

**DESAIN DAN ANALISIS KEKUATAN PADA RANGKA  
KENDARAAN JENIS *URBAN CONCEPT* SESUAI REGULASI  
KONTES MOBIL HEMAT ENERGI 2015**



**Nur Widianto**

**5315125271**

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

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

**2016**

## PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul :

**Desain Dan Analisis Kekuatan Pada Rangka Kendaraan Jenis *Urban*  
*Concept* Sesuai Regulasi Kontes Mobil Hemat Energi 2015**

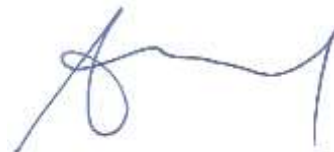
Lembar persetujuan ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat untuk pengajuan sidang skripsi pada program studi Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

Dosen Pembimbing I




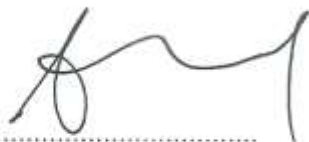
**Dr. Catur Setyawan K., M.T.**  
NIP. 197102232006041001

Dosen Pembimbing II





**Ahmad Kholil, S.T., M.T.**  
NIP. 197908312005011001

## HALAMAN PENGESAHAN


NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Dr. Catur Setyawan K., M.T. (Dosen Pembimbing I)		2/8 2016
Ahmad Kholil, S.T., M.T. (Dosen Pembimbing II)		2/8 2016

## PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Ir. Nugroho Gama Yoga, M.T. (Ketua Penguji)		2/8 2016
I Wayan Sugita, S.T., M.T., (Sekretaris)		2/8 2016
Ragil Sukarno, S.T., M.T. (Dosen Ahli)		2/8 2016

Tanggal Lulus :

Mengetahui ,  
Ketua Progam Studi Pendidikan Teknik Mesin

  
Ahmad Kholil, ST., M.T.  
NIP. 197908312005011001

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Nur Widiyanto

No. Registrasi : 5315125271

Tempat, tanggal lahir : Jakarta, 21 Februari 1995

Alamat : Jl. Rawa Kuning RT. 005/02 No. 47 Pulogebang  
Cakung Jakarta Timur

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi dengan judul “Desain Dan Analisis Kekuatan Pada Rangka Kendaraan Jenis *Urban Concept* Sesuai Regulasi Kontes Mobil Hemat Energi 2015” 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 di publikasikan orang lain, kecuali secara tertulis tercantum sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang,

Demikian 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, Juli 2016

Yang Membuat Pernyataan

**Nur Widiyanto**

No. Registrasi 5315125271

## ABSTRAK

**Nur Widiyanto. Skripsi: Desain dan Analisis Kekuatan pada Rangka Kendaraan Jenis *Urban Concept* Sesuai Regulasi Kontes Mobil Hemat Energi 2015. 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 dengan persyaratan yang ditentukan oleh panitia KMHE. Penelitian ini juga bertujuan sebagai acuan bagi mahasiswa yang mengikuti ajang KMHE untuk mendapatkan rangka yang ringan, kuat dan sesuai regulasi KMHE. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah metode komputasi yang dikenal dengan *Finite Element Analysis* (FEA) dengan bantuan *software Autodesk Inventor*. Dimensi tinggi kendaraan 1051,25 mm, jarak antara roda depan 1027 mm, jarak antara roda belakang 900,5 mm, jarak antara sumbu roda depan dengan belakang 1230 mm, lebar kendaraan 1282 mm, dan panjang kendaraan 2356 mm. Dimensi kendaraan sesuai dengan regulasi KMHE. Simulasi dilakukan pada rancangan rangka yang berbeda yaitu *hollow* aluminium 40 x 20 mm dengan tebal 2 mm, 40 x 20 mm dengan tebal 3 mm, dan 50 x 30 mm dengan tebal 2 mm. Ketiganya diberi beban dan tumpuan yang sama yaitu 700 N pada tempat duduk pengemudi, 700 N pada *roll bar*, 200 N pada tempat mesin. Tumpuan pada rangka yaitu dibagian roda depan dan roda belakang. Hasil menunjukkan bahwa rangka 50 x 30 mm dengan tebal 2 mm adalah rangka yang paling kuat dilihat dari nilai *Safety factor* 3,198 dan memiliki berat 9,8 kg.

Kata kunci : rangka, hasil perancangan rangka, *stress analysis*, *frame analysis*, *urban concept*, Kontes Mobil Hemat Energi 2015

## ABSTRACT

**Nur Widiyanto. Skripsi: Desain dan Analisis Kekuatan pada Rangka Kendaraan Jenis *Urban Concept* Sesuai Regulasi Kontes Mobil Hemat Energi 2015. Jakarta: Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, 2016.**

*This research aims to create a frame model of the most lightweight and strong in according to the requirements of KMHE committee. This research is also aiming as a reference for students who take KMHE event to get a lightweight frame, strong and based on regulation KMHE. Method of this research is using computational method that is known as Finite Element Analysis (FEA) by supporting of Autodesk Inventor software. Dimension of high vehicle 1051.25 mm, distance of track width front wheels 1027 mm, distance of track width rear wheels 900.5 mm, wheel base 1230 mm, width vehicle 1282 mm and length vehicle 2356 mm. Dimension of this vehicle is according to KMHE regulation. Simulations performed on a different frame designs are hollow aluminium 40 x 20 mm with thickness 2 mm, 40 x 20 mm with thickness 3 mm, and 50 x 30 mm with thickness 2 mm. Those variations are given the same load and fixed 700 N in the driver's seat, 700 N on the roll bar, 200 N on an engine. Fixed in frame is front and rear wheels. The result shows that this frame 50 x 30 mm with thickness 2 mm is the strongest seen from value of safety factor 3,198 and it has weights 9.8 kg.*

*Keywords : chassis, the result of frame design, stress analysis, frame analysis, urban concept, Kontes Mobil Hemat Energi 2015*

## 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 *URBAN CONCEPT* SESUAI REGULASI KONTES MOBIL HEMAT ENERGI 2015”** yang disusun guna memenuhi sebagian persyaratan untuk mendapat gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Dalam menulis skripsi ini penulis menyadari sepenuhnya bahwa untuk menyelesaikan skripsi ini telah banyak mendapat bantuan dan bimbingan dari banyak pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak dan Ibu yang selalu memberikan dukungan moral serta selalu mendoakan hingga penulis bisa menyelesaikan studi.
2. Bapak Catur Setyawan, ST, MT. Selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam pembuatan skripsi ini.
3. Bapak Ahmad Kholil, ST, MT. Selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta serta selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam pembuatan skripsi ini.
4. Bapak C. Rudy Prihantoro, ST, MT. Selaku Penasehat Akademik yang juga telah banyak membantu penulis.
5. Hafidz Salafuddin yang selalu membimbing, membantu dan memberi dukungan moral untuk menyelesaikan skripsi ini hingga selesai.
6. Rekan-rekan Batavia Team UNJ, khususnya kepada angkatan 2011 dan 2012 jurusan teknik mesin yang telah memberi dukungan, semangat dan memberikan banyak ilmu serta pengalaman.
7. Rekan-rekan NR B 2012 yang telah banyak memotivasi dan membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

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

Akhir kata penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.  
Amin.

Jakarta , Juli 2016

**Nur Widiyanto**

No.Registrasi 5315125271



## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	i
<b>PERNYATAAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	3
1.3 Pembatasan Masalah .....	4
1.4 Perumusan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
2.1 Teori Dasar Perancangan.....	6
2.2 Teori Dasar Rangka.....	8
2.3 Teori Dasar <i>Finite Element Methode</i> .....	14
2.3.1 Konsep Dasar <i>Finite Element Methode</i> .....	17
2.4 <i>Autodesk Inventor</i> .....	28
2.5 <i>Stress Analysis</i> .....	29
2.6 <i>Frame Analysis</i> .....	30
2.7 <i>Safety Factor</i> .....	30
2.8 Teori Tegangan <i>Von Mises</i> .....	32
2.9 Mekanika Teknik.....	32
2.10 Penelitian yang Relevan .....	38

2.11 Regulasi Mengenai Struktur Rangka <i>Urban Concept</i> .....	39
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Tempat dan Waktu .....	42
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	42
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	43
3.3.1 Uraian Prosedur Penelitian.....	43
3.4 Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data .....	51
3.4.1 Persyaratan Perancangan (KMHE) .....	51
3.4.2 Varian Model.....	52
3.5 Teknik Analisis Data .....	53
3.5.1 Alasan Pemilihan Varian Konsep .....	53
<b>BAB IV HASIL PERANCANGAN</b>	
4.1 Model Desain .....	54
4.2 Bahan dan Material .....	56
4.3 Kondisi Batas .....	57
4.4 Hasil Analisa dengan <i>Software Autodesk Inventor</i> .....	58
4.5 Perhitungan Teori .....	79
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	89
5.2 Saran.....	90
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>91</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>93</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>129</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil analisa dari variasi 3 (50x30 mm tebal 2 mm).....	39
Tabel 3.1	Daftar spesifikasi perencanaan.....	51
Tabel 3.2	Varian model .....	52
Tabel 4.1	Data Properti Material Aluminium 6061 .....	41
Tabel 4.2	Hasil analisa dari variasi 1 (40x20 mm tebal 2 mm) .....	61
Tabel 4.3	Hasil analisa dari variasi 2 (40x20 mm tebal 3 mm).....	64
Tabel 4.4	Hasil analisa dari variasi 3 (50x30 mm tebal 2 mm).....	67
Tabel 4.5	Hasil analisa setiap variasi dari <i>Stress Analysis</i> .....	69
Tabel 4.6	Hasil analisa dari variasi 1 (40x20 mm tebal 2 mm).....	70
Tabel 4.7	Hasil analisa dari variasi 2 (40x20 mm tebal 3 mm).....	72
Tabel 4.8	Hasil analisa dari variasi 3 (50x30 mm tebal 2 mm) .....	75
Tabel 4.9	Hasil analisa setiap variasi dari <i>Frame Analysis</i> .....	77
Tabel 4.10	Hasil perbandingan antara desain rangka dengan regulasi KMHE .....	78
Tabel 4.11	Hasil perbandingan antara perhitungan manual dengan simulasi <i>software</i> .....	88

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 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> .....	12
Gambar 2.5 <i>Chassis Backbone</i> .....	13
Gambar 2.6 <i>Aluminium Chassis Frame</i> .....	14
Gambar 2.7 <i>Beam dengan Penampang Uniform</i> .....	17
Gambar 2.8 Normal <i>Stress</i> dan <i>Shear Stress</i> .....	21
Gambar 2.9 <i>Stress State</i> .....	23
Gambar 2.10 <i>Boundary Conditions</i> .....	25
Gambar 2.11 <i>Elemen Tetrahedron</i> .....	25
Gambar 2.12 Komponen-komponen tegangan normal dan geser .....	32
Gambar 2.13 Batang Prismatic yang dibebani Gaya Aksial .....	33
Gambar 2.14 Gaya Tarik Aksial .....	34
Gambar 2.15 Gaya Tekan Aksial .....	34
Gambar 2.16 Penampang Rangka Utama .....	36
Gambar 2.17 Penampang <i>roll bar</i> .....	37
Gambar 2.18 Rangka <i>Prototype</i> .....	38
Gambar 2.19 Ketentuan dimensi rangka <i>urban concept</i> .....	40
Gambar 2.20 Ketentuan <i>roll bar</i> rangka <i>urban concept</i> .....	41
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Analisa <i>Software Inventor</i> .....	43
Gambar 3.2 Rangka dalam dua dimensi .....	44
Gambar 3.3 Gambar dimensi hollow persegi, <i>flat</i> dan pipa .....	45
Gambar 3.4 Gambar <i>Modelling</i> .....	45
Gambar 3.5 Posisi <i>fixed</i> pada rangka .....	46
Gambar 3.6 Posisi pembebanan pada rangka .....	46
Gambar 3.7 Pemberian data material .....	47
Gambar 3.8 <i>Meshing</i> .....	47
Gambar 3.9 <i>Simulate</i> .....	48
Gambar 3.10 <i>Report</i> .....	48

Gambar 3.11 Posisi <i>fixed</i> pada rangka .....	49
Gambar 3.12 Posisi pembebanan pada rangka.....	49
Gambar 3.13 <i>Simulate</i> .....	50
Gambar 3.14 <i>Report</i> .....	50
Gambar 4.1 Rangka <i>Urban Concept</i> .....	31
Gambar 4.2 Pandangan samping rangka.....	31
Gambar 4.3 Pandangan depan rangka.....	32
Gambar 4.4 <i>Frame</i> utama <i>Urban Concept</i> pandangan atas .....	32
Gambar 4.5 <i>Frame</i> utama <i>Urban Concept</i> pandangan depan.....	33
Gambar 4.6 Pembebanan pada rangka .....	33
Gambar 4.7 Penentuan tumpuan pada rangka.....	34
Gambar 4.8 Rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm) yang sudah diberi beban.....	59
Gambar 4.9 Rangka variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm) yang sudah diberi beban.....	59
Gambar 4.10 Rangka variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm) yang sudah diberi beban.....	60
Gambar 4.11 <i>Displacement</i> yang terjadi menggunakan <i>frame analysis</i> pada variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm).....	60
Gambar 4.12 <i>Displacement</i> yang terjadi menggunakan <i>frame analysis</i> pada variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm).....	60
Gambar 4.13 <i>Displacement</i> yang terjadi menggunakan <i>frame analysis</i> pada variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm).....	61
Gambar 4.14 Tegangan yang terjadi pada rangka variasi 1(40 X 20 mm tebal 2 mm).....	62
Gambar 4.15 <i>Displacement</i> yang terjadi pada rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm).....	62
Gambar 4.16 <i>safety factor</i> rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm).....	63
Gambar 4.17 Tegangan yang terjadi pada rangka variasi 2(40 X 20 mm tebal 3 mm).....	64
Gambar 4.18 <i>Displacement</i> yang terjadi pada rangka variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm).....	65

Gambar 4.19 <i>safety factor</i> rangka variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm).....	66
Gambar 4.20 Tegangan yang terjadi pada rangka variasi 3(50 X 30 mm tebal 2 mm).....	67
Gambar 4.21 <i>Displacement</i> yang terjadi pada rangka variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm).....	68
Gambar 4.22 <i>safety factor</i> rangka variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm).....	68
Gambar 4.23 <i>Displacement</i> yang terjadi menggunakan <i>frame analysis</i> pada variasi 1(40 X 20 mm tebal 2 mm).....	70
Gambar 4.24 Gaya Fz yang terjadi pada variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)	71
Gambar 4.25 Momen Mz yang terjadi pada variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm).....	71
Gambar 4.26 Tegangan Normal Smax yang terjadi pada variasi 1 (40 x 20 mm tebal 2 mm).....	72
Gambar 4.27 <i>Displacement</i> yang terjadi menggunakan <i>frame analysis</i> pada variasi 2(40 X 20 mm tebal 3 mm).....	73
Gambar 4.28 Gaya Fz yang terjadi pada variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm)	73
Gambar 4.29 Momen Mz yang terjadi pada variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm).....	74
Gambar 4.30 Tegangan Normal Smax yang terjadi pada variasi 2 (40 x 20 mm tebal 3 mm).....	74
Gambar 4.31 <i>Displacement</i> yang terjadi menggunakan <i>frame analysis</i> pada variasi 3(50 X 30 mm tebal 2 mm).....	75
Gambar 4.32 Gaya Fz yang terjadi pada variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)	76
Gambar 4.33 Momen Mz yang terjadi pada variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm).....	76
Gambar 4.34 Tegangan Normal Smax yang terjadi pada variasi 3 (50 x 30 mm tebal 2 mm).....	77
Gambar 4.35 Diagram benda bebas rangka .....	80
Gambar 4.36 Diagram benda bebas rangka potongan 1 .....	81
Gambar 4.37 Diagram benda bebas rangka potongan 2 .....	82
Gambar 4.38 Diagram benda bebas rangka potongan 3 .....	82
Gambar 4.39 Diagram benda bebas rangka potongan 4 .....	83

Gambar 4.40 Diagram benda bebas rangka potongan 5 .....	84
Gambar 4.41 Diagram bidang gaya geser dan bidang momen .....	86

## DAFTAR LAMPIRAN

<i>Stress Analysis Report</i> .....	89
-------------------------------------	----



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Universitas Negeri Jakarta sebagai salah satu Pendidikan Tinggi Negeri di Jakarta yang ikut berpartisipasi dalam perlombaan Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) 2015 yang diselenggarakan di Stadion Kanjuruhan, Malang.

KMHE merupakan sebuah *event* nasional yang diadakan oleh Direktorat DIKTI yang bekerjasama dengan Universitas Brawijaya yang bertujuan untuk memberikan wadah bagi mahasiswa teknik seluruh Indonesia untuk mengaplikasikan ilmu pengetahuan yang didapat dari bangku kuliah serta meningkatkan kreativitas, disiplin, serta kemampuan *soft skill* dan *hard skill* mereka. Kegiatan yang diadakan ini untuk menguji kemampuan dalam perancangan dan pembangunan kendaraan yang aman, irit dan ramah lingkungan. Kegiatan ini diikuti oleh mahasiswa seluruh universitas/institut/politeknik di Indonesia yang memenuhi kriteria yang ditetapkan oleh panitia.

Dunia otomotif kini menghadapi masalah harga tinggi dan menipisnya bahan bakar fosil sebagai kendaraan sumber energi primer. Saat ini semua produsen otomotif di dunia berlomba-lomba untuk membuat produk otomotif dan bahan bakar yang efisien atau menggunakan bahan

bakar alternatif selain minyak bumi. Situasi ini seperti membuat semua produsen otomotif harus kembali ke titik nol pada pengembangan teknologi<sup>1</sup>.

Kondisi ini ideal bagi Indonesia untuk terjun dalam pengembangan teknologi otomotif terbaru yang menggunakan sedikit bahan bakar. Kegiatan ini diharapkan dapat mempercepat penguasaan teknologi otomotif terbaru di Indonesia yang akan digunakan untuk melestarikan atau menggunakan bahan bakar alternatif.

Acara ini dimulai sejak tahun 2012. Pada awalnya, acara ini bernama *Indonesia Energy Marathon Challenge* (IEMC) yang bekerjasama dengan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan berlangsung selama 3 tahun. Kegiatan ini diselenggarakan di sirkuit Kenjeran, Surabaya. Dan di tahun ke-4, acara ini bernama Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE). Acara ini diikuti oleh 62 tim dari 32 perguruan tinggi yang sudah terseleksi.

Dalam KMHE ini, ada dua kategori mobil yang diperlombakan, yakni:

1. *Prototype* merupakan kendaraan masa depan dengan desain khusus yang memaksimalkan aspek aerodinamika.
2. *Urban Concept* merupakan kendaraan roda empat yang dirancang hampir menyerupai mobil pada umumnya, namun dengan dimensi yang lebih kecil<sup>2</sup>.

Semua kendaraan yang dibuat oleh peserta harus melewati beberapa tahap inspeksi sebagai persyaratan mengikuti lomba, jika mobil yang di inspeksi tidak memenuhi standar yang diberlakukan oleh panitia, maka mobil

---

<sup>1</sup> <http://semar.ugm.ac.id/iemc-2013/> diakses pada tanggal 12 Februari 2016 pukul 13.40 WIB.

<sup>2</sup> *Regulasi Teknis KMHE 2015 Bab III*, 2015.

tersebut tidak akan diijinkan mengikuti balapan. Mobil akan di inspeksi ulang dan harus sesuai dengan regulasi yang telah diberikan.

Beberapa inspeksi yang dilakukan adalah sudut belok mobil, dimensi mobil, berat total mobil tanpa pengemudi, dan *roll bar* apakah sudah sesuai dengan regulasi yang diberikan.

Lalu muncul masalah bagaimana rangka *urban concept* ini dibuat agar seringan mungkin untuk meningkatkan kinerja mesin tetapi dimensinya harus sesuai dengan regulasi dan mampu menahan beban statis seberat 70 kg pada tempat pengendara, 70 kg pada *roll bar*, 20 kg pada tempat mesin.

Berdasarkan masalah diatas maka penelitian ini mengambil judul: Desain dan analisis kekuatan pada rangka kendaraan jenis *urban concept* sesuai regulasi KMHE 2015.

## 1.2 Identifikasi Masalah

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

1. Bagaimana desain kendaraan *urban concept* empat roda?
2. Bagaimana desain rangka yang ringan untuk digunakan pada *urban concept*?
3. Bagaimana desain rangka yang kuat untuk digunakan pada *urban concept*?
4. Bagaimana desain rangka yang sesuai dengan persyaratan yang diberikan oleh panitia KMHE?
5. Bagaimana gaya-gaya yang diterima pada struktur rangka?
6. Apakah yang terjadi pada struktur rangka setelah diberikan gaya-gaya?

### 1.3 Pembatasan Masalah

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

1. Skripsi ini hanya membahas masalah rancang bangun struktur rangka yang ringan dan kuat.
2. Kriteria yang akan diberikan mengacu pada regulasi dari KMHE.
3. Kemampuan mampu menahan beban statis seberat 70 kg pada tempat pengendara, 70 kg pada *roll bar*, 20 kg pada tempat mesin.
4. Analisis dilakukan dengan menggunakan *software Autodesk Inventor*.

### 1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah dan pembatasan masalah di atas, maka perumusan masalahnya pada bagaimanakah desain dan analisis kekuatan pada rangka kendaraan jenis *urban concept* yang sesuai dengan regulasi Kontes Mobil Hemat Energi 2015?

### 1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan utama penelitian ini adalah:

1. Merancang dan menganalisis kekuatan struktur rangka kendaraan jenis *urban concept* yang dibuat sesuai dengan regulasi KMHE menggunakan *software Autodesk Inventor*.

## 1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan kreativitas mahasiswa dalam memaksimalkan pemanfaatan *software autodesk inventor* untuk mendesain sehingga tercipta benda yang diinginkan.
2. Diharapkan dapat menjadi referensi tentang proses penelitian struktur rangka dan dapat dijadikan bahan masukan khususnya bagi mahasiswa program studi teknik mesin dalam pengaplikasian kuliah mekanika teknik dan desain berbasis komputer.
3. Memberikan solusi kemudahan dalam perancangan rangka ringan dan kuat pada kendaraan jenis *urban concept*.
4. Untuk memperluas wawasan dan pengetahuan penulis.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Teori Dasar Perancangan**

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.<sup>3</sup>

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 sesuai. 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.

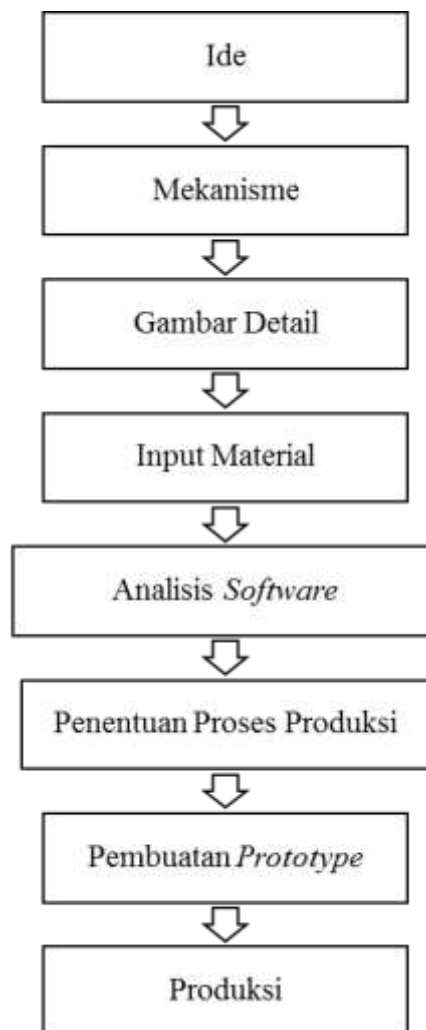
Kegunaan perancangan juga harus memperhitungkan bentuk, warna, tekstur dari suatu benda agar benda terbentuk sempurna dan juga meminimalisir kesalahan yang terjadi. Banyak yang harus diperhatikan dalam merancang salah satunya material yang digunakan. Perancang harus memilih bahan yang sesuai untuk benda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

---

<sup>3</sup> Eulistyetio, <http://elib.unikom.ac.id/files/disk1/306/jbptunikompp-gdl-eulistyetio-15298-2-babii.pdf> diakses pada tanggal 13 Februari 2016, pukul 19.15 WIB

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 yang berfungsi menjadi solusi atas permasalahan yang sedang dialami.
- b. Menentukan mekanisme produk yang akan dibuat. Apakah produk tersebut akan statis atau 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 ketidaktersediaan material atau komponen yang ada di material 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 dilakukan produksi di *workshop*.



Gambar 2.1. Gambar Alur Perancangan

## 2.2 Teori Dasar Rangka

Rangka 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, stir, pengereman, interior, bodi dan komponen-komponen lainnya. Fungsi utama dari rangka adalah<sup>4</sup>:

---

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



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. *Ladderframe*
- b. *Tubular space frame*
- c. *Monocoque*
- d. *Backbone chassis*
- e. *Aluminium space frame*

a. *Ladder Frame*

*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.<sup>5</sup>



Gambar 2.2. *Ladder Frame*<sup>6</sup>

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.

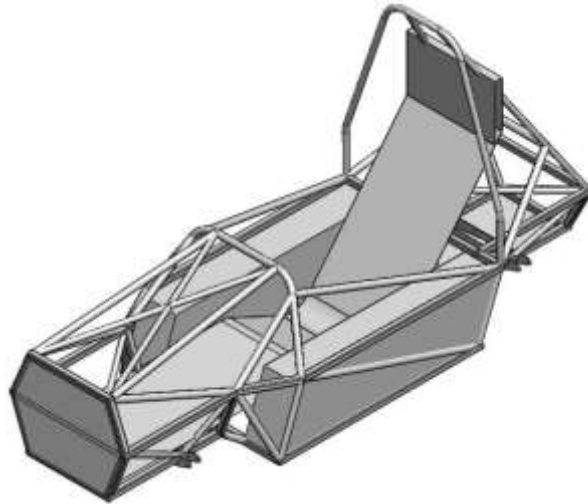
#### b. *Tubular Space Frame*

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

<sup>5</sup> Costin, Michael and Phipps, David. Racing and Sports Car Chassis Design. (London : B. T. Batsford Ltd, 1965), h. 8

<sup>6</sup> Singh. Abhishek, Dkk, Structural Analysis of Ladder Chassis for Higher Strength, (India : International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Research, 2014), h. 1

dalam membangunnya.<sup>7</sup> 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*<sup>8</sup>

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.

---

<sup>7</sup> Costin, *Op.Cit.*, h. 10

<sup>8</sup> Waterman. Brendan. J, Design and Construction of a Space-frame Chassis. (Australia : School of Mechanical and Chemical Engineering University of Western, 2011), h. 47

c. *Monocoque*

*Monocoque* merupakan satu kesatuan struktur *chassis* dari bentuk kendaraannya sehingga *chassis* ini memiliki bentuk yang beragam yang menyesuaikan dengan bodi mobil.<sup>9</sup> Meskipun terlihat seperti satu kesatuan dari rangka dan bodi mobilnya, namun sebenarnya *chassis* ini dibuat dengan menggunakan pengelasan melalui proses otomasi sehingga hasil pengelasan yang berbentuk sempurna dan terlihat seperti tidak ada hasil pengelasan. Material yang digunakan adalah baja sedangkan pada *chassis* lain digunakan campuran material antara baja dengan aluminium sehingga bobotnya lebih ringan. Kelemahan lainnya adalah tidak mungkin untuk pembuatan mobil bersekala kecil karena membutuhkan proses produksi menggunakan robot. Sebagai contoh dapat dilihat pada gambar 2.4. dimana *chassis* ini terlihat kesatuan struktur yang menyawa mulai dari bagian depan hingga belakang dimana merupakan produk massal untuk kebutuhan transportasi pada umumnya.



Gambar 2.4 *Monocoque*<sup>10</sup>

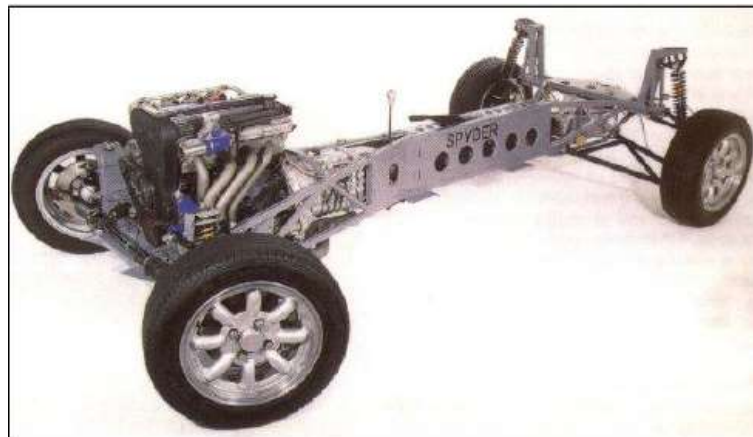
<sup>9</sup> Costin, *Op.Cit.*, h. 17

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

#### d. Backbone

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.<sup>11</sup>

Bentuk rancang bangun *chassis* jenis tipe ini adalah tetap dengan mengandalkan *backbone* tetapi dengan menambahkan struktur tambahan untuk lebih mengkokokkan *backbone* itu sendiri. Harus dicatat bahwa *chassis backbone* ini bisa dibuat dalam berbagai bentuk konstruksi. *Space 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. Berikut *chassis backbone* yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.5. *Chassis Backbone*<sup>12</sup>

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

<sup>12</sup> Sazuan. Mohamad, *Design and Analysis of Car Chassis*. (Malaysia : Universiti Malaysia Pahang, 2012), h. 9

### 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 untuk menghasilkan sebuah rangka yang ringan. Aluminium *space frame* diklaim 40% lebih ringan dibanding dengan rangka baja *monocoque* namun 40% lebih rigid.<sup>13</sup> Berikut adalah aluminium *chassis frame* yang ditunjukkan pada gambar.



Gambar 2.6. Aluminium Chassis Frame

## 2.3 Teori Dasar *Finite Element Methode*

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.

14

<sup>13</sup> Technical F1, <http://www.formula1-dictionary.net/chassis.html> diakses pada tanggal 26 Januari 2016, pukul 14.00 WIB

<sup>14</sup> 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 diferensial atau integral. Karena alasan tersebut, metode elemen hingga menjadi salah satu cara dalam menyelesaikan bentuk diferensial 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 di ringkas sebagai berikut<sup>15</sup>:

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. Pemilihan fungsi pemindah atau fungsi interpolasi, jenis-jenis fungsi yang sering digunakan adalah fungsi linier, fungsi kuadratik, kubik atau polinomial derajat tinggi.
3. Mencari hubungan *strain*, *displacement* dan *stress*.
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. Gunakan persamaan kesetimbangan dengan persamaan, masukan syarat batas yang diketahui dalam soal.
6. Selesaikan persamaan pada langkah 5 dengan menghitung harga yang belum diketahui. Jika perhitungan melibatkan matriks dengan ukuran yang kecil, biasanya ditempuh dengan cara *partitioning* matriks, tetapi jika perhitungan

---

<sup>15</sup> Susetyo. Yerri, Dasar Dasar Metode Elemen Hingga, (Yogyakarta : Andi Publiser,2004), hh. 3-4



melibatkan matriks berukuran besar, komputer adalah jalan terbaik dalam mendapatkan solusinya.

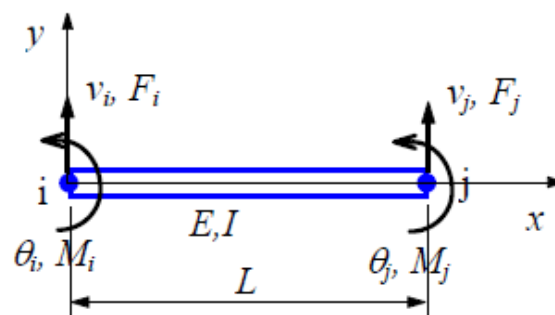
7. Hitung *strain* dan *stress* dari setiap elemen.
8. Interpretasikan kembali hasil-hasil perhitungan yang diperoleh.

### 2.3.1 Konsep Dasar *Finite Element Method*

FEM didasari pada ide dalam membangun objek kompleks atas satuan sederhana atau membagi obyek kompleks atas satuan-satuan kecil agar mudah pengelolaannya. Analisis FEM pada suatu permasalahan bersifat skematis sehingga dapat dibagi-bagi menjadi kumpulan langkah logis yang dapat diimplementasikan pada suatu komputer dan dapat digunakan pada berbagai permasalahan hanya dengan mengganti data masukannya.<sup>16</sup>

FEM juga dapat menjadikan elemen-elemen untuk memperoleh simpangan-simpangan dan gaya-gaya dari suatu struktur dengan menggunakan elemen-elemen kontinu untuk memperoleh solusi pendekatan terhadap permasalahan-permasalahan perpindahan panas, mekanika fluida dan mekanika solid.

- a. Elemen 1 dimensi



<sup>16</sup> Bathe, *Op.Cit.*, h. 148

Gambar 2.7. *Beam* dengan Penampang *Uniform*

L = panjang

F = gaya lateral

I = momen inersia

M = momen

E = modulus elastis

 $v = v(x)$  = defleksi (perpindahan lateral) dari sumbu netral $\theta = dv/dx$  = rotasi pada sumbu z

Persamaan kesetimbangan beam tanpa beban disajikan dalam persamaan diferensial:

$$\frac{\partial^4 v}{\partial x^4} = 0 \quad (2.1.)$$

dimana  $v(x)$  adalah defleksi *beam*, yang merupakan solusi dari persamaan diferensial.  $v(x)$  dinyatakan dalam bentuk polinomial derajat tiga:

$$v(x) = a_1 + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3 \quad (2.1a.)$$

dimana koefisien  $a_i$  akan ditentukan dari kondisi batas dari setiap node:

Pada $x=0$	$v=v_1$	dan	$\frac{\partial v}{\partial x} = \theta_1$
$x=L$	$v=v_2$	dan	$\frac{\partial v}{\partial x} = \theta_2$

Diferensialkan persamaan (2.1a) terhadap  $x$ :

$$\frac{\partial v(x)}{\partial x} = a_2 + 2a_3x + 3a_4x^2 \quad (2.1b.)$$

Substitusi harga batas yang ada ke persamaan (2.1a.) dan persamaan (2.1b.)

$x = 0$	$v = v_1$	maka	$v_1 = a_1$	(dari 2.1a.)
$x = 0$	$\frac{\partial v}{\partial x} = \theta_1$	maka	$\theta_1 = a_2$	(dari 2.1b.)
$x = L$	$v = v_2$	maka	$v_2 = a_1 + La_2 + L^2a_3 + L^3a_4$	
$x = L$	$\frac{\partial v}{\partial x} = \theta_2$	maka	$\theta_2 = a_2 + 2a_3L + 3a_4L^2$	

Dari keempat persamaan diatas, diperoleh persamaan-persamaan  $v_1$ ,  $\theta_1$ ,  $v_2$ ,  $\theta_2$

dinyatakan masing-masing dalam  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , dan  $a_4$

$$\begin{Bmatrix} v_1 \\ \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & L & L^2 & L^3 \\ 0 & 1 & 2L & 3L^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \end{Bmatrix} \quad (2.2.)$$

Persamaan ini dinyatakan dalam bentuk simbol:

$$\{q\} = [T] \{a\} \quad (2.2a.)$$

maka  $\{a\} = [T]^{-1} \{q\}$  dimana  $[T]^{-1}$  adalah invers dari  $[T]$ :

$$\begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{Bmatrix} = \frac{1}{L^3} \begin{bmatrix} L^3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L^3 & 0 & 0 \\ -3L & -2L^2 & 3L & -L^2 \\ 2 & L & -2 & L \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 \\ \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad (2.3.)$$

Substitusi masing-masing  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , dan  $a_4$  ke persamaan (2.1a.):

$$v(x) = v_1 + x\theta_1 - \frac{3x^2}{L^2}v_1 - \frac{2x^2}{L}\theta_1 + \frac{3x^2}{L^2}v_2 - \frac{x^2}{L}\theta_2 + \frac{2x^3}{L^3}v_1 + \frac{x^3}{L^2}\theta_1 - \frac{2x^3}{L^3}v_2 + \frac{x^3}{L^2}\theta_2 \quad (2.4.)$$

Atur kembali persamaan (2.4) sehingga terbentuk:

$$v(x) = f_1(x)v_1 + f_2(x)\theta_1 + f_3(x)v_2 + f_4(x)\theta_2 \quad (2.5.)$$

dimana:

$$f_1(x) = 1 - 3\left(\frac{x}{L}\right)^2 + 2\left(\frac{x}{L}\right)^3$$

$$f_2(x) = x - 2\left(\frac{x^2}{L}\right) + \frac{x^3}{L^2}$$

$$f_3(x) = 3\left(\frac{x}{L}\right)^2 - 2\left(\frac{x}{L}\right)^3$$

$$f_4(x) = -\left(\frac{x^2}{L}\right) + \frac{x^3}{L^2}$$

### 1. Beam dengan Beban Terdistribusi

Kerja atau usaha yang dilakukan oleh beban (berupa gaya atau momen) pada

*beam*, dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$W = \frac{1}{2} [Y_1 \quad M_1 \quad Y_2 \quad M_2] \begin{Bmatrix} v_1 \\ \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad (2.6.)$$

dimana  $[Y_1 \ M_1 \ Y_2 \ M_2] =$  matrik beban dan matrik kolom  $\{v_1 \ \theta_1 \ v_2 \ \theta_2\}^T$  adalah matrik *Displacement*.

Dalam bentuk lain, Kerja dalam persamaan diatas dapat ditulis:

$$W = \frac{1}{2} \int_0^L P(x)v(x) dx \quad (2.7.)$$

dimana:  $P(x) =$  gaya atau momen yang dikenakan pada *beam*

$v(x) =$  fungsi defleksi = persamaan (2.5.)

Samakan kedua persamaan (2.6.) dan (2.7.):

$$\frac{1}{2} [Y_1 \ M_1 \ Y_2 \ M_2] \begin{Bmatrix} v_1 \\ \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \int_0^L P(x) [f_1 \ f_2 \ f_3 \ f_4] \begin{Bmatrix} v_1 \\ \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} dx$$

$$[Y_1 \ M_1 \ Y_2 \ M_2] = \int_0^L P(x) \{f_1 \ f_2 \ f_3 \ f_4\} dx \quad (2.8.)$$

Atau dapat ditulis dalam bentuk lain:

$$\begin{Bmatrix} Y_1 \\ M_1 \\ Y_2 \\ M_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \int_0^L P(x) f_1(x) dx \\ \int_0^L P(x) f_2(x) dx \\ \int_0^L P(x) f_3(x) dx \\ \int_0^L P(x) f_4(x) dx \end{Bmatrix} \quad (2.8a.)$$

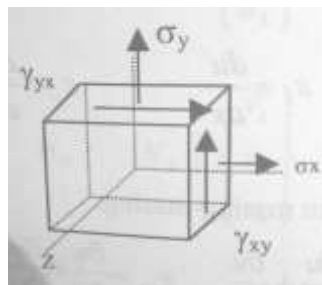
Dalam bentuk simbol ditulis:

$$F_i = \int_0^L P(x) f_i(x) dx \quad (2.8b.)$$

b. Elemen 2 dimensi adalah elemen yang dapat menahan beban pada arah datar saja (sumbu x, y) dan umumnya beban yang bekerja adalah beban terpusat.<sup>17</sup> Secara umum, tegangan dan regangan dalam struktur terdiri dari enam komponen, yaitu:

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$  untuk *stress*, dan

$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}$  untuk *strain*



Gambar 2.8. Normal *Stress* dan *Shear Stress*

1. Dalam kasus *Plane Stress* komponen-komponen dari Normal *Stress* dan *Shear Stress* bekerja dalam dua arah saja (tidak pada arah sumbu z) sehingga:

$$\sigma_z = \tau_{zy} = \tau_{zx} = (\epsilon_z \neq 0) \quad (2.9.)$$

Hubungan antara *stress* dan *strain*:

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_x + \nu \epsilon_y)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_y + \nu \epsilon_x) \quad (2.10.)$$

$$\tau_{xy} = G \gamma_{xy} \quad (2.11.)$$

Persamaan konstitutif dalam bentuk matrik dibentuk dari persamaan diatas:

<sup>17</sup> Bangun. M., <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/30280/4/Chapter%20II.pdf> diakses pada tanggal 24 Juni 2016, pukul 02.16 WIB

$$\{\sigma\} = [c]_{\sigma} \{\varepsilon\} \quad (2.12.)$$

$\{\sigma\}$  = vektor *Stress*

$[c]_{\sigma}$  = matriks konstitusi untuk *Plane Stress*

$\{\varepsilon\}$  = vektor *Strain*

2. Dalam kasus *Plane Strain* pembebanan terjadi searah melintang sepanjang sumbu z, sehingga:

$$\varepsilon_z = \gamma_{zy} = \gamma_{zx} = (\sigma_z \neq 0) \quad (2.13.)$$

Persamaan konstitutif dalam bentuk matrik dibentuk dari persamaan (2.11):

$$\{\sigma\} = [c]_{\varepsilon} \{\varepsilon\} \quad (2.14.)$$

$\{\sigma\}$  = vektor *Stress*

$\{\varepsilon\}$  = vektor *Strain*

$[c]_{\varepsilon}$  = matriks konstitusi untuk *Plane Strain*

Hubungan *Strain dan Displacement*, yaitu:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \quad (2.15.)$$

Diferensial parsial ketiga persamaan ini dalam bentuk matrik:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial / \partial x & 0 \\ 0 & \partial / \partial y \\ \partial / \partial y & \partial / \partial x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} \quad (2.16.)$$

Dalam bentuk simbol dapat ditulis:

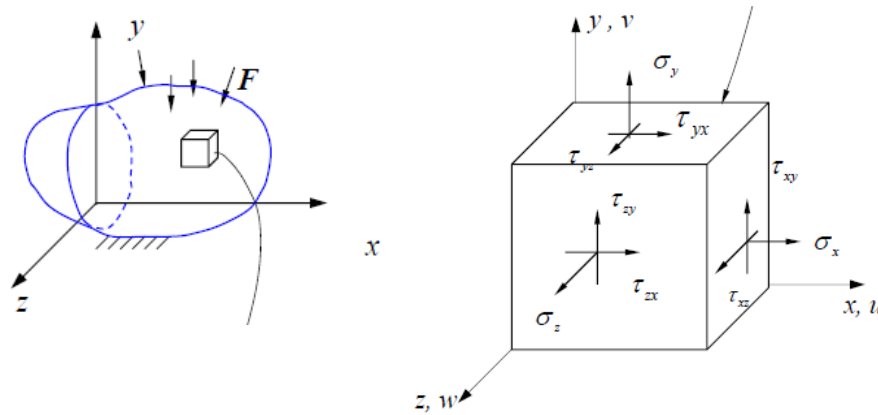
$$\{\varepsilon\} = [B]\{q\} \quad (2.17.)$$

$\{\varepsilon\}$  = vektor *Strain*

$[B]$  = matrik *Strain-Displacement*

$\{q\}$  = vektor *Displacement*

- c. Elemen 3 dimensi adalah elemen yang dapat menahan beban pada semua arah (sumbu x, y dan z) dan umumnya beban yang bekerja adalah beban terpusat.



Gambar 2.9. *Stress State*

1. Dalam *Stress State* vektor *Stress* dan vektor *Strain* mendapat pembebanan dari semua arah (sumbu x, y, z ), sehingga:

*Stress:*

$$\boldsymbol{\sigma} = \{ \boldsymbol{\sigma} \} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix}, \quad \text{or} \quad [ \sigma_{ij} ] \quad (2.18.)$$

*Strain:*

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \{ \boldsymbol{\varepsilon} \} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix}, \quad \text{or} \quad [ \varepsilon_{ij} ] \quad (2.19.)$$

Hubungan *Stress-Strain*:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix}$$

atau  $\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{E}\boldsymbol{\varepsilon}$  (2.20.)

*Displacement*:

$$\mathbf{u} = \begin{Bmatrix} u(x, y, z) \\ v(x, y, z) \\ w(x, y, z) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} \quad (2.21.)$$

Hubungan *Strain-Displacement*:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z},$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}, \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}, \quad \gamma_{zx} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \quad (2.22.)$$

atau

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad (i, j=1, 2, 3)$$

atau

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (2.23.)$$

*Equilibrium Equations*:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + f_x = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + f_y = 0 \quad (2.24.)$$

$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + f_z = 0$$



atau

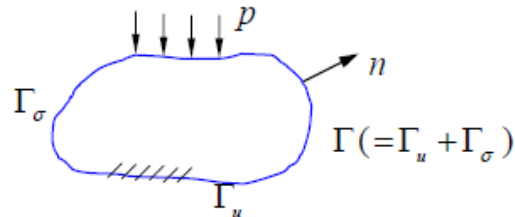
$$\sigma_{ij,j} + f_i = 0$$

*Boundary Conditions:*

$$u_i = \bar{u}_i, \quad \text{on } \Gamma_u \text{ (specified displacement)}$$

$$t_i = \bar{t}_i, \quad \text{on } \Gamma_\sigma \text{ (specified traction)}$$

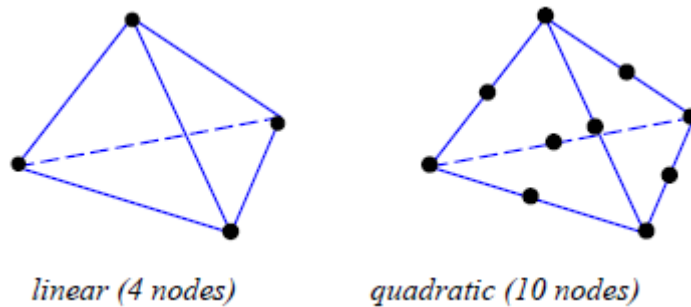
$$\text{(traction } t_i = \sigma_{ij} n_j \text{)}$$



Gambar 2.10. *Boundary Conditions*

#### d. Tipe Elemen 3D Solid

Elemen *Tetrahedron*



*linear (4 nodes)*

*quadratic (10 nodes)*

Gambar 2.11. Elemen *Tetrahedron*

Elemen *tetrahedron quadratic* (10 node) lebih akurat dibandingkan linear (4 node) dalam analisis *stress* 3D, namun untuk analisis deformasi statis dan getaran lebih di anjurkan menggunakan yang linear (4 node).

##### 1. Perpindahan tiap node

$$\{d\} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ \vdots \\ u_4 \\ v_4 \\ w_4 \end{Bmatrix} \quad (2.25.)$$

Terdapat 3 derajat kebebasan tiap node, total 12 derajat kebebasan tiap elemen.

## 2. Fungsi perpindahan linear

$$\begin{aligned}
 u(x, y, z) &= a_1 + a_2x + a_3y + a_4z \\
 v(x, y, z) &= a_5 + a_6x + a_7y + a_8z \\
 w(x, y, z) &= a_9 + a_{10}x + a_{11}y + a_{12}z
 \end{aligned} \quad (2.26.)$$

Dari koordinat node  $x_1, y_1, z_1, \dots, z_4$  (diketahui) dan perpindahan tiap node

elemen  $u_1, v_1, w_1, \dots, w_4$  (tidak diketahui):

$$\begin{aligned}
 u(x, y, z) &= \frac{1}{6V} \{ (\alpha_1 + \beta_1x + \gamma_1y + \delta_1z)u_1 \\
 &\quad + (\alpha_2 + \beta_2x + \gamma_2y + \delta_2z)u_2 \\
 &\quad + (\alpha_3 + \beta_3x + \gamma_3y + \delta_3z)u_3 \\
 &\quad + (\alpha_4 + \beta_4x + \gamma_4y + \delta_4z)u_4 \} \quad (2.27.)
 \end{aligned}$$

Menghitung determinan:

$$6V = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad (2.28.)$$

$V$  = volume *tetrahedron*

Koefisien  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i,$  dan  $\delta_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ )bb :

$$\alpha_1 = \begin{vmatrix} x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad \beta_1 = * \begin{vmatrix} 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_3 & z_3 \\ 1 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad (2.29.)$$

$$\gamma_1 = \begin{vmatrix} 1 & x_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad \delta_1 = * \begin{vmatrix} 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \\ 1 & x_4 & y_4 \end{vmatrix}$$

$$\alpha_2 = * \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad \beta_2 = \begin{vmatrix} 1 & y_1 & z_1 \\ 1 & y_3 & z_3 \\ 1 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad (2.30.)$$

$$\gamma_2 = * \begin{vmatrix} 1 & x_1 & z_1 \\ 1 & x_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad \delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_3 & y_3 \\ 1 & x_4 & y_4 \end{vmatrix}$$

$$\alpha_3 = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad \beta_3 = * \begin{vmatrix} 1 & y_1 & z_1 \\ 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad (2.31.)$$

$$\gamma_3 = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & z_2 \\ 1 & x_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad \delta_3 = * \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_4 & y_4 \end{vmatrix}$$

$$\alpha_4 = * \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{vmatrix} \quad \beta_4 = \begin{vmatrix} 1 & y_1 & z_1 \\ 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_3 & z_3 \end{vmatrix} \quad (2.32.)$$

$$\gamma_4 = * \begin{vmatrix} 1 & x_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & z_3 \end{vmatrix} \quad \delta_4 = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{vmatrix}$$

### 3. Perpindahan node dari fungsi *shape function*

Dari hasil substitusi nilai-nilai koefisien kedalam persamaan (2.27), diperoleh:

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & 0 & 0 & N_4 & 0 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & 0 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & 0 & 0 & N_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ \vdots \\ u_4 \\ v_4 \\ w_4 \end{Bmatrix} \quad (2.33.)$$

### 4. *Shape function*

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{(\alpha_1 + \beta_1 x + \gamma_1 y + \delta_1 z)}{6V} & N_2 &= \frac{(\alpha_2 + \beta_2 x + \gamma_2 y + \delta_2 z)}{6V} \\ N_3 &= \frac{(\alpha_3 + \beta_3 x + \gamma_3 y + \delta_3 z)}{6V} & N_4 &= \frac{(\alpha_4 + \beta_4 x + \gamma_4 y + \delta_4 z)}{6V} \end{aligned} \quad (2.34.)$$

## 2.4 Autodesk Inventor

*Autodesk Inventor* adalah salah satu *Autodesk Corp* yang diperuntukkan 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<sup>18</sup>:

1. Memiliki kemampuan *parametric solid modelling*, 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.
2. Memiliki kemampuan *animation* yaitu kemampuan untuk menganimasikan suatu file *assembly* mengenai jalannya suatu alat yang telah di *assembly* dan dapat disimpan dalam file AVI.
3. Memiliki kemampuan *automatic create technical 2D drawing* serta *bill of material* dan tampilan *shading* 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.

---

<sup>18</sup> Hidayat, Nur dkk. Autodesk Inventor Mastering 3D Mechanical Design. (Bandung : Informatika, 2011), hh. 1-2

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 Analysis*

*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.<sup>19</sup>

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*.

---

<sup>19</sup> Syaiful A. B Alchazin, Modul Training Autodesk Inventor 2012, (Bogor: LAPAN, 2011), h. 53

## 2.6 *Frame Analysis*

*Frame Analysis* digunakan untuk memahami integritas struktural bingkai diberikan mengenai deformasi dan tekanan, ketika mengalami berbagai pemuatan dan kendala. Setelah kriteria ditentukan, simulasi dapat dijalankan dan dapat dilihat perilaku relatif terhadap kondisi yang telah ditetapkan. Simulasi membantu mengidentifikasi masalah kinerja dan menemukan alternatif desain yang lebih baik.<sup>20</sup>

## 2.7 *Safety Factor*

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 ( $\sigma_d$ ), kadang disebut tegangan yang diijinkan (*allowable stress*).<sup>21</sup> 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 yang dibuat oleh organisasi yang menetapkan standar, seperti *American Society of Mechanical Engineers*, *American Gear Manufacturers Association*, *U.S. Departement of Defense*, *Aluminium Association* atau *American Institute of Steel*

<sup>20</sup> Frame Analysis, <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Inventor-Help/files/guid-302b683f-8cac-46a4-bd67-e39d4bac0997-htm.html> diakses pada tanggal 22 April 2016, pukul 11.30 WIB

<sup>21</sup> Mott, Robert L, *Machine Elements In Mechanical Design fourth edition*. (Ohio: Upper Saddle River, 2004), hh. 185-186

*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 bahan-bahan 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 kermanan secara matematis ditulis<sup>22</sup>

$$\text{Safety Factor} = \frac{\text{Yield Point Stress}}{\text{Working atau design stress}} \quad (2.35.)$$

---

<sup>22</sup> *Ibid*, h. 183.

## 2.8 Teori Tegangan Von Mises

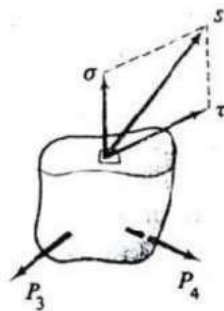
Teori ini memperkirakan suatu kegagalan mengalah dalam tegangan geser yang memadai lebih besar dari yang diperkirakan oleh teori tegangan geser maksimal. Untuk analisis perancangan akan lebih mudah jika kita menggunakan tegangan *Von Mises* yaitu persamaan yang berkaitan dengan suatu tegangan dalam tiga sumbu.<sup>23</sup>

$$\sigma' = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \quad (2.36.)$$

## 2.9 Mekanika Teknik<sup>24</sup>

### 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 2.12. Komponen-komponen tegangan normal dan geser<sup>25</sup>  
Tegangan normal adalah intensitas gaya yang bekerja normal (tegak lurus)

terhadap irisan yang mengalami tegangan, dan dilambangkan dengan ( $\sigma$ ).

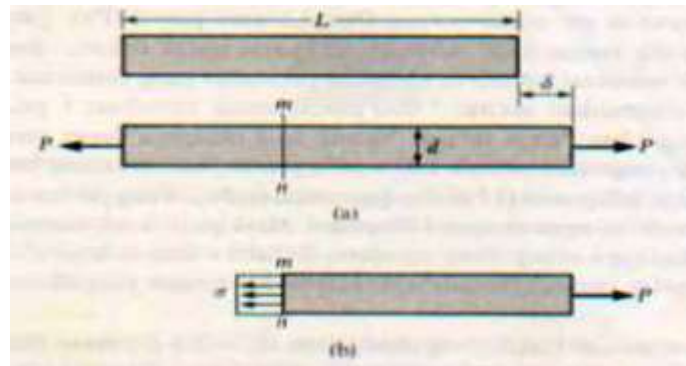
<sup>23</sup> *Ibid*, h. 189

<sup>24</sup> Tim Dosen. Tegangan Normal Dan Tegangan Geser, (Bogor : IPB,2010). hh. 1-4

<sup>25</sup> *Ibid*, h. 1



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 2.13. Batang Prismatik yang dibebani Gaya Aksial<sup>26</sup>

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.

---

<sup>26</sup> *Ibid*, h. 3

Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tarik pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.



Gambar 2.14. Gaya Tarik Aksial

## 2. Tegangan Tekan (*Compressive Stress*)

Apabila sepasang gaya tekan aksial mendorong suatu batang, akibatnya batang ini cenderung untuk mempendek 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 2.15. Gaya Tekan Aksial

Intensitas gaya (yakni, gaya per satuan luas) disebut tegangan (*stress*) dan lazimnya ditunjukkan dengan huruf Yunani (*sigma*). Dengan menganggap bahwa tegangan terdistribusi secara merata pada seluruh penampang batang, maka resultannya sama dengan intensitas 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 rumus<sup>27</sup>:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Dimana,} \quad \begin{array}{l} \sigma = \text{Tegangan (N/m}^2\text{)} \\ P = \text{Gaya aksial (N)} \\ A = \text{Luas (m}^2\text{)} \end{array} \quad (2.37.)$$

<sup>27</sup> *Ibid*, h. 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, maka<sup>28</sup>:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad \begin{array}{l} \delta = \text{Perubahan bentuk} \\ L = \text{Panjang Batang} \\ \varepsilon = \text{Regangan} \end{array} \quad (2.38.)$$

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 dihasilkan perubahan bentuk sekitar dua kali dari baja dan pada aluminium tiga kali dari baja. Regangan  $\varepsilon$  disebut regangan normal (normal *strain*) karena berhubungan dengan tegangan normal.

Rumus regangan normal berdasarkan hukum Hooke<sup>29</sup>:

$$\sigma = E\varepsilon \rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (2.39.)$$

---

<sup>28</sup> *Ibid*, h. 4

<sup>29</sup> *Loc.cit*

Dimana:

$E$  = modulus elastisitas tekan/tarik

$\sigma$  = tegangan normal satuan

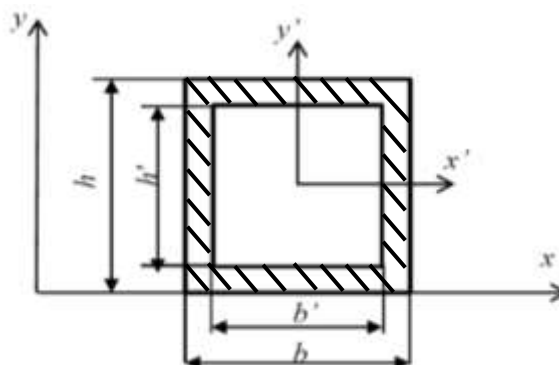
$\varepsilon$  = regangan normal satuan

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 pipa lingkaran.<sup>30</sup>

1. Momen Inersia Penampang *Hollow* segi empat

Untuk luas penampang dari rangka utama yang merupakan aluminium *hollow* persegi panjang dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16. Penampang rangka utama

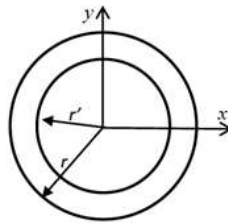
<sup>30</sup> Kamajaya, Cerdas Belajar Fisika, (Jakarta : PT. Grafindo Media Pratama, 2007), h. 177

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 adalah<sup>31</sup>:

$$I = I_{x'} = \frac{1}{12}bh^3 - \frac{1}{12}b'h'^3 \quad (2.40)$$

## 2. Momen Inersia Penampang Pipa

Untuk luas penampang dari *roll bar* yang merupakan aluminium pipa dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17. Penampang *roll bar*

Dengan adanya dimensi dari penampang *roll bar* maka dapat dicari momen inersia luas penampang *roll bar*<sup>32</sup>.

$$I = \frac{\pi(r^4 - r'^4)}{4} \quad (2.41)$$

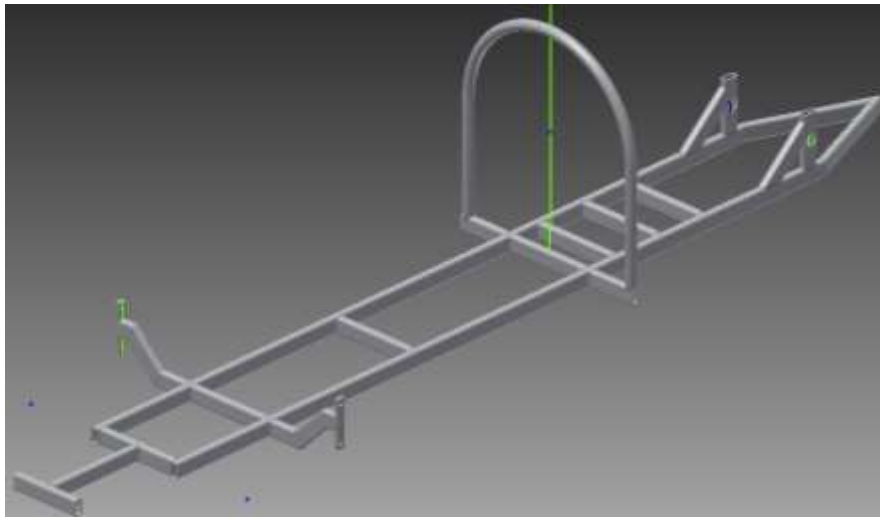
<sup>31</sup> Widodo.Slamet, Dasar-Dasar Analisis Dalam Ilmu Mekanika Bahan,(Jogjakarta:UNY,2009),h 9

<sup>32</sup> *Loc.cit*

## 2.10 Penelitian yang Relevan

Penelitian yang relevan dengan penelitian pengembangan ini adalah penelitian yang dilakukan oleh:

- 1) Hafidz Salafuddin (2016) yang berjudul “Desain dan Analisis Kekuatan pada Rangka Kendaraan Jenis *Prototype* Sesuai Standar *Shell Eco Marathon Asia*”, memberikan hasil yaitu rangka variasi 3 yaitu hollow 50x30 tebal 2 mm dinyatakan sebagai desain rangka untuk kendaraan jenis *prototype* yang paling optimal karena mampu menahan beban statik dan memiliki *Safety factor* 1,78 dan berat 6,6 kg.



Gambar 2.18. Rangka *Prototype*

Tabel 2.1 Hasil analisa dari variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)

	Variasi 3	
	50 x 30 tebal 2 mm	
	Minimum	Maksimum
<i>Volume</i>	2437450 mm <sup>3</sup>	
<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

## 2.11 Regulasi Mengenai Struktur Rangka *Urban Concept*

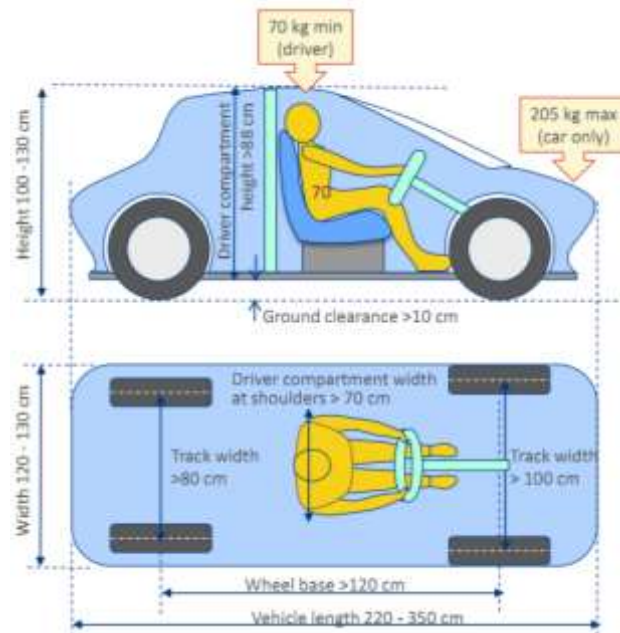
*Urban Concept* adalah salah satu kendaraan yang diperlombakan dalam Kontes Mobil Hemat Energi, *urban concept* ini merupakan kendaraan roda empat yang dirancang hampir menyerupai mobil pada umumnya, namun dengan dimensi yang lebih kecil. Dalam kategori *urban concept* ini terdiri dari beberapa kelas yaitu bensin, diesel, etanol, dan listrik. *Urban Concept* ini harus di desain sesuai dengan regulasi yang telah dikeluarkan oleh panitia KMHE. Beberapa peraturan yang harus diikuti adalah<sup>33</sup>:

1. Berat pengemudi *Urban Concept* adalah 70 kg ketika memakai perlengkapan mengemudi, termasuk alat komunikasi
2. Ukuran (dimensi) kendaraan kelas *Urban Concept*
  - a. Tinggi keseluruhan kendaraan antara 100 cm hingga 130 cm.
  - b. Lebar keseluruhan kendaraan antara 120 cm hingga 130 cm.
  - c. Panjang keseluruhan kendaraan antara 220 cm hingga 350 cm.
  - d. *Track width* (jarak antar roda pada satu sumbu) tidak boleh kurang dari 100 cm untuk roda depan dan 80 cm untuk roda belakang, diukur dari kedua titik kontak roda dengan lintasan.
  - e. Jarak *wheelbase* (sumbu roda) minimal adalah 120 cm.
  - f. Tinggi ruang kemudi tidak boleh kurang dari 88 cm dan lebar minimum 70 cm pada bahu pengemudi.
  - g. Jarak terendah komponen kendaraan dari lintasan (*ground clearance*) tidak boleh kurang dari 10 cm.
  - h. Berat total kendaraan tanpa pengemudi adalah maksimal 205 kg.

---

<sup>33</sup> Regulasi Teknis KMHE 2015 Bab III, 2015, h. 61

- i. Dan salah satu persyaratan khusus untuk kendaraan yang berlomba di kategori ini adalah ‘stop & go driving’.



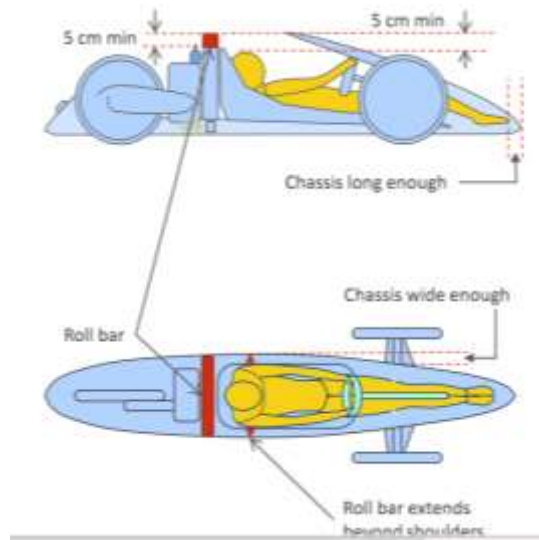
Gambar 2.19. Ketentuan dimensi rangka *urban concept*<sup>34</sup>

3. 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.
  - 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 *chassis* kendaraan atau *monocoque*.

<sup>34</sup> *Ibid*, h. 61



- 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 2.20. Ketentuan *roll bar* rangka *urban concept*<sup>35</sup>

---

<sup>35</sup> *Ibid*, h. 64

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu**

1. Tempat Pembuatan dan Pengujian : Laboratorium Perancangan Jurusan  
Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Jakarta
2. Waktu Pembuatan dan Pengujian : Februari – Mei 2016

#### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

Alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan dan penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### 1. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan peneliti adalah sebagai berikut:

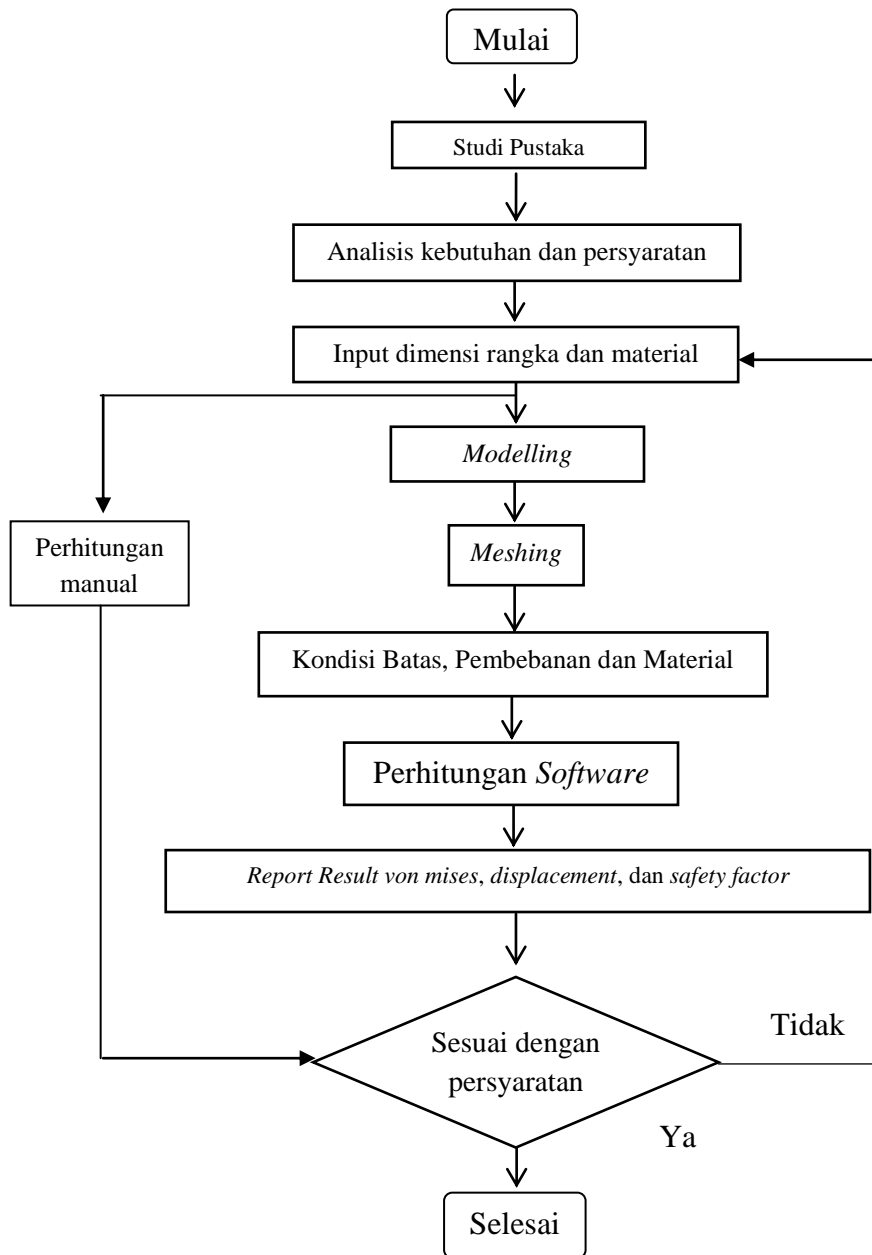
- a. *Autodesk Professional Inventor 2014*
- b. *Autodesk AutoCAD 2007*
- c. *Microsoft Office Word 2013*
- d. *Microsoft Office Excel 2013*

##### 2. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Komputer
- b. Buku dan jurnal yang digunakan sebagai referensi

### 3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Proses Analisa *Software Inventor*

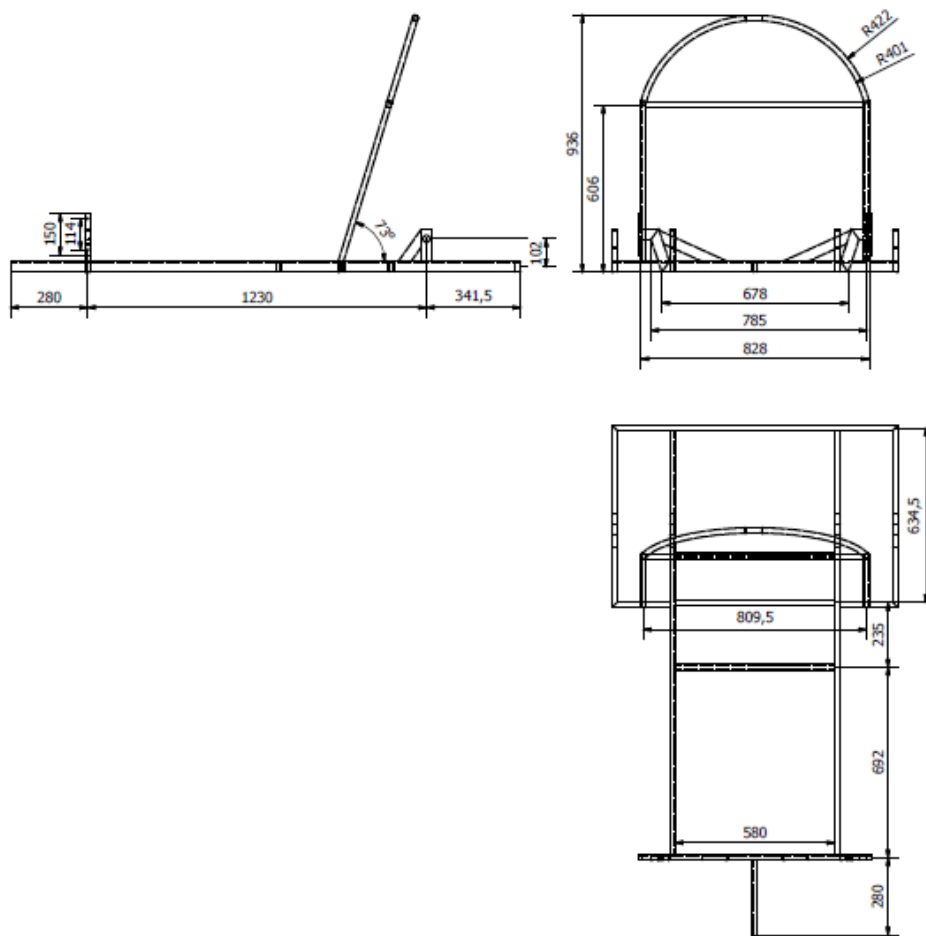
#### 3.3.1 Uraian Prosedur Penelitian

##### 1. Penentuan posisi dan dimensi pengendara

Pengendara yang dipilih adalah yang mempunyai berat minimal 70 kg dan memiliki kemampuan mengemudi dengan baik. Untuk pengukuran dimensi

pengendara, dilakukan dengan pengukuran tinggi dan lebar pengendara yang sedang berposisi mengemudi di *urban concept* dan sedang menggunakan helm, dari pengukuran tersebut kita dapat mengambil dimensi tinggi, lebar, dan panjang *urban concept*.

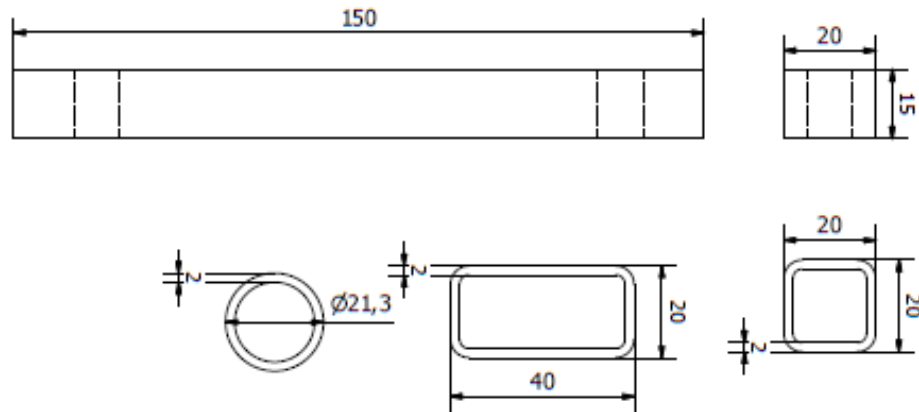
## 2. Penggambaran rangka dalam dua dimensi



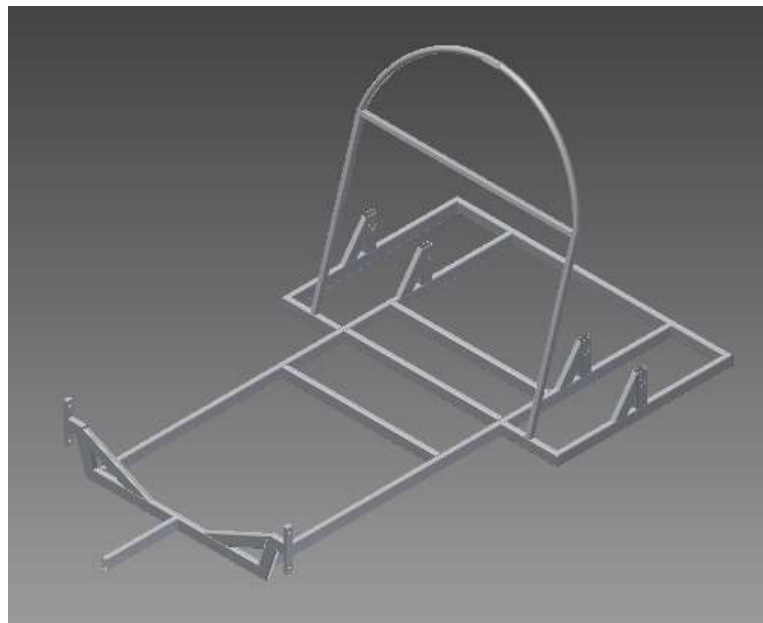
Gambar 3.2. Rangka dalam dua dimensi

Setelah didapatkan dimensi, lalu lakukan *modelling* dengan menggunakan *Autodesk Inventor Professional 2014*. Untuk bagian *chassis* menggunakan *hollow* persegi dengan tinggi 40 mm, lebar 20 mm dan ketebalan 2 mm dengan *flat* panjang 150 mm, lebar 20 mm, ketebalan 15 mm, sedangkan untuk bagian *roll*

*bar* menggunakan pipa dengan diameter 21.3 mm, ketebalan 2 mm dan hollow persegi dengan tinggi 20 mm, lebar 20 mm dan ketebalan 2 mm.



Gambar 3.3. Gambar dimensi *hollow* persegi, *flat*, pipa



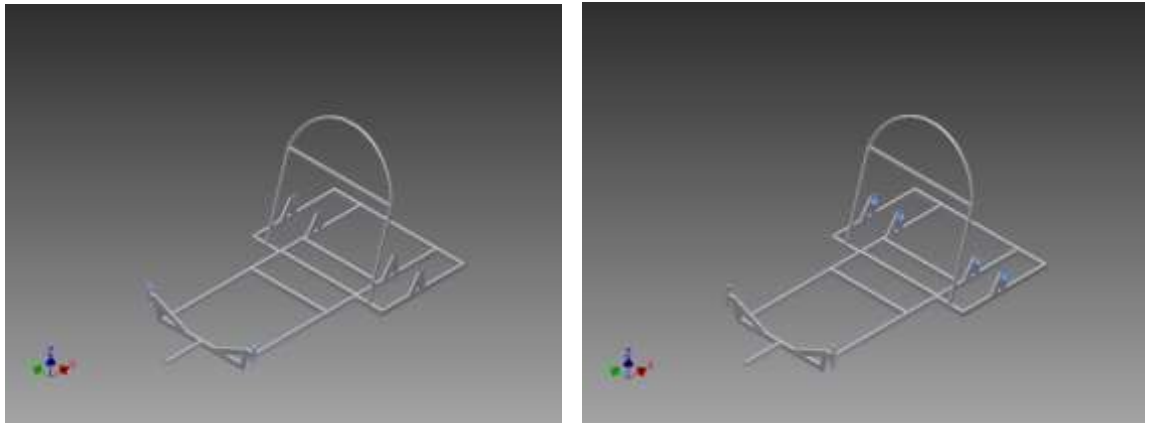
Gambar 3.4. Gambar *Modelling*

*Modelling* rangka *urban concept* ini diasumsikan sambungan antara batang dengan batang yang lainnya *fixed*.

### 3. Penentuan kondisi batas, pembebanan dan material

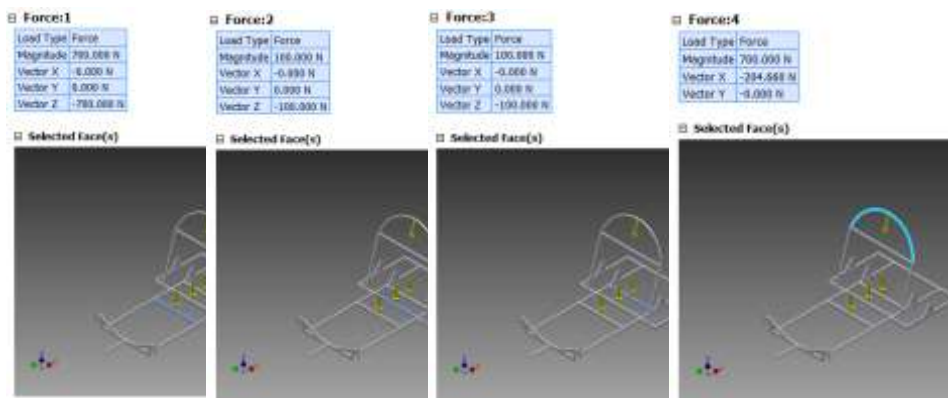
Setelah *modelling* selesai, lalu tentukan kondisi batas, pembebanan dan material di inventor dengan menggunakan *feature stress analysis*.

#### a. Menentukan lokasi *fixed*



Gambar 3.5. Posisi *fixed* pada rangka

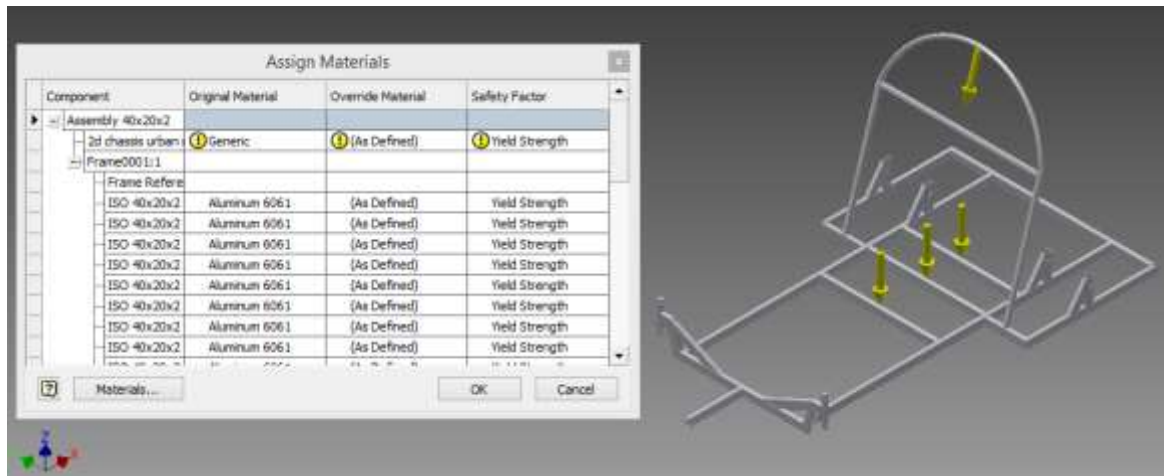
b. Pemberian beban pada rangka, satu bagian di depan untuk simulasi beban pengendara dengan beban 700 N, satu bagian di atas *rollbar* dengan beban 700 N, dua bagian di belakang (*mounting* mesin) dengan beban masing-masing 100 N.



Gambar 3.6. Posisi pembebanan pada rangka

### c. Pemberian Material

Material yang digunakan pada rangka ini adalah aluminium 6061.

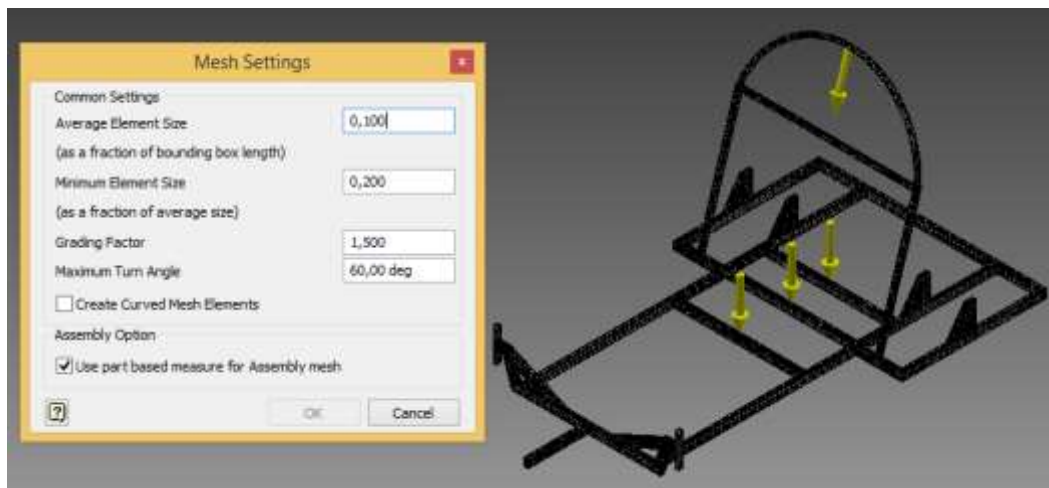


Gambar 3.7. Pemberian data material

### 4. Meshing

Setelah dilakukan pembebanan dan material lalu lakukan *Meshing*.

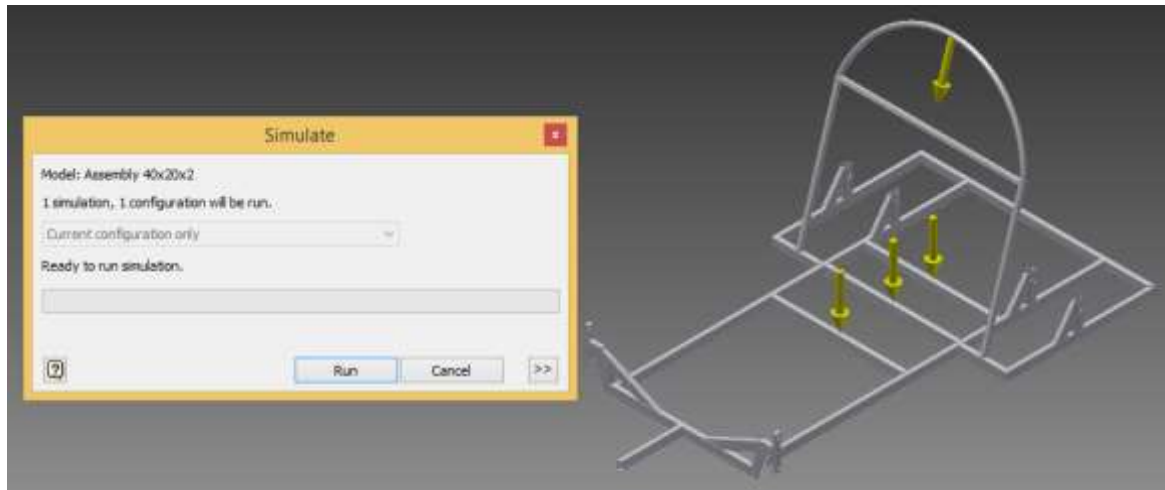
Data rata-rata ukuran elemen gunakan 0.1 yaitu standar dari Inventor.



Gambar 3.8. Meshing

## 5. Perhitungan *Software*

Setelah dimasukan semua data, lalu lakukan perhitungan dengan *simulate*.



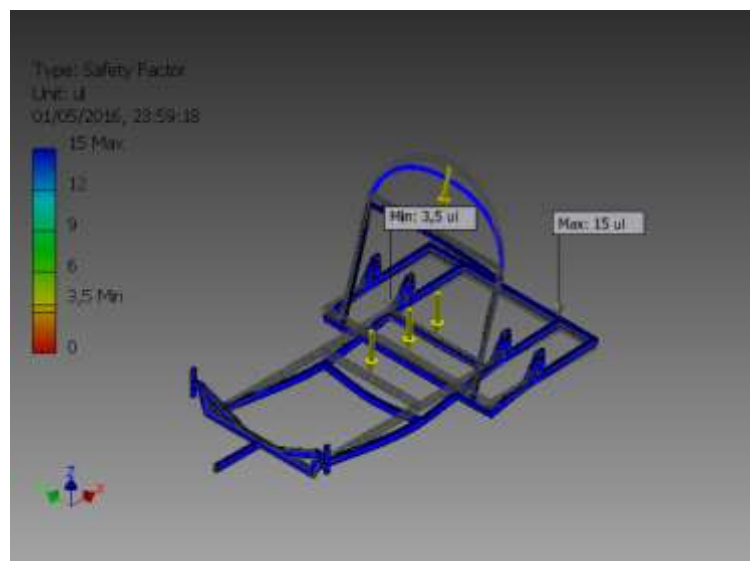
Gambar 3.9. *Simulate*

## 6. *Report*

Hasil perhitungan keluar dalam bentuk *report*, disini dapat dilihat *volume, mass, von mises stress, displacement, dan safety factor* dari rangka.

**Result Summary**

Name	Minimum	Maximum
Volume	2694820 mm <sup>3</sup>	
Mass	7,30296 kg	
Von Mises Stress	0,000040388 MPa	78,4631 MPa
1st Principal Stress	-19,6797 MPa	68,2461 MPa
3rd Principal Stress	-68,628 MPa	18,8364 MPa
Displacement	0 mm	0,838817 mm
Safety Factor	3,50483 ul	15 ul
Stress XX	-51,1022 MPa	63,6986 MPa
Stress XY	-40,1476 MPa	41,63 MPa
Stress XZ	-25,5324 MPa	15,1741 MPa
Stress YY	-60,7948 MPa	36,776 MPa
Stress YZ	-16,7158 MPa	15,4524 MPa
Stress ZZ	-42,5933 MPa	41,8849 MPa
X Displacement	-0,104662 mm	0,0821117 mm
Y Displacement	-0,0920982 mm	0,127687 mm
Z Displacement	-0,838029 mm	0,148947 mm
Equivalent Strain	0,00000000579775 ul	0,00100984 ul
1st Principal Strain	-0,0000645317 ul	0,00090745 ul
3rd Principal Strain	-0,000925538 ul	0,000010847 ul
Strain XX	-0,000595691 ul	0,000819422 ul
Strain XY	-0,000774983 ul	0,000803597 ul
Strain XZ	-0,00049286 ul	0,00029291 ul
Strain YY	-0,000760383 ul	0,000398362 ul
Strain YZ	-0,00032267 ul	0,000298283 ul
Strain ZZ	-0,000455955 ul	0,000515358 ul
Contact Pressure	0 MPa	686,264 MPa
Contact Pressure X	-560,018 MPa	646,736 MPa
Contact Pressure Y	-181,035 MPa	164,775 MPa
Contact Pressure Z	-220,396 MPa	230,834 MPa



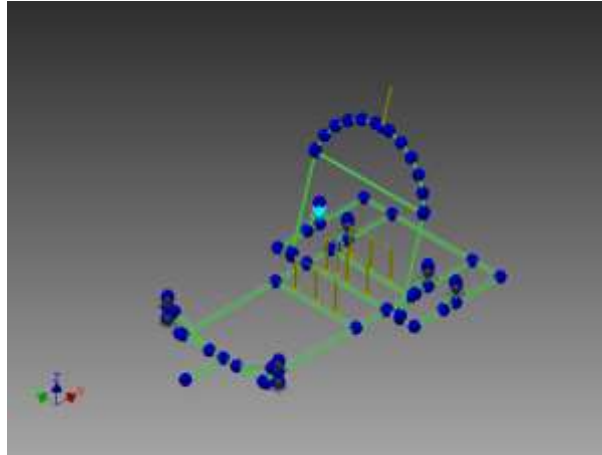
Gambar 3.10. *Report*



## 7. Penentuan kondisi batas, pembebanan untuk *Frame Analysis*

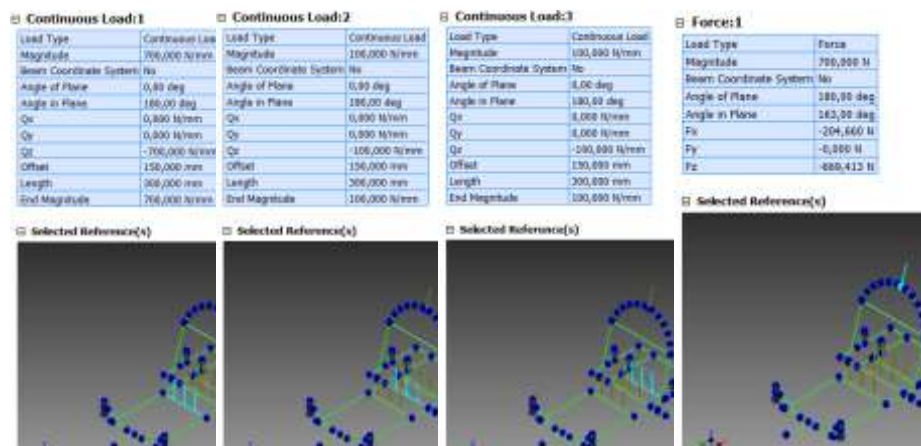
Setelah *Stress Analysis* selesai, lalu tentukan lagi kondisi batas, pembebanan yang sama di inventor dengan menggunakan *feature frame analysis*.

### a. Menentukan lokasi *fixed*



Gambar 3.11. Posisi *fixed* pada rangka

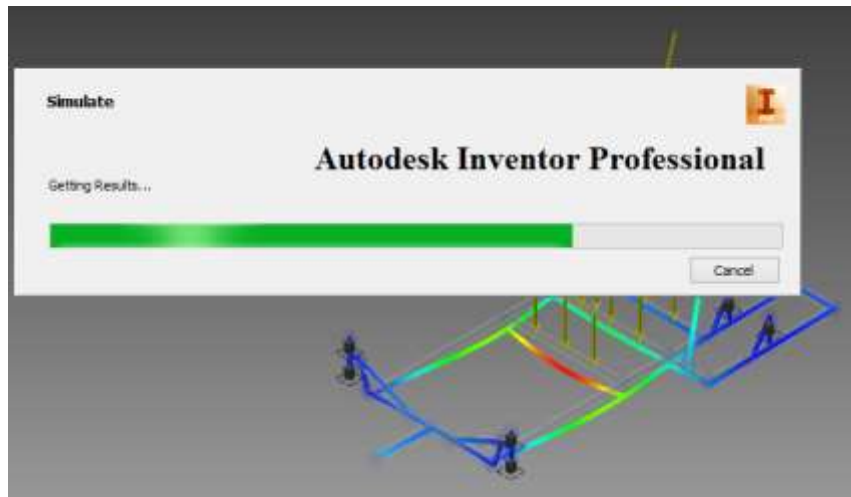
b. Pemberian beban pada rangka, satu bagian di depan untuk simulasi beban pengendara dengan beban 700 N, satu bagian di atas *rollbar* dengan beban 700 N, dua bagian di belakang (*mounting* mesin) dengan beban masing-masing 100 N.



Gambar 3.12. Posisi pembebanan pada rangka

## 8. Perhitungan

Setelah dimasukan semua data, lalu lakukan perhitungan dengan *simulate*.



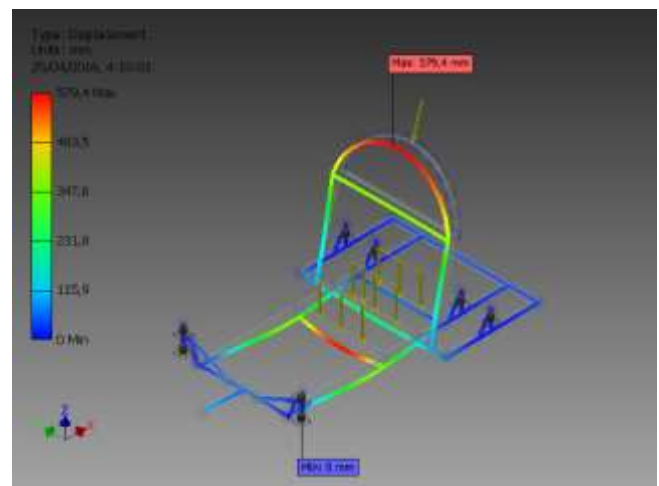
Gambar 3.13. *Simulate*

## 9. Report

Hasil perhitungan keluar dalam bentuk *report*, disini dapat dilihat *volume, mass, von mises stress, displacement, dan safety factor* dari rangka.

### Static Result Summary

Name		Minimum	Maximum
Displacement		0,000 mm	579,413 mm
Forces	Fx	-27457,421 N	49009,338 N
	Fy	-139418,655 N	206029,425 N
	Fz	-304299,884 N	226728,092 N
Moments	Mx	-19587106,524 N mm	14204877,012 N mm
	My	-6141683,236 N mm	6141741,507 N mm
	Mz	-2625592,909 N mm	2625590,600 N mm
Normal Stresses	Smax	-358,205 MPa	9788,137 MPa
	Smin	-9733,298 MPa	666,398 MPa
	Smax(Mx)	0,000 MPa	9673,728 MPa
	Smin(Mx)	-9673,728 MPa	0,000 MPa
	Smax(My)	0,000 MPa	4573,719 MPa
	Smin(My)	-4573,719 MPa	0,000 MPa
	Saxial	-1060,969 MPa	1423,964 MPa
Shear Stresses	Tx	-728,508 MPa	153,039 MPa
	Ty	-1662,317 MPa	1124,878 MPa
Torsional Stresses	T	-1341,695 MPa	1341,695 MPa



Gambar 3.14. *Report*

### 3.4 Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data

#### 3.4.1 Persyaratan Perancangan (KMHE)

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

**Tabel 3.1. Daftar spesifikasi perencanaan**

<b>DAFTAR SPESIFIKASI PERENCANAAN RANGKA <i>URBAN CONCEPT</i></b>	
<i>Demands or Wishes</i>	Persyaratan
	<b>Geometri</b>
	<b>Dimensi Rangka Urban Concept</b>
D	Tinggi Maksimal 130 cm
D	<i>Track Width</i> Depan Minimal 100 cm
D	<i>Track Width</i> Belakang Minimal 80 cm
D	<i>Wheelbase</i> Minimal 120 cm
D	Lebar Maksimal 130 cm
W	Berat $\pm 10$ kg
	<b>Gaya</b>
D	Beban Maksimal yang diterima <i>Roll Bar</i> 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 70 kg, sedangkan gravitasinya $9,8 \text{ m/s}^2$ Gaya yang terjadi adalah $F = m \times g = 70 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$

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

### 3.4.2 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 D 21,3 mm tebal 2 mm Hollow 20x20 mm tebal 2 mm	Plat 150x20 mm tebal 15 mm
2	Hollow 40x20 mm tebal 3 mm	Pipa D 21,3 mm tebal 3 mm Hollow 20x20 mm tebal 2 mm	Plat 150x20 mm tebal 15 mm
3	Hollow 50x30 mm tebal 2 mm	Pipa D 26,9 mm tebal 2 mm Hollow 25x25 mm tebal 2 mm	Plat 150x30 mm tebal 15 mm

### **3.5 Teknik Analisis Data**

Teknik analisis yang digunakan untuk mengukur dalam perancangan rangka *urban concept* adalah *Stress Analysis* dan *Frame Analysis* dari *software Autodesk Inventor*.

#### **3.5.1 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.

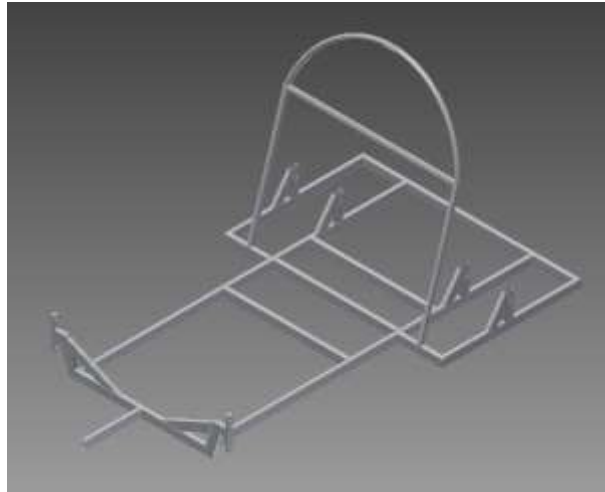
## BAB IV

### HASIL PERANCANGAN

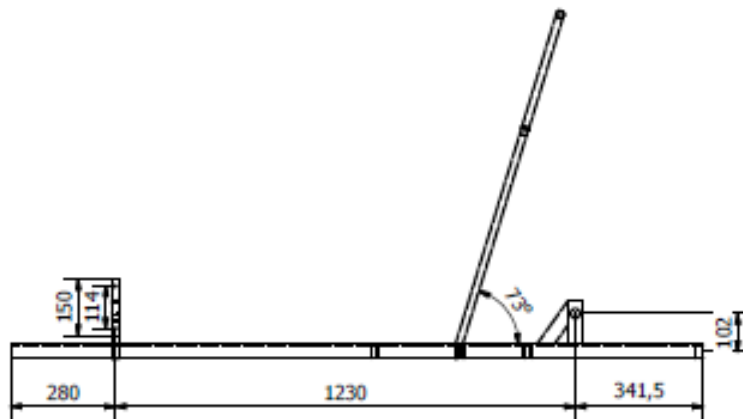
#### 4.1. Model Desain

Model rangka digambar pada aplikasi *Autodesk Inventor Professional 2014*, model rangka dibentuk dalam 3 dimensi, dengan material dan dimensi yang bervariasi, lalu diuji dengan *stress analysis* agar mengetahui kekuatan dari rangka.

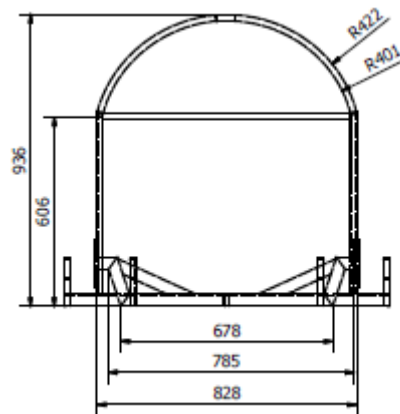
##### a. Rangka



Gambar 4.1. Rangka *urban concept*



Gambar 4.2. Pandangan samping rangka



Gambar 4.3. Pandangan depan rangka

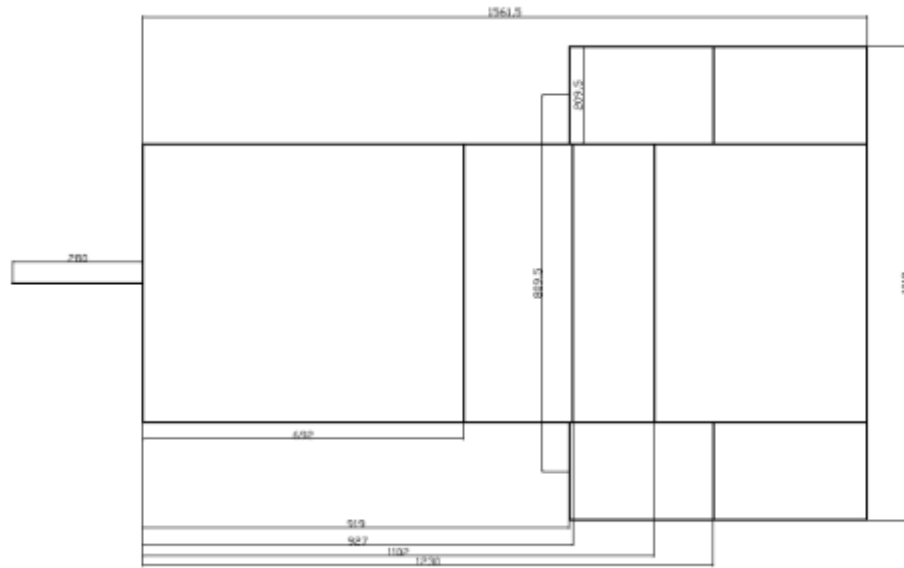
Rangka atau *frame* ini adalah pondasi dari suatu kendaraan yang berfungsi sebagai penopang kendaraan. Rangka ini harus dapat menahan beban dari pengendara, mesin dan beban dari luar kendaraan. Kegunaan rangka ini selain sebagai penopang kendaraan adalah:

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

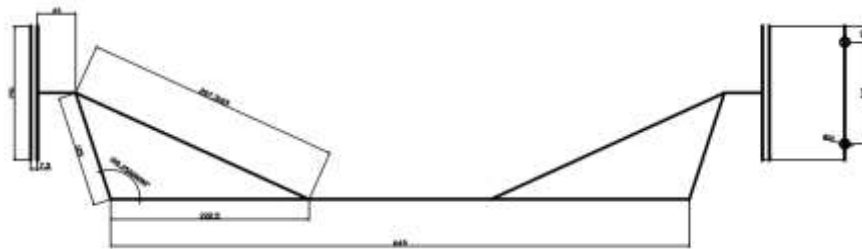
Desain rangka *urban concept* ini dibuat berdasarkan standar yang diberikan oleh KMHE dengan melakukan inovasi dan modifikasi sehingga didapatkan rangka yang lebih baik dari rangka yang sudah ada.

Rangka bagian depan di desain untuk menopang 1 orang pengendara dengan memperhatikan kenyamanan berkendara. Bagian rangka belakang disesuaikan dengan mesin dan transmisi yang digunakan. Faktor keselamatan kendaraan ini di dukung dengan adanya *roll bar* di bagian tengah kendaraan.

Berikut bentuk 2D rangka utama



Gambar 4.4. *frame utama urban concept* pandangan atas



Gambar 4.5. *frame utama urban concept* pandangan depan

## 4.2. Bahan dan Material

Material *frame* yang digunakan untuk rangka ini adalah aluminium 6061.

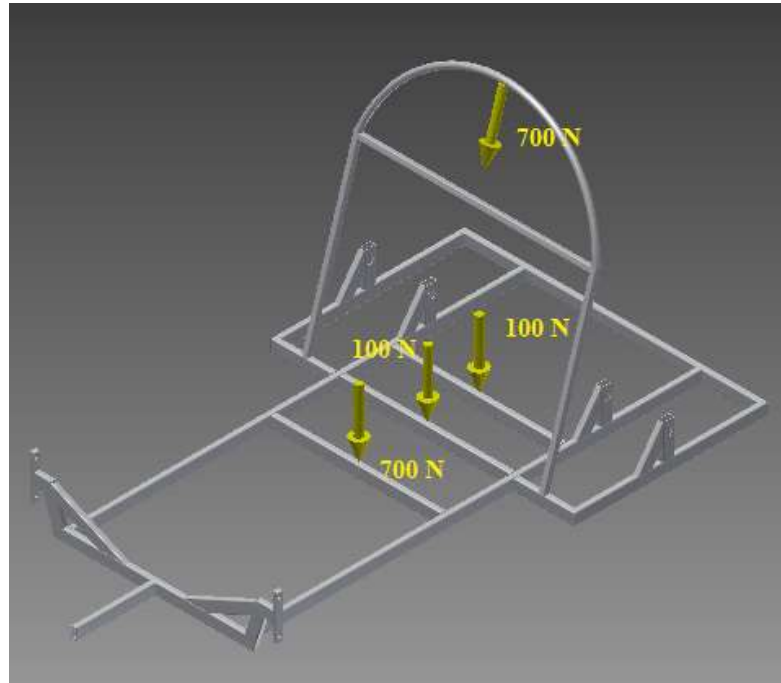
Tabel 4.1. Data properti material aluminium 6061

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



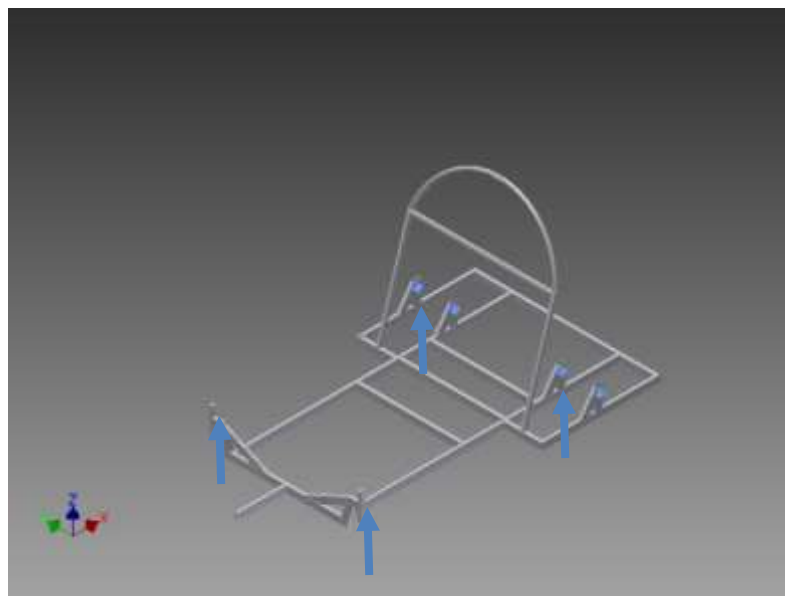
### 4.3. Kondisi Batas

a. Penerapan gaya-gaya pada rangka.



Gambar 4.6. Pembebanan pada rangka

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



Gambar 4.7. Penentuan tumpuan pada rangka

#### 4.4. Hasil analisa dengan *software Autodesk Inventor*

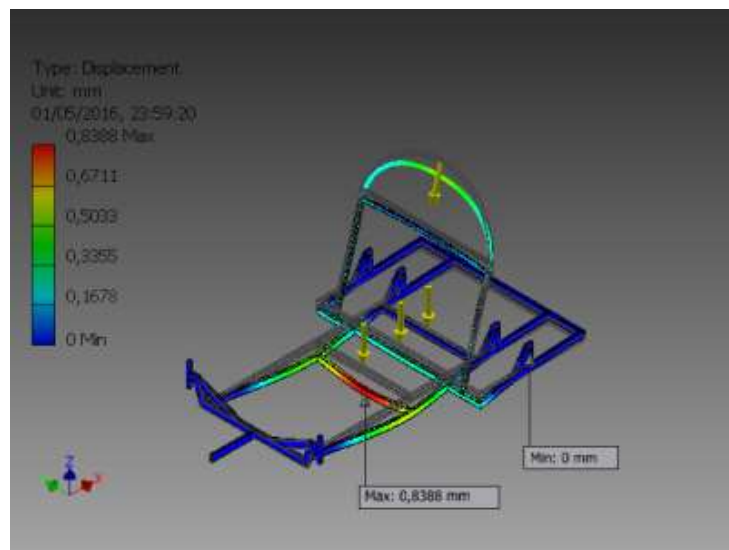
Setelah proses perhitungan dengan *Software Autodesk Inventor* telah selesai sampai akhir, maka hasil analisis statik dan simulasi dapat diketahui yaitu nilai-nilai maksimum dan minimum yang terjadi pada struktur obyek. Untuk melihat hasil tentang tegangan dan faktor keamanan dapat dilihat dalam *Stress Analysis Report*. Sedangkan untuk melihat hasil tentang gaya, momen dan tegangan normal dapat dilihat dari *Frame Analysis Report*.

Analisa simulasi tegangan, dan faktor keamanan rangka menggunakan *Software Autodesk Inventor* dengan cara memilih *toolbar Stress Analysis*. Setelah kita pilih *toolbar stress analysis*, lalu masukan data spesifikasi material bahan sesuai dengan perencanaan sebelumnya. Setelah material bahan dipilih, lalu kita pilih *static analysis* dan *mesh view*. Diasumsikan rangka *urban concept* mendapatkan beban 700 N yang diasumsikan sebagai berat pengendara, 700 N 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 rangka dapat dilihat pada gambar untuk mengetahui secara keseluruhan tegangan, dan faktor keamanannya.

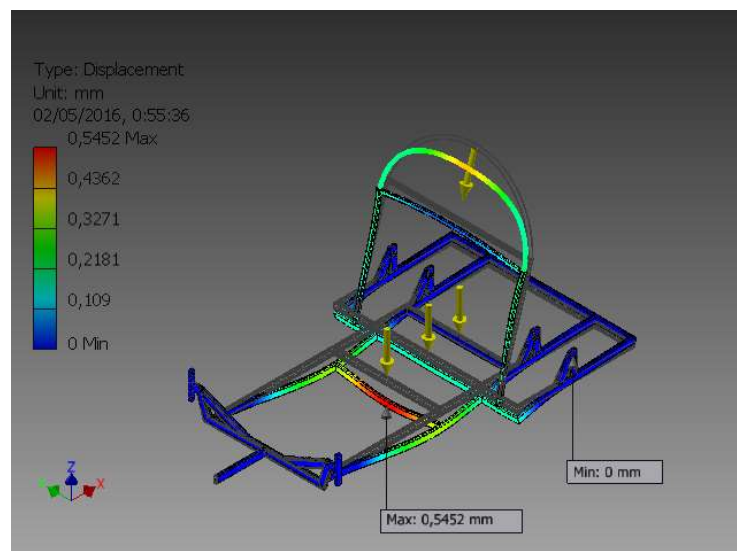
Begitupula dengan *frame analysis*, analisa simulasi gaya, momen, dan tegangan normal rangka dengan cara memilih *toolbar frame analysis*, masukan data spesifikasi material bahan, lalu pilih *static analysis*, lalu *frame*

itu akan berubah menjadi *beam* dan *node* yang saling berhubungan. Pastikan *beam* dan *node* saling berhubungan sebelum diberi beban. Dalam *frame analysis* ini bentuk rangka dapat dilihat pada gambar untuk mengetahui secara keseluruhan tentang gaya, momen dan tegangan normalnya.

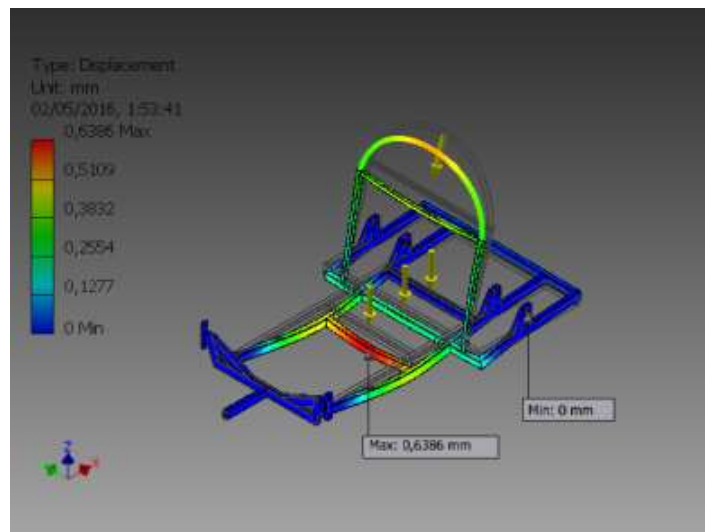
### 1. Hasil *stress analysis*



Gambar 4.8. Rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm) yang sudah diberi beban

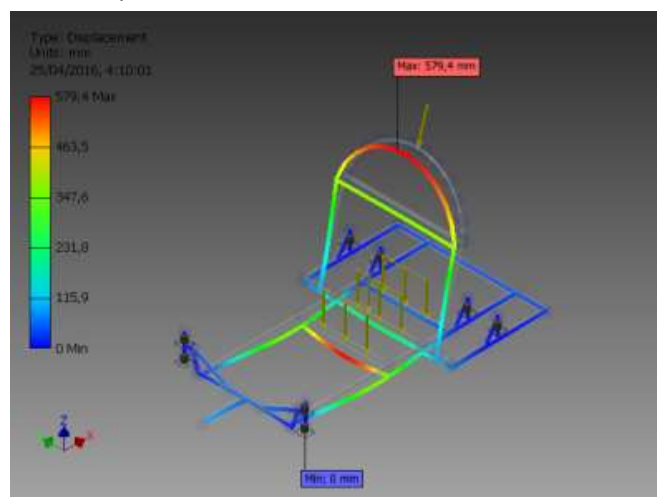


Gambar 4.9. Rangka variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm) yang sudah diberi beban

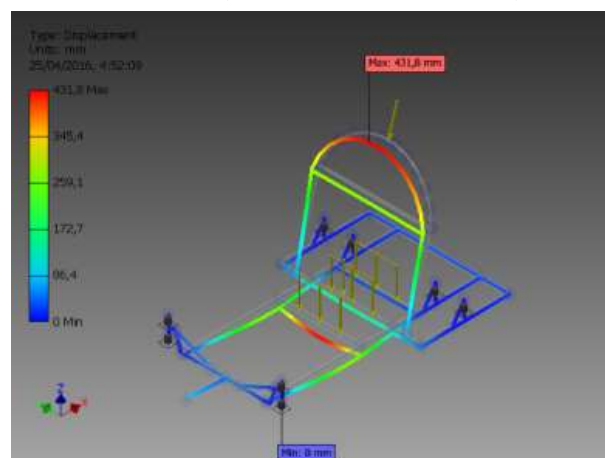


Gambar 4.10. Rangka variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm) yang sudah diberi beban

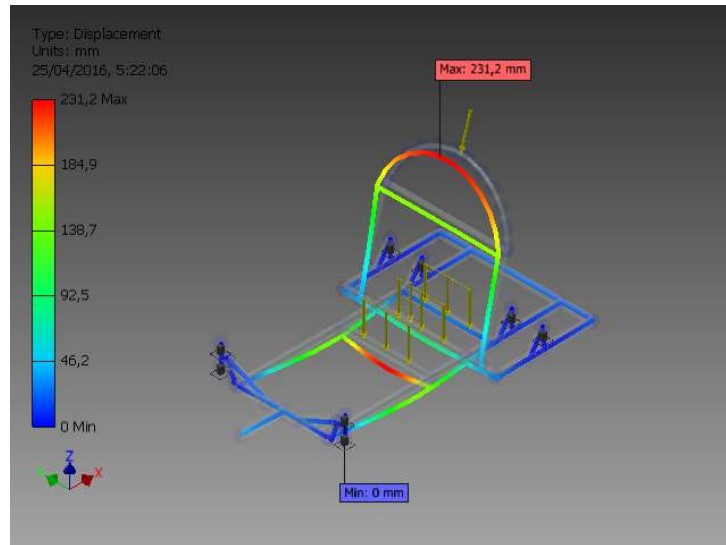
## 2. Hasil *frame analysis*



Gambar 4.11. *Displacement* yang terjadi menggunakan *frame analysis* pada variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)



Gambar 4.12. *Displacement* yang terjadi menggunakan *frame analysis* pada variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm)



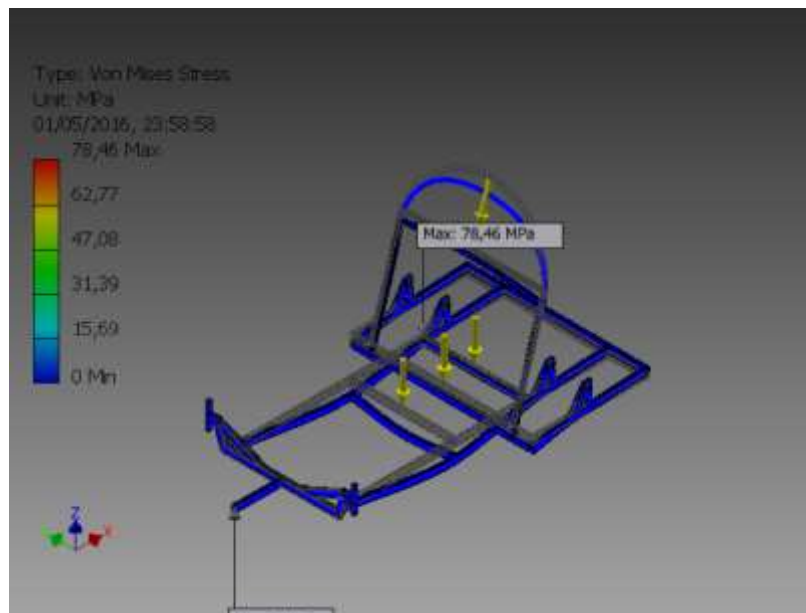
Gambar 4.13. *Displacement* yang terjadi menggunakan *frame analysis* pada variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)

a. Simulasi pada rangka *Urban Concept* di *Stress Analysis Autodesk Inventor*

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

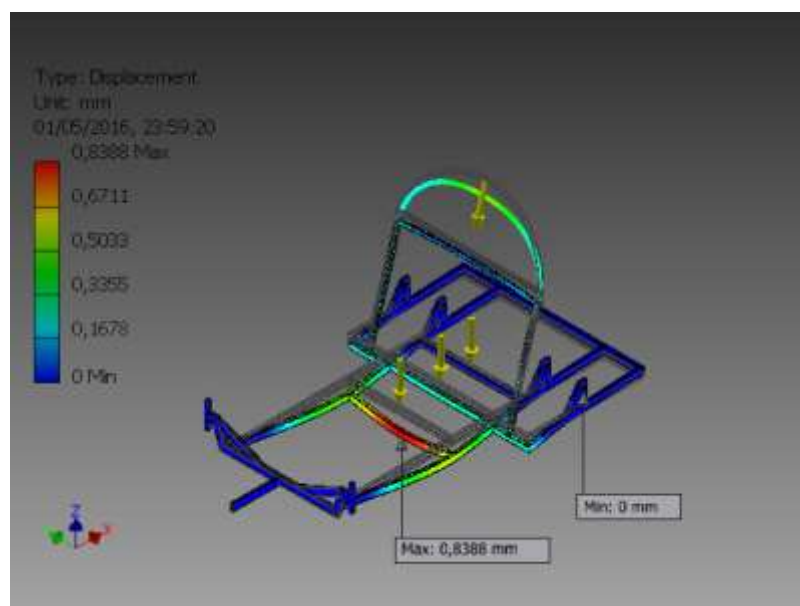
**Tabel 4.2. Hasil analisa dari variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)**

Nama	Minimum	Maksimum
<i>Volume</i>	2694820 mm <sup>3</sup>	
<i>Mass</i>	7,30296 kg	
<i>Von mises stress</i>	0,000040388 MPa	78,4631 MPa
<i>Displacement</i>	0 mm	0,838817 mm
<i>Safety factor</i>	3,50483 ul	15 ul



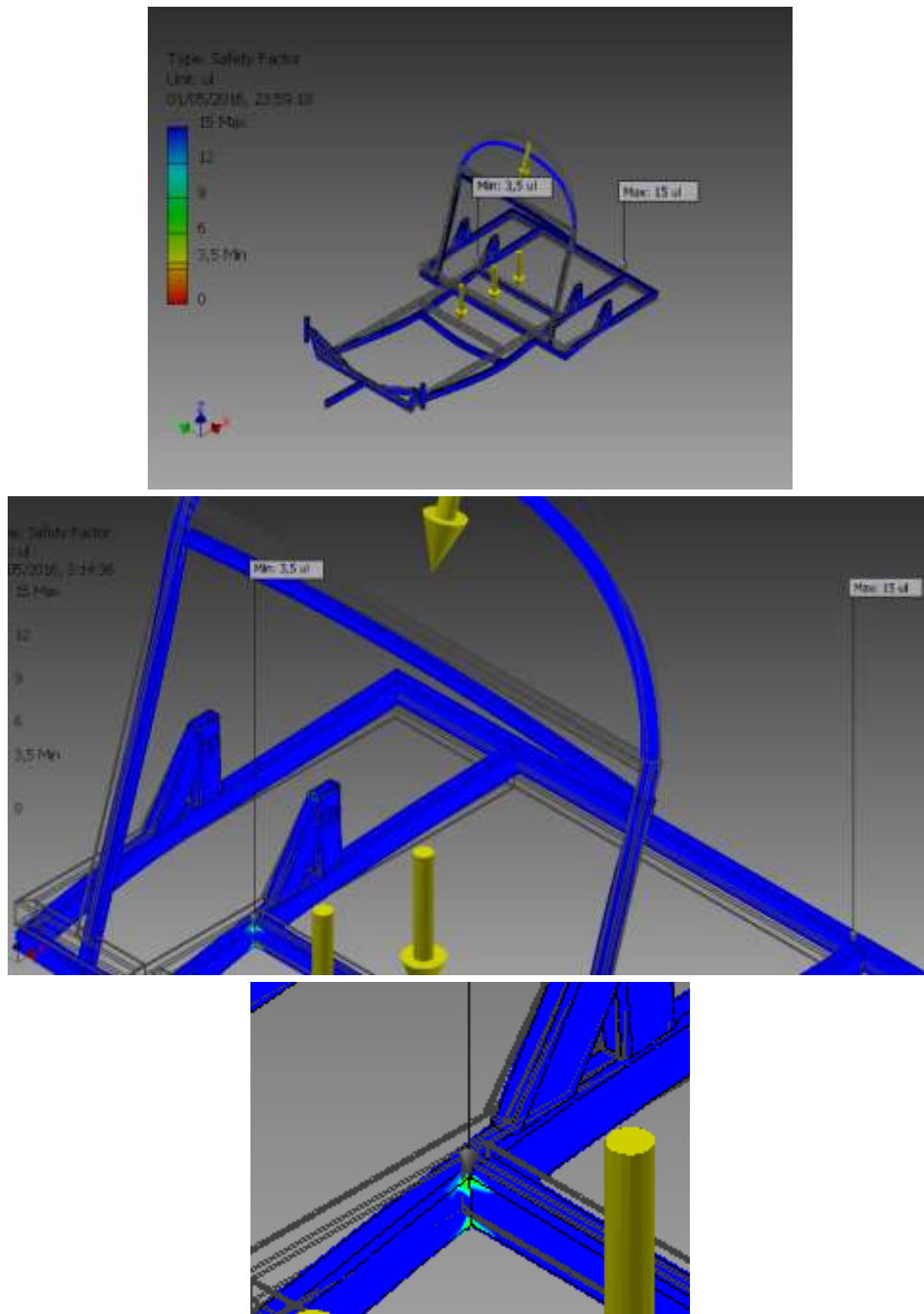
Gambar 4.14. Tegangan yang terjadi pada rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)

Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa rangka tersebut mengalami tegangan maksimal terbesar 78,46 MPa yang berada pada daerah yang ditunjukkan pada gambar analisis diatas yaitu pada sambungan rangka penampang mesin bagian belakang. Sedangkan tegangan minimalnya adalah sebesar 0,000040388 MPa.



Gambar 4.15. *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 0,838817 mm. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan bentuk maksimal yang terjadi pada rangka adalah 0,838817 mm dari bentuk awalnya yang ditunjukkan pada daerah yang berwarna merah.



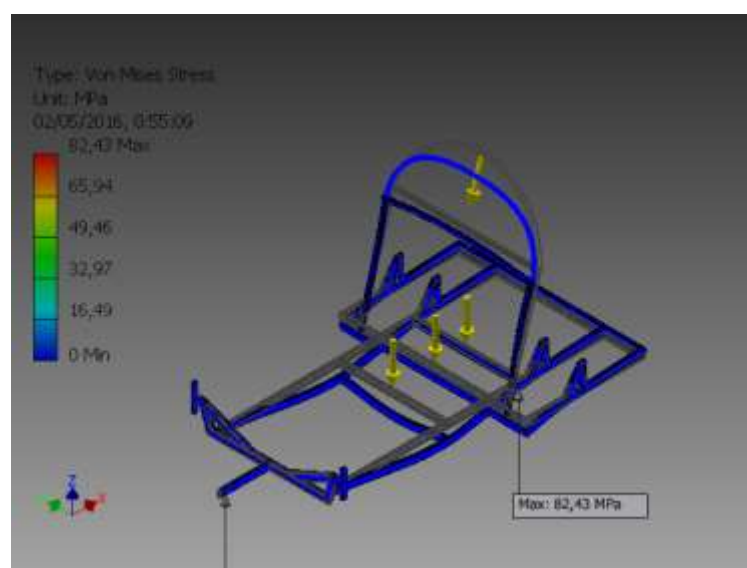
Gambar 4.16. *safety factor* rangka variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)

Dalam proses analisa tekanan yang terjadi pada rangka, dihasilkan *factor of safety* (FS) minimum adalah 3,5 yang berada pada sambungan rangka penampang mesin bagian belakang dan maksimumnya adalah 15. Ini menunjukkan kekuatan material > tegangan yang terjadi. Sehingga bisa dinyatakan elemen mesin 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)**

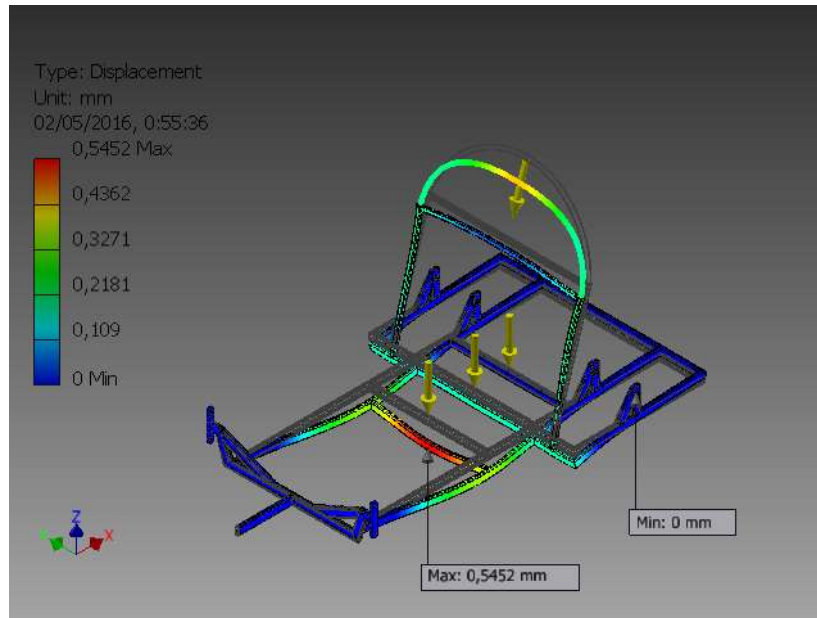
Nama	Minimum	Maksimum
<i>Volume</i>	3561400 mm <sup>3</sup>	
<i>Mass</i>	9,65139 kg	
<i>Von mises stress</i>	0,0000128846 MPa	82,4289 MPa
<i>Displacement</i>	0 mm	0,545246 mm
<i>Safety factor</i>	3,33621 ul	15 ul



Gambar 4.17. Tegangan yang terjadi pada rangka variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm)

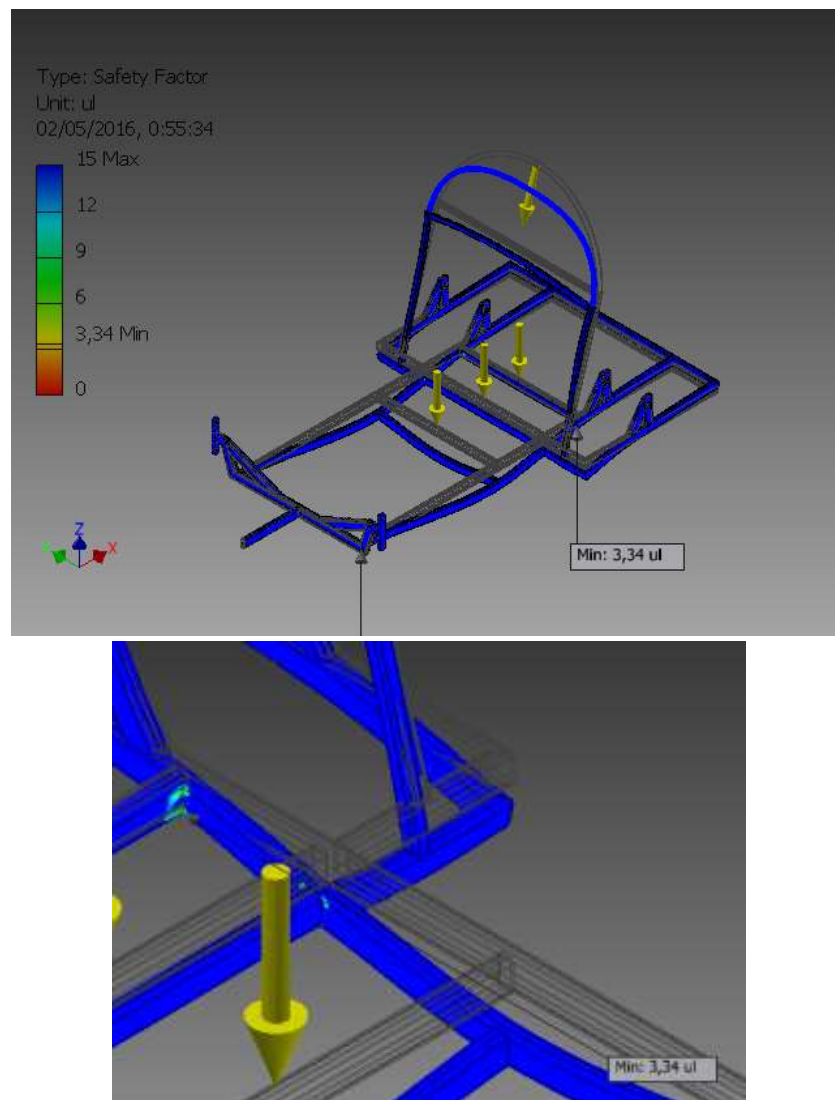


Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa rangka tersebut mengalami tegangan maksimal terbesar 82,4289 MPa yang berada pada sambungan rangka penampang mesin bagian belakang. Sedangkan tegangan minimalnya adalah sebesar 0,0000128846 MPa.



Gambar 4.18. *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 0,5452 mm. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan bentuk maksimal yang terjadi pada rangka adalah 0,5452 mm dari bentuk awalnya yang ditunjukkan pada daerah yang berwarna merah.



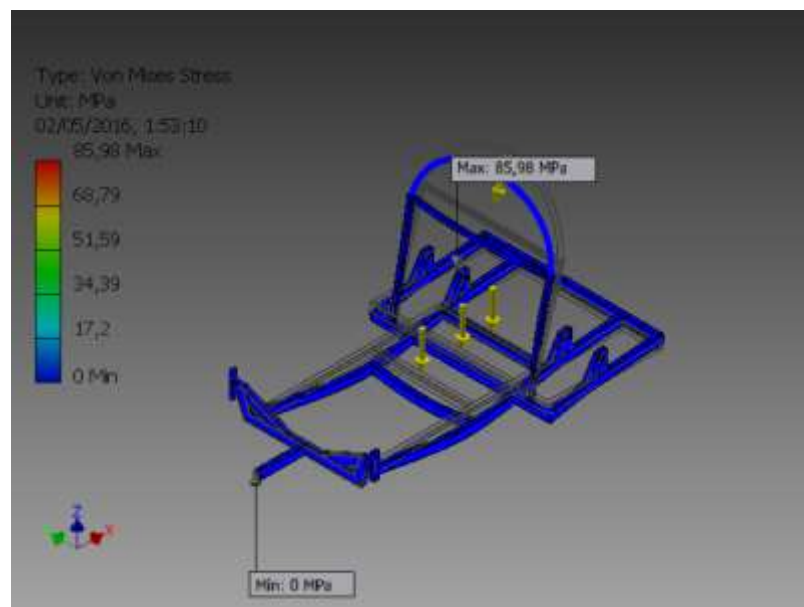
Gambar 4.19. *safety factor* rangka variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm)

Dalam proses analisa tekanan yang terjadi pada rangka, dihasilkan *factor of safety* (FS) minimum adalah 3,34 yang berada pada sambungan rangka penampang mesin bagian belakang dan maksimumnya 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 tetapi lebih rendah dari variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm).

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

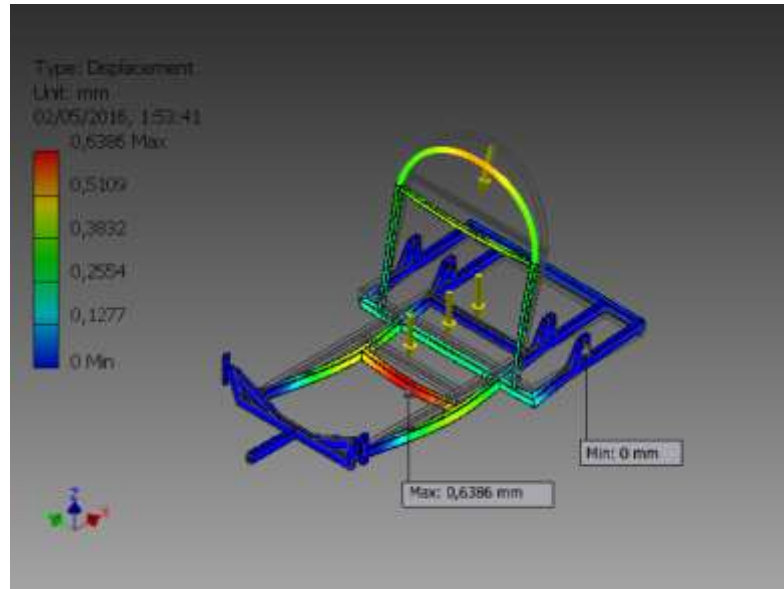
**Tabel 4.4. Hasil analisa dari variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)**

Nama	Minimum	Maksimum
<i>Volume</i>	3622080 mm <sup>3</sup>	
<i>Mass</i>	9,81584 kg	
<i>Von mises stress</i>	0,000128531 MPa	85,9844 MPa
<i>Displacement</i>	0 mm	0,638608 mm
<i>Safety factor</i>	3,19826 ul	15 ul



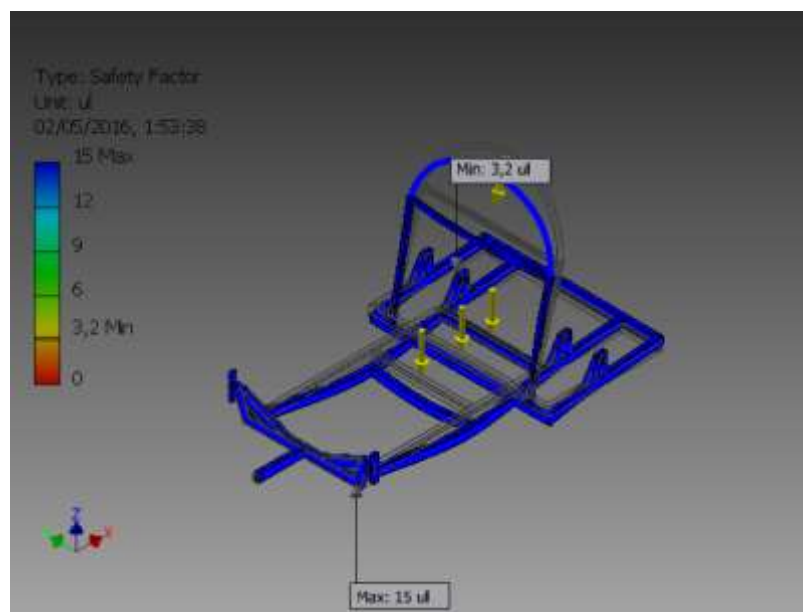
Gambar 4.20. Tegangan yang terjadi pada rangka variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)

Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa rangka tersebut mengalami tegangan maksimal sebesar 85,98 MPa yang berada pada sambungan *mounting* roda belakang. Sedangkan tegangan minimalnya adalah sebesar 0,000128531 MPa.



Gambar 4.21. *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 0,6386 mm. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan bentuk maksimal yang terjadi pada rangka adalah 0,6386 mm dari bentuk awalnya yang ditunjukkan pada daerah yang berwarna merah.



Gambar 4.22. *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 3,2 yang berada pada sambungan *mounting* roda belakang dan maksimumnya adalah 15. Ini menunjukkan kekuatan material > tegangan yang terjadi. Sehingga bisa dinyatakan elemen mesin akan aman bila difungsikan. Nilai *safety factor* variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm) ini lebih rendah 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 dari *Stress Analysis***

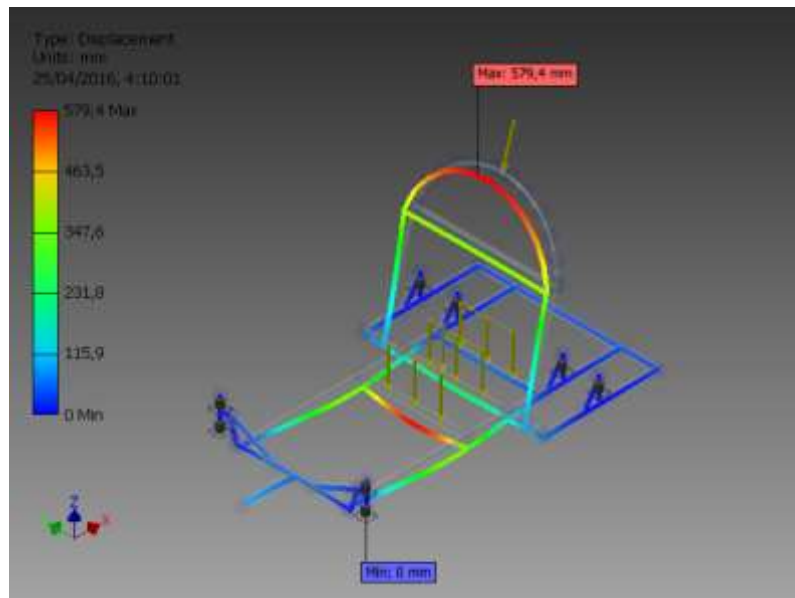
	Variasi 1		Variasi 2		Variasi 3	
	40 x 20 x 2		40 x 20 x 3		50 x 30 x 2	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
<i>Volume</i>	2694820 mm <sup>3</sup>		3561400 mm <sup>3</sup>		3622080 mm <sup>3</sup>	
<i>Mass</i>	7,30296 kg		9,65139 kg		9,81584 kg	
<i>Von Mises Stress</i>	0,000040388 MPa	78,4631 MPa	0,0000128846 MPa	82,4289 MPa	0,000128531 MPa	85,9844 MPa
<i>Displacement</i>	0 mm	0,838817 mm	0 mm	0,545246 mm	0 mm	0,638608 mm
<i>Safety Factor</i>	3,50483 ul	15 ul	3,33621 ul	15 ul	3,19826 ul	15 ul

b. Simulasi pada rangka *Urban Concept* di *Frame Analysis Autodesk Inventor*

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

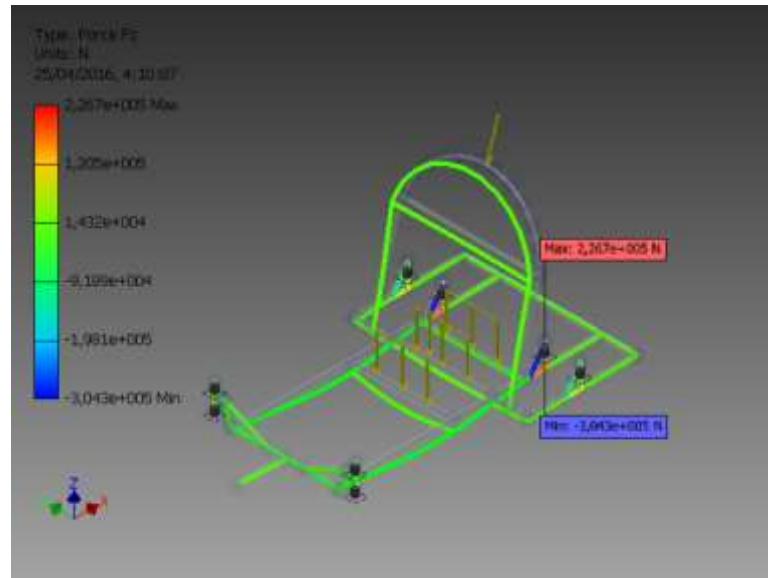
**Tabel 4.6. Hasil analisa dari variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)**

Nama		Minimum	Maximum
<i>Displacement</i>		0,000 mm	579,413 mm
<i>Forces</i>	Fz	-304299,884 N	226728,092 N
<i>Moments</i>	Mz	-2625592,909 N mm	2625590,600 N mm
<i>Normal Stresses</i>	Smax	-358,205 MPa	9788,137 MPa



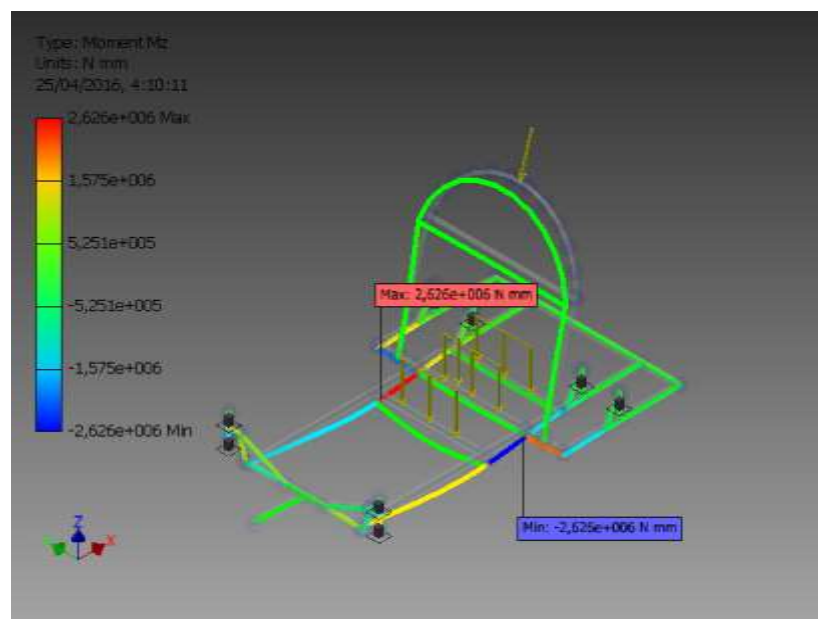
Gambar 4.23. *Displacement* yang terjadi menggunakan *frame analysis* pada variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa besarnya perpindahan translasi maksimal pada deformasi gambar tersebut adalah 579,413 mm. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan bentuk maksimal yang terjadi pada rangka adalah 579,413 mm dari bentuk awalnya yang ditunjukkan pada daerah yang berwarna merah.



Gambar 4.24. Gaya Fz yang terjadi pada variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)

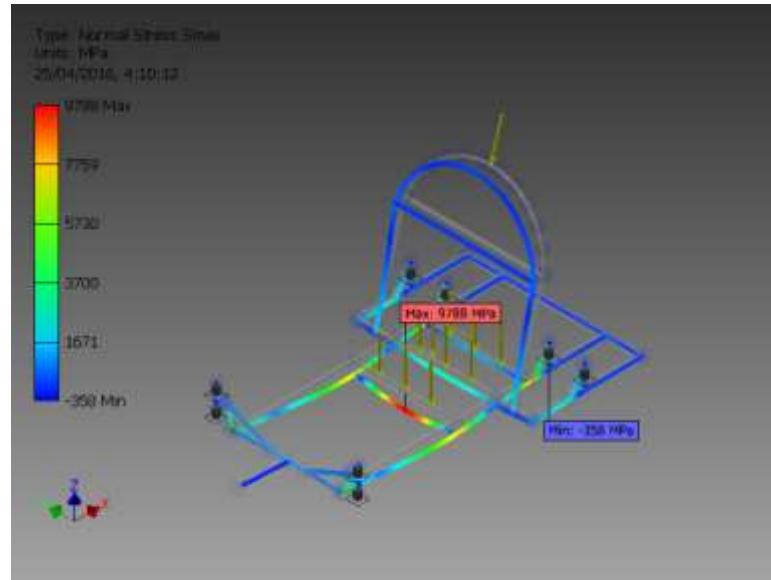
Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa rangka tersebut menerima gaya maksimal sebesar 226728,092 N yang berada pada *mounting* roda belakang. Sedangkan gaya minimalnya adalah -304299,884 N.



Gambar 4.25. Momen Mz yang terjadi pada variasi 1 (40 X 20 mm tebal 2 mm)

Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa rangka tersebut memiliki momen maksimal sebesar 2625590,600 Nmm yang berada pada sambungan

rangka duduk pengemudi. Sedangkan momen minimalnya adalah -2625592,909 Nmm yang berada pada sambungan rangka *roll bar*.



Gambar 4.26. Tegangan Normal Smax yang terjadi pada variasi 1 (40 x 20 mm tebal 2 mm)

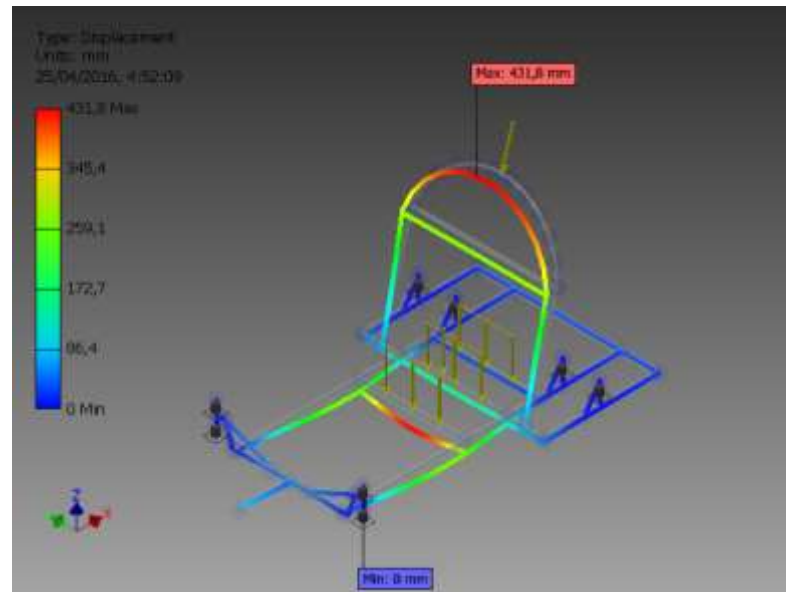
Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa rangka tersebut memiliki momen maksimal sebesar 9788,137 MPa yang berada pada rangka duduk pengemudi. Sedangkan momen minimalnya adalah -358,205 MPa yang berada pada *mounting* roda belakang.

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

**Tabel 4.7. Hasil analisa dari variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm)**

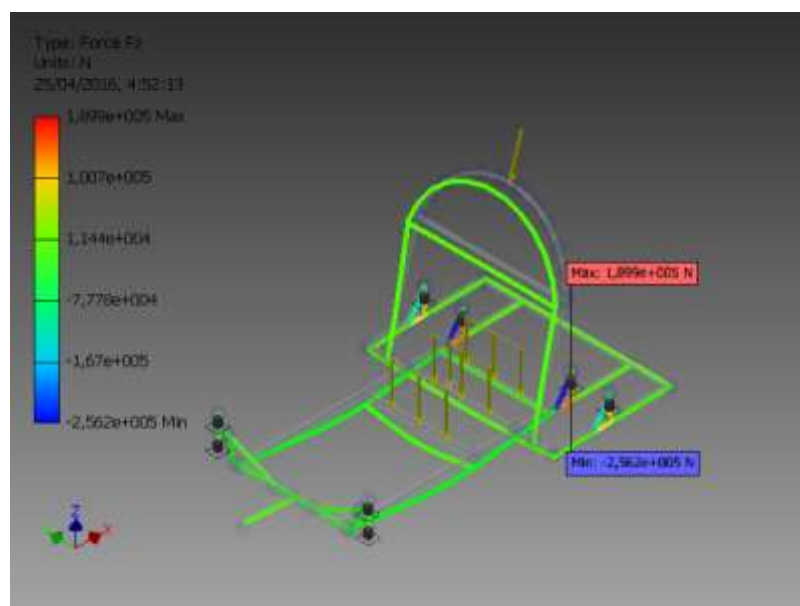
Nama		Minimum	Maximum
<i>Displacement</i>		0,000 mm	431,790 mm
<i>Forces</i>	Fz	-256238,775 N	189898,841 N
<i>Moments</i>	Mz	-2944180,405 N mm	2944183,222 N mm
<i>Normal Stresses</i>	Smax	-268,078 MPa	7489,952 MPa





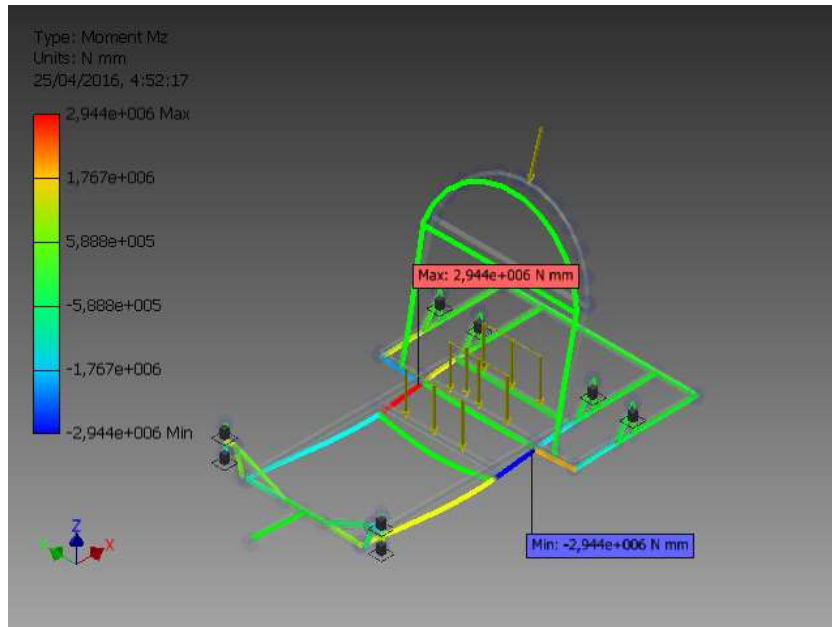
Gambar 4.27. *Displacement* yang terjadi menggunakan *frame analysis* pada variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm)

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa besarnya perpindahan translasi maksimal pada deformasi gambar tersebut adalah 431,790 mm. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan bentuk maksimal yang terjadi pada rangka adalah 431,790 mm dari bentuk awalnya yang ditunjukkan pada daerah yang berwarna merah.



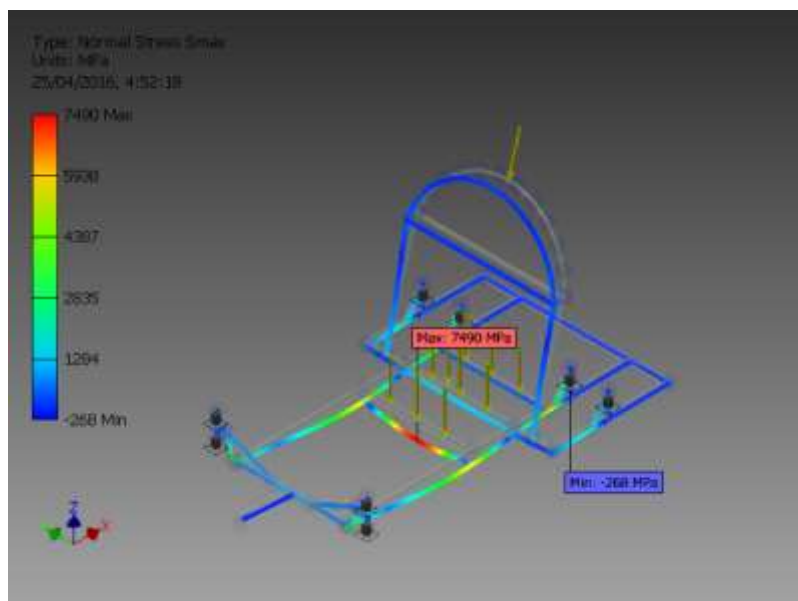
Gambar 4.28. Gaya Fz yang terjadi pada variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm)

Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa rangka tersebut menerima gaya maksimal sebesar 189898,841 N yang berada pada *mounting* roda belakang. Sedangkan gaya minimalnya adalah -256238,775 N.



Gambar 4.29. Momen Mz yang terjadi pada variasi 2 (40 X 20 mm tebal 3 mm)

Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa rangka tersebut memiliki momen maksimal sebesar 2944183,222 Nmm yang berada pada sambungan rangka *roll bar*. Sedangkan momen minimalnya adalah -2944180,405 Nmm.



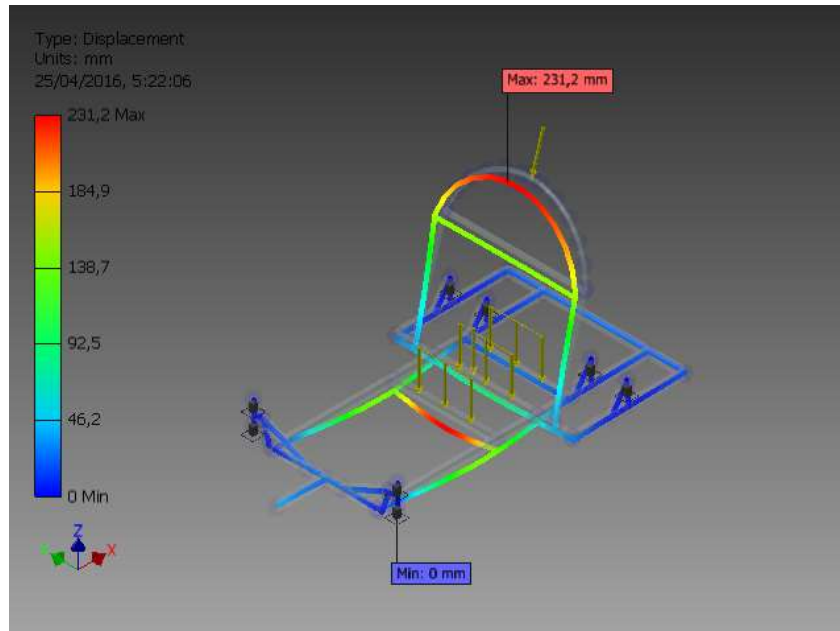
Gambar 4.30. Tegangan Normal Smax yang terjadi pada variasi 2 (40 x 20 mm tebal 3 mm)

Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa rangka tersebut memiliki momen maksimal sebesar 7489,952 MPa yang berada pada rangka duduk pengemudi. Sedangkan momen minimalnya adalah -268,078 MPa yang berada pada mounting roda belakang.

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

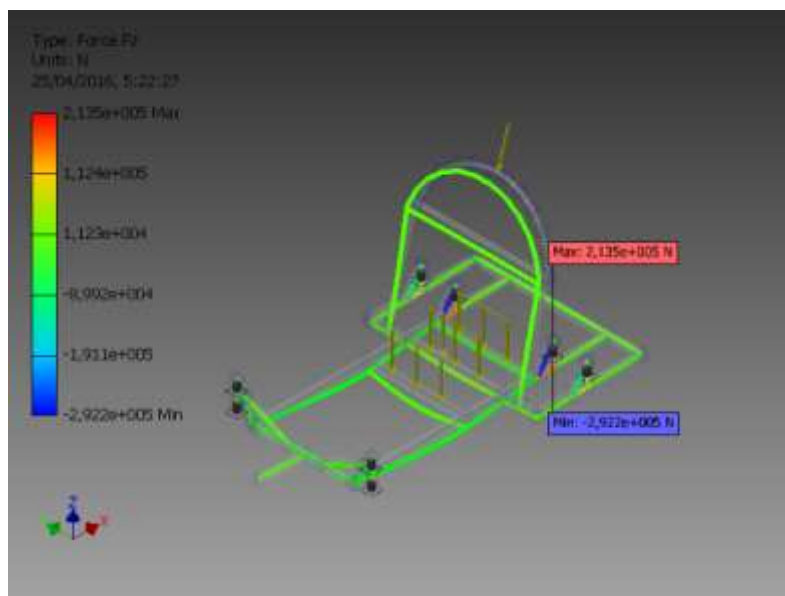
**Tabel 4.8. Hasil analisa dari variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)**

Nama		Minimum	Maximum
<i>Displacement</i>		0,000 mm	231,171 mm
<i>Forces</i>	Fz	-292214,425 N	213525,973 N
<i>Moments</i>	Mz	-3065170,455 N mm	3065169,963 N mm
<i>Normal Stresses</i>	Smax	-400,333 MPa	5055,169 MPa

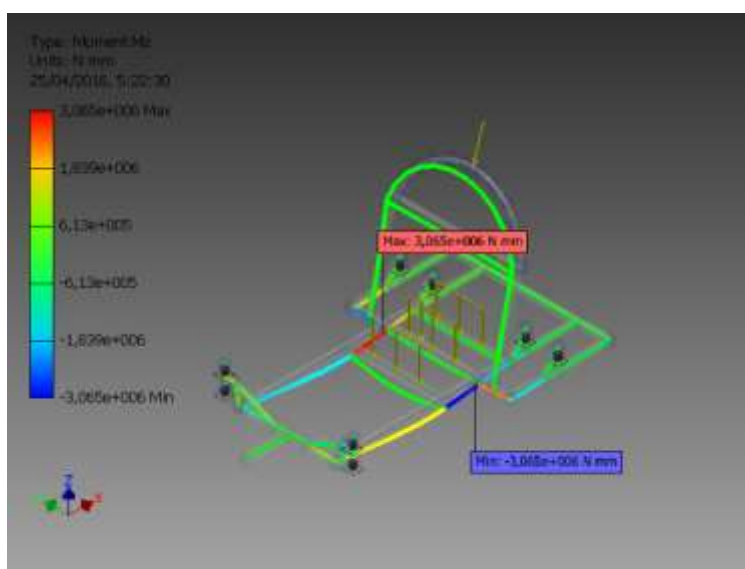


Gambar 4.31. *Displacement* yang terjadi menggunakan *frame analysis* pada variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa besarnya perpindahan translasi maksimal pada deformasi gambar tersebut adalah 231,171 mm. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan bentuk maksimal yang terjadi pada rangka adalah 231,171 mm dari bentuk awalnya yang ditunjukkan pada daerah yang berwarna merah.

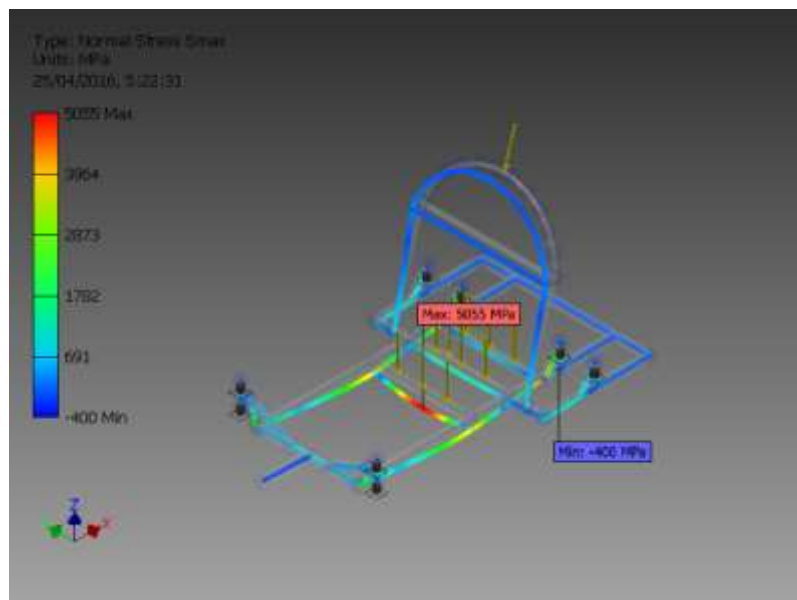


Gambar 4.32. Gaya Fz yang terjadi pada variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)  
 Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa rangka tersebut menerima gaya maksimal sebesar 213525,973 N yang berada pada *mounting* roda belakang. Sedangkan gaya minimalnya adalah -292214,425 N.



Gambar 4.33. Momen Mz yang terjadi pada variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)

Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa rangka tersebut memiliki momen maksimal sebesar 3065169,963 Nmm yang berada pada sambungan rangka *roll bar*. Sedangkan momen minimalnya adalah -3065170,455 Nmm.



Gambar 4.34. Tegangan Normal Smax yang terjadi pada variasi 3 (50 X 30 mm tebal 2 mm)

Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa rangka tersebut memiliki momen maksimal sebesar 5055,169 MPa yang berada pada rangka duduk pengemudi. Sedangkan momen minimalnya adalah -400,333 MPa yang berada pada mounting roda belakang.

**Tabel 4.9. Hasil analisa setiap variasi dari *Frame Analysis***

		Variasi 1		Variasi 2		Variasi 3	
		40 x 20 x 2		40 x 20 x 3		50 x 30 x 2	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
<i>Displacement</i>		0,000 mm	579,413 mm	0,000 mm	431,790 mm	0,000 mm	231,171 mm
<i>Forces</i>	Fz	-304299,884 N	226728,092 N	-256238,775 N	189898,841 N	-292214,425 N	213525,973 N
<i>Moments</i>	Mz	-2625592,909 N mm	2625590,600 N mm	-2944180,405 N mm	2944183,222 N mm	-3065170,455 N mm	3065169,963 N mm
<i>Normal Stresses</i>	Smax	-358,205 MPa	9788,137 MPa	-268,078 MPa	7489,952 MPa	-400,333 MPa	5055,169 MPa

Dari hasil penghitungan dan analisa statis menggunakan *stress analysis* dengan perbandingan nilai *mass*, dan *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. Sedangkan hasil dari analisa statis menggunakan *frame analysis* dengan perbandingan *displacement*, gaya  $F_z$ , momen  $M_z$  dan tegangan normal  $S_{max}$ , didapatkan kesimpulan bahwa rangka yang menggunakan *hollow* 50 mm x 30 mm tebal 2 mm adalah berdeformasi paling sedikit, mampu menerima momen yang besar, tegangan normal yang didapat kecil, dan mampu menahan beban yang sudah diberikan.

#### 1. Perbandingan desain rangka dengan regulasi

Perbandingan ini untuk melihat kesesuaian desain dengan regulasi yang telah ditetapkan oleh KMHE. 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*.

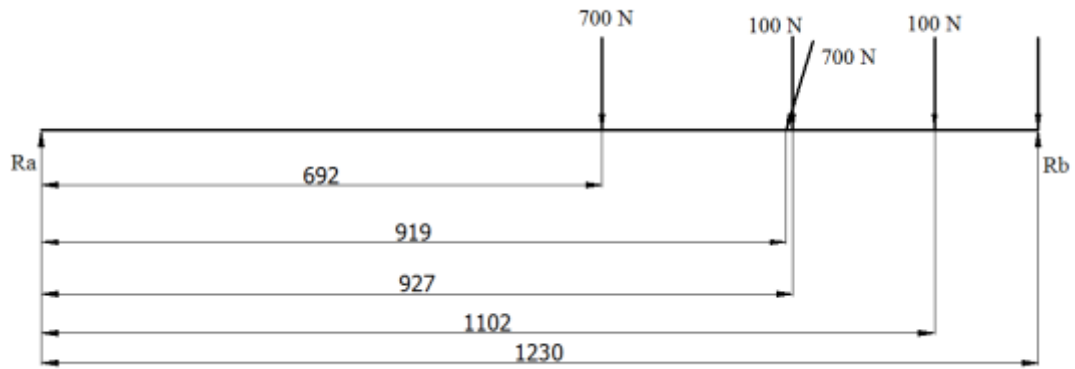
**Tabel 4.10. Hasil perbandingan antara desain rangka dengan regulasi KMHE**

No	Regulasi		Desain
1	Ketinggian	100 cm – 130 cm	105,125 cm
2	Jarak antara roda depan ( <i>Track width</i> )	Minimal 100 cm	102,7 cm
3	Jarak antara roda belakang ( <i>Track width</i> )	Minimal 80 cm	90,05 cm

4	Jarak sumbu roda depan dengan belakang ( <i>wheelbase</i> )	Minimal 120 cm	123,0 cm
5	Lebar keseluruhan kendaraan	120 cm – 130 cm	128,2 cm
6	Panjang keseluruhan kendaraan	220 cm – 350 cm	235,6 cm
7	<i>Chassis</i>	kaku dan kuat	Rangka 50x30 mm tebal 2 mm memiliki nilai memiliki <i>Safety factor</i> 3,198 ul, nilai <i>displacement</i> maksimum 0,638608 mm pada <i>Stress Analysis</i> , nilai <i>displacement</i> maksimum 231,171 mm pada <i>Frame Analysis</i> ,
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> 3,198 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 aluminium diameter 26,9 mm tebal 2 mm
10	Jarak <i>Roll bar</i> ke helm	Minimal 5 cm	8,9 cm

#### 4.5. Perhitungan Teori

Untuk perhitungan teori pada pembebanan yang diterima rangka *urban concept* adalah sebagai berikut:



Gambar 4.35. Diagram benda bebas rangka

Jarak roda depan ke tempat duduk pengemudi = 692 mm

Jarak roda depan ke *roll bar* = 919 mm

Jarak roda depan ke penampang mesin bagian depan = 927 mm

Jarak roda depan ke penampang mesin bagian belakang = 1102 mm

Jarak roda depan ke roda belakang = 1230 mm

Beban pengemudi 700 N

Beban yang diterima *roll bar* 700 N

Beban mesin bagian depan 100 N

Beban mesin bagian belakang 100 N

a. Distribusi beban statis

$$\begin{aligned} F_{2V} &= F_2 \sin 73^\circ \\ &= 350 \sin 73^\circ \\ &= 350 \times 0,956 \\ &= 334,70 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{2H} &= F_2 \cos 73^\circ \\ &= 350 \cos 73^\circ \\ &= 350 \times 0,292 \\ &= 102,33 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sum H = 0$$

$$R_a - F_{2H} = 0$$

$$R_a - 102,33 \text{ N} = 0$$

$$\sum V = 0$$

$$R_a - F_1 - F_{2V} - F_3 - F_4 + R_b = 0$$

$$R_a - 350 - 334,70 - 50 - 50 + R_b = 0$$

$$R_a - 784,70 + R_b = 0$$



$$R_a + R_b = 784,70 \text{ N}$$

$$\sum M_b = 0$$

$$R_b \times 0 - F_4 \times 128 - F_3 \times 303 - F_{2v} \times 311 - F_1 \times 538 + R_a \times 1230 = 0$$

$$0 - 50 \times 128 - 50 \times 303 - 334,6 \times 311 - 350 \times 538 + 1230 R_a = 0$$

$$1230 R_a = 6400 + 15150 + 104091,70 + 188300$$

$$1230 R_a = 313941,70$$

$$R_a = 255,2371626 \text{ N} \sim 255,24 \text{ N}$$

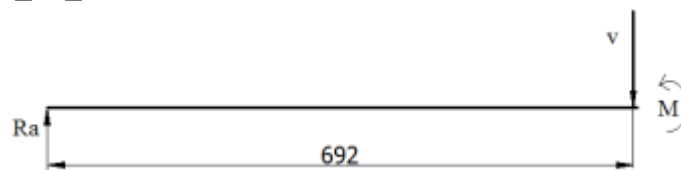
$$R_a + R_b = 784,70 \text{ N}$$

$$255,24 \text{ N} + R_b = 784,70 \text{ N}$$

$$R_b = 529,46 \text{ N}$$

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

$$0 \leq x \leq 692$$



Gambar 4.36. Diagram benda bebas potongan 1

$$\sum F_y = 0$$

$$R_a - v = 0$$

$$R_a = v$$

$$v = 255,24 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0$$

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

$$M = v \cdot x$$

$$= 255,24 \text{ N} \cdot x$$

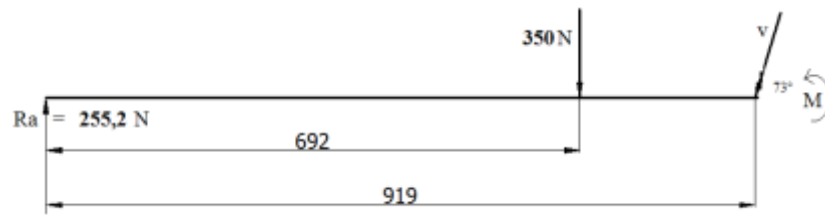
$$M \rightarrow x_0 = 0 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M \rightarrow x_{692} = 255,24 \text{ N} \times 692 \text{ mm}$$

$$= 176626,08 \text{ Nmm} \sim 176,62608 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

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

$$692 \text{ mm} \leq x \leq 919 \text{ mm}$$



Gambar 4.37. Diagram benda bebas potongan 2

$$\sum F_y = 0$$

$$R_a - 350 - v = 0$$

$$255,24 - 350 - v = 0$$

$$v = -94,76 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$(350 \times 692) + v \cdot x - M = 0$$

$$M = 242200 + (-94,76) \cdot x$$

$$M \rightarrow x692 = 242200 + (-94,76)(692)$$

$$= 242200 - 65573,92$$

$$= 176626,08 \text{ Nmm} \sim 176,62608 \text{ kN.mm}$$

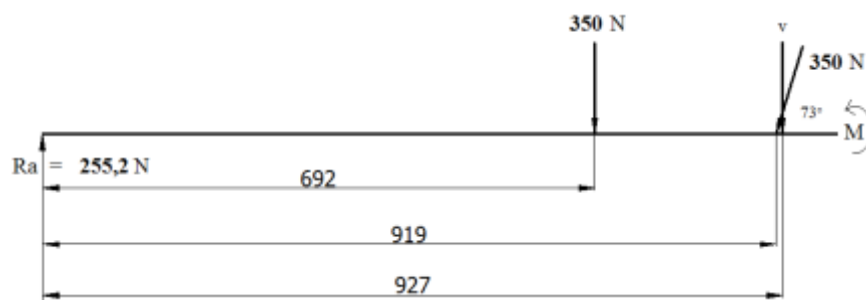
$$M \rightarrow x919 = 242200 + (-94,76)(919)$$

$$= 242200 - 87084,44$$

$$= 155115,56 \text{ Nmm} \sim 155,11556 \text{ kN.mm}$$

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

$$919 \text{ mm} \leq x \leq 927 \text{ mm}$$



Gambar 4.38. Diagram benda bebas potongan 3

$$\sum F_y = 0$$

$$R_a - 350 - 334,70 - v = 0$$

$$255,24 - 684,6 - v = 0$$

$$v = -429,46 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$(350 \times 692) + (334,70 \times 919) + v \cdot x - M = 0$$

$$242200 + 307598,30 + (-429,46) \cdot x$$

$$549789,30 + (-429,46) \cdot x$$

$$M \rightarrow x919 = 549789,30 + (-429,46)(919)$$

$$= 549789,30 - 394673,74$$

$$= 155115,56 \text{ Nmm} \sim 155,11556 \text{ kN.mm}$$

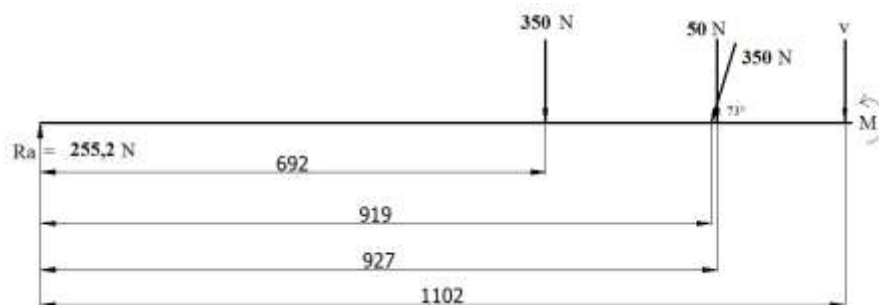
$$M \rightarrow x927 = 549789,30 + (-429,46)(927)$$

$$= 549789,30 - 398109,42$$

$$= 151679,88 \text{ Nmm} \sim 151,67988 \text{ kN.mm}$$

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

$$927 \text{ mm} \leq x \leq 1102 \text{ mm}$$



Gambar 4.39. Diagram benda bebas potongan 4

$$\sum F_y = 0$$

$$R_a - 350 - 334,70 - 50 - v = 0$$

$$255,24 - 350 - 334,70 - 50 - v = 0$$

$$v = -479,46 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$(350 \times 692) + (334,70 \times 919) + (50 \times 927) + v \cdot x - M = 0$$

$$242200 + 307589,30 + 46350 + (-479,46) \cdot x$$

$$596139,30 + (-479,46) \cdot x$$

$$M \rightarrow x927 = 596139,30 + (-479,46)(927)$$

$$= 596139,30 - 444459,42$$

$$= 151679,88 \text{ Nmm} \sim 151,67988 \text{ kN.mm}$$

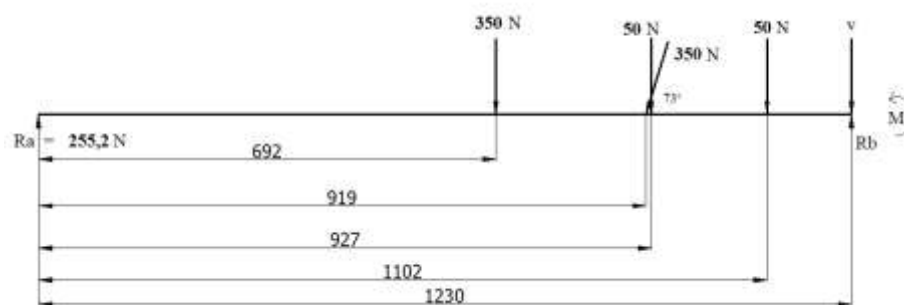
$$M \rightarrow x1102 = 596139,30 + (-479,46)(1102)$$

$$= 596139,30 - 528364,92$$

$$= 67774,38 \text{ Nmm} \sim 67,77438 \text{ kN.mm}$$

5. Potongan 5 dari roda depan ke roda belakang

$$1102 \text{ mm} \leq x \leq 1230 \text{ mm}$$



Gambar 4.40. Diagram benda bebas potongan 5

$$\sum F_y = 0$$

$$R_a - 350 - 334,70 - 50 - 50 - v = 0$$

$$255,24 - 350 - 334,70 - 50 - 50 - v = 0$$

$$v = -529,46 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$(350 \times 692) + (334,70 \times 919) + (50 \times 927) + (50 \times 1102) + v \cdot x - M = 0$$

$$242200 + 307589,30 + 46350 + 55100 + (-529,46) \cdot x$$

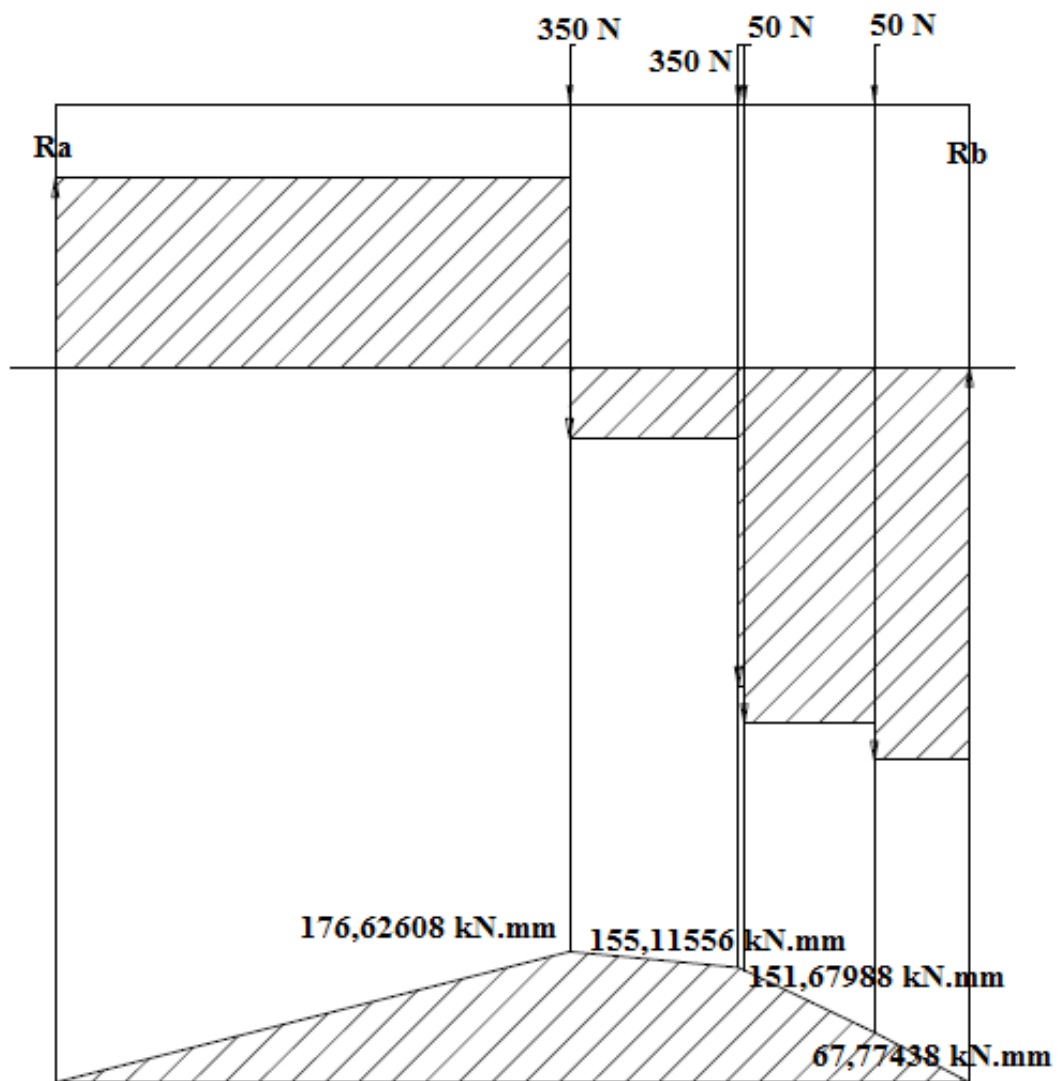
$$651239,30 + (-529,46) \cdot x$$

$$M \rightarrow x1102 = 651239,30 + (-529,46)(1102)$$

$$= 67774,38 \text{ Nmm} \sim 67,77438 \text{ kN.mm}$$

$$M \rightarrow x1230 = 651239,30 + (-529,46)(1230)$$

$$= 0 \text{ Nmm} \sim 0 \text{ kN.mm}$$



Gambar 4.41. Diagram Bidang Gaya Geser dan Bidang Momen

Rangka ini terbuat dari hollow aluminium 6061, berikut informasi berkaitan dengan bahan tersebut.

1. Aluminium 6061

Dimana:  $h = 50 \text{ mm}$

$b = 30 \text{ mm}$

$t = 2 \text{ mm}$

Tegangan tarik ( $\sigma_u$ ) =  $310 \text{ N/mm}^2$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan ijin } (\sigma_{ijin}) &= \frac{\text{tegangan tarik}}{\text{factor safety}} \\ &= 310/3 = 103,33 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan geser } (\tau_g) &= \frac{1}{2} \times \sigma_{ijin} \\ &= \frac{1}{2} \times 77,5 \text{ N/mm}^2 = 38,75 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Inersia (I)} &= 1/12 bh^3 - 1/12 b'h'^3 \\ &= 1/12 \times 50 \times 30^3 - 1/12 \times 46 \times 26^3 \\ &= 112500 \text{ mm}^4 - 67374,66 \text{ mm}^4 \\ &= 45125,34 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Posisi titik berat (C) =  $20 \text{ mm}$

Diketahui =  $M_{\max} = 176,62608 \text{ kN.mm}$

$$= V_{\max} = 350 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan Bending } (\sigma_b) &= M_{\max}.C/I \\ &= 176626,08 \text{ Nmm} \times 20 \text{ mm} / 45125,34 \text{ mm}^4 \\ &= 78,2841 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Karena  $\sigma_b \leq \sigma_{ijin}$ , maka rangka aman menggunakan variasi  $50 \times 30 \text{ mm}$  tebal  $2 \text{ mm}$ .

$$\text{Safety Factor} = \frac{\text{yield strength}}{\text{von mises stress } (\sigma')}$$

$$= 275 \text{ MPa}/85,9844 \text{ MPa}$$

$$= 3,198254$$

Momen<sub>maks</sub> yang didapat dari hasil perhitungan manual : 176626,08 Nmm

Momen<sub>maks</sub> yang didapat dari hasil simulasi *software* : 3065169,963 Nmm

$$\text{Error} = \frac{M_{\text{maks manual}}}{M_{\text{maks hasil}}} \times 100$$

$$= (176626,08 \text{ Nmm}/3065169,963 \text{ Nmm}) \times 100$$

$$= 5,762358 \%$$

**Tabel 4.11. Hasil perbandingan antara perhitungan manual dengan simulasi *software***

	Perhitungan Manual	Simulasi <i>software</i>	Error (%)
Momen	176626,08 Nmm	3065169,963 Nmm	5,762358

\* *Error*/kesalahan pada *software autodesk inventor* dengan perhitungan manual adalah sekitar 2 % sampai 10 %. (Persentase ini bervariasi sesuai dengan aplikasi).



## 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:

1. Desain rangka yang sesuai dengan kendaraan jenis *urban concept* yang paling optimal adalah rangka variasi 3 yaitu rangka dengan hollow 50 x 30 tebal 2 mm.
2. Rangka hollow 50 x 30 mm tebal 2 mm adalah rangka yang sesuai dengan regulasi yaitu tinggi kendaraan 1051,25 mm, jarak antara roda depan (*track width*) 1027 mm, jarak antara roda belakang (*track width*) 900,5 mm, jarak sumbu roda depan dengan belakang (*wheelbase*) 1230 mm. Lebar kendaraan 1282 mm, panjang kendaraan 2356 mm, jarak antara *roll bar* dengan helm 89 mm, *roll bar* melebihi bahu pengemudi ketika pengemudi duduk pada posisi mengemudi, dan rangka dapat menahan beban statik pada *roll bar* sebesar 700 N (~70 kg) karena memiliki *Safety factor* 3,198 saat pengujian *roll bar*.
3. Rangka yang paling ringan namun kuat adalah jenis rangka dengan hollow 50 x 30 tebal 2 mm karena memiliki *safety factor* 3,198 dan berat 9,8 kg.

## 5.2 Saran

Untuk lebih mengembangkan penelitian ini, maka penulis memberikan saran agar dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi bentuk, tebal, material rangka, dan menggunakan *software* selain Autodesk Inventor untuk mendapatkan rangka yang lebih aman sekaligus 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, 1965.
- 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.
- Regulasi Teknis KMHE 2015. Bab III. 2015.
- Sadam, Ahmad. *Desain Sliding Bridge Sebagai Solusi Peningkatan Pelayanan Transjakarta*. Jakarta: UNJ, 2015.
- Salafuddin, Hafidz. *Desain dan Analisis Kekuatan Pada Rangka Kendaraan Jenis Prototipe Sesuai Standar Shell Eco Marathon Asia*. Jakarta: UNJ, 2016.
- Sato, G. Takeshi, N. Sugiarto Hartanto. *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2003.
- Shell Eco-Marathon 2016 Official Rules. Chapter I*, 2015.
- 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 21 Oktober 2015, pukul 09.25 WIB.
- Susetyo, Yerri. *Dasar Dasar Metode Elemen Hingga*. Yogyakarta : Andi Publisher, 2004.

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

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

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

## Stress Analysis Report

Analyzed File:	Assembly 40x20x2.iam
Autodesk Inventor Version:	2014 SP1 (Build 180222100, 222)
Creation Date:	27/07/2016, 15:55
Simulation Author:	DarkArchon
Summary:	

---

### Project Info (iProperties)

#### Summary

Author	DarkArchon
--------	------------

#### Project

Part Number	Assembly 40x20x2
Designer	DarkArchon
Cost	Rp0
Date Created	01/05/2016

#### Status

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

#### Physical

Mass	7,30296 kg
Area	2584670 mm <sup>2</sup>
Volume	2694820 mm <sup>3</sup>
Center of Gravity	x=217,933 mm y=-65,6719 mm z=-213,071 mm

---

### Simulation:1

#### General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Simulation Type	Static Analysis
Last Modification Date	01/05/2016, 23:54
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 <sup>3</sup>
	Yield Strength	0 MPa
	Ultimate Tensile Strength	0 MPa
Stress	Young's Modulus	0 GPa
	Poisson's Ratio	0 ul
	Shear Modulus	0 GPa
Part Name(s)	Skeleton0001	
Name	Aluminum 6061	
General	Mass Density	2,71 g/cm <sup>3</sup>
	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
Part Name(s)	ISO 40x20x2 00000001 ISO 40x20x2 00000002 ISO 40x20x2 00000003 ISO 40x20x2 00000004 ISO 40x20x2 00000005 ISO 40x20x2 00000006 ISO 40x20x2 00000007 ISO 40x20x2 00000008 ISO 40x20x2 00000009 ISO 40x20x2 00000010 ISO 40x20x2 00000011 ISO 40x20x2 00000012 ISO 40x20x2 00000013 ISO 40x20x2 00000014 ISO 40x20x2 00000015 ISO 40x20x2 00000016 ISO 40x20x2 00000017 ISO 40x20x2 00000018 ISO 40x20x2 00000019 ISO 40x20x2 00000020 ISO 40x20x2 00000021 ISO 40x20x2 00000022 ISO 40x20x2 00000023 ISO 40x20x2 00000024 ISO 40x20x2 00000025	

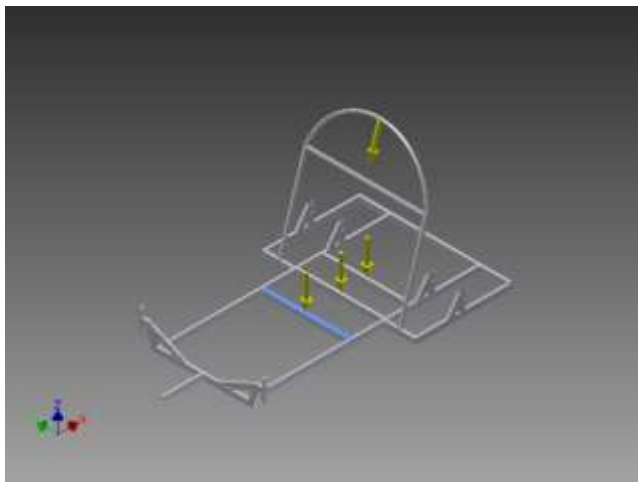
	ISO 40x20x2 00000026
	ISO 21.3x3.0 00000027
	ISO 20x20x2 00000028
	ISO 20x20x2 00000029
	ISO 20x20x2 00000030
	ISO 20x 15_ 00000031
	ISO 20x 15_ 00000032

## Operating conditions

### Force:1

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

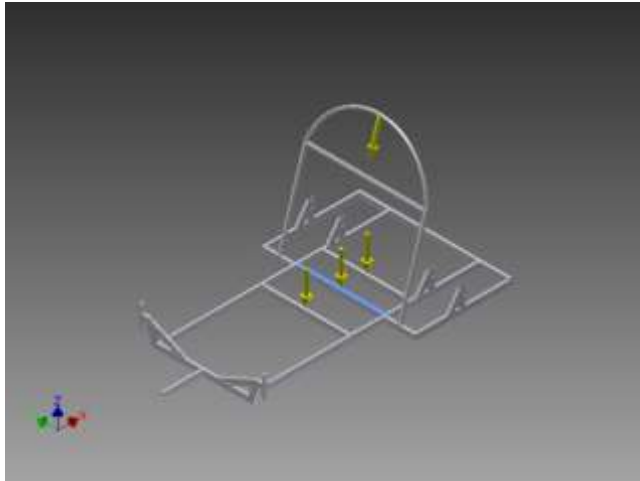
### Selected Face(s)



### Force:2

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

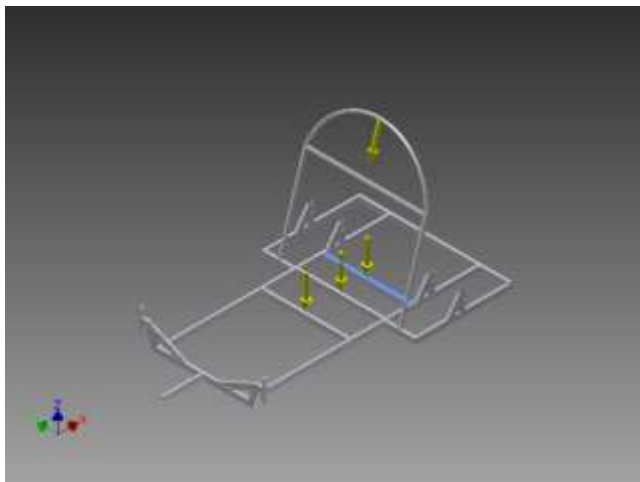
### Selected Face(s)



### Force:3

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

### Selected Face(s)

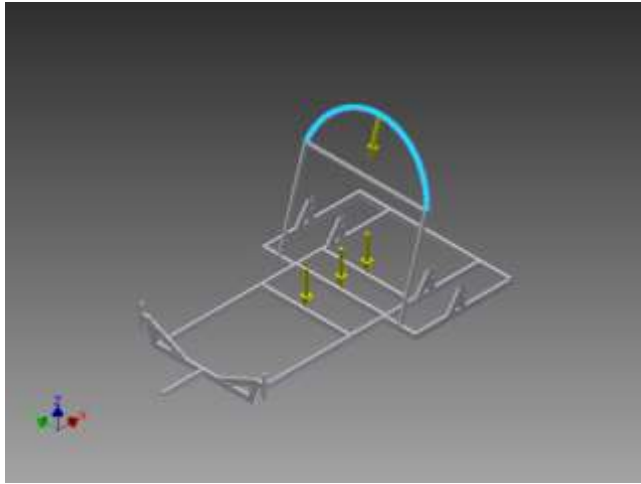


### Force:4

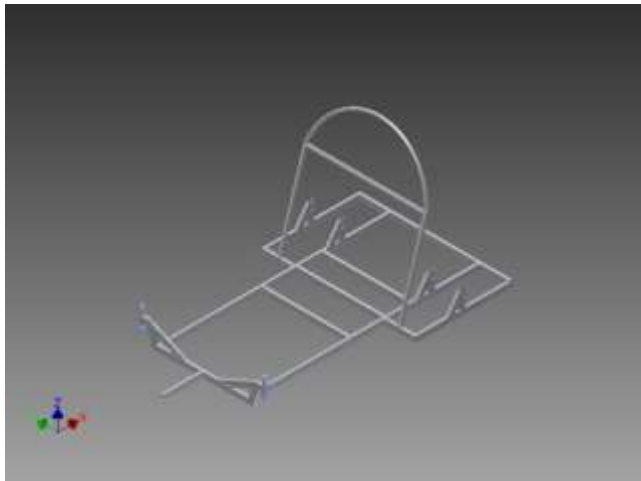
Load Type	Force
Magnitude	700.000 N
Vector X	-204.660 N
Vector Y	-0.000 N

### Selected Face(s)



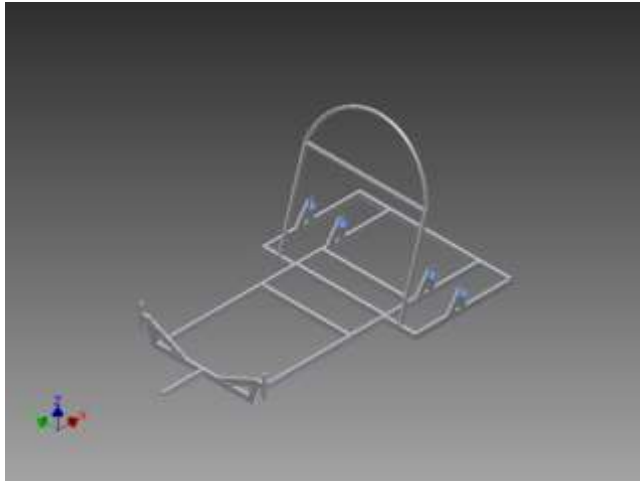
**Fixed Constraint:1**

Constraint Type Fixed Constraint

**Selected Face(s)****Fixed Constraint:2**

Constraint Type Fixed Constraint

**Selected Face(s)**



### Contacts (Bonded)

Name	Part Name(s)
Bonded:1	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000001:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000002:1
Bonded:2	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000001:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000004:1
Bonded:3	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000001:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000008:1
Bonded:4	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000001:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000012:1
Bonded:5	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000001:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000013:1
Bonded:6	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000001:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000018:1
Bonded:7	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000001:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000019:1
Bonded:8	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000001:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000020:1
Bonded:9	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000002:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000003:1
Bonded:10	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000002:1 Frame0001:1/ISO 20x20x2 00000030:1
Bonded:11	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000003:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000004:1
Bonded:12	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000003:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000010:1
Bonded:13	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000003:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000011:1
Bonded:14	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000004:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000005:1
Bonded:15	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000004:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000007:1
Bonded:16	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000005:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000006:1

Bonded:17	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000005:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000016:1
Bonded:18	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000005:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000017:1
Bonded:19	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000006:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000007:1
Bonded:20	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000006:1 Frame0001:1/ISO 20x20x2 00000028:1
Bonded:21	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000007:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000008:1
Bonded:22	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000007:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000014:1
Bonded:23	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000007:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000015:1
Bonded:24	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000007:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000018:1
Bonded:25	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000007:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000019:1
Bonded:26	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000007:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000020:1
Bonded:27	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000008:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000009:1
Bonded:28	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000008:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000021:1
Bonded:29	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000008:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000022:1
Bonded:30	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000008:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000024:1
Bonded:31	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000008:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000025:1
Bonded:32	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000010:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000011:1
Bonded:33	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000012:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000013:1
Bonded:34	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000014:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000015:1
Bonded:35	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000016:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000017:1
Bonded:36	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000021:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000022:1
Bonded:37	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000021:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000022:1
Bonded:38	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000021:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000022:1
Bonded:39	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000021:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000022:1
Bonded:40	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000021:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000023:1

Bonded:41	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000022:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000023:1
Bonded:42	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000023:1 Frame0001:1/ISO 20x 15_ 00000031:1
Bonded:43	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000024:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000025:1
Bonded:44	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000024:1 Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000026:1
Bonded:45	Frame0001:1/ISO 40x20x2 00000026:1 Frame0001:1/ISO 20x 15_ 00000032:1
Bonded:46	Frame0001:1/ISO 21.3x3.0 00000027:1 Frame0001:1/ISO 20x20x2 00000028:1
Bonded:47	Frame0001:1/ISO 21.3x3.0 00000027:1 Frame0001:1/ISO 20x20x2 00000029:1
Bonded:48	Frame0001:1/ISO 21.3x3.0 00000027:1 Frame0001:1/ISO 20x20x2 00000029:1
Bonded:49	Frame0001:1/ISO 21.3x3.0 00000027:1 Frame0001:1/ISO 20x20x2 00000030:1
Bonded:50	Frame0001:1/ISO 20x20x2 00000028:1 Frame0001:1/ISO 20x20x2 00000029:1
Bonded:51	Frame0001:1/ISO 20x20x2 00000029:1 Frame0001:1/ISO 20x20x2 00000030:1

## Results

### Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	170,63 N	-143,205 N	33,9371 N m	-9,50323 N m
		0 N		1,92518 N m
		92,7734 N		-32,5224 N m
Fixed Constraint:2	1517,49 N	348,16 N	164,93 N m	5,68873 N m
		0 N		164,118 N m
		1477,01 N		15,3257 N m

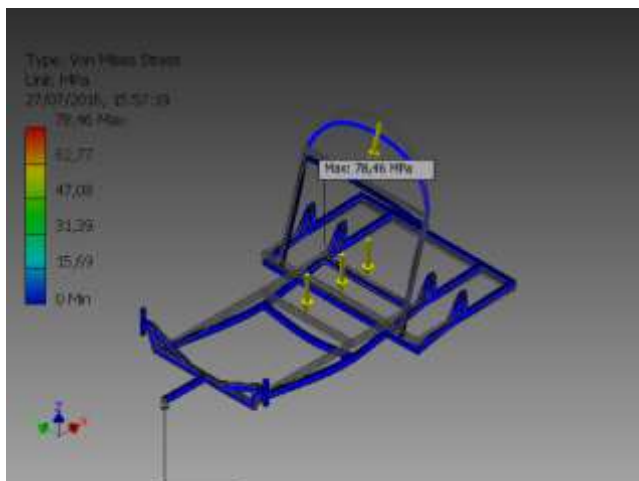
### Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	2694820 mm <sup>3</sup>	
Mass	7,30296 kg	
Von Mises Stress	0,000040388 MPa	78,4631 MPa
1st Principal Stress	-19,6787 MPa	68,2463 MPa
3rd Principal Stress	-69,628 MPa	18,8364 MPa
Displacement	0 mm	0,838817 mm
Safety Factor	3,50483 ul	15 ul

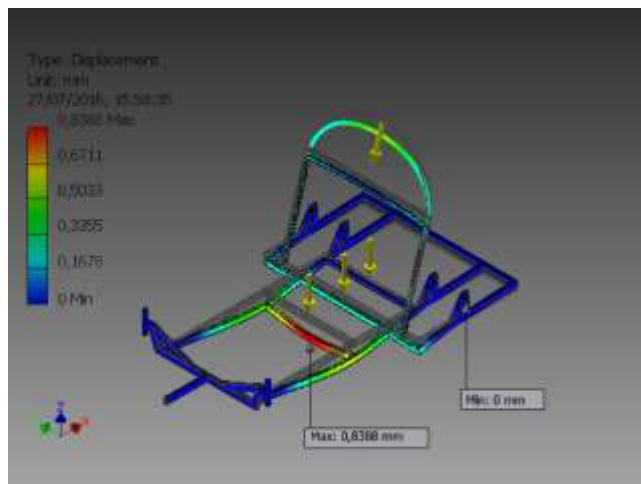
Stress XX	-51,1022 MPa	63,6986 MPa
Stress XY	-40,1476 MPa	41,63 MPa
Stress XZ	-25,5324 MPa	15,1741 MPa
Stress YY	-60,7948 MPa	36,776 MPa
Stress YZ	-16,7158 MPa	15,4524 MPa
Stress ZZ	-42,5933 MPa	41,0849 MPa
X Displacement	-0,104062 mm	0,0821117 mm
Y Displacement	-0,0920982 mm	0,127887 mm
Z Displacement	-0,838029 mm	0,140947 mm
Equivalent Strain	0,000000000579775 ul	0,00100984 ul
1st Principal Strain	-0,00000645317 ul	0,00090745 ul
3rd Principal Strain	-0,000975538 ul	0,0000110847 ul
Strain XX	-0,000595691 ul	0,000819422 ul
Strain XY	-0,000774983 ul	0,000803597 ul
Strain XZ	-0,00049286 ul	0,00029291 ul
Strain YY	-0,000760383 ul	0,000398562 ul
Strain YZ	-0,00032267 ul	0,000298283 ul
Strain ZZ	-0,000455955 ul	0,000515358 ul
Contact Pressure	0 MPa	686,264 MPa
Contact Pressure X	-560,018 MPa	640,736 MPa
Contact Pressure Y	-181,055 MPa	164,775 MPa
Contact Pressure Z	-220,396 MPa	230,834 MPa

## Figures

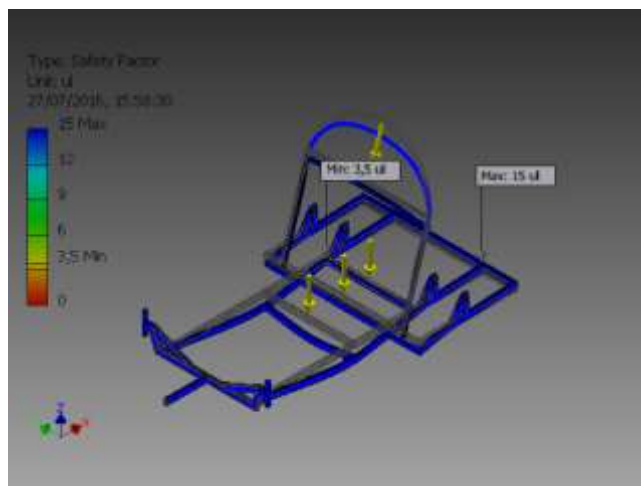
### Von Mises Stress



## Displacement



## Safety Factor



Analyzed File:	Assembly 40x20x3.iam
Autodesk Inventor Version:	2014 SP1 (Build 180222100, 222)
Creation Date:	27/07/2016, 16:18
Simulation Author:	DarkArchon
Summary:	

## Physical

Mass	9,65139 kg
Area	2452720 mm <sup>2</sup>
Volume	3561400 mm <sup>3</sup>
Center of Gravity	x=217,48 mm y=-63,5013 mm z=-237,613 mm

## Simulation:1

### Results

#### Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	117,272 N	-74,6276 N	2,23794 N m	-0,491849 N m
		0 N		2,18322 N m
		90,4628 N		0 N m
Fixed Constraint:2	1505,21 N	279,672 N	152,886 N m	0 N m
		0 N		152,886 N m
		1479 N		0 N m

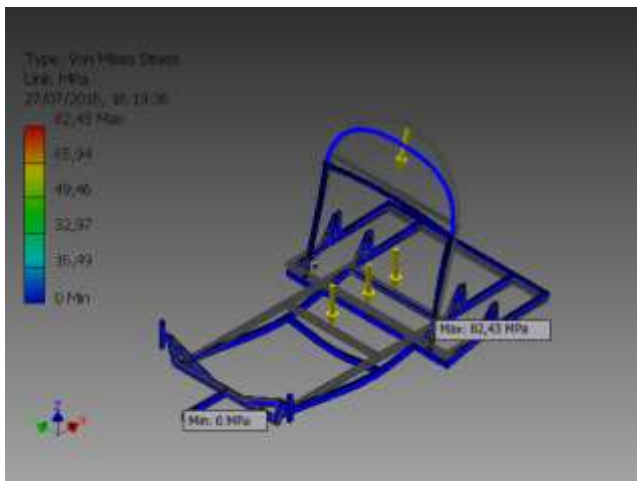
### Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	3561400 mm <sup>3</sup>	
Mass	9,65139 kg	
Von Mises Stress	0,0000128846 MPa	82,4289 MPa
1st Principal Stress	-6,97541 MPa	53,7869 MPa
3rd Principal Stress	-56,7544 MPa	6,46527 MPa
Displacement	0 mm	0,545246 mm
Safety Factor	3,33621 ul	15 ul
Stress XX	-50,9677 MPa	40,0033 MPa
Stress XY	-41,8027 MPa	37,9749 MPa
Stress XZ	-18,4195 MPa	15,5704 MPa

Stress YY	-22,8667 MPa	21,5308 MPa
Stress YZ	-11,874 MPa	14,2551 MPa
Stress ZZ	-18,4346 MPa	23,9213 MPa
X Displacement	-0,199666 mm	0,056672 mm
Y Displacement	-0,0765847 mm	0,137072 mm
Z Displacement	-0,544354 mm	0,0890741 mm
Equivalent Strain	0,000000000175524 ul	0,00106117 ul
1st Principal Strain	-0,000000297489 ul	0,000978383 ul
3rd Principal Strain	-0,000853137 ul	0,0000031007 ul
Strain XX	-0,000651759 ul	0,000539966 ul
Strain XY	-0,000806931 ul	0,000733043 ul
Strain XZ	-0,000355559 ul	0,00030056 ul
Strain YY	-0,000308561 ul	0,000317776 ul
Strain YZ	-0,000229208 ul	0,000275172 ul
Strain ZZ	-0,000258034 ul	0,000291859 ul
Contact Pressure	0 MPa	258,506 MPa
Contact Pressure X	-255,2 MPa	216,728 MPa
Contact Pressure Y	-90,2816 MPa	89,8595 MPa
Contact Pressure Z	-98,5393 MPa	125,903 MPa

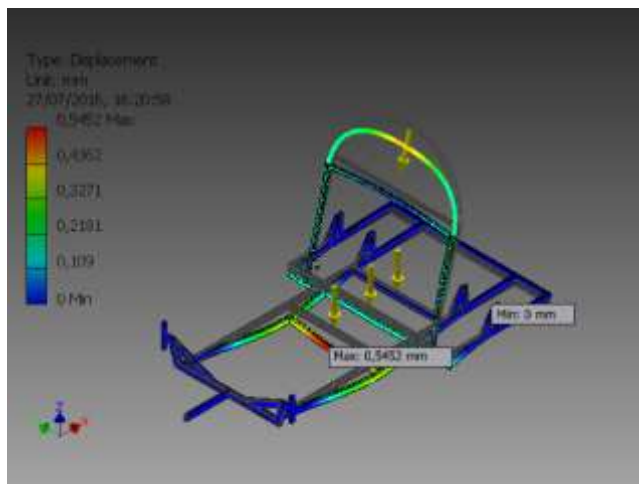
## Figures

### Von Mises Stress

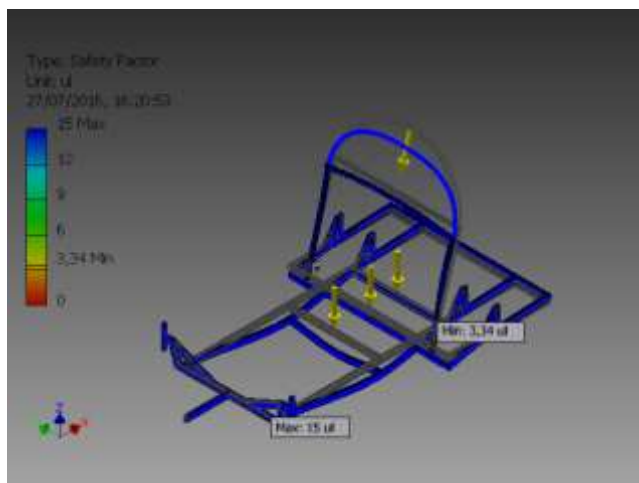




## Displacement



## Safety Factor



Analyzed File:	Assembly 50x30x2.iam
Autodesk Inventor Version:	2014 SP1 (Build 180222100, 222)
Creation Date:	27/07/2016, 16:44
Simulation Author:	DarkArchon
Summary:	

## Physical

Mass	9,81584 kg
Area	3460380 mm <sup>2</sup>
Volume	3622080 mm <sup>3</sup>
Center of Gravity	x=226,381 mm y=-61,1312 mm z=-216,056 mm

## Simulation:1

### Results

#### Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	240,175 N	-165,031 N	2,43405 N m	-0,961102 N m
		0 N		1,50218 N m
		174,496 N		1,6566 N m
Fixed Constraint:2	1443,37 N	369,904 N	190,419 N m	-5,37942 N m
		0 N		190,317 N m
		1395,17 N		-3,13148 N m

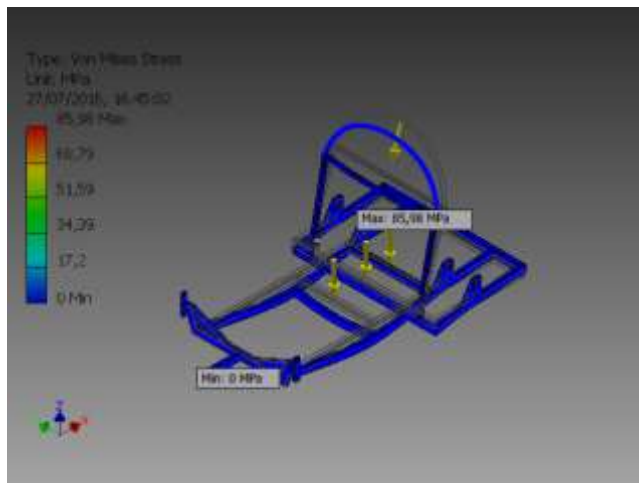
### Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	3622080 mm <sup>3</sup>	
Mass	9,81584 kg	
Von Mises Stress	0,000128531 MPa	85,9844 MPa
1st Principal Stress	-11,6482 MPa	87,6149 MPa
3rd Principal Stress	-75,1137 MPa	10,553 MPa
Displacement	0 mm	0,638608 mm
Safety Factor	3,19826 ul	15 ul
Stress XX	-36,711 MPa	80,3549 MPa
Stress XY	-25,2677 MPa	24,6139 MPa
Stress XZ	-20,8716 MPa	14,4763 MPa

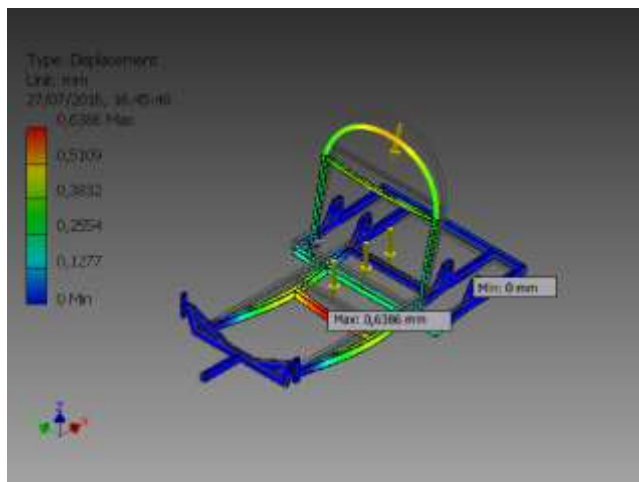
Stress YY	-62,3273 MPa	28,7465 MPa
Stress YZ	-21,4896 MPa	21,1523 MPa
Stress ZZ	-26,2388 MPa	41,8749 MPa
X Displacement	-0,466186 mm	0,0749126 mm
Y Displacement	-0,0615705 mm	0,0689752 mm
Z Displacement	-0,637825 mm	0,155002 mm
Equivalent Strain	0,00000000170389 ul	0,0011094 ul
1st Principal Strain	-0,0000176559 ul	0,00120025 ul
3rd Principal Strain	-0,00108879 ul	0,0000185395 ul
Strain XX	-0,00046599 ul	0,00104365 ul
Strain XY	-0,000487751 ul	0,000475131 ul
Strain XZ	-0,000402891 ul	0,000279441 ul
Strain YY	-0,000810571 ul	0,000492414 ul
Strain YZ	-0,000414822 ul	0,00040831 ul
Strain ZZ	-0,000498108 ul	0,000578014 ul
Contact Pressure	0 MPa	506,622 MPa
Contact Pressure X	-294,472 MPa	502,265 MPa
Contact Pressure Y	-132,043 MPa	169,056 MPa
Contact Pressure Z	-231,134 MPa	250,932 MPa

## Figures

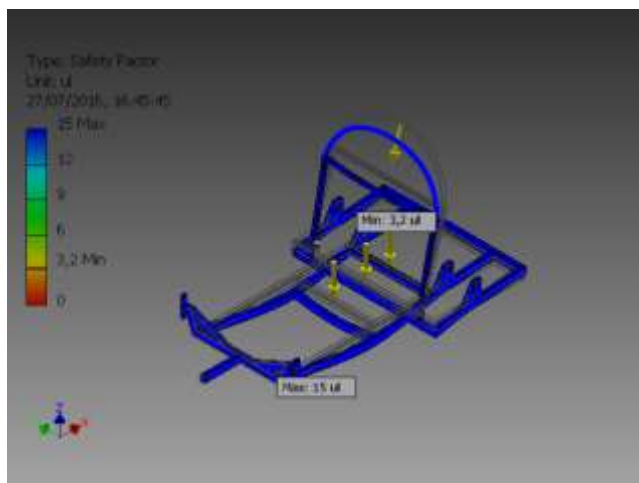
### Von Mises Stress



## Displacement



## Safety Factor



## Frame Analysis Report

Analyzed File:	Assembly 40X20X2.iam
Version:	2014 SP1 (Build 180222100, 222)
Creation Date:	27/07/2016, 14:59
Simulation Author:	DarkArchon
Summary:	

---

### Project Info (iProperties)

#### Summary

Author	DarkArchon
--------	------------

#### Project

Part Number	Assembly 40X20X2
Designer	DarkArchon
Cost	Rp0
Date Created	21/04/2016

#### Status

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

#### Physical

Mass	7,531 kg
Area	27258,711 mm <sup>2</sup>
Volume	2779,089 mm <sup>3</sup>
Center of Gravity	x=217,857 mm y=-63,901 mm z=-211,133 mm

---

### Simulation:1

#### General objective and settings:

Simulation Type	Static Analysis
Last Modification Date	02/05/2016, 4:39

#### Material(s)

Name	Aluminum 6061	
General	Mass Density	2,710 g/cm <sup>3</sup>
	Yield Strength	275,000 MPa
	Ultimate Tensile Strength	310,000 MPa

Stress	Young's Modulus	68,900 GPa
	Poisson's Ratio	0,330 ul
Part Name(s)	ISO 40x20x2 00000001.ipt	
	ISO 40x20x2 00000002.ipt	
	ISO 40x20x2 00000003.ipt	
	ISO 40x20x2 00000004.ipt	
	ISO 40x20x2 00000005.ipt	
	ISO 40x20x2 00000006.ipt	
	ISO 40x20x2 00000007.ipt	
	ISO 40x20x2 00000036.ipt	
	ISO 40x20x2 00000009.ipt	
	ISO 40x20x2 00000010.ipt	
	ISO 40x20x2 00000011.ipt	
	ISO 40x20x2 00000012.ipt	
	ISO 40x20x2 00000013.ipt	
	ISO 40x20x2 00000014.ipt	
	ISO 40x20x2 00000015.ipt	
	ISO 40x20x2 00000016.ipt	
	ISO 40x20x2 00000017.ipt	
	ISO 40x20x2 00000018.ipt	
	ISO 40x20x2 00000019.ipt	
	ISO 40x20x2 00000020.ipt	
	ISO 40x20x2 00000021.ipt	
	ISO 40x20x2 00000022.ipt	
	ISO 40x20x2 00000023.ipt	
	ISO 40x20x2 00000024.ipt	
	ISO 40x20x2 00000025.ipt	
	ISO 40x20x2 00000026.ipt	
	ISO 20x20x2 00000031.ipt	
	ISO 20x20x2 00000032.ipt	
	ISO 20x 15_ 00000034.ipt	
	ISO 20x 15_ 00000035.ipt	
	ISO 21.3x2.0 00000039.ipt	
	ISO 21.3x2.0 00000040.ipt	
	ISO 21.3x2.0 00000041.ipt	
ISO 21.3x2.0 00000042.ipt		
ISO 21.3x2.0 00000043.ipt		
ISO 21.3x2.0 00000044.ipt		
ISO 21.3x2.0 00000045.ipt		
ISO 21.3x2.0 00000046.ipt		
ISO 21.3x2.0 00000047.ipt		
ISO 21.3x2.0 00000048.ipt		
ISO 21.3x2.0 00000052.ipt		
ISO 20x20x2 00000050.ipt		

### Cross Section(s)

Geometry Properties	Section Area (A)	213,699 mm <sup>2</sup>
	Section Width	20,000 mm
	Section Height	40,000 mm
	Section Centroid (x)	10,000 mm
	Section Centroid (y)	20,000 mm
Mechanical Properties	Moment of Inertia (I <sub>x</sub> )	40495,468 mm <sup>4</sup>

	Moment of Inertia ( $I_y$ )	13428,330 mm <sup>4</sup>
	Torsional Rigidity Modulus (J)	34500,000 mm <sup>4</sup>
	Section Modulus ( $W_x$ )	2024,773 mm <sup>3</sup>
	Section Modulus ( $W_y$ )	1342,833 mm <sup>3</sup>
	Torsional Section Modulus ( $W_z$ )	2360,000 mm <sup>3</sup>
	Reduced Shear Area ( $A_x$ )	67,274 mm <sup>2</sup>
	Reduced Shear Area ( $A_y$ )	123,941 mm <sup>2</sup>
Part Name(s)	ISO 40x20x2 00000001.ipt ISO 40x20x2 00000002.ipt ISO 40x20x2 00000003.ipt ISO 40x20x2 00000004.ipt ISO 40x20x2 00000005.ipt ISO 40x20x2 00000006.ipt ISO 40x20x2 00000007.ipt ISO 40x20x2 00000036.ipt ISO 40x20x2 00000009.ipt ISO 40x20x2 00000010.ipt ISO 40x20x2 00000011.ipt ISO 40x20x2 00000012.ipt ISO 40x20x2 00000013.ipt ISO 40x20x2 00000014.ipt ISO 40x20x2 00000015.ipt ISO 40x20x2 00000016.ipt ISO 40x20x2 00000017.ipt ISO 40x20x2 00000018.ipt ISO 40x20x2 00000019.ipt ISO 40x20x2 00000020.ipt ISO 40x20x2 00000021.ipt ISO 40x20x2 00000022.ipt ISO 40x20x2 00000023.ipt ISO 40x20x2 00000024.ipt ISO 40x20x2 00000025.ipt ISO 40x20x2 00000026.ipt	
Geometry Properties	Section Area (A)	133,699 mm <sup>2</sup>
	Section Width	20,000 mm
	Section Height	20,000 mm
	Section Centroid (x)	10,000 mm
	Section Centroid (y)	10,000 mm
Mechanical Properties	Moment of Inertia ( $I_x$ )	6921,664 mm <sup>4</sup>
	Moment of Inertia ( $I_y$ )	6921,664 mm <sup>4</sup>
	Torsional Rigidity Modulus (J)	12100,000 mm <sup>4</sup>
	Section Modulus ( $W_x$ )	692,166 mm <sup>3</sup>
	Section Modulus ( $W_y$ )	692,166 mm <sup>3</sup>
	Torsional Section Modulus ( $W_z$ )	1060,000 mm <sup>3</sup>
	Reduced Shear Area ( $A_x$ )	63,149 mm <sup>2</sup>
	Reduced Shear Area ( $A_y$ )	63,149 mm <sup>2</sup>
Part Name(s)	ISO 20x20x2 00000031.ipt ISO 20x20x2 00000032.ipt	

	ISO 20x20x2 00000050.ipt	
Geometry Properties	Section Area (A)	300,000 mm <sup>2</sup>
	Section Width	15,000 mm
	Section Height	20,000 mm
	Section Centroid (x)	7,500 mm
	Section Centroid (y)	10,000 mm
Mechanical Properties	Moment of Inertia (I <sub>x</sub> )	10000,000 mm <sup>4</sup>
	Moment of Inertia (I <sub>y</sub> )	5625,000 mm <sup>4</sup>
	Torsional Rigidity Modulus (J)	12179,738 mm <sup>4</sup>
	Section Modulus (W <sub>x</sub> )	1000,000 mm <sup>3</sup>
	Section Modulus (W <sub>y</sub> )	750,000 mm <sup>3</sup>
	Torsional Section Modulus (W <sub>t</sub> )	1011,485 mm <sup>3</sup>
	Reduced Shear Area (A <sub>x</sub> )	200,000 mm <sup>2</sup>
	Reduced Shear Area (A <sub>y</sub> )	200,000 mm <sup>2</sup>
Part Name(s)	ISO 20x 15_ 00000034.ipt ISO 20x 15_ 00000035.ipt	

Geometry Properties	Section Area (A)	121,265 mm <sup>2</sup>
	Section Width	21,300 mm
	Section Height	21,300 mm
	Section Centroid (x)	10,650 mm
	Section Centroid (y)	10,650 mm
Mechanical Properties	Moment of Inertia (I <sub>x</sub> )	5706,905 mm <sup>4</sup>
	Moment of Inertia (I <sub>y</sub> )	5706,905 mm <sup>4</sup>
	Torsional Rigidity Modulus (J)	11413,810 mm <sup>4</sup>
	Section Modulus (W <sub>x</sub> )	535,860 mm <sup>3</sup>
	Section Modulus (W <sub>y</sub> )	535,860 mm <sup>3</sup>
	Torsional Section Modulus (W <sub>t</sub> )	1071,719 mm <sup>3</sup>
	Reduced Shear Area (A <sub>x</sub> )	61,065 mm <sup>2</sup>
	Reduced Shear Area (A <sub>y</sub> )	61,065 mm <sup>2</sup>
Part Name(s)	ISO 21.3x2.0 00000039.ipt ISO 21.3x2.0 00000040.ipt ISO 21.3x2.0 00000041.ipt ISO 21.3x2.0 00000042.ipt ISO 21.3x2.0 00000043.ipt ISO 21.3x2.0 00000044.ipt ISO 21.3x2.0 00000045.ipt ISO 21.3x2.0 00000046.ipt ISO 21.3x2.0 00000047.ipt ISO 21.3x2.0 00000048.ipt ISO 21.3x2.0 00000052.ipt	



## Beam Model

Nodes	95
Beams	42
- Round Tubes	11
- Square/Rectangular Tubes	29
- 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:2	Node:41
Rigid Link:2	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	Node:4	Node:18
Rigid Link:3	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	Node:67	Node:59
Rigid Link:4	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	Node:11	Node:17
Rigid Link:5	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	Node:68	Node:62
Rigid Link:6	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	Node:13	Node:50
Rigid Link:8	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	Node:57	Node:100
Rigid Link:7	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	fixed	Node:58	Node:69, Node:61

## Operating conditions

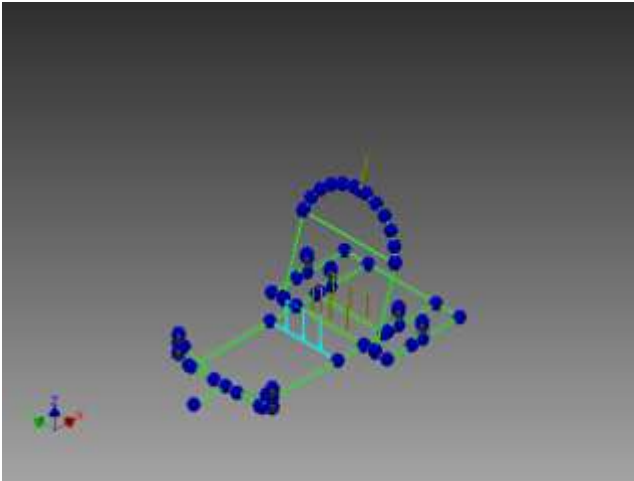
### Gravity

Load Type	Gravity
Magnitude	9810,000 mm/s <sup>2</sup>
Direction	Z-

### Continuous Load:1

Load Type	Continuous Load
Magnitude	700,000 N/mm
Beam Coordinate System	No
Angle of Plane	0,00 deg
Angle in Plane	180,00 deg
Qx	0,000 N/mm
Qy	0,000 N/mm
Qz	-700,000 N/mm
Offset	150,000 mm
Length	300,000 mm
End Magnitude	700,000 N/mm

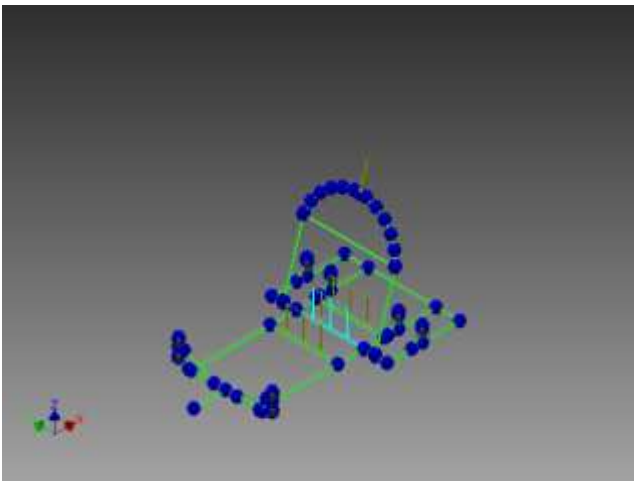
### Selected Reference(s)



### Continuous Load:2

Load Type	Continuous Load
Magnitude	100,000 N/mm
Beam Coordinate System	No
Angle of Plane	0,00 deg
Angle in Plane	180,00 deg
Qx	0,000 N/mm
Qy	0,000 N/mm
Qz	-100,000 N/mm
Offset	150,000 mm
Length	300,000 mm
End Magnitude	100,000 N/mm

### Selected Reference(s)

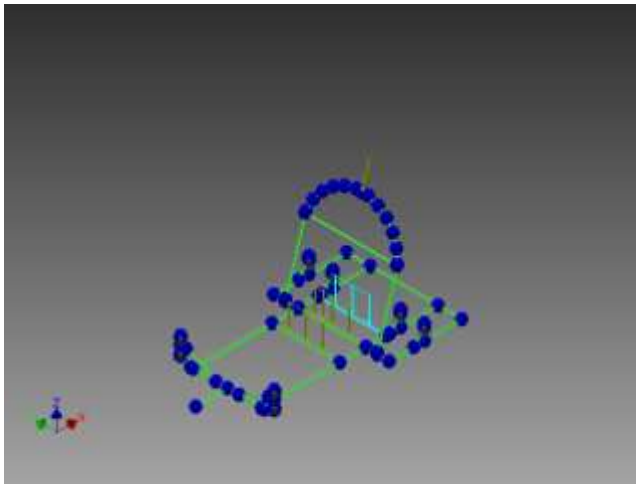


### Continuous Load:3

Load Type	Continuous Load
Magnitude	100,000 N/mm
Beam Coordinate System	No

Angle of Plane	0,00 deg
Angle in Plane	180,00 deg
Qx	0,000 N/mm
Qy	0,000 N/mm
Qz	-100,000 N/mm
Offset	150,000 mm
Length	300,000 mm
End Magnitude	100,000 N/mm

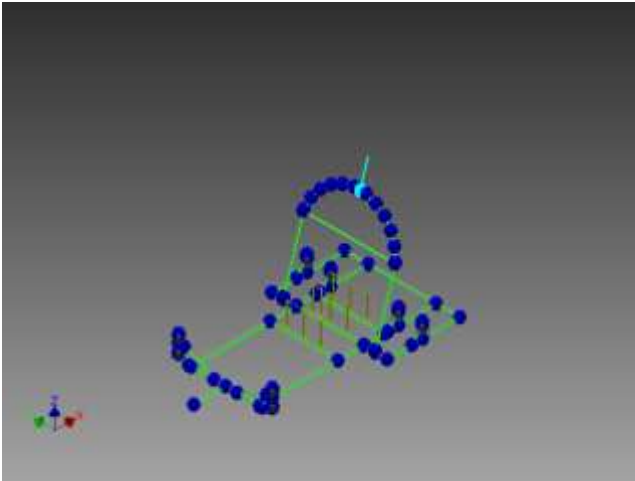
### Selected Reference(s)



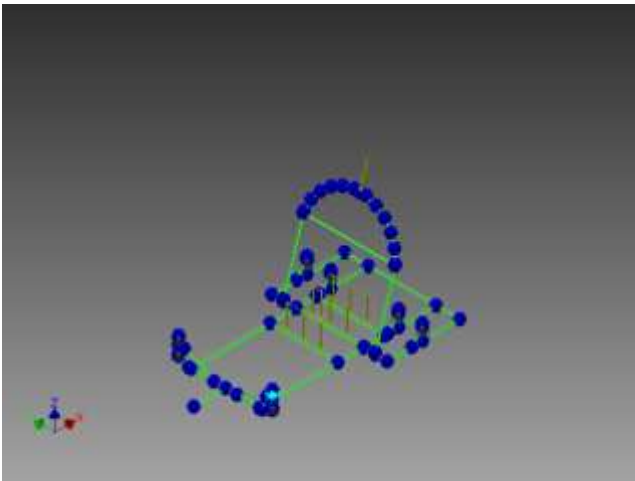
### Force:1

Load Type	Force
Magnitude	700,000 N
Beam Coordinate System	No
Angle of Plane	180,00 deg
Angle in Plane	163,00 deg
Fx	-204,660 N
Fy	-0,000 N
Fz	-669,413 N

### Selected Reference(s)

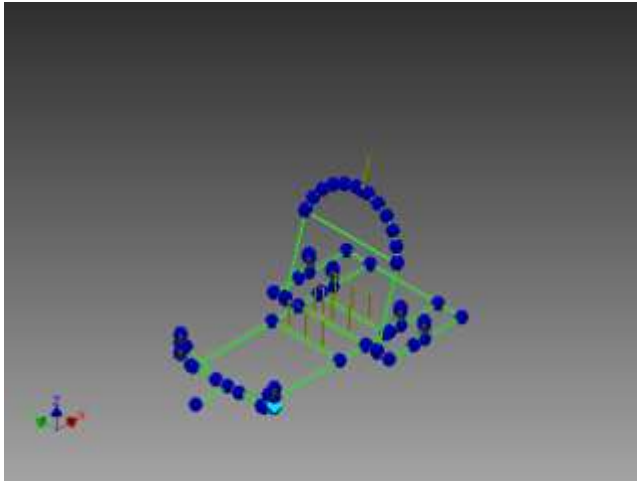
**Fixed Constraint:1**

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

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

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

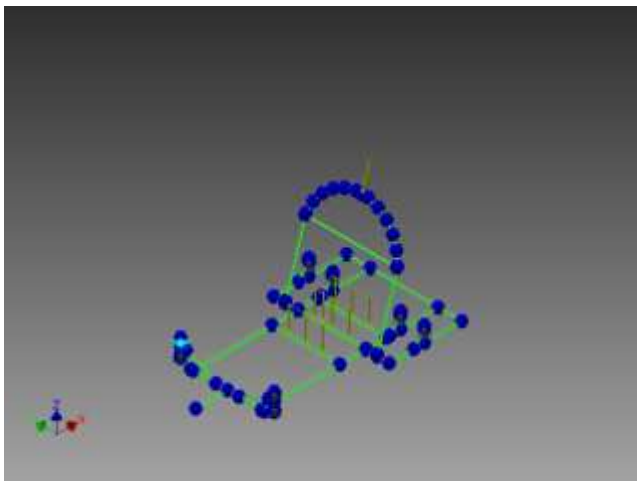
**Selected Reference(s)**



### Fixed Constraint:3

Constraint Type Fixed

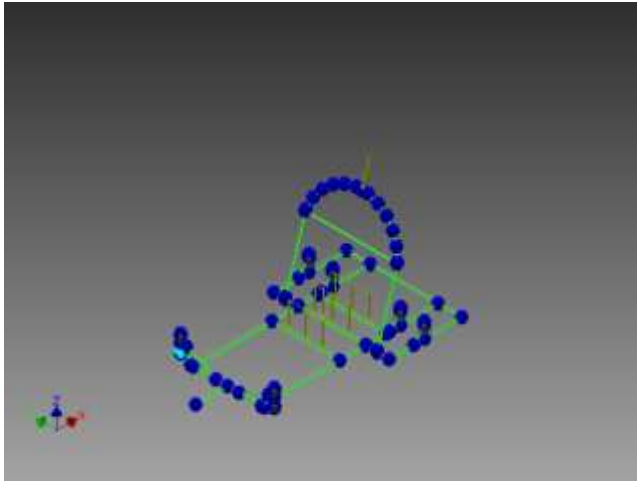
### Selected Reference(s)



### Fixed Constraint:4

Constraint Type Fixed

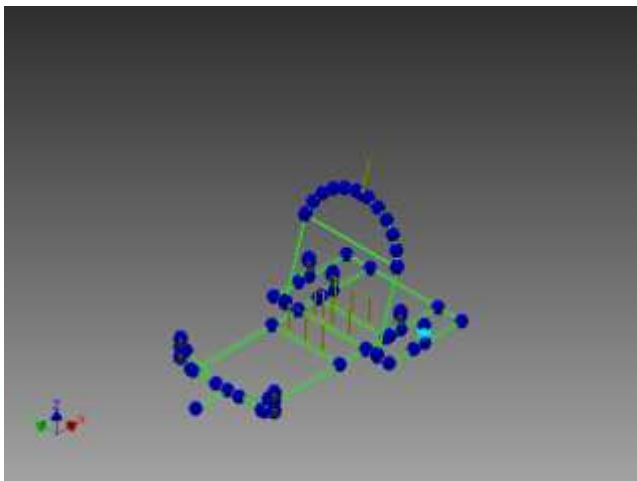
### Selected Reference(s)



### Fixed Constraint:5

Constraint Type Fixed

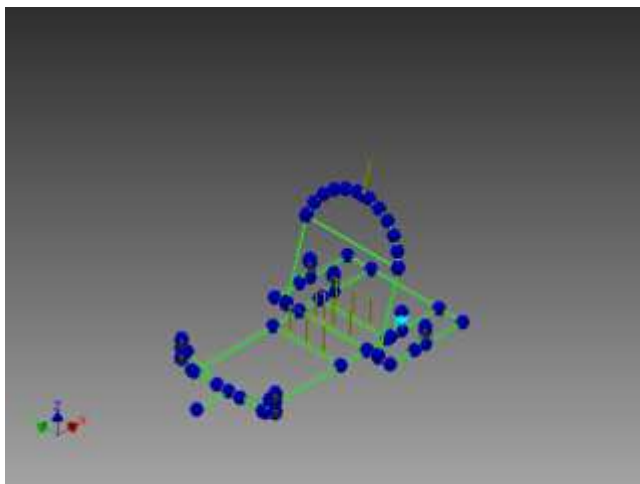
### Selected Reference(s)



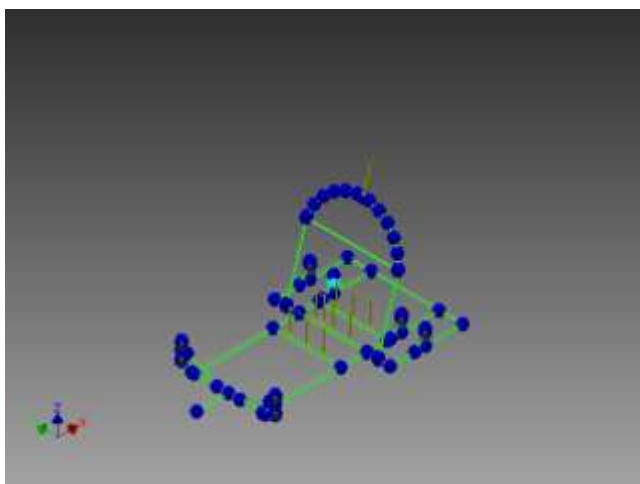
### Fixed Constraint:6

Constraint Type Fixed

### Selected Reference(s)

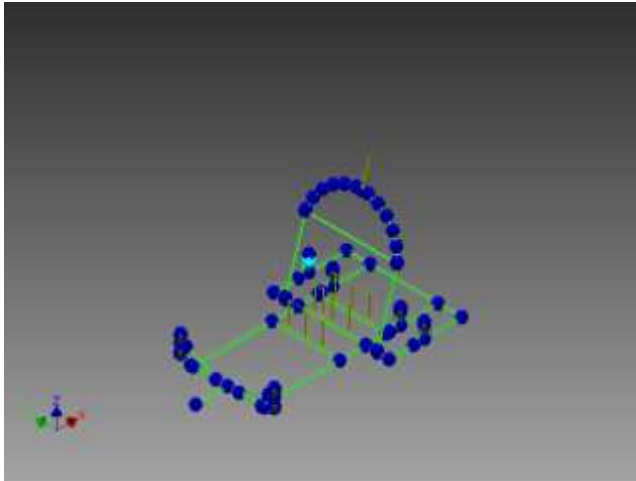
**Fixed Constraint:7**

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

**Selected Reference(s)****Fixed Constraint:8**

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

**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)
Fixed Constraint:1	50045,808 N	-38914,686 N	1804629,260 N mm	-685443,002 N mm
		-27457,421 N		972173,390 N mm
		15372,708 N		1357104,843 N mm
Fixed Constraint:2	19683,902 N	-10094,653 N	1452674,270 N mm	297068,969 N mm
		-7016,683 N		-424592,755 N mm
		15372,708 N		1357104,843 N mm
Fixed Constraint:3	50045,578 N	-38914,480 N	1804617,619 N mm	685441,657 N mm
		27457,352 N		972166,938 N mm
		15372,605 N		-1357094,666 N mm
Fixed Constraint:4	19683,675 N	-10094,323 N	1452662,435 N mm	-297070,160 N mm
		7016,747 N		-424583,958 N mm
		15372,605 N		-1357094,666 N mm
Fixed Constraint:5	15251,604 N	-2879,819 N	8551647,101 N mm	1018985,788 N mm
		-1547,700 N		8489998,298 N mm
		14897,070 N		110747,463 N mm
Fixed Constraint:6	104245,384 N	51992,185 N	18689610,851 N mm	593513,275 N mm
		-10591,453 N		18672610,120 N mm
		89731,454 N		531908,913 N mm
Fixed Constraint:7	104243,352 N	51991,328 N	18689283,594 N mm	-593521,604 N mm
		10591,537 N		18672281,960 N mm
		89729,580 N		-531920,800 N mm
Fixed Constraint:8	15249,352 N	-2880,892 N	8551077,822 N mm	-1019008,994 N mm
		1547,621 N		8489422,077 N mm
		14894,565 N		-110749,262 N mm

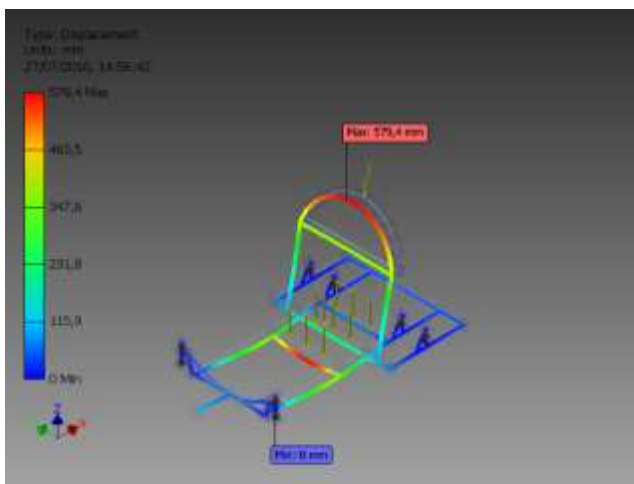


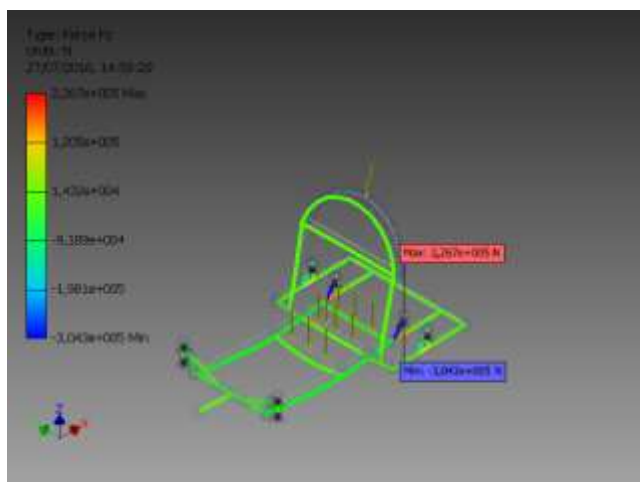
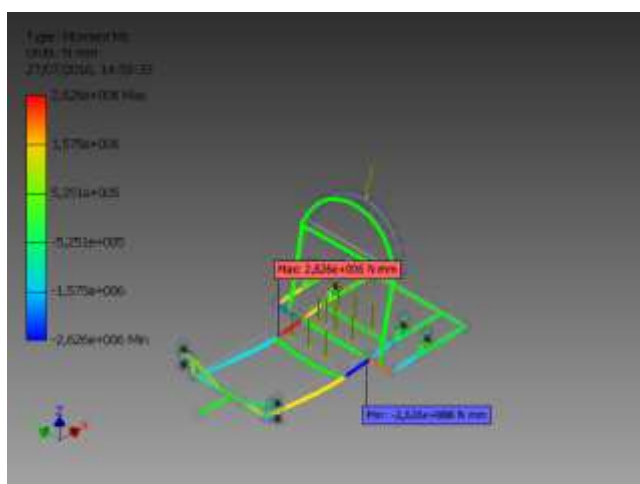
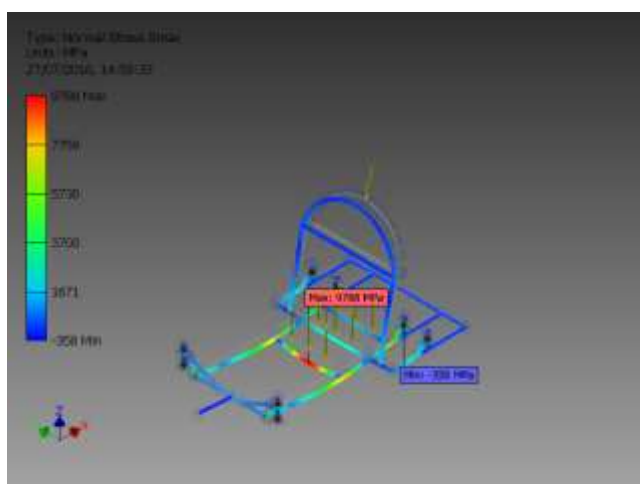
## Static Result Summary

Name		Minimum	Maximum
Displacement		0,000 mm	579,413 mm
Forces	Fx	-27457,421 N	49009,338 N
	Fy	-139418,655 N	206029,425 N
	Fz	-304299,884 N	226728,092 N
Moments	Mx	-19587106,524 N mm	14204877,012 N mm
	My	-6141683,236 N mm	6141741,507 N mm
	Mz	-2625592,909 N mm	2625590,600 N mm
Normal Stresses	Smax	-358,205 MPa	9788,137 MPa
	Smin	-9733,298 MPa	666,398 MPa
	Smax(Mx)	0,000 MPa	9673,728 MPa
	Smin(Mx)	-9673,728 MPa	0,000 MPa
	Smax(My)	0,000 MPa	4573,719 MPa
	Smin(My)	-4573,719 MPa	0,000 MPa
	Saxial	-1060,969 MPa	1423,964 MPa
Shear Stresses	Tx	-728,508 MPa	153,039 MPa
	Ty	-1662,317 MPa	1124,878 MPa
Torsional Stresses	T	-1341,695 MPa	1341,695 MPa

## Figures

### Displacement



**Fz****Mz****Smax**

Analyzed File:	Assembly FRAME 40X20X3 2104.iam
Version:	2014 SP1 (Build 180222100, 222)
Creation Date:	27/07/2016, 15:18
Simulation Author:	DarkArchon
Summary:	

## Physical

Mass	10,121 kg
Area	25723,696 mm <sup>2</sup>
Volume	3734,736 mm <sup>3</sup>
Center of Gravity	x=236,297 mm y=-72,576 mm z=-238,578 mm

## Simulation:1

### Results

#### Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Components (Fx,Fy,Fz)	Magnitude	Components (Mx,My,Mz)
Fixed Constraint:1	47989,672 N	-39056,298 N	1374320,262 N mm	-610772,072 N mm
		-23898,732 N		926577,664 N mm
		14368,884 N		810658,677 N mm
Fixed Constraint:2	17004,027 N	212,508 N	893445,390 N mm	329404,963 N mm
		-9089,936 N		-180470,340 N mm
		14368,884 N		810658,677 N mm
Fixed Constraint:3	47989,423 N	-39056,062 N	1374311,132 N mm	610771,119 N mm
		23898,684 N		926570,715 N mm
		14368,774 N		-810651,859 N mm
Fixed Constraint:4	17003,959 N	212,791 N	893437,882 N mm	-329405,674 N mm
		9089,976 N		-180462,501 N mm
		14368,774 N		-810651,859 N mm
Fixed Constraint:5	16416,012 N	-1711,171 N	8292431,229 N mm	897761,188 N mm
		-1437,349 N		8242788,925 N mm
		16263,190 N		121947,889 N mm
Fixed Constraint:6	75498,657 N	40658,043 N	15806128,177 N mm	248660,478 N mm
		-5405,356 N		15802190,431 N mm
		63385,747 N		250266,860 N mm
Fixed	75496,291	40656,946 N	15805774,002 N	-248668,817 N mm

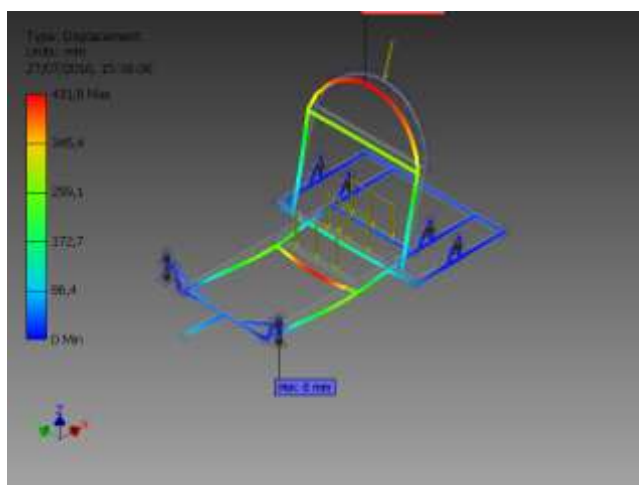
Constraint:7	N	5405,446 N	mm	15801835,849 N mm
		63383,625 N		-250278,721 N mm
Fixed Constraint:8	16413,757 N	-1712,097 N	8291871,208 N mm	-897779,170 N mm
		1437,267 N		8242223,565 N mm
		16260,825 N		-121948,344 N mm

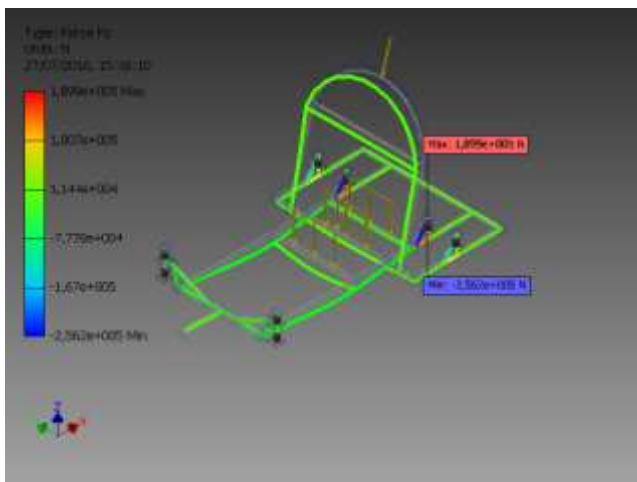
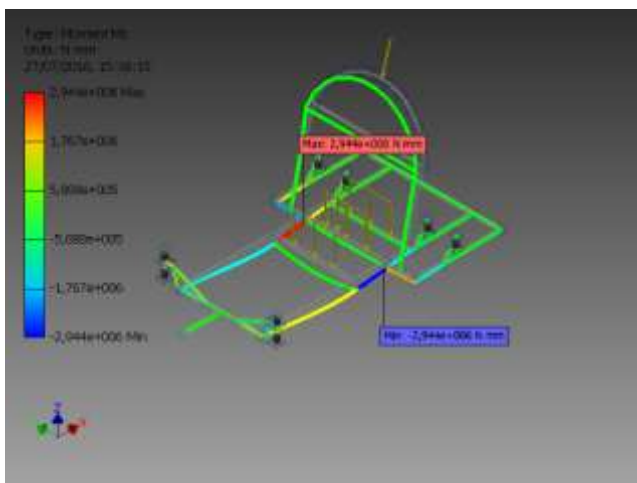
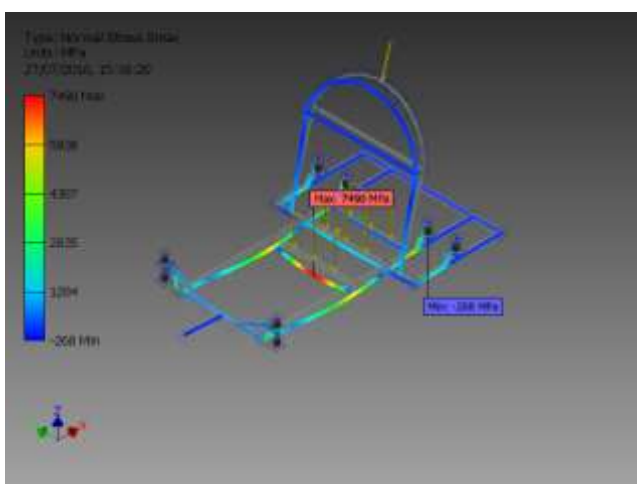
### Static Result Summary

Name		Minimum	Maximum
Displacement		0,000 mm	431,790 mm
Forces	Fx	-38843,790 N	39848,268 N
	Fy	-128253,980 N	174912,688 N
	Fz	-256238,775 N	189898,841 N
Moments	Mx	-19279637,673 N mm	13633456,143 N mm
	My	-5441823,037 N mm	1621317,355 N mm
	Mz	-2944180,405 N mm	2944183,222 N mm
Normal Stresses	Smax	-268,078 MPa	7489,952 MPa
	Smin	-7451,806 MPa	474,562 MPa
	Smax(Mx)	0,000 MPa	7404,485 MPa
	Smin(Mx)	-7404,485 MPa	0,000 MPa
	Smax(My)	0,000 MPa	3230,062 MPa
	Smin(My)	-3230,062 MPa	0,000 MPa
	Saxial	-631,264 MPa	851,792 MPa
Shear Stresses	Tx	-416,932 MPa	406,422 MPa
	Ty	-980,643 MPa	719,052 MPa
Torsional Stresses	T	-1190,354 MPa	1190,354 MPa

### Figures

#### Displacement



**Fz****Mz****Smax**

Analyzed File:	Assembly 50X30X2.iam
Version:	2014 SP1 (Build 180222100, 222)
Creation Date:	27/07/2016, 15:23
Simulation Author:	DarkArchon
Summary:	

## Physical

Mass	10,184 kg
Area	36964,878 mm <sup>2</sup>
Volume	3758,091 mm <sup>3</sup>
Center of Gravity	x=221,100 mm y=-66,994 mm z=-232,909 mm

## Simulation:1

### Results

#### Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Components (Fx,Fy,Fz)	Magnitude	Components (Mx,My,Mz)
Fixed Constraint:1	53233,606 N	-44358,065 N	1463353,256 N mm	-643870,131 N mm
		-25278,415 N		1058013,637 N mm
		15072,511 N		779385,110 N mm
Fixed Constraint:2	17662,924 N	-949,386 N	880810,710 N mm	337611,300 N mm
		-9159,530 N		-233248,722 N mm
		15072,511 N		779385,110 N mm
Fixed Constraint:3	53233,346 N	-44357,816 N	1463344,230 N mm	643869,239 N mm
		25278,370 N		1058006,165 N mm
		15072,400 N		-779379,043 N mm
Fixed Constraint:4	17662,832 N	-949,059 N	880803,238 N mm	-337611,993 N mm
		9159,568 N		-233239,776 N mm
		15072,400 N		-779379,043 N mm
Fixed Constraint:5	12676,119 N	-7014,607 N	8334206,840 N mm	1066295,903 N mm
		-1225,758 N		8265619,634 N mm
		10486,983 N		39354,303 N mm
Fixed Constraint:6	109400,591 N	52425,159 N	20164102,640 N mm	892945,429 N mm
		-15542,897 N		20132654,552 N mm
		94755,002 N		685495,756 N mm
Fixed	109398,144	52423,981 N	20163734,823 N	-892969,963 N mm

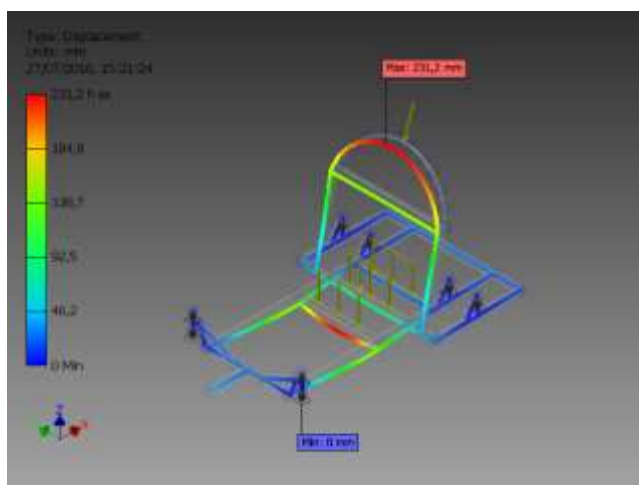
Constraint:7	N	15542,989 N	mm	20132284,576 N mm
		94752,813 N		-685510,331 N mm
Fixed Constraint:8	12674,746 N	-7015,547 N	8333688,421 N mm	-1066319,789 N mm
		1225,673 N		8265093,822 N mm
		10484,704 N		-39356,205 N mm

## Static Result Summary

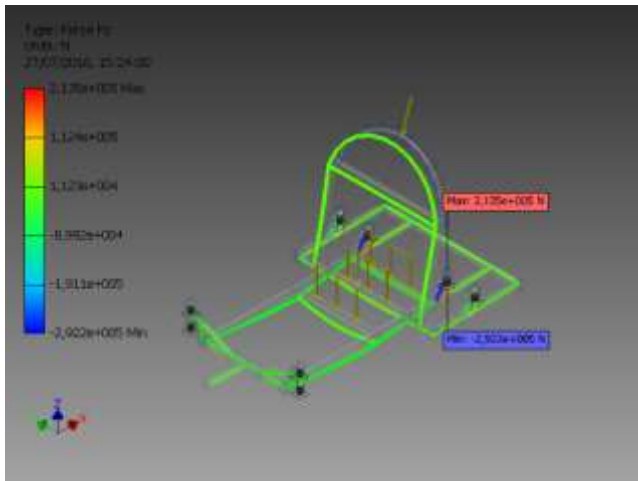
Name		Minimum	Maximum
Displacement		0,000 mm	231,171 mm
Forces	Fx	-45307,451 N	46857,497 N
	Fy	-122141,315 N	203705,448 N
	Fz	-292214,425 N	213525,973 N
Moments	Mx	-18987349,365 N mm	13675529,148 N mm
	My	-6421895,281 N mm	6421962,127 N mm
	Mz	-3065170,455 N mm	3065169,963 N mm
Normal Stresses	Smax	-400,333 MPa	5055,169 MPa
	Smin	-5010,395 MPa	407,702 MPa
	Smax(Mx)	0,000 MPa	4977,644 MPa
	Smin(Mx)	-4977,644 MPa	0,000 MPa
	Smax(My)	0,000 MPa	2244,077 MPa
	Smin(My)	-2244,077 MPa	0,000 MPa
	Saxial	-727,023 MPa	994,945 MPa
Shear Stresses	Tx	-453,739 MPa	438,729 MPa
	Ty	-1266,268 MPa	759,251 MPa
Torsional Stresses	T	-700,385 MPa	700,385 MPa

## Figures

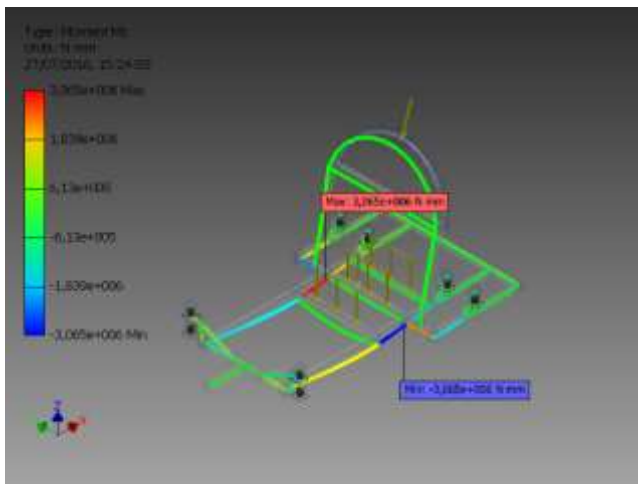
### Displacement



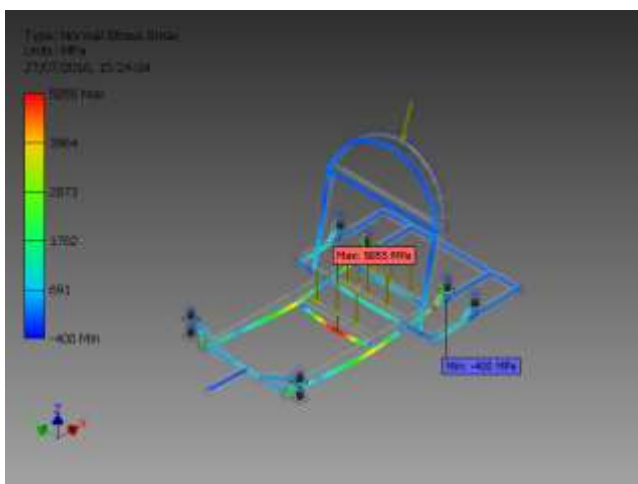
**Fz**



**Mz**



**Smax**





## RIWAYAT HIDUP



**Nur Widiyanto** dilahirkan di DKI Jakarta, pada tanggal 21 Februari 1995. Putra ketiga dari 3 bersaudara pasangan Bapak Muh. Chariri dan Ibu Suprihatin. Bertempat tinggal di Jl. Rawa Kuning RT 05/02 No.47 Pulogebang Cakung, Jakarta Timur.

Menempuh pendidikan di SD Negeri Pulogebang 13 Pagi, SMP Negeri 193 Jakarta, SMA Negeri 103 Jakarta, dan Universitas Negeri Jakarta (UNJ) pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik (FT). Pengalaman di organisasi diantaranya yaitu *Technical Team* di Batavia Team UNJ 2014-2016, Pada awal tahun 2015 penulis mengikuti ajang *Shell Eco Marathon Asia* di Filipina dan *Kontes Mobil Hemat Energi* di Malang mewakili Universitas Negeri Jakarta.