



**DESAIN DAN ANALISIS KEKUATAN PADA *LADDER*  
*FRAME CHASSIS* KENDARAAN *HYBRID* ELEKTRIK-  
PNEUMATIK MENGGUNAKAN *SOFTWARE*  
AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2017**

**Skripsi**

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

**Oleh**

**Siti Khoiriah**

**NIM. 5202416033**

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

**2020**



**UNNES**

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



**DESAIN DAN ANALISIS KEKUATAN PADA *LADDER*  
*FRAME CHASSIS* KENDARAAN *HYBRID* ELEKTRIK-  
PNEUMATIK MENGGUNAKAN *SOFTWARE*  
AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2017**

**Skripsi**

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

**Oleh**

**Siti Khoiriah**

**NIM. 5202416033**

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

**2020**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Siti Khoiriah  
NIM : 5202416033  
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif  
Judul : Desain dan Analisis Kekuatan pada *Ladder Frame Chassis*  
Kendaraan *Hybrid* Elektrik-Pneumatik Menggunakan *Software*  
Autodesk Inventor Professional 2017

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

Semarang, 29 Juni 2020

Pembimbing



Dr. Suprpto, M. Pd.

NIP. 195508091982031002

## PENGESAHAN

Skripsi/TA dengan judul Desain dan Analisis Kekuatan pada *Ladder Frame Chassis* Kendaraan *Hybrid* Elektrik-Pneumatik Menggunakan *Software* Autodesk Inventor Professional 2017 telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi/TA Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 29 bulan Juli tahun 2020

Oleh

Nama : Siti Khoiriah  
NIM : 5202416033  
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif

Panitia:

Ketua



Rusiyanto, S.Pd., M.T.  
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197509272006041002

Penguji 1



Drs. Masugino, M. Pd.  
NIP.195207212017091256

Penguji 2



Wahyudi, S.Pd., M. Eng.  
NIP.198003192005011001

Pembimbing



Dr. Suprpto, M. Pd.  
NIP.195508091982031002

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.  
NIP. 196911301994031001

## **PERNYATAAN KEASLIAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Semarang, 15 Juli 2020  
Yang membuat pernyataan,



Siti Khoiriah  
NIM. 5202416033

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **Motto:**

1. Siapa yang bersungguh-sungguh, akan berhasil.
2. Pengorbanan adalah sebagian dari kesuksesan.

### **Persembahan:**

1. Kedua orangtua saya yang telah memberi segala kebahagiaan untuk anaknya.
2. Kedua kakak saya yang selalu memberi kekuatan untuk adiknya.
3. Teman-teman PTO 2016.
4. Seluruh teman dan sahabat di perantauan yang menjadi tempat berbagi dan saling menguatkan.

## RINGKASAN

**Siti Khoiriah. 2020.** Desain dan Analisis Kekuatan pada *Ladder Frame Chassis* Kendaraan *Hybrid* Elektrik-Pneumatik Menggunakan *Software* Autodesk Inventor Professional 2017. Dr. Suprptono, M.Pd. Pendidikan Teknik Otomotif. Fakultas Teknik.

Perancangan *chassis* pada pengembangan kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik belum dilakukan. Merancang sebuah *chassis* juga perlu dilakukan analisis untuk mengetahui kekuatan pada desain *chassis*. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan desain *chassis*, mengetahui hasil analisis kekuatan, dan mengetahui keamanan *ladder frame chassis* dalam menopang beban pada kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017.

Metode yang digunakan adalah simulasi menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017. Mendesain *chassis* dimulai dari studi literatur, penggunaan model rancangan Pahl dan Beitz, melakukan permodelan rangka dan penyesuaian dimensi. Desain *chassis* dianalisis dengan memberikan pembebanan statis yang dilakukan dengan langkah penentuan jenis material, *constraints*, *contacts*, beban, *mesh*, dan melakukan *run* untuk mengetahui hasil *stress analysis*, kemudian dilakukan validasi.

Hasil penelitian pada *software* Autodesk Inventor Professional 2017 menunjukkan bahwa desain *chassis* yang dibuat adalah jenis *ladder frame* yang dapat digunakan untuk kendaraan umum di area kampus. Nilai *von Mises stress* pada material baja AISI 1018 106 HR adalah sebesar 30,06 MPa pada *default mesh*, 29,6 MPa pada *mesh control* 10 mm, dan 29,15 MPa pada *mesh control* 5 mm dengan *displacement* sebesar 0,2643 mm, 0,2704 mm, dan 0,2764 mm, dan *safety factor* sebesar 8,32, 8,45, dan 8,58. Nilai *von Mises stress* pada material baja AISI 1018 118 QT adalah sebesar 30,07 MPa pada *default mesh*, 29,52 MPa pada *mesh control* 10 mm, dan 28,2 MPa pada *mesh control* 5 mm, dengan *displacement* sebesar 0,2644 mm, 0,2699 mm, dan 0,275 mm, dan *safety factor* sebesar 9,64, 9,82, dan 10,29. Desain *chassis* yang dibuat aman dengan pertimbangan bahwa material baja AISI 1018 118 QT lebih aman karena memiliki nilai *von Mises stress* yang relatif sama dengan material baja AISI 1018 106 HR namun memiliki *safety factor* yang lebih tinggi. Saran pada penelitian ini yaitu: Pembuatan *chassis* dengan kebutuhan nilai *safety factor* yang tinggi sebaiknya menggunakan baja AISI 1018 118 QT dibandingkan baja AISI 1018 106 HR. Namun, Baja AISI 1018 106 HR sudah layak digunakan dengan pertimbangan kekuatan tidak jauh berbeda dan *safety factor* sudah di atas 4. Sebaiknya dilakukan perhitungan mendalam pada simulasi *welding* dan *bolting* serta variasi bentuk profil, dimensi, dan material untuk mengetahui rancangan *chassis* yang lebih akurat.

**Kata Kunci** : Autodesk Inventor Professional 2017, *chassis*, desain, kendaraan *hybrid*



## PRAKATA

Puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya, Penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Desain dan Analisis Kekuatan pada *Ladder Frame Chassis* Kendaraan *Hybrid* Elektrik-Pneumatik Menggunakan *Software* Autodesk Inventor Professional 2017. Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin, Wahyudi, S. Pd., M.Eng., Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif atas fasilitas yang disediakan untuk mahasiswa dalam melakukan penelitian.
2. Dr. Suprpto, M.Pd., Pembimbing yang telah berkenan memberi bimbingan, arahan, masukan, dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Drs. Masugino, M.Pd., dan Wahyudi S.Pd., M.Eng., Penguji yang telah berkenan memberikan masukan berupa saran, perbaikan, dan arahan dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak, Ibu, dan Kakak yang selalu memberi doa, semangat, dan motivasi.
5. Seluruh pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

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

Semarang, 15 Juli 2020  
Penulis,

Siti Khoiriah  
NIM. 5202416033

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR BERLOGO</b> .....	ii
<b>JUDUL DALAM</b> .....	iii
<b>PERSETUJUAN PEMBIMBING</b> .....	iv
<b>PENGESAHAN</b> .....	v
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	vi
<b>MOTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	4
1.3 Pembatasan Masalah .....	5
1.4 Rumusan Masalah .....	5
1.5 Tujuan .....	6
1.6 Manfaat .....	6
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b> .....	7
2.1 Kajian Pustaka .....	7
2.2 Landasan Teori .....	11
2.2.1 Perancangan Produk .....	11
2.2.1 Kendaraan <i>Hybrid</i> .....	12
2.2.3 Kendaraan <i>Hybrid Electric-Pneumatic</i> .....	15
2.2.4 <i>Chassis</i> Kendaraan .....	16

2.2.5	Klasifikasi <i>Chassis</i> .....	16
2.2.6	Jenis-Jenis <i>Chassis</i> .....	17
2.2.7	Material Baja sebagai Bahan <i>Chassis</i> .....	21
2.2.8	Simulasi <i>Welding</i> dan <i>Bolting</i> .....	22
2.2.9	<i>Software</i> Autodesk Inventor Professional 2017.....	27
2.2.10	<i>Finite Element Analysis</i> .....	28
2.2.11	Konsep Tegangan-Regangan .....	29
2.2.12	<i>Bending Case</i> .....	30
2.2.12	<i>Von Mises Stress</i> .....	31
2.2.13	<i>Displacement</i> .....	32
2.2.14	<i>Safety Factor</i> .....	33
2.2.15	Landasan Teori Validasi Perancangan.....	34
<b>BAB III</b>	<b>METODE PERANCANGAN</b> .....	<b>35</b>
3.1	Model Rancangan .....	35
3.2	Prosedur Perancangan.....	39
3.3	Validasi Hasil Perancangan .....	45
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>54</b>
4.1	Hasil Perancangan.....	54
4.1.1	Hasil Perancangan <i>Chassis</i> .....	54
4.1.2	Hasil Analisis Kekuatan <i>Chassis</i> .....	58
4.2	Hasil Validasi Perancangan .....	71
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP</b> .....	<b>74</b>
5.1	Simpulan .....	74
5.2	Saran .....	75
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>76</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>80</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisik Baja AISI 1018 .....	22
Tabel 2.2 <i>Chemical Composition of AISI 1018</i> .....	22
Tabel 3.1 Beban Kendaraan .....	37
Tabel 3.2 Detail Desain <i>Chassis</i> Kendaraan <i>Hybrid</i> Elektrik-Pneumatik .....	39
Tabel 3.3 Detail Komponen Pendukung pada Desain <i>Ladder Frame Chassis</i> .....	40
Tabel 3.4 Spesifikasi Komputer .....	41
Tabel 3.5 Instrumen Hasil <i>Stress Analysis</i> .....	44
Tabel 4.1 Dimensi <i>Chassis</i> Kendaraan <i>Hybrid</i> Elektrik-Pneumatik.....	55
Tabel 4.2 <i>Material Properties</i> pada Desain <i>Chassis</i> .....	55
Tabel 4.3 Pembebanan pada <i>Chassis</i> .....	59
Tabel 4.4 Perbedaan Hasil <i>Stress Analysis</i> pada Desain <i>Chassis</i> .....	67

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kendaraan <i>Hybrid</i> tipe Seri.....	13
Gambar 2.2 Kendaraan <i>Hybrid</i> tipe Paralel .....	14
Gambar 2.3 Kendaraan <i>Hybrid</i> tipe Kompleks.....	14
Gambar 2.4 Skema Kendaraan <i>Hybrid Electric-Pneumatic</i> .....	15
Gambar 2.5 <i>Chassis</i> Jenis <i>Ladder frame</i> .....	18
Gambar 2.6 <i>Chassis</i> Jenis <i>Monocoque</i> .....	19
Gambar 2.7 <i>Chassis</i> Jenis <i>Aluminium Space Frame</i> .....	19
Gambar 2.8 <i>Chassis</i> Jenis <i>Backbone</i> .....	20
Gambar 2.9 <i>Chassis</i> Jenis <i>Tubular Space Frame</i> .....	21
Gambar 2.10 Sambungan <i>Fillet Joint</i> .....	23
Gambar 2.11 Skema dan Dimensi Sambungan Las <i>Fillet Joint</i> .....	23
Gambar 2.12 Istilah pada Ulir .....	25
Gambar 2.13 Jenis Sambungan Ulir .....	26
Gambar 2.14 Tampilan Awal <i>Software Autodesk Inventor</i> .....	27
Gambar 2.15 Diagram Tegangan-Regangan.....	30
Gambar 2.16 <i>Bending Case</i> pada Rangka.....	31
Gambar 2.17 <i>Displacement</i> pada Prinsip Superposisi .....	32
Gambar 3.1 Konsep Penempatan Pembebanan Komponen.....	37
Gambar 3.2 Distribusi Pembebanan.....	43
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian .....	45
Gambar 3.4 Permodelan 3D Menggunakan <i>Frame Generator</i> .....	47
Gambar 3.5 Tampilan Proses <i>Assembly</i> pada <i>Tab Assemble</i> .....	47
Gambar 3.6 Simulasi <i>Welding</i> .....	48
Gambar 3.7 Simulasi <i>Bolting</i> .....	48

Gambar 3.8 Tampilan <i>Tab Static Analysis</i> .....	50
Gambar 3.9 <i>Fixed Constraints</i> pada Dudukan Suspensi.....	50
Gambar 3.10 Pemberian Pembebanan pada Dudukan <i>Chassis</i> .....	51
Gambar 3.11 Proses <i>Default Meshing</i> .....	51
Gambar 3.12 Proses <i>Simulate</i> .....	52
Gambar 3.13 Proses <i>Refinement Meshing</i> pada Area Dudukan Suspensi .....	52
Gambar 4.1 Desain <i>Chassis</i> Kendaraan <i>Hybrid</i> Elektrik-Pneumatik .....	54
Gambar 4.2 Sub-Assembly Body Bracket .....	56
Gambar 4.3 Sub-Assembly Front Spring Suspension.....	56
Gambar 4.4 Sub-Assembly Receiver Tank Bracket .....	56
Gambar 4.5 Sub-Assembly Chair Bracket .....	56
Gambar 4.6 Sub-Assembly Rear Spring Suspension.....	56
Gambar 4.7 Sub-Assembly Battery Bracket .....	56
Gambar 4.8 <i>Trough Bolts</i> M10x140 .....	57
Gambar 4.9 Desain 3D Model <i>Chassis</i> Kendaraan <i>Hybrid</i> Elektrik-Pneumatik..	58
Gambar 4.10 Hasil Analisis <i>Von Mises Stress</i> (A) tanpa <i>Mesh Control</i> .....	59
Gambar 4.11 Hasil Analisis <i>Von Mises Stress</i> (A) dengan <i>Mesh Ctrl</i> 10 mm.....	60
Gambar 4.12 Hasil Analisis <i>Von Mises Stress</i> (A) dengan <i>Mesh Control</i> 5 mm .	60
Gambar 4.13 Hasil Analisis <i>Displacement</i> (A) tanpa <i>Mesh Control</i> .....	61
Gambar 4.14 Hasil Analisis <i>Displacement</i> (A) dengan <i>Mesh Control</i> 10 mm.....	61
Gambar 4.15 Hasil Analisis <i>Displacement</i> (A) dengan <i>Mesh Control</i> 5 mm.....	61
Gambar 4.16 Hasil Analisis <i>Safety Factor</i> (A) tanpa <i>Mesh Control</i> .....	62
Gambar 4.17 Hasil Analisis <i>Safety Factor</i> (A) dengan <i>Mesh Control</i> 10 mm .....	62
Gambar 4.18 Hasil Analisis <i>Safety Factor</i> (A) dengan <i>Mesh Control</i> 5 mm .....	63
Gambar 4.19 Hasil Analisis <i>Von Mises Stress</i> (B) tanpa <i>Mesh Control</i> .....	63

Gambar 4.20 Hasil Analisis <i>Von Mises Stress</i> (B) dengan <i>Mesh Ctrl</i> 10 mm.....	64
Gambar 4.21 Hasil Analisis <i>Von Mises Stress</i> (B) dengan <i>Mesh Control</i> 5 mm..	64
Gambar 4.22 Hasil Analisis <i>Displacement</i> (B) tanpa <i>Mesh Control</i> .....	65
Gambar 4.23 Hasil Analisis <i>Displacement</i> (B) dengan <i>Mesh Control</i> 10 mm .....	65
Gambar 4.24 Hasil Analisis <i>Displacement</i> (B) dengan <i>Mesh Control</i> 5 mm .....	65
Gambar 4.25 Hasil Analisis <i>Safety factor</i> (B) tanpa <i>Mesh Control</i> .....	66
Gambar 4.26 Hasil Analisis <i>Safety factor</i> (B) dengan <i>Mesh Control</i> 10 mm.....	66
Gambar 4.27 Hasil Analisis <i>Safety factor</i> (B) dengan <i>Mesh Control</i> 5 mm.....	67
Gambar 4.28 Grafik Nilai <i>Von Mises Stress</i> .....	68
Gambar 4.29 Grafik Nilai <i>Displacement</i> .....	68
Gambar 4.30 Grafik Nilai <i>Safety Factor</i> .....	69

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Penetapan Dosen Pembimbing Skripsi .....	82
Lampiran 2. Surat Tugas Penguji dan Pembimbing Skripsi .....	83
Lampiran 3. <i>Drawing Ladder Frame Chassis Design</i> .....	84
Lampiran 4. <i>Drawing Assembly Hybrid Elektrik-Pneumatik Chassis</i> .....	85
Lampiran 5. Tabel Hasil <i>Stress Analysis</i> .....	86
Lampiran 6. Hasil <i>Stress Analysis Chassis</i> Material Baja AISI 1018 106 HR .....	88
Lampiran 7. Hasil <i>Stress Analysis Chassis</i> Material Baja AISI 1018 118 QT .....	99



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sarana transportasi menjadi kebutuhan setiap manusia untuk menunjang pekerjaannya. Salah satu bentuk transportasi darat adalah kendaraan seperti sepeda, sepeda motor, mobil, kereta, dan lain-lain. Umumnya kendaraan mobil menggunakan mesin pembakaran dalam. Mesin pembakaran dalam ini memiliki kelemahan dalam polusi yang dihasilkan. Pada perkembangannya mesin mobil telah menggunakan teknologi *hybrid* untuk meminimalkan polusi udara yang dihasilkan.

Pengembangan mobil ramah lingkungan seperti mobil listrik, mobil *hybrid*, ataupun mobil *hydrogen* terus dilakukan. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) memperkirakan alasan pemerintah mempercepat program mobil listrik adalah untuk mengurangi tekanan impor Bahan Bakar Minyak (BBM) dan mengurangi efek pemanasan global (Kuswaraharja, 2019).

Kendaraan *hybrid* merupakan kendaraan penggerak ganda. Pada umumnya penggerak yang digunakan adalah mesin pembakaran dalam dan motor listrik. Namun, pada mesin pembakaran dalam dapat menghasilkan polusi. Selain itu, mesin ini bergantung pada minyak bumi yang semakin berkurang.

Salah satu kendaraan ramah lingkungan yang masih dikembangkan adalah kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik. Kendaraan ini menggunakan penggerak ganda yaitu motor listrik dan pneumatik. Selain untuk menggerakkan kendaraan, motor listrik juga berperan dalam pengisian udara sebagai energi awal pada sistem

pneumatik. Sistem pneumatik berfungsi untuk menggerakkan kendaraan sekaligus mengisi baterai agar motor listrik dapat bekerja. Kendaraan ini masih memiliki kelemahan pada efisiensi penggerak pneumatik karena sifatnya yang kompresibel. (Wahyudi, dkk, 2019). Pada penelitian sebelumnya dilakukan simulasi daya dari kendaraan dan belum sampai ke tahap perancangan *chassis* kendaraan. Untuk memaksimalkan penggunaan tenaga, semua komponen yang digunakan pada kendaraan harus direncanakan dengan matang, agar mempunyai berat yang minimum namun memiliki kekuatan yang memenuhi standar desain. Salah satunya adalah pembuatan sistem rangka kendaraan (Laka, dkk, 2018: 1).

*Chassis* adalah komponen pada mobil yang berfungsi sebagai rangka untuk menopang *body* kendaraan (Pandit dan Patel, 2020: 1). Karena *chassis* ini akan menopang kendaraan *hybrid* dengan kapasitas enam penumpang, maka dibutuhkan *chassis* yang kuat namun ringan agar tidak membebani kinerja penghasil tenaga. Oleh karena itu, *chassis* yang digunakan adalah *chassis* jenis *ladder frame*. Menurut Wahyudi dan Fahrudi (2016: 71), *chassis* jenis ini dapat menopang kendaraan dan menyediakanudukan yang kuat dari berat beban serta kelebihan utamanya terletak pada kekuatan. Selain itu, *chassis* jenis ini juga mudah didesain. *Ladder frame* memiliki dua *long member* untuk menahan beban longitudinal akibat percepatan maupun pengereman dan *cross member* untuk menahan agar *chassis* tetap dalam kondisi kaku (Adriana, dkk, 2017: 129).

Mendesain sebuah *chassis* perlu dilakukan analisis untuk mengetahui kekuatan pada desain *chassis*. Rancangan dikatakan aman jika tegangan maksimum lebih kecil dari tegangan izin maksimum material (salimin, dkk, 2018: 6). Pada

material ulet (baja), tegangan izin maksimum material didasarkan pada *yield strength*. Oleh karena itu, selain dari konstruksi *chassis*, tegangan yang diterima oleh *chassis* juga berada di bawah *yield strength* agar *chassis* dapat mempertahankan konstruksinya dalam kurun waktu yang lama.

Besarnya tegangan kerja ketika *chassis* menerima beban bisa digunakan untuk memprediksi masa pakai *chassis* (Ismail, dkk, 2018: 232). Untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada *chassis*, berbagai metode analisis perancangan dapat digunakan, baik manual maupun dengan bantuan komputer. Pesatnya perkembangan komputer dan teknologi simulasi, pengujian struktur *chassis* dapat dilakukan melalui simulasi (Marzuki, dkk, 2018: 1545).

Berbagai program paket pada komputer dapat digunakan untuk membantu kegiatan analisis dan kegiatan lain yang dilakukan dalam fase-fase proses perancangan. Harsokoesoemo (2004: 34) menyatakan bahwa program paket yang digunakan dalam analisis pada langkah-langkah proses perancangan yaitu sebagai berikut: Program *Finite Element Analysis* (FEA), program *Computer Aided Design* (CAD), dan program paket dinamik. Semua program paket ini tersedia pada *software* Autodesk Inventor Professional 2017.

Autodesk Inventor Professional 2017 adalah *software* jenis *Computer Aided Drawing* (CAD) yang lebih menekankan permodelan solid (Wibawa, 2018: 6). Autodesk Inventor menyediakan secara lengkap fasilitas untuk memvisualisasikan permodelan 3D yang dibuat secara digital. Dokumen digital ini membantu dalam memvisualisasikan, mensimulasikan, dan menganalisis suatu rancangan produk. *Software* ini sangat membantu dalam proses perancangan meski tidak dapat

mengganti fungsi perancang sepenuhnya. Harsokoesoemo (2004: 35) mengungkapkan beberapa keuntungan pemakaian sistem CAD pada proses perancangan adalah sebagai berikut: Memperpendek waktu perancangan, meningkatkan produktivitas dan kualitas produk, mengurangi biaya perancangan, dan dapat membuat simulasi model yang dianalisis tanpa membuat prototipe fisik.

Berdasarkan beberapa masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka penulis termotivasi untuk melakukan desain dan analisis kekuatan pada *ladder frame chassis* kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik, yang akan dianalisis menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017. Analisis ini digunakan untuk mengetahui kekuatan pada desain *chassis* dalam menopang beban kendaraan.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Salah satu penyebab polusi udara adalah akibat emisi gas buang dari bahan mesin pembakaran dalam.
2. Belum adanya *chassis* khusus untuk kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik.
3. Mendesain *chassis* tanpa dilakukan analisis tidak dapat mengetahui kekuatan *chassis*.
4. Desain dan analisis struktur *chassis* tanpa menggunakan bantuan *software* memerlukan waktu yang lebih lama.
5. Belum adanya desain dan analisis struktur *chassis* kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017.

### 1.3 Pembatasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Desain dan analisis *chassis* menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017.
2. Analisis dilakukan secara teoritik dengan metode elemen hingga, pengujian hanya dilakukan pada perhitungan komputasi.
3. Desain dan pembahasan *chassis* hanya pada tipe *ladder frame*.
4. Penelitian hanya mendasar pada analisis *von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor*.
5. Data hasil *stress analysis* berupa *von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor* pada *software* Autodesk Inventor Professional 2017 dijadikan sebagai acuan utama untuk menarik kesimpulan dalam penelitian.

### 1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini, adalah sebagai berikut:

1. Adakah teknik mendesain *chassis* kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017?
2. Berapa nilai *von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor* pada desain *chassis* kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik berdasarkan hasil simulasi *stress analysis*?
3. Apakah desain *chassis* yang dibuat aman?

## 1.5 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah, sebagai berikut:

1. Menghasilkan desain *chassis* kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017.
2. Mengetahui nilai *von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor* pada desain *chassis* kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik berdasarkan hasil simulasi *stress analysis*.
3. Mengetahui keamanan *chassis* kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik.

## 1.6 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini baik secara teoritis maupun praktis adalah sebagai berikut:

### 1.6.1 Manfaat teoritis

1. Secara teoritis penelitian ini menghasilkan desain *chassis* yang kuat dan nyaman menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017.
2. Secara teoritis penelitian ini menghasilkan desain *chassis* yang aman saat dikendarai.
3. Secara teoritis penelitian ini menghasilkan desain *chassis* yang memenuhi standar Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3).

### 1.6.2 Manfaat praktis

1. Menambah wawasan dan pengetahuan mengenai analisis kekuatan *chassis* menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017.
2. Menghasilkan desain *chassis* yang memenuhi keselamatan kerja menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka memuat hasil penelitian terdahulu sebagai acuan untuk penelitian yang dilakukan. Sebagai dasar acuan, kajian pustaka yang dikutip harus berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Berikut ini adalah beberapa penelitian yang digunakan sebagai sumber ide untuk memperoleh pemikiran dan gagasan baru, antara lain:

Penelitian yang dilakukan oleh Wahyudi dan Fahrudi (2016) yang berjudul “Studi Eksperimen Rancang Bangun Rangka Jenis *Ladder Frame* pada Kendaraan *Sport*”, didapat kesimpulan sebagai berikut: Penelitian menggunakan *software* Solidworks 2010. Obyek yang dianalisis adalah *chassis* jenis *ladder frame* dengan bahan baja campuran ST 37/ AISI 1045. Pengujian dilakukan dengan pembebanan statis yaitu beban pengemudi dan penumpang secara bervariasi. Hasil penelitian pada analisis beban pengemudi dan penumpang dengan berat pertama sebesar 50 kg dan 50 kg, kedua sebesar 50 kg dan 60 kg, ketiga sebesar 60 kg dan 70 kg, dan keempat sebesar 70 kg dan 80 kg semuanya menunjukkan rangka tidak mengalami deformasi bentuk (bengkok, retak, maupun patah). Pengujian untuk tegangan tertinggi dilakukan secara komputasi menunjukkan tegangan paling tinggi adalah bagian tengah kendaraan yang menopang beban sebesar 1706,94 N namun tidak mengalami deformasi.

Penelitian yang dilakukan oleh Setyono dan Gunawan (2015) dengan judul “Perancangan dan Analisis *Chassis* Mobil Listrik Semut Abang Menggunakan

*Software Autodesk Inventor Pro 2013*”, didapat kesimpulan sebagai berikut: Penelitian dilakukan menggunakan *stress analysis* pada *software Autodesk Inventor Pro 2013*. Obyek yang dianalisis adalah *chassis* dengan bahan aluminium 6061 *rectangular hollow*. Pengujian dilakukan dengan pembebanan statis yaitu beban pengemudi 637,65 N, *body* 323,73 N, dan komponen 196,2 N. Hasil analisis pembebanan statis menunjukkan tegangan maksimum terjadi pada bagian *rivet* plat penyambung bagian belakang rangka sebesar 108,8 MPa, *displacement* pada bagian *roll bar* sebesar 0,7136 mm ke arah sumbu X, dan *safety factor* sebesar 2,53.

Penelitian yang dilakukan oleh Taufik, dkk (2017) yang berjudul “Perancangan dan Analisis Statik *Chassis* Kendaraan *Shell Eco Marathon* Tipe *Urban Concept*” diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Penelitian menggunakan *software Autodesk Inventor*. Obyek yang dianalisis adalah *chassis* jenis *ladder frame* dengan bahan *aluminium square hollow* jenis AA 6061. Pengujian dilakukan dengan pembebanan statis yaitu beban pengemudi, mesin, dan beban rangka menggunakan perhitungan komputasi dan manual. Hasil analisis pada *software* menunjukkan tegangan maksimum sebesar 19,36 MPa dengan defleksi sebesar 3,542 mm, dan perhitungan manual menunjukkan tegangan maksimum sebesar 18,3 MPa dengan defleksi sebesar 3,35 mm. *Safety factor* sebesar 10,5.

Penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan, dkk (2019) yang berjudul “Analisis Tegangan Statik *Frame Gokart* Menggunakan *Software Solidworks 2017*” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:



1. Obyek yang dianalisis adalah *chassis* berbahan *carbon steel* ASTM A36 dengan variasi dimensi profil *square tube* 30x30x2,0 mm, 40x40x2,0 mm, dan 50x50x2,0 mm.
2. Pengujian dilakukan dengan pembebanan statis yaitu beban *frame*, beban mesin, dan beban pengendara dengan variasi 500 N, 600 N, 700 N, 800 N, dan 900 N.
3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *frame* pertama sudah tidak bisa menahan beban sebesar 820N, *frame* ke dua sebesar 980 N, dan *frame* ke 3 masih bisa menahan beban sebesar 1330 N. *Frame* dengan dimensi 50x50x2,0 mm adalah *frame* yang aman dan layak untuk digunakan sebagai *frame* gokart.

Penelitian yang dilakukan oleh Sahu, dkk (2016) yang berjudul “*Static Load Analysis of a Ladder Frame Type Chassis Frame*” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Penelitian dilakukan pengujian dengan metode elemen hingga menggunakan *software* Catia dan Ansys. Obyek yang dianalisis adalah *light vehicle chassis* (*chassis* kendaraan ringan) jenis *ladder frame* dengan mengubah bentuk penampang (*square, rectangular dan tube*) dan bahan *chassis* (*aluminium alloy* dan *stainless steel*). Pengujian dilakukan dengan pembebanan statis yaitu *engine* (1125 N), *gear box* (245 N), *body weight* (4905 N), dan *passenger* (490,5 N). Penelitian ini dilakukan untuk mengurangi berat *chassis* kendaraan yang diasumsi akan mengurangi konsumsi bahan bakar sehingga kendaraan penumpang lebih hemat bahan bakar dapat disiapkan untuk pasar persaingan mobil di India. Hasil penelitian pada bahan *stainless steel* menunjukkan nilai tegangan ekivalen maksimum terjadi

pada bentuk *circular* dan terendah pada bentuk *square*, deformasi terendah pada penampang *rectangular cross section*, sedangkan pada *aluminium alloy* tegangan ekuivalen maksimum yang terjadi sama dengan *stainless steel* dan deformasi terendah pada penampang *square cross section*.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan *software* dapat membantu men-*design* dan menentukan hasil analisis pada perancangan *chassis*. Analisis pada *software* dilakukan dengan mengaplikasikan konsep metode elemen hingga. Konsep metode elemen hingga pada penelitian terkait terdapat pada fitur *stress analysis* dalam pengujian struktur *chassis*. Pada Autodesk Inventor, pengaplikasian metode elemen hingga dapat digunakan untuk mengetahui keamanan struktur menggunakan *stress analysis tools*.

Penggunaan material yang berbeda bukan sebuah masalah karena setiap penelitian mempunyai tujuan penggunaan yang berbeda, sesuai dengan fungsi dan tujuan masing-masing dari *chassis* tersebut. Penelitian ini menggunakan *chassis* jenis *ladder frame* dan material baja AISI 1018 dengan standarisasi ISO (*International Organization for Standardization*), yang diperkirakan mampu mengangkut hingga 6 penumpang. Pemberian pembebanan pada *chassis* diberikan secara merata pada setiap tumpuan, sesuai dengan perkiraan pembebanan yang diterima pada setiap titik di masing-masing *frame*.

Beberapa penelitian sebelumnya menggunakan *software* yang berbeda dalam men-*design chassis* hingga menganalisis kekuatan strukturnya. Contohnya, pembuatan desain menggunakan *software* Catia lalu menganalisis menggunakan

Ansys. Pada penelitian ini, pembuatan desain *chassis* hingga analisis akan menggunakan satu *software* saja, yaitu Autodesk Inventor Professional 2017. Pembuatan desain *chassis* juga menggunakan *frame generator tools* yang dilengkapi dengan standarisasi ISO.

Beberapa penelitian sebelumnya, simulasi *welding* dan *bolting* belum dilakukan sebelum melakukan simulasi analisis. Hal ini dapat memberikan hasil yang kurang sesuai, yang akan berakibat pada perbedaan rencana desain dengan realita perancangan yang nanti akan dilakukan. Analisis pada *software* Autodesk Inventor Professional 2017 dilakukan dengan menggunakan simulasi *welding* dan *bolting* terlebih dahulu untuk meminimalisir perbedaan pada proses perancangan produk dengan proses pembuatan produk.

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat disimpulkan bahwa pada setiap penelitian memiliki kelebihan dan kekurangan. Penelitian-penelitian di atas relevan terhadap penelitian yang akan dilakukan. Oleh karena itu, penelitian tersebut dijadikan dasar dalam melakukan penelitian dengan judul “Desain dan Analisis Kekuatan pada *Ladder Frame Chassis* Kendaraan *Hybrid* Elektrik-Pneumatik Menggunakan *Software* Autodesk Inventor Professional 2017”.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Perancangan Produk**

Perancangan adalah kegiatan awal dari suatu rangkaian kegiatan dalam proses pembuatan produk (Harsoekoesoemo, 2004: 1). Perancangan dan pembuatan produk merupakan dua kegiatan manunggal, dimana pembuat tidak dapat

merealisasikan benda teknik tanpa terlebih dahulu dibuat gambar rancangannya. Kedua kegiatan ini disebut dengan *design and production*.

Harsokoesoemo (2004: 38) menyatakan bahwa ada beberapa hal yang berasal dari pasar, yang berdampak pada diperlukannya perancangan dan pembuatan suatu produk, diantaranya:

1. Kebutuhan produk baru yang belum ada di pasar.
2. Perancangan ulang produk karena posisi teknis dan posisi ekonomi suatu produk.
3. Perubahan keinginan pasar tentang produk yang telah ada.
4. Saran-saran atau keluhan-keluhan yang datang dari pengguna untuk perbaikan produk.
5. Persaingan pasar sehingga perlu meningkatkan mutu produk.
6. Adanya teknologi baru.
7. Penambahan fungsi dan kegunaan produk untuk memenuhi selera pasar.

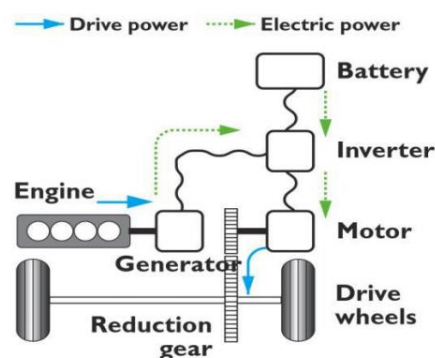
Perancangan rangka sebagian besar merupakan seni dalam hal mengakomodasi komponen-komponen mesin. Peletakan berbagai dudukan disesuaikan sedemikian rupa agar dapat memberikan akses untuk perakitan atau perbaikan. Parameter yang paling dapat dikendalikan oleh perancang yaitu pemilihan bahan, geometri rangka, dan proses manufaktur (Mott, 2009: 112).

### 2.2.2 Kendaraan *Hybrid*

Kendaraan *hybrid* adalah kendaraan dengan berbagai sumber energi berbeda yang dapat dioperasikan secara terpisah atau bersamaan sebagai penggerak pada kendaraan (Vinay dan Raju, 2017: 93). Sumber tenaga yang dipakai oleh kendaraan

antara lain *electric, solar, dan fuell cell*. Sumber tenaga listrik ini sangat mudah dalam pengaplikasiannya yaitu dengan menggabungkan baterai dan motor pembakaran dalam (Christanyo dan Sutantra, 2012: 2). Kendaraan *hybrid* dibagi menjadi 3 tipe, yaitu kendaraan *hybrid* tipe seri, kendaraan *hybrid* tipe *parallel*, dan kendaraan *hybrid* tipe kompleks (seri-parallel).

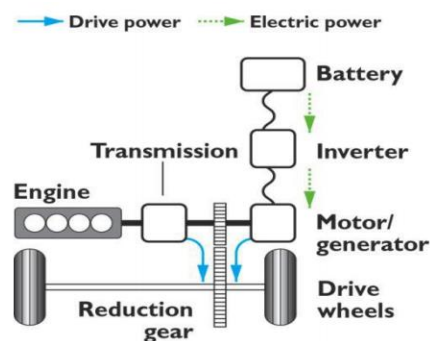
*Hybrid* seri adalah konfigurasi *hybrid* paling sederhana (Vidyanandan, 2018: 4). Pada *hybrid* tipe seri, hanya motor listrik yang menggerakkan roda. Motor listrik menerima tenaga listrik dari baterai atau generator yang digerakkan oleh *engine-generator*. *Engine generator* yang digunakan berkapasitas kecil dan dihubungkan secara seri untuk menambah jarak tempuh berkendara. Ukuran baterai dan motor lebih besar untuk mendapatkan kebutuhan tenaga yang besar (Christanyo dan Sutantra, 2012: 2). Skema kendaraan *hybrid* tipe seri ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kendaraan *hybrid* tipe Seri  
(Vinay dan Raju, 2017: 94)

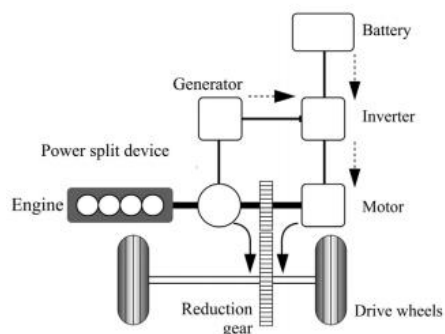
*Hybrid* tipe paralel bisa menggunakan baterai yang lebih kecil karena sebagian tenaga dibantu oleh *engine*. Pada *hybrid* paralel *engine-generator* dan motor listrik langsung menggerakkan roda. Tambahan pengendali dan transmisi memungkinkan komponen bisa bekerja secara bersama-sama. Ketika kebutuhan

tenaga tidak terlalu besar, *hybrid tipe paralel* memanfaatkan tenaga mesin guna mengatur *generator* untuk mengisi baterai (*charger* tambahan). Mesin akan bekerja bila energi pada baterai habis (Christanyo dan Sutantra, 2012: 2). Skema kendaraan *hybrid tipe paralel* ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kendaraan *hybrid* tipe Paralel  
(Vinay dan Raju, 2017: 94)

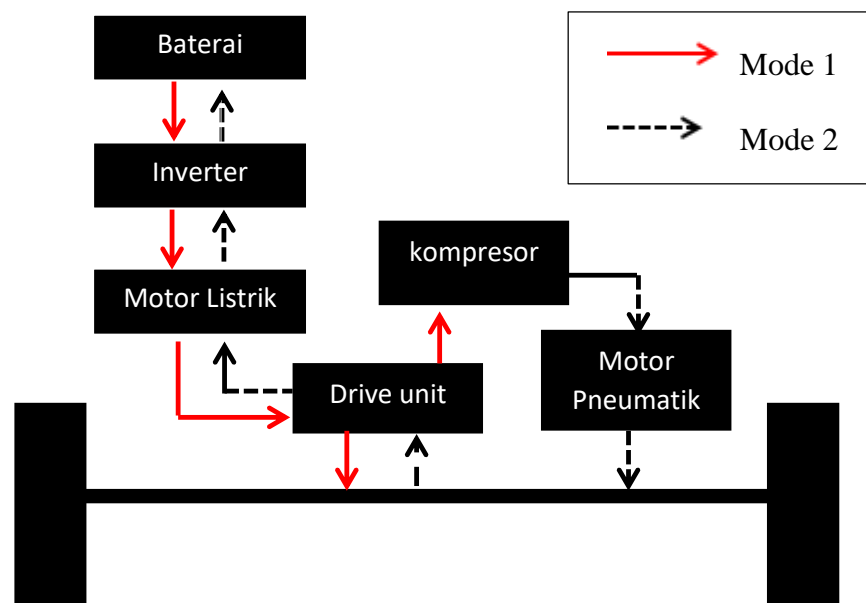
Tipe *hybrid* kompleks adalah kombinasi dari dua tipe penggerak yang paling efisien, yang memungkinkan kendaraan beroperasi sebagai penggerak listrik (sebagai hibrida seri), sebagai ICE, atau sebagai kombinasi keduanya, yaitu sebagai *hybrid paralel* (Vinay dan Raju, 2017: 95).



Gambar 2.3 Kendaraan *hybrid* tipe Kompleks  
(Enang dan Bannister, 2017: 1215)

### 2.2.3 Kendaraan *Hybrid Elektrik-Pneumatic*

Kendaraan *hybrid electric-pneumatic* merupakan kendaraan dengan penggerak ganda yaitu motor listrik dan sistem pneumatik. Pada kendaraan *hybrid* yang dikembangkan pada penelitian sebelumnya termasuk dalam jenis paralel. Mesin *hybrid* ini dapat bekerja pada dua mode. Mode 1 yaitu Mode Elektrik, dan Mode 2 yaitu Mode Pneumatik. Mode 1 dioperasikan menggunakan penggerak motor listrik sekaligus mengisi udara pada kompresor yang digunakan untuk penggerak pneumatik. Pada Mode 2 dioperasikan sistem pneumatik. Pada saat menggunakan sistem pneumatik sekaligus digunakan untuk regenerasi pada pengisian baterai (Wahyudi dkk, 2019). Skema konfigurasi kendaraan *hybrid* ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Skema kendaraan *Hybrid Elektrik-Pneumatic*

#### 2.2.4 *Chassis* Kendaraan

Rangka (*chassis*) merupakan salah satu bagian penting pada kendaraan yang harus mempunyai konstruksi kuat untuk menopang beban kendaraan. Semua beban dalam kendaraan baik itu penumpang, penghasil tenaga, sistem kemudi, dan segala peralatan kenyamanan semuanya diletakan di atas rangka. Wahyudi dan Fahrudi (2016: 72) menyatakan bahwa ada beberapa persyaratan agar *chassis* dapat berfungsi sebagaimana mestinya, yaitu:

1. Kuat dan kokoh, artinya dapat menopang mesin beserta kelengkapan kendaraan lainnya, menyangga penumpang maupun beban tanpa mengalami perubahan bentuk atau kerusakan.
2. Mempunyai nilai kelenturan atau fleksibilitas agar dapat meredam getaran atau guncangan berlebihan yang diakibatkan oleh tenaga yang dihasilkan mesin maupun akibat kondisi jalan yang buruk.
3. Ringan, yakni tidak terlalu membebani mesin (meningkatkan efektivitas tenaga yang dihasilkan mesin).

#### 2.2.5 Klasifikasi *Chassis*

Sahu, dkk (2016: 1045), mengklasifikasi *chassis* menurut pengaturan kursi pengemudi dan konstruksi kerangka dari berbagai jenis *chassis* mobil.

1. Menurut pengaturan kursi pengemudi
  - a. *Chassis* kontrol konvensional, mesin dipasang di depan kabin pengemudi seperti pada mobil.
  - b. *Chassis* kontrol semi-*forward*, setengah mesin dipasang di kabin pengemudi dan setengahnya di luar kabin pengemudi seperti pada truk.



c. *Chassis* kontrol *full-forward*, mesin dipasang sepenuhnya di dalam kabin pengemudi seperti pada bis.

2. Menurut konstruksi kerangka

a. Konvensional, *body* dan rangka dibuat terpisah. Contoh *chassis* ini adalah *chassis* jenis *ladder frame*.

b. Non konvensional, *body* bertindak sebagai rangka. Jenis ini disebut juga konstruksi yang menyatu, mengkombinasikan rangka dan *body* menjadi satu bagian struktur/tunggal. Contoh *chassis* ini adalah *chassis* jenis *monocoque*.

#### 2.2.6 Jenis-Jenis *Chassis*

*Chassis* pada kendaraan memiliki masing-masing jenis sesuai dengan fungsi kendaraan yang dirancang. *Chassis* untuk mobil balap tentunya berbeda jenisnya dengan *chassis* pada mobil penumpang. Jenis-jenis *chassis* adalah sebagai berikut di bawah ini:

##### 1. *Ladder Frame*

*Ladder frame* adalah dua batangan panjang yang menyangga kendaraan dan menyediakan dukungan yang kuat dari berat beban dan biasanya berdasarkan desain angkut. *Ladder frame chassis* termasuk ke dalam *chassis* jenis konvensional, yaitu rangka dan *body* dibuat terpisah (Sahu, dkk, 2016: 1045). Pemberian nama demikian karena kemiripannya dengan tangga (Fakhri dan Sutanta, 2019: 14). *Ladder frame* merupakan *chassis* yang paling sederhana dan tertua dari semua desain. *Chassis* ini hanya terdiri dari dua *long member* sejajar dan *cross members* yang menghubungkan mereka.

Dua *long member* merupakan bagian utama untuk menahan beban longitudinal akibat percepatan dan pengereman, sedangkan *cross member* untuk menahan agar *chassis* tetap dalam keadaan kaku (Wahyudi dan Fahrudi, 2016: 72). Rangka utama dibuat lurus dari depan sampai belakang atau tidak terdapat sambungan agar didapatkan rangka yang lebih kuat lalu diberi penyesuaian dengan komponen kendaraan.



Gambar 2.5 *Chassis* Jenis *Ladder frame*  
(Juliandi, 2018)

## 2. *Monocoque*

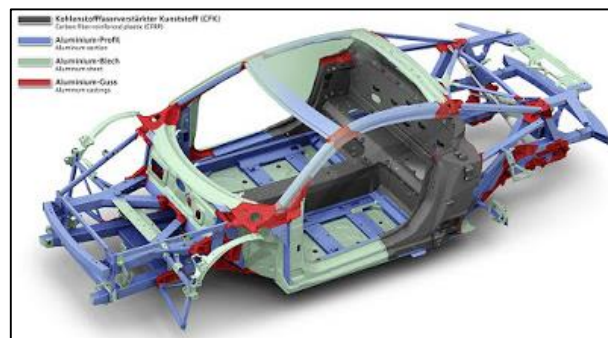
*Monocoque* merupakan satu kesatuan struktur *chassis* dari bentuk kendaraannya, sehingga *chassis* ini memiliki bentuk yang beragam menyesuaikan dengan *body* mobil (Shantika dkk, 2017: 10). *Chassis* jenis *monocoque* disebut juga *chassis* yang menyatu dengan *body*. Karena *body* dan rangka menyatu, maka bentuk *chassis* ini dapat menjadi lebih rendah dibanding dengan jenis *ladder frame* sehingga titik berat gravitasi lebih rendah menyebabkan kendaraan menjadi lebih stabil.



Gambar 2.6 Chassis Jenis *Monocoque*  
(Juliandi, 2018)

### 3. Aluminium Space Frame

*Aluminium space frame* adalah chassis yang terbuat dari panduan aluminium dengan kekuatan yang tinggi. Menurut Shantika, dkk (2017: 10), *aluminium space frame* dibuat sebagai pengganti chassis baja *monocoque* agar menghasilkan sebuah rangka yang ringan. Chassis jenis *aluminium space frame* diklaim 40% lebih ringan dibanding dengan rangka baja *monocoque* namun 40% lebih kaku atau *rigid*.



Gambar 2.7 Chassis Jenis *Aluminium Space Frame*  
(Juliandi, 2018)

### 4. Backbone

Chassis jenis *backbone* memiliki tabung persegi panjang seperti *backbone* (tulang belakang), chassis jenis ini biasanya terbuat dari serat kaca yang digunakan untuk menyatukan poros depan dan belakang (Ahmed, dkk, 2017: 430). Chassis

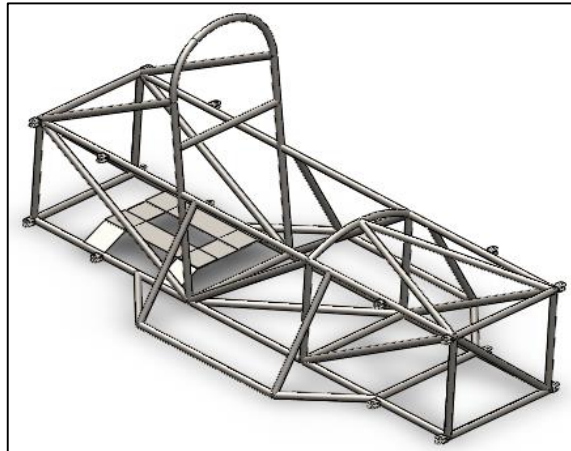
jenis ini cukup kuat untuk memberikan dukungan mobil *sport* yang lebih kecil. Selain itu *chassis* jenis *backbone* mudah dibuat dan hemat biaya. *Chassis* jenis *backbone* adalah jenis konstruksi *chassis* mobil yang mirip dengan desain *chassis* jenis *ladder frame*. Perbedaannya adalah pada batang penyangga. Pada *chassis* jenis *ladder frame* terdapat dua batang penyangga, sedangkan *chassis* jenis ini hanya terdiri dari satu batang penyangga. *Chassis* jenis ini tidak memiliki tingkat keamanan yang tinggi bagi pengemudi jika terjadi tabrakan dari sisi samping (Isworo, dkk, 2019: 96).



Gambar 2.8 *Chassis* Jenis *Backbone*  
(Juliandi, 2018)

##### 5. *Tubular Space Frame*

*Tubular space frame* adalah *chassis* terbaik yang kekuatannya sangat bagus di perlindungan kekakuan torsional, ketahanan beban berat, dan beban impak (Shantika, dkk, 2017: 10). *Tubular space frame* biasanya digunakan pada mobil balap karena berbentuk tabung (*tube*) sehingga lebih ringan. *Tubular space frame* lebih dimanfaatkan dalam kepentingan aerodinamika (kecepatan).



Gambar 2.9 *Chassis* Jenis *Tubular Space Frame*  
(Shantika, dkk, 2017)

### 2.2.7 Material Baja sebagai Bahan Rangka *Chassis*

Baja merupakan salah satu logam yang banyak digunakan dalam dunia industri. Pemilihan material *chassis* menggunakan material baja karena beberapa kelebihan sifatnya seperti tahan aus, keuletan, dan ketangguhan. Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Menurut Ahmed, dkk (2017: 431), Baja memiliki nilai yang baik dalam hal kekuatan luluh (*yield strength*) dan kekuatan ultimate (*ultimate strength*), yaitu pada panduan dan pemrosesan yang cermat.

Baja yang digunakan adalah baja AISI 1018. Padhi, dkk (2016: 385) menyatakan bahwa material baja AISI 1018 memiliki ketangguhan, kekuatan, keuletan dan kemampuan las yang baik. Sifat fisik material baja AISI 1018 yang diambil dari *engineering data* pada *software* Autodesk Inventor Professional 2017 adalah seperti pada Tabel 2.1. Perubahan konversi dari satuan *psi* dibantu oleh *google converter*.

Tabel 2.1 Sifat Fisik Baja AISI 1018

<i>Property</i>	<i>Value</i>	
	106 HR	118 QT
<i>Young's modulus</i>	207 GPa	207 GPa
<i>Yield strength</i>	250 MPa	290 MPa
<i>Ultimate tensile strength</i>	354 MPa	496 MPa
<i>Mass density</i>	7861 kg/m <sup>3</sup>	7861 kg/m <sup>3</sup>

Keterangan:

- Young's modulus* = ukuran kekakuan material (modulus elastisitas).  
*Yield strength* = titik awal sebuah material mulai terdeformasi secara plastis (kekuatan luluh).  
*Ultimate tensile strength* = tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadi perpatahan (kekuatan tarik maksimum).  
*Mass density* = perbandingan antara massa suatu zat dengan volumenya (massa jenis).

Komposisi kimia dari bahan tersebut, ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 *Chemical Composition of AISI 1018* (Padhi, dkk, 2016:386)

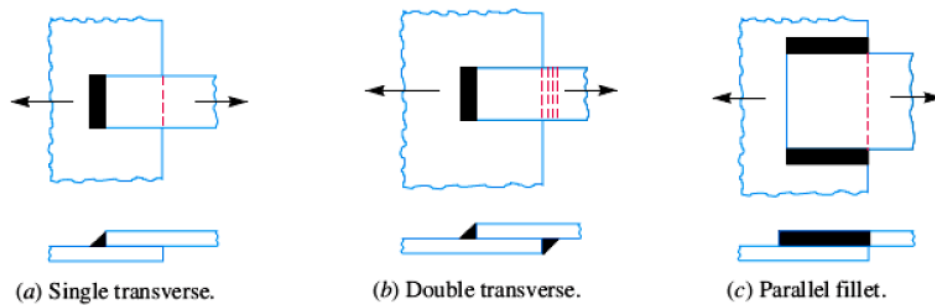
<i>Composition</i>	<i>Percentage (%)</i>
<i>Carbon ( C )</i>	0.14 – 0.20
<i>Iron ( Fe )</i>	98.81 – 99.26
<i>Manganese ( Mn )</i>	0.60 – 0.90
<i>Phosphorus ( P )</i>	<= 0.04
<i>Sulphur ( S )</i>	<= 0.05

## 2.2.8 Simulasi *Welding* dan *Bolting*

### 1. Sambungan Las (*Welding*)

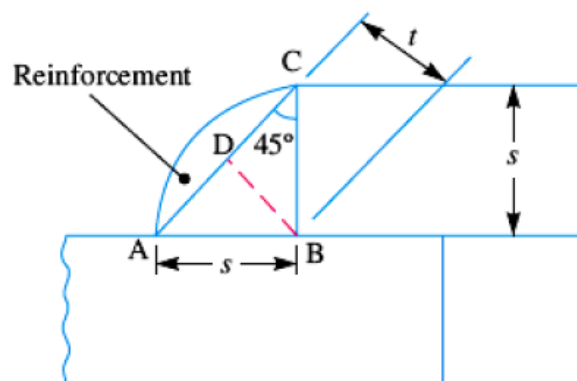
Proses *assembly* antar *part* dalam permodelan *chassis* menggunakan simulasi *welding* dan *bolting*. Pengelasan dilakukan pada bentuk sambungan yang bersifat permanen. Sambungan las yang digunakan adalah jenis *fillet joint*. Sambungan las jenis ini digunakan untuk sambungan antar-*frame* dan beberapa sambungan antara *frame* dengan dudukan. Pengelasan memiliki berbagai kelebihan dalam dunia produksi seperti hemat biaya, akurasi ukuran, dan variasi bentuk struktur las. Akan tetapi, pengelasan juga dapat menimbulkan efek yang merugikan seperti perubahan

struktur mikro, kekuatan, dan ketangguhan bahan menurun, distorsi, dan tegangan sisa (Wibowo, dkk, 2016: 5).



Gambar 2.10 sambungan *fillet joint* (Kriswanto dan Widayat, 2015: 45)

Skema dan dimensi pada sambungan las *fillet joint* yang digunakan dijelaskan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Skema dan Dimensi Sambungan Las *Fillet Joint* (Kriswanto dan Widayat, 2015: 45)

Keterangan:

$t$  = Tebal leher (BD) =  $s \times \sin 45^\circ = 0.707 \times s$

$s$  = ukuran las/tebal plat (mm)

$l$  = panjang las (mm).

#### a. Siklus Termal Daerah Las

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan pada daerah lasan. Wiryosumaro dan Okumura (2008: 56) dalam buku “Teknologi Pengelasan

Logam” menyatakan bahwa daerah lasan terdiri dari tiga bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*), dan logam induk yang tidak terpengaruhi. Logam las adalah bagian dari logam yang pada saat pengelasan mencair dan kemudian membeku. HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las. Selama proses pengelasan, HAZ mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan dengan cepat. Logam induk yang tidak terpengaruhi adalah bagian logam dasar yang tidak terjadi perubahan struktur dan sifat akibat panas dan suhu pengelasan.

Lamanya pendinginan dalam suatu daerah dengan temperatur tertentu dari suatu siklus termal las akan mempengaruhi kualitas sambungan. Struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian besar bergantung pada lamanya pendinginan dari temperature 800<sup>0</sup>C sampai 500<sup>0</sup>C.

#### b. Tegangan Sisa dalam Pengelasan

Tegangan sisa akan mempengaruhi sifat dan kekuatan dari sambungan. Pada lasan kontruksi akan terjadi tegangan tarik arah memanjang pada sekitar garis las dan tegangan tekan pada jarak yang sedikit lebih jauh yang seimbang antara satu sama lain. Tegangan sisa tidak mempengaruhi kekuatan statis logam selama logam induk dan logam las mempunyai keuletan yang cukup.

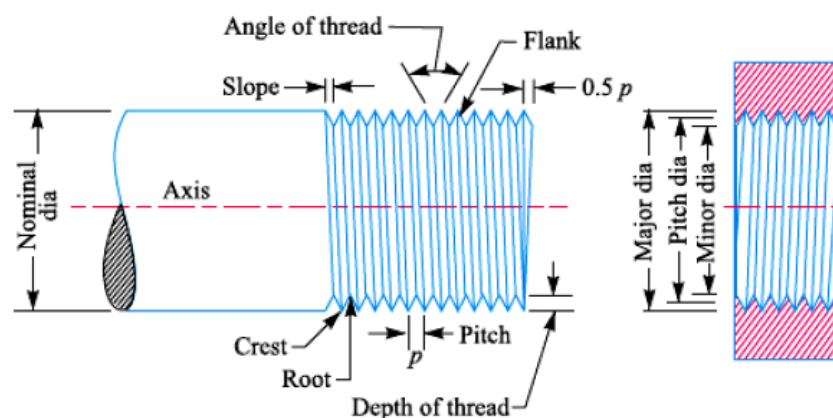
Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya pembentukan tegangan sisa adalah batas transformasi dan batas luluh bahan, suhu pemanasan yang tinggi, kecepatan pendinginan, tahanan luar, dan pemanasan mula (Wiryosumarto dan Okumura, 2008: 135). Dalam pengelasan, tegangan sisa terjadi karena adanya penyusutan pada waktu pendinginan setelah pengelasan. Besarnya tegangan sisa bisa dikurangi



dengan mengurangi besarnya masukan panas dan banyaknya logam lasan dengan memperkecil sudut alur kampuh dan memperkecil celah akar pada las tumpul. Dalam hal las sudut, dapat dilakukan dengan memperkecil panjang kaki las dan penguat.

## 2. Sambungan Baut (*Bolting*)

*Bolting* atau sambungan ulir dilakukan pada sambungan yang dapat dilepas pasang. Sambungan ulir digunakan untuk sambungan yang bersifat tidak permanen agar mudah disambung dan dilepas kembali. Sambungan ulir digunakan untuk sambungan antara dudukan *frame* dengan dudukan benda yang dibebankan. Sambungan ulir sebagian besar terdiri dari dua elemen yakni mur (*nut*) dan baut (*bolt*). Karena diperlukan banyak variabel dan perhitungan angka untuk menganalisis sambungan baut, tersedia paket perangkat lunak komputer untuk menyelesaikan analisis yang diperlukan (Mott, 2009: 59).



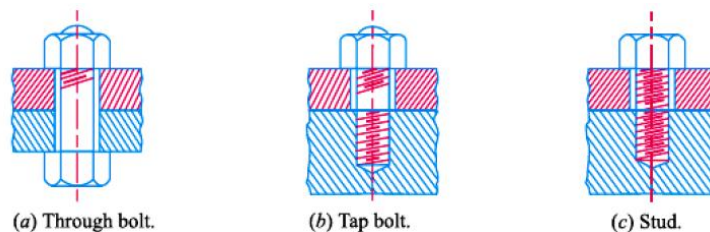
Gambar 2.12 Istilah pada Ulir  
(Kriswanto dan Widayat, 2015: 67)

Keterangan Gambar 2.12:

<i>Major diameter</i>	= diameter terbesar pada ulir eksternal atau internal ( <i>nominal diameter</i> ).
<i>Minor diameter</i>	= diameter terkecil pada ulir eksternal atau internal ( <i>core</i> atau <i>root diameter</i> ).
<i>Pitch diameter</i>	= diameter rata-rata silinder. Dinamakan juga <i>effective diameter</i> .
<i>Pitch</i>	= jarak antara puncak ulir
<i>Crest</i>	= permukaan atas pada ulir.
<i>Root</i>	= permukaan bawah yang dibentuk oleh dua sisi berdekatan dari ulir.
<i>Depth of thread</i>	= jarak tegak lurus antara <i>crest</i> dan <i>root</i> .
<i>Flank</i>	= permukaan antara <i>crest</i> dan <i>root</i> .
<i>Angle of thread</i>	= sudut antara <i>flank</i> ulir.
<i>Slope</i>	= setengah <i>pitch</i> ulir.

Jenis sambungan ulir diantaranya adalah *through bolts*, *tap bolts*, dan *stud*.

Pada *through bolts*, baut dan mur mengikat dua bagian/plat secara bersamaan. Jenis *through bolts* banyak digunakan pada baut mesin, baut pembawa, baut automobil, dan lain-lain.



Gambar 2.13 Jenis Sambungan Ulir  
(Kriswanto dan Widayat, 2015: 70)

Baut adalah pengikat berulir yang dirancang untuk menembus lubang pada bagian-bagian yang disambung kemudian dikunci dengan pengencangan mur. Ketika baut digunakan untuk menjepit dua bagian, gaya yang timbul antara bagian-bagian tersebut adalah beban jepit. Beban jepit ini timbul karena torsi

pengencangan pada mur atau kepala baut. Hubungan antara torsi dan gaya Tarik aksial dalam baut seperti pada rumus di bawah ini (Mott, 2009: 57).

$$T = KDP \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan:

T = Torsi

K = konstanta, 0,15

D = diameter luar nominal ulir

P = beban jepit

### 2.2.9 *Software* Autodesk Inventor Professional 2017

Autodesk Inventor Professional 2017 adalah *software* jenis *Computer Aided Drawing* (CAD) yang lebih menekankan permodelan solid (Wibawa, 2018: 6). Autodesk Inventor merupakan *software* pemodelan parametrik 3D. Istilah parametrik ini mengacu pada penggunaan parameter desain untuk membangun dan mengendalikan model 3D yang dirancang. Artinya, untuk memulai membuat sebuah desain diperlukan pembuatan sketsa dasar yang terdapat dimensi. Dimensi ini digunakan sebagai parameter untuk mengontrol panjang dan lebar sketsa.



Gambar 2.14 Tampilan Awal *Software* Autodesk Inventor (Wibawa, 2018: 7)

Autodesk Inventor menyediakan fasilitas untuk memvisualisasikan model dalam bentuk 3D, gambar rakitan (*assembly*), gambar kerja (*drawing*), dan animasi dari benda yang dibuat secara digital. Dokumen digital ini membantu perancang dalam memvisualisasikan, mensimulasikan dan menganalisis suatu rancangan produk. Autodesk Inventor mempunyai beberapa kelebihan yang dapat memudahkan perancang dalam mendesain karena material yang disediakan bisa diatur semirip material aslinya.

#### 2.2.10 *Finite Element Analysis*

*Finite Element Analysis* (FEA) digunakan untuk desain yang dimodifikasi dan analisis komparatif yang dilakukan untuk memeriksa nilai tegangan dan *displacement* (Patil, dkk, 2016: 8808). FEA dikenal juga sebagai analisis elemen hingga atau metode elemen hingga. Cara kerja FEA adalah dengan memecah suatu objek struktur yang akan diuji menjadi elemen-elemen berhingga yang saling terhubung satu sama lain yang akan dikelola dengan perhitungan khusus oleh *software*. Pada Autodesk Inventor Professional 2017, analisis dilakukan pada *stress analysis tools*. *Stress Analysis* merupakan alat pengujian struktur pada Autodesk Inventor dengan menerapkan konsep FEA.

*Stress analysis* pada *chassis* kendaraan bertujuan untuk mengetahui tegangan yang terjadi ketika *chassis* menerima beban (Shantika, dkk, 2020: 17). Hasil dari *stress analysis* berupa *von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor*. Menurut Setyono dan Gunawan (2015: 72), tahapan-tahapan pada *stress analysis* menggunakan Autodesk Inventor yaitu:

### 1. Pra-proses analisis

Prosedur pada pra-proses analisis struktur adalah pembuatan desain, melakukan verifikasi material, menentukan *constraints* (tumpuan), *constacts*, dan menentukan *loads*.

### 2. Proses analisis

Proses analisis meliputi *meshing view*, *running simulation*, dan *refinement meshing* (penghalusan jumlah *mesh*).

### 3. Hasil analisis struktur

Hasil analisis struktur berupa *von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor*.

#### 2.2.11 Konsep Tegangan-Regangan

Tegangan (*stress*) adalah reaksi yang timbul pada suatu struktur yang mengalami pembebanan. Beban ini akan diteruskan ke semua bagian struktur. Menurut jenis pembebanan yang diberikan, tegangan diklasifikasikan menjadi dua yaitu tegangan normal dan tegangan geser (Shantika, dkk, 2017: 10). Tegangan (*stress*) menunjukkan kekuatan gaya yang menyebabkan perubahan bentuk benda, sedangkan regangan (*strain*) didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang batang dengan panjang mula-mula. Pada daerah proporsional (daerah linear), besarnya tegangan berbanding lurus dengan regangan.

Secara matematis hubungan tegangan regangan yang terjadi menurut Matheus Souisa dalam Salimin, dkk (2018: 3) dapat dilihat dalam persamaan Hukum Hooke yaitu:

$$E = \frac{\tau}{\epsilon} \dots\dots\dots 2.2$$

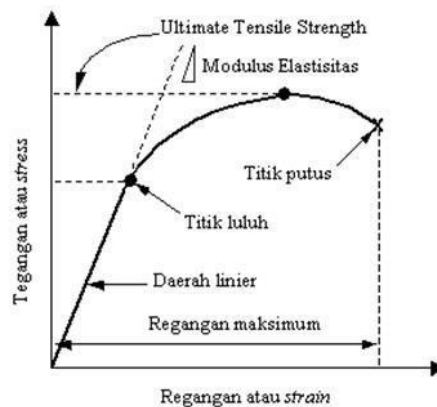
Keterangan:

E = modulus elastisitas

$\tau$  = tegangan yang terjadi

$\epsilon$  = regangan yang timbul akibat pembebanan

Secara umum hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Diagram Tegangan-Regangan  
(Sardi, dkk, 2018: 145)

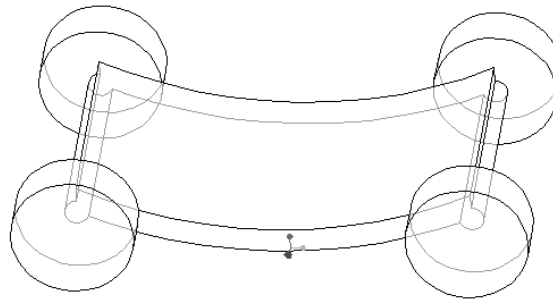
Berdasarkan diagram tegangan-regangan pada Gambar 2.16, terdapat tiga daerah kerja sebagai berikut:

- Daerah elastis, daerah yang digunakan dalam desain konstruksi mesin.
- Daerah plastis, daerah yang digunakan untuk proses pembentukan material.
- Daerah maksimum, daerah yang digunakan dalam proses pemotongan material.

### 2.2.12 Bending Case

Heisler (dalam Riley dan George, 2002:1-2) menyebutkan bahwa ada 4 jenis deformasi yang terjadi pada *chassis* kendaraan, yaitu *torsion case*, *bending case*, *lateral loading*, dan *longitudinal loading*. Beban ke arah bawah yang ditopang *chassis* dapat mengakibatkan pembengkokan (*bending*) pada *chassis* kendaraan.

Beban tersebut terdistribusi disepanjang *chassis frame* kendaraan. Beban tersebut antara lain, penumpang, bodi kendaraan serta komponen kendaraan itu sendiri (Riley dan George, 2002). Ketika *frame* menerima *bending moment*, bagian atas *frame* akan memendek akibat kompresi dan bagian bawah akan memanjang akibat tarikan. Permukaan netral yang berada diantara bagian atas dan bagian bawah tidak memendek dan memanjang.



Gambar 2.16 *Bending Case* pada Rangka (Riley dan George, 2002).

### 2.2.13 *Von Mises Stress*

*Von Mises stress* adalah suatu tegangan yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada suatu material yang mendapatkan tegangan triaksial yang menghasilkan energi regangan dari pembebanan ketika mendekati titik luluh/*yield strength*. Kegagalan pada suatu material *chassis* dapat terjadi seperti retak, patah, korosi, aus, dan lain-lain. Beberapa penyebab kegagalan seperti salah desain, beban operasional, kesalahan perawatan, cacat material, temperatur, lingkungan dan lain-lain.

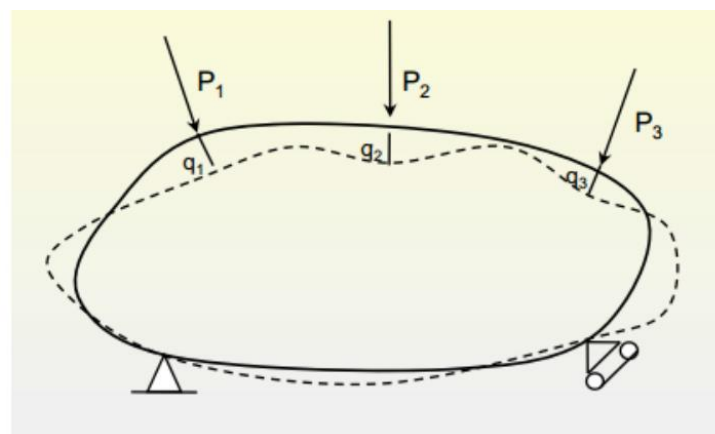
Trimulya, dkk (2015: 321), menyatakan bahwa dalam mendesain bagian-bagian struktur, tegangan ijin (*allowable stress*) harus lebih rendah daripada

kekuatan *ultimate* yang diperoleh dari pengujian “statis” untuk berbagai pertimbangan. Oleh karena itu, pada saat melakukan proses desain nilai *von Mises stress* berada di bawah nilai *yield strength* agar desain tersebut aman untuk digunakan. Rumus *von Mises stress* adalah seperti di bawah ini (Mott, dkk, 2018: 156).

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \dots\dots\dots 2.3$$

#### 2.2.14 Displacement

*Displacement* adalah perubahan sumbu sebuah batang dari kedudukannya semula (melentur) apabila berada di bawah pengaruh gaya. Karena balok biasanya horizontal, maka *displacement* merupakan penyimpangan vertikal. Hendrawan, dkk (2018: 100) menyatakan bahwa apabila sebuah obyek/struktur diberi tiga buah gaya, yaitu  $P_1$ ,  $P_2$ , dan  $P_3$ . Pada lokasi dan arah yang sama dengan tiga gaya tersebut, akan terjadi *displacement* pada obyek sebesar  $q_1$ ,  $q_2$ , dan  $q_3$ .



Gambar 2.17 *Displacement* pada Prinsip Superposisi (Hendrawan, dkk, 2018)



### 2.2.15 *Safety factor*

*Safety factor* adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik untuk menahan beban luar, yaitu beban tekan maupun beban tarik. Gaya yang diperlukan agar terjadi tingkat optimal bahan di dalam menahan beban dari luar sampai akhirnya menjadi pecah disebut dengan beban *ultimate (ultimate load)*. Beban *ultimate* dibagi dengan luas penampang, dapat diperoleh kekuatan *ultimate (ultimate strength)* atau tegangan *ultimate (ultimate stress)* dari suatu bahan. Untuk material ulet, faktor keamanan didasarkan pada *yield point stress* (tegangan titik luluh). Faktor keamanan merupakan rasio antara tegangan maksimum dengan tegangan kerja (Kriswanto dan Widayat, 2015: 9).

$$\text{faktor keamanan} = \frac{\text{yield point stress}}{\text{working stress}} \dots\dots\dots 2.4$$

Secara teoritis nilai *safety factor* yang digunakan dalam skala industri adalah minimal 4. Angka keamanan (*safety factor*) minimal 4 merupakan kebijakan yang diterapkan dalam dunia industri. Aturan ini juga diterapkan oleh Daihatsu, Toyota, PT. Astra Honda Motor, dan PT. Semesta Citra Motorindo. Mott, dkk (2018: 189) mengemukakan bahwa penentuan *safety factor* suatu struktur *ductile materials* yang akan dirancang dapat menggunakan aturan berikut:

1.  $N = 1,25$  hingga  $2,0$  untuk perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data perancangan.
2.  $N = 2,0$  hingga  $2,5$  untuk perancangan elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan tingkat kepercayaan rata-rata untuk semua data perancangan.

3.  $N = 2,5$  hingga  $4,0$  untuk perancangan struktur statis atau elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beban, sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.
4.  $N = 4,0$  atau lebih untuk perancangan struktur statis atau elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beberapa kombinasi beban, sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.

#### 2.2.16 Landasan Teori Validasi Perancangan

Fungsi validasi perancangan adalah untuk menjamin keakuratan data dan menyeragamkan penelitian berbasis *software*. Validasi diartikan sebagai suatu tindakan pembuktian bahwa tiap bahan, proses, prosedur, kegiatan, sistem, perlengkapan atau mekanisme yang digunakan dalam produksi dan pengawasan senantiasa mencapai hasil yang diinginkan. Penarikan kesimpulan terhadap analisis struktur untuk memenuhi standar kelayakan, yaitu hasil analisis tegangan *von Mises* berada di bawah nilai *yield strength* (Salimin, dkk, 2018:6) dan *safety factor* harus  $\geq 4$  (Mott, dkk, 2018: 189).

Analisis menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017 jika dibandingkan dengan analisis numerik secara manual harus memenuhi standar batas *error* maksimal 5% (Sabardiyanto dan Iskandar, 2016: 186). Persentase tingkat *error* diambil dari perbandingan antara hasil *safety factor* pada *software* dengan hasil *safety factor* pada perhitungan menggunakan rumus manual.

## **BAB III**

### **METODE PERANCANGAN**

#### **3.1 Model Rancangan**

Model rancangan penelitian menggunakan model rancangan menurut Pahl dan Beitz. Metode Pahl dan Beitz mempunyai konsep yang lebih detail dan sebagai pengembangan dari metode-metode yang telah ada sebelumnya dengan empat fase. Harsokoesoemo (2004: 29) menyatakan bahwa perancangan menurut Pahl dan Beitz terdiri dari empat kegiatan (fase), masing-masing terdiri dari beberapa langkah. Keempat fase ini meliputi:

##### **1. Perencanaan dan Penjelasan Produk**

*Chassis* kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik yang dirancang untuk menjawab kebutuhan *chassis* dengan kekuatan tinggi namun memiliki berat yang ringan. Material *chassis* dirancang dengan menggunakan material baja AISI 1018 agar mampu menopang beban kendaraan. *Chassis* yang akan dirancang adalah jenis *ladder frame* dengan bentuk *rectangular* pada *long member*. Pemilihan *chassis* jenis *ladder frame* karena kendaraan *hybrid* yang akan dirancang berkapasitas enam penumpang dengan jenis kendaraan tanpa *body*. Material *chassis* adalah baja AISI 1018 dengan standarisasi ISO. Pemilihan material baja AISI 1018 sebagai material penyusun *chassis* karena beberapa kelebihan sifatnya seperti tahan aus, keuletan, dan ketangguhan serta memperhitungkan beban kendaraan.

*Chassis* ini dirancang mampu menerima beban maksimum sebesar 7174 N (kapasitas 6 penumpang dengan asumsi bahwa massa 1 orang sebesar 65 kg) untuk sistem penggerak belakang dengan total beban kendaraan sebesar 9437 N. Asumsi

pembebanan kendaraan pada perancangan *chassis* adalah pada Tabel 3.1.

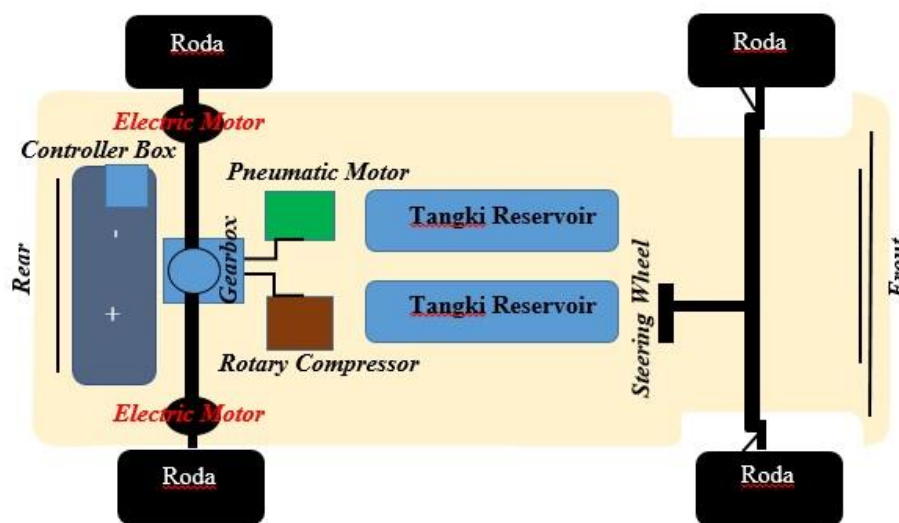
Tabel 3.1 Beban Kendaraan

No.	Komponen	Massa	Jumlah	Total massa	sumber
1.	<i>Body</i> kendaraan	60 kg	1	60 kg	Asumsi peneliti
2.	Komponen Kemudi	6 kg	1	6 kg	(Wahyudi dan Fahrudi, 2016: 74)
3.	Komponen Pengereman	5 kg	1	5 kg	(Wahyudi dan Fahrudi, 2016: 74)
4.	Komponen Roda dan suspensi	10 kg	4	40 kg	Asumsi Peneliti
5.	<i>Jok/Kursi</i>	10 kg	6	60 kg	(Wahyudi dan Fahrudi, 2016: 74)
6.	<i>Differential</i>	1,5 kg	1	1,5 kg	Alibaba
7.	Penumpang	65 kg	6	390 kg	Asumsi peneliti
8.	<i>Rotary Compressor</i>	8 kg	1	8 kg	Alibaba
9.	Tangki Reservoir	35 kg	2	70 kg	Alibaba
10.	<i>Pneumatic Motor</i>	4,3 kg	1	4,3 kg	Globe Air Motor
11.	<i>Electric Motor</i>	35 kg	2	70 kg	Alibaba
12.	<i>Battery Pack</i> 96 V 200 Ah	48 gr	1742	84 kg	Alibaba
13.	<i>Battery Cover</i>	40 kg	1	40 kg	Asumsi Peneliti
14.	<i>Controller Box</i> (Inverter)	4 kg	1	4 kg	Alibaba
15.	<i>Chassis Frame</i>	119 kg	1	119 kg	<i>Software Inventor</i>
Total beban kendaraan				962 kg	

## 2. Perancangan Konsep Produk

Tahapan perancangan konsep produk dijelaskan mengenai konsep penempatan komponen yang ditopang *chassis* kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik seperti *steering wheel*, baterai, motor listrik, sistem pneumatik, dan penempatan

kompresor. Penempatan komponen ini selanjutnya akan dilakukan pengujian pembebanan untuk mendapatkan hasil analisis menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017. *Lay out* konsep penempatan komponen-komponen yang ditopang *chassis* dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Konsep Penempatan Pembebanan Komponen

### 3. Perancangan Bentuk Produk

Tahapan perancangan bentuk produk dijelaskan mengenai beberapa hal yang akan berpengaruh kepada *chassis* yang dirancang seperti jenis sambungan, dimensi, dan bentuk profil *chassis*. Proses perancangan *chassis* jenis *ladder frame* pada kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017. Proses perancangan *chassis* dimulai dari menggambar setiap komponen (*part*) dengan satuan milimeter (mm) menggunakan menu *standart.ipt*. Pembuatan desain menggunakan fungsi *frame generator* untuk dapat memilih profil dan jenis material *chassis* yang sesuai dengan Standar Internasional (SI). Pemilihan profil *long member* pada *chassis* adalah menggunakan bentuk *rectangular*.

Perancangan komponen-komponen pembebanan dilakukan pada tahap ini. Setelah komponen pembebanan selesai, maka dilakukan *assembly* antar komponen pembebanan dengan desain *chassis*. Langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi *welding* dan *bolting*. *Welding* dan *bolting* dilakukan pada tiap sambungan *chassis* yang memerlukan fungsi tersebut. Tahap akhir, melakukan analisis struktur *chassis* menggunakan metode elemen hingga pada *software* Autodesk Inventor Professional 2017.

#### 4. Perancangan Detail Produk

Tahapan perancangan detail produk dijelaskan mengenai spesifikasi desain *chassis*. *Chassis* adalah jenis *ladder frame* menggunakan baja AISI 1018 dengan standarisasi ISO. Pemilihan material ini berdasarkan dengan kapasitas angkut/penumpang. Tahapan detail produk juga dijelaskan mengenai dimensi desain *chassis*. Spesifikasi desain *chassis* adalah seperti Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Detail Desain *Chassis* Kendaraan *Hybrid* Elektrik-Pneumatik

No	Material dan Dimensi	Spesifikasi
1.	Material	Baja AISI 1018
2.	<i>Rectangular Long member</i>	120x80x3 mm
3.	<i>Circular Cross Member</i>	42,4x3 mm
4.	<i>Square Cross member</i>	80x80x3 mm
5.	Massa <i>Frame</i>	119 kg
6.	Panjang	3975 mm
7.	Lebar	1180 mm
8.	<i>Wheel base</i>	2786 mm

Perancangan detail produk juga dipaparkan mengenai spesifikasi komponen pendukung pada desain. Spesifikasi komponen pendukung pada desain *ladder frame chassis* kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Detail Komponen Pendukung pada Desain *Ladder Frame Chassis* Kendaraan *Hybrid* Elektrik-Pneumatik

No	Komponen	Depan/Belakang	Spesifikasi
1.	Suspensi	Depan dan belakang	Macpherson Strut dan <i>Coil spring</i>
2.	Sistem Kemudi		<i>Rack and Pinion</i>
3.	Roda	Depan dan belakang	215/60 R15
4.	Pengereman	Depan dan belakang	<i>Ventilated disc</i>
5.	<i>Differential</i>		<i>Steel Gearbox</i>
6.	<i>Rotary Compressor</i>		120L/Menit Daya Hisap 380
7.	Tangki Reservoir		<i>Air Receiver Tank</i> 300 Liter C-0,3/8
8.	<i>Pneumatic Motor</i>		V12 Vane Motor
9.	<i>Electric Motor</i>		<i>Max Power</i> 30 kW
10.	<i>Battery Pack</i>		Lithium-Ion 96 V 400 Ah
11.	Inverter dengan <i>Controller Box</i>		<i>Pulse with Modulation</i>
12.	<i>Battery Cover</i>		<i>Aluminium Battery Case for EV</i>

### 3.2 Prosedur Perancangan

Prosedur perancangan merupakan langkah-langkah yang harus dilalui secara berurutan untuk menghasilkan sebuah produk. Perbedaan atau pengurangan langkah akan berakibat pada perbedaan hasil produk. Proses perancangan pada pembuatan desain dan analisis kekuatan *ladder frame chassis* pada kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik dilakukan secara komputasi dengan menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017. Spesifikasi komputer yang digunakan seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Spesifikasi Komputer

Sistem	Spesifikasi
<i>Processor</i>	Intel® Core™ i3-6006U
CPU	@ 2.00GHz up to 2.0GHz
<i>Graphic</i>	NVIDIA GeForce MX 110
<i>Harddisk</i>	1 TB
<i>Resolution</i>	1336 x 768
RAM	4 GB
<i>Software</i>	Autodesk Inventor Professional 2017
<i>Windows system</i>	Windows 10 64-bit

Langkah-langkah yang harus dilakukan untuk menghasilkan desain dan hasil analisis kekuatan pada *ladder frame chassis* kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik yang aman adalah sebagai berikut:

### 3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur sebagai pengumpulan data dan perumusan masalah. Studi literatur diperoleh dari jurnal terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Dalam studi literatur, dikaji kelebihan dan kelemahan penelitian yang sudah ada untuk dijadikan pertimbangan pada penelitian yang akan dilakukan.

### 3.2.2 Penggunaan Model Rancangan

Model rancangan digunakan sebagai acuan sebelum melakukan permodelan pada *software*. Model rancangan pada desain *chassis* menggunakan model rancangan Pahl dan Beitz. Model rancangan dimulai dari perencanaan dan penjelasan produk, perancangan konsep produk, perancangan bentuk produk, dan perancangan detail produk.

### 3.2.3 Permodelan

Pembuatan model didasarkan pada pengamatan kendaraan 6 penumpang yang ada di kawasan Universitas Negeri Semarang. Desain *chassis* dibuat dengan



memodifikasi beberapa bagian konstruksi. Langkah-langkah dalam permodelan adalah sebagai berikut:

1. Pengamatan kendaraan 6 penumpang sebagai acuan dalam penentuan geometri.
2. Mendesain *chassis* dengan geometri yang telah ditentukan menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017.
3. Menentukan jenis sambungan menggunakan *welding* dan *bolting simulation*.

#### 3.2.4 *Input* Data Material

Tahapan ini merupakan pemasukan data material, penentuan *constraint*, *contacts*, *mesh*, dan penentuan titik-titik pembebanan. Pemasukan data material didapat dalam *software* Autodesk Inventor Professional 2017 pada *material tool*. Penentuan daerah *constraints* adalah pada dudukan yang langsung berhubungan dengan suspensi. Dudukan ini diasumsikan *rigid* dengan suspensi dan tidak mengalami *displacement* akibat dari pembebanan.

*Contacts* dilakukan secara otomatis dan distribusi pembebanan disesuaikan dengan *lay out* konsep produk. Untuk memudahkan perhitungan, perlu dikelompokkan beban-beban yang terletak pada satu titik pusat. Perubahan massa ke dalam satuan gaya dikalikan resultan  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ . Distribusi pembebanan hanya pada beban yang berada di atas *chassis*. Pembebanan pada kendaraan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F1 &= (\text{massa master rem} + \text{massa komponen kemudi}) \times g \\
 &= (5 + 6) \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 11 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 108 \text{ kg.m/s}^2
 \end{aligned}$$

$$= 108 \text{ N}$$

$$F2 = \text{massa } \textit{body} \text{ kendaraan} \times g$$

$$= 60 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$= 588,6 \text{ kg.m/s}^2$$

$$= 588,6 \text{ N}$$

$$F3 = (2 \times \text{massa tangki reservoir}) \times g$$

$$= (2 \times 35) \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$= 70 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$= 686,7 \text{ kg.m/s}^2$$

$$= 686,7 \text{ N}$$

$$F4 = \{(2 \times \text{massa penumpang}) + (2 \times \text{massa jok bagian depan})\} \times g$$

$$= \{(2 \times 65) \text{ kg} + (2 \times 10) \text{ kg}\} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$= (130 + 20) \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$= 150 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$= 1471,5 \text{ kg.m/s}^2$$

$$= 1471,5 \text{ N}$$

$$F5 = \{(2 \times \text{massa penumpang}) + (2 \times \text{massa jok bagian tengah}$$

$$+ \text{massa } \textit{rotary compressor} + \text{massa } \textit{pneumatic motor})\} \times g$$

$$= \{(2 \times 65) \text{ kg} + (2 \times 10) \text{ kg} + 8 \text{ kg} + 4,3 \text{ kg}\} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

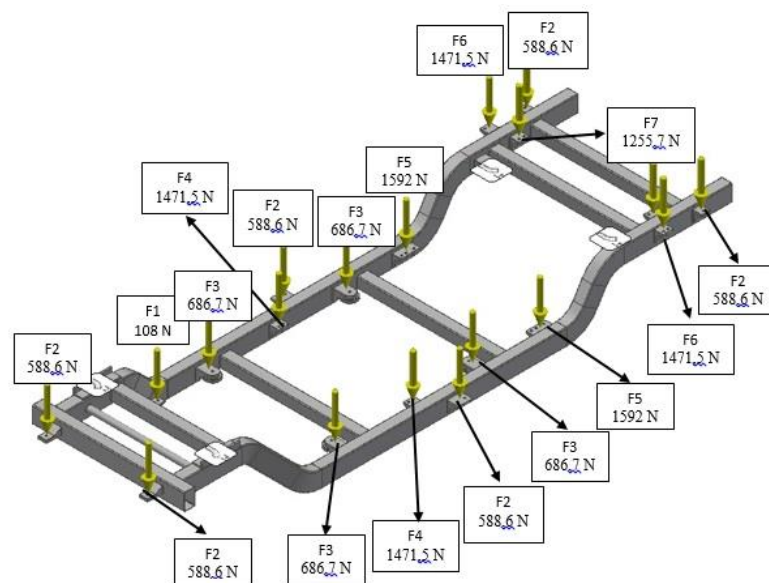
$$= (130 + 20 + 8 + 4,3) \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$= 162,3 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$= 1592 \text{ kg.m/s}^2$$

$$= 1592 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 F6 &= \{(2 \times \text{massa penumpang}) + (2 \times \text{massa jok bagian belakang})\} \times g \\
 &= \{(2 \times 65) \text{ kg} + (2 \times 10) \text{ kg}\} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 &= (130 + 20) \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 150 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 1471,5 \text{ kg.m/s}^2 \\
 &= 1471,5 \text{ N} \\
 \\
 F7 &= (\text{massa baterai} + \text{massa baterai cover} + \text{massa controller box}) \times g \\
 &= (84 + 40 + 4) \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 128 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 1255,7 \text{ kg.m/s}^2 \\
 &= 1255,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$



Gambar 3.2 Distribusi Pembebanan

### 3.2.5 Pengujian

Pengujian ini menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017.

Pengujian dilakukan pada desain *chassis* dengan material baja AISI 1018 dengan

*default mesh*, kemudian dilakukan *refinement meshing*. Asumsi digunakan untuk memudahkan peneliti dalam melakukan analisis. Beberapa asumsi yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Material *chassis* diasumsikan sama untuk seluruh struktur *chassis*. Material yang dipilih untuk desain *chassis* adalah baja AISI 1018.
2. Titik-titik pembebanan berada pada dudukan *chassis*.
3. Beban yang bekerja pada sistem berupa beban statis.

### 3.2.6 Hasil Analisis

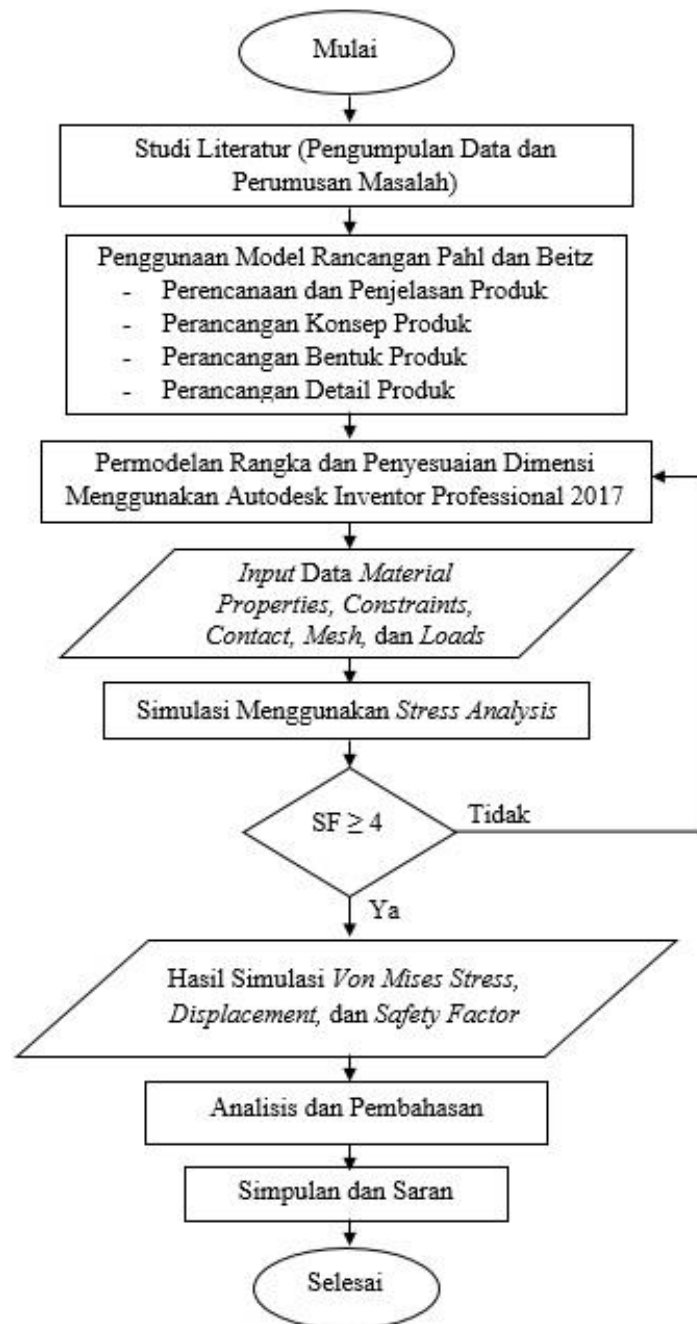
Hasil analisis berupa distribusi *von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor* yang ditampilkan dalam kontur warna pada geometri *chassis* dan/atau angka-angka yang menunjukkan besarnya nilai *output* pada tiap elemen. Dari kontur warna dapat diketahui nilai maksimum dan nilai minimum hasil analisis.

Instrumen dibutuhkan dalam melaksanakan kegiatan penelitian. Instrumen berfungsi untuk mengumpulkan data. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada Tabel 3.5:

Tabel 3.5 Instrumen Hasil *Stress Analysis*

No	Data <i>Stress Analysis</i>	Hasil <i>Stress Analysis</i>	
		Max.	Min.
1.	Tegangan <i>Von Mises</i> (MPa)		
2.	<i>Displacement</i> (mm)		
3.	<i>Safety Factor</i>		

Hasil analisis pada *software* dijadikan acuan untuk menarik kesimpulan. Lebih jelasnya, tahap-tahap dalam permodelan dan analisis dapat dilihat pada diagram alir Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Validasi Hasil Perancangan

Fungsi validasi hasil perancangan adalah untuk menjamin keakuratan data dan menyeragamkan penelitian menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017. Validasi perancangan digunakan sebagai dasar acuan sebuah

desain layak atau tidak. Standar kelayakan pada desain *chassis* yaitu hasil tegangan *von Mises* harus di bawah nilai *yield strength* (Salimin, dkk, 2018: 6), dan *safety factor* harus  $\geq 4$  (Mott, dkk, 2018: 189).

Validasi perancangan *ladder frame chassis* kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik dilakukan dengan dua tahapan, yaitu:

### 3.3.1 Validasi Desain *Chassis*

Validasi desain *chassis* pada *software* Autodesk Inventor dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

#### 1. Pra-Proses *Design*

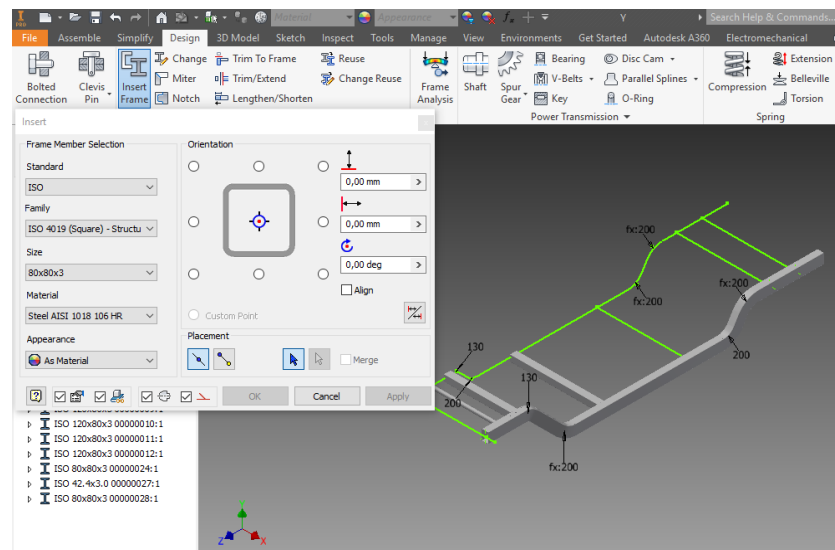
Pra-proses *design* dilakukan dengan *sketching* secara manual dan pemberian dimensi serta toleransi. *Sketching* manual dilakukan pada secarik kertas dilengkapi dengan pemberian dimensi.

#### 2. Proses *Design*

Proses *design* dilakukan dengan menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017. Proses *design* dibagi menjadi tiga tahapan agar lebih memudahkan dalam pemahaman proses permodelan. Adapun tahapan proses *design* adalah sebagai berikut:

##### a. Proses *part design*

Hasil *sketch* dibuat menjadi 3D menggunakan menu *extrude*, *thread*, *frame generator*, dan menu lainnya sesuai dengan fungsi dan bentuk komponen yang dikerjakan. Pada tahapan ini juga dilakukan validasi jenis material dan bentuk komponen.

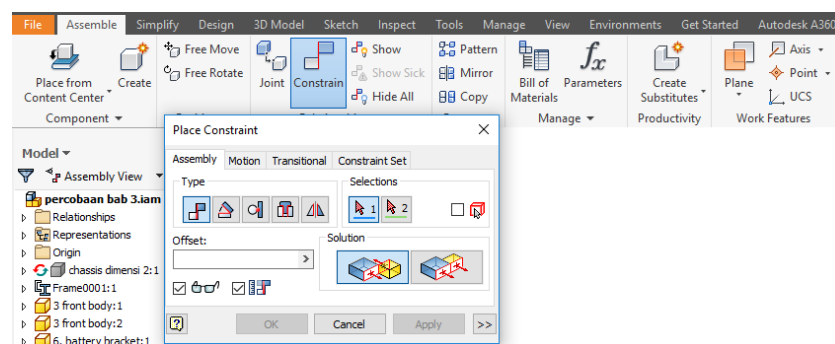


Gambar 3.4 Permodelan 3D Menggunakan *Frame Generator*

#### b. Proses *assembly*

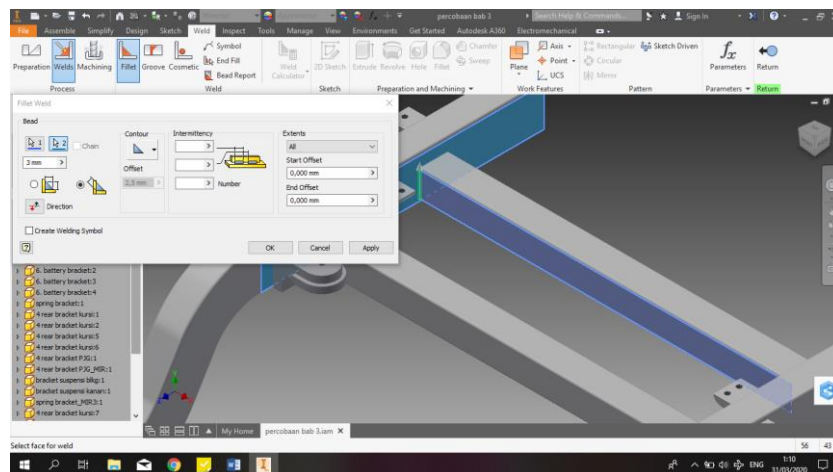
Proses *Assembly* dilakukan untuk merakit semua komponen dari *part design* yang saling berhubungan. Perakitan komponen dilakukan dengan menu *constrain*. Fitur *mate/flash* dipilih agar perakitan antar-*part design* dapat melekat penuh. Sambungan antar-*part* menggunakan simulasi *welding* dan *bolting*.

- 1) Klik *tab Assemble* – klik *constrain* – pilih *type* – klik dua komponen atau lebih yang akan dirakit.
- 2) Sesuaikan posisi (jarak) antar komponen yang dirakit – *offset* – *apply*.

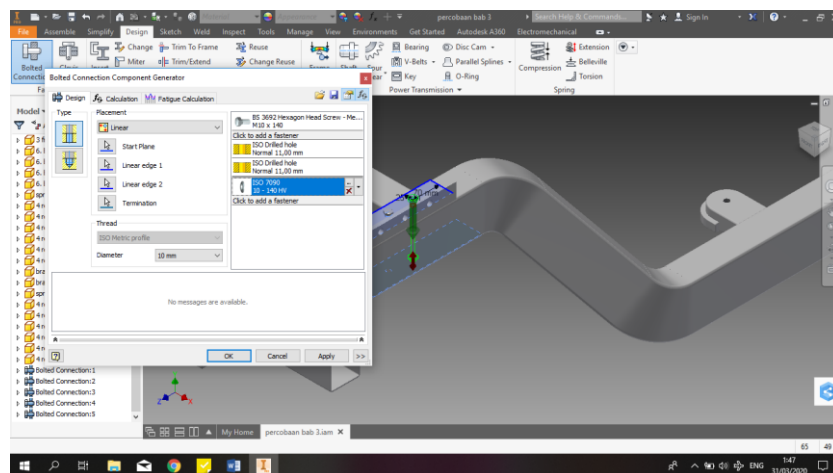


Gambar 3.5 Tampilan Proses *Assembly* pada *Tab Assemble*

- 3) Setelah *frame* dan dudukan selesai dirakit, dilanjutkan proses simulasi pengelasan menggunakan *welding simulation*.
- 4) Klik *tab environments* – klik *convert to weldment* – klik *tab weld* – klik *fillet* – beri ukuran ketebalan las – klik bagian-bagian yang akan dilas – *apply*.

Gambar 3.6 Simulasi *Welding*

- 5) Setelah melakukan simulasi *welding*, dilanjutkan dengan simulasi *bolting*.
- 6) Klik *tab design* - *Bolted Connection* – *type* – beri ukuran diameter ulir baut – standarisasi baut dan mur – *apply*.

Gambar 3.7 Simulasi *Bolting*



### c. Gambar kerja

Gambar kerja diperlukan untuk memudahkan komunikasi antara perancang produk dengan pelaksana pembuatan produk. Gambar kerja menggunakan standarisasi DIN dengan sistem proyeksi Amerika. Gambar kerja memuat dimensi, proyeksi, dan satuan yang digunakan. Hasil gambar kerja dan gambar *assembly* 3D dijadikan acuan untuk proses validasi hasil analisis perancangan.

### 3.3.2 Validasi Hasil Analisis Kekuatan *Chassis*

Validasi hasil analisis kekuatan *chassis* pada *software* Autodesk Inventor dilakukan menggunakan *stress analysis*. *Stress analysis* dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan Autodesk Inventor Professional 2017. Objek pengujian berupa desain 3D *chassis*.

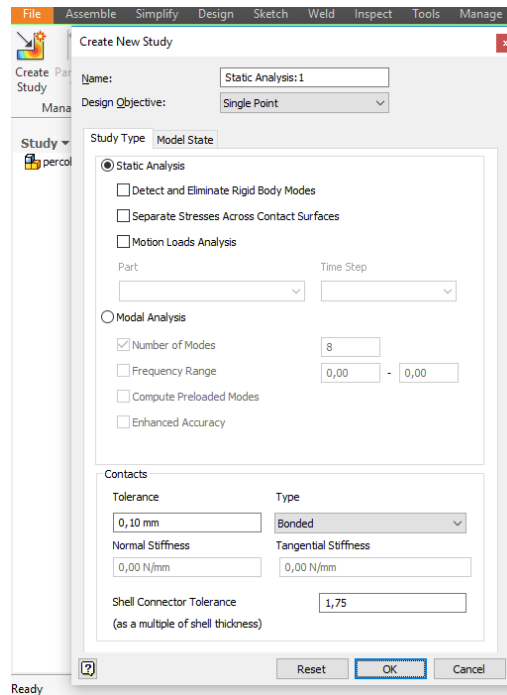
Metode elemen hingga akan membagi 3D *chassis* menjadi geometri yang kecil dan tetap terhubung, disebut *meshing*. Geometri ini diberi beban sesuai dengan parameter pengujian. Beban yang dimaksud adalah beban pengemudi, penumpang, dan beban komponen kendaraan. Menurut Setyono dan Gunawan (2015: 72), tahapan-tahapan pada *stress analysis* menggunakan Autodesk Inventor yaitu:

#### a. Pra-proses analisis

Prosedur pada pra-proses analisis struktur adalah pembuatan desain, melakukan verifikasi material, menentukan *constraints* (tumpuan), *constacts* dan menentukan beban. Langkah langkahnya yaitu:

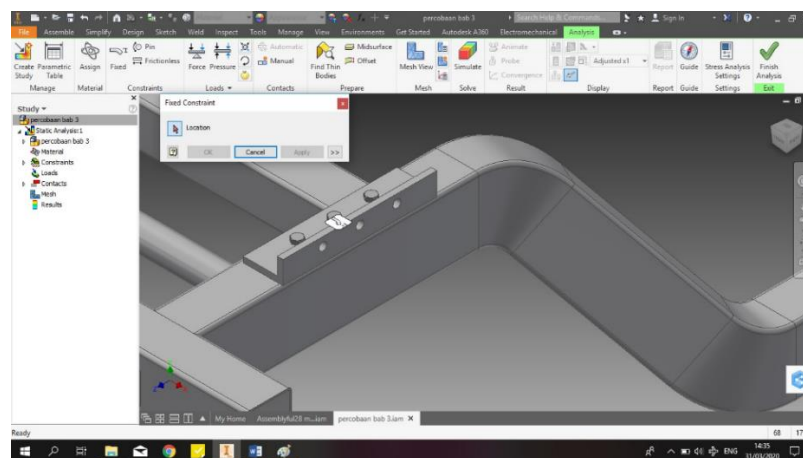
- 1) Melakukan penyederhanaan model *chassis*. *Chassis* disesuaikan dengan *chassis* jenis *ladder frame*. Langkah ini telah dijabarkan dalam “proses *design*” pada validasi desain *chassis*.

2) Klik *tab environment – stress analysis – creat study – static analysis – ok.*



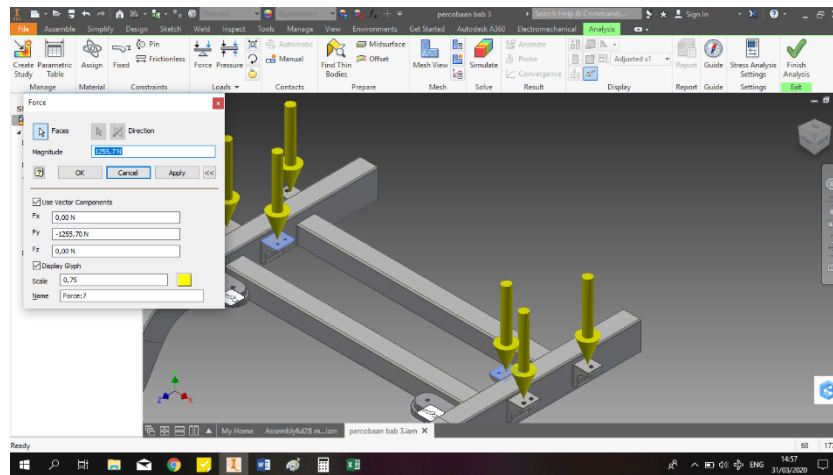
Gambar 3.8 Tampilan *Tab Static Analysis*

3) Menentukan titik-titik *constraints* (tumpuan) dan menentukan *contacts* secara otomatis.



Gambar 3.9 *Fixed Constraints* pada Dudukan Suspensi

4) Menentukan *loads*, yaitu beban sebesar 7174 N, untuk kapasitas 6 penumpang.

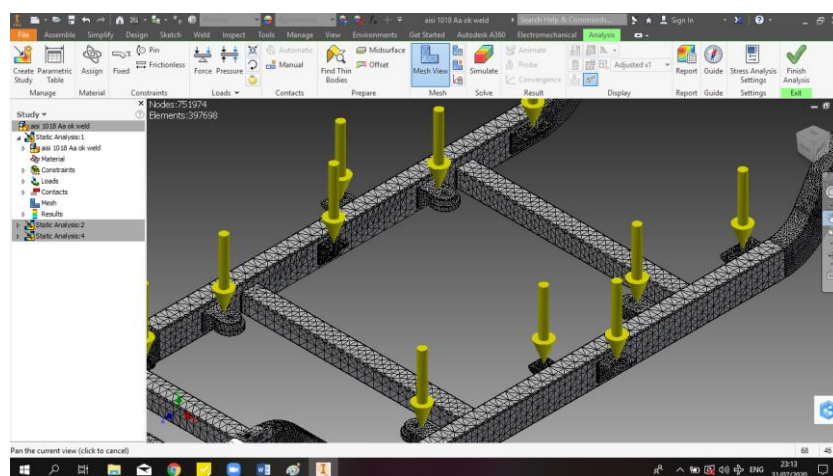


Gambar 3.10 Pemberian Pembebanan pada Dudukan *Chassis*

#### b. Proses analisis

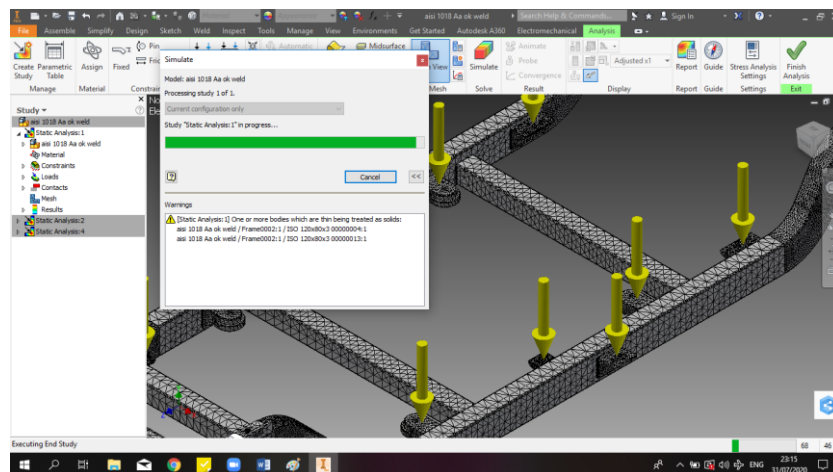
Proses analisis meliputi *meshing view*, *running simulation*, dan *refinement meshing* (penghalusan jumlah *mesh*).

1) *Meshing view*, struktur *chasis* mobil dilakukan *meshing* dengan *element* dan *node* yang sudah ditentukan. Pengaturan *meshing* yang digunakan adalah *default meshing*.



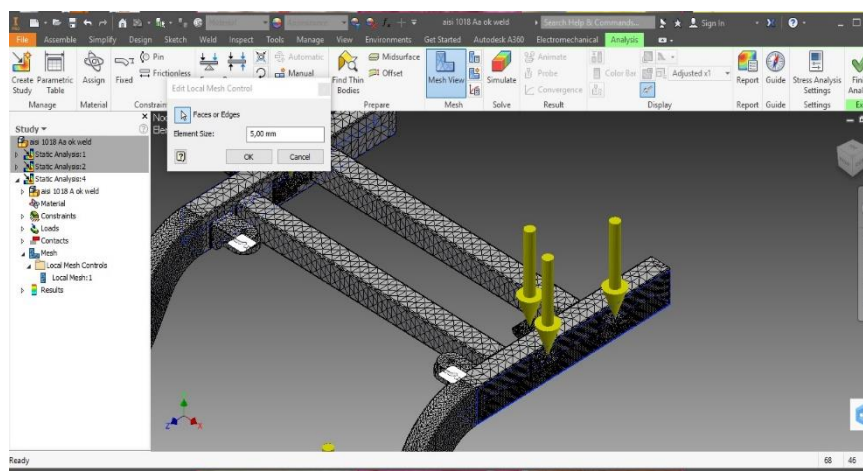
Gambar 3.11 Proses *Default Meshing*

- 2) *Running simulation*, proses *running* berjalan dengan pembacaan perhitungan menggunakan metode elemen hingga.



Gambar 3.12 Proses *Simulate*

- 3) *Refinement meshing*, proses *refinement meshing* dilakukan pada bagian yang memiliki tegangan maksimum, sehingga hasil lebih akurat.
- 4) Klik *maximum value* – klik *local mesh control* – klik *element* yang memiliki tegangan tertinggi - *ok* – *simulate* – *run*.



Gambar 3.13 *Refinement Meshing* pada Area Dudukan Suspensi Belakang

c. Hasil analisis struktur

Hasil analisis struktur pada pengujian menggunakan Autodesk Inventor Professional 2017 berupa *von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor*. *Data report* hasil simulasi ini adalah perhitungan komputasi menggunakan metode elemen hingga pada *stress analysis*. Penarikan kesimpulan terhadap analisis struktur harus memenuhi standar kelayakan, yaitu hasil analisis tegangan *von Mises* harus di bawah nilai *yield strength* (Salimin, dkk, 2018: 6) dan *safety factor* harus  $\geq 4$  (Mott, dkk, 2018: 189).

Analisis menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017 jika dibandingkan dengan analisis numerik secara manual harus memenuhi standar batas *error* maksimal 5% (Sabardiyanto dan Iskandar, 2016: 186). Persentase tingkat *error* diambil dari perbandingan antara hasil *safety factor* pada *software* dengan hasil *safety factor* pada perhitungan menggunakan rumus manual.

Data yang diperoleh dari pengolahan *software* berupa data numerik, grafik, dan simulasi *von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor* yang terjadi di setiap geometri dari yang terkecil hingga terbesar. Analisis deskriptif dilakukan guna menentukan kelayakan suatu desain dengan memastikan bahwa tegangan perancangan tidak melebihi tegangan yang diizinkan material. Data yang dianalisis adalah angka yang diperoleh dari pengujian *stress analysis* berupa *von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor* dari *software* Autodesk Inventor Professional 2017.

## BAB IV

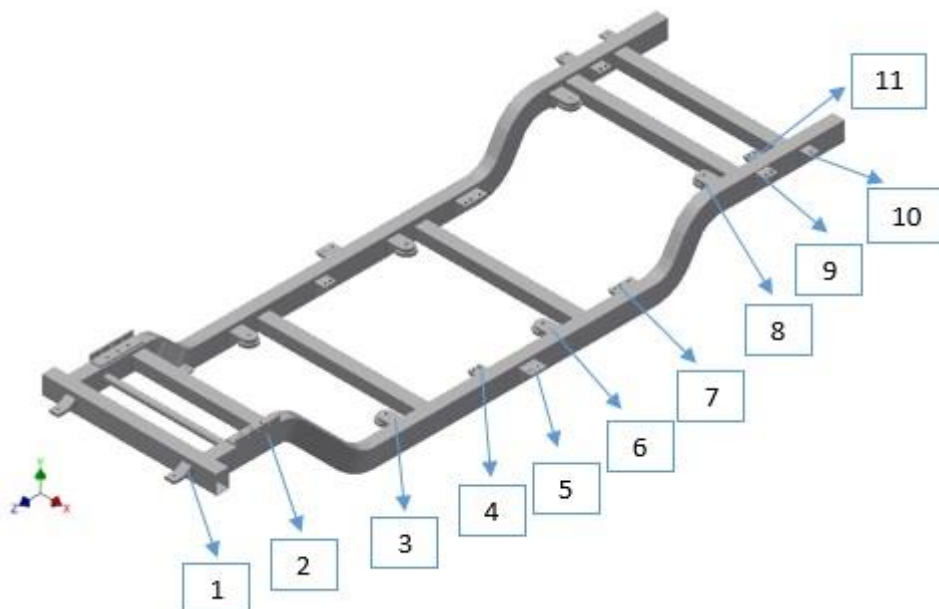
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Perancangan

Hasil penelitian terdiri dari perancangan dan analisis kekuatan. Hasil penelitian secara rinci diuraikan sebagai berikut:

##### 4.1.1 Hasil Perancangan *Chassis*

Berdasarkan hasil penelitian, telah dihasilkan desain dan analisis kekuatan pada *chassis* pada kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik. Desain *chassis* menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017. Desain *chassis* yang telah dihasilkan termasuk dalam jenis *ladder frame* dengan material baja AISI 1018 berstandar ISO. Hasil desain *ladder frame chassis* kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Desain *Chassis* Kendaraan *Hybrid* Elektrik-Pneumatik

Keterangan Gambar 4.1:

- 1 = dudukan *body*
- 2 = dudukan suspensi depan
- 3 = dudukan tangki reservoir
- 4 = dudukan kursi
- 5 = dudukan *body*
- 6 = dudukan tangki reservoir
- 7 = dudukan kursi, motor pneumatik, dan kompresor
- 8 = dudukan suspensi belakang
- 9 = dudukan kursi
- 10 = dudukan *body*
- 11 = dudukan baterai dan *controller box*

Berdasarkan Gambar 4.1 *chassis* pada kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik dirancang mampu mengangkut penumpang hingga 6 orang dengan dimensi sebagai berikut:

Tabel 4.1 Dimensi *chassis* kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik

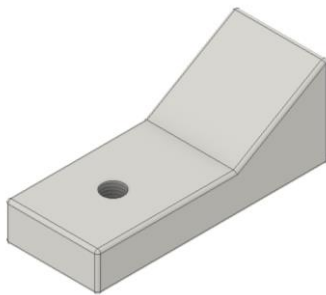
No	Bagian	Spesifikasi
1.	Panjang <i>Chassis</i>	3975 mm
2.	Lebar Bagian Depan <i>Chassis</i>	1082 mm
3.	Lebar Bagian Tengah <i>Chassis</i>	1180 mm
4.	Lebar Bagian Belakang <i>Chassis</i>	1180 mm
5.	<i>Wheel Base</i>	2786 mm
6.	<i>Rectangular Long member</i>	120x80x3 mm
7.	<i>Square Cross member</i>	80x80x3 mm
8.	<i>Circular Cross Member</i>	42,4x3 mm

*Material Properties* pada desain *ladder frame chassis* ditunjukkan Tabel 4.2.

Tabel 4.2 *Material Properties* pada desain *chassis*

Name	Property	Steel AISI 1018	
		106 HR	118 QT
General	<i>Mass density</i>	7,87 g/cm <sup>3</sup>	7,87 g/cm <sup>3</sup>
	<i>Yield strength</i>	250 MPa	290 MPa
	<i>Ultimate tensile strength</i>	354 MPa	496 MPa
Stress	<i>Young's modulus</i>	207 GPa	207 GPa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,33 ul	0,33 ul
	<i>Shear Modulus</i>	77,8195 GPa	77,8195 GPa

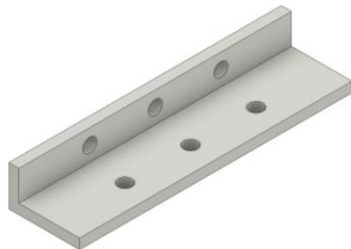
Perancangan *ladder frame chassis* pada kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik dilakukan dengan cara merancang setiap *part* menjadi beberapa *sub-assembly*. Proses *assembly* pada seluruh *part* dilakukan setelah semua *part* lengkap. *Sub-assembly* adalah komponen-komponen dudukan *chassis* (komponen pendukung). Desain dudukan *chassis* adalah sebagai berikut:



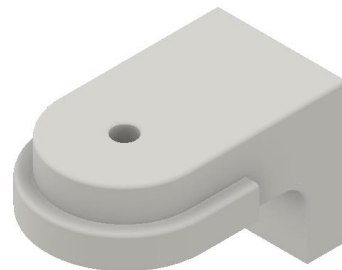
Gambar 4.2 Sub-Assembly Body Bracket



Gambar 4.5 Sub-Assembly Chair Bracket



Gambar 4.3 Sub-Assembly Front Spring Suspension



Gambar 4.6 Sub-Assembly Rear Spring Suspension



Gambar 4.4 Sub-Assembly Receiver Tank Bracket



Gambar 4.7 Sub-Assembly Battery Bracket



Komponen pendukung (*Sub-Assembly*) dibuat dengan dengan *menu PART* pada Autodesk Inventor dan fitur *extrude* yang terpisah dengan pembuatan desain *chassis*. Setelah desain komponen pendukung telah dibuat, dilakukan proses *assembly* (perakitan) antara dudukan dan desain *chassis* menggunakan menu *ASSEMBLY* dengan fitur *tab constrain*. Selanjutnya, dilakukan simulasi *welding* dan *bolting*.

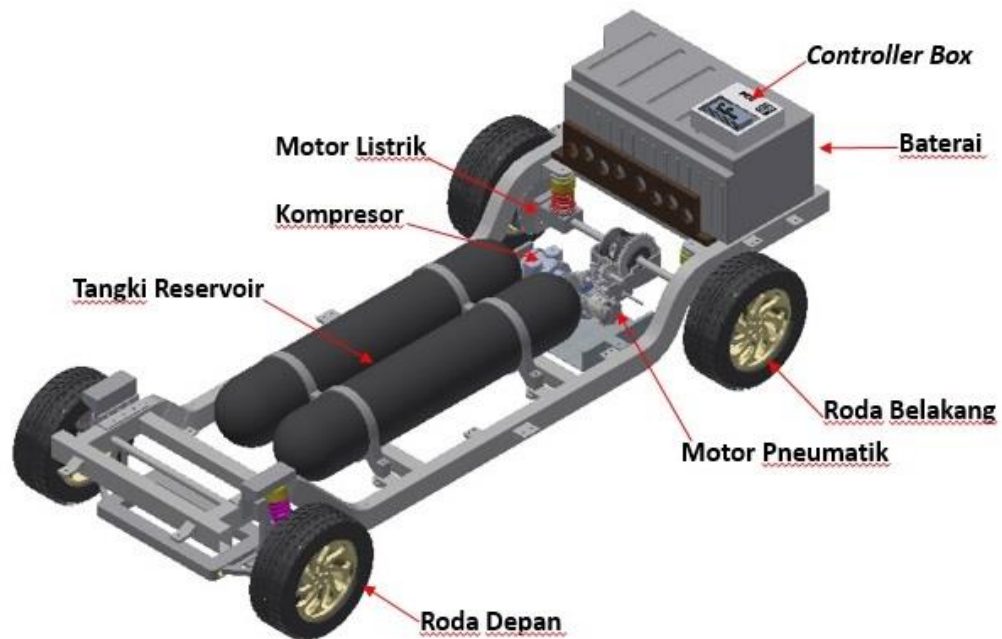
Sambungan antara *long member* dengan *cross member* pada *chassis* menggunakan las jenis *fillet joint*. Dengan ketebalan profil yang sama yaitu 3 mm, merujuk pada keterangan Gambar 2.10, maka ketebalan las adalah adalah 2,121 mm atau setara 3 mm.

Sambungan pada dudukan suspensi depan menggunakan mur dan baut. Jenis baut yang digunakan adalah *through bolts*. Pemilihan jenis ini karena jenis *through bolts* banyak digunakan pada baut mesin, baut pembawa, baut *automobil* dan lain-lain (Kriswanto dan Widayat, 2015: 70). *Trough bolts* yang digunakan adalah M10x140, baut ini biasa digunakan pada dudukan *chassis* dengan kepala baut sebesar 17 mm.



Gambar 4.8 *Trough Bolts* M10x140

Perancangan komponen pendukung pada perancangan *chassis* diperlukan untuk dapat melihat gambaran desain *chassis* secara utuh. Perancangan komponen pendukung pada desain *ladder frame chassis* ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Desain 3D Model *Chassis* Kendaraan *Hybrid* Elektrik-Pneumatik

#### 4.1.2 Hasil Analisis Kekuatan *Chassis*

##### 1. Hasil Analisis

Simulasi pengujian *ladder frame chassis* pada kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik dilakukan dengan pemberian pembebanan total sebesar 7174 N. *Stress analysis* dilakukan dengan memberikan pembebanan pada dudukan-dudukan *chassis* yang akan menerima beban tersebut. Pemberian pembebanan dilakukan dengan memberikan asumsi pada setiap dudukan *chassis* sesuai dengan besaran beban yang diterima. Detail asumsi pembebanan ditunjukkan pada Tabel 4.3.

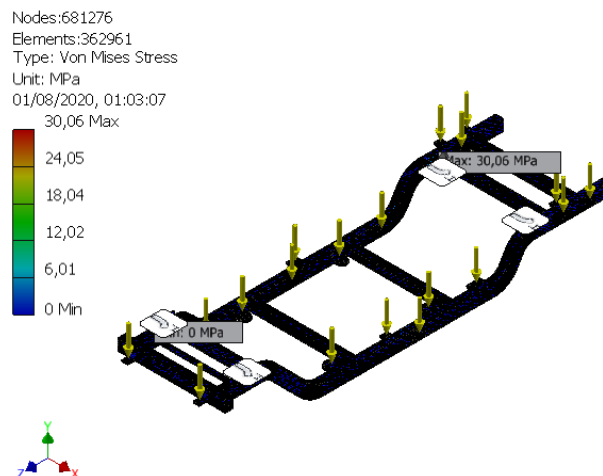
Tabel 4.3 Pembebanan pada *Chassis*

No.	Beban	Komponen	Berat
1.	F1	Master Rem dan Komponen Kemudi	108 N
2.	F2	<i>Body</i> Kendaraan	588,6 N
3.	F3	Tangki Reservoir	686,7 N
4.	F4	Penumpang dan Jok Depan	1471,5 N
5.	F5	Penumpang, Jok Tengah, <i>Compressor</i> dan Motor Pneumatik	1592 N
6.	F6	Penumpang dan Jok Belakang	1471,5 N
7.	F7	Baterai, Baterai <i>Cover</i> , dan <i>Controller box</i>	1255,7 N

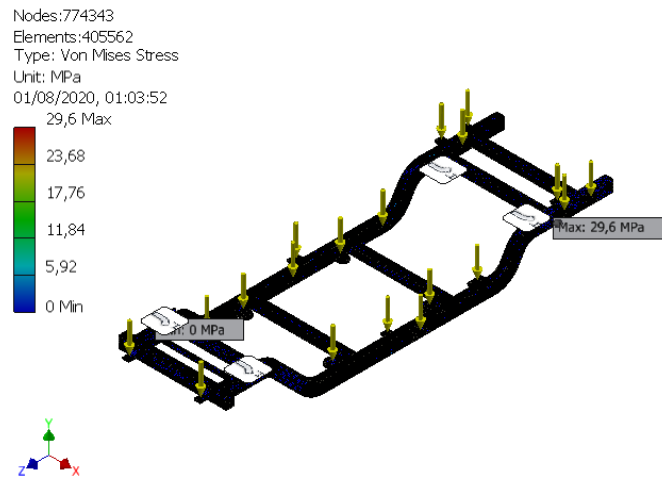
Hasil analisis kekuatan *ladder frame chassis* pada kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik berupa nilai *von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor*. Material yang digunakan dalam simulasi yaitu baja AISI 1018 106 HR (A) dan baja AISI 1018 118 QT (B). Hasil simulasi masing-masing material diuraikan sebagai berikut:

a. Baja AISI 1018 106 HR

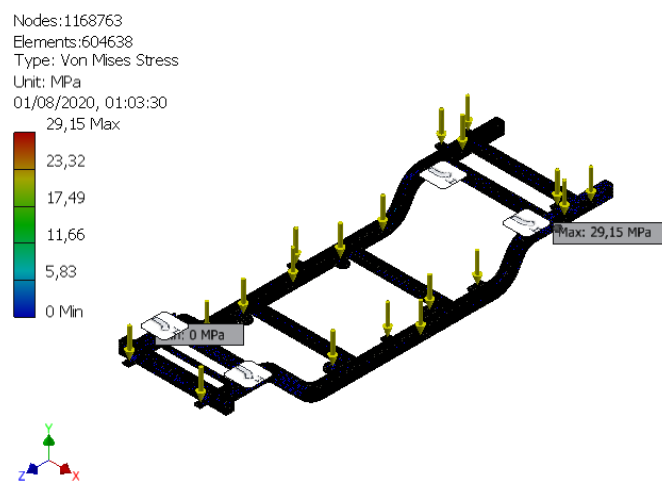
1) *Von Mises stress*



Gambar 4.10 Hasil Analisis *Von Mises Stress* (A) tanpa *Mesh Control*



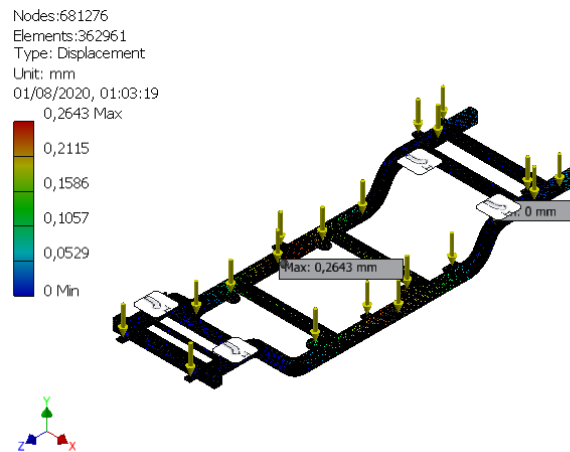
Gambar 4.11 Hasil Analisis *Von Mises Stress* (A) dengan *Mesh Control* 10 mm



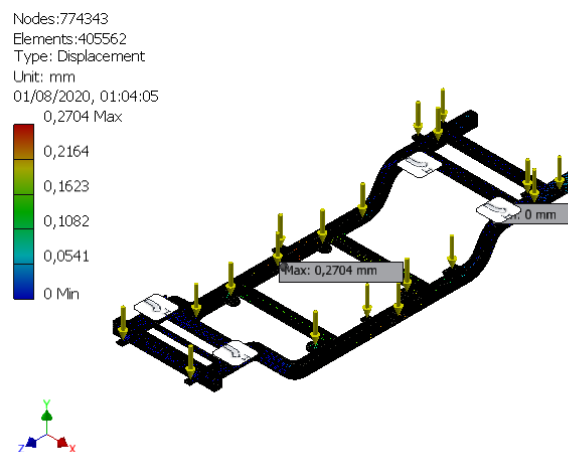
Gambar 4.12 Hasil Analisis *Von Mises Stress* (A) dengan *Mesh Control* 5 mm

*Von Mises stress* tertinggi berada berada pada *long member* di area dudukan suspensi belakang. Nilai *von Mises stress* sebesar 30,06 MPa pada analisis tanpa *mesh control*, 29,6 MPa pada analisis dengan *mesh control* sebesar 10 mm, dan 29,15 MPa pada analisis dengan *mesh control* sebesar 5 mm.

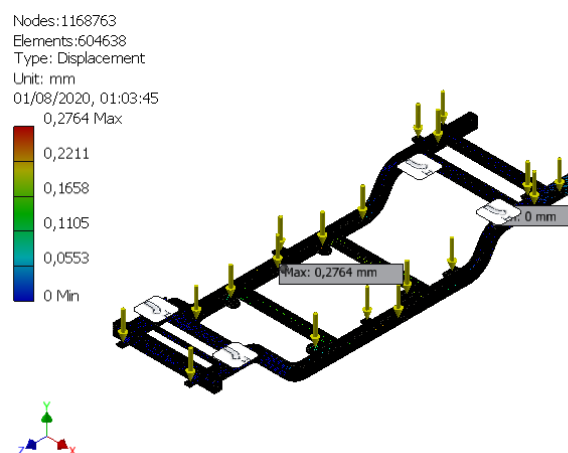
## 2) Displacement



Gambar 4.13 Hasil Analisis *Displacement* (A) tanpa *Mesh Control*



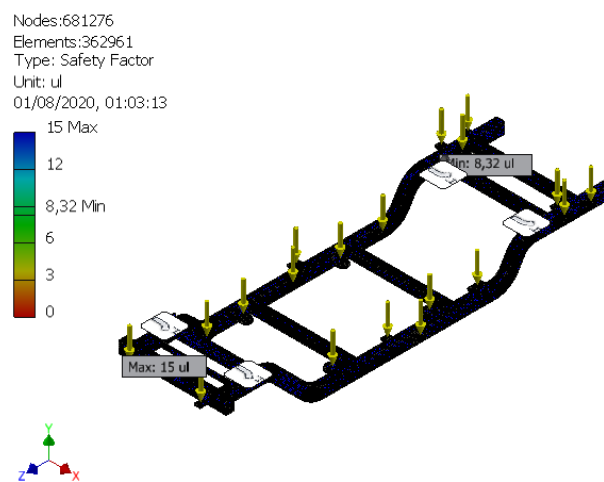
Gambar 4.14 Hasil Analisis *Displacement* (A) dengan *Mesh Control* 10 mm



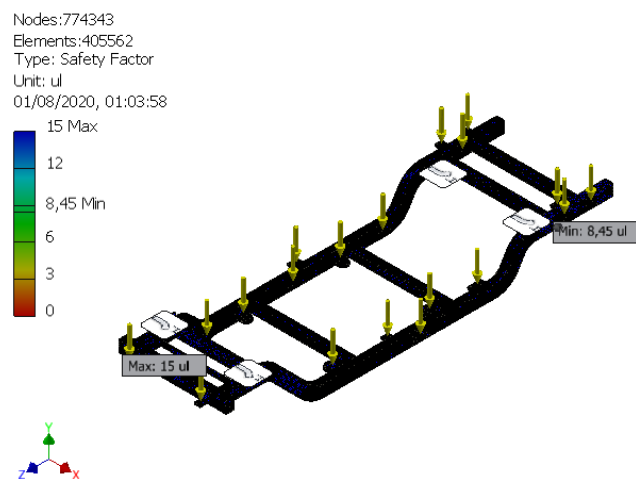
Gambar 4.15 Hasil Analisis *Displacement* (A) dengan *Mesh Control* 5 mm

*Displacement* tertinggi berada berada pada dudukan kursi bagian depan. Nilai *displacement* sebesar 0,2643 mm pada analisis tanpa *mesh control*, 0,2704 mm pada analisis dengan *mesh control* sebesar 10 mm, dan 0,2764 mm pada analisis dengan *mesh control* sebesar 5 mm.

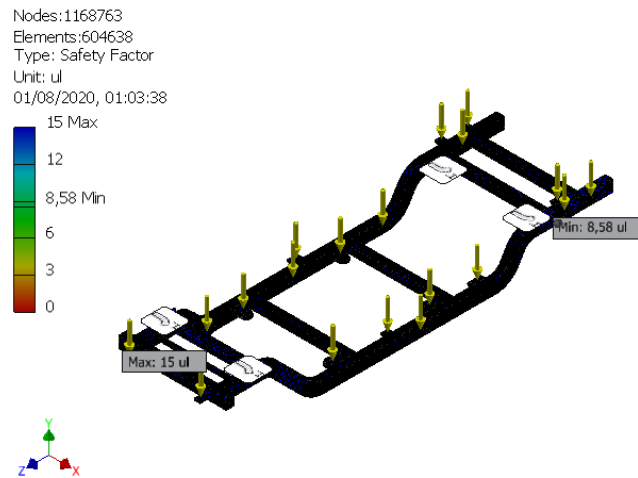
### 3) *Safety factor*



Gambar 4.16 Hasil Analisis *Safety Factor* (A) tanpa *Mesh Control*



Gambar 4.17 Hasil Analisis *Safety Factor* (A) dengan *Mesh Control* 10 mm

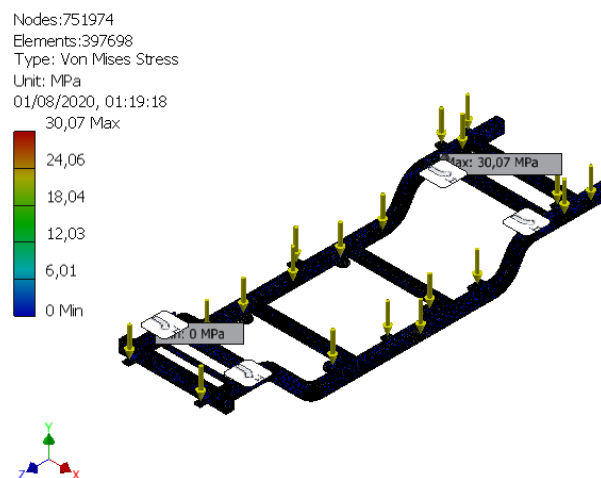


Gambar 4.18 Hasil Analisis *Safety Factor* (A) dengan *Mesh Control* 5 mm

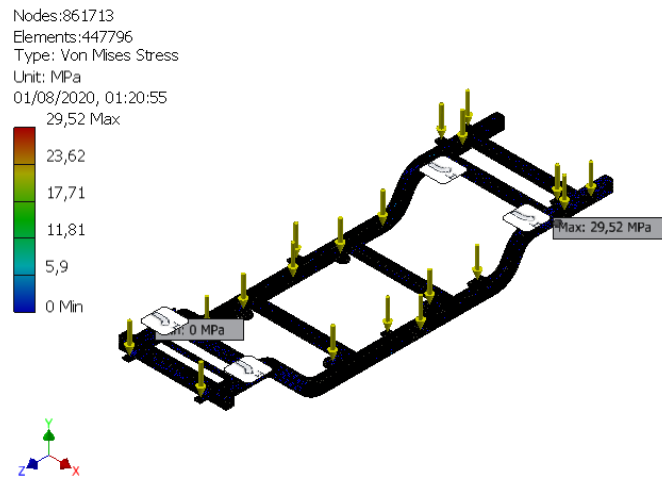
*Safety Factor* terendah berada berada pada *long member* di area dudukan suspensi belakang. Nilai *safety factor* sebesar 8,32 pada analisis tanpa *mesh control*, 8,45 pada analisis dengan *mesh control* sebesar 10 mm, dan 8,58 pada analisis dengan *mesh control* sebesar 5 mm.

## b. Baja AISI 1018 118 QT

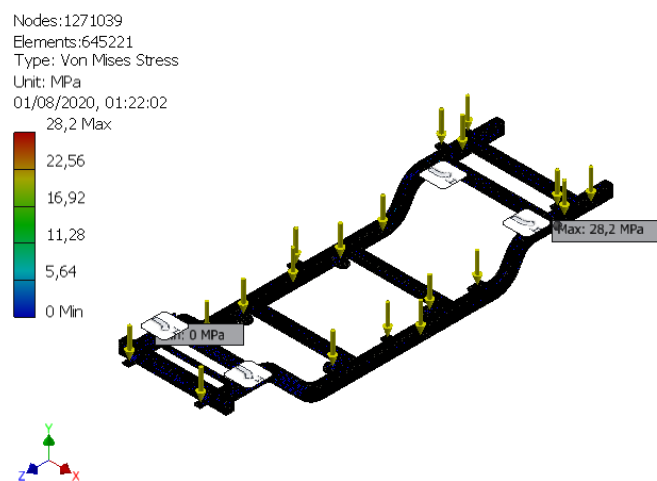
### 1) *Von Mises stress*



Gambar 4.19 Hasil Analisis *Von Mises Stress* (B) tanpa *Mesh Control*



Gambar 4.20 Hasil Analisis *Von Mises Stress* (B) dengan *Mesh Control* 10 mm

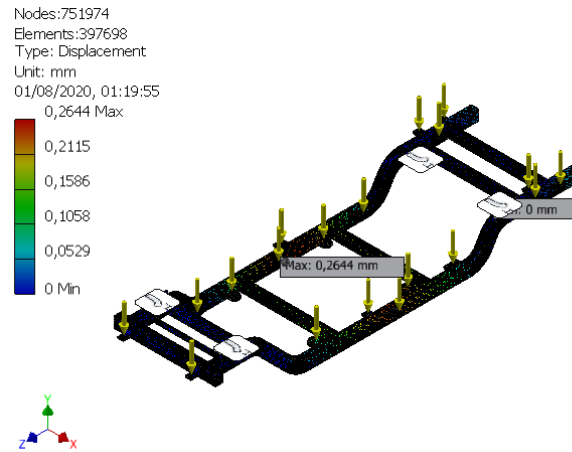


Gambar 4.21 Hasil Analisis *Von Mises Stress* (B) dengan *Mesh Control* 5 mm

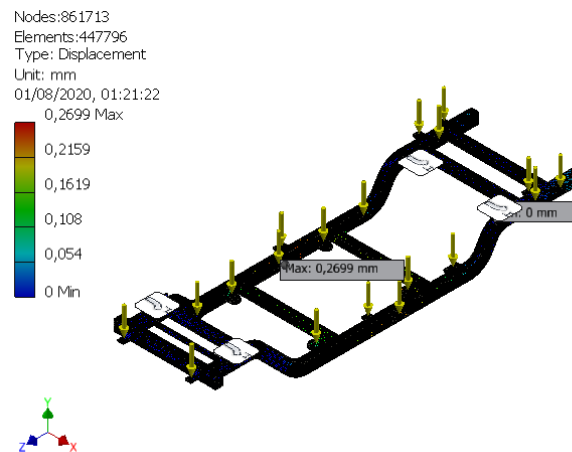
*Von Mises stress* tertinggi berada berada pada *long member* di area dudukan suspensi belakang. Nilai *von Mises stress* sebesar 30,07 MPa pada analisis tanpa *mesh control*, 29,52 MPa pada analisis dengan *mesh control* sebesar 10 mm, dan 28,2 MPa pada analisis dengan *mesh control* sebesar 5 mm.



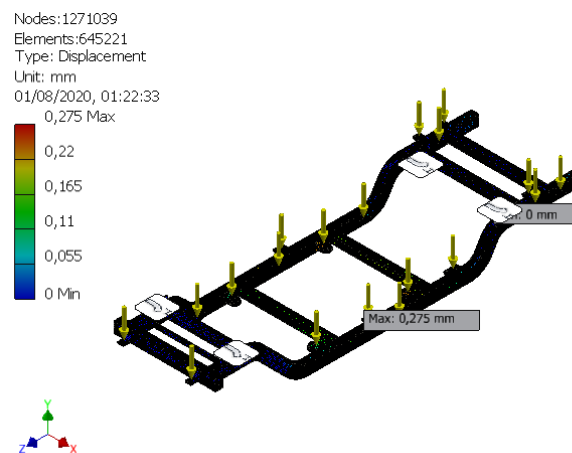
## 2) Displacement



Gambar 4.22 Hasil Analisis *Displacement* (B) tanpa *Mesh Control*



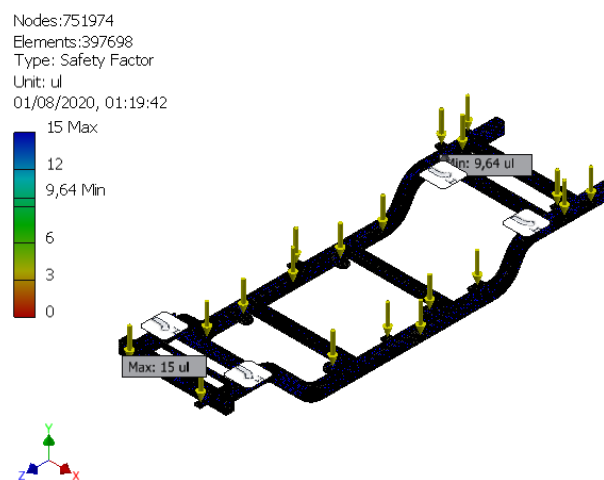
Gambar 4.23 Hasil Analisis *Displacement* (B) dengan *Mesh Control* 10 mm



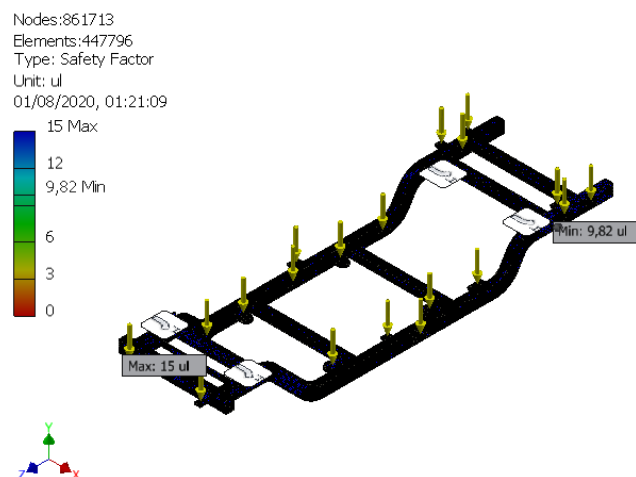
Gambar 4.24 Hasil Analisis *Displacement* (B) dengan *Mesh Control* 5 mm

*Displacement* tertinggi berada berada pada dudukan kursi/jok bagian depan. Nilai *displacement* sebesar 0,2644 mm pada analisis tanpa *mesh control*, 0,2699 mm pada analisis dengan *mesh control* sebesar 10 mm, dan 0,275 mm pada analisis dengan *mesh control* sebesar 5 mm.

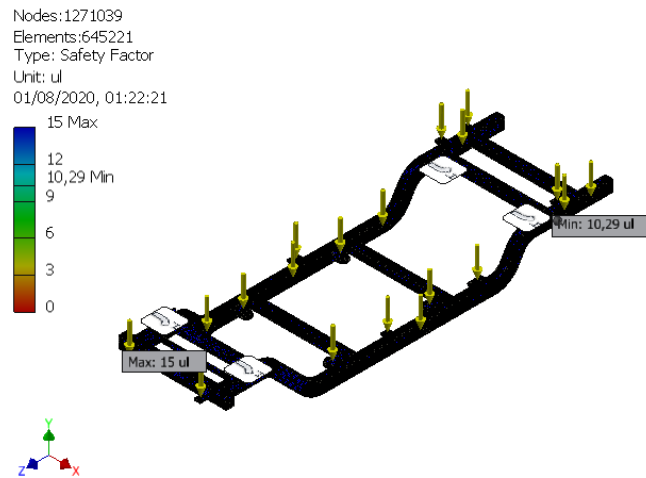
### 3) *Safety factor*



Gambar 4.25 Hasil Analisis *Safety factor* (B) tanpa *Mesh Control*



Gambar 4.26 Hasil Analisis *Safety factor* (B) dengan *Mesh Control* 10 mm



Gambar 4.27 Hasil Analisis *Safety factor* (B) dengan *Mesh Control* 5 mm

*Safety factor* terendah berada pada *long member* di area dudukan suspensi belakang. Nilai *safety factor* sebesar 9,64 pada analisis tanpa *mesh control*, 9,82 pada analisis dengan *mesh control* sebesar 10 mm, dan 10,29 pada analisis dengan *mesh control* sebesar 5 mm.

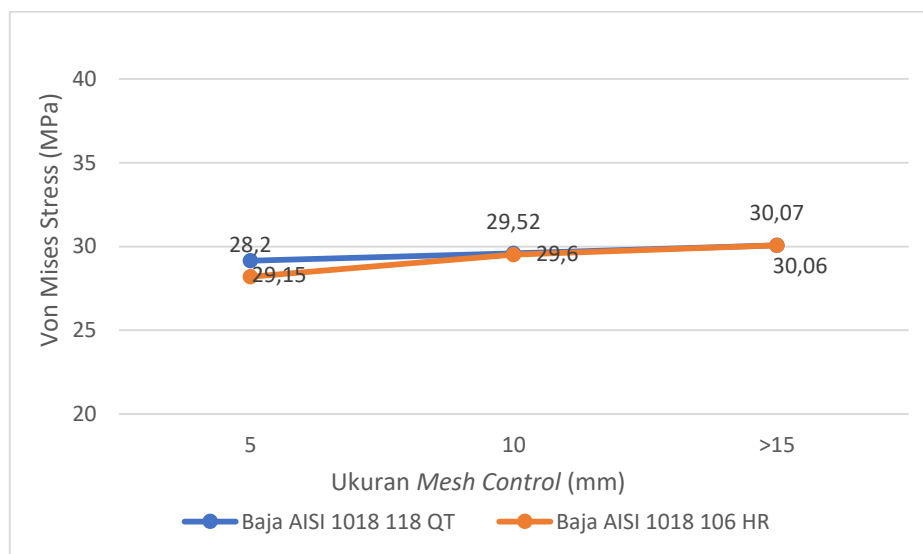
Berdasarkan analisis kekuatan *ladder frame chassis* pada kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik terhadap *von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor* menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017, hasil analisis secara rinci ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perbedaan Hasil *Stress Analysis* pada Desain *Chassis*

Material	Variasi <i>Mesh</i>	<i>Von Mises stress</i> (MPa)	<i>Displacement</i> (mm)	<i>Safety Factor</i>
Baja AISI 1018 106 HR	No <i>mesh control</i>	30,06	0,2643	8,32
	10 mm	29,6	0,2704	8,45
	5 mm	29,15	0,2764	8,58
Baja AISI 1018 118 QT	No <i>mesh control</i>	30,07	0,2644	9,64
	10 mm	29,52	0,2699	9,82
	5 mm	28,2	0,275	10,29

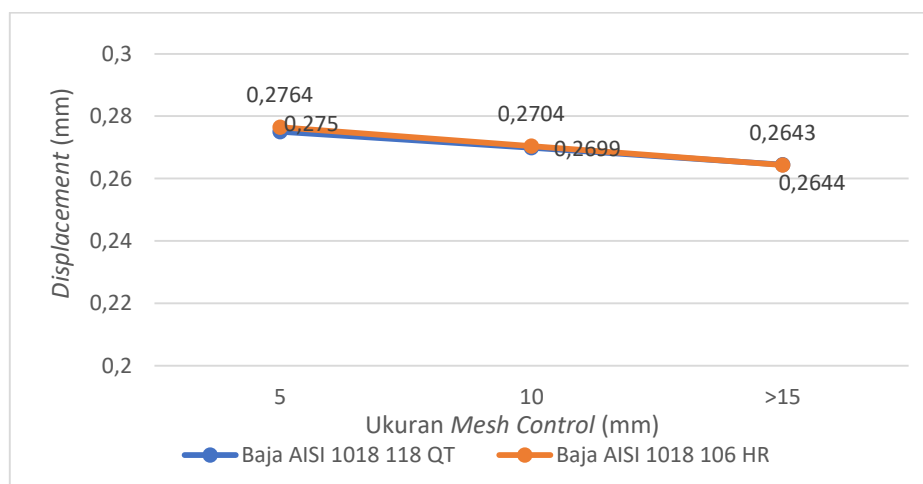
Berdasarkan hasil *stress analysis* pada desain *chassis* dengan variasi ukuran *mesh control* dan variasi material, perbedaannya ditampilkan pada grafik di bawah ini.

a. *Von Mises stress*



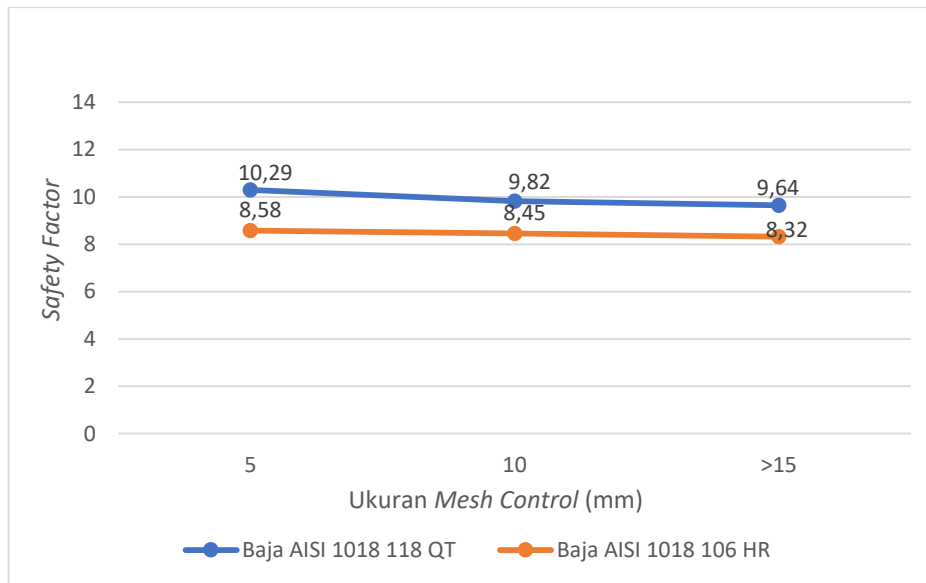
Gambar 4.28 Grafik Nilai *Von Mises Stress*

b. *Displacement*



Gambar 4.29 Grafik Nilai *Displacement*

### c. Safety Factor



Gambar 4.30 Grafik Nilai *Safety Factor*

## 2. Pembahasan Hasil Analisis

Berdasarkan analisis kekuatan *ladder frame chassis* pada kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik terhadap *von Mises stress*, pengujian pertama nilai *von Mises stress* tertinggi berada pada *long member* di area dudukan suspensi belakang. Nilai *von Mises stress* sebesar 30,06 MPa pada *default mesh*, 29,6 MPa pada *mesh control* 10 mm, dan 29,15 MPa pada *mesh control* 5 mm. *Von Mises stress* yang terjadi dikategorikan aman karena berada di bawah *yield strength* yaitu 250 MPa (Salimin, dkk, 2018: 6). Pada pengujian kedua nilai *von Mises stress* tertinggi berada pada *long member* di area dudukan suspensi belakang. Nilai *von Mises stress* sebesar 30,07 MPa pada *default mesh*, 29,52 MPa pada *mesh control* 10 mm, dan 28,2 MPa pada *mesh control* 5 mm. *Von Mises stress* yang terjadi dikategorikan aman karena berada di bawah *yield strength* yaitu 290 MPa (Salimin, dkk, 2018: 6).

Berdasarkan analisis kekuatan *ladder frame chassis* pada kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik terhadap *displacement*, pengujian pertama nilai *displacement* tertinggi berada pada dudukan kursi/jok bagian depan. Nilai *displacement* sebesar 0,2643 mm pada *default mesh*, 0,2704 mm pada *mesh control* 10 mm, dan 0,2764 mm pada *mesh control* 5 mm. *Displacement* dikategorikan aman karena relatif kecil. Pada pengujian kedua nilai *displacement* tertinggi berada pada dudukan kursi/jok bagian depan. Nilai *displacement* sebesar 0,2644 mm pada *default mesh*, 0,2699 mm pada *mesh control* 10 mm, dan 0,275 mm pada *mesh control* 5 mm. *Displacement* dikategorikan aman karena relatif kecil. *Displacement* tertinggi terjadi karena banyaknya pembebanan di area tersebut.

Berdasarkan analisis kekuatan *ladder frame chassis* pada kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik terhadap *safety factor*, pengujian pertama nilai *safety factor* terendah berada pada *long member* di area dudukan suspensi belakang. Nilai *safety factor* sebesar 8,32 pada *default mesh*, 8,45 pada *mesh control* 10 mm, dan 8,58 pada *mesh control* 5 mm. Pada pengujian kedua nilai *safety factor* terendah berada pada *long member* di area dudukan suspensi belakang. Nilai *safety factor* sebesar 9,64 pada *default mesh*, 9,82 pada *mesh control* 10 mm, dan 10,29 pada *mesh control* 5 mm. *Safety factor* yang terjadi pada kedua material dikategorikan aman karena telah melebihi *safety factor* minimum untuk desain konstruksi industri yaitu besar dari 4 (Mott, dkk, 2018: 189).

Perbedaan jumlah *mesh* mengakibatkan perbedaan pada hasil analisis meskipun tidak terjadi perubahan nilai yang signifikan. Semakin kecil *mesh control* mengakibatkan semakin banyak jumlah elemen dan *node* pada desain sehingga

perhitungan akan menjadi lebih akurat. Semakin kecil nilai *mesh control* pada analisis yang dilakukan, *von Mises stress* yang dihasilkan semakin rendah, *displacement* semakin tinggi, dan *safety factor* semakin tinggi. Nilai *von Mises stress* dengan *safety factor* adalah berbanding terbalik.

#### 4.2 Hasil Validasi Perancangan

Validasi perancangan digunakan untuk mengetahui persentase perbedaan antara perhitungan komputasi dengan perhitungan menggunakan rumus manual.

##### 1. *Safety Factor* Baja AISI 1018 106 HR (Kriswanto dan Widayat, 2015: 9)

###### a. Tanpa *Mesh Control*

$$Sf = \frac{\text{yield stress}}{\text{calculated stress}}$$

$$Sf = \frac{250 \text{ MPa}}{30,06 \text{ MPa}}$$

$$Sf = 8,316$$

###### b. *Mesh Control* 10 mm

$$Sf = \frac{\text{yield stress}}{\text{calculated stress}}$$

$$Sf = \frac{250 \text{ MPa}}{29,6 \text{ MPa}}$$

$$Sf = 8,445$$

###### a. *Mesh Control* 5 mm

$$Sf = \frac{\text{yield stress}}{\text{calculated stress}}$$

$$Sf = \frac{250 \text{ MPa}}{29,15 \text{ MPa}}$$

$$Sf = 8,576$$

2. *Safety Factor* Baja AISI 1018 118 QT (Kriswanto dan Widayat, 2015: 9)

b. Tanpa *Mesh Control*

$$Sf = \frac{\text{yield stress}}{\text{calculated stress}}$$

$$Sf = \frac{290 \text{ MPa}}{30,07 \text{ MPa}}$$

$$Sf = 9,644$$

c. *Mesh Control* 10 mm

$$Sf = \frac{\text{yield stress}}{\text{calculated stress}}$$

$$Sf = \frac{290 \text{ MPa}}{29,52 \text{ MPa}}$$

$$Sf = 9,823$$

d. *Mesh Control* 5 mm

$$Sf = \frac{\text{yield stress}}{\text{calculated stress}}$$

$$Sf = \frac{290 \text{ MPa}}{28,2 \text{ MPa}}$$

$$Sf = 10,283$$

Hasil analisis pada material baja AISI 1018 106 HR menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017 didapatkan data *safety factor* sebesar 8,32, 8,45, dan 8,58, sedangkan pada rumus manual didapatkan hasil *safety factor* sebesar 8,316, 8,445, dan 8,576. Dari hasil tersebut dapat diketahui *error* sebesar 1%. Tingkat *error* ini masih pada batas wajar karena tidak lebih dari 5% (Sabardiyanto dan Iskandar, 2016: 186).



Hasil analisis pada material baja AISI 1018 118 QT menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2017 didapatkan data *safety factor* sebesar 9,64, 9,82, dan 10,29, sedangkan pada rumus manual didapatkan hasil *safety factor* sebesar 9,644, 9,823, dan 10,283. Dari hasil tersebut dapat diketahui *error* sebesar 1%. Tingkat *error* ini masih pada batas wajar karena tidak lebih dari 5% (Sabardiyanto dan Iskandar, 2016: 186).

Hasil analisis kekuatan desain *chassis* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti dimensi *chassis*, bentuk dan ukuran profil, jenis material yang digunakan, jenis sambungan, dan distribusi pembebanan, serta nilai *mesh*. Tidak ada perbedaan nilai regangan yang signifikan antara material baja AISI 1018 106 HR dengan material baja AISI 1018 118 QT. Hal ini dapat diartikan bahwa proses analisis tidak mengalami *error*.

Nilai *safety factor* pada material baja AISI 1018 106 HR lebih rendah dibandingkan nilai *safety factor* pada material baja AISI 1018 118 QT karena memiliki *yield strength* yang lebih rendah. Meskipun demikian, baja AISI 1018 106 HR sudah dapat digunakan sebagai material pada desain *chassis* karena *safety factor* minimum perancangan telah dicapai. Material baja AISI 1018 118 QT dapat dipilih untuk memaksimalkan nilai *safety factor*.

Desain *ladder frame chassis* pada penelitian ini dapat dirakit dengan sistem kemudi jenis *rack and pinion*, suspensi depan jenis *macPherson strut*, suspensi belakang jenis *coil spring*, penggerak sistem pneumatik, dan penggerak sistem elektrik.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Simpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang desain dan analisis kekuatan *chassis* pada kendaraan *hybrid* elektrik-pneumatik maka diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Desain *chassis* adalah jenis *ladder frame* dengan spesifikasi panjang *chassis* 3976 mm, lebar bagian depan *chassis* 1082 mm, lebar bagian tengah *chassis* 1180 mm, lebar bagian belakang *chassis* 1180 mm, *wheel base* 2786 mm dengan *rectangular long member* berukuran 120x80x3 mm, *square cross member* 80x80x3 mm, dan *circular cross member* 42,4x3 mm. Desain *chassis* ini dapat digunakan untuk *chassis* pada kendaraan umum di area kampus.
2. Nilai *von Mises stress* pada material baja AISI 1018 106 HR adalah sebesar 30,06 MPa pada *default mesh*, 29,6 MPa pada *mesh control* 10 mm, dan 29,15 MPa pada *mesh control* 5 mm, dan pada material baja AISI 1018 118 QT adalah sebesar 30,07 MPa pada *default mesh*, 29,52 MPa pada *mesh control* 10 mm, dan 28,2 MPa pada *mesh control* 5 mm. Nilai *displacement* pada material baja AISI 1018 106 HR adalah sebesar 0,2643 mm pada *default mesh*, 0,2704 mm pada *mesh control* 10 mm, dan 0,2764 mm pada *mesh control* 5 mm, dan pada material baja AISI 1018 118 QT adalah sebesar 0,2644 mm pada *default mesh*, 0,2699 mm pada *mesh control* 10 mm, dan 0,275 mm pada *mesh control* 5 mm. Nilai *safety factor* pada material baja AISI 1018 106 HR adalah sebesar 8,32 pada *default mesh*, 8,45 pada *mesh control* 10 mm, dan 8,58 pada *mesh control*

5 mm, dan pada material baja AISI 1018 118 QT adalah sebesar 9,64 pada *default mesh*, 9,82 d pada *mesh control* 10 mm, dan 10,29 pada *mesh control* 5 mm.

3. Desain *chassis* yang dibuat aman dengan pertimbangan bahwa material baja AISI 1018 118 QT lebih aman apabila digunakan karena memiliki nilai *von Mises stress* yang relatif sama dengan material baja AISI 1018 106 HR namun memiliki *safety factor* yang lebih tinggi.

## 5.2 Saran

1. Pembuatan *chassis* dengan kebutuhan nilai *safety factor* yang tinggi sebaiknya menggunakan baja AISI 1018 118 QT dibandingkan baja AISI 1018 106 HR. Namun, Baja AISI 1018 106 HR sudah layak digunakan dengan pertimbangan kekuatan tidak jauh berbeda dan *safety factor* sudah di atas 4.
2. *Welding* dan *bolting* yang dilakukan pada desain *chassis* hanya untuk meminimalisir perbedaan antara proses perancangan *chassis* dengan pembuatan *chassis*, dalam penelitian lebih lanjut diharapkan dilakukan perhitungan lebih mendalam sehingga dapat diketahui rancangan *chassis* yang lebih akurat.
3. Dimensi dan bentuk profil pada desain *chassis* belum dilakukan variasi, dalam penelitian lebih lanjut diharapkan dilakukan variasi dimensi, bentuk profil, dan material agar dapat mempertimbangkan faktor ekonomi secara kuantitatif sehingga didapat rancangan sesuai dengan kebutuhan.

## DAFTAR PUSTAKA


- Adriana, M., A. Angkasa, dan Masrianor. 2017. Rancang Bangun Rangka (*Chassis*) Mobil Listrik Roda Tiga Kapasitas Satu Penumpang. *Jurnal Elemen* 4(2): 129-133).
- Ahmed, M. K., M. Y. Ahmed, V. S. Krishna, dan N. A. Siddhartha. 2017. Pro E-Model of Structural Analysis of Heavy Vehicle Chassis Using Composite Materials. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering, and Technology* 3(2): 1-437.
- Christanyo, D. G. B., dan I. N. Sutantra. 2012. Studi Eksperimen Kinerja Traksi Kendaraan *Hybrid* Sapu Jagad. *Jurnal Teknik POMITS* 1(2): 1-6.
- Enang W., dan C. Bannister. Modelling and Control of Hybrid Electric Vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 74: 1210-1239.
- Fakhri, D. D. A., dan I. N. Sutrantra. 2019. Analisis Kekuatan *Chassis* terhadap *Impact* pada Kendaraan Bus Mitsubishi Fuso FE 84G BC dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ITS* 8(1): 74-79.
- Harsokoesoemo, H. D. 2004. *Pengantar Perancangan Teknik*. Edisi ke-2. Bandung: ITB.
- Hendrawan, M. A., P. I. Purboputro, M. A. Saputro, dan W. Setiyadi. 2018. Perancangan *Chassis* Mobil Listrik *Prototype* Ababil dan Simulasi Pembebanan Statik dengan Menggunakan Solidworks Premium 2016. *The 7<sup>th</sup> university Research Colloquium 2018 STIKES PKU Muhammadiyah Surakarta* 95-105.
- Isworo, H., A. Ghofur, G. R. Cahyono, dan J. Riadi. 2019. Analisis *Displacement* pada *Chassis* Mobil Listrik WASAKA. *Jurnal Teknik Mesin* 6(2): 94-104.
- Ismail, R., Munadi, Z. K. Ahmadi, dan A. P. Bayuseno. 2018. Analisis *Displacement* dan Tegangan Von Mises terhadap *Chassis* Mobil Listrik Gentayu. *Jurnal Rotasi* 20(4): 231-236.
- Juliandi. 2018. *Jenis-Jenis Chassis Kerangka (Frame) yang Digunakan pada Kendaraan Mobil*. <http://www.lksotomotif.com/2018/10/jenis-jenis-chassis-kerangka-frame-yang.html>. 09 Desember 2019 (22:37).
- Kriswanto, dan W. Widayat. 2015. *Bahan Ajar Elemen Mesin*. Semarang: UNNES.
- Kurniawan, I., A. Noorsetyo, dan W. Arnandi. 2019. Analisis Tegangan Statik *Frame Gokart* Menggunakan *Software* Solidworks 2017. *Jurnal RIDTEM* 2(1): 1-7.

- Kuswaraharja, D. 2019. Ini Alasan Kenapa Pemerintah Ngotot dengan Elektrifikasi Mobil. <https://oto.detik.com/mobil/d-4676267/ini-alasan-kenapa-pemerintah-ngotot-dengan-elektrifikasi-mobil>. 06 Desember 2019 (09.27).
- Laka, O., Nazaruddin, dan Syafri. 2018. Perancangan dan Analisis *Static System* Rangka Mobil Hemat *Energy* “ASYIKAR HYBRID UNIVERSITAS RIAU”. *Jurnal JOM FTEKNIK* 5: 1-6.
- Marzuki, M. A. B., M. F. M. Azmi, A. R. N. Mohamed, M. A. A. Bakar, dan M.A.M Nawi. 2018. Pre-Stress Analysis of Space Frame Chassis Structure Using Finite Element Method. *International Journal of Engineering and Technology* 7(4.36): 1545-1548.
- Mott, R. L. 2009. *Elemen-Elemen Mesin dalam Perancangan Mekanis*. Edisi ke-4. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Mott, R. L., E. M. Vavrek, dan J. Wang. 2018. *Machine Elements in Mechanical Design*. Edisi ke-6. United States: Pearson.
- Padhi, A., A. Joshi, Hitesh, dan Rakesh. 2016. Increase Factor of Safety of Go-Kart Chassis during Front Impact Analysis. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology* 3(4): 385-390.
- Pandit, S. V. dan A. Patel. 2020. Analysis of LCV Chassis for Optimizing Weight by Using FEM. *Smart Moves Journal IJOSCIENCE* 6(6): 1-10.
- Patil, R. V., P. R. Lande, Dr. Y. P. Reddy, A. V. Sahasrabudhe. 2016. Optimization of Three Wheeler Chassis by Linear Static Analysis. *Material Today Proceeding* 4: 8806-8815.
- Riley, W. B. dan A. R. George. 2002. Design, Analysis and Testing of a Formula SAE Car Chassis. Cornell University.
- Sabardiyanto dan N. Iskandar. 2016. Analisis Mekanik *Screw Conveyor Tubular* Diameter 200 mm dengan Autodesk Inventor. *Jurnal Teknik Mesin SI* 4(2): 178-186.
- Sahu, R. K., S. K. Sahu, S. Behera, dan V.S. Kumar. 2016. Static Load Analysis of a Ladder Frame Type Chassis Frame. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research* 2(5): 1404:1409.
- Salimin, Samhuddin, dan I. Adha. 2018. Perancangan dan Analisa Simulasi Pembebanan *Chassis* Sepeda Wisata Untuk Dua Penumpang Menggunakan *Software* Autodesk Inventor 2017. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin* 3(3): 1-12.

- Sardi V. B., S. Jokosisworo, dan H. Yudo. 2018. Pengaruh *Normalizing* dengan Variasi Waktu Penahanan Panas ( *Holding Time* ) Baja ST 46 terhadap Uji Kekerasan, Uji Tarik, dan Uji Mikrografi. *Jurnal Teknik Perkapalan* 6(1): 142-149.
- 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*: 69-77.
- Shantika T., E. T. Firmansyah, dan I. Naufan. 2017. Perancangan *Chasis* Tipe *Tubular Space Frame* untuk Kendaraan Listrik. *Jurnal Poros* 15(1): 9-17.
- Shantika, T., T. Kristyadi, dan Hendra. 2020. Simulasi Tegangan pada *Chassis* Kendaraan Listrik *Crossover*. *Jurnal Kajian Teknik Mesin* 5(1): 15-21.
- Taufik, H., Nazaruddin, dan Syafri. 2017. Perancangan dan Analisis Statik *Chassis* Kendaraan *Shell Eco Marathon* Tipe *Urban Concept*. *Jurnal Jom FTEKNIK* 4(2): 1-6.
- Trimulya, M. R., I. P. Mulyatno, dan A. Trimulyono. 2015. Analisa *Fatigue* Kontruksi *Car Deck* Kapal Motor Zaisan Star 411 DWT dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan* 3(2): 319-328.
- Vidyanandan, K.V. 2018. Overview of Electric and Hybrid Vehicles. Power Management Institute, NTPC Ltd., India.
- Vinay K. M. dan I. Raju. 2017. Hybrid Electric Vehicles. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)* 50(2): 93-95.
- Wahyudi, W. Sumbodo, dan F. A. Budiman. 2019. Pengembangan *Hybrid Electric-Pneumatic System* (HEPSys) sebagai Mesin Kendaraan Ramah Lingkungan. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Wahyudi, N. dan Y. A. Fahrudi. 2016. Studi Eksperimen Rancang Bangun Rangka Jenis *Ladder Frame* pada Kendaraan *Sport*. *Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering* 1(1): 71-72.
- Wibawa, L. A. N. 2018. *Merancang Komponen Roket 3D dengan Autodesk Inventor Professional 2017*. Cetakan pertama. Solo: Bukukatta.
- Wibowo, H., M. N. Ilman, dan P. T. Iswanto. 2016. Analisa *Heat Input* Pengelasan terhadap Distorsi, Struktur Mikro, dan Kekuatan Mekanis Baja A36. *Jurnal Rekayasa Mesin* 7(1): 5-12.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1. Surat Penetapan Dosen Pembimbing Skripsi

  
**UNNES**  
**KEPUTUSAN**  
**DEKAN FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**  
**Nomor: B / 15155 / UN37.1.5 / KM / 2019**  
**Tentang**  
**PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER**  
**GASAL/GENAP**  
**TAHUN AKADEMIK 2019/2020**

**Menimbang** : Bahwa untuk memperlancar mahasiswa Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pend. Teknik Otomotif Fakultas Teknik membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pend. Teknik Otomotif Fakultas Teknik UNNES untuk menjadi pembimbing.

**Mengingat** : 1. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambahan Lembaran Negara RI No.4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 78)  
 2. Peraturan Rektor No. 21 Tahun 2011 tentang Sistem Informasi Skripsi UNNES  
 3. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES;  
 4. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES;

**Menimbang** : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pend. Teknik Otomotif Tanggal 4 Desember 2019

**MEMUTUSKAN**

**Menetapkan** :  
**PERTAMA** : Menunjuk dan menugaskan kepada:


Nama : Dr. SUPRAPTONO, M. Pd.  
 NIP : 195508091982031002  
 Pangkat/Golongan : Pembina Tk. I - IV/b  
 Jabatan Akademik : Lektor Kepala  
 Sebagai Pembimbing

Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :  
 Nama : SITI KHOIRIAH  
 NIM : 5202416033  
 Jurusan/Prodi : Teknik Mesin/Pend. Teknik Otomotif  
 Topik : Desain dan Analisis Tegangan pada Chasis Kendaraan Hybrid Elektrik-Pneumatik Menggunakan autodesk Inventor

**KEDUA** : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

**Tembusan**  
 1. Wakil Dekan Bidang Akademik  
 2. Ketua Jurusan  
 3. Petinggal


DITETAPKAN DI : SEMARANG  
 PADA TANGGAL : 6 Desember 2019  
 DEKAN  
 Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.

  
 UNNES 196911301994031001  
 FAKULTAS TEKNIK

  
 5202416033  
 .... FM-03-AKD-24/Rev. 00 ....



## Lampiran 2. Surat Tugas Penguji dan Pembimbing Skripsi


**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**  
**UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
 Gedung Dekanat Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229  
 Telepon/Fax (024) 8508101 - 8508009  
 Laman : <http://www.ft.unnes.ac.id>, email: [ft@mail.unnes.ac.id](mailto:ft@mail.unnes.ac.id)

---

**SURAT TUGAS**  
 Nomor : 1830 /UIN37.1.5/KM/2020

Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang memberi tugas kepada Saudara yang namanya tersebut di bawah ini sebagai Penguji Seminar Proposal Skripsi Mahasiswa Prodi S1 Pendidikan Teknik Otomotif Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Adapun nama-namanya sebagai berikut:

No	Nama / NIP	Pangkat / Golru	Tugas
1	Drs. Masugino, M.Pd. 195207211980121001	Pembina, IV/a	Penguji 1
2	Wahyudi, S.Pd., M.Eng. 198003192005011001	Penata, III/c	Penguji 2
3	Dr. Suprpto, M.Pd. 195508091982031002	Pembina Tk. I, IV/b	Pembimbing


untuk menguji mahasiswa :

Nama : SITI KHOIRIAH  
 NIM : 5202416033  
 Prodi : S1 Pendidikan Teknik Otomotif  
 Topik : DESAIN DAN ANALISIS TEGANGAN PADA CHASSIS KENDARAAN HYBRID ELEKTRIK-PNEUMATIK MENGGUNAKAN AUTODESK INVENTOR

Waktu : Rabu, 19 Februari 2020  
 Jam : 09.00 WIB  
 Tempat : Ruang Seminar E9 It 2  
 Pakaian : Hitam Putih Jas Almamater

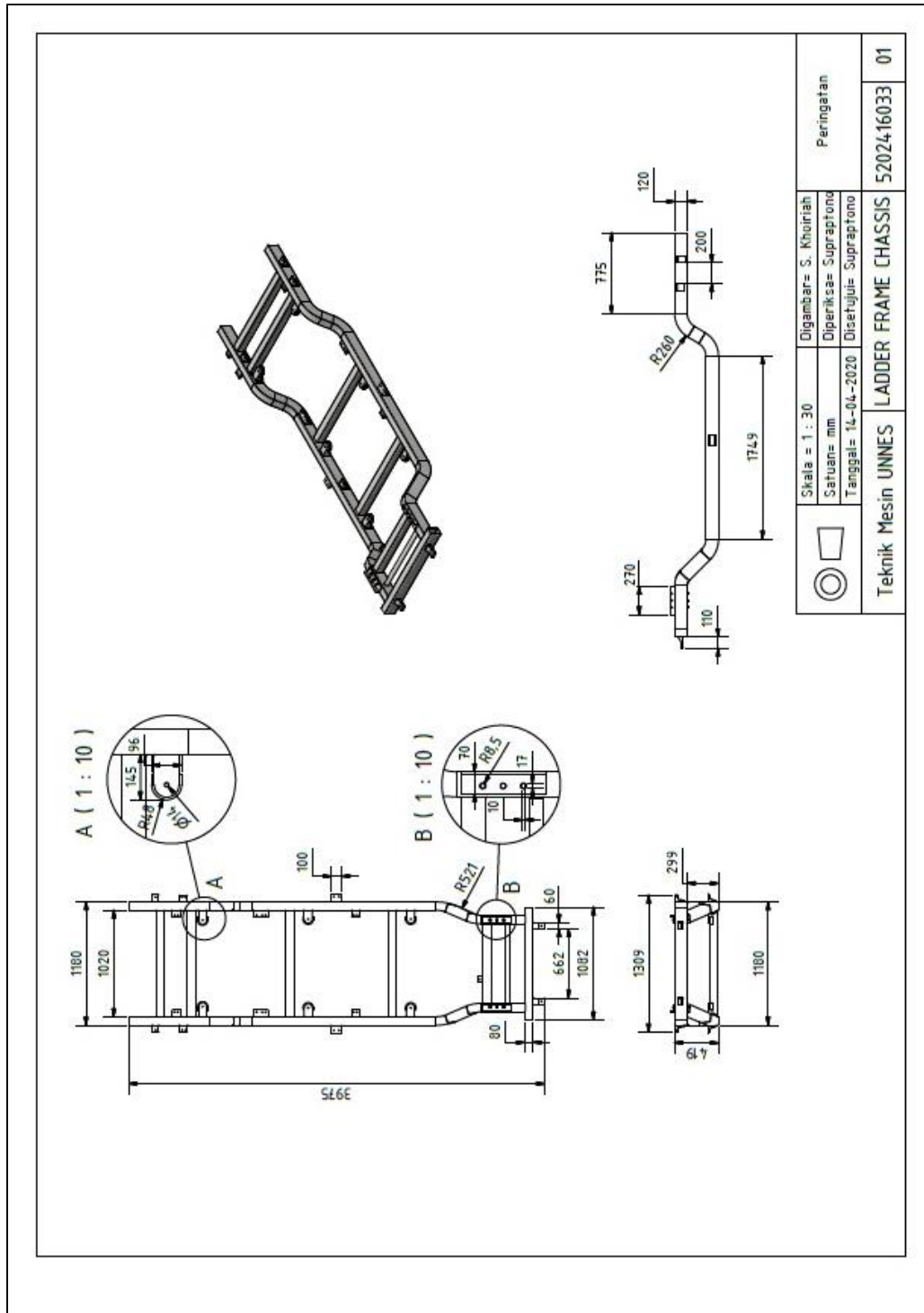
Demikian agar tugas dilaksanakan dengan sebaik-baiknya.

Semarang, 13 Februari 2020

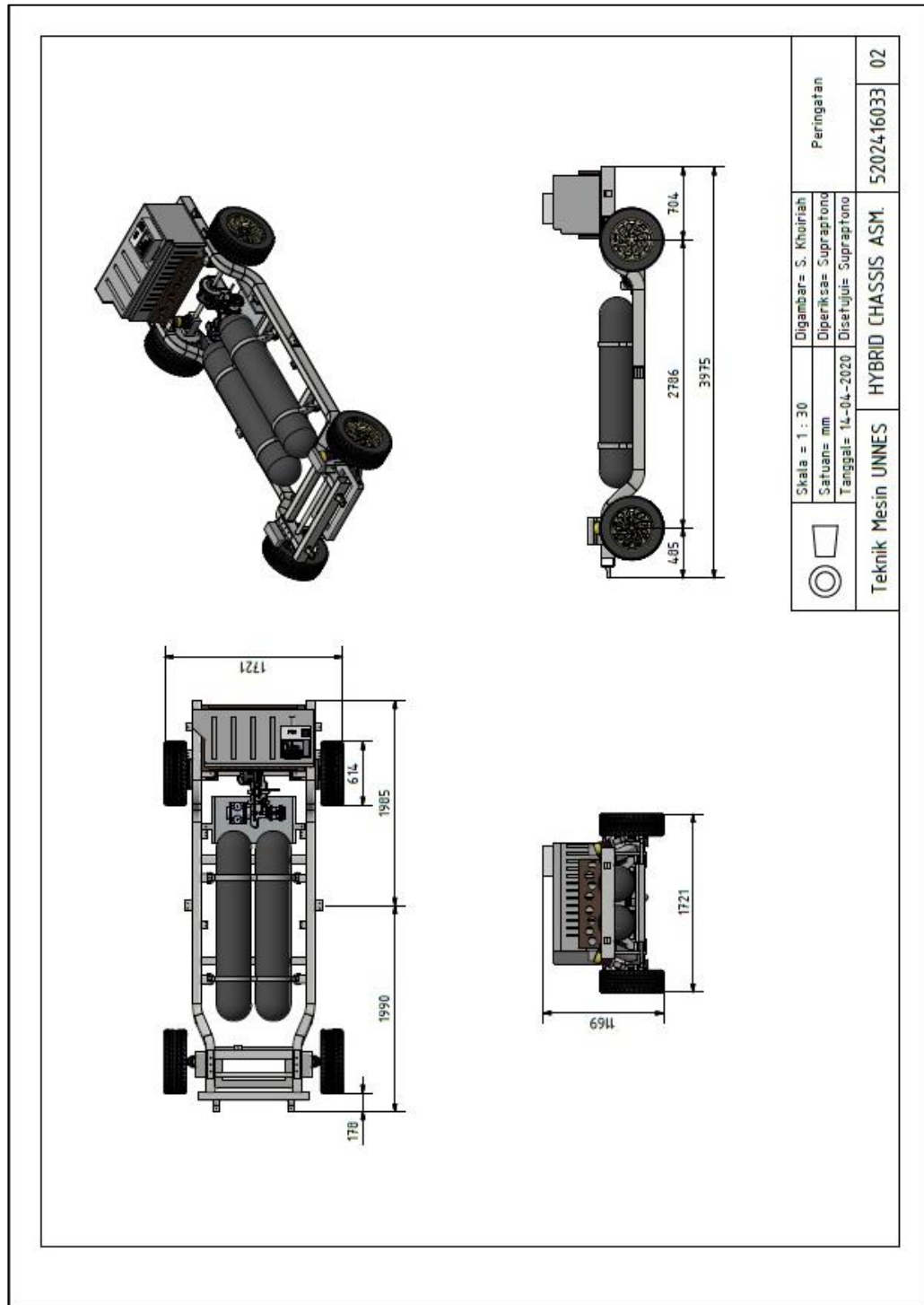
  
 Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.  
 196911201994031001

Tembusan :  
 1. Wakil Dekan Bidang II;  
 2. Ketua Jurusan TM;  
 3. Kasubbag Keuangan,  
 Fakultas Teknik UNNES

Lampiran 3. *Drawing Ladder Frame Chassis Design*



Lampiran 4. *Drawing Assembly Hybrid Elektrik-Pneumatik Chassis*



Lampiran 5. Tabel Hasil *Stress Analysis*

## 1. Baja AISI 1018 106 HR

a. Tanpa *Mesh Control*

No	Data <i>Stress Analysis</i>	Hasil <i>Stress Analysis</i>	
		Max.	Min.
1.	Tegangan <i>Von Mises</i> (MPa)	30,06	0
2.	<i>Displacement</i> (mm)	0,2643	0
3.	<i>Safety Factor</i>	15	8,32

b. *Mesh Control* 10 mm

No	Data <i>Stress Analysis</i>	Hasil <i>Stress Analysis</i>	
		Max.	Min.
1.	Tegangan <i>Von Mises</i> (MPa)	29,6	0
2.	<i>Displacement</i> (mm)	0,2704	0
3.	<i>Safety Factor</i>	15	8,45

c. *Mesh Control* 5 mm

No	Data <i>Stress Analysis</i>	Hasil <i>Stress Analysis</i>	
		Max.	Min.
1.	Tegangan <i>Von Mises</i> (MPa)	29,15	0
2.	<i>Displacement</i> (mm)	0,2764	0
3.	<i>Safety Factor</i>	15	8,58

## 2. Baja AISI 1018 118 QT

a. Tanpa *Mesh Control*

No	Data <i>Stress Analysis</i>	Hasil <i>Stress Analysis</i>	
		Max.	Min.
1.	Tegangan <i>Von Mises</i> (MPa)	30,07	0
2.	<i>Displacement</i> (mm)	0,2644	0
3.	<i>Safety Factor</i>	15	9,64

b. *Mesh Control* 10 mm

No	Data <i>Stress Analysis</i>	Hasil <i>Stress Analysis</i>	
		Max.	Min.
1.	Tegangan <i>Von Mises</i> (MPa)	29,52	0
2.	<i>Displacement</i> (mm)	0,2699	0
3.	<i>Safety Factor</i>	15	9,82

c. *Mesh Control 5 mm*

No	Data <i>Stress Analysis</i>	Hasil <i>Stress Analysis</i>	
		Max.	Min.
1.	Tegangan <i>Von Mises</i> (MPa)	28,2	0
2.	<i>Displacement</i> (mm)	0,275	0
3.	<i>Safety Factor</i>	15	10,29

Lampiran 6. Hasil *Stress Analysis Chassis* Material Baja AISI 1018 106 HR

8/1/2020

chassis baja AISI 1018 HR Stress Analysis Report

**chassis baja AISI 1018 HR Stress Analysis Report**

Analyzed File:	aisi 1018 HR ok weld.iam
Autodesk Inventor Version:	2017 (Build 210142000, 142)
Creation Date:	01/08/2020, 1:02
Study Author:	Siti Khoiriah
Summary:	

 **Project Info (iProperties)**
 **Summary**

Author	Siti Khoiriah
--------	---------------

 **Project**

Part Number	aisi 1018 A ok weld
Designer	Siti Khoiriah
Cost	Rp0

 **Status**

Design Status	WorkInProgress
---------------	----------------

 **Physical**

Mass	169,445 kg
Area	11014900 mm <sup>2</sup>
Volume	21530700 mm <sup>3</sup>
Center of Gravity	x=-22,5423 mm y=19,7601 mm z=14,1391 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

 **Static Analysis:2**
**General objective and settings:**

Design Objective	Single Point
Study Type	Static Analysis
Last Modification Date	31/07/2020, 0:00
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

**Mesh settings:**

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0,1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

 **Material(s)**

file:///E:/revisi desain sidang B/desain hiungan B/chassis Baja AISI 1018 HR Stress Analysis Report 16\_05\_2020.html

1/11

8/1/2020

chassis baja AISI 1018 HR Stress Analysis Report

Name	Steel AISI 1018 106 HR	
General	Mass Density	7,87 g/cm <sup>3</sup>
	Yield Strength	250 MPa
	Ultimate Tensile Strength	354 MPa
Stress	Young's Modulus	207 GPa
	Poisson's Ratio	0,33 ul
	Shear Modulus	77,8195 GPa
Part Name(s)	Skeleton0002 ISO 120x80x3 00000003.ipt ISO 120x80x3 00000004.ipt ISO 120x80x3 00000005.ipt ISO 120x80x3 00000006.ipt ISO 120x80x3 00000007.ipt ISO 120x80x3 00000008.ipt ISO 120x80x3 00000009.ipt ISO 120x80x3 00000010.ipt ISO 120x80x3 00000011.ipt ISO 120x80x3 00000012.ipt ISO 120x80x3 00000013.ipt ISO 120x80x3 00000014.ipt ISO 120x80x3 00000015.ipt ISO 120x80x3 00000016.ipt ISO 120x80x3 00000017.ipt ISO 120x80x3 00000018.ipt ISO 120x80x3 00000019.ipt ISO 120x80x3 00000020.ipt ISO 120x80x3 00000021.ipt ISO 80x80x3 00000022.ipt ISO 80x80x3 00000023.ipt ISO 80x80x3 00000024.ipt ISO 42.4x3.0 00000027.ipt ISO 80x80x3 00000028.ipt ISO 80x80x3 00000029.ipt 3 front body 3 front body 6. battery bracket no fillet 6. battery bracket no fillet 6. battery bracket no fillet 6. battery bracket no fillet 4 rear bracket kursi 4 rear bracket kursi 4 rear bracket PJG 4 rear bracket PJG_MIR 07 bracket suspensi blkg krg 07 bracket suspensi blkg krg 4 rear bracket kursi 4 rear bracket kursi 4 rear bracket 4 rear bracket 4 rear bracket kursi 4 rear bracket kursi 9 steering bracket 8. front samping 8. front samping spring bracket spring bracket	
Name	Steel, Mild	
General	Mass Density	7,85 g/cm <sup>3</sup>
	Yield Strength	207 MPa
	Ultimate Tensile Strength	345 MPa
Stress	Young's Modulus	220 GPa
	Poisson's Ratio	0,275 ul
	Shear Modulus	86,2745 GPa
Part Name(s)	BS 3692 Hexagon Head Screw - Metric M10 x 140 BS 3692 Hexagon Head Screw - Metric M10 x 140 BS 3692 Hexagon Head Screw - Metric M10 x 140 BS 3692 Hexagon Head Screw - Metric M10 x 140 BS 3692 Hexagon Head Screw - Metric M10 x 140 BS 3692 Hexagon Head Screw - Metric M10 x 140	
Name	Stainless Steel	
General	Mass Density	8 g/cm <sup>3</sup>
	Yield Strength	250 MPa

file:///E:/revisi desain sidang B/desain hiungan B/chassis Baja AISI 1018 HR Stress Analysis Report 16\_05\_2020.html

2/11

8/1/2020

chassis baja AISI 1018 HR Stress Analysis Report

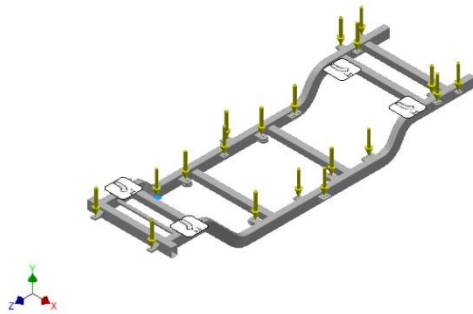
	Ultimate Tensile Strength	540 MPa
Stress	Young's Modulus	193 GPa
	Poisson's Ratio	0,3 ul
	Shear Modulus	74,2308 GPa
Part Name(s)	ISO 7090 10 - 140 HV	
	ISO 7090 10 - 140 HV	
	ISO 7090 10 - 140 HV	
	ISO 7090 10 - 140 HV	
	ISO 7090 10 - 140 HV	
	ISO 7090 10 - 140 HV	

### Operating conditions

#### Force:1

Load Type	Force
Magnitude	108,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-108,000 N
Vector Z	0,000 N

#### Selected Face(s)



#### Force:2

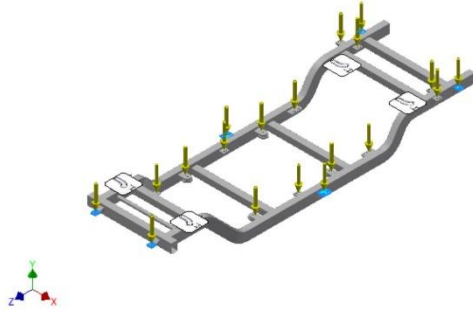
Load Type	Force
Magnitude	588,600 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-588,600 N
Vector Z	0,000 N

#### Selected Face(s)



8/1/2020

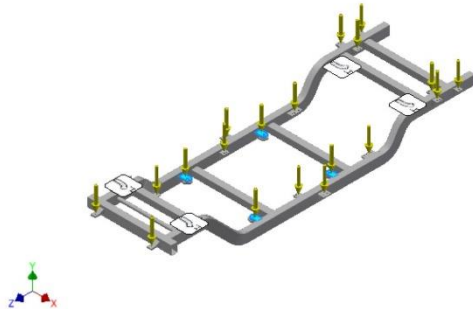
chassis baja AISI 1018 HR Stress Analysis Report



▣ **Force:3**

Load Type	Force
Magnitude	686,700 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-686,700 N
Vector Z	0,000 N

▣ **Selected Face(s)**



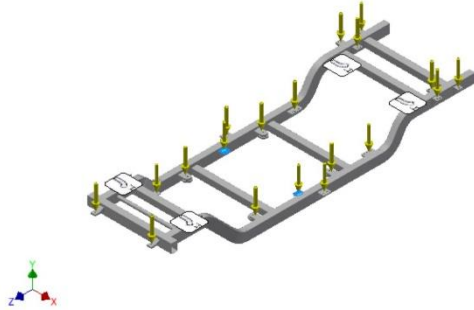
▣ **Force:4**

Load Type	Force
Magnitude	1471,500 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-1471,500 N
Vector Z	0,000 N

▣ **Selected Face(s)**

8/1/2020

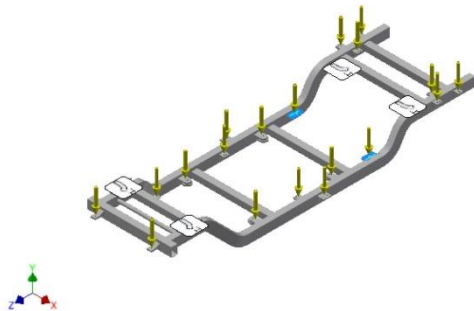
chassis baja AISI 1018 HR Stress Analysis Report



Force:5

Load Type	Force
Magnitude	1592,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-1592,000 N
Vector Z	0,000 N

Selected Face(s)



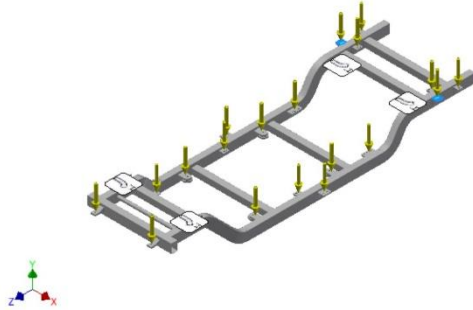
Force:6

Load Type	Force
Magnitude	1471,500 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-1471,500 N
Vector Z	0,000 N

Selected Face(s)

8/1/2020

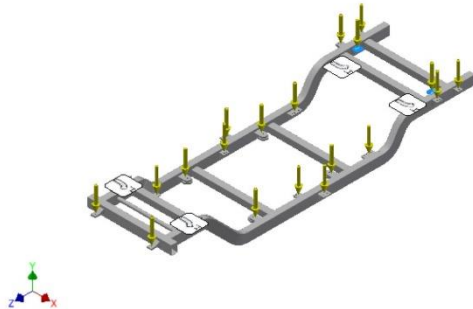
chassis baja AISI 1018 HR Stress Analysis Report



▣ **Force:7**

Load Type	Force
Magnitude	1255,700 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-1255,700 N
Vector Z	0,000 N

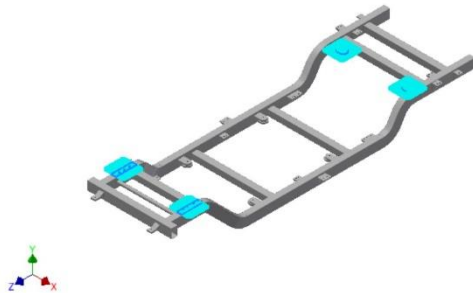
▣ **Selected Face(s)**



▣ **Fixed Constraint:1**

Constraint Type	Fixed Constraint
-----------------	------------------

▣ **Selected Face(s)**



Results

Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	7174 N	0 N	8858,87 N m	8858,87 N m
		7174 N		0 N m
		0 N		0 N m

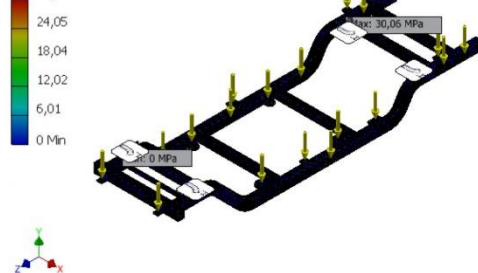
Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	21530700 mm <sup>3</sup>	
Mass	169,446 kg	
Von Mises Stress	0 MPa	30,0625 MPa
Displacement	0 mm	0,264313 mm
Safety Factor	8,31601 ul	15 ul

Figures

Von Mises Stress

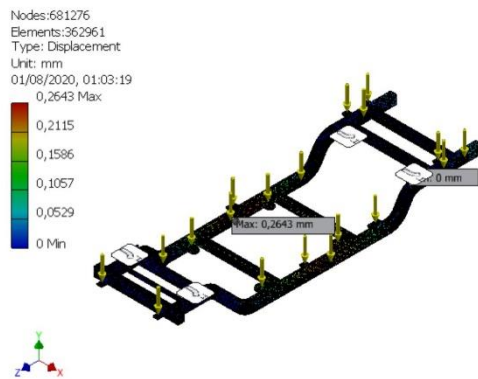
Nodes:681276  
 Elements:362961  
 Type: Von Mises Stress  
 Unit: MPa  
 01/08/2020, 01:03:07  
 30,06 Max



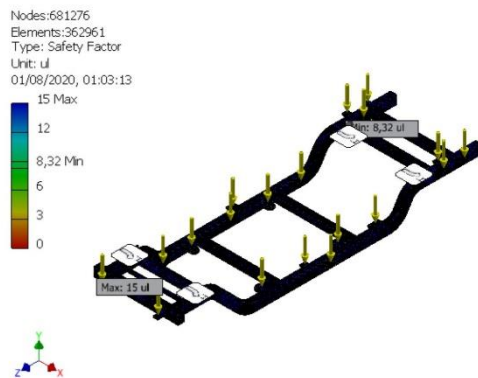
Displacement

8/1/2020

chassis baja AISI 1018 HR Stress Analysis Report



☐ **Safety Factor**



☐ **Static Analysis:3**

**General objective and settings:**

Design Objective	Single Point
Study Type	Static Analysis
Last Modification Date	31/07/2020, 0:36
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

**Mesh settings:**

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0,1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

☐ **Results**

☐ **Result Summary**

8/1/2020

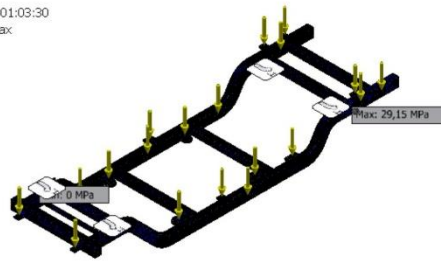
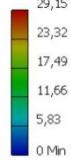
chassis baja AISI 1018 HR Stress Analysis Report

Name	Minimum	Maximum
Volume	21530700 mm <sup>3</sup>	
Mass	169,446 kg	
Von Mises Stress	0 MPa	29,1522 MPa
Displacement	0 mm	0,276351 mm
Safety Factor	8,57568 ul	15 ul

☐ **Figures**

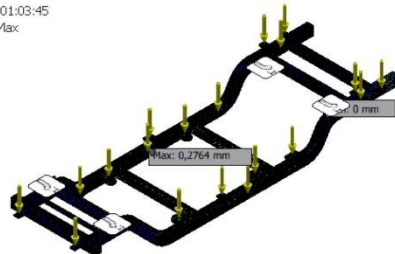
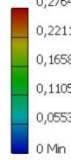
☐ **Von Mises Stress**

Nodes:1168763  
 Elements:604638  
 Type: Von Mises Stress  
 Unit: MPa  
 01/08/2020, 01:03:30  
 29,15 Max



☐ **Displacement**

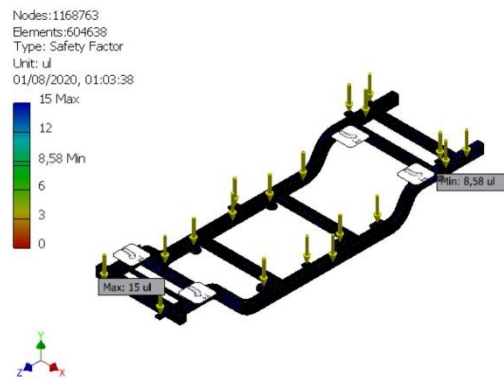
Nodes:1168763  
 Elements:604638  
 Type: Displacement  
 Unit: mm  
 01/08/2020, 01:03:45  
 0,2764 Max



☐ **Safety Factor**

8/1/2020

chassis baja AISI 1018 HR Stress Analysis Report



## Static Analysis:4

### General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Study Type	Static Analysis
Last Modification Date	31/07/2020, 0:20
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

### Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0,1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

## Results

### Result Summary

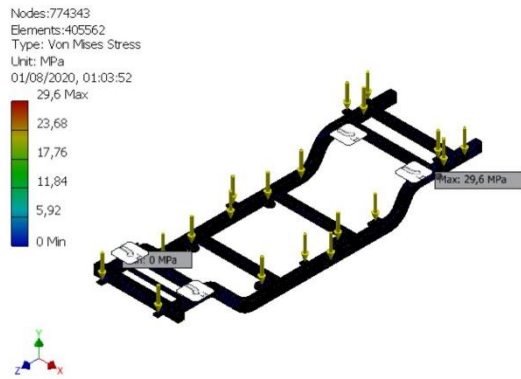
Name	Minimum	Maximum
Volume	21530700 mm <sup>3</sup>	
Mass	169,446 kg	
Von Mises Stress	0 MPa	29,5951 MPa
Displacement	0 mm	0,270443 mm
Safety Factor	8,44733 ul	15 ul

### Figures

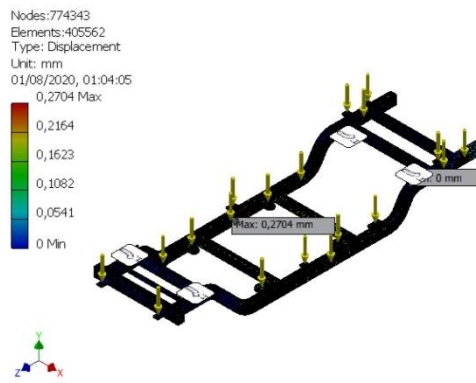
#### Von Mises Stress

8/1/2020

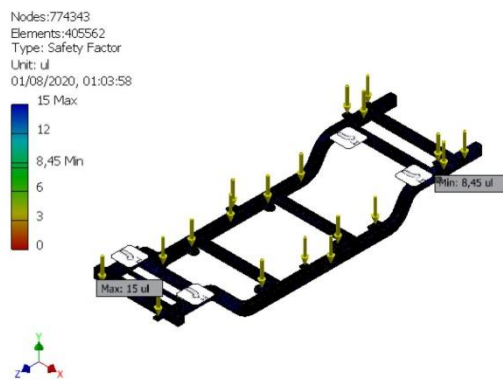
chassis baja AISI 1018 HR Stress Analysis Report



**Displacement**



**Safety Factor**



E:\revisi desain sidang B\desain hiungan B\aisi 1018 HR ok weld.iam



## Lampiran 7. Hasil *Stress Analysis Chassis* Material Baja AISI 1018 118 QT

8/1/2020

chassis baja AISI 1018 QT Stress Analysis Report

### chassis baja AISI 1018 QT Stress Analysis Report



Analyzed File:	aisi 1018 Aa ok weld.iam
Autodesk Inventor Version:	2017 (Build 210142000, 142)
Creation Date:	01/08/2020, 1:18
Study Author:	Siti Khoiriah
Summary:	

#### Project Info (iProperties)

##### Summary

Author	Siti Khoiriah
--------	---------------

##### Project

Part Number	aisi 1018 A ok weld
Designer	Siti Khoiriah
Cost	Rp0

##### Status

Design Status	WorkInProgress
---------------	----------------

##### Physical

Mass	169,566 kg
Area	11039900 mm <sup>2</sup>
Volume	21546000 mm <sup>3</sup>
Center of Gravity	x=-22,5585 mm y=19,6464 mm z=14,1828 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

#### Static Analysis:1

##### General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Study Type	Static Analysis
Last Modification Date	30/07/2020, 23:16
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

##### Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0,1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

##### Material(s)

file:///D:/A UNIV TUGAS/semester 7/SKRIPSI SEMANGAT/MULAI BARU 5 MARET/desain FULL ok/revisi sidang A/desain hiungan A/chassis B... 1/11

8/1/2020

chassis baja AISI 1018 QT Stress Analysis Report

Name	Generic	
General	Mass Density	1 g/cm <sup>3</sup>
	Yield Strength	0 MPa
	Ultimate Tensile Strength	0 MPa
Stress	Young's Modulus	0,0000001 GPa
	Poisson's Ratio	0 ul
	Shear Modulus	0,00000005 GPa
Part Name(s)	Skeleton0002	
Name	Steel AISI 1018 118 QT	
General	Mass Density	7,87 g/cm <sup>3</sup>
	Yield Strength	290 MPa
	Ultimate Tensile Strength	496 MPa
Stress	Young's Modulus	207 GPa
	Poisson's Ratio	0,33 ul
	Shear Modulus	77,8195 GPa
Part Name(s)	ISO 120x80x3 00000003.ipt ISO 120x80x3 00000004.ipt ISO 120x80x3 00000005.ipt ISO 120x80x3 00000006.ipt ISO 120x80x3 00000007.ipt ISO 120x80x3 00000008.ipt ISO 120x80x3 00000009.ipt ISO 120x80x3 00000010.ipt ISO 120x80x3 00000011.ipt ISO 120x80x3 00000012.ipt ISO 120x80x3 00000013.ipt ISO 120x80x3 00000014.ipt ISO 120x80x3 00000015.ipt ISO 120x80x3 00000016.ipt ISO 120x80x3 00000017.ipt ISO 120x80x3 00000018.ipt ISO 120x80x3 00000019.ipt ISO 120x80x3 00000020.ipt ISO 120x80x3 00000021.ipt ISO 80x80x3 00000022.ipt ISO 80x80x3 00000023.ipt ISO 80x80x3 00000024.ipt ISO 42.4x3.0 00000027.ipt ISO 80x80x3 00000028.ipt ISO 80x80x3 00000030.ipt 3 front body 3 front body 6. battery bracket no fillet 6. battery bracket no fillet 6. battery bracket no fillet 6. battery bracket no fillet 4 rear bracket kursi 4 rear bracket kursi 4 rear bracket PJG 4 rear bracket PJG_MJR 07 bracket suspensi blkg krg 07 bracket suspensi blkg krg 4 rear bracket kursi 4 rear bracket kursi 4 rear bracket 4 rear bracket 4 rear bracket kursi 4 rear bracket kursi 9 steering bracket 8. front samping 8. front samping spring bracket spring bracket	
Name	Steel, Mild	
General	Mass Density	7,85 g/cm <sup>3</sup>
	Yield Strength	207 MPa
	Ultimate Tensile Strength	345 MPa
Stress	Young's Modulus	220 GPa
	Poisson's Ratio	0,275 ul
	Shear Modulus	86,2745 GPa
Part Name(s)	BS 3692 Hexagon Head Screw - Metric M10 x 140	

file:///D:/A UNIV TUGAS/semester 7/SKRIPSI SEMANGAT/MULAI BARU 5 MARET/desain FULL ok/revisi sidang A/desain hiungan A/chassis B... 2/11

8/1/2020

chassis baja AISI 1018 QT Stress Analysis Report

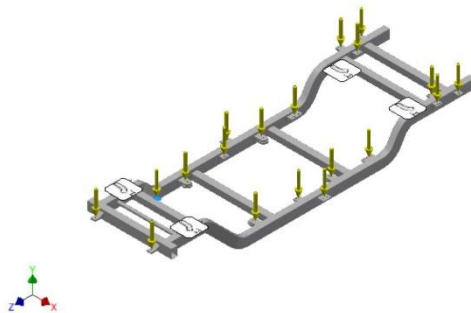
	BS 3692 Hexagon Head Screw - Metric M10 x 140	
	BS 3692 Hexagon Head Screw - Metric M10 x 140	
	BS 3692 Hexagon Head Screw - Metric M10 x 140	
	BS 3692 Hexagon Head Screw - Metric M10 x 140	
	BS 3692 Hexagon Head Screw - Metric M10 x 140	
Name	Stainless Steel	
General	Mass Density	8 g/cm <sup>3</sup>
	Yield Strength	250 MPa
	Ultimate Tensile Strength	540 MPa
Stress	Young's Modulus	193 GPa
	Poisson's Ratio	0,3 ul
	Shear Modulus	74,2308 GPa
Part Name(s)	ISO 7090 10 - 140 HV	
	ISO 7090 10 - 140 HV	
	ISO 7090 10 - 140 HV	
	ISO 7090 10 - 140 HV	
	ISO 7090 10 - 140 HV	
	ISO 7090 10 - 140 HV	

**Operating conditions**

**Force:1**

Load Type	Force
Magnitude	108,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-108,000 N
Vector Z	0,000 N

**Selected Face(s)**



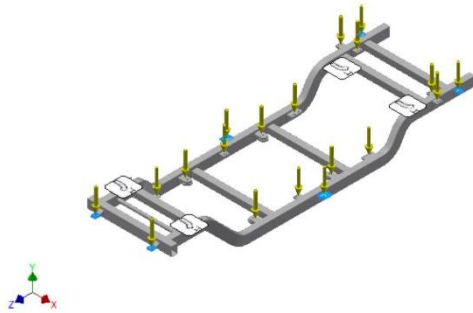
**Force:2**

Load Type	Force
Magnitude	588,600 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-588,600 N
Vector Z	0,000 N

**Selected Face(s)**

8/1/2020

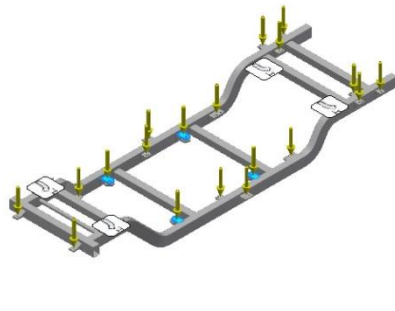
chassis baja AISI 1018 QT Stress Analysis Report



▣ **Force:3**

Load Type	Force
Magnitude	686,700 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-686,700 N
Vector Z	0,000 N

▣ **Selected Face(s)**



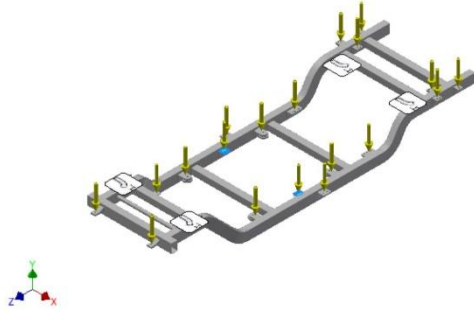
▣ **Force:4**

Load Type	Force
Magnitude	1471,500 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-1471,500 N
Vector Z	0,000 N

▣ **Selected Face(s)**

8/1/2020

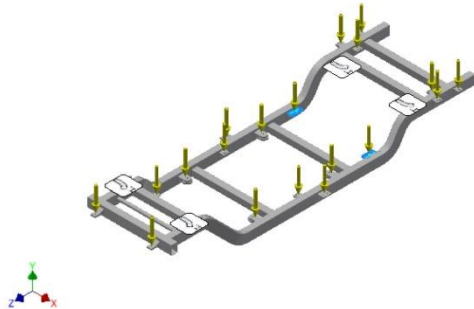
chassis baja AISI 1018 QT Stress Analysis Report



▣ **Force:5**

Load Type	Force
Magnitude	1592,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-1592,000 N
Vector Z	0,000 N

▣ **Selected Face(s)**



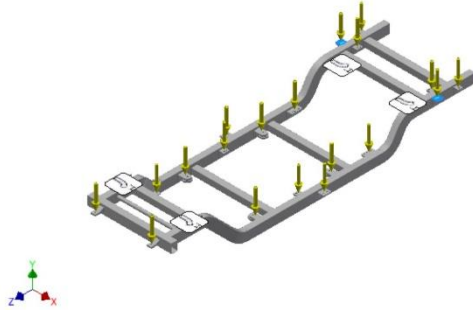
▣ **Force:6**

Load Type	Force
Magnitude	1471,500 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-1471,500 N
Vector Z	0,000 N

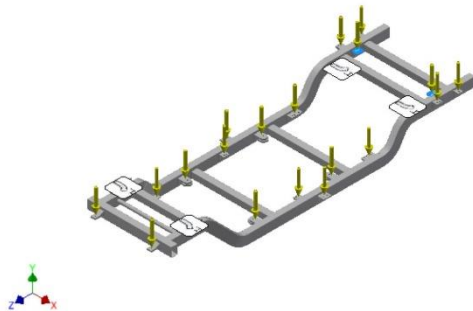
▣ **Selected Face(s)**

8/1/2020

chassis baja AISI 1018 QT Stress Analysis Report

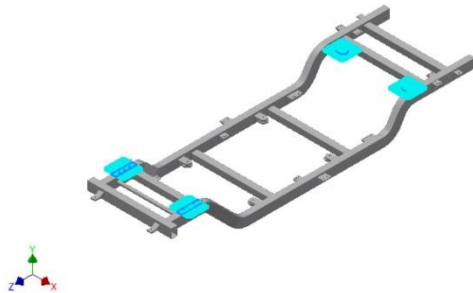
**Force:7**

Load Type	Force
Magnitude	1255,700 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-1255,700 N
Vector Z	0,000 N

**Selected Face(s)****Fixed Constraint:1**

Constraint Type	Fixed Constraint
-----------------	------------------

**Selected Face(s)**



Results

Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	7174 N	0 N	8862,2 N m	8862,2 N m
		7174 N		0 N m
		0 N		0 N m

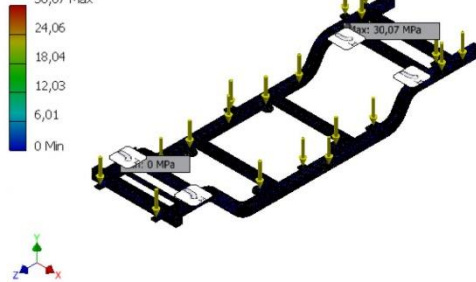
Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	21546000 mm <sup>3</sup>	
Mass	169,566 kg	
Von Mises Stress	0 MPa	30,0749 MPa
Displacement	0 mm	0,264406 mm
Safety Factor	9,64258 ul	15 ul

Figures

Von Mises Stress

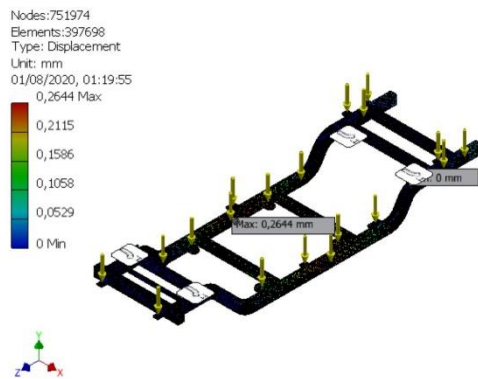
Nodes:751974  
 Elements:397698  
 Type: Von Mises Stress  
 Unit: MPa  
 01/08/2020, 01:19:18  
 30,07 Max



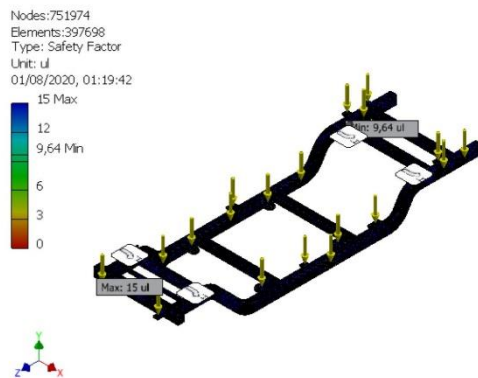
Displacement

8/1/2020

chassis baja AISI 1018 QT Stress Analysis Report



☐ **Safety Factor**



☐ **Static Analysis:2**

**General objective and settings:**

Design Objective	Single Point
Study Type	Static Analysis
Last Modification Date	31/07/2020, 1:06
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

**Mesh settings:**

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0,1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

☐ **Results**

☐ **Result Summary**



8/1/2020

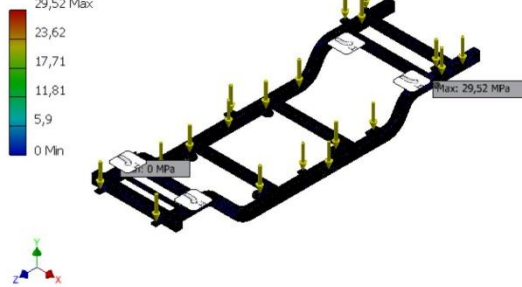
chassis baja AISI 1018 QT Stress Analysis Report

Name	Minimum	Maximum
Volume	21546000 mm <sup>3</sup>	
Mass	169,566 kg	
Von Mises Stress	0 MPa	29,5204 MPa
Displacement	0 mm	0,269898 mm
Safety Factor	9,82371 ul	15 ul

▣ **Figures**

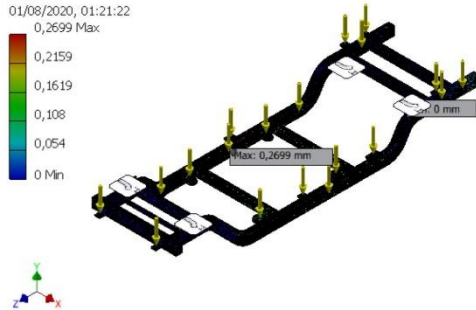
▣ **Von Mises Stress**

Nodes:861713  
 Elements:447796  
 Type: Von Mises Stress  
 Unit: MPa  
 01/08/2020, 01:20:55  
 29,52 Max



▣ **Displacement**

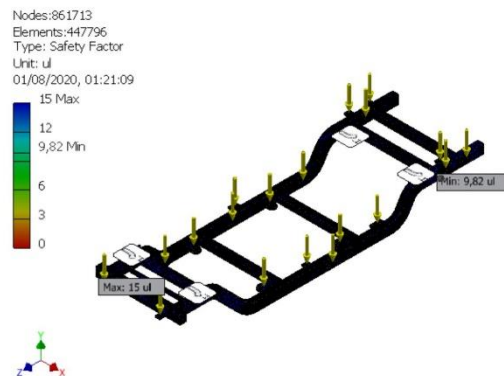
Nodes:861713  
 Elements:447796  
 Type: Displacement  
 Unit: mm  
 01/08/2020, 01:21:22  
 0,2699 Max



▣ **Safety Factor**

8/1/2020

chassis baja AISI 1018 QT Stress Analysis Report



## Static Analysis:4

### General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Study Type	Static Analysis
Last Modification Date	31/07/2020, 1:36
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

### Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0,1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

## Results

### Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	21546000 mm <sup>3</sup>	
Mass	169,566 kg	
Von Mises Stress	0 MPa	28,1952 MPa
Displacement	0 mm	0,274976 mm
Safety Factor	10,2854 ul	15 ul

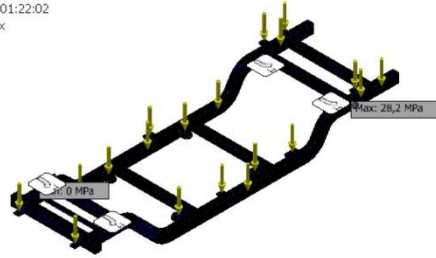
### Figures

#### Von Mises Stress

8/1/2020

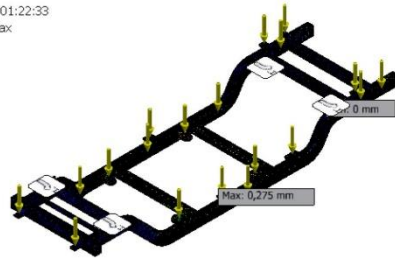
chassis baja AISI 1018 QT Stress Analysis Report

Nodes:1271039  
 Elements:645221  
 Type: Von Mises Stress  
 Unit: MPa  
 01/08/2020, 01:22:02  
 28,2 Max  
 22,56  
 16,92  
 11,28  
 5,64  
 0 Min



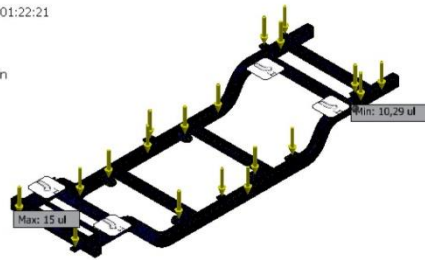
**Displacement**

Nodes:1271039  
 Elements:645221  
 Type: Displacement  
 Unit: mm  
 01/08/2020, 01:22:33  
 0,275 Max  
 0,22  
 0,165  
 0,11  
 0,055  
 0 Min



**Safety Factor**

Nodes:1271039  
 Elements:645221  
 Type: Safety Factor  
 Unit: ul  
 01/08/2020, 01:22:21  
 15 Max  
 12  
 10,29 Min  
 9  
 6  
 3  
 0



D:\A UNIV TUGAS\semester 7\SKRIPSI SEMANGAT\MULAI BARU 5 MARET\desain FULL ok\revisi sidang A\desain hiungan A\aisi 1018 Aa ok weld.iam