-Kart by Analytical and Solid Works Simulation*” menunjukkan hasil defleksi model yang nilai defleksi maksimum sebesar 3.2441×10^{-6} mm. Hasilnya menunjukkan, bahwa lokasi defleksi maksimum berjalan dengan baik dengan lokasi teoritis tetapi bervariasi di aspek besarnya, dari analisis numerik. Struktur ini dipertimbangkan berdasarkan beban yang terdistribusi secara seragam untuk kursi pengemudi dan ruang *engine* untuk perhitungan analitis. Menggunakan *software*

ANSYS, analisis statis berhasil dilakukan untuk menentukan defleksi maksimum. Untuk memeriksa ulang hasil ini, perhitungan manual perlu dilakukan. Hasil analisis menunjukkan bahwa lokasi defleksi maksimum sama dengan lokasi maksimum teoritis balok sederhana.

Penelitian yang dilakukan oleh Tsirogiannis, dkk (2019), dengan judul “*Electric Car Chassis for Shell Eco Marathon Competition: Design, Modelling and Finite Element Analysis*” didapatkan hasil bahwa Analisis statis linier dilakukan menggunakan bantuan *software* ANSYS 16.0. Struktur *Chassis* setelah dianalisis menghasilkan nilai tegangan maksimal sebesar 317,79 MPa dan deformasi hingga 9,55 mm, keduanya dianggap aman. Secara khusus, nilai tegangan maksimal 317,79 MPa disajikan di bagian belakang, yang terbuat dari *stainless steel* dengan kekuatan luluh 850 Mpa, dalam kerangka ruang yang terbuat dari aluminium dengan kekuatan luluh 255 Mpa, tegangan maksimal sebesar 226,99 Mpa sehingga dapat disimpulkan bahwa aman. Desain *chassis* ringan dan dapat menopang beban mekanis dengan tetap dapat menerima perpindahan maksimal dan *stress von mises* maksimal. Namun, perlu adanya pengurangan massa lebih lanjut sebagai upaya memaksimalkan kekuatan dan kekakuan. Inovasi penelitian ini adalah mengatasi proses yang memakan waktu dengan menggunakan model kalkulator beban sasis atau *chassis load calculator* (CLC) yang cocok untuk mobil listrik. Selanjutnya, metodologi untuk prosedur pemrosesan melalui *finite element method* (FEM), yang dikembangkan di bawah skenario *stress* gabungan dan dengan menggunakan muatan dinamis kendaraan merupakan metode yang tepat dan akurat dalam menganalisis struktur.

Penelitian yang dilakukan oleh Novian dan Rahmawaty (2015) yang berjudul “Perancangan Simulasi Pembebanan Statik Menggunakan Perangkat Lunak ANSYS 14.0” dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan dan simulasi menggunakan perangkat lunak ANSYS *Workbench* 14.0 sebagai berikut:

1. Besarnya tegangan geser dari hasil perhitungan (τ) = 2,06 N/mm²
2. Besarnya tegangan lentur dari hasil perhitungan (σ) = 50,14 N/mm²
3. Besarnya defleksi dari hasil perhitungan (δ) = 0,17 mm
4. *Shear Stress* (τ) dari hasil simulasi = 2,6456 N/mm
5. *Equivalent Stress* (σ) dari hasil simulasi = 52,372 N/mm²
6. *Total Deformation* (δ) dari hasil simulasi = 0,1799 mm

Penelitian yang dilakukan oleh Fadila dan Syam (2013) yang berjudul “Analisis Simulasi Struktur *Chassis* Mobil Mesin Usu Berbahan Besi Struktur Terhadap Beban Statik Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Ansys”, didapat kesimpulan sebagai berikut: Merancang *chassis* perlu dilakukan analisis simulasi elemen hingga untuk mengetahui kekuatan *chassis* pada mobil Mesin USU pada saat driver berada di dalamnya. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan hasil simulasi *chassis* pada mobil Mesin USU I dan mobil Mesin USU II apabila mengalami pembebanan dengan menggunakan perangkat lunak Ansys 14.5.

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap pengerjaan yaitu: pemodelan *chassis* dengan perangkat lunak SolidWorks Premium 2011 dan simulasi elemen hingga menggunakan perangkat lunak Ansys 14.5. Setelah melakukan simulasi dengan beban 700 N terhadap *chassis* Mesin USU I didapat defleksi maksimum = 0,96 mm, defleksi *ground clearance* = 0,6415 mm, tegangan maksimum = 22,563

MPa, regangan maksimum = $11,65e-5$ mm/mm. Dengan beban 700 N terhadap *chassis* Mesin USU II didapat defleksi maksimum = 3,29 mm, defleksi *ground clearance* = 2,236 mm, tegangan maksimum = 53,217 MPa, regangan maksimum = $26,71e-5$ mm/mm. Dengan beban 25 kN terhadap *chassis* Mesin USU I didapat defleksi maksimum = 31,542 mm, defleksi *ground clearance* = 21,682 mm, tegangan maksimum = 741,59 MPa, regangan maksimum = $371,12e-5$ mm/mm. Dengan beban 3,8 kN terhadap *chassis* Mesin USU II didapat defleksi maksimum = 17,074 mm, defleksi *ground clearance* = 11,582 mm, tegangan maksimum = 277,64 MPa, regangan maksimum = $139,39e-5$ mm/mm. Kesimpulan dari penelitian ini adalah efek dari pembebanan *chassis* dapat diketahui melalui simulasi dengan perangkat lunak Ansys dengan pemodelan geometri gambar yang benar.

Penelitian yang dilakukan oleh Yulianto dan Winarso (2012) yang berjudul “Analisa Tegangan Pada Rangka *Prototype* Kendaraan *Buge* Menggunakan Elemen Hingga”, didapat hasil sebagai berikut: Kendaraan roda tiga (*Three Wheelers*) adalah salah satu kendaraan dengan inovasi dan teknologi terbaru yang saat ini berkembang. Kendaraan roda tiga ini didesain berdasarkan konsep kendaraan roda tiga untuk stabilitas, keselamatan dan kemampuan pengendalian maksimum dengan lebar total sekitar 1300 mm. Rancangan *prototype* ini memadukan konsep kendaraan *buge* dengan ATV dimana suspensi bagian depan dirancang menggunakan dua *shock breaker* dengan lengan ayun di kiri dan kanan yang mampu bergerak dinamis layaknya ATV. Analisis pada rangka *prototype* kendaraan *buge* ini dilakukan dengan menggunakan *finite elemen software*. Tujuannya untuk mengetahui deformasi yang terjadi serta daerah kritis dan daerah aman pada rangka.

Berat beban yang digunakan sebesar 1000 N yang merupakan berat penumpang 800 N dan berat mesin 200 N. Bahan yang digunakan adalah baja ST 42 dengan modulus elastisitas 200000 MPa, *Poisson ratio* 0.27, dan *yield strength* 415 MPa. Setelah proses analisis dilakukan, diperoleh tegangan *von Mises* maksimum (SMX) sebesar 78.518 MPa pada batang L46 (lengan ayun depan), Tegangan terendah (SMN) sebesar 0.079775 MPa pada batang L22 (dudukan jok), *defleksi* yang terjadi (DMX) sebesar 3.745 mm, dan diperoleh faktor keamanan (*safety factor*) sebesar 5.285.

Berdasarkan tinjauan pustaka diatas dapat disimpulkan bahwa dalam perancangan *chassis* sebuah kendaraan hemat energi memerlukan bantuan *software* untuk menganalisis kekuatan statis. *Software* yang digunakan dalam penelitian terkait sangatlah beragam antara lain *software Autodesk Inventor, Catia, dan ANSYS*. Setiap *Software* memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing. Penelitian yang akan penulis lakukan yaitu menggunakan *software ANSYS*. *Software ANSYS* dipilih karena memiliki keunggulan dibanding *software* sejenis yaitu hasil *meshing* yang lebih halus sehingga akan mempengaruhi hasil *output* analisis yang lebih valid. Tujuan utama menganalisis statis pada struktur *chassis* kendaraan kategori *prototype Warak Team* adalah menentukan nilai tegangan dan nilai regangan pada suatu material, mengetahui nilai deformasi akibat pembebanan statis pada struktur, mengetahui *safety factor* yang nilainya lebih dari satu sehingga aman guna diikuti Kompetisi Mobil Hemat Energi (KMHE) dan memperoleh hasil dari analisis statis serta kesimpulan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Chassis / Frame*

Francis, dkk (2014: 41), *Chassis* adalah istilah Perancis dan pada awalnya digunakan untuk menunjukkan bagian *frame* (bingkai) atau Struktur Dasar kendaraan yang mana merupakan tulang punggung kendaraan. Kendaraan tanpa bodi disebut *Chassis*. Komponen kendaraan seperti motor listrik, sistem transmisi yang terdiri dari *gearbox* kopling, poros baling-baling dan poros belakang, roda dan ban, penangguhan, sistem pengendalian seperti pengereman, kemudi dll., dan bagian-bagian sistem kelistrikan juga ditopang oleh rangka *Chassis*. *Chassis* merupakan tempat pemasangan utama untuk semua komponen termasuk bodi kendaraan sehingga disebut sebagai unit pembawa. *Chassis* membantu menjaga kendaraan tetap *rigid*, kaku, dan tidak melengkung. Selain itu *chassis* juga berfungsi memastikan lebih sedikit suara (*noise*), getaran, dan kekerasan di seluruh kendaraan. Bingkai *chassis* terdiri dari anggota sisi yang terpasang dengan serangkaian anggota silang. Seiring dengan kekuatan, pertimbangan penting dalam desain *chassis* adalah untuk meningkatkan karakteristik kekakuan (tekukan dan torsi). Kekakuan torsional yang memadai diperlukan untuk memiliki karakteristik penanganan yang baik. Biasanya *chassis* dirancang berdasarkan kekuatan dan kekakuan. Dalam prosedur desain konvensional, desain didasarkan pada kekuatan dan penekanan yang kemudian diberikan untuk meningkatkan kekakuan sasis, dengan sedikit pertimbangan terhadap berat *chassis*. Salah satu prosedur desain tersebut melibatkan penambahan anggota struktur silang ke *chassis* yang ada untuk meningkatkan kekakuan torsionalnya. Akibatnya berat *chassis* meningkat. Peningkatan berat ini mengurangi efisiensi bahan bakar dan meningkatkan biaya

karena bahan tambahan. Desain *Chassis* dengan kekakuan dan kekuatan yang memadai diperlukan.

Patel dan Patel (2012: 5), *chassis* kendaraan biasanya mengacu pada bodi bawah kendaraan termasuk ban, mesin, rangka, *driveline*, dan suspensi. Dari semua ini, rangka menyediakan dukungan yang diperlukan untuk komponen kendaraan yang diletakkan di atasnya. Selain itu *chassis* harus cukup kuat untuk menahan guncangan, putaran, getaran dan tekanan lainnya. Kerangka *chassis* terdiri dari anggota sisi yang dilampirkan dengan serangkaian anggota silang. Analisis tegangan menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM) dapat digunakan untuk menemukan titik kritis yang memiliki tekanan tertinggi. Titik kritis ini adalah salah satu faktor yang dapat menyebabkan kegagalan kelelahan. Besarnya tegangan dapat digunakan untuk memprediksi masa pakai *chassis*. Keakuratan masa prediksi *chassis* tergantung pada hasil analisis tegangannya.

Berdasarkan Regulasi Teknis KMHE (KMHE, 2018: 18) pasal 26 tentang persyaratan kekuatan dan kekakuan Rangka *Chassis/Monocoque* antara lain sebagai berikut

- a. Rangka/*chassis/monocoque* kendaraan memiliki kekakuan dan kekuatan yang dapat melindungi bodi pengemudi secara efektif apabila terjadi tabrakan yang meliputi dampak depan, dampak samping dan atau *rollover* kendaraan. Penyelenggara tidak akan mengizinkan kendaraan yang konstruksinya tidak aman. *Monocoque* merupakan konstruksi penopang beban struktur menggunakan bodi cangkang sebagai pengganti rangka *chassis*.

- b. *Chassis* kendaraan harus dilengkapi dengan *roll bar* yang memanjang berjarak sekitar 5 cm di sekitar helm pengemudi yang duduk pada posisi mengemudi normal dengan sabuk pengaman terpasang.
- c. *Roll bar* harus melebar melebihi bahu pengemudi ketika pengemudi duduk pada posisi mengemudi normal dengan sabuk pengaman terpasang. *Roll bar* yang diperbolehkan yaitu jenis pipa atau panel. *Roll bar* jenis pipa harus dibuat dari bahan logam sedangkan *roll bar* jenis panel adalah struktur kaku yang memisahkan ruang kemudi dengan ruang *engine* dan konstruksinya harus menyatu dengan rangka *chassis* kendaraan atau *monocoque*.
- d. *Roll bar* harus dapat menahan beban statis sebesar 700 N (70 kg) pada arah vertikal, horizontal (pada segala arah) atau tegak lurus tanpa mengalami deformasi.
- e. *Chassis/monocoque* harus cukup lebar atau Panjang untuk melindungi badan pengemudi jika mengalami tabrakan samping atau depan.

Menurut Daryanto dalam Adriana, dkk (2017: 130) Rangka merupakan struktur yang ujung-ujungnya disambung kaku. Semua batang yang disambung secara kaku harus mampu menahan gaya aksial, gaya normal, dan momen. Sehingga dibutuhkan material yang kuat untuk memenuhi spesifikasi tersebut. Ada beberapa fungsi utama rangka (*chassis*), antara lain sebagai berikut :

1. Sebagai landasan untuk meletakkan bodi kendaraan, mesin, sistem transmisi, tangki bahan digunakan pada mobil.
2. Penahan torsi dan mesin, aksi percepatan perlambatan, dan juga menahan kejutan yang diakibatkan bentuk permukaan jalan.

3. Peredam dan menyerap energi akibat beban kejut yang diakibatkan benturan dengan benda lain.

Rangka pada kendaraan pada umumnya mempunyai konstruksi yang sederhana terdiri dari bagian yang membujur dan melintang. Bagian yang membujur umumnya mengikat bagian yang melintang agar konstruksi *chassis* lebih kokoh dan kuat menahan beban. Menurut Daryanto dalam Adriana, dkk (2017: 130) *Chassis* harus memenuhi beberapa persyaratan agar dapat berfungsi sebagai mestinya. Adapun persyaratan *chassis* adalah sebagai berikut:

1. Kuat dan kokoh, sehingga mampu menopang mesin beserta kelengkapan kendaraan lainnya, menyangga penumpang maupun beban tanpa mengalami kerusakan atau perubahan bentuk.
2. Ringan, sehingga tidak terlalu membebani mesin (meningkatkan efektivitas tenaga yang dihasilkan mesin)

2.2.2 Jenis-Jenis Rangka

Menurut Saputra, dkk (2017: 3), *Frame* atau rangka kendaraan terdiri dari beberapa jenis antara lain:

1. *Ladder frame*
2. *Monocoque*
3. *Tubular space frame*
4. *Backbone chassis*
5. *Aluminium space frame*

1. *Ladder Frame*

Menurut Smith dalam Adriana, dkk (2017: 129) *Ladder Frame* atau lebih sering dikenal dengan rangka tangga (H), disebut rangka tangga karena bentuknya yang menyerupai tangga dengan dua batangan panjang yang menyokong kendaraan dan menyediakan dukungan yang kuat dari berat beban, umumnya digunakan pada mobil-mobil yang bermuatan berat. *Ladder frame* merupakan *chassis* paling awal yang digunakan sekitar tahun 1960-an, namun sampai sekarang masih banyak digunakan pada kendaraan saat ini. Bahan material yang paling umum untuk jenis *ladder frame* ini adalah material dengan bahan baja ringan, dua batang memanjang tersebut merupakan bagian yang utama untuk menahan beban longitudinal akibat percepatan dan pengereman. Sedangkan batang melintang hanya menahan agar *chassis* tetap dalam keadaan rigid/kaku.

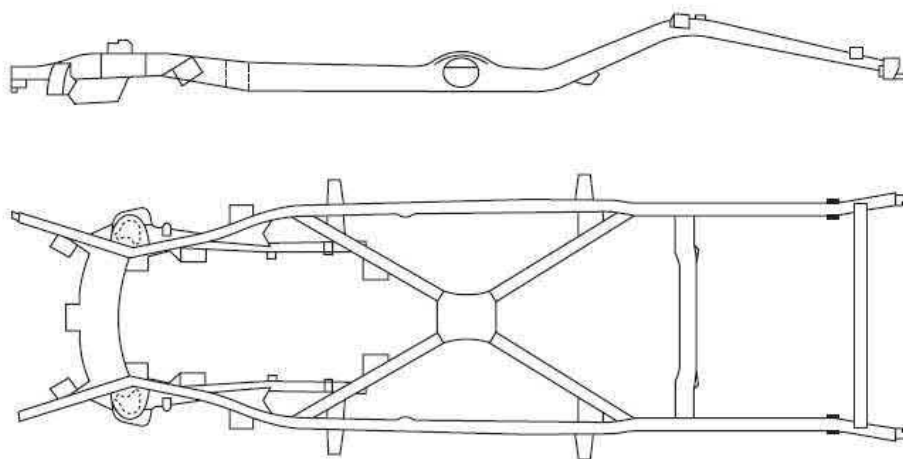
Berikut adalah salah satu contoh *Ladder Frame* modern yang biasa digunakan pada mobil *pickup* dan SUV dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Ladder Frame*

Chassis Ladder Frame ini ada juga penambahan komponen untuk lebih menguatkan *chassis* yaitu dengan cara penambahan penguatan palang X. Hal ini dimungkinkan untuk merancang kerangka untuk membawa beban torsi di mana tidak ada unsur *frame* dikenakan saat torsi. Palang X yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini terbuat dari dua balok lurus dan hanya akan memiliki beban lentur diterapkan pada balok.

Jenis *frame* ini memiliki kekakuan torsi yang baik terbagi di pusat rancangan *frame ladder*. Perlu dicatat bahwa beban lentur maksimum terjadi pada bagian sambungannya oleh karena itu bagian sambungan (*joint*) menjadi kritis. Menggabungkan sifat dari penguatan palang X dengan *ladder frame* membantu dalam memperoleh kedua sifat baik beban lentur dan torsi. Dapat dilihat pada gambar 2.2 balok silang di bagian depan dan belakang tidak hanya membantu pada saat terjadi torsi tetapi juga membantu dalam membawa beban lateral dari suspensi titik pemasangan.



Gambar 2.2 *Ladder Frame* dengan palang X

2. *Tubular Space Frame*

Menurut Wakeham dalam Fadila dan Syam (2013: 71) *Tubular Space Frame* memakai berbagai macam pipa *circular* (terkadang memakai bentuk *square tube* agar mudah disambung, meskipun begitu bentuk *circular* memiliki kekuatan begitu besar). Posisinya yang berbagai arah menghasilkan kekuatan mekanikal untuk melawan gaya dari berbagai arah. Pipa tersebut dilas sehingga terbentuk struktur yang kompleks.



Gambar 2.3 *Tubular Space Frame*

3. *Monocoque*

Menurut Wakeham dalam Fadila dan Syam (2013: 71) *Monocoque* merupakan satu kesatuan struktur *chassis* dari bentuk kendaraannya sehingga *chassis* ini memiliki bentuk yang beragam yang menyesuaikan dengan body mobil. Meskipun terlihat seperti satu kesatuan dari rangka dan *body* mobilnya, namun sebenarnya *chassis* ini dibuat dengan menggunakan pengelasan melalui proses otomatisasi sehingga hasil pengelasan yang berbentuk sempurna dan terlihat seperti tidak ada hasil pengelasan.

Material yang digunakan adalah baja sedangkan pada *chassis* lain digunakan campuran material antara baja dengan aluminium sehingga bobotnya lebih ringan. Kelemahan lainnya adalah tidak mungkin untuk pembuatan mobil bersekala kecil karena membutuhkan proses produksi menggunakan robot. Sebagai contoh dapat dilihat pada gambar 2.4. Dimana *chassis* ini terlihat kesatuan struktur yang menyawa mulai dari bagian depan hingga belakang dimana merupakan produk massal untuk kebutuhan transportasi pada umumnya.



Gambar 2.4 *Chassis Monocoque*

4. *Backbone*

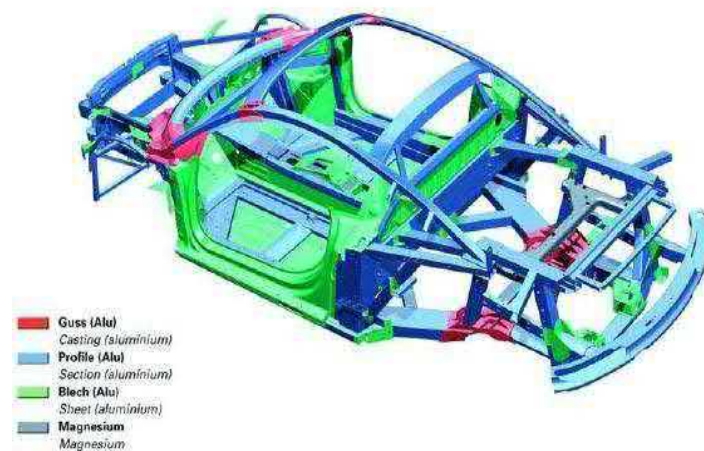
Menurut Brown dalam Fadila dan Syam (2013: 71) *Chassis Backbone* adalah aplikasi langsung dari teori jenis rangka pipa. Ide awalnya adalah dengan membuat struktur depan dan belakangnya yang terhubung dengan sebuah rangka tube yang melintang disepanjang mobil. Tidak seperti transmisi tunnel, *chassis backbone* ini hampir seluruhnya adalah struktur kaku dan dapat menahan semua beban. Ini terdapat beberapa lubang yang kontinu. Karena begitu sempit dindingnya umumnya dibuat tebal. *Chassis Backbone* memiliki kekakuan dari luas area bagian “*backbone*” itu sendiri.



Gambar 2.5 Chassis Backbone

5. Aluminium Chassis Frame

Chassis jenis ini pertama kali dikembangkan oleh perusahaan mobil Audi bersama-sama dengan perusahaan pembuat aluminium Alcoa. Menurut Nunney dalam Fadila dan Syam (2013: 72) *Aluminium Chassis Frame* dibuat untuk menggantikan *chassis* baja *monocoque* karena untuk menghasilkan sebuah rangka yang ringan. *Aluminium Space Frame* diklaim 40% lebih ringan dibanding dengan rangka baja *monocoque* namun 40% lebih rigid. Berikut adalah *Aluminium Chassis frame* yang ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Aluminium Chassis Frame

2.2.3 Konsep Tegangan Regangan

2.2.3.1 Tegangan

Saputra, dkk (2017: 3), menyatakan bahwa tegangan atau sering disebut dengan *stress* dilambangkan dengan σ yang memiliki satuan N/m^2 . Konsep tegangan dapat diilustrasikan dalam bentuk yang paling sederhana seperti pada sebuah batang prismatis yang diberikan/mengalami gaya aksial. Batang prismatis adalah sebuah elemen struktur lurus yang mempunyai penampang konstan di seluruh panjangnya, sedangkan gaya aksial adalah beban yang mempunyai arah yang sama dengan sumbu elemen, sehingga pada batang tersebut akan mengalami tarikan atau tekanan.

Tegangan yang terjadi pada suatu benda dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana:

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

F = Gaya (N)

A = Luas Penampang (m^2)

2.2.3.2 Regangan

Saputra, dkk (2017: 3), Regangan atau *strain* dilambangkan dengan ϵ . Regangan pada suatu benda terjadi jika benda tersebut mengalami perubahan panjang akibat diberikan beban secara aksial. Sama halnya dengan tegangan, regangan juga mengalami tekanan dan tarikan. Jika batang mengalami tarikan maka

regangannya disebut regangan tarik yang menunjukkan perpanjangan benda. Namun apabila benda mengalami tekanan, maka regangannya disebut dengan regangan tekan yang menunjukkan benda tersebut mengalami pemendekan.

Regangan dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

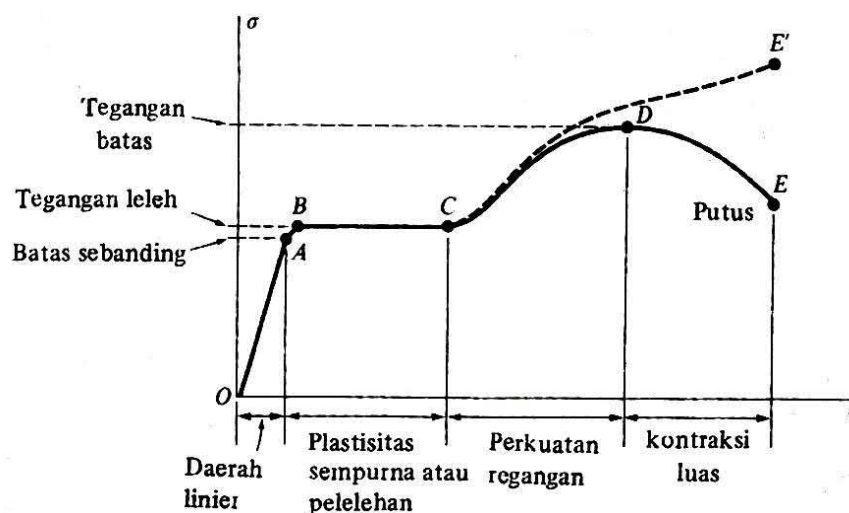
Dimana :

ε = Regangan

ΔL = Pertambahan Panjang (mm)

L = Panjang mula-mula (mm)

Menurut Gere dan Timoshenko (1997: 13), Secara umum hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada diagram tegangan – regangan berikut ini



Gambar 2.7 Diagram Tegangan Regangan. (Gere dan Timoshenko, 1997: 13)

Dari diagram regangan gambar 2.7 diketahui pemberian beban sampai batas sebanding akan mempercepat regangan setiap pertambahan tegangan, akibatnya

jika tegangan melebihi batas sebanding maka terjadi kurva kemiringan sampai dititik B (tegangan leleh), dari kurva titik B terjadi regangan yang sangat besar sampai pada titik C tanpa adanya tegangan, gejala tersebut dinamakan pelelehan bahan. Setelah mengalami regangan yang besar di daerah BC, maka baja akan mengalami perkuatan regangan yang menghasilkan bertambahnya tahanan bahan terhadap deformasi selanjutnya. Akhirnya pembebanan mencapai nilai maksimum pada titik D yang disebut tegangan batas, jika penarikan bahan itu dilakukan sebenarnya diikuti dengan pengurangan beban dimana terjadi proses *necking* atau kontraksi luas, membuat bahan menjadi putus dititik E. jika luas penampang sebenarnya pada bagian sempit dari kontraksi luas digunakan untuk menghitung tegangan, maka kurva tegangan regangan sebenarnya akan mengalami seperti garis terputus-putus CE' .

2.2.3.3 Deformasi

Saputra, dkk (2017: 3), Benda yang diberikan beban akan mengalami suatu perubahan dari bentuk awalnya, baik yang berupa perubahan bentuk maupun ukuran atau berdeformasi. Bertambahnya ukuran benda akibat mengalami pembebanan disebut dengan perpanjangan atau elongasi. Sebaliknya, apabila ukuran benda setelah mendapatkan beban menjadi pendek disebut dengan pemendekan atau kontraksi.

Selama mengalami proses deformasi, beban akan menyerap energi sebagai akibat dari adanya gaya yang bekerja sehingga benda tersebut akan mengalami

perubahan bentuk dan dimensi. Perubahan bentuk secara fisik pada benda dibagi menjadi dua, yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis.

Elastisitas bahan sangat ditentukan oleh modulus elastisitas atau yang sering disebut dengan modulus young yang dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana:

E = Modulus elastisitas

σ = Tegangan (N/m^2)

ε = Regangan

2.2.3.4 Teori *Von Misses*

Saputra, dkk (2017: 4), Teori kegagalan material ini dikemukakan oleh *Von Misses* tahun 1913 yang menyatakan bahwa akan terjadi luluh pada benda jika tegangan yang diterima benda tersebut melampaui kekuatan luluh benda tersebut. Teori *Von Misses* ini sering digunakan untuk memprediksi faktor keamanan dari suatu material pada benda.

Adapun rumus yang digunakan untuk mengetahui faktor keamanan adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_e}$$

Dimana: η = Faktor Keamanan

S_y = Tegangan luluh material (N/m^2)

σ_e = Tegangan *Von Misses* maksimum (N/m^2)

2.2.3.5 Faktor Keamanan

Menurut Shigley dan Mitchell (1983: 11), Kekuatan (*strength*) adalah suatu sifat atau propertis dari satuan bahan atau elemen mesin. Kekuatan suatu elemen mesin tergantung dari pemilihan, perlakuan, dan pengerjaan yang dilakukan terhadap bahan tersebut. Kekuatan adalah sesuatu sifat yang melekat pada suatu benda tertentu (*strength is an inherent property of a part*) suatu sifat yang terbentuk pada benda tersebut karena penggunaan bahan tertentu dan proses tertentu pada benda tersebut.

Shigley dan Mitchell (1983: 11) menyatakan bahwa faktor keamanan adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi kewanaman dari suatu bagian mesin. Sebuah elemen mesin diberi efek yang berupa gaya, momen puntir, momen lentur, kemiringan, lendutan, atau distorsi yang dinotasikan dengan F . Apabila nilai F dinaikan sampai suatu besaran tertentu maka akan mengganggu kemampuan bagian mesin tersebut untuk melakukan fungsinya. Apabila batasan tersebut dinyatakan sebagai batasan akhir, maka harga F sebagai f_u , maka faktor keamanan dapat dinyatakan sebagai berikut

$$n = \frac{F_u}{F} \quad (1-1)$$

Apabila F sama dengan F_u , $n=1$, dan pada saat ini tidak ada keamanan sama sekali. Akibatnya sering dipakai istilah *batas keamanan (margin of safety)*. Batas keamanan dinyatakan dengan persamaan:

$$m = n - 1 \quad (1-2)$$

Istilah faktor keamanan dan batas keamanan banyak dipakai dalam praktek industri. Suatu faktor keamanan dengan $n > 1$ tidak menghalangi terjadinya kegagalan. Faktor keamanan banyak digunakan untuk membandingkan tegangan dan kekuatan untuk menaksir angka keamanannya.

$$\sigma = \frac{S}{n} \quad \text{atau} \quad \tau = \frac{S_s}{n}$$

Tegangan σ dan τ disebut tegangan aman (*safety stresses*) atau tegangan perancangan (*design stress*). S_s adalah suatu tegangan geser.

Misalkan sebuah elemen diberikan efek yang kita sebut sebagai F (F dapat berupa suatu gaya, momen puntir, momen lentur, kemiringan, lendutan, atau semacam distorsi). Pada kondisi ini, jika F dinaikkan, sampai suatu besaran tertentu yang jika dinaikkan lagi sedikit saja akan mengganggu kemampuan bagian mesin tersebut untuk melakukan fungsinya secara semestinya. Jika batasan ini dinyatakan sebagai batas akhir harga F atau disebut F_u , maka faktor keamanan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{F_u}{F}$$

Bila F sama dengan F_u , $n = 1$, pada saat ini tidak ada keamanan sama sekali sehingga sering dipakai istilah batas keamanan (*margin of safety*). Batas keamanan dinyatakan dengan persamaan:

$$m = \eta - 1$$

Secara teoritis nilai faktor keamanan yang digunakan dalam skala industri adalah minimal 4. Adapun sebagai pedoman, untuk menentukan faktor keamanan suatu struktur yang akan dirancang dapat menggunakan aturan berikut:

- a. $n = 1,25$ hingga $2,0$ untuk perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data perancangan.
- b. $n = 2,0$ hingga $2,5$ untuk perancangan elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan tingkat kepercayaan rata-rata untuk semua data perancangan.
- c. $n = 2,5$ hingga $4,0$ untuk perancangan struktur statis atau elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beban, sifat-sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.
- d. $n = 4,0$ atau lebih untuk perancangan struktur statis atau elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beberapa kombinasi beban, sifat-sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.

Dalam analisis statis *chassis* mobil kategori *prototype* Warak Team, angka keamanan yang digunakan adalah minimal 1. Menurut Shantika dkk (2017: 11), faktor keamanan (*safety factor*) merupakan faktor yang diberikan kepada suatu desain konstruksi sebagai jaminan dalam proses desain. Harga faktor keamanan yang diberikan harus lebih besar dari 1(satu). Faktor keamanan didapatkan dari perbandingan tegangan luluh (*yield strength*) suatu material dengan tegangan yang terjadi (*actual strength*) pada suatu desain konstruksi tersebut. Sedangkan menurut Dobrovolsky dalam Shantika, dkk (1998), faktor keamanan diberikan

kepada suatu desain biasanya berdasarkan jenis pembebanan yaitu pembebanan statis: 1,25 sampai 2, pembebanan Dinamis: 2 sampai 3 dan pembebanan kejut: 3 sampai 5.

2.2.3.6 Rasio Tegangan

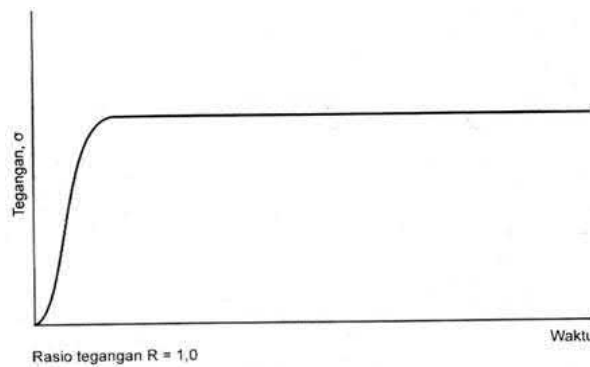
Faktor-faktor utama yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan jenis pembebanan yang akan diterima suatu komponen mesin adalah pola variasi beban dan variasi tegangan yang dihasilkan dengan waktu. Variasi tegangan tersebut ditunjukkan oleh empat nilai penting sebagai berikut:

- a. Tegangan maksimal, σ_{\max}
- b. Tegangan minimal, σ_{\min}
- c. Tegangan rata-rata, σ_m
- d. Tegangan bolak-balik, σ_a (amplitudo tegangan)

Tegangan maksimal dan minimal biasanya dihitung berdasarkan informasi yang diketahui dengan analisis tegangan atau metode elemen hingga, atau diukur dengan menggunakan teknik-teknik analisis tegangan eksperimental. Setelah itu, tegangan rata-rata dan tegangan bolak-balik dapat dihitung dari:

$$\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2$$

$$\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$$



Gambar 2.8 Tegangan statis.

Perilaku suatu bahan yang mengalami berbagai tegangan bergantung pada cara bervariasinya. Salah satu metode yang digunakan untuk menggolongkan variasi tersebut adalah rasio tegangan (*stress ratio*). Ada dua jenis rasio tegangan yang umum digunakan, yaitu:

$$\text{Rasio Tegangan } R = \frac{\text{tegangan minimal}}{\text{tegangan maksimal}} = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

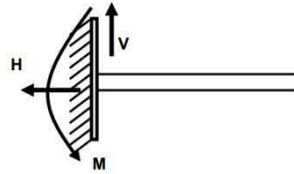
$$\text{Rasio Tegangan } R = \frac{\text{tegangan bolak balik}}{\text{tegangan rata-rata}} = \frac{\sigma_a}{\sigma_m}$$

Apabila suatu komponen menerima beban yang diberikan secara lambat, tanpa kejutan dan ditahan pada nilai yang konstan, maka tegangan yang dihasilkan pada komponen tersebut disebut tegangan statis (*static stress*).

2.2.3.7 Tumpuan

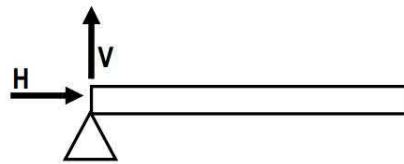
Tumpuan atau perletakan adalah lokasi pada struktur diletakkan, sebagai pendukung yang menyalurkan akibat beban luar ke bagian pendukung lainnya. Konstruksi tumpuan dalam desain dibedakan beberapa macam. Tiga diantaranya adalah:

- a. Tumpuan jepit adalah tumpuan yang dapat menahan gaya dalam segala arah dan dapat menahan momen.



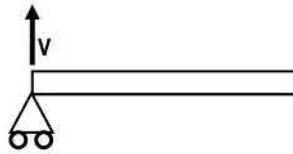
Gambar 2.9 Pemodelan tumpuan jepit

- b. Tumpuan sendi adalah tumpuan yang dapat menerima gaya dari segala arah, akan tetapi tidak mampu menahan momen.



Gambar 2.10 Pemodelan tumpuan sendi

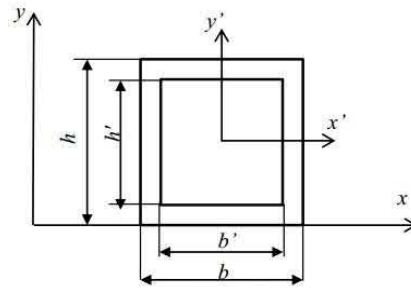
- c. Tumpuan Rol adalah tumpuan yang hanya dapat menahan gaya bekerja tegak lurus vertikal dan tidak dapat menahan momen.



Gambar 2.11 Pemodelan tumpuan rol

2.2.3.8 Momen Inersia Penampang *Hollow Segiempat*

Menurut Fadila dan Syam (2013: 73) Untuk luas penampang dari *chassis* utama yang merupakan aluminium *hollow* persegi dapat dilihat pada gambar 2.12.

Gambar 2.12 Penampang *chassis* utama

Untuk luas penampang persegi panjang rumus inersia luas panjangnya adalah :

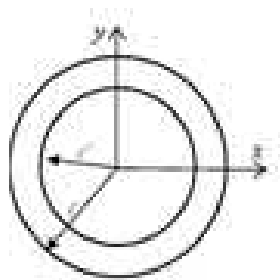
$$L = I_{x'} = 1/2 bh^3$$

Dengan adanya dimensi dari penampang chassis utama maka dapat dicari momen inersia luas penampang chassis utama. Untuk luas penampang persegi panjang rumus inersia luas penampangnya adalah:

$$L = I_{x'} = 1/2 bh^3 - 1/2 b'h'^3$$

2.2.3.9 Momen Inersia Penampang *Hollow* Lingkaran

Menurut Fadila dan Syam (2013: 73) Untuk luas penampang dari *rollbar* yang merupakan aluminium *hollow* lingkaran dapat dilihat pada gambar 2.13

Gambar 2.13 Penampang *rollbar*

Untuk luas penampang lingkaran rumus inersia luas penampangnya adalah :

$$I = \frac{\pi r^4}{4}$$

maka dari persamaan diatas dapat dicari momen inersia luas penampang *rollbar*:

$$I = \frac{\pi(r^4 - r'^4)}{4}$$

2.2.4 Kompetisi Mobil Hemat Energi

Kompetisi mobil hemat energi merupakan sebuah *event* lomba irit bahan bakar yang secara rutin diadakan oleh Kemenristekdikti yang bekerjasama dengan perguruan tinggi tertentu yang telah ditunjuk sebelumnya. Kegiatan ini diikuti oleh mahasiswa dari seluruh Universitas/Institut/Politeknik di Indonesia yang memenuhi persyaratan yang diseleksi oleh panitia. Kemampuan untuk merancang dan membangun kendaraan yang irit, aman, dan ramah lingkungan merupakan kemampuan yang harus dimiliki oleh seluruh peserta dalam kegiatan ini. Kompetisi Mobil Hemat Energi ada dua kategori yaitu kategori *prototype* dan kategori *urban concept*. (Regulasi Teknis KMHE, 2018: 1).

Kategori *prototype* merupakan kendaraan masa depan dengan desain khusus yang memaksimalkan efisiensi. Kelas mesin penggerak kategori *prototype* antara lain: Motor Pembakaran Dalam (MPD) *Gasoline*, MPD *Diesel*, MPD Etanol, Motor Listrik. Sedangkan kategori *urban concept* merupakan kendaraan roda empat yang tampilannya mirip mobil pada umumnya dan sesuai untuk berkendara di jalanan. Kelas mesin penggerak kategori *urban concept* antara lain: MPD *Gasoline*, MPD *Diesel*, MPD Etanol, Motor Listrik. (Regulasi Teknis KMHE, 2018:1).

Berdasarkan Regulasi Teknis KMHE, (2018: 14) pasal 20 tentang Berat minimal Pengemudi kendaraan kategori *prototype* adalah 50 kg ketika memakai perlengkapan mengemudi yang lengkap, termasuk alat komunikasi. Pemberat akan

ditambahkan pada kendaraan apabila berat minimum tidak tercapai. Sedangkan berat minimal pengemudi kendaraan kategori *urban concept* adalah 70 kg ketika memakai perlengkapan mengemudi yang lengkap, termasuk alat komunikasi. Pemberat akan ditambahkan pada bagasi kendaraan apabila berat minimum tidak tercapai.

Rancangan kendaraan dalam kompetisi diharuskan memperhatikan semua aspek keselamatan pengemudi, keselamatan anggota tim lainnya dan keselamatan penonton. Kendaraan kategori *prototype* harus mempunyai tiga atau empat roda, akan tetapi pada umumnya menggunakan tiga roda yang dibawah kondisi normal harus selalu menempel pada permukaan lintasan, memiliki *zona crumple* minimal 100 mm antara bagian depan bodi dan kaki pengemudi. Sedangkan kendaraan kategori *urban concept* harus mempunyai empat roda yang pada kondisi normal harus selalu menempel pada permukaan lintasan. Roda kelima untuk tujuan apapun tidak diperbolehkan. (KMHE, 2018: 14)

2.2.5 Software ANSYS

Software yang digunakan untuk analisis elemen hingga di industri saat ini sangat beragam sesuai disiplin ilmu masing-masing, termasuk *mechanical engineering*. Salah satu *software* yang tepat untuk masalah seperti ini adalah “CAD/CAE”. CAD (*Computer Aided Design*) merupakan *software* yang dapat digunakan untuk perancangan teknik yang cepat dan akurat, sedangkan CAE (*Computer Aided Engineering*) adalah *software* yang dapat digunakan untuk proses analisis dan simulasi tegangan yang mudah dan efektif.

Menurut Novian dan Rahmawaty (2015: 4) ANSYS adalah suatu *software* komputer umum yang mampu menyelesaikan persoalan-persoalan elemen hingga dari pemodelan hingga analisis. ANSYS digunakan untuk mensimulasikan semua disiplin ilmu fisika baik statis maupun dinamis, analisis struktural (kedua-duanya linier dan *nonlinier*), perpindahan panas, dinamika fluida, dan elektromagnetik untuk para *engineer*.

ANSYS dapat mengimpor data CAD dan juga memungkinkan untuk membangun geometri dengan kemampuan *preprocessing*. Dengan demikian dalam *preprocessor* yang sama, elemen hingga model (jaring alias) yang diperlukan untuk perhitungan dihasilkan. Setelah mendefinisikan beban dan melakukan analisis, hasil dapat dilihat sebagai numerik dan grafis. ANSYS bekerja dengan sistem metode elemen hingga, dimana penyelesaiannya pada suatu objek analisis satu membagi atau memecah objek analisis satu rangkaian kesatuan kedalam jumlah terbatas elemen hingga yaitu menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan dihubungkan dengan *node*. Hasil yang diperoleh dari analisis menggunakan ANSYS berupa pendekatan dengan menggunakan analisa numeric. Ketelitiannya sangat bergantung pada cara memecah model tersebut dan menggabungkannya. (Novian dan Rahmawaty, 2015: 4)

ANSYS adalah *software* yang berfungsi untuk menyelesaikan persoalan mekanis dengan penyelesaian numerik menggunakan metode elemen hingga (Nakasone, dkk, 2006: 37). Penyelesaian analisis suatu objek dilakukan dengan pendeskritisasian, yaitu dengan membagi atau memecah objek analitis satu rangkaian ke dalam jumlah terbatas elemen hingga. Hasil yang diperoleh dari ini

berupa pendekatan dengan menggunakan analisis numerik dan ketelitiannya sangat bergantung pada cara memecah model tersebut dan menggabungkannya.

Menurut Nakasone, dkk (2006: 37), ANSYS adalah paket pemodelan elemen hingga dengan tujuan umum untuk memecahkan berbagai masalah mekanis secara numerik. Masalah-masalah ini termasuk statis / dinamis, analisis struktural (baik linier dan nonlinear), perpindahan panas, dan masalah fluida, serta masalah akustik dan elektromagnetik. Secara umum, solusi elemen hingga dapat dipecah menjadi tiga tahap berikut.

(1) *Preprocessing*: mendefinisikan masalah

Langkah-langkah utama dalam *preprocessing* adalah

- (i) Menentukan titik kunci/garis/area/volume,
- (ii) Menentukan tipe elemen dan material/sifat geometris, dan
- (iii) Garis *mesh*/area/volume sesuai kebutuhan. Jumlah detail yang diperlukan akan tergantung pada dimensi analisis, yaitu, 1D, 2D, *axisymmetric*, dan 3D.

(2) Solusi: menetapkan beban, kendala, dan penyelesaian

Tahap ini diperlukan untuk menentukan beban (titik atau tekanan), kendala (translasi dan rotasi), dan akhirnya menyelesaikan set persamaan yang dihasilkan.

(3) *Postprocessing*: pemrosesan lebih lanjut dan melihat hasilnya

Pada tahap ini untuk melihat hasil antara lain

- (i) daftar perpindahan nodal,

- (ii) gaya dan momen elemen,
- (iii) plot defleksi, dan
- (iv) diagram kontur tegangan atau peta suhu.

2.2.6 Aluminum alloy

Menurut Shigley dan Mitchell (1983: 190), aluminium dan campurannya memiliki karakteristik diantaranya yaitu ketahanan terhadap korosi, dan daya hantar panas dan listriknya yang tinggi. Kepadatan aluminium adalah $0,10 \text{ lb/in}^3$ (2770 kg/m^3), disbanding $0,28 \text{ lb/in}$ (7750 kg/m^3) untuk baja. Aluminium murni mempunyai kekuatan tarik kira-kira 13 kpsi, akan tetapi dapat ditingkatkan dengan pengerjaan dingin dingin dan mencampur bahan lain. Elastisitas modulus aluminium sama seperti campurannya yaitu 10,3 Mpsi yang artinya sepertiga kekakuan baja.

Menurut Niemann, (1981: 103) menyatakan bahwa paduan aluminium memiliki berat jenis yang rendah ($\rho = 27,5 \text{ kg/dm}^3$) dan kekuatan yang relatif tinggi merupakan faktor-faktor yang menyebabkan penggunaannya untuk motor yang bergerak(mobil) dan alat-alat rumah tangga serta untuk bagian yang bergerak cepat, piston dan batang engkol. Ini dapat dilakukan apabila pengurangan bobot dapat menutupi perbedaan harga dengan penggunaan baja dan besi cor. Faktor positif lainnya adalah sifat penghantar listrik dan panas yang baik. Untuk komponen-komponen biasanya digunakan aluminium tempa (*wrought aluminium*) dan aluminium cor. Hanya untuk keperluan khusus digunakan aluminium murni.

Aluminium tidak berkarat seperti besi karena adanya lapisan pelindung dipermukaannya. *Al* tahan terhadap air murni, asam fosfat encer, asam nitrat konsentrat, dioksida belerang dan senyawa nitrogen lainnya, tetapi tidak tahan terhadap air laut, asam anorganik, soda, mortar, dan beton. Pada titik temu dengan logam lain, *Al* perlu dicat atau diisolasi untuk mencegah terjadinya perusakan elektrolisis. *Al* dapat dilap dan di anodasi (*oxidase electrice*). Pengaruh elemen paduan yaitu besi membuat *Al* keras dan getas, timah hitam membuatnya bergelembung tapi memudahkan pengerjaan, tembaga meninggikan kekerasan, magnesium memperbaiki kekuatan dan memudahkan pengerjaan, antimon dan titan ketahanan terhadap air laut dan mangan meninggikan kekuatan dan anti karat.

Paduan aluminium 6061 adalah salah satu paduan yang paling banyak digunakan dalam seri 6000. paduan struktural standar ini, salah satu yang paling fleksibel dari paduan panas yang dapat diobati, sangat populer untuk persyaratan kekuatan sedang hingga tinggi dan memiliki karakteristik ketangguhan yang baik. aplikasi berkisar dari komponen transportasi hingga aplikasi mesin dan peralatan hingga produk rekreasi dan daya tahan pelanggan.

Paduan aluminium alloy 6061 memiliki ketahanan korosi yang sangat baik terhadap kondisi atmosfer dan ketahanan korosi yang baik terhadap air laut. paduan ini juga menawarkan karakteristik finishing yang baik dan merespon dengan baik terhadap anodisasi, namun, di mana penampilan kosmetik sangat penting, pertimbangkan penggunaan paduan 6063. Metode anodisasi yang paling umum termasuk pewarna yang jelas, bening dan berwarna, serta *hardcoat*.

Berikut ini merupakan berat dan intensitas massa aluminium, modulus elastisitas dan rasio *poisson* aluminium, dan besaran mekanis aluminium dipaparkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.1 Berat dan intensitas massa *Aluminium*

Bahan	Berat jenis γ		Massa jenis ρ	
	lb/ft ³	kN/m ³	slugs/ft ³	Kg/m ³
Paduan aluminium	160-180	26 – 28	5,2-5,4	2600-2800
2014-T6, 7075-T6	175	28	5,4	2800
6061-T6	170	26	5,2	2600

Tabel 2.2 Modulus Elastisitas dan Rasio *Poisson Aluminium*

Bahan	Modulus elastisitas E		Modulus elastisitas geser G		Rasio Poisson ν
	Ksi	GPa	Ksi	GPa	
Paduan Aluminium	10.000-11.400	70-79	3.800-4.300	26-30	0,33
2014-T6	10.600	73	4.000	28	0,33
6061-T6	10.000	70	3.800	26	0,3
7075-T6	10.400	72	3.900	27	0,33

Tabel 2.3 Besaran Mekanis *Aluminium*

Bahan	Tegangan Luluh σ_y		Tegangan σ_u	Ultimate	Persen elongasi (2 in. Panjang ukurannya)
	Ksi	GPa	Ksi	GPa	
Paduan Aluminium	5-70	35-500	15-80	100-550	1-45
2014-T6	60	410	70	480	13
6061-T6	40	270	45	310	17
7075-T6	70	480	80	550	11

2.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan landasan teori dan kajian pustaka diatas maka pertanyaan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Apakah rancangan *chassis* mobil Warak *Team* kategori *prototype* kuat, namun dengan bobot ringan ?
2. Apakah hasil perbandingan analisis kekuatan *chassis* mobil Warak *Team* kategori *prototype* menggunakan *software* ANSYS 16.0 ?

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian analisis statis *chassis* kendaraan hemat energi Warak *Team* kategori *prototype* maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisis Perbandingan kekuatan statis pada variasi *design chassis* mobil Warak *Team* kategori *prototype* yaitu untuk hasil pengujian statis *existing design* menggunakan *software* ANSYS 16.0 mengalami kegagalan berupa *error result*. Sedangkan hasil pengujian statis menggunakan *software* ANSYS 16.0 pada variasi desain baru 1 dan variasi desain baru 2 antara lain sebagai berikut: nilai tegangan pada variasi desain baru 2 mengalami penurunan sebesar 91.6 % dibandingkan nilai tegangan pada variasi desain baru 1 pada pembebanan beban 50 kg. Sedangkan nilai regangan variasi desain baru 2 mengalami penurunan sebesar 84.08% dibandingkan variasi desain baru 1 pada pembebanan 50 kg. Selanjutnya nilai deformasi variasi desain baru 2 mengalami penurunan sebesar 56.28 % dibandingkan variasi desain baru 2. Sehingga variasi desain baru 2 lebih baik dibandingkan variasi desain baru 1 karena dari nilai tegangan, regangan dan deformasi yang lebih kecil dibandingkan variasi desain baru 1. Hal tersebut mempengaruhi nilai *safety factor* yang dihasilkan variasi desain baru 2 sebesar 11.445 lebih tinggi dibandingkan nilai *safety factor* variasi desain baru 1 yang nilainya sebesar 0.95421.

2. Rancangan Desain Baru 2 dinyatakan lebih kuat dan aman dibandingkan desain baru 1, karena berdasarkan data analisis statis menggunakan *software* ANSYS 16.0 pada desain baru 2 menghasilkan tegangan maks: 24.443 MPa, regangan: 4.6045e-004, deformasi: 0.62473, dan *safety factor*: 11.455 dinyatakan aman dan kuat menahan beban karena nilai tegangan maks 24.443 MPa lebih kecil dari nilai tegangan luluh material *aluminium alloy* yang nilainya 280 MPa. Hal ini akan berpengaruh pada nilai regangan dan deformasi yang semakin kecil sehingga dapat dipastikan kuat, selain itu nilai *safety factor* diatas 1 menandakan bahwa desain baru 2 dinyatakan aman. Sedangkan desain baru 1 menghasilkan tegangan maks: 293.44 MPa, regangan: 4.1329e-003, deformasi: 1.429 mm, dan *safety factor*: 0.95421 sehingga dapat disimpulkan bahwa desain baru 1 tidak aman dan tidak kuat menahan beban dikarenakan nilai tegangan maks 293.44 MPa lebih besar daripada tegangan luluh material *aluminium alloy* yang nilainya 280 MPa. Nilai tegangan yang besar berbanding lurus dengan nilai regangan dan deformasi yang semakin besar yang mengakibatkan desain mengalami kerusakan dan patah. Selain itu nilai *safety factor* dibawah 1 yang menandakan desain baru 1 tidak aman

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat dijadikan rujukan pada penelitian selanjutnya dengan memperhatikan rancangan desain baru 2 *chassis* kategori *prototype* Warak *Team* disarankan untuk diproduksi guna mengikuti Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) dikarenakan hasil pengujian *safety factor* menunjukkan nilai rata-rata 11 dan massa yang ringan sebesar 19 kg.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriana. M., A. Angkasa, dan Masrianor. 2017. Rancang Bangun Rangka (*Chassis*) Mobil Listrik Roda Tiga Kapasitas Satu Orang. *Jurnal Elemen*. 4(2): 129-133.
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Pertumbuhan Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia*. Jakarta.
- Bagaskoro, B. B., dan J. B. Ariatedja. 2019. Analisis *Torsional Rigidity* dan Uji Tabrak pada *Chassis Go-kart* Tonykart menggunakan *Finite Element Method*. *Jurnal Teknik ITS*. 8(1): 94-99.
- Contractor. A. R., G.P. Rathod, dan T.M. Patel. 2015. Design and Analysis of Ladder Frame Chassis Considering Support at Contact Region of Leaf Spring and Chassis Frame. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)* 12(2): 63-71.
- Dwinanto, A. Y., dan F. B. Muhammad. 2015. Analisis Karakteristik Bodi dan *Chassis* pada *Prototype* Kendaraan Listrik. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 6(2): 119-126.
- Erinofiardi, dan Hendra. 2012. Analisa Defleksi Struktur Tower Transmisi Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 3(2): 362-371.
- 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
- Francis. V., R.K. Rai, A.K. Singh, P.K. Singh, dan H. Yadav. 2014. Structural Analysis of Ladder Chassis Frame for Jeep Using Ansys. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*. 4(4): 41-47.
- Gere, J. M., dan S. P. Timoshenko. 1997. *Mechanic of Material*. Edisi Keempat. PWS Publishing Company. Wadsworth. Terjemahan Suryaatmono, B. 2000. *Mekanika Bahan*. Jilid 1 Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.
- Gosavi, A., A. K. Shrivastava, dan A. K. Sinha. 2014. Structural analysis of six axle trailer frame design and modification for weight reduction. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 4 (1): 523-531.

- Hidayat, T., Nazaruddin, dan Syafri. 2017. Perancangan Dan Analisis Statik Chassis Kendaraan Shell Eco Marathon Tipe Urban Concept. *Jurnal Online Mahasiswa FTEKNIK*. 4 (2): 1-6.
- Hijjah, E. W., dan P. H. Adiwibowo. 2014. Pengaruh Variasi Sudut Elbow Intake Manifold Terhadap Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor Supra X Tahun 2002. *JTM*. 03(02): 140-147.
- KMHE. 2018. *Regulasi Teknis Kompetisi Mobil Hemat Energi 2018*. Diakses dari laman <http://kmhe2018.unp.ac.id/frontend/web/> pada 5 Januari Pukul 20.00 WIB.
- Koumartzakis, G., P. Spanoudakis, dan N. C. Tsourveloudis. 2017. Design and Developmet of a Prototype Electric Vehicle's Chassis. *7th BETA CAE International Conference*. 1-11.
- Kristyadi, T., I. Agustiawan, L. Hartawan, T. Santika, Alexin, dan Mario. 2015. Analisis Tegangan Platform Mobil Listrik Cross Over. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*. Banjarmasin. 1-7.
- Kurniawan, I., A. Noorsetyo, dan W. Arnandi. 2019. Analisis Tegangan Statik *Frame Gokart* Menggunakan *Software Solidwork 2017*. *RIDTEM (Riset Diploma Teknik Mesin)*. 2(1): 1-7.
- Laka, O., Nazaruddin, dan Syafri. 2018. Perancangan dan Analisis Statik Sistem Rangka Mobil Hemat Energi “Asykar Hybrid Universitas Riau”. *JOM FTEKNNIK*. (5)2: 1-6.
- Madenci, E., dan I. Guven. 2015. *The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS*. Edisi Kedua. United States of America: Springer Science Business Media, LLC.
- Muchammad. 2007. Simulasi Efek Turbo Cyclone Terhadap Karakteristik Aliran Udara pada Saluran Udara Sepeda Motor 4 Tak 100 CC Menggunakan Computational Fluid Dynamics. *Jurnal Rotasi*. 9(1) : 6-16.
- Nakasone, Y., S. Yoshimoto, dan T.A. Stolarski. 2006. *Engineering Analysis With ANSYS Software*. Jordan Hill: Elseiver Butterworth-Heinemann.
- Niemann, G. 1981. *Maschinen-Elemente, Band I, Zweite Auflage*. Edisi Kedua. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg. Terjemahan Budiman, A., dan B. Priambodo. 1999. *Elemen Mesin Jilid 1 Disain dan Kalkulasi dari Sambungan, Bantalan, dan Poros*. Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga.

- Novian. M. S., dan Rahmawaty. 2015. Perancangan Sasis Mobil Harapan dan Analisa Simulasi Pembebanan Statik Menggunakan Perangkat Lunak ANSYS 14.0. *Jurnal Biltek*. 4(043): 1-11
- Patel, V.V. dan R.I. Patel. 2012. Structural Analysis of a Ladder Chassis Frame. *World Journal of Science and Technology*. 2(4): 05-08.
- Saputra. I. N.A.A., K. R. Dantes dan I. N. P. Nugraha. 2017. Analisis Tegangan Statik Pada Rancangan *Frame* Mobil Listrik Ganesha Sakti (GASKI) Menggunakan *Software Solidwork*. 2014. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin (JJPTM)*. 8(2): 1-10.
- Setyono, B. dan S. Gunawan. 2015. Perancangan Dan Analisis Chassis Mobil Listrik “Semut Abang” Menggunakan Software Autodesk Inventor Pro 2013. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III 2015*. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. Surabaya. 69-78.
- Shantika, T., E. T. Firmansjah, dan I. Naufan. 2017. Perancangan Chassis Type *Tubular Space Frame* Untuk Kendaraan Listrik. *Jurnal Poros*. 15(1): 9-17.
- Shigley, J. E. dan L. D. Mitchell. 1983. *Mechanical Engineering Design*. Edisi 4. McGraw-Hill, Inc. Terjemahan Harahap, G. 1984 *Perencanaan Teknik Mesin*. Edisi Keempat Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Sugiyono. 2016. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan Kombinasi (Mixed Methods)*. Bandung: Alfabeta.
- Supriyono. 2005. Aplikasi Metode Elemen Hingga Untuk Perhitungan Perambatan Panas Pada Kondisi Tunak. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2005 (SNATI 2005)*. ISBN 979-756-061-6. P3TM BATAN. Yogyakarta. 5-9
- Suryanto, H. 1999. Aplikasi Metode Elemen Hingga untuk Analisa Struktur Statik Linier dengan Program MSC/Nastran. *ResearchGate*. 1-5.
- Suwarso, N.H.E., dan N. M. Wulandari. 2015. Pengaruh pengetahuan dan sikap terhadap niat beli produk ramah lingkungan (Studi kasus pada Pertamina di Kota Denpasar). *E-Jurnal Manajemen Unud*. 4(10): 3119-3145.
- Thavai, R., Q. Shahezaad, M. Shahrukh, M. Arman, dan K. Imran. 2015. Static Analysis of Go-Kart by Analytical and Solid Works Simulation. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*. 5(4): 64-68.

- Tsirogiannis, E. C., G. I. Siasos, G. E. Stavroulakis dan S. S. Makridis. 2018. Lighteigh Design and Welding Manufacturing of a Hydrogen Fuel Cell Powered Cars Chassis. *Journal Challenges*. 9(25): 1-15.
- Tsirogiannis, E. C., G. I. Siasos, G. E. Stavroulakis dan S. S. Makridis. 2019. Electric Car Chassis for Shell Eco Marathon Competition: Design, Modelling and Finite Element Analysis. *World Electric Vehicle Journal*. 10(8): 1-13.
- Yulianto, N., dan R. Winarso. 2012. Analisa Tegangan pada Rangka *Prototype* Kendaraan Buge Menggunakan Elemen Hingga. *SIMETRIS (Jurnal Teknik Industri, Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*. 2(1): 1-9.
- Yusuf, M. R., dan D. H. Sutjahjo. 2013. Perancangan Body Dan Kerangka Prototipe Mobil Tenaga Surya. Universitas Negeri Surabaya. *JRM*. 01(01): 44-49.