

**DESAIN DAN ANALISIS KEKUATAN PADA RANGKA KENDARAAN
JENIS *PROTOTYPE* SESUAI STANDAR *SHELL ECO MARATHON ASIA***

Hafidz Salafuddin

5315117248



**Skripsi Ini Ditulis Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Dalam
Mendapatkan Gelar Sarjana Pendidikan**

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2016

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Hafidz Salafuddin

No. Registrasi : 5315117248

Tempat, tanggal lahir : Jakarta, 12 April 1993

Alamat : JL. Flamboyan 2 CA3 No.12 RT 02/011 Mangun Jaya 1,
Tambun Selatan, Kabupaten Bekasi

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi dengan judul “Desain dan Analisis Kekuatan Pada Rangka Kendaraan Jenis *Prototype* Sesuai Standar *Shell Eco Marathon Asia*” adalah karya tulis ilmiah yang saya buat.
2. Karya tulis ilmiah ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya dengan arahan dosen pembimbing.
3. Karya tulis ilmiah ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis tercantum sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Jakarta, Januari 2016

Yang Membuat Pernyataan

Hafidz Salafuddin

No. Registrasi 5315117248

ABSTRAK

Hafidz Salafuddin. Skripsi: Desain dan Analisis Kekuatan Pada Rangka Kendaraan Jenis *Prototype* Sesuai Standar *Shell Eco Marathon* Asia. Jakarta: Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, 2016.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat model rangka yang paling ringan dan kuat sesuai syarat yang diberlakukan oleh *shell*. Penelitian ini juga sebagai acuan bagi mahasiswa yang mengikuti ajang *shell eco marathon* untuk mendapatkan rangka yang ringan, kuat, sesuai dengan regulasi *shell*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah menggunakan metode komputasi yang dikenal dengan *Finite Element Analysis* (FEA) dengan bantuan *software Autodesk Inventor*. Dimensi tinggi kendaraan 700 mm, jarak antara roda depan 807,28 mm, jarak sumbu roda depan dengan belakang 1625,97 mm, lebar kendaraan 892,52 mm, dan panjang kendaraan 2538,28 mm. Dimensi kendaraan sesuai dengan regulasi *shell*. Simulasi dilakukan pada rancangan rangka yang berbeda yaitu *hollow* aluminium 40 x 20 mm tebal 2 mm, 40 x 20 mm tebal 3 mm, dan 50 x 30 mm tebal 2 mm. Ketiganya diberi beban dan tahanan yang sama yaitu 500 N pada tempat duduk pengemudi, 700 N pada *roll bar*, 200 N pada tempat mesin. Tahanan pada rangka yaitu dibagian roda depan dan roda belakang. Hasil menunjukkan bahwa rangka 50 x 30 mm tebal 2 mm adalah rangka yang paling kuat dilihat dari nilai *Safety factor* 1,78 memiliki berat 6,6 kg

Kata kunci : rangka, *prototype shell eco marathon*, hasil perancangan rangka.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir skripsi ini dengan judul “**DESAIN DAN ANALISIS KEKUATAN PADA RANGKA KENDARAAN JENIS *PROTOTYPE* SESUAI STANDAR *SHELL ECO MARATHON ASIA***” disusun guna memenuhi sebagian persyaratan untuk melengkapi dan memenuhi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Penulis dalam menulis skripsi ini menyadari sepenuhnya bahwa terlaksananya sampai kepada bentuk skripsi ini, telah banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari banyak pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Ahmad Kholil, ST, MT. selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin dan dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan bantuannya dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Agung Premono, M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya membimbing dan mengarahkan penulis dalam pembuatan skripsi ini.
3. Bapak Eko Arif Syaefuddin, S.T., M.T. selaku Penasehat Akademis yang juga telah banyak membantu penulis.
4. Ayah dan Ibu tercinta yang selalu memberikan dukungan moral dan doanya hingga penulis bisa menyelesaikan studi
5. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin, khususnya kepada angkatan 2011 Non Reguler yang telah memberikan dukungan motivasi serta membantu penulis.
6. Rekan-rekan Batavia Team Universitas Negeri Jakarta yang telah memberikan dukungan motivasi serta membantu penulis dan memberikan banyak ilmu serta pengalaman.

Penulis sadar bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun, agar pada karya-karya yang akan datang lebih baik lagi.

Akhir kata, penulis berharap skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin.

Jakarta, Januari 2016

Hafidz Salafuddin

No. Registrasi 5315117248

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN PENGESAHAN	i
PERNYATAAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Pembatasan Masalah.....	4
1.4 Perumusan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Teori Dasar Perancangan.....	6
2.2 Teori Dasar Rangka.....	9
2.3 Teori Dasar <i>Finite Element Methode</i>	15
2.4 <i>Autodesk Inventor</i>	18
2.5 <i>Stress Analysis</i>	19
2.6 <i>Safety factor</i>	20
2.7 Teori Tegangan <i>Von Misses</i>	22
2.8 Mekanika Teknik.....	22
2.9 Regulasi Mengenai Struktur Rangka <i>Prototype</i>	28
BAB III PERENCANAAN	
3.1 Pokok Bahasan.....	31

3.2 Penjabaran Tugas.....	31
3.3 Fungsi.....	31
3.4 Diagram Alir	32
3.5 Daftar Kehendak (spesifikasi)	33
3.6 Varian Model	34
3.7 Alasan Pemilihan Varian Konsep.....	35
3.8 Perancangan Wujud	35
BAB IV HASIL PERENCANAAN	
4.1 Model Desain	37
4.2 Bahan atau Material	39
4.3 Kondisi Batas	39
4.4 Persamaan (<i>Governing Equation</i>)	40
4.5 Perhitungan Teori	41
4.6 Hasil analisa Simulasi Gaya, Tegangan, dan Faktor Keamanan Dengan <i>Autodesk Inventor</i>	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	65
RIWAYAT HIDUP	91

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Daftar spesifikasi perencanaan	33
Tabel 3.2 Varian Model	35
Tabel 4.1 Data properti material aluminium 6061	40
Tabel 4.2 Hasil analisa dari variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)	51
Tabel 4.3 Hasil analisa dari variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm)	54
Tabel 4.4 Hasil analisa dari variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)	56
Tabel 4.5 Hasil analisa setiap variasi	59
Tabel 4.6 Hasil perbandingan antara desain rangka dengan regulasi <i>shell</i>	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambar Alur Perancangan	8
Gambar 2.2 <i>Ladder Frame</i>	10
Gambar 2.3 <i>Tubular Space Frame</i>	11
Gambar 2.4 <i>Monocoque</i>	13
Gambar 2.5 <i>Chassis Backbone</i>	14
Gambar 2.6 <i>Aluminium Chassis Frame</i>	15
Gambar 2.7 Komponen-komponen tegangan normal dan geser.....	22
Gambar 2.8 Batang Prismatik yang dibebani Gaya Aksial	23
Gambar 2.9 Gaya Tarik Aksial	24
Gambar 2.10 Gaya Tekan Aksial.....	24
Gambar 2.11 Penampang rangka utama.....	27
Gambar 2.12 Penampang <i>roll bar</i>	27
Gambar 2.13 Ketentuan dimensi rangka <i>prototype</i>	29
Gambar 2.14 Ketentuan <i>roll bar</i> rangka <i>prototype</i>	29
Gambar 2.15 Contoh pengujian <i>roll bar</i> oleh <i>shell</i>	30
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Analisa <i>Software Inventor</i>	32
Gambar 3.2 Rancangan rangka 3 dimensi	36
Gambar 4.1 rangka yang dirangkai dengan roda	37
Gambar 4.2 pandangan samping rangka yang telah dipasang roda.....	37
Gambar 4.3 pandangan depan rangka yang telah dipasang roda.....	38
Gambar 4.4 jarak antara helm dengan <i>roll bar</i>	38
Gambar 4.5 Rangka <i>Prototype</i>	39
Gambar 4.6 <i>frame</i> utama <i>prototype</i> pandangan atas	40
Gambar 4.7 <i>frame</i> utama <i>prototype</i> pandangan depan.....	40
Gambar 4.8 pembebanan pada rangka	41
Gambar 4.9 Penentuan tumpuan pada rangka	41
Gambar 4.10 Diagram benda bebas rangka.....	42
Gambar 4.11 Diagram benda bebas potongan 1	43
Gambar 4.12 Diagram benda bebas potongan 2	44

Gambar 4.13 Diagram benda bebas potongan 3	45
Gambar 4.14 Diagram benda bebas potongan 4	45
Gambar 4.15 Diagram benda bebas potongan 5	46
Gambar 4.16 Diagram Bidang Gaya Geser dan Bidang Momen	47
Gambar 4.17 Rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm) yang sudah diberi beban	49
Gambar 4.18 Rangka variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm) yang sudah diberi beban	49
Gambar 4.19 Rangka variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm) yang sudah diberi beban	49
Gambar 4.20 Tegangan yang terjadi pada variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm) ..	50
Gambar 4.21 Tegangan yang terjadi pada variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm) ..	50
Gambar 4.22 Tegangan yang terjadi pada variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm) ..	50
Gambar 4.23 Tegangan yang terjadi pada rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)	51
Gambar 4.24 <i>Displacement</i> yang terjadi pada rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)	52
Gambar 4.25 <i>Safety factor</i> rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)	53
Gambar 4.26 Tegangan yang terjadi pada rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 3 mm)	54
Gambar 4.27 <i>Displacement</i> yang terjadi pada rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 3 mm)	55
Gambar 4.28 <i>Safety factor</i> rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 3 mm)	55
Gambar 4.29 Tegangan yang terjadi pada rangka variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)	56
Gambar 4.30 <i>Displacement</i> yang terjadi pada rangka variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)	57
Gambar 4.31 <i>Safety factor</i> rangka variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)	58

DAFTAR LAMPIRAN

a. Stress analysis	65
b. Frame analysis.....	79

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Shell Eco Marathon adalah lomba yang diadakan *shell* yang ditunjukkan kepada semua mahasiswa dan ilmuwan muda untuk membuat kendaraan super hemat energi, Sejarah kompetisi lebih dari 70 tahun. Tahun 1939, sekelompok ilmuwan *Shell* yang berada di laboratorium riset di Wood River, Illinois, Amerika Serikat mengadakan taruhan siapa yang bisa mengendarai kendaraan mereka paling jauh dengan bahan bakar satu galon. Pada waktu itu 21.12 km/L (59.7 mpg-imp; 49.7 mpg-US) adalah rekor terbaik yang bisa diraih. Ide ini menjadi dasar kompetisi internasional yang diadakan di Mallory Park, Inggris tahun 1977, kompetisi internasional 1976 "*Pisaralla Pisimmälle*" diadakan sebelumnya di Finlandia. Selama 30 tahun efisiensi bahan bakar meningkat dengan tajam.¹

Pada tahun 2010 perlombaan *shell eco marathon* juga diselenggarakan di benua Asia yaitu tepatnya di sirkuit sepang malaysia yang diikuti 150 team dari 60 universitas seasia, dan pada tahun 2014 *shell eco marathon* Asia diselenggarakan di Manila Filipina.

Shell Eco Marathon mewajibkan peserta membuat kendaraan sesuai dengan kriteria mereka yaitu *Prototype* dan *Urban Concept*. *Prototype* adalah salah satu jenis kendaraan yang dilombakan pada *shell eco marathon*.

¹ *Shell* Indonesia, <http://www.shell.co.id/id/aboutshell/media-centre/news-and-media-releases/2013/sembilan-tim-mahasiswa-menangkan-tantangan-merancang-kendaraan-masa-depan.html> diakses pada tanggal 15 Agustus 2015, pukul 10.31 WIB.

Kendaraan masa depan dengan desain khusus yang memaksimalkan aspek aerodinamika namun tidak mengurangi aspek keamanan. Beberapa sumber energi dari kelas *prototype* ini adalah bensin, listrik, solar, ethanol, GTL, dan hidrogen. Untuk dimensi dari *prototype* ini ditentukan oleh *shell* yaitu tinggi maksimal 1000 mm, *track width* minimal 500 mm, *wheelbase* minimal 1000 mm, lebar kendaraan maksimal 1300 mm, panjang kendaraan maksimal 3500 mm, dan berat total tanpa pengemudi 140 kg. *Prototype* ini juga harus *safety* diantaranya harus menggunakan *Roll bar* sebagai pelindung pengemudi yang mampu menahan beban 70 kg, menggunakan pemisah antara ruang pengemudi dengan ruang mesin yang tahan api dan tahan panas. Terdapat pemadam api ringan didalam ruang pengemudi. Yang terakhir memiliki *emergency shutdown* sebagai pengaman electical dan pengapian mesin².

Semua kendaraan yang dibuat oleh peserta harus melewati beberapa tahap inspeksi sebagai persyaratan mengikuti lomba, jika mobil yang inspeksi tidak memenuhi standar yang diberlakukan oleh *shell* maka mobil tersebut tidak akan diijinkan mengikuti balapan. Mobil yang akan diinspeksi harus sesuai dengan regulasi yang telah diberikan.

Pengujian *Roll bar* ini dilakukan dengan cara memberi beban pada *Roll bar* sebesar 70 kg dengan pengemudi dan komponen-komponen pada *prototype* sudah terpasang. *Roll bar* ini harus melebihi bahu dan harus berada lebih tinggi 5 cm diatas posisi helm pengemudi. Tujuan pengujian *Roll bar*

² *Shell Eco-Marathon 2016 Official Rules Chapter I*, 2015.

ini adalah untuk mengetahui kekuatan dari *Roll bar* dan rangka. *Roll bar* ini dirancang untuk melindungi pengendara jika mobil terbalik.

Universitas Negeri Jakarta sebagai salah satu perguruan tinggi negeri terbesar di Jakarta ikut berpartisipasi dalam perlombaan *shell eco marathon* Asia, yang dimulai pada tahun 2013 diselenggarakan di Malaysia sampai pada tahun 2015 di Manila Filipina. Dalam perlombaan ini team dari Universitas Negeri Jakarta ditantang untuk mendesain *prototype* kendaraan hemat energi dengan tiga roda yang berbahan bakar bensin dengan kadar oktan 95. Lalu muncul masalah bagaimana rangka *prototype* ini dibuat agar seringan mungkin untuk meningkatkan kinerja mesin tetapi dimensinya harus sesuai dengan persyaratan *shell* dan mampu menahan beban statis seberat 50 kg pada tempat pengendara, 20 kg pada tempat mesin, 70 kg pada *Roll bar*.

Berdasarkan masalah diatas maka penelitian ini mengambil judul :
Desain dan analisis kekuatan pada rangka kendaraan jenis *prototype* sesuai standar *shell eco marathon* Asia.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari latar belakang masalah diatas dapat diambil beberapa identifikasi masalah yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana desain kendaraan *prototype* tiga roda?
2. Bagaimana desain rangka yang ringan untuk digunakan pada *prototype* ?
3. Bagaimana desain rangka yang kuat untuk digunakan pada *prototype* ?
4. Bagaimana desain rangka yang sesuai dengan persyaratan yang diberikan oleh *shell* ?

5. Bagaimana gaya statis yang diterima pada struktur dengan rangka?
6. Apakah yang terjadi pada struktur rangka setelah diberikan gaya statis?

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang serta identifikasi masalah, pembatasan masalah dalam penulisan ini sebatas mengenai perencanaan untuk pembuatan rangka *prototype* dimana:

1. Skripsi ini hanya membahas masalah rancang bangun struktur yang ringan dan kuat.
2. Pembeban yang akan diberikan mengacu pada regulasi dari *shell*.
3. Dimensi dari *prototype* ini ditentukan oleh *shell* yaitu tinggi maksimal 1000 mm, *track width* minimal 500mm, *wheelbase* minimal 1000 mm, lebar kendaraan maksimal 1300mm, panjang kendaraan maksimal 3500 mm, dan berat total tanpa pengemudi 140 kg.
4. Kemampuan menahan beban dibatasi hanya 70 kg pada *Roll bar*, 50 kg pada tempat duduk pengendara dan dapat menahan beban 20 kg pada tempat mesin.

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah dan pembatasan masalah diatas, maka perumusan masalahnya pada bagaimanakah desain dan analisis kekuatan pada rangka kendaraan jenis *prototype* yang sesuai dengan standar *shell eco marathon* Asia ?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan utama penelitian ini adalah :

1. Menghasilkan desain rangka yang digunakan untuk kendaraan jenis *prototype*.
2. Menganalisis kekuatan struktur rangka kendaraan *prototype* yang dibuat dengan standar regulasi *shell*.
3. Mengetahui struktur rangka *prototype* yang paling ringan dan kuat.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Diharapkan dapat menjadi referensi tentang proses penelitian struktur rangka dan dapat dijadikan bahan masukan khususnya bagi mahasiswa program studi pendidikan teknik mesin dalam mengaplikasikan kuliah mekanika teknik dan desain berbasis komputer.
2. Memberikan solusi kemudahan dalam perancangan rangka ringan dan kuat pada kendaraan jenis *prototype*.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Teori Dasar Perancangan³

Perancangan adalah salah satu proses dimana pembuatan benda yang terlahir dari sebuah ide yang dimiliki perancang. Perancangan merupakan pengaplikasian berbagai macam teknik dan prinsip untuk tujuan pendefinisian secara rinci suatu perangkat, proses atau sistem sehingga dapat direalisasikan dalam suatu bentuk fisik.

Perancangan mempunyai arti menuangkan ide ke dalam suatu gambar atau media apapun sebagai ilustrasi benda yang ingin dibuat, segala bentuk benda jika ingin dibuat secara sempurna haruslah melalui tahap perancangan yang matang. Perancangan menggabungkan antara ide dengan berbagai kemungkinan seperti material yang digunakan, konstruksi yang akan dibuat, proses produksi yang akan dilakukan dan fungsi dari benda tersebut.

Kegunaan perancangan juga harus memperhitungkan bentuk, warna, tekstur dari suatu benda agar benda terbentuk sempurna dan juga meminimalisir kesalahan yang terjadi. Banyak yang harus diperhatikan dalam merancang salah satunya juga material yang digunakan. Perancang harus memilih bahan yang sesuai untuk benda yang akan dibuat sesuai dengan apa yang dia kehendaki. Salah satu sisi positif dari perancangan ini adalah ide atau inovasi yang tidak terbatas dari perancang, perancang bisa membuat model benda baru, atau mengatur ulang

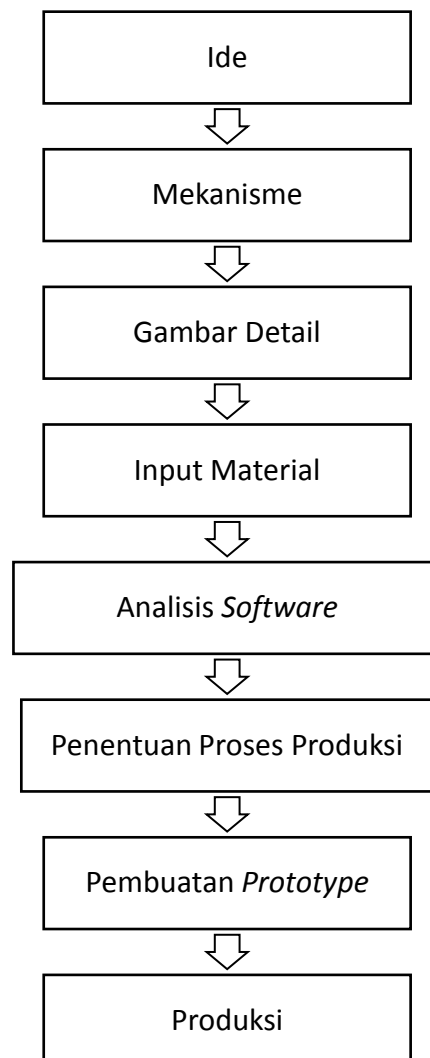
³ Eulistyetio, <http://elib.unikom.ac.id/files/disk1/306/jbptunikompp-gdl-eulisyetio-15298-2-babii.pdf> diakses pada tanggal 26 Januari 2016, pukul 13.28 WIB

benda baru, atau menyempurnakan benda yang sudah ada menjadi benda baru yang lebih berdaya guna.

Perancangan merupakan suatu proses yang kompleks, Maka perlunya prosedur dalam melakukan perancangan, prosedur perancangan adalah sebagai berikut:

- a. Membuat ide atau konsep produk yang akan kita produksi. Pertama adalah berangkat dari masalah yang terjadi, lalu kita membuat ide suatu produk atau benda yang berfungsi menjadi solusi atas permasalahan yang sedang dialami.
- b. Menentukan mekanisme produk yang akan dibuat. Apakah produk tersebut akan statis, bergerak dinamis.
- c. Menggambar dalam bentuk dua dan tiga dimensi produk yang akan kita buat sedetail mungkin, ini akan membantu kita dalam merancang, memproduksi dan memprediksi biaya yang akan dikeluarkan.
- d. Memasukan data atau informasi mengenai material ataupun komponen-komponen lain ke dalam gambar, untuk mencegah ketidak tersediaan material atau komponen yang ada dimaterial dengan apa yang kita inginkan.
- e. Menganalisis kekuatan ataupun sifat produk yang kita produksi dalam aplikasi *software* komputer. Disana akan memberikan info kita terkait desain, material, dan komponen yang kita miliki apakah sudah memenuhi keinginan kita atau belum.

- f. Menentukan proses produksi yang dilakukan untuk membuat produk tersebut.
- g. Membuat *prototype* atau model dalam bentuk kecil produk yang kita buat. Untuk mengetahui penampilan ataupun cara kerja produk yang kita buat lebih detail lagi.
- h. Produksi, Produk yang sudah siap, akan segera dilakkan produksi di *workshop*.



Gambar 2.1 Gambar Alur Perancangan

2.2 Teori Dasar Rangka

Rangka atau *frame* adalah penopang terbesar dalam suatu kendaraan. Rangka tidak hanya berfungsi sebagai pondasi kendaraan tetapi juga sebagai tempat *mounting* komponen-komponen yang terdapat dalam suatu kendaraan seperti mesin, steer, pengereman, interior dan komponen-komponen lainnya. Rangka merupakan bagian kendaraan yang berfungsi sebagai pondasi kendaraan yang menyangga komponen – komponen seperti motor, pemindah tenaga, serta body. Fungsi utama dari rangka adalah⁴ :

1. Untuk mendukung gaya berat dari kendaraan yang berpenumpang.
2. Untuk menahan torsi dari mesin, kopling sentrifugal, aksi percepatan dan perlambatan, dan juga untuk menahan gaya torsi yang diakibatkan dari bentuk permukaan jalan.
3. Untuk menahan beban kejut yang diakibatkan benturan dengan benda lain.
4. Sebagai landasan untuk meletakkan bodi kendaraan, mesin serta kopling sentrifugal, tangki bahan bakar, tempat duduk penumpang.
5. Untuk menahan getaran dari mesin dan getaran yang ditimbulkan karena efek bentuk permukaan jalan.

Frame memiliki beberapa jenis diantaranya:

- a) *Ladder frame*
- b) *Tubular space frame*
- c) *Monocoque*

⁴ Francis. Vishal, Dkk, Structural Analysis of Ladder Chassis Frame for Jeep Using Ansys, (India : International Journal of Modern Engineering Research, 2014), h. 1

d) *Backbone chassis*

e) *Aluminium space frame*

a. *Ladder Frame*⁵

Ladder Frame adalah dua batangan panjang yang menyokong kendaraan dan menyediakan dukungan yang kuat dari berat beban dan umumnya berdasarkan desain angkut. Bentuk bodi ini merupakan salah satu contoh yang bagus dari tipe *chassis*. Dinamakan demikian karena kemiripannya dengan tangga, *Ladder Frame* adalah yang paling sederhana dan tertua dari semua desain. Ini terdiri hanya dari dua rel simetris, atau balok, dan *cross members* menghubungkan mereka. *Ladder frame* merupakan *chassis* paling awal yang digunakan sekitar tahun 1960-an, namun sampai sekarang masih banyak kendaraan yang menggunakan *chassis* jenis ini terutama kendaraan jenis SUV. Bahan material yang paling umum untuk jenis *Ladder frame* ini adalah material dengan bahan baja ringan.



Gambar 2.2 *Ladder Frame*⁶

⁵ Costin, Michael and Phipps, David. Racing and Sports Car Chassis Design. (London : B. T. Batsford Ltd, 1966), h. 8

⁶ Nagaraju, N Siva, Dkk, Modeling And Analysis of An Innova Car Chassis Frame by Varying Cross Section. (India : International Journal of Engineering Research & Technology, 2013), h. 3

Dua batang memanjang tersebut merupakan bagian yang utama untuk menahan beban longitudinal akibat percepatan dan pengereman. Kemudian batang yang melintang hanya menahan agar *chassis* tetap dalam keadaan rigid/kaku. Berikut adalah salah satu contoh *Ladder Frame* modern yang biasa digunakan pada mobil *pickup* dan SUV. Dalam hal lain untuk *chassis Ladder Frame* ini ada juga penambahan komponen untuk lebih menguatkan *chassis* yaitu dengan cara penambahan penguatan palang X.

b. *Tubular Space Frame*⁷

Berdasarkan salah satu jenis metode *frame* terbaik yang kekuatannya sangat bagus di perlindungan kekakuan torsional, ketahanan beban berat, dan beban impact, *frame* ini juga mudah untuk di desain dan cukup lumayan sulit dalam membangunnya. Desain ini membuat bentuknya sempurna untuk kebanyakan aplikasinya di kompetisi balap Formula Sae untuk proyek mobil dan bahkan mobil balap kecil. Sebagai contoh pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.3 *Tubular Space Frame*⁸

⁷ Costin, *Op.Cit.*, h. 6

⁸ Waterman. Brendan. J, Design and Construction of a Space-frame Chassis. (Australia : School of Mechanical and Chemical Engineering University of Western, 2011), h. 49

Dalam struktur jenis ini sangat penting untuk memastikan semua bidang sepenuhnya triangulasi sehingga elemen balok dasarnya dimuat dalam ketegangan atau kompresi. Oleh karena sambungan las, beberapa hambatan lentur dan torsi akan terjadi pada sambungannya, dengan mengandalkan pembatasan tersebut akan membuat struktur jauh lebih kaku.

Tubular space Frame memakai berbagai macam pipa *circular* (kadang – kadang dipakai bentuk *square tube* agar mudah disambung, meskipun begitu bentuk *circular* memiliki kekuatan begitu besar). Posisinya yang berbagai arah menghasilkan kekuatan mekanikal untuk melawan gaya dari berbagai arah. Pipa tersebut dilas sehingga terbentuk struktur yang kompleks.

c. *Monocoque*⁹

Monocoque merupakan satu kesatuan stuktur *chassis* dari bentuk kendaraannya sehingga *chassis* ini memiliki bentuk yang beragam yang menyesuaikan dengan body mobil. Meskipun terlihat seperti satu kesatuan dari rangka dan body mobilnya, namun sebenarnya *chassis* ini dibuat dengan menggunakan pengelasan melalui proses otomatisasi sehingga hasil pengelasan yang berbentuk sempurna dan terlihat seperti tidak ada hasil pengelasan. Material yang digunakan adalah baja sedangkan pada *chassis* lain digunakan campuran material antara baja dengan aluminium sehingga bobotnya lebih ringan. Kelemahan lainnya adalah tidak mungkin untuk pembuatan mobil bersekala kecil karena membutuhkan proses produksi menggunakan robot. Sebagai contoh dapat dilihat pada gambar 2.4. Dimana *chassis* ini terlihat kesatuan struktur yang menyawa

⁹ Costin, *Op.Cit.*, h. 17

mulai dari bagian depan hingga belakang dimana merupakan produk massal untuk kebutuhan transportasi pada umumnya.



Gambar 2.4 *Monocoque*¹⁰

d. *Backbone*¹¹

Ini adalah aplikasi langsung dari teori jenis rangka pipa. Ide awalnya adalah dengan membuat struktur depan dan belakangnya yang terhubung dengan sebuah rangka tube yang melintang disepanjang mobil. Tidak seperti transmisi tunel, *chassis backbone* ini hampir seluruhnya adalah struktur kaku dan dapat menahan semua beban. Ini terdapat beberapa lubang yang kontinu. Karena begitu sempit dindingnya umumnya dibuat tebal. *Chassis backbone* memiliki kekakuan dari luas area bagian “*Backbone*” itu sendiri. Beberapa jenis *chassis* mengintegrasikan jenis *chassis backbone* ini ke struktur utama seperti mobil “*Locost*”.

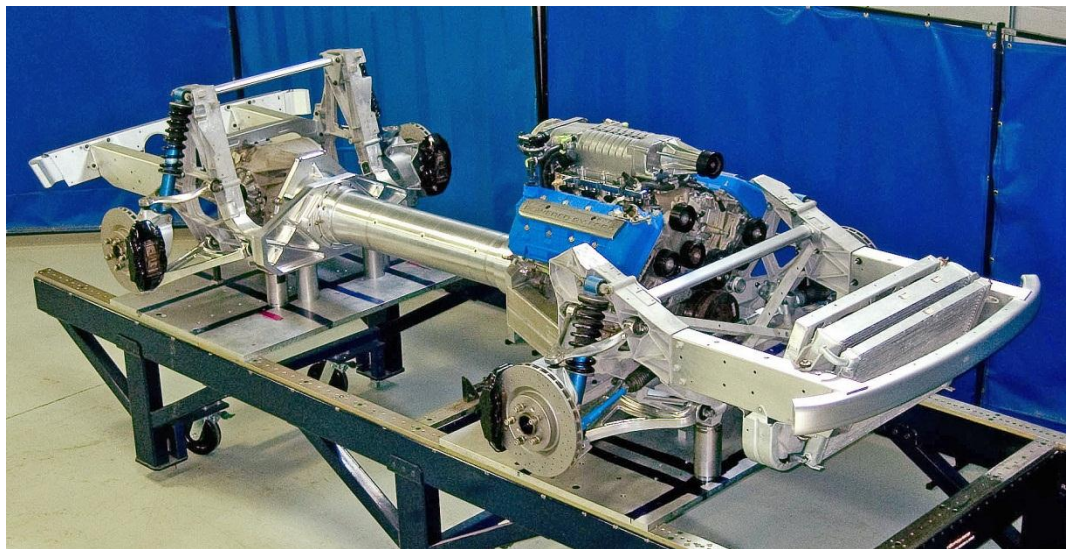
Bentuk rancang bangun *chassis* jenis tipe ini adalah tetap dengan mengandalkan *backbone* tetapi dengan menambahkan struktur tambahan untuk lebih mengkakukan *backbone* itu sendiri seperti balap mobil DP1. Harus dicatat bahwa *chassis backbone* ini bisa di buat dalam berbagai bentuk konstruksi. *Space*

¹⁰Eurenius. Carl Andersson, Dkk, *Analysis of Composite Chassis*.(Sweden : Chalmers University Of Technology, 2013), h. 8

¹¹ Technical F1, <http://www.formula1-dictionary.net/chassis.html> diakses pada tanggal 26 Januari 2016, pukul 14.00 WIB

frame triangular, chassis monocoque angular ataupun *tube* kontinu. Semua jenis *chassis* ini digunakan dalam memproduksi sebuah mobil. Hampir semua motor penggerak belakang dan penggerak depan mengizinkan *chassis Backbone* ini untuk *cover* dari transmisi dan ruang poros penggerak.

Balapan DP1 menggunakan *space frame* untuk membangun sebuah struktur *chassis backbone*. Juga ada ruang mesin dan ruang *cockpit*. Secara umum ini tidak menyerupai struktural tetapi oleh karena penyatuan alami dari balapan DP1 dan kekakuan *chassis backbone* yang *triangular*. Berikut *chassis backbone* yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.5 *Chassis Backbone*¹²

e. *Aluminium Chassis Frame*

Chassis jenis ini pertama kali dikembangkan oleh perusahaan mobil Audy bersama-sama dengan perusahaan pembuat aluminium Alcoa. *Aluminium Chassis Frame* dibuat untuk menggantikan *chassis* baja *Monocoque* karena untk

¹² Gehm,Ryan. Uni-Chassis Concept The Backbone For Unique Vehicle Architecture. (USA : SAE International, 2011), h. 1

menghasilkan sebuah rangka yang ringan . *Aluminium space frame* diklaim 40% lebih ringan dibanding dengan rangka baja *Monocoque* namun 40% lebih rigid. Berikut adalah *Aluminium Chassis frame* yang ditunjukkan pada gambar.



Gambar 2.6 *Aluminium Chassis Frame*¹³

2.3 Teori Dasar *Finite Element Methode*¹⁴

FEM adalah singkatan dari *Finite Element Method*, dalam Bahasa Indonesia disebut Metode Elemen Hingga. Konsep paling dasar FEM adalah menyelesaikan suatu problem dengan cara membagi objek analisa menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. Bagian-bagian kecil ini kemudian dianalisa dan hasilnya digabungkan kembali untuk mendapatkan penyelesaian untuk keseluruhan daerah.

¹³ Ashley. Steven, All-aluminum frame of GM's 2014 Corvette saves 99 lb (USA: SAE International, 2013), h. 1

¹⁴ Bathe Klaus-Jurgen. Finite Element Procedures. (USA: Prentice Hall International Editions Inc, 1996), h. 1

Metode elemen hingga merupakan salah satu cara dalam menyelesaikan masalah yang terdapat di alam dengan solusi numerik. Biasanya kejadian di alam dapat dijelaskan dalam persamaan baik itu dalam bentuk differensial atau integral. Karena alasan tersebut metode elemen hingga menjadi salah satu cara dalam menyelesaikan bentuk differensial parsial dan integral. Umumnya metode elemen hingga memungkinkan pengguna untuk mendapatkan evolusi dalam ruang atau waktu dari satu atau lebih variabel yang mewakili dari suatu sistem fisik. Bila mengacu pada analisa struktur, metode elemen hingga merupakan metode yang baik dalam menghitung *Displacement*, tegangan, dan regangan pada suatu struktur dalam pembebanan tertentu.

Kata "*Finite* atau terhingga" digunakan untuk menekankan bahwa bagian-bagian kecil tersebut tidak tak terhingga, seperti yang lazim digunakan pada metode integral analitik. Membagi bagian analisa menjadi bagian-bagian kecil disebut "*discretizing*" atau "diskritisasi". Bagian-bagian kecil ini disebut elemen, yang terdiri dari titik-titik sudut (disebut nodal, atau *node*) dan daerah elemen yang terbentuk dari titik-titik tersebut. Membagi sebuah objek menjadi bagian-bagian kecil secara fisika sebenarnya menuntun kita kepada pembuatan persamaan diferensial. Jadi secara lebih matematis, FEM didefinisikan sebagai teknik numerik untuk menyelesaikan problem yang dinyatakan dalam persamaan diferensial. Namun biasanya definisi FEM secara matematis memberikan kesan yang rumit yang sebenarnya tidak perlu. Oleh karena itu dalam pelajaran kita, pendekatan matematis tidak terlalu ditekankan..Untuk saat ini, yang perlu kita

fahami lebih dahulu adalah gambaran besar cara kerja FEM. Secara umum langkah-langkah dalam FEM bisa diringkas sebagai berikut¹⁵:

1. Langkah 1, pemilihan tipe elemen dan diskritisasi. Amatilah benda atau struktur yang akan dianalisa, apabila 1 dimensi (contoh batang panjang), 2 Dimensi (plat datar), 3 dimensi (seperti balok). Bagilah potong benda dalam bagian-bagian kecil (elemen) langkah ini disebut sebagai langkah diskritisasi. Banyaknya potongan yang dibentuk bergantung pada geometri dari benda yang akan dianalisa, sedangkan bentuk elemen yang diambil bergantung pada dimensinya.
2. Langkah 2, pemilihan fungsi pemindah atau fungsi interpolasi, jenis-jenis fungsi yang sering digunakan adalah fungsi linier, fungsi kuadrat, kubik atau polinomial derajat tinggi.
3. Langkah 3, mencari hubungan *strain*, *displacement* dan *stress*,
4. Langkah 4, dapatkan matriks kekakuan dari elemen yang telah dibuat. Untuk benda yang terdiri dari beberapa buah elemen lakukan penggabungan atau *assemblage* dari matriks kekakuan elemen menjadi matriks kekakuan global yang berlaku untuk seluruh benda atau struktur
5. Langkah 5, gunakan persamaan kesetimbangan dengan persamaan masukan syarat batas yang diketahui dalam soal
6. Langkah 6, selesaikan persamaan pada langkah 5 dengan menghitung harga yang belum diketahui. Jika perhitungan melibatkan matriks

¹⁵ Susetyo. Yerri, Dasar Dasar Metode Elemen Hingga. (Yogyakarta : Andi Publisher, 2004), hh. 3-4

dengan ukuran yang kecil, biasanya ditempuh dengan cara *partitioning* matriks, tetapi jika perhitungan melibatkan matriks berukuran besar, komputer adalah jalan terbaik dalam mendapatkan solusinya

7. Langkah 7, hitung *strain* dan *stress* dari setiap elemen.
8. Langkah 8, interpretasikan kembali hasil-hasil perhitungan yang diperoleh.

2.4 Autodesk Inventor¹⁶

Autodesk Inventor adalah salah satu *Autodesk Corp* yang diperuntukan untuk *engineering* desain *and drawing*. *Autodesk Inventor* merupakan pengembangan dari produk-produk CAD setelah *AutoCAD* dan *Autodesk Mechanical Desktop*. *Autodesk Inventor* memiliki beberapa kelebihan yang memudahkan dalam desain serta tampilan yang lebih menarik dan riil, karena fasilitas material yang disediakan. Sebagai perangkat lunak yang disiapkan untuk proses perancangan produk, *Autodesk Inventor* memiliki beberapa keunggulan, yakni:

1. Memiliki kemampuan *parametric solid modeling*, yaitu kemampuan untuk melakukan desain serta pengeditan dalam bentuk *solid* model dengan data yang telah tersimpan dalam data base. Dengan adanya kemampuan tersebut *designer/engineer* dapat merevisi atau memodifikasi desain yang ada tanpa harus mendesain ulang sebagian atau secara keseluruhan.

¹⁶ Hidayat, Nur dkk. Autodesk Inventor Mastering 3D Mechanical Design. (Bandung : Informatika, 2011), hh. 1-2

2. Memiliki kemampuan *animation* yaitu kemampuan untuk menganimasikan suatu file *assembly* mengenai jalannya suatu alat yang telah *diassembly* dan dapat disimpan dalam file AVI.
3. Memiliki kemampuan *automatic create technical 2D drawing* serta *bill of material* dan tampilan *shading* dan *rendering* pada *layout*.
4. *Adaptive* yaitu kemampuan untuk menganalisis gesekan dari animasi suatu alat serta dapat menyesuaikan dengan sendirinya.
5. Material atau bahan yang memberikan tampilan suatu *part* tampak lebih nyata.
6. Kapasitas file lebih kecil.

Dari beberapa kelebihan tersebut maka pemakaian *autodesk inventor* sangat memberikan keuntungan dari segi efisiensi serta efektivitas waktu untuk produktifitas pekerjaan yang akan dilakukan.

2.5 Stress Analysis¹⁷

Stress Analysis merupakan sebuah alat yang disediakan bagi pengguna *Autodesk Inventor* yang berfungsi untuk menganalisis kekuatan. Alat ini cukup mudah digunakan dan dapat membantu kita untuk mengurangi kesalahan dalam membuat desain. Dengan demikian, selain biaya yang harus kita keluarkan akan berkurang, *time to market* dari benda yang kita desain pun dapat dipercepat karena kita sudah mensimulasikan terlebih dahulu benda yang kita desain di komputer sebelum masuk ke proses produksi.

¹⁷ Syaiful A. B Alchazin, Modul Training Autodesk Inventor 2012, (Bogor: LAPAN, 2011), h. 53

Keakuratan hasil analisis tergantung dari material, *restraint* (bagian yang diam), dan *loads* (beban) yang diberikan. Jadi, untuk mendapatkan hasil yang valid kita harus memastikan bahwa properti dari material yang kita berikan benar-benar mewakili material yang akan kita gunakan. Demikian pula *restraints*, *loads*, kedua hal tersebut harus mewakili kondisi kerja dari benda. *Stress* (ketegangan) atau statik analisis menghitung *displacement*, *strains* dan *stresses* berdasarkan material, *restraint*, dan *loads* yang diberikan. Sebuah material akan mengalami patah, atau berubah bentuk ketika *stress*-nya mencapai level tertentu. Setiap material memiliki tingkatan *stress* yang berbeda. *Stress Analysis* pada *Autodesk Inventor* menggunakan *linear static Analysis* berdasarkan *Finite Element Method* (FEM), untuk menghitung *stress*.

2.6 Safety Factor¹⁸

Istilah faktor rancangan(N), adalah ukuran keamanan relatif komponen pembawa beban. Dalam kebanyakan kasus, kekuatan bahan komponen tersebut dibagi menurut faktor rancangan untuk menentukan tegangan rancangan (σ_d), kadang disebut tegangan yang diijinkan (*allowable stress*). Untuk itu tegangan aktual yang dialami komponen harus lebih kecil dari tegangan rancangan tersebut. Untuk beberapa jenis pembebanan, adalah lebih tepat untuk menyusun sebuah hubungan dari mana faktor rancangan(N), tersebut diambil, dapat dihitung dari tegangan aktual yang terjadi dan kekuatan bahan. Perancang harus menentukan berapa nilai faktor rancangan yang wajar untuk suatu situasi tertentu. Sering kali nilai faktor rancangan atau tegangan rancangan ditetapkan dalam aturan-aturan

¹⁸ Mott, Robert L, Machine Elements In Mechanical Design fourth edition. (Ohio: Upper Saddle River, 2004), hh. 185-186

yang dibuat oleh organisasi yang menetapkan standar, seperti *American Society of Mechanical Engineers*, *American Gear Manufacturers Association*, *U.S. department of Defense*, *Aluminum Association* atau *American Institute of Steel Construction*. Undang-undang tentang bangunan lokal atau negara bagian (Amerika Serikat) sering kali menetapkan faktor-faktor rancangan atau tegangan rancangan untuk struktur-struktur. Beberapa perusahaan menggunakan kebijakan mereka sendiri dalam menentukan faktor-faktor rancangan berdasarkan pengalaman masa lalu dengan kondisi-kondisi yang sama. Berikut ini nilai dari faktor-faktor perancangan dari bahanbahan ulet, yaitu:

- a. $N=1,25$ hingga 2. Perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan tinggi untuk semua data perancangan.
- b. $N=2,0$ hingga 2,5. Perancangan elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan tingkat kepercayaan rata-rata untuk semua data perancangan.
- c. $N=2,5$ hingga 4,0. Perancangan struktur statis atau elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beban, sifat-sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.
- d. $N=4,0$ atau lebih. Perancangan struktur statis atau elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beberapa kombinasi beban, sifat-sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan. Keinginan untuk memberikan keamanan ekstra untuk komponen yang kritis dapat juga memilih nilai-nilai ini

Rumus faktor keamanan secara matematis ditulis¹⁹.

$$\text{Safety Factor} = \frac{\text{Yeild Point Stress}}{\text{Working atau design stress}} \quad (2.1)$$

2.7 Teori Tegangan Von Misses²⁰

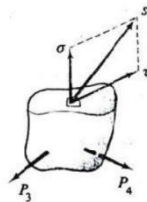
Teori ini memperkirakan suatu kegagalan mengalah dalam tegangan geser yang memadai lebih besar dari yang diperkirakan oleh teori tegangan geser maksimal. Untuk analisis perancangan akan lebih mudah jika kita menggunakan tegangan Von Misses yaitu persamaan yang berkaitan dengan suatu tegangan dalam tiga sumbu.

$$\sigma' = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \quad (2.2)$$

2.8 Mekanika Teknik²¹

a. Tegangan Normal (Normal Stress)

Gaya internal yang bekerja pada sebuah potongan dengan luasan yang sangat kecil akan bervariasi baik besarnya maupun arahnya. Pada umumnya gaya gaya tersebut berubah-ubah dari suatu titik ke titik yang lain, umumnya berarah miring pada bidang perpotongan. Dalam praktek keteknikan intensitas gaya diuraikan menjadi tegak lurus dan sejajar dengan irisan, seperti terlihat pada Gambar dibawah.



Gambar 2.7 Komponen-komponen tegangan normal dan geser²²

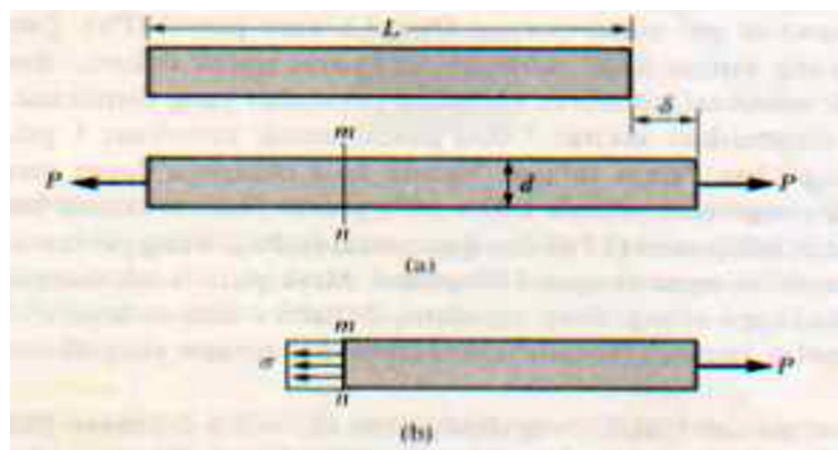
¹⁹ *Ibid*, h. 183.

²⁰ *Ibid*, h. 189

²¹ Tim Dosen. Tegangan Normal Dan Tegangan Geser, (Bogor : IPB,2010). hh. 1-4

²² *Ibid*, h. 1

Tegangan normal adalah intensitas gaya yang bekerja normal (tegak lurus) terhadap irisan yang mengalami tegangan, dan dilambangkan dengan σ (sigma). Bila gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu batang sejajar terhadap sumbu utamanya dan potongan penampang batang tersebut konstan, tegangan internal yang dihasilkan adalah sejajar terhadap sumbu tersebut. Gaya-gaya seperti itu disebut gaya aksial, dan tegangan yang timbul dikenal sebagai tegangan aksial. Konsep dasar dari tegangan dan regangan dapat diilustrasikan dengan meninjau sebuah batang prismatik yang dibebani gaya-gaya aksial (*axial forces*) P pada ujung-ujungnya. Sebuah batang prismatik adalah sebuah batang lurus yang memiliki penampang yang sama pada keseluruhan panjangnya. Untuk menyelidiki tegangan-tegangan internal yang ditimbulkan gaya-gaya aksial dalam batang, dibuat suatu pemotongan garis khayal pada irisan mn (Gambar 2.8). Irisan ini diambil tegak lurus sumbu longitudinal batang. Karena itu irisan dikenal sebagai suatu penampang (*cross section*).



Gambar 2.8 Batang Prismatik yang dibebani Gaya Aksial²³

²³ *Ibid*, h. 3

Tegangan normal dapat berbentuk:

1. Tegangan Tarik (*Tensile Stress*)

Apabila sepasang gaya tarik aksial menarik suatu batang, dan akibatnya batang ini cenderung menjadi meregang atau bertambah panjang. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tarik pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.



Gambar 2.9 Gaya Tarik Aksial

2. Tegangan Tekan (*Compressive Stress*)

Apabila sepasang gaya tekan aksial mendorong suatu batang, akibatnya batang ini cenderung untuk memperpendek atau menekan batang tersebut. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tekan pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.



Gambar 2.10 Gaya Tekan Aksial

Intensitas gaya (yakni, gaya per satuan luas) disebut tegangan (*stress*) dan lazimnya ditunjukkan dengan huruf Yunani σ (sigma). Dengan menganggap bahwa tegangan terdistribusi secara merata pada seluruh penampang batang, maka resultannya sama dengan intensitas σ kali luas penampang A dari batang. Selanjutnya, dari kesetimbangan benda yang diperlihatkan pada gambar, besar

resultan gayanya sama dengan beban P yang dikenakan, tetapi arahnya berlawanan. Sehingga diperoleh rumus²⁴ :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Dimana,} \quad \begin{array}{l} \sigma = \text{Tegangan (N/m}^2\text{)} \\ P = \text{Gaya aksial (N)} \\ A = \text{Luas (m}^2\text{)} \end{array} \quad (2.3)$$

b. Regangan Normal

Regangan merupakan perubahan bentuk per satuan panjang pada suatu batang. Semua bagian bahan yang mengalami gaya-gaya luar, dan selanjutnya tegangan internal akan mengalami perubahan bentuk (regangan). Misalnya di sepanjang batang yang mengalami suatu beban tarik aksial akan teregang atau diperpanjang, sementara suatu kolom yang menopang suatu beban aksial akan tertekan atau diperpendek, maka²⁵:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad \begin{array}{l} \delta = \text{Perubahan bentuk} \\ L = \text{Panjang Batang} \\ \varepsilon = \text{Regangan} \end{array} \quad (2.4)$$

Sesuai dengan hukum Hooke, tegangan adalah sebanding dengan regangan. Dalam hukum ini hanya berlaku pada kondisi tidak melewati batas elastik suatu bahan, ketika gaya dilepas. Kesebandingan tegangan terhadap regangan dinyatakan sebagai perbandingan tegangan satuan terhadap regangan satuan, atau perubahan bentuk. Pada bahan kaku tapi elastik, seperti baja, kita peroleh bahwa tegangan satuan yang diberikan menghasilkan perubahan bentuk satuan yang relatif kecil. Pada bahan yang lebih lunak tapi masih elastik, seperti perunggu, perubahan bentuk yang disebabkan oleh intensitas tegangan yang sama

²⁴ *Ibid*, h. 3

²⁵ *Ibid*, h. 4

dihasilkan perubahan bentuk sekitar dua kali dari baja dan pada aluminium tiga kali dari baja. Regangan ε disebut regangan normal (*normal strain*) karena berhubungan dengan tegangan normal. Rumus regangan normal berdasarkan hukum Hooke²⁶ :

$$\sigma = E\varepsilon \rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (2.5)$$

Dimana:

E = modulus elastisitas tekan/tarik

σ = tegangan normal satuan

ε = regangan normal satuan

c. Momen Inersia

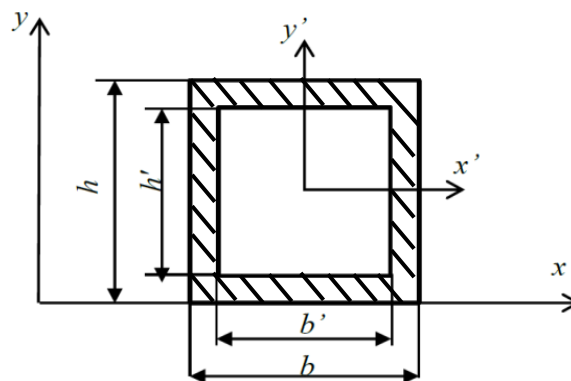
Inersia adalah kecenderungan benda untuk mempertahankan keadaannya (tetap diam atau bergerak). Benda yang sukar bergerak dikatakan memiliki inersia yang besar. Begitu juga bumi yang selalu dalam keadaan berotasi memiliki inersia rotasi. Jadi Momen Inersia adalah ukuran dari besarnya kecenderungan berotasi yang ditentukan oleh keadaan benda atau partikel penyusunnya. Momen inersia suatu luasan adalah perkalian antara luasan dengan jarak kuadrat dari titik berat luasan terhadap garis. Adapun penampang daripada rangka utama *chassis* ini adalah berbentuk *hollow* segi empat, dan untuk *roll bar* nya berbentuk *hollow* lingkaran²⁷

1. Momen Inersia Penampang *Hollow* Segiempat

Untuk luas penampang dari rangka utama yang merupakan besi *hollow* persegi dapat dilihat pada gambar 2.11

²⁶ *Loc.cit*

²⁷ Kamajaya, Cerdas Belajar Fisika, (Jakarta : PT. Grafindo Media Pratama, 2007), h. 177



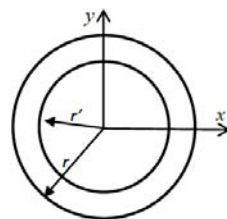
Gambar 2.11 Penampang rangka utama

Dengan adanya dimensi dari penampang rangka utama maka dapat dicari momen inersia luas penampang rangka utama. Untuk luas penampang persegi panjang rumus inersia luas penampangnya adalah²⁸

$$I = I_{x'} = \frac{1}{12}bh^3 - \frac{1}{12}b'h'^3 \quad (2.6)$$

2. Momen Inersia Penampang *Hollow* Lingkaran

Untuk luas penampang dari *roll bar* yang merupakan besi *hollow* lingkaran dapat dilihat pada gambar 2.12

Gambar 2.12 Penampang *roll bar*

Dengan adanya dimensi dari penampang *roll bar* maka dapat dicari momen inersia luas penampang *roll bar*²⁹

$$I = \frac{\pi(r^4 - r'^4)}{4} \quad (2.7)$$

²⁸ Widodo.Slamet, Dasar-Dasar Analisis Dalam Ilmu Mekanika Bahan,(Jogjakarta:UNY,2009),h 9

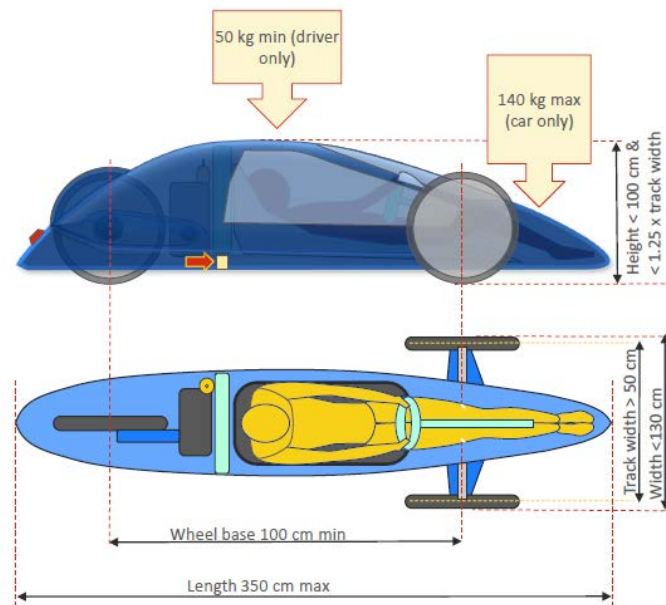
²⁹ *Loc.cit*

2.9 Regulasi Mengenai Struktur Rangka *Prototype*³⁰

Prototype adalah salah satu jenis kendaraan yang diperlombakan dalam *shell eco marathon Asia*, *prototype* ini merupakan kendaraan masa depan dengan desain khusus yang memaksimalkan aspek aerodinamika untuk keperluan lomba. Dalam kategori *prototype* ini terdiri dari beberapa kelas yaitu bensin, diesel, etanol, listrik, gas, dan hidrogen. *Prototype* ini harus didesain sesuai dengan regulasi yang telah dikeluarkan oleh *shell*. Beberapa peraturan yang harus diikuti adalah

1. *Prototype* harus mempunyai tiga buah roda, dengan roda dua buah roda didepan dan satu roda di belakang
2. Berat pengemudi kendaraan *Prototype* adalah 50 kg ketika memakai perlengkapan mengemudi yang lengkap, termasuk alat komunikasi
3. Ukuran (dimensi) Kendaraan Kelas *Prototype*
 - a) Ketinggian maksimal kendaraan adalah 100 cm.
 - b) *Track width* minimal 50 cm diukur dari titik kontak roda pada lintasan.
 - c) Jarak sumbu roda depan dengan belakang (*wheelbase*) minimal 100 cm.
 - d) Lebar keseluruhan kendaraan maksimal 130 cm.
 - e) Panjang keseluruhan kendaraan maksimal 350 cm.
 - f) Berat total kendaraan, tanpa Pengemudi, adalah maksimal 140 kg.

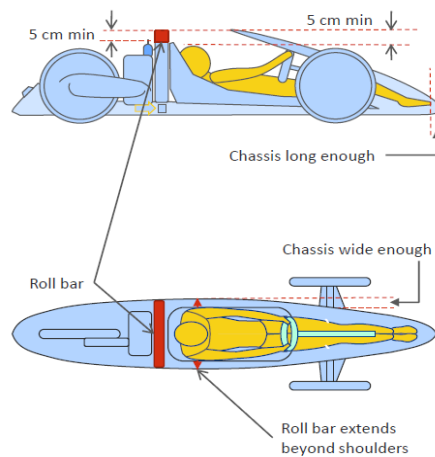
³⁰ *Shell Eco-Marathon 2016 Official Rules Chapter I*, 2015, h. 21



Gambar 2.13 Ketentuan dimensi rangka *prototype*³¹

4. Kekakuan dan Kekuatan Rangka *Chassis/Monocoque*

- a) Tim harus memastikan bahwa rangka *Chassis/Monocoque* kendaraan kaku dan kuat.
- b) *Chassis* kendaraan harus dilengkapi dengan *Roll bar* yang memanjang yang berjarak sekitar 5 cm di sekitar helm pengemudi yang duduk pada posisi mengemudi normal.



Gambar 2.14 Ketentuan *roll bar* rangka *prototype*³²

³¹ *Ibid*, h. 59

³² *Ibid*, h. 23

- c) Diperbolehkan menggunakan *Roll bar* jenis pipa atau panel. Jika menggunakan *Roll bar* jenis pipa, *Roll bar* harus dibuat dari logam. *Roll bar* panel adalah struktur kaku yang memisahkan ruang kemudi dengan ruang engine. *Roll bar* panel tersebut harus menyatu dengan rangka *chassis* kendaraan atau *Monocoque*.
- d) *Roll bar* harus dapat menahan beban statik sebesar 700 N (~70 kg) pada arah vertikal, horizontal (pada segala arah) atau tegak lurus tanpa mengalami deformasi.



Gambar 2.15 contoh pengujian *roll bar* oleh *shell*

BAB III

PERENCANAAN

3.1 Pokok Bahasan

Desain rangka kendaraan jenis *prototype* roda tiga ini mengacu pada standar yang diberikan dari *shell*, mulai dari dimensi, kekuatan sampai berat suatu rangka. Regulasi ini untuk menjadi acuan mahasiswa atau peserta lomba yang ingin turut serta dalam lomba *shell eco marathon asia*.

3.2 Penjabaran Tugas

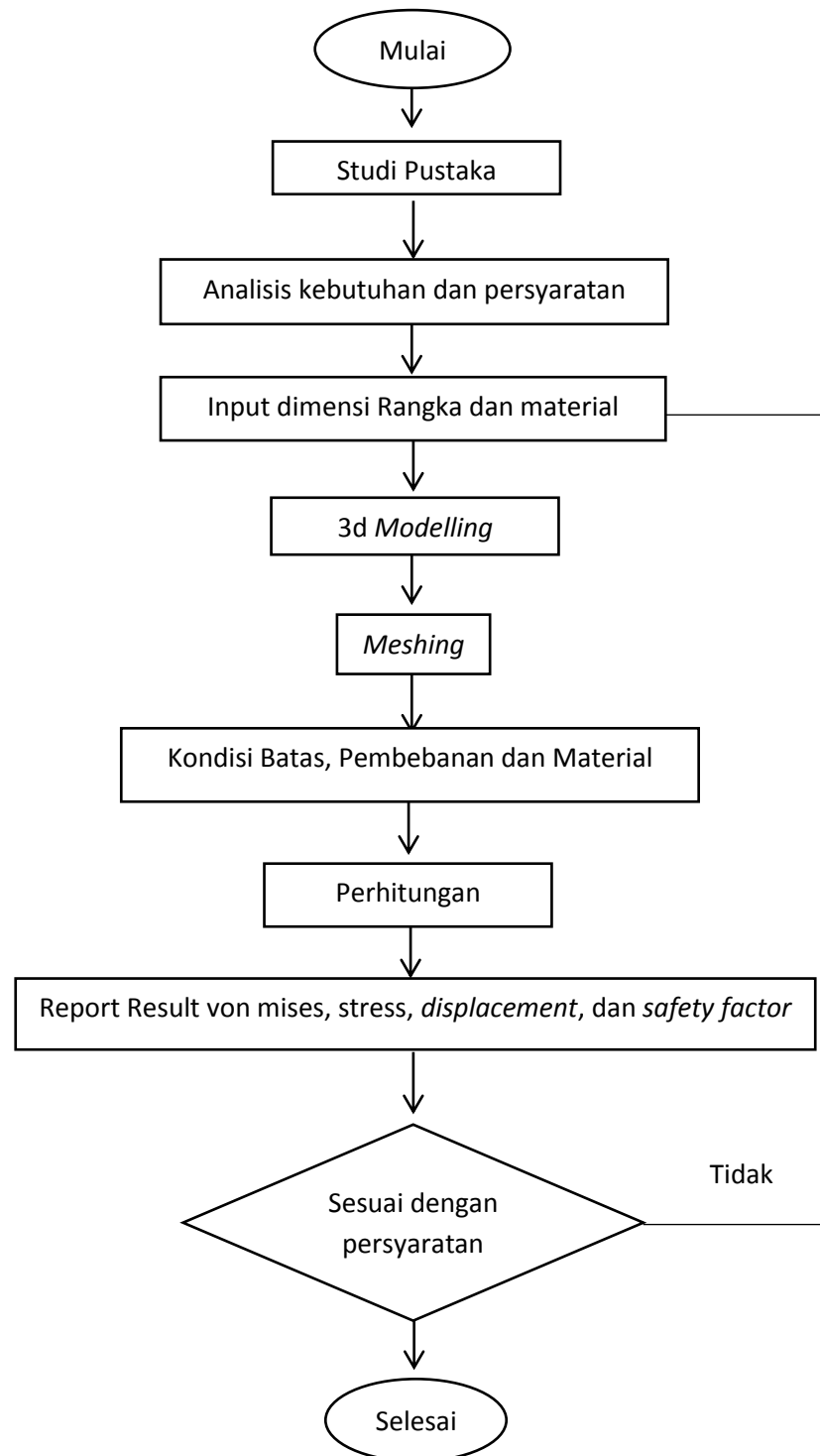
Langkah-langkah dalam proses perancangan ini yaitu :

- a. Membuat sketsa awal untuk menjadi patokan gambar 3 dimensi
- b. Merancang bagian rangka untuk, ruang pengemudi, *roll bar*, ruang mesin dan dudukan roda.
- c. Menentukan dimensi sesuai dengan regulasi dari *shell*.
- d. Membuat gambar 3 dimensi sesuai gambar dengan dimensi yang telah ditentukan.
- e. Melakukan analisa struktur dengan menggunakan *Software Autodesk Inventor* untuk mengetahui bagian-bagian yang mudah rusak.

3.3 Fungsi

- a. Menentukan profil dan material setiap komponen rangka.
- b. Menentukan konstruksi, dimensi dan pembebanan pada rangka yang sesuai dengan regulasi *shell*.
- c. Mengetahui *von mises*, *displacement*, dan *safety factor* rangka.

3.4 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Analisa *Software Inventor*

3.5 Daftar kehendak (spesifikasi)

Spesifikasi yaitu persyaratan kemampuan dan sifat-sifat yang harus dimiliki oleh bahan pada suatu alat yang ingin dirancang. Persyaratan dalam spesifikasi dibagi dalam dua kategori. Yaitu:

a. Keharusan (*demands*), D

Demands adalah syarat yang harus dimiliki dalam kondisi apapun, supaya rancangan dapat terwujud. Jika syarat ini tidak terpenuhi maka rancangan akan gagal.

b. Keinginan (*wishes*), W

Wishes adalah syarat yang dapat dipenuhi jika memungkinkan. Jika syarat ini tidak terpenuhi maka tidak selalu bermasalah dan mungkin hanya mempengaruhi sedikit sekali dalam rancangan alat.

Tabel 3.1 Daftar spesifikasi perencanaan

DAFTAR SPESIFIKASI PERENCANAAN RANGKA <i>PROTOTYPE</i> RODA TIGA	
<i>Demands or Wishes</i>	Persyaratan
	Geometri
	Dimensi Rangka Prototype Roda 3
D	Tinggi Maksimal 1000 mm
D	<i>Track Width</i> Minimal 500 mm
D	<i>Wheelbase</i> Minimal 1000 mm
D	Lebar Maksimal 1300 mm

W	Berat ± 8 kg
	Gaya
D	Beban Maksimal yang diterima Roll Bar seberat 70 kg, sedangkan gravitasinya $9,8 \text{ m/s}^2$ Gaya yang terjadi adalah $F = m \times g = 70 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$ $= 686 \text{ N} \approx 700 \text{ N}$
D	Beban yang diterima pada tempat pengendara seberat 50 kg, sedangkan gravitasinya $9,8 \text{ m/s}^2$ Gaya yang terjadi adalah $F = m \times g = 50 \times 9,8 = 490 \approx 500$
D	N Beban yang diterima pada tempat mesin seberat 20 kg, sedangkan gravitasinya $9,8 \text{ m/s}^2$ Gaya yang terjadi adalah $F = m \times g = 20 \times 9,8 = 196 \approx 200$ N
	Komponen
D	Mampu menahan beban pengendara, <i>roll bar</i> , dan mesin
D	Mampu menahan gaya yang terjadi

3.6 Varian Model

Pada penelitian ini digunakan 3 variasi ketebalan dan ukuran hollow yang berbeda. Hal ini bertujuan untuk mencari profil hollow yang paling kuat dan ringan. Material yang digunakan di 3 variasi adalah aluminium.

Tabel 3.2 Varian Model

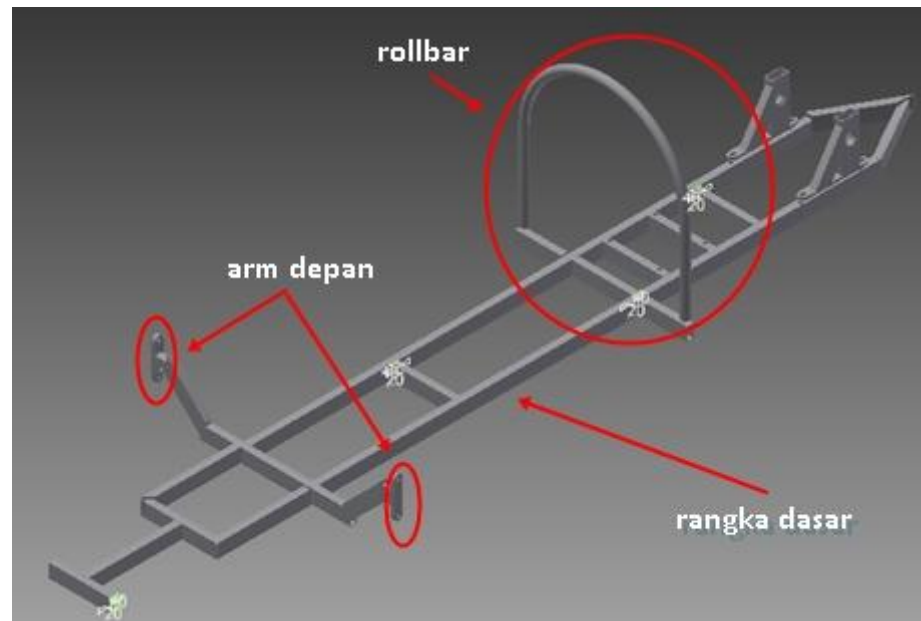
Variasi	Rangka dasar	<i>Roll bar</i>	Arm depan
1	Hollow 40x20 mm tebal 2 mm	Pipa hollow D 26,9 mm tebal 2 mm	Plat 120x20 mm tebal 10 mm
2	Hollow 40x20 mm tebal 3 mm	Pipa hollow D 26,9 mm tebal 3 mm	Plat 120x20 mm tebal 10 mm
3	Hollow 50x30mm tebal 2 mm	Pipa hollow D 26,9 mm tebal 2 mm	Plat 120x30 mm tebal 10 mm

3.7 Alasan Pemilihan Varian Konsep

Pemilihan bahan untuk rangka menggunakan aluminium karena mudah didapatkan, harganya terjangkau, mudah dilas, massa jenis kecil namun dapat menahan beban yang tinggi.

3.8 Perancangan wujud

Desain yang dibuat mengacu pada standar shell eco marathon asia dengan menggunakan tiga buah roda yaitu dua buah roda depan, dan satu buah roda dibelakang. Rangka ini juga menggunakan roll bar untuk melindungi pengemudi dari bahaya mobil terbalik. Rangka *prototype* ini juga menggunakan varian dari beberapa hollow rangka.



Gambar 3.2 Rancangan rangka tiga dimensi

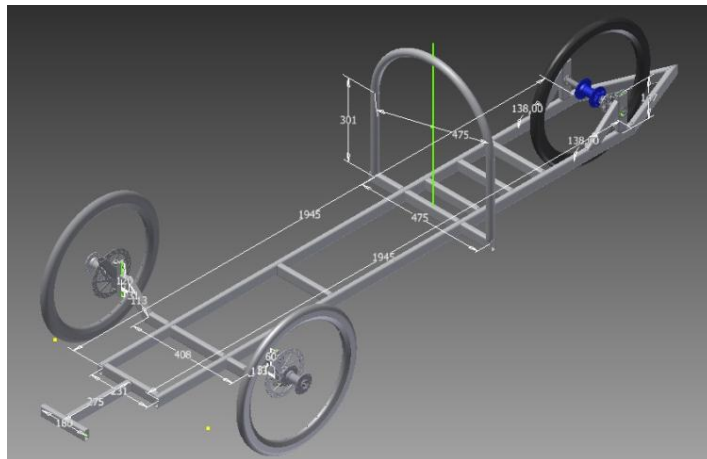
BAB IV

HASIL PERANCANGAN

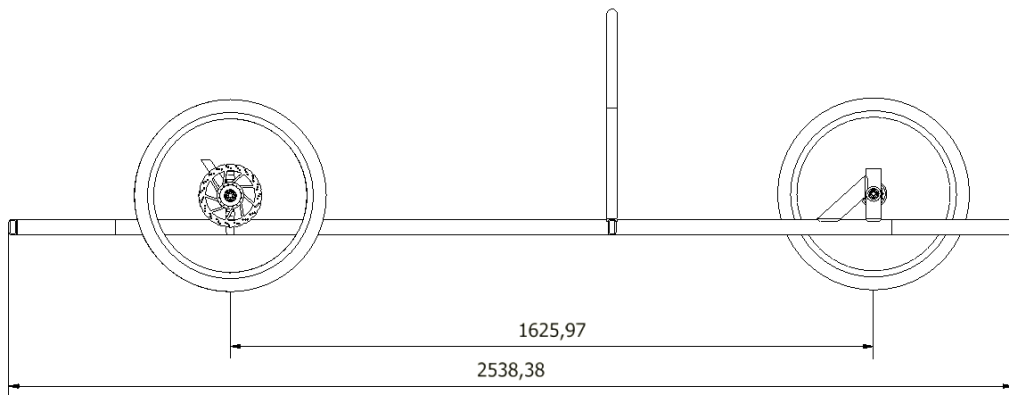
4.1 Model Desain

Model rangka digambar pada aplikasi *autodesk inventor 2013*, model rangka dibentuk dalam 3 dimensi, dengan material dan dimensi yang bervariasi, lalu diuji dengan *stress analysis* agar mengetahui kekuatan dari rangka.

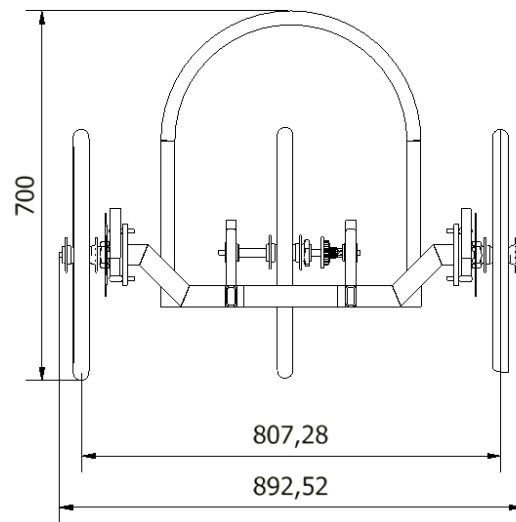
a. Rangka



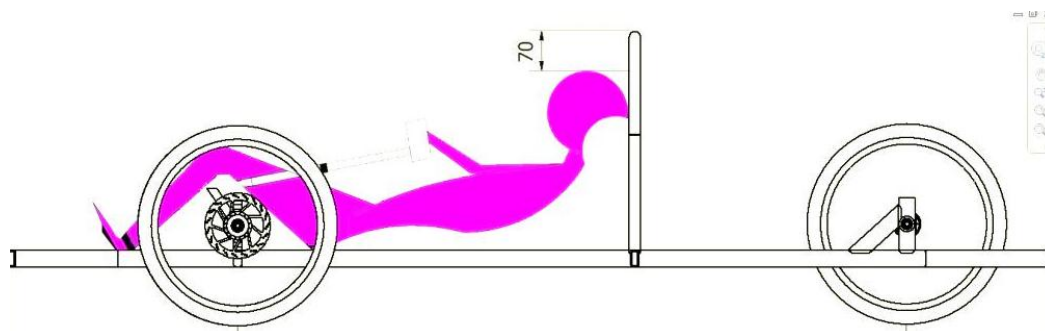
Gambar 4.1 rangka yang dirangkai dengan roda



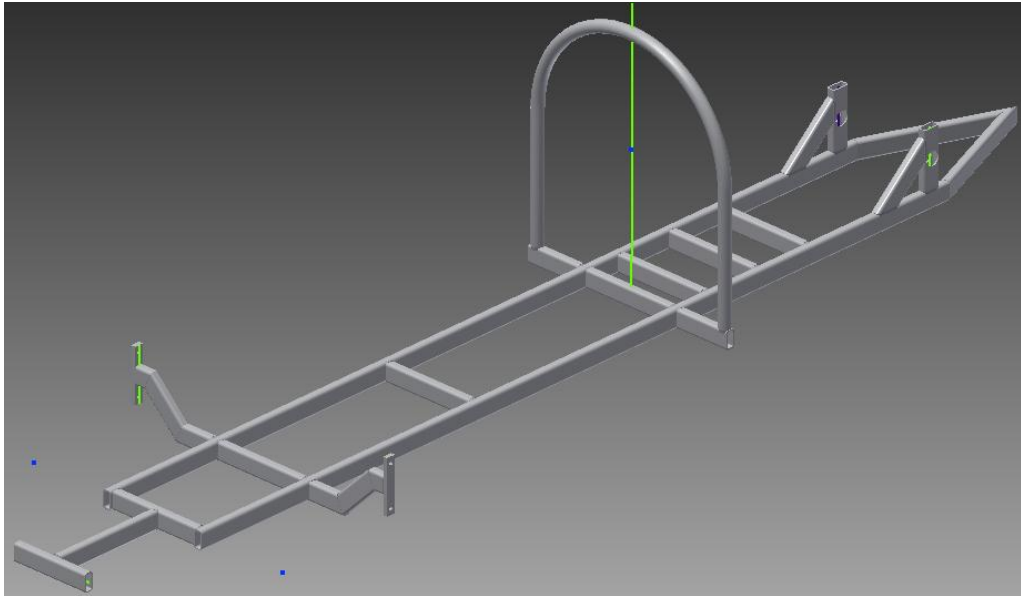
Gambar 4.2 pandangan samping rangka yang telah dipasang roda



Gambar 4.3 pandangan depan rangka yang telah dipasang roda



Gambar 4.4 jarak antara helm dengan roll bar



Gambar 4.5 Rangka *Prototype*

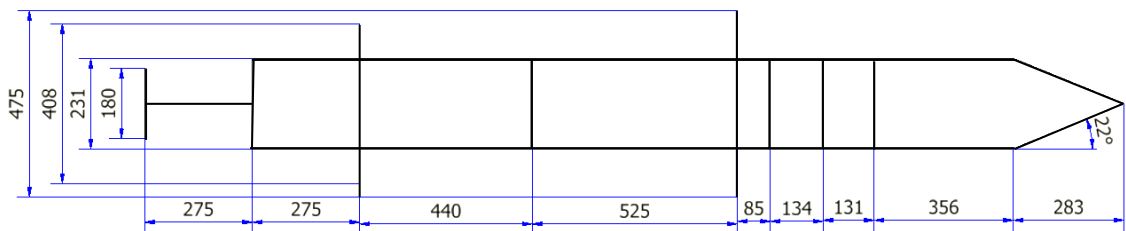
Rangka atau juga yang disebut dengan *frame* ini adalah pondasi dari suatu kendaraan yang berfungsi sebagai penopang kendaraan. Rangka ini harus dapat menahan beban dari pengendara, mesin dan beban dari luar kendaraan. Kegunaan rangka ini selain sebagai penopang kendaraan adalah :

1. Sebagai pelindung pengendara dari ancaman tabrakan atau tergulingnya kendaraan.
2. Sebagai *mounting* atau penempatan bagian-bagian penting kendaraan, seperti roda, *steer*, dan mesin.

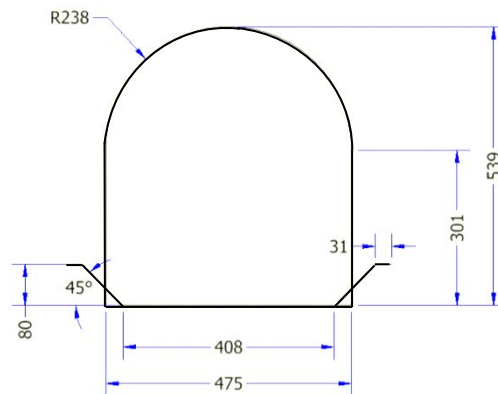
Desain rangka *prototype* ini dibuat bedasar standar yang diberikan dari *shell* dengan menambahkan inovasi dan melakukan modifikasi sehingga memberikan kelebihan dibanding kendaraan yang sudah ada. Rancangan *prototype* ini memadukan konsep kendaraan aerodinamis yang futuristik . Rangka bagian depan didesain untuk menopang 1 orang pengendara dengan memperhatikan kenyamanan berkendara seperti mobil balap.

Bagian rangka belakang disesuaikan dengan mesin dan transmisi yang ada, karena rangka bagian belakang sebagai penempatan mesin dan komponen penunjang lainnya. Faktor keselamatannya didukung dengan adanya *roll bar* dibagian tengah kendaraan. Jika kendaraan terbalik, pengendara dan komponen-komponen lainnya masih bisa diselamatkan.

Berikut bentuk 2D rangka utama



Gambar 4.6 *frame* utama *prototype* pandangan atas



Gambar 4.7 *frame* utama *prototype* pandangan depan

4.2 Bahan dan Material

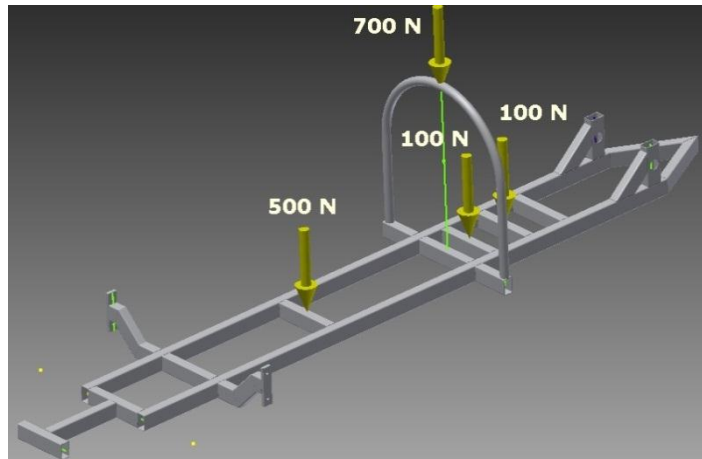
Material *frame* yang digunakan adalah aluminium 6061.

Tabel data 4.1 Data properti material aluminium 6061

Data Material	
<i>Mass Density</i>	2,71 g/cm ³
<i>Yield Strength</i>	275 MPa
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	310 MPa
<i>Young's Modulus</i>	68,9 GPa

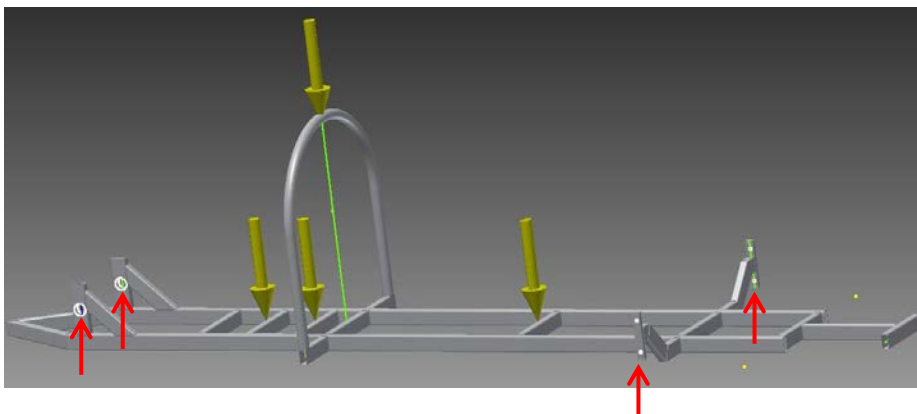
4.3 Kondisi Batas

- a. Penerapan gaya-gaya yang dialami sepanjang rangka. Berikut ini gambar penerapan gaya yang dialami rangka



Gambar 4.8 Pembebanan pada rangka

- b. Penerapan pin atau tumpuan pada rangka, penentuan pin pada lokasi tersebut merupakan tempat roda depan dan roda belakang.



Gambar 4.9 Penentuan tumpuan pada rangka

4.4 Persamaan (*Governing Equation*)

Salah satu masalah yang paling menarik dalam perencanaan adalah menghubungkan kekuatan dari suatu elemen mesin dengan tegangan dalam yang dihasilkan dari pembebanan luar. Biasanya kita hanya memiliki

satu harga untuk kekuatan, seperti kekuatan batas (*yield strength*), tetapi kita bisa memiliki beberapa komponen tegangan. Berikut ini rumus persamaan untuk tegangan utama :

$$\sigma = E \varepsilon$$

Dimana :

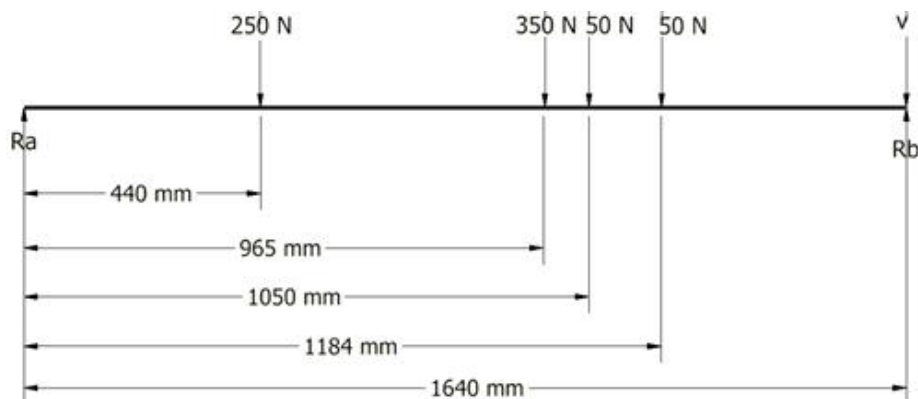
σ = Tegangan

E = Modulus Elastisitas

ε = Regangan

4.5 Perhitungan Teori .

Untuk perhitungan teori pada pembebanan yang diterima rangka *prototype* maka analisis tegangan dan *safety factor* adalah sebagai berikut :



Gambar 4.10 Diagram benda bebas rangka

Jarak roda depan ke tempat duduk pengemudi = 440 mm

Jarak roda depan ke *roll bar* = 965 mm

Jarak roda depan ke penampang mesin bagian depan = 1050 mm

Jarak roda depan ke penampang mesin bagian belakang = 1640 mm

Jarak roda depan ke roda belakang = 1640 mm

Beban pengemudi 500 N

Beban yang diterima *roll bar* 700 N

Beban mesin bagian depan 100 N

Beban mesin bagian belakang 100 N

a. Distribusi beban statis

$$\sum f_y = 0$$

$$0 = R_a + R_b - 250 - 350 - 50 - 50$$

$$R_a + R_b = 700 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$(250 \times 440) + (350 \times 965) + (50 \times 1050) + (50 \times 1184) + (R_b \times 1640)$$

$$R_b = 341,1280 \text{ N}$$

$$R_a + R_b = 700$$

$$R_a = 700 - 341,1280 \text{ N}$$

$$R_a = 358,87 \text{ N}$$

1. Potongan 1 dari roda depan ke tempat duduk pengemudi.

$$0 \leq x \leq 440$$



Gambar 4.11 diagram benda bebas potongan 1

$$\sum f_y = 0$$

$$R_a - v = 0$$

$$R_a = v$$

$$v = 358,87 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$v \cdot x - m = 0$$

$$m = v \cdot x$$

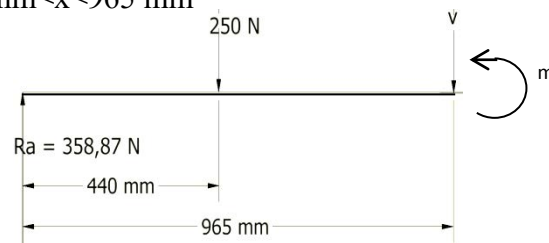
$$358,87 \cdot x$$

$$M \rightarrow x_0 = 0 \text{ N mm}$$

$$M \rightarrow x_{440} = 157902,8 \text{ N mm}$$

2. Potongan 2 dari roda depan ke *roll bar*

$$440 \text{ mm} < x < 965 \text{ mm}$$



Gambar 4.12 Diagram benda bebas potongan 2

$$\sum f_y = 0$$

$$358,87 - 250 \text{ N} - v = 0$$

$$v = 108,87 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$(250 \times 440) + v \cdot x - M = 0$$

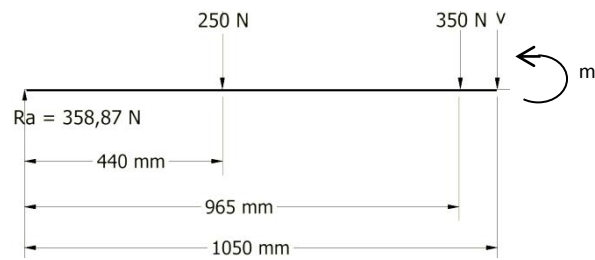
$$M = 110.000 + 408,87 \cdot x$$

$$M \rightarrow x_{440} = 157902,8 \text{ N mm}$$

$$M \rightarrow x_{956} = 215059,55 \text{ N mm}$$

3. Potongan 3 dari roda depan ke penampang mesin bagian depan

$$965 \text{ mm} \leq x \leq 1050 \text{ mm}$$



Gambar 4.13 Diagram benda bebas potongan 3

$$\sum F_y = 0$$

$$358,87 - 250 - 350 - v = 0$$

$$v = -241,13 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$(250 \times 440) + (350 \times 965) + v \cdot x - m = 0$$

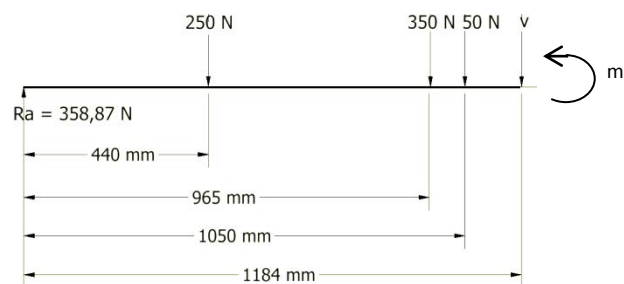
$$m = 47750 - 241,13 \cdot x$$

$$M \rightarrow x 956 = 21509,55 \text{ N mm}$$

$$M \rightarrow x 1050 = 194563,5 \text{ N mm}$$

4. Potongan 4 dari roda depan ke penampang mesin bagian belakang.

$$1050 \text{ mm} \leq x \leq 1184 \text{ mm}$$



Gambar 4.14 Diagram benda bebas potongan 4

$$\sum F_y = 0$$

$$358,87 - 250 - 350 - 50 - v = 0$$

$$v = -291,13 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$(250 \times 440) + (350 \times 965) + (50 \times 1050) + v \cdot x - m = 0$$

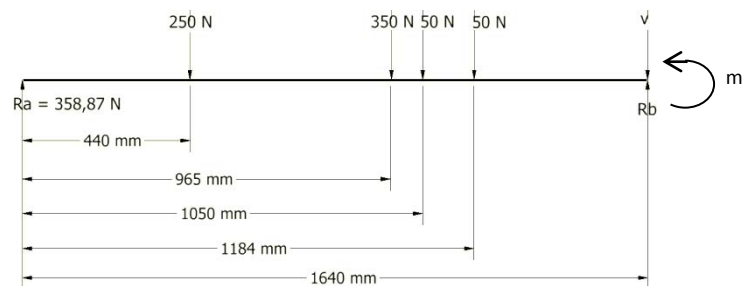
$$m = 50025 - 291,13 \cdot x$$

$$m \rightarrow x1050 = 194563,5 \text{ N mm}$$

$$m \rightarrow x1184 = 155552,08 \text{ N mm}$$

5. Potongan 5 dari roda depan ke roda belakang

$$1184 \text{ mm} \leq x \leq 1640 \text{ mm}$$



Gambar 4.15 Diagram benda bebas potongan 5

$$\sum F_y = 0$$

$$358,87 - 250 - 350 - 50 - 50 - v = 0$$

$$v = -341,13 \text{ N}$$

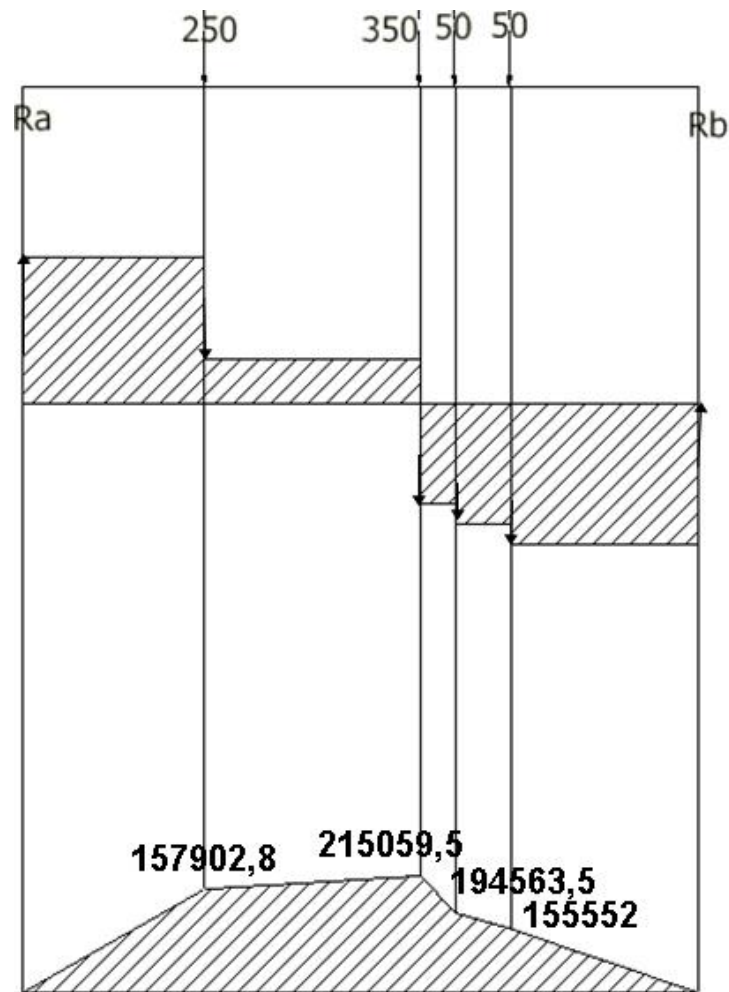
$$\sum M_a = 0$$

$$(250 \times 440) + (350 \times 965) + (50 \times 1050) + (50 \times 1184) + v \cdot x - m = 0$$

$$m = 559450 - 341,13 \cdot x$$

$$m \rightarrow x1184 = 155552,08 \text{ N mm}$$

$$m \rightarrow x1640 = 0 \text{ mm}$$



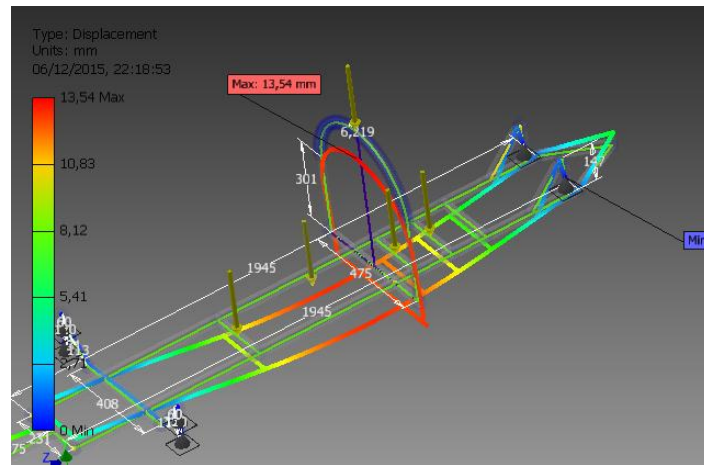
Gambar 4.16 Diagram Bidang Gaya Geser dan Bidang Momen

4.6 Hasil analisa Simulasi gaya, tegangan, dan faktor keamanan dengan *Autodesk Inventor*

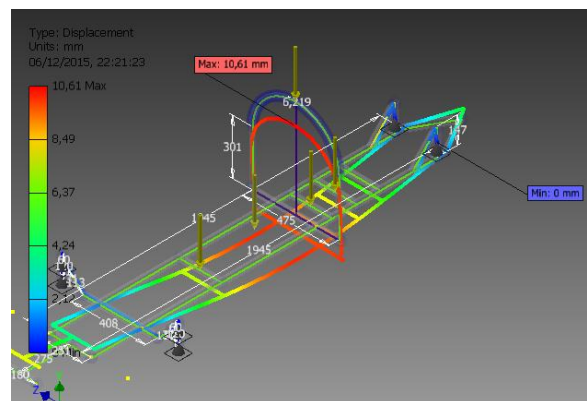
Setelah proses perhitungan dengan *software autodesk inventor* telah selesai sampai akhir, maka hasil analisis dan simulasi dapat diketahui yaitu nilai-nilai maksimum dan minimum yang dapat dilihat secara langsung pada tampilan *autodesk inventor*, sedangkan untuk hasil yang lebih detail dapat dilihat dalam *stress analysis report* yang telah penulis susun sendiri. Dari hasil analisa statik dengan *software autodesk inventor* dapat diketahui

tegangan maksimal dan minimal yang terjadi pada struktur obyek yang dianalisa tersebut.

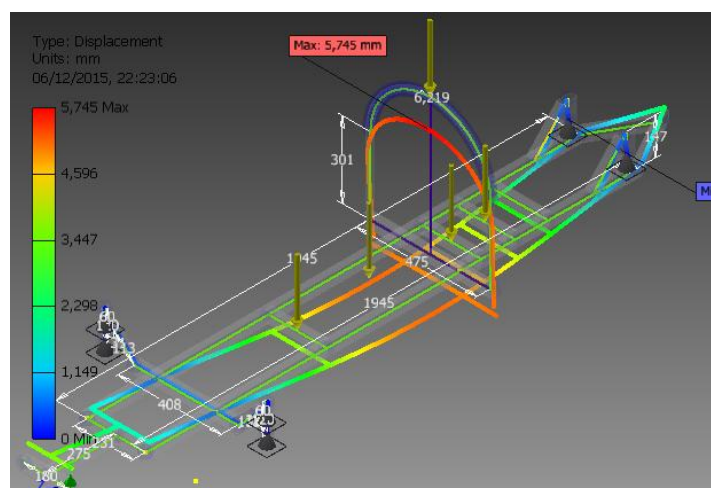
Analisa simulasi gaya, tegangan, dan faktor keamanan rangka dapat dihasilkan pada *Software Autodesk Inventor* dengan cara memilih *toolbar stress analysis*. Setelah kita pilih *toolbar stress*, lalu masukan data spesifikasi material bahan sesuai dengan perencanaan sebelumnya. Setelah material bahan dipilih, lalu kita pilih *analysis static* dan *mess view*. Diasumsikan rangka *prototype* mendapatkan beban 500 N yang diasumsikan sebagai berat pengendara, 700N beban pada *roll bar*, dan 200 N beban yang dianggap sebagai mesin. Pada *Autodesk Inventor* dimasukan data-data *frame* sesuai dengan kondisi yang mendekati sebenarnya sehingga dapat dilakukan analisis statik pada struktur tersebut. Setelah sampai pada langkah ini, dapat diketahui apakah ada kesalahan pada langkah-langkah analisis. Jika ada kesalahan, maka perlu dilakukan editing sampai benar. Dalam analisis ini struktur *frame* dapat dilihat pada gambar dibawah untuk mengetahui secara keseluruhan gaya, tegangan, dan faktor keamanannya.



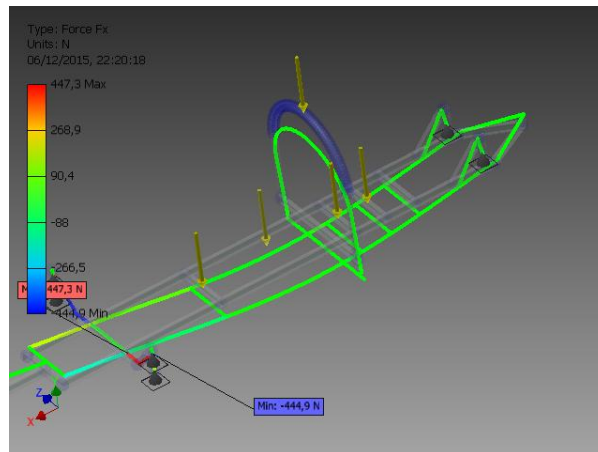
Gambar 4.17 Rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm) yang sudah diberi beban



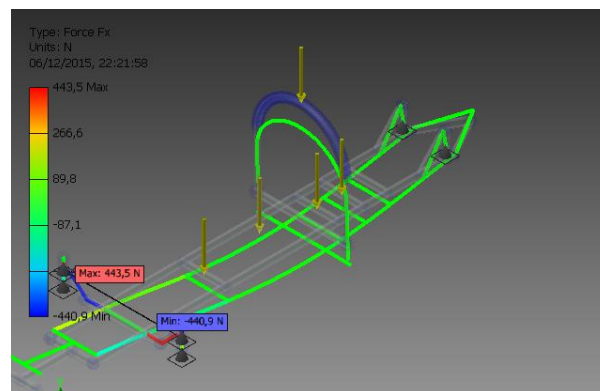
Gambar 4.18 Rangka variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm) yang sudah diberi beban



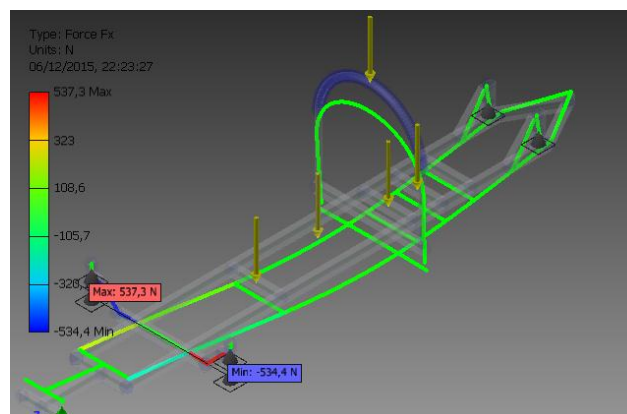
Gambar 4.19 Rangka variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm) yang sudah diberi beban



Gambar 4.20 Tegangan yang terjadi pada variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)



Gambar 4.21 Tegangan yang terjadi pada variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm)



Gambar 4.22 Tegangan yang terjadi pada variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)

Gambar 4.20, 4.21, 4.22 menunjukkan tegangan yang terjadi pada rangka *prototype*, terlihat dari warna hijau pada gambar. Sehingga tidak ada masalah dalam kekuatan benda terhadap tegangan yang terjadi.

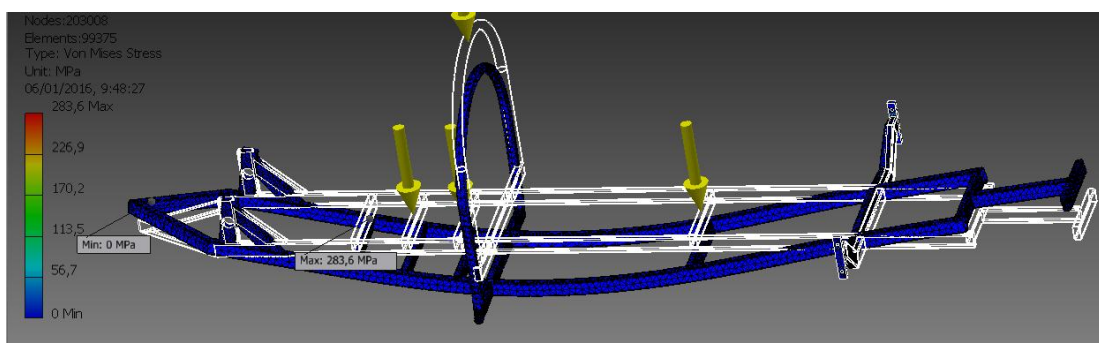
a. Simulasi pada rangka *Prototype* di *stress analysis Autodesk Inventor*

Setelah diketahui analisa yang terjadi dengan menggunakan *frame analysis*. Kita juga menganalisanya dengan menggunakan *stress analysis*.

1. Hasil analisa dari variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)

Tabel 4.2 Hasil analisa dari variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)

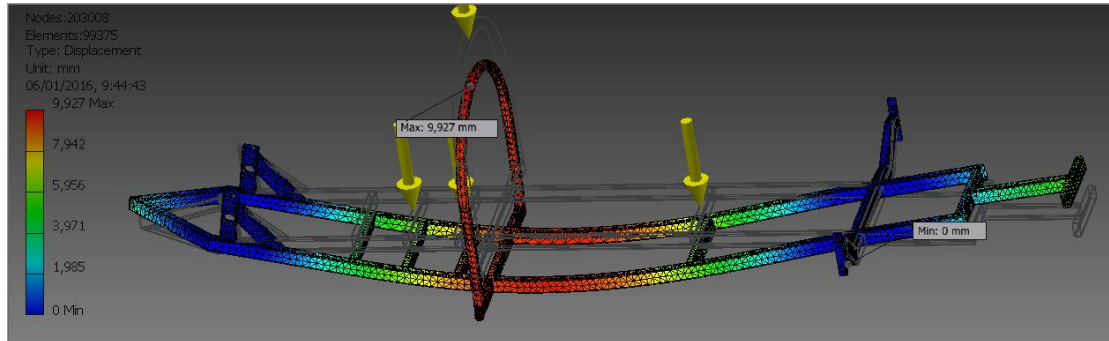
Nama	Minimum	Maksimum
<i>Volume</i>	1853660 mm ³	
<i>Mass</i>	5,02342 kg	
<i>Von mises stress</i>	0,00798685 MPa	283,643 MPa
<i>Displacement</i>	0,0000896931mm	9,92711mm
<i>Safety factor</i>	0,969527 ul	15 ul



Gambar 4.23 Tegangan yang terjadi pada rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)

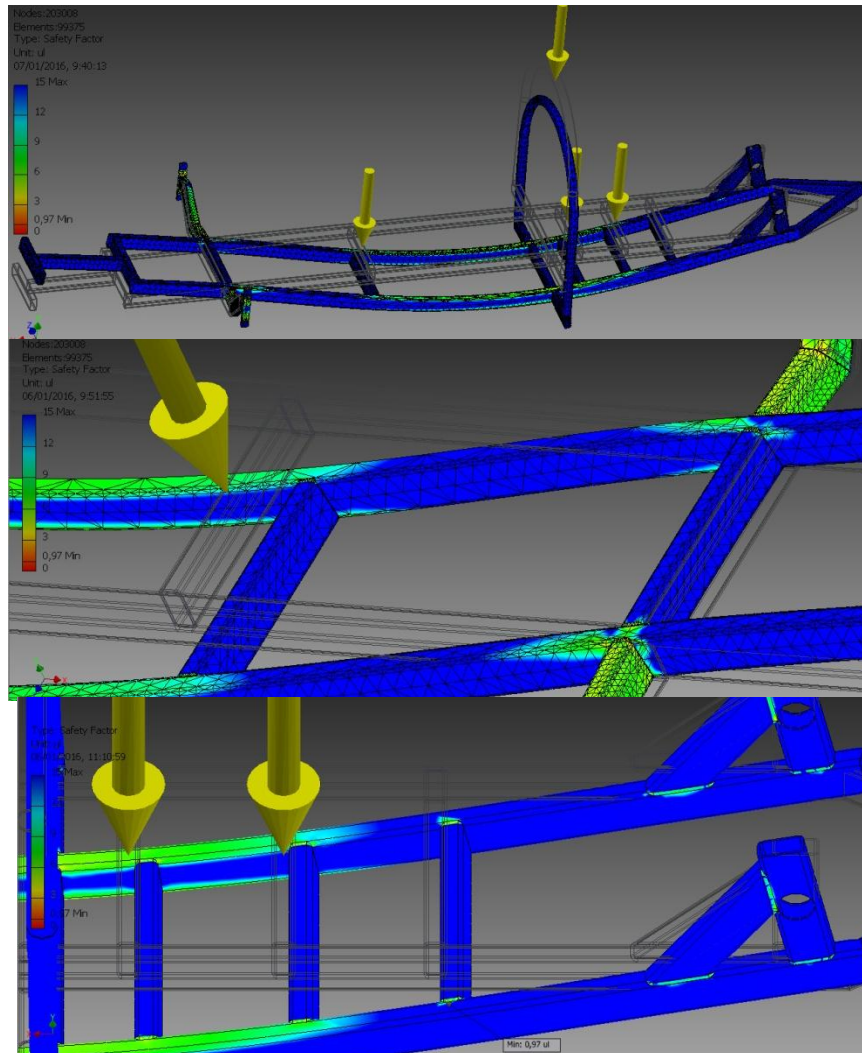
Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa rangka tersebut mengalami tegangan maksimal terbesar 283,6 MPa yang berada pada daerah

yang ditunjukkan pada gambar analisis diatas. Sedangkan tegangan minimalnya adalah sebesar 56,7 Mpa.



Gambar 4.24 *Displacement* yang terjadi pada rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa besarnya perpindahan translasi maksimal pada deformasi gambar tersebut adalah 9,927 mm. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan bentuk maksimal yang terjadi pada rangka adalah 9,927 mm dari bentuk awalnya yang ditunjukkan pada daerah yang berwarna merah.



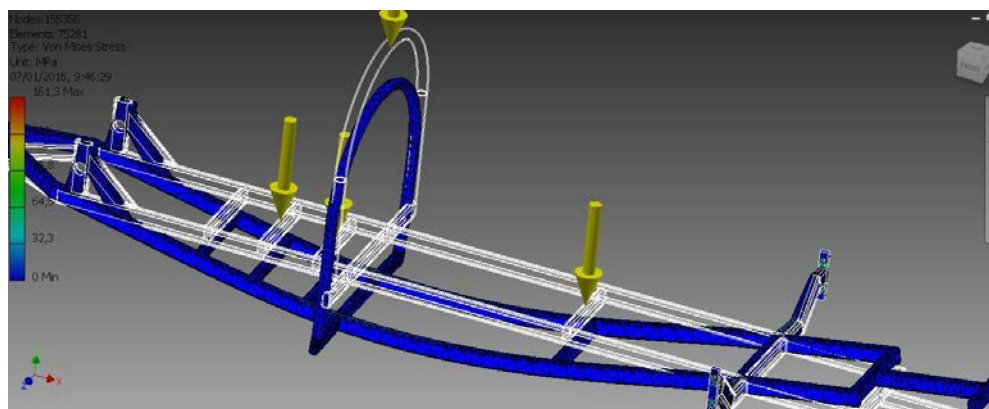
Gambar 4.25 *safety factor* rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)

Dalam proses analisa tekanan yang terjadi pada rangka, dihasilkan *factor of safety* (FS) minimum adalah 0,97 dan maksimum adalah 15. Ini menunjukkan kekuatan material < tegangan yang terjadi. Sehingga bisa dinyatakan elemen mesin tidak akan aman bila difungsikan.

2. Hasil dari variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm)

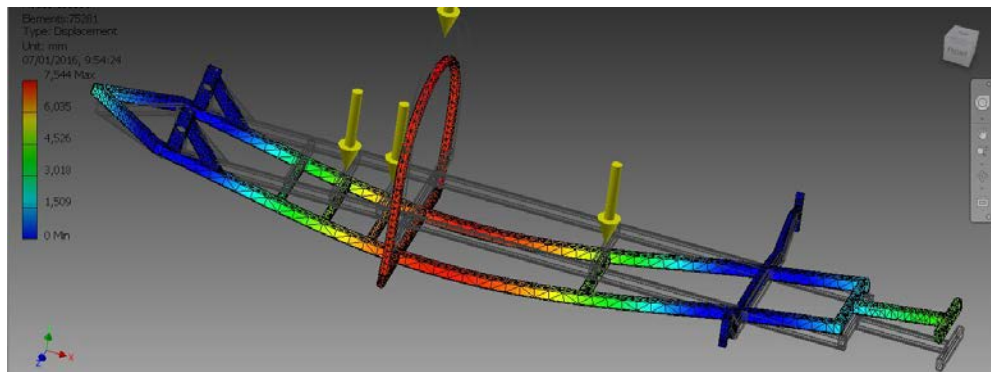
Tabel 4.3 Hasil analisa dari variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm)

Nama	Minimum	Maksimum
<i>Volume</i>	2599580 mm ³	
<i>Mass</i>	7,04486 kg	
<i>Von mises stress</i>	0,00311514 MPa	161,252 MPa
<i>Displacement</i>	0,000104721 mm	7,54399 mm
<i>Safety factor</i>	1,70541 ul	15 ul



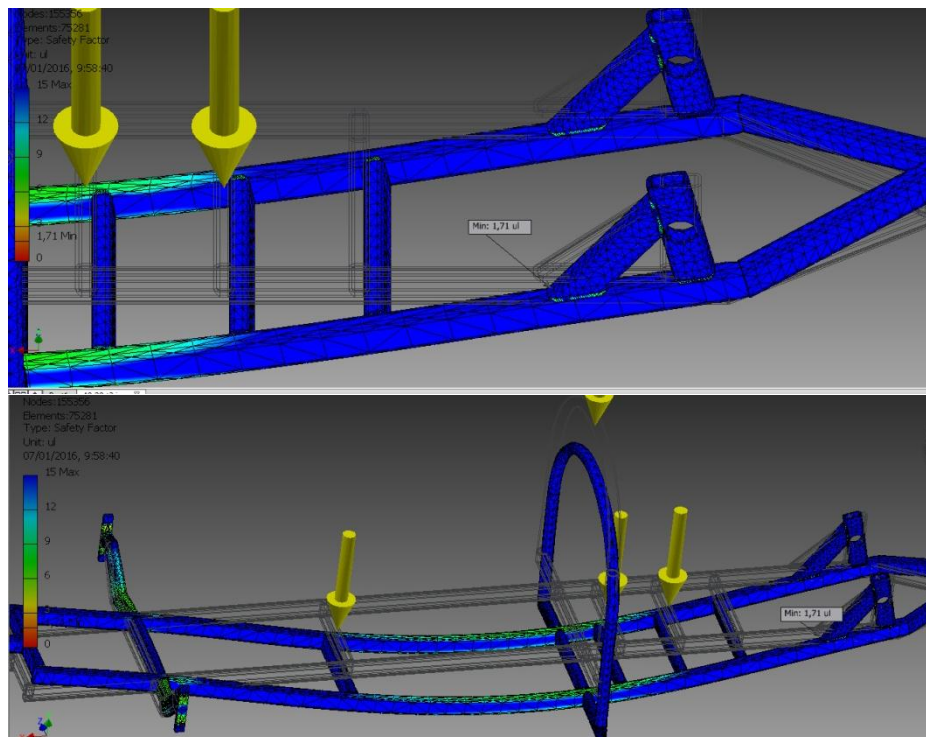
Gambar 4.26 Tegangan yang terjadi pada rangka variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm)

Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa rangka tersebut mengalami tegangan maksimal terbesar 161,3 MPa yang berada pada daerah yang ditunjukkan pada gambar analisis diatas. Sedangkan tegangan minimalnya adalah sebesar 32,3 Mpa.



Gambar 4.27 *Displacement* yang terjadi pada rangka variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm)

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa besarnya perpindahan translasi maksimal pada deformasi gambar tersebut adalah 7,544 mm. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan bentuk maksimal yang terjadi pada rangka adalah 7,544 mm dari bentuk awalnya yang ditunjukkan pada daerah yang berwarna merah.



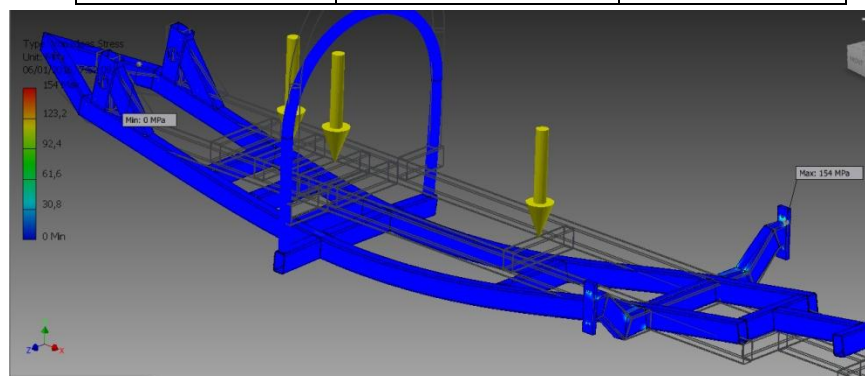
Gambar 4.28 *safety factor* rangka variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm)

Dalam proses analisa tekanan yang terjadi pada rangka, dihasilkan *factor of safety* (FS) minimum adalah 1,71, maksimum adalah 15. Ini menunjukkan kekuatan material > tegangan yang terjadi. Sehingga bisa dinyatakan elemen mesin akan aman bila difungsikan dan nilai *safety factor* variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm) ini lebih tinggi dari variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm).

3. Hasil dari variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)

Tabel 4.4 Hasil analisa dari variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)

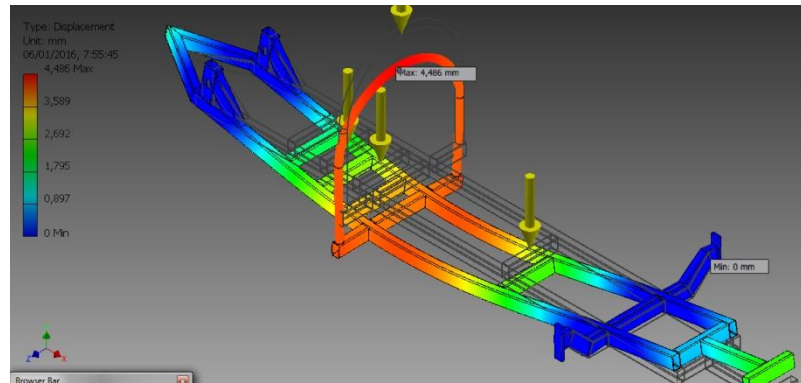
Nama	Minimum	Maksimum
<i>Volume</i>	2437450 mm ³	
<i>Mass</i>	6,6055 kg	
<i>Von mises stress</i>	0,00311093 MPa	153,977 MPa
<i>Displacement</i>	0,0000118675 mm	4,48648 mm
<i>Safety factor</i>	1,78598 ul	15 ul



Gambar 4.29 Tegangan yang terjadi pada rangka variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)

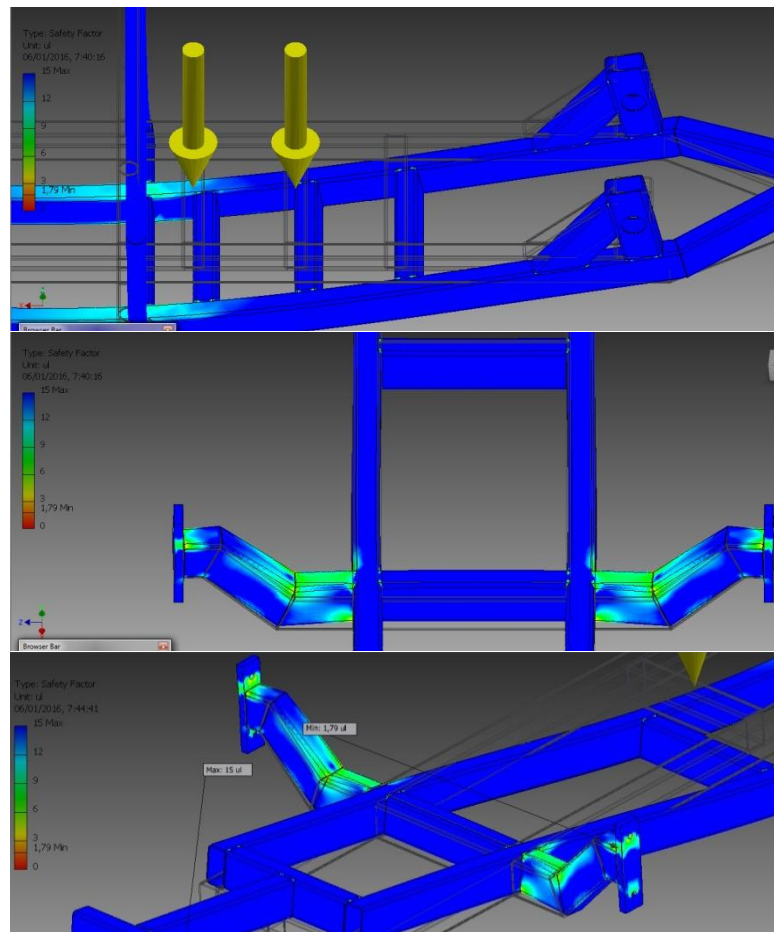
Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa rangka tersebut mengalami tegangan maksimal terbesar 154 MPa yang berada pada daerah yang

ditunjukkan pada gambar analisis diatas. Sedangkan tegangan minimalnya adalah sebesar 30,8 Mpa.



Gambar 4.30 *Displacement* yang terjadi pada rangka variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa besarnya perpindahan translasi maksimal pada deformasi gambar tersebut adalah 4,486 mm. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan bentuk maksimal yang terjadi pada rangka adalah 4,486 mm dari bentuk awalnya yang ditunjukkan pada daerah yang berwarna merah.



Gambar 4.31 *safety factor* rangka variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)

Dalam proses analisa gaya yang terjadi pada rangka, dihasilkan *factor of safety* (FS) minimum adalah 1,79 maksimum adalah 15. Ini menunjukkan kekuatan material > tegangan yang terjadi. Sehingga bisa dinyatakan elemen mesin akan aman bila difungsikan. Dari ketiga gambar diatas juga menunjukkan titik kritis berada disambungan antar rangka, dan titik paling kritis berada disambungan rangka depan. Nilai *safety factor* variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm) ini lebih tinggi dari variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm) dan variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm).

Tabel 4.5 Hasil analisa setiap variasi

	Variasi 1		Variasi 2		Variasi 3	
	40 x 20 tebal 2 mm		40 x 20 tebal 3 mm		50 x 30 tebal 2 mm	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
<i>Volume</i>	1853660 mm ³		2599580 mm ³		2437450 mm ³	
<i>Mass</i>	5,02342 kg		7,04486 kg		6,6055 kg	
<i>Von Mises Stress</i>	0,00798685 MPa	283,643 MPa	0,00311514 MPa	161,252 MPa	0,00311093 MPa	153,977 MPa
<i>Displacement</i>	0,0000896931mm	9,92711mm	0,000104721 mm	7,54399 mm	0,0000118675 mm	4,48648 mm
<i>Safety factor</i>	0,969527 ul	15 ul	1,70541 ul	15 ul	1,78598 ul	15 ul
<i>Contact Pressure</i>	0 MPa	258,92 MPa	0 MPa	172,645 MPa	0 MPa	214,897 MPa

Dari hasil penghitungan dan analisa dengan perbandingan nilai *Mass*, *von misses stress*, *safety factor* yang terjadi pada rangka, maka didapatkan kesimpulan bahwa rangka dengan menggunakan *hollow* 50 x 30 mm tebal 2 mm adalah yang paling aman, dan memiliki bobot yang cukup ringan.

b. Perbandingan desain rangka dengan regulasi

Perbandingan ini untuk melihat kesesuaian desain dengan regulasi yang telah ditetapkan oleh *shell*. Rangka yang dibandingkan adalah rangka *hollow* 50 x 30 mm tebal 2 mm, karena rangka tersebut adalah rangka yang paling kuat dan cukup ringan dibandingkan dengan variasi rangka yang lain sesuai dengan simulasi *inventor*.

Tabel 4.6 Hasil perbandingan antara desain rangka dengan regulasi *shell*

No	Regulasi		Desain
1	Jumlah roda	Tiga buah roda, dua buah roda didepan, satu buah dibelakang	Tiga buah roda, dua buah roda didepan, satu buah dibelakang
2	Ketinggian	Maksimal 1000 mm.	700 mm
3	Jarak antara roda depan (<i>Track width</i>)	Minimal 500 mm	807,28 mm
4	Jarak sumbu roda depan dengan belakang (<i>wheelbase</i>)	Minimal 1000 mm.	1625,97 mm
5	Lebar keseluruhan kendaraan	Maksimal 1300 mm.	892,52 mm
6	Panjang keseluruhan kendaraan	Maksimal 3500 mm.	2538,28 mm
7	<i>Chassis/Monocoque</i>	kaku dan kuat	Rangka 50x30 mm tebal 2 mm memiliki nilai memiliki Safety factor 1,78 dan nilai <i>displacement</i> maksimum 4,48648 mm
8	<i>Roll bar</i>	Dapat menahan beban statik sebesar 700 N (~70 kg) pada arah tegak lurus	Rangka 50x30 mm tebal 2 mm memiliki <i>Safety factor</i> 1,78 saat pengujian <i>roll bar</i> 700 N
9	Jenis <i>Roll bar</i>	<i>Roll bar</i> jenis pipa, harus dibuat dari logam.	<i>Roll bar</i> menggunakan pipa alumunium diameter 26,9 mm tebal 2 mm
10	Jarak <i>Roll bar</i> ke helm	Minimal 50 mm	70 mm

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dengan menggunakan perangkat lunak dalam menganalisa, khususnya *software Autodesk Inventor* yang berbasis FEM, mempermudah dan menghemat waktu dalam menganalisa permasalahan struktur elemen. Berdasarkan penelitian dan analisis yang penulis susun dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Desain rangka yang sesuai dengan kendaraan jenis *prototype* yang paling optimal adalah rangka variasi 3 yaitu rangka dengan hollow 50 x 30 tebal 2 mm.
- b. Rangka hollow 50 x 30 mm tebal 2 mm adalah rangka yang sesuai dengan regulasi dengan spesifikasi memiliki tiga buah roda, dua buah roda didepan, satu buah dibelakang, tinggi kendaraan 700 mm, jarak antara roda depan (*track width*) 807,28 mm, jarak sumbu roda depan dengan belakang (*wheelbase*) 1625,97 mm, Lebar kendaraan 892,52 mm, panjang kendaraan 2538,28 mm, jarak antara *roll bar* dengan helm 70 mm, *roll bar* melebihi bahu pengemudi ketika pengemudi duduk pada posisi mengemudi normal, dan rangka dapat menahan beban statik pada *roll bar* sebesar 700 N (~70 kg) pada arah tegak lurus karena memiliki *Safety factor* 1,78 saat pengujian *roll bar*.

- c. Rangka yang paling ringan namun kuat adalah jenis rangka dengan hollow 50x30 tebal 2 mm karena memiliki safety factor 1,78 dan berat 6,6 kg.

5.2 Saran

Untuk lebih mengembangkan penelitian ini, maka penulis memberikan saran agar dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi bentuk, tebal dan material rangka yang lebih banyak lagi untuk mendapatkan rangka yang aman dan ringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bathe Klaus-Jurgen. *Finite Element Procedures*. USA: Prentice Hall International Editions Inc, 1996.
- Costin, Michael and Phipps, David. *Racing and Sports Car Chassis Design*. London: B. T. Batsford Ltd, 1966.
- Fadila, Ary. *Analisis Simulasi Struktur Chassis Mobil Mesin Usu Berbahan Besi Struktur Terhadap Beban Statik Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Ansys 14.5*. Medan: USU, 2013.
- Francis, Vishal, Dkk. *Structural Analysis of Ladder Chassis Frame for Jeep Using Ansys*. India: International Journal of Modern Engineering Research, 2014.
- Hidayat, Nur dkk. *Autodesk Inventor Mastering 3D Mechanical Design*. Bandung: Informatika, 2011.
- Kamajaya, *Cerdas Belajar Fisika*. Jakarta: PT. Grafindo Media Pratama, 2007.
- Liu, Yijun. *Lecture Notes: Introduction to the Finite Element Method*. Cincinnati, 2003.
- Mott, Robert L. *Machine Elements In Mechanical Design fourth edition*. Ohio : Upper Saddle River, 2004
- Priyarsono. Dkk. *Perkembangan Konsumsi Dan Penyediaan Energi Dalam Perekonomian Indonesia*. Bogor, 2010.
- Sadam, Ahmad, *Desain Sliding Bridge Sebagai Solusi Peningkatan Pelayanan Transjakarta*. Jakarta: UNJ, 2015.
- Sato, G. Takeshi, N. Sugiarto Hartanto. *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2003.
- Shell Eco-Marathon 2016 Official Rules. Chapter I*, 2015.
- Susetyo, Yerri. *Dasar Dasar Metode Elemen Hingga*. Yogyakarta: Andi Publiser, 2004.
- Syaiful A. B Alchazin. *Modul Training Autodesk Inventor 2012*. Bogor: LAPAN, 2011.

Tim Dosen. *Tegangan Normal Dan Tegangan Geser*. Bogor: IPB, 2010.

Widodo, Slamet. *Dasar-Dasar Analisis Dalam Ilmu Mekanika Bahan*. Jogjakarta: UNY, 2009.

Eulistyetio, <http://elib.unikom.ac.id/files/disk1/306/jbptunikompp-gdl-eulisyetio-15298-2-babii.pdf> diakses pada tanggal 26 Januari 2016, pukul 13.28 WIB

Shell Indonesia, <http://www.shell.co.id/id/aboutshell/media-centre/news-and-media-releases/2013/sembilan-tim-mahasiswa-menangkan-tantangan-merancang-kendaraan-masa-depan.html> diakses pada tanggal 15 Agustus 2015, pukul 10.31 WIB.

Technical F1, <http://www.formula1-dictionary.net/chassis.html> diakses pada tanggal 26 Januari 2016, pukul 14.00 WIB

LAMPIRAN

a. Stress Analysis

Analyzed File:	50_30_t_2.iam
Autodesk Inventor Version:	2013 (Build 170138000, 138)
Creation Date:	05/01/2016, 16:20
Simulation Author:	toshiba
Summary:	

Project Info (iProperties)

Summary

Author	toshiba
--------	---------

Project

Part Number	50_30_t_2
Designer	toshiba
Cost	Rp0
Date Created	05/01/2016

Status

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

Physical

Mass	6,60549 kg
Area	2435160 mm ²
Volume	2437450 mm ³
Center of Gravity	x=-988,065 mm y=35,5042 mm z=115,525 mm

Simulation:1

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Simulation Type	Static Analysis
Last Modification Date	05/01/2016, 16:17
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)

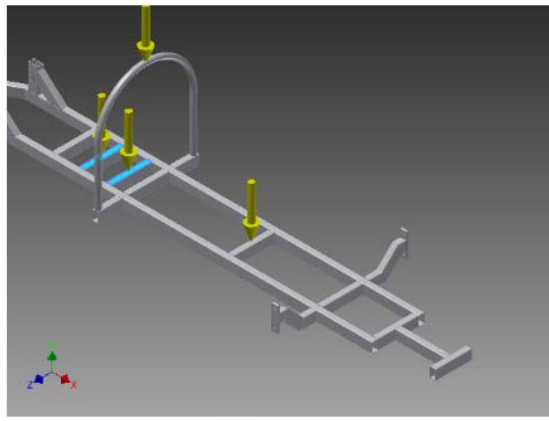
Name	Generic	
General	Mass Density	1 g/cm ³
	Yield Strength	0 MPa
	Ultimate Tensile Strength	0 MPa
Stress	Young's Modulus	0 GPa
	Poisson's Ratio	0 ul
	Shear Modulus	0 GPa
	Expansion Coefficient	0 ul/c

Name	Aluminum 6061	
General	Mass Density	2,71 g/cm ³
	Yield Strength	275 MPa
	Ultimate Tensile Strength	310 MPa
Stress	Young's Modulus	68,9 GPa
	Poisson's Ratio	0,33 ul
	Shear Modulus	25,9023 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0,0000236 ul/c
	Thermal Conductivity	167 W/(m K)
	Specific Heat	1256,1 J/(kg c)
Part Name(s)	ISO 50x30x2 00000001 ISO 50x30x2 00000002 ISO 50x30x2 00000003 ISO 50x30x2 00000004 ISO 50x30x2 00000005 ISO 50x30x2 00000007 ISO 50x30x2 00000008 ISO 50x30x2 00000009 ISO 50x30x2 00000010 ISO 50x30x2 00000011 ISO 50x30x2 00000012 ISO 50x30x2 00000013 ISO 50x30x2 00000014 ISO 50x30x2 00000015 ISO 50x30x2 00000016 ISO 50x30x2 00000017 ISO 50x30x2 00000018 ISO 50x30x2 00000019 ISO 50x30x2 00000020 ISO 50x30x2 00000021 ISO 50x30x2 00000022 ISO 50x30x2 00000023 ISO 26.9x2.0 00000024 ISO 26.9x2.0 00000025 ISO 26.9x2.0 00000026 ISO 30x 10 00000027 ISO 30x 10 00000028 ISO 50x30x2 00000029 ISO 50x30x2 00000030 ISO 50x30x2 00000031	

▣ **Force:1**

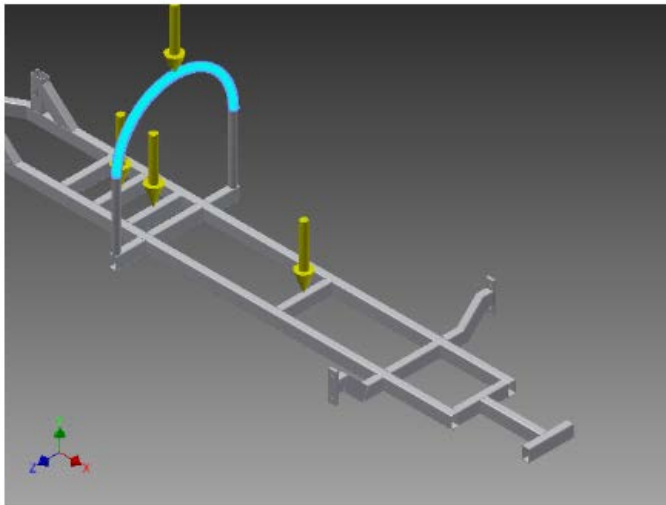
Load Type	Force
Magnitude	100.000 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	-100.000 N
Vector Z	0.000 N

▣ **Selected Face(s)**

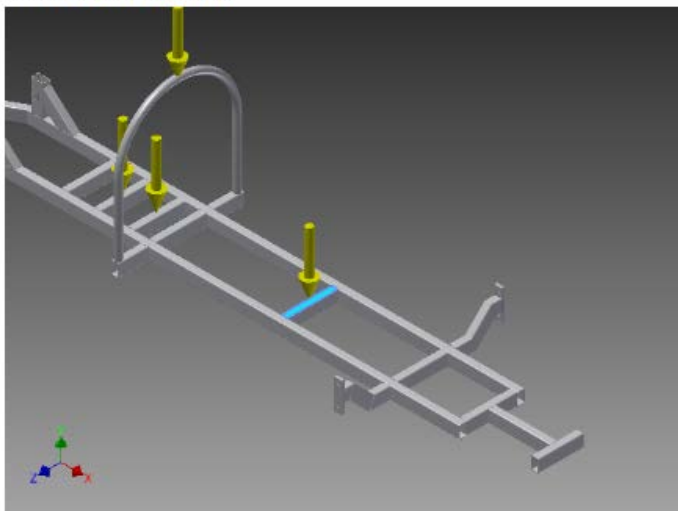


Force:2

Load Type	Force
Magnitude	700.000 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	-700.000 N

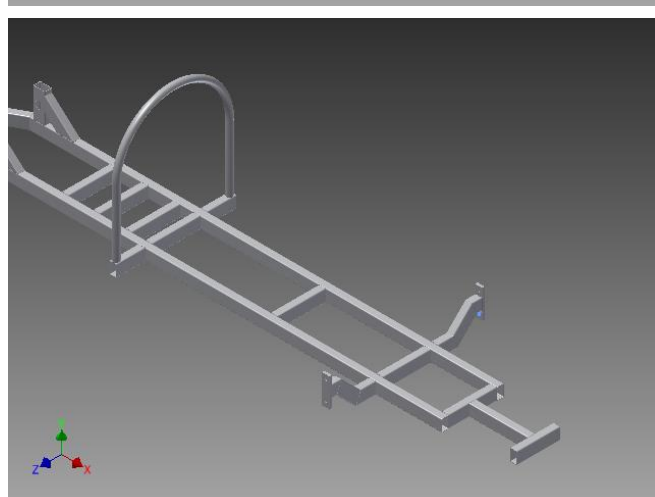
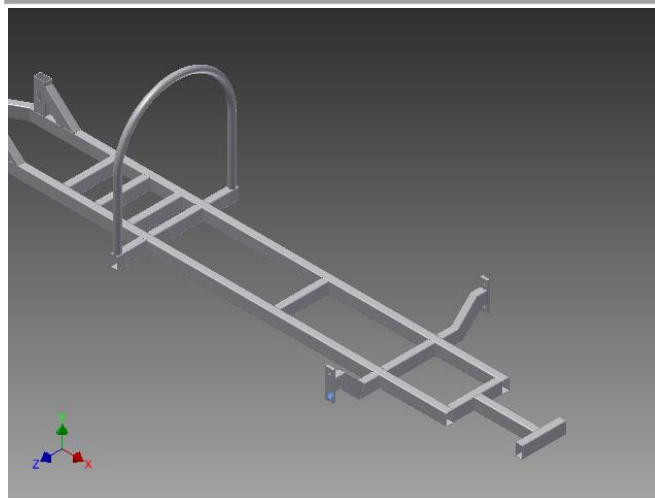
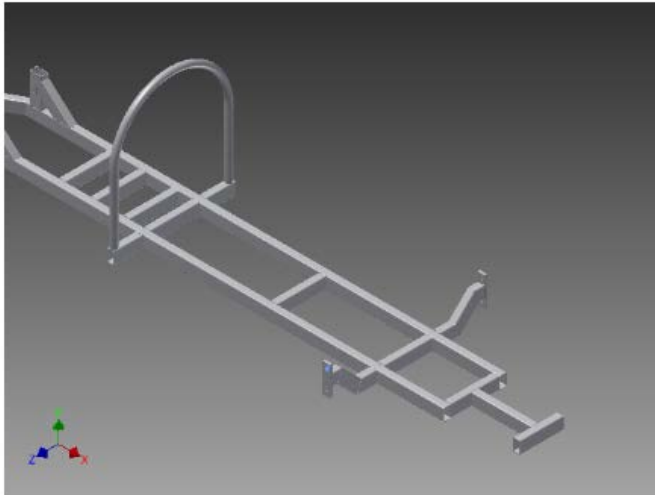
Selected Face(s)**Force:3**

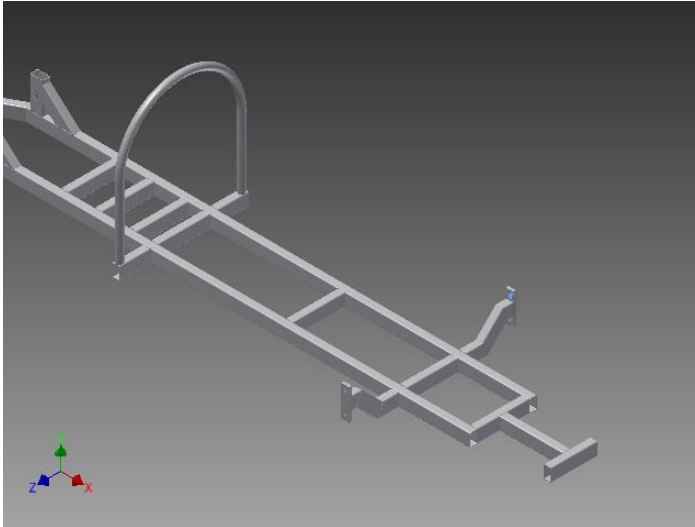
Load Type	Force
Magnitude	500.000 N
Vector X	-0.000 N
Vector Y	-500.000 N
Vector Z	0.000 N

Selected Face(s)

Pin Constraint:1

Constraint Type	Pin Constraint
Fix Radial Direction	Yes
Fix Axial Direction	Yes
Fix Tangential Direction	No

Selected Face(s)



☐ **Contacts (Bonded)**

Name	Part Name(s)
Bonded:1	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000018:1
Bonded:2	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000018:1
Bonded:3	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000018:1
Bonded:4	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000018:1
Bonded:5	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 26.9x2.0 00000025:1
Bonded:6	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000002:1
Bonded:7	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000003:1
Bonded:8	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000003:1
Bonded:9	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000003:1
Bonded:10	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000003:1
Bonded:11	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:12	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:13	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:14	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:15	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000031:1

Bonded:16	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:17	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:18	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:19	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:20	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000019:1
Bonded:21	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:22	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:23	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:24	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:25	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000008:1
Bonded:26	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:27	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:28	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:29	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:30	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000029:1
Bonded:31	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:32	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:33	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:34	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:35	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000009:1
Bonded:36	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:37	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:38	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:39	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:40	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000017:1
Bonded:41	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1

Bonded:42	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:43	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:44	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:45	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000007:1
Bonded:46	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:47	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:48	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:49	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:50	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000010:1
Bonded:51	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000022:1
Bonded:52	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000022:1
Bonded:53	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000022:1
Bonded:54	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000022:1
Bonded:55	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000023:1
Bonded:56	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:57	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:58	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:59	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:60	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000022:1
Bonded:61	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:62	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:63	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:64	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:65	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000023:1
Bonded:66	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:67	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000011:1

Bonded:68	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000011:1
Bonded:69	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000012:1
Bonded:70	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:71	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000012:1
Bonded:72	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:73	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:74	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:75	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:76	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000021:1
Bonded:77	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:78	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:79	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:80	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:81	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000020:1
Bonded:82	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000020:1
Bonded:83	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000020:1
Bonded:84	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000020:1
Bonded:85	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000020:1
Bonded:86	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000021:1
Bonded:87	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000003:1
Bonded:88	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:89	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:90	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:91	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:92	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1

Bonded:93	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:94	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:95	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:96	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000008:1
Bonded:97	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:98	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:99	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:100	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:101	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000009:1
Bonded:102	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:103	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:104	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:105	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:106	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000029:1
Bonded:107	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:108	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:109	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:110	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:111	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000017:1
Bonded:112	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:113	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:114	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:115	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:116	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000010:1
Bonded:117	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:118	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:119	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1

Bonded:120	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000005:1
Bonded:121	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000007:1
Bonded:122	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000003:1
Bonded:123	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:124	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:125	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:126	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:127	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000001:1
Bonded:128	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000001:1
Bonded:129	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000001:1
Bonded:130	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000001:1
Bonded:131	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000002:1
Bonded:132	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:133	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:134	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:135	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:136	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000018:1
Bonded:137	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:138	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:139	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:140	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000004:1
Bonded:141	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000030:1
Bonded:142	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000019:1
Bonded:143	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000019:1
Bonded:144	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000019:1

Bonded:145	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000019:1
Bonded:146	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 26.9x2.0 00000024:1
Bonded:147	Frame0001:1/ISO 26.9x2.0 00000024:1 Frame0001:1/ISO 26.9x2.0 00000026:1
Bonded:148	Frame0001:1/ISO 26.9x2.0 00000024:1 Frame0001:1/ISO 26.9x2.0 00000026:1
Bonded:149	Frame0001:1/ISO 26.9x2.0 00000025:1 Frame0001:1/ISO 26.9x2.0 00000026:1
Bonded:150	Frame0001:1/ISO 26.9x2.0 00000025:1 Frame0001:1/ISO 26.9x2.0 00000026:1
Bonded:151	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000013:1
Bonded:152	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000014:1
Bonded:153	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000016:1
Bonded:154	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 30x 10 00000028:1
Bonded:155	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000015:1
Bonded:156	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000031:1
Bonded:157	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000015:1
Bonded:158	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000016:1
Bonded:159	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000013:1
Bonded:160	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000030:1
Bonded:161	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 50x30x2 00000014:1
Bonded:162	Weldbead:1 Frame0001:1/ISO 30x 10 00000027:1

Results

Reaction Force and Moment on Constraints

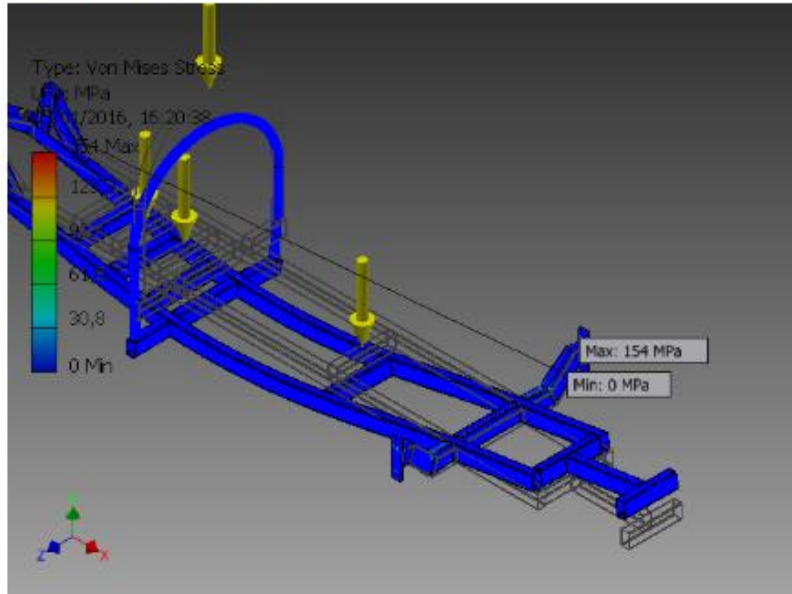
Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Pin Constraint:1	848,716 N	658,467 N	35,2836 N m	-5,1388 N m
		230,122 N		-34,9073 N m
		483,513 N		0 N m
Pin Constraint:2	152,157 N	-80,0218 N	22,6794 N m	1,20946 N m
		124,374 N		-22,6472 N m
		35,7657 N		0 N m
Pin Constraint:3	147,35 N	-73,5641 N	22,7297 N m	-1,10751 N m
		124,002 N		22,7027 N m
		-30,3948 N		0 N m
Pin Constraint:4	853,357 N	660,603 N	35,4609 N m	5,17816 N m
		228,14 N		35,0808 N m
		-489,667 N		0 N m
Pin Constraint:5	658,943 N	-587,321 N	0,417753 N m	0,402421 N m
		298,763 N		-0,112135 N m
		1,14172 N		0 N m
Pin Constraint:6	652,326 N	-580,788 N	0,533644 N m	-0,492249 N m
		297,005 N		0,206077 N m
		-1,79971 N		0 N m

Result Summary

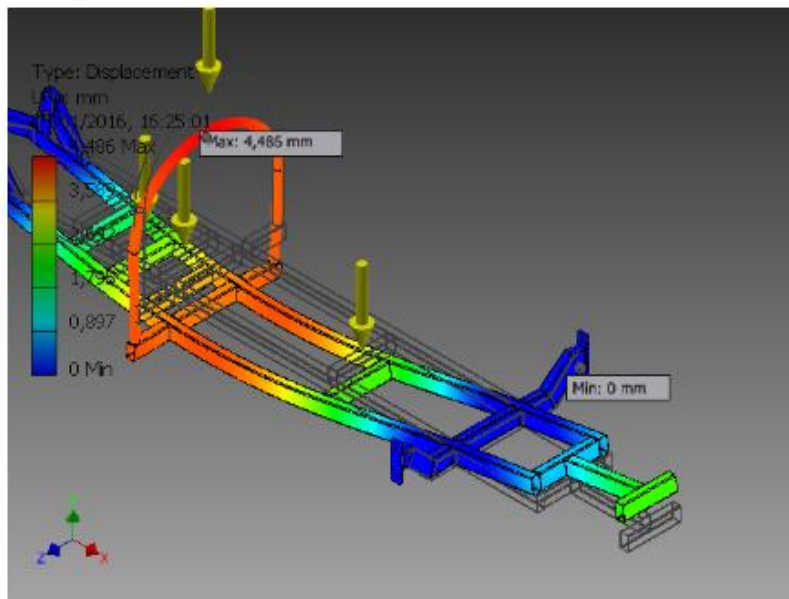
Name	Minimum	Maximum
Volume	2437450 mm ³	
Mass	6,6055 kg	
Von Mises Stress	0,00311093 MPa	153,977 MPa
1st Principal Stress	-35,6404 MPa	215,108 MPa
3rd Principal Stress	-152,949 MPa	52,0515 MPa
Displacement	0,0000118675 mm	4,48648 mm
Safety Factor	1,78598 ul	15 ul
Stress XX	-90,0606 MPa	92,6567 MPa
Stress XY	-65,4556 MPa	62,1698 MPa
Stress XZ	-41,8424 MPa	45,1304 MPa
Stress YY	-83,4563 MPa	99,1044 MPa
Stress YZ	-60,3363 MPa	59,1175 MPa
Stress ZZ	-134,398 MPa	194,748 MPa
X Displacement	-0,789098 mm	0,431664 mm
Y Displacement	-4,47545 mm	2,84234 mm
Z Displacement	-0,30258 mm	0,311133 mm
Equivalent Strain	0,0000000406664 ul	0,00213297 ul
1st Principal Strain	-0,00000510978 ul	0,00252696 ul
3rd Principal Strain	-0,00187378 ul	0,00000918434 ul
Strain XX	-0,00104179 ul	0,00103877 ul
Strain XY	-0,00126351 ul	0,00120008 ul
Strain XZ	-0,000807698 ul	0,000871168 ul
Strain YY	-0,000859004 ul	0,000905853 ul
Strain YZ	-0,00116469 ul	0,00114117 ul
Strain ZZ	-0,00164117 ul	0,00213395 ul
Contact Pressure	0 MPa	214,897 MPa
Contact Pressure X	-182,711 MPa	184,003 MPa
Contact Pressure Y	-109,141 MPa	103,808 MPa
Contact Pressure Z	-197,685 MPa	180,56 MPa

Figures

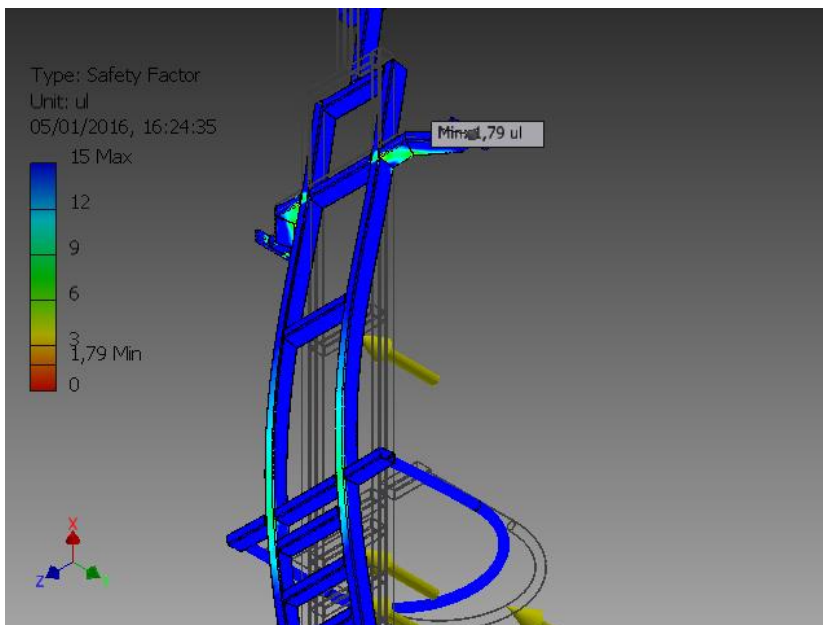
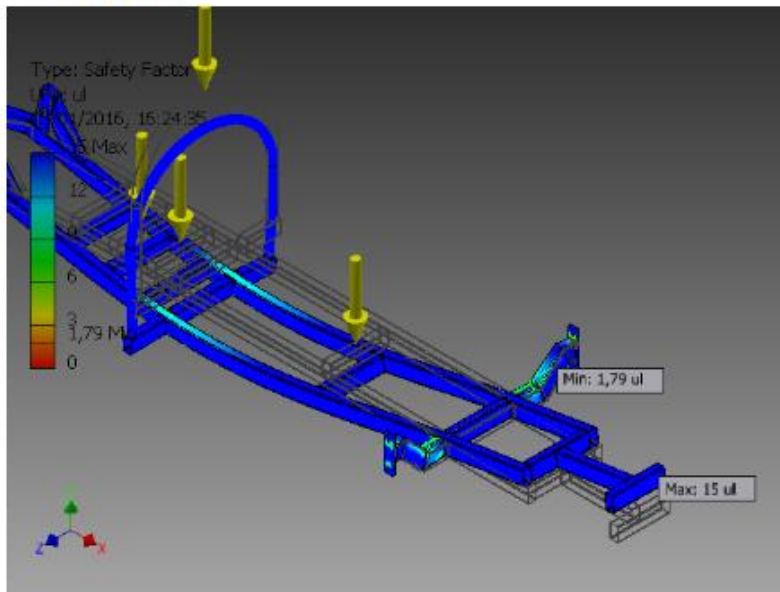
Von Mises Stress



Displacement



☐ Safety Factor



b. *Frame analysis*

Analyzed File:	50 X 30 T2 HX.iam
Version:	2013 (Build 170138000, 138)
Creation Date:	06/12/2015, 22:23
Simulation Author:	toshiba
Summary:	

▣ Project Info (iProperties)

▣ Summary

Author	toshiba
--------	---------

▣ Project

Part Number	50 X 30 T2 HX
Designer	toshiba
Cost	Rp0
Date Created	06/12/2015

▣ Status

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

▣ Physical

Mass	6,922 kg
Area	25390,078 mm ²
Volume	2554,169 mm ³
Center of Gravity	x=-998,670 mm y=34,541 mm z=115,524 mm

▣ Simulation:1

General objective and settings:

Simulation Type	Static Analysis
Last Modification Date	06/12/2015, 22:23

▣ Material(s)

Name	Aluminum 6061	
General	Mass Density	2,710 g/cm ³
	Yield Strength	275,000 MPa
	Ultimate Tensile Strength	310,000 MPa
Stress	Young's Modulus	68,900 GPa
	Poisson's Ratio	0,330 ul
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0,0000236 ul/c
	Thermal Conductivity	167,000 W/(m K)
	Specific Heat	1,256 J/(kg K)

	ISO 50x30x2 00000001.ipt
	ISO 50x30x2 00000002.ipt
	ISO 50x30x2 00000003.ipt
	ISO 50x30x2 00000004.ipt
	ISO 50x30x2 00000005.ipt
	ISO 50x30x2 00000006.ipt
	ISO 50x30x2 00000007.ipt
	ISO 50x30x2 00000008.ipt
	ISO 50x30x2 00000009.ipt
	ISO 50x30x2 00000010.ipt
	ISO 50x30x2 00000011.ipt
	ISO 50x30x2 00000012.ipt
	ISO 50x30x2 00000013.ipt
	ISO 50x30x2 00000014.ipt
	ISO 50x30x2 00000015.ipt
	ISO 50x30x2 00000016.ipt
	ISO 50x30x2 00000017.ipt
	ISO 50x30x2 00000018.ipt
	ISO 50x30x2 00000019.ipt
	ISO 50x30x2 00000020.ipt
	ISO 50x30x2 00000021.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000022.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000023.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000024.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000025.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000026.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000027.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000028.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000029.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000030.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000031.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000032.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000033.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000034.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000035.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000036.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000037.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000038.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000039.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000040.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000041.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000042.ipt
Part Name(s)	ISO 26.9x2.0 00000046.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000047.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000048.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000049.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000050.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000051.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000052.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000053.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000054.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000055.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000056.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000057.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000058.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000059.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000060.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000061.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000062.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000063.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000064.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000065.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000066.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000067.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000068.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000069.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000070.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000071.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000072.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000073.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000074.ipt
	ISO 26.9x2.0 00000075.ipt

ISO 26.9x2.0 00000074.ipt
ISO 26.9x2.0 00000075.ipt
ISO 26.9x2.0 00000076.ipt
ISO 26.9x2.0 00000077.ipt
ISO 26.9x2.0 00000078.ipt
ISO 26.9x2.0 00000079.ipt
ISO 26.9x2.0 00000080.ipt
ISO 26.9x2.0 00000081.ipt
ISO 26.9x2.0 00000082.ipt
ISO 30x 10 00000083.ipt
ISO 30x 10 00000084.ipt

☐ Cross Section(s)

Geometry Properties	Section Area (A)	293,699 mm ²
	Section Width	30,000 mm
	Section Height	50,000 mm
	Section Centroid (x)	15,000 mm
	Section Centroid (y)	25,000 mm
Mechanical Properties	Moment of Inertia (I _x)	95363,137 mm ⁴
	Moment of Inertia (I _y)	42926,088 mm ⁴
	Torsional Rigidity Modulus (J)	97700,000 mm ⁴
	Section Modulus (W _x)	3814,525 mm ³
	Section Modulus (W _y)	2861,739 mm ³
	Torsional Section Modulus (W _z)	4840,000 mm ³
	Reduced Shear Area (A _x)	103,270 mm ²
	Reduced Shear Area (A _y)	160,871 mm ²
Part Name(s)	ISO 50x30x2 00000001.ipt	
	ISO 50x30x2 00000002.ipt	
	ISO 50x30x2 00000003.ipt	
	ISO 50x30x2 00000004.ipt	
	ISO 50x30x2 00000005.ipt	
	ISO 50x30x2 00000006.ipt	
	ISO 50x30x2 00000007.ipt	
	ISO 50x30x2 00000008.ipt	
	ISO 50x30x2 00000009.ipt	
	ISO 50x30x2 00000010.ipt	
	ISO 50x30x2 00000011.ipt	
	ISO 50x30x2 00000012.ipt	
	ISO 50x30x2 00000013.ipt	
	ISO 50x30x2 00000014.ipt	
	ISO 50x30x2 00000015.ipt	
	ISO 50x30x2 00000016.ipt	
	ISO 50x30x2 00000017.ipt	
	ISO 50x30x2 00000018.ipt	
	ISO 50x30x2 00000019.ipt	
	ISO 50x30x2 00000020.ipt	
	ISO 50x30x2 00000021.ipt	

Geometry Properties	Section Area (A)	156,451 mm ²
	Section Width	26,900 mm
	Section Height	26,900 mm
	Section Centroid (x)	13,450 mm
	Section Centroid (y)	13,450 mm
Mechanical Properties	Moment of Inertia (I _x)	12203,398 mm ⁴
	Moment of Inertia (I _y)	12203,398 mm ⁴
	Torsional Rigidity Modulus (J)	24406,797 mm ⁴
	Section Modulus (W _x)	907,316 mm ³
	Section Modulus (W _y)	907,316 mm ³
	Torsional Section Modulus (W _z)	1814,632 mm ³

Part Name(s)	ISO 26.9x2.0 00000022.ipt ISO 26.9x2.0 00000023.ipt ISO 26.9x2.0 00000024.ipt ISO 26.9x2.0 00000025.ipt ISO 26.9x2.0 00000026.ipt ISO 26.9x2.0 00000027.ipt ISO 26.9x2.0 00000028.ipt ISO 26.9x2.0 00000029.ipt ISO 26.9x2.0 00000030.ipt ISO 26.9x2.0 00000031.ipt ISO 26.9x2.0 00000032.ipt ISO 26.9x2.0 00000033.ipt ISO 26.9x2.0 00000034.ipt ISO 26.9x2.0 00000035.ipt ISO 26.9x2.0 00000036.ipt ISO 26.9x2.0 00000037.ipt ISO 26.9x2.0 00000038.ipt ISO 26.9x2.0 00000039.ipt ISO 26.9x2.0 00000040.ipt ISO 26.9x2.0 00000041.ipt ISO 26.9x2.0 00000042.ipt ISO 26.9x2.0 00000043.ipt ISO 26.9x2.0 00000044.ipt ISO 26.9x2.0 00000045.ipt ISO 26.9x2.0 00000046.ipt ISO 26.9x2.0 00000047.ipt ISO 26.9x2.0 00000048.ipt ISO 26.9x2.0 00000049.ipt ISO 26.9x2.0 00000050.ipt ISO 26.9x2.0 00000051.ipt ISO 26.9x2.0 00000052.ipt ISO 26.9x2.0 00000053.ipt ISO 26.9x2.0 00000054.ipt ISO 26.9x2.0 00000055.ipt ISO 26.9x2.0 00000056.ipt ISO 26.9x2.0 00000057.ipt ISO 26.9x2.0 00000058.ipt ISO 26.9x2.0 00000059.ipt ISO 26.9x2.0 00000060.ipt ISO 26.9x2.0 00000061.ipt ISO 26.9x2.0 00000062.ipt ISO 26.9x2.0 00000063.ipt ISO 26.9x2.0 00000064.ipt ISO 26.9x2.0 00000065.ipt ISO 26.9x2.0 00000066.ipt ISO 26.9x2.0 00000067.ipt ISO 26.9x2.0 00000068.ipt ISO 26.9x2.0 00000069.ipt ISO 26.9x2.0 00000070.ipt ISO 26.9x2.0 00000071.ipt ISO 26.9x2.0 00000072.ipt ISO 26.9x2.0 00000073.ipt ISO 26.9x2.0 00000074.ipt ISO 26.9x2.0 00000075.ipt ISO 26.9x2.0 00000076.ipt ISO 26.9x2.0 00000077.ipt ISO 26.9x2.0 00000078.ipt ISO 26.9x2.0 00000079.ipt ISO 26.9x2.0 00000080.ipt ISO 26.9x2.0 00000081.ipt ISO 26.9x2.0 00000082.ipt
--------------	---

Geometry Properties	Section Area (A)	300,000 mm ²
	Section Width	10,000 mm
	Section Height	30,000 mm
	Section Centroid (x)	5,000 mm
	Section Centroid (y)	15,000 mm
Mechanical Properties	Moment of Inertia (I _x)	22500,000 mm ⁴
	Moment of Inertia (I _y)	2500,000 mm ⁴
	Torsional Rigidity Modulus (J)	7898,872 mm ⁴
	Section Modulus (W _x)	1500,000 mm ³
	Section Modulus (W _y)	500,000 mm ³
	Torsional Section Modulus (W _z)	801,600 mm ³
	Reduced Shear Area (A _x)	200,000 mm ²
	Reduced Shear Area (A _y)	200,000 mm ²
Part Name(s)	ISO 30x 10 00000083.ipt ISO 30x 10 00000084.ipt	

▣ Beam Model

Nodes	176
Beams	84
- Round Tubes	61
- Square/Rectangular Tubes	21
- Square/Rectangular/Hex Bars	2

▣ Rigid Links

Name	Displacement			Rotation			Parent Node	Child Node(s)
	X - axis	Y - axis	Z - axis	X - axis	Y - axis	Z - axis		
Rigid Link:1	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	Node:16	Node:44
Rigid Link:2	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	Node:15	Node:46
Rigid Link:3	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	Node:23	Node:28
Rigid Link:4	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	Node:26	Node:29
Rigid Link:5	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	Node:169	Node:38
Rigid Link:6	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	Node:170	Node:41

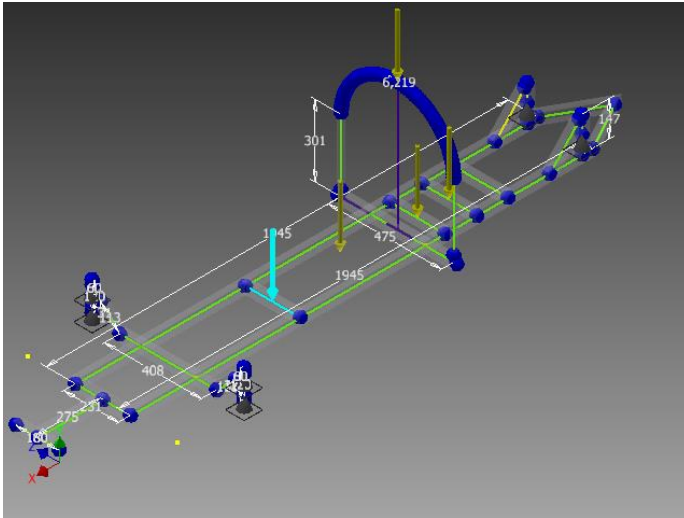
▣ Operating conditions

▣ Gravity

Load Type	Gravity
Magnitude	9810,000 mm/s ²
Direction	Y-

▣ Force:1

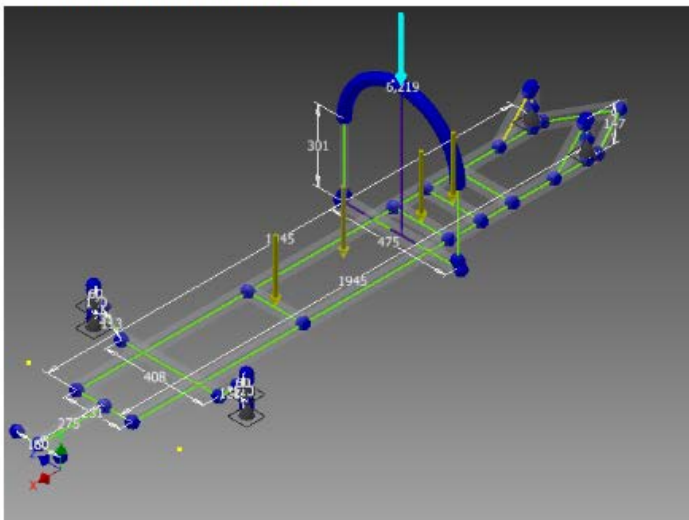
Load Type	Force
Magnitude	500,000 N
Beam Coordinate System	No
Angle of Plane	270,00 deg
Angle in Plane	90,00 deg
F _x	0,000 N
F _y	-500,000 N
F _z	0,000 N
Offset	115,500 mm



Force:2

Load Type	Force
Magnitude	700,000 N
Beam Coordinate System	No
Angle of Plane	270,00 deg
Angle in Plane	90,00 deg
Fx	0,000 N
Fy	-700,000 N
Fz	0,000 N
Offset	6,219 mm

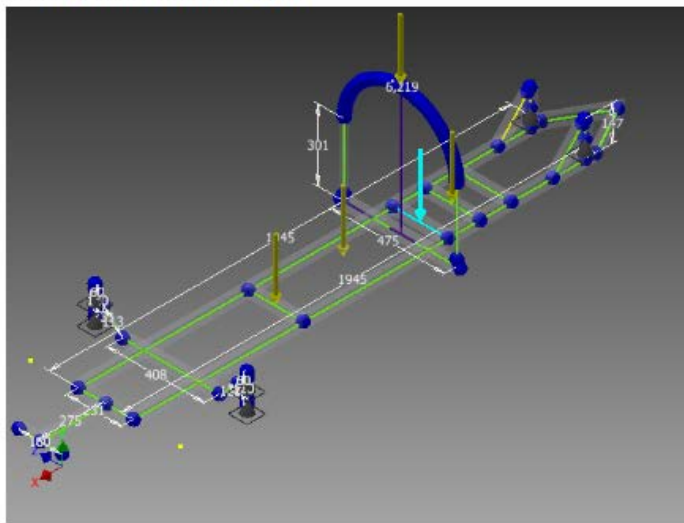
Selected Reference(s)



☐ **Force:3**

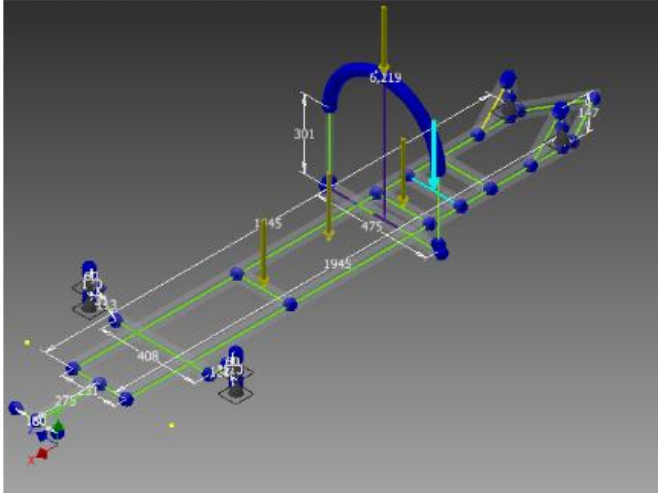
Load Type	Force
Magnitude	100,000 N
Beam Coordinate System	No
Angle of Plane	270,00 deg
Angle in Plane	90,00 deg
Fx	0,000 N
Fy	-100,000 N
Fz	0,000 N
Offset	115,500 mm

☐ **Selected Reference(s)**

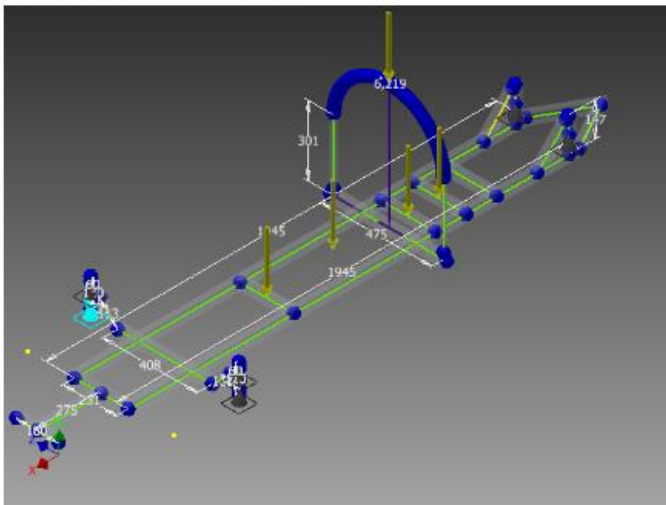


☐ **Force:4**

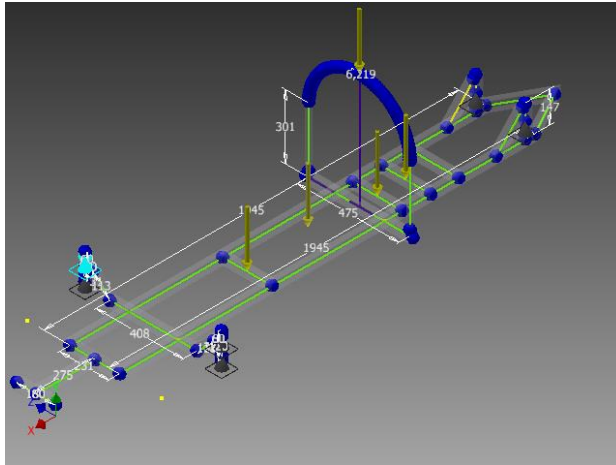
Load Type	Force
Magnitude	100,000 N
Beam Coordinate System	No
Angle of Plane	270,00 deg
Angle in Plane	90,00 deg
Fx	0,000 N
Fy	-100,000 N
Fz	0,000 N
Offset	115,500 mm

Selected Reference(s)**Pinned Constraint:1**

Constraint Type Pinned

Selected Reference(s)**Pinned Constraint:2**

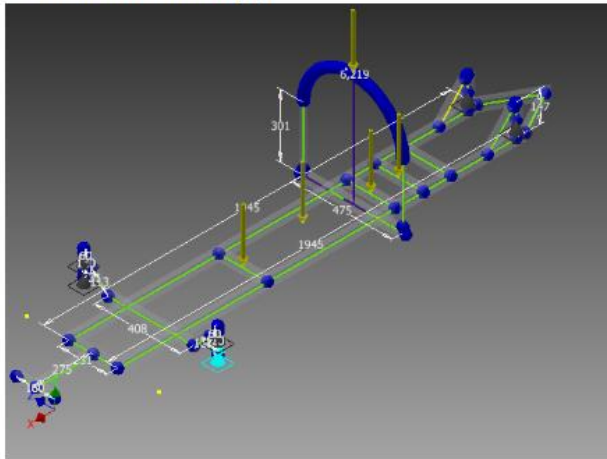
Constraint Type Pinned



[-] Pinned Constraint:3

Constraint Type Pinned

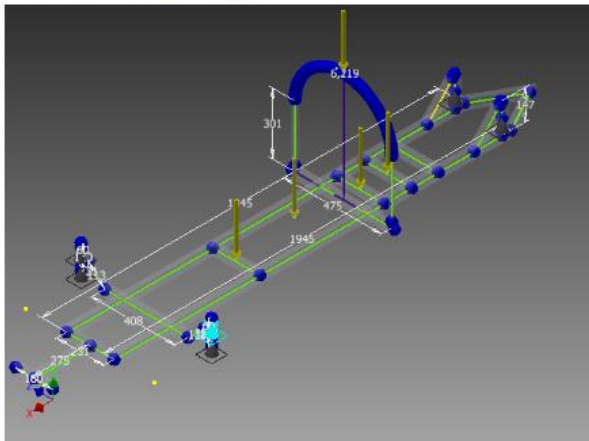
[-] Selected Reference(s)



[-] Pinned Constraint:4

Constraint Type Pinned

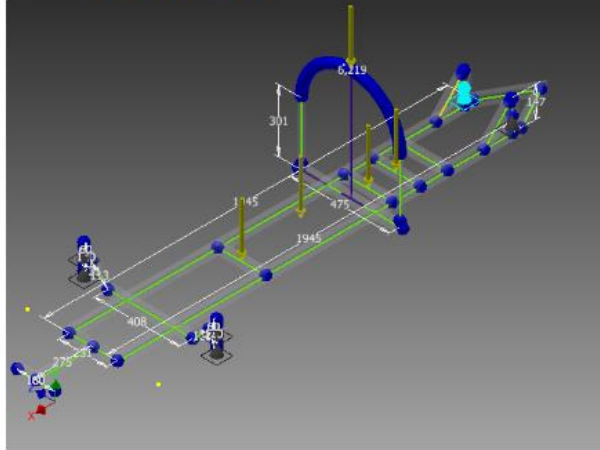
[-] Selected Reference(s)



[-] Pinned Constraint:5

Constraint Type Pinned

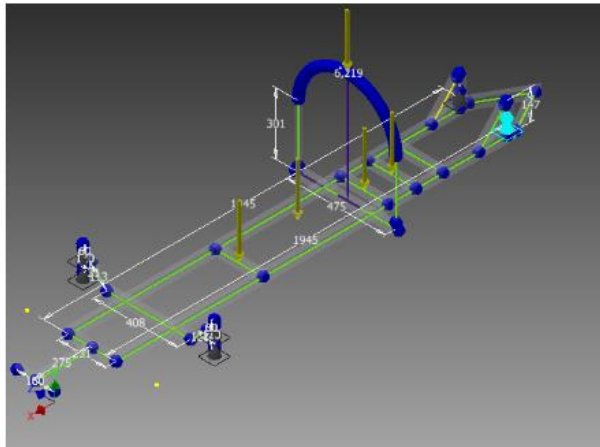
[-] Selected Reference(s)



[-] Pinned Constraint:6

Constraint Type Pinned

[-] Selected Reference(s)



[-] Results

[-] Reaction Force and Moment on Constraints

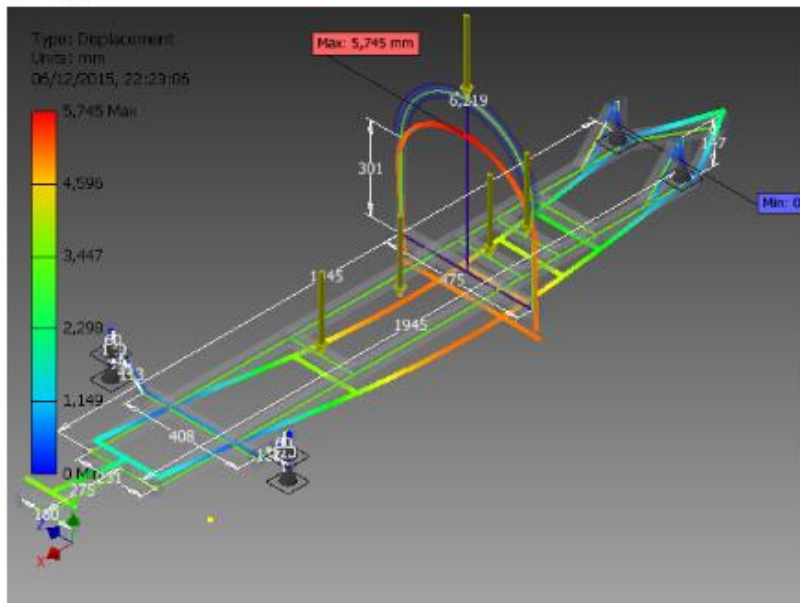
Constraint Name	Reaction Force			Reaction Moment	
	Magnitude	Components (Fx,Fy,Fz)	Magnitude	Components (Mx,My,Mz)	
Pinned Constraint:2	982,460 N	864,897 N 202,960 N 419,509 N	0,000 N mm	-0,000 N mm 0,000 N mm -0,000 N mm	
Pinned Constraint:1	401,141 N	-330,453 N 202,960 N 102,576 N	0,000 N mm	-0,000 N mm 0,000 N mm 0,000 N mm	
Pinned Constraint:4	983,353 N	865,835 N 203,333 N -419,486 N	0,000 N mm	0,000 N mm 0,000 N mm 0,000 N mm	
Pinned Constraint:3	399,795 N	-328,498 N 203,333 N -102,863 N	0,000 N mm	0,000 N mm 0,000 N mm -0,000 N mm	
Pinned Constraint:6	628,947 N	-536,748 N 327,836 N -0,326 N	0,000 N mm	-0,000 N mm -0,000 N mm 0,000 N mm	
Pinned Constraint:5	627,597 N	-535,032 N 328,053 N 0,589 N	0,000 N mm	-0,000 N mm -0,000 N mm -0,000 N mm	

Static Result Summary

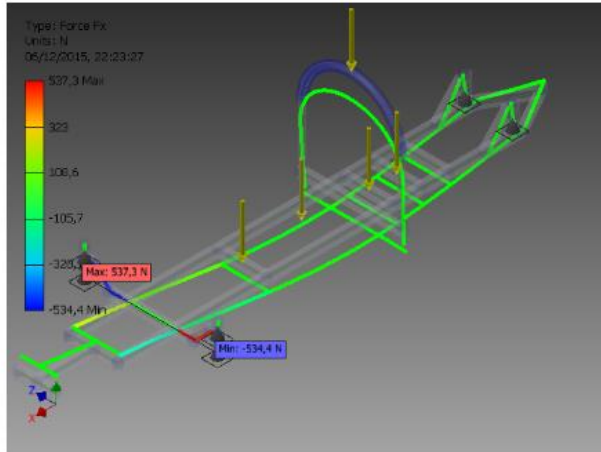
Name		Minimum	Maximum
Displacement		0,000 mm	5,745 mm
Forces	Fx	-534,444 N	537,336 N
	Fy	-865,835 N	404,962 N
	Fz	-655,920 N	364,615 N
Moments	Mx	-77550,479 N mm	155569,223 N mm
	My	-27921,754 N mm	108001,629 N mm
	Mz	-90633,137 N mm	90443,091 N mm
Normal Stresses	Smax	-2,111 MPa	53,925 MPa
	Smin	-52,573 MPa	1,068 MPa
	Smax(Mx)	0,000 MPa	48,193 MPa
	Smin(Mx)	-48,193 MPa	-0,000 MPa
	Smax(My)	0,000 MPa	37,740 MPa
	Smin(My)	-37,740 MPa	-0,000 MPa
	Saxial	-2,331 MPa	2,233 MPa
Shear Stresses	Tx	-5,203 MPa	5,175 MPa
	Ty	-4,455 MPa	4,455 MPa
Torsional Stresses	T	-18,687 MPa	18,726 MPa

Figures

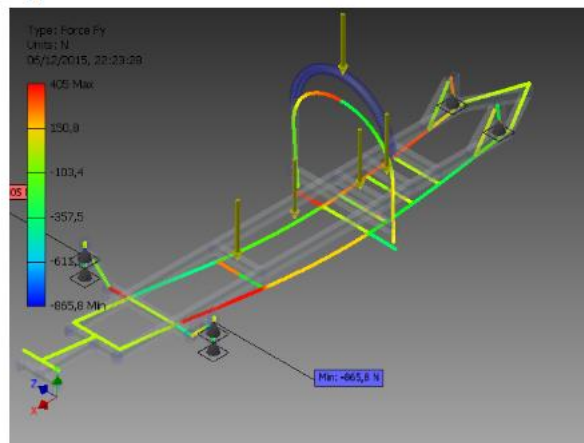
Displacement



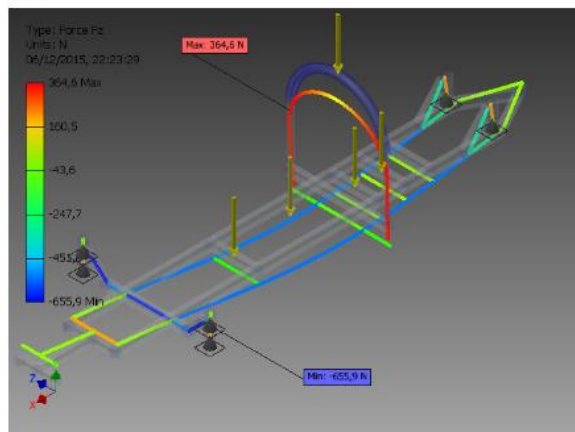
☐ **F_x**



☐ **F_y**



☐ **F_z**



RIWAYAT HIDUP



Hafidz Salafuddin dilahirkan di DKI Jakarta, pada tanggal 12 April 1993. Putra sulung dari 3 bersaudara pasangan Bapak Zen Abdul Rokhman dan Ibu Sunaeni. Bertempat tinggal di Jl. Flamboyan 2 blok CA3 No.12 RT02/011 Mangunjaya 1

Tambun Selatan, Bekasi.

Menempuh pendidikan di SD Negeri Mangun Jaya 1, SMP Negeri 3 Tambun Selatan, SMA Negeri 2 Tambun Selatan, dan Universitas Negeri Jakarta (UNJ) pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik (FT). Pengalaman di organisasi diantaranya yaitu Staff Pendidikan dan Teknologi BEMJ Teknik Mesin UNJ 2011/2012. *Non Technical Manager* di Batavia Team UNJ 2013-2015, Pada awal tahun 2013 sampai 2015 setiap tahunnya penulis selalu mengikuti ajang *Shell eco marathon asia* di filipina dan *Indonesia Energy Marathon Challenge* di surabaya mewakili Universitas Negeri Jakarta. Khususnya Jurusan Teknik Mesin dan *mendapatkan Juara 1 Nasional dan Juara 3 Asia*.