



**ANALISIS DEFLEKSI RANGKA MOBIL LISTRIK
BERBASIS ANGKUTAN MASSAL MENGGUNAKAN
METODE ELEMEN HINGGA**

SKRIPSI

**Diajukan dalam rangka penyelesaian Studi Strata 1
Untuk Mencapai Gelar Sarjana Pendidikan
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

Oleh

**Nama : Muhammad Ashfal Fuad
NIM : 5201410033
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2015**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Ashfal Fuad

NIM : 5201410033

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Judul : Analisis Defleksi Rangka Mobil Listrik Berbasis Angkutan
Massal Menggunakan Metode Elemen Hingga

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Panitia Ujian

Ketua : Dr. M. Khumaedi, M.Pd
NIP. 196209131991021001

(M.K.)

Sekretaris : Wahyudi, S. Pd., M. Eng.
NIP. 1980031192005011001

(Wahyudi)

Dewan Penguji

Pembimbing : Dr. M. Khumaedi, M.Pd.
NIP. 196209131991021001

(M.K.)

Penguji Utama I : Drs. Karsono, M.Pd.
NIP. 195007061975011001

(Karsono)

Penguji Utama II : Widi Widayat, S.T., M.T.
NIP. 197408152000031001

(Widi Widayat)

Penguji Pendamping : Dr. M. Khumaedi, M.Pd.
NIP. 196209131991021001

(M.K.)

Ditetapkan di Semarang

Tanggal: 5-MEI-2015

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Muhammad Harlanu, M. Pd.
NIP. 196602151199102091

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama Mahasiswa : Muhammad Ashfal Fuad

NIM : 5201410033

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya dengan judul **“Analisis Defleksi Rangka Mobil Listrik Berbasis Angkutan Massal Menggunakan Metode Elemen Hingga”** merupakan hasil karya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi manapun, dan sepanjang pengetahuan saya dalam Skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, 1 Januari 2015

Yang membuat pernyataan



Muhammad Ashfal Fuad
NIM: 5201410033

ABSTRAK

Fuad, Muhammad Ashfal. 2015. “*Analisis Defleksi Rangka Mobil Listrik Berbasis Angkutan Massal Menggunakan Metode Elemen Hingga*”. Skripsi: Prodi Pendidikan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besaran defleksi lentur rangka mobil listrik angkutan massal Unnes sebelum dan sesudah dilapisi *carbon fiber* serta mendapatkan perbandingan besaran defleksi lentur rangka sebelum dan sesudah dilapisi *carbon fiber*.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan bantuan perangkat lunak CATIA untuk memodelkan desain rangka dan ANSYS untuk menganalisis kekuatan rangka. Analisis kekuatan rangka yang dilakukan adalah analisis defleksi, tegangan normal dan faktor keamanan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis besaran defleksi maksimal pada rangkayang telah dilapisi dengan *carbon fiber* lebih kaku yaitu (0,42856mm) yang memenuhi kriteria batasan defleksi yang disarankan dengan tingkat kriteria sedang, sedangkan rangka yang belum dilapisi *carbon fiber* sebesar (3,2642 mm) juga memenuhi kriteria besaran defleksi maksimal dengan kriteria presisi umum, analisa tegangan normal menunjukkan tegangan maksimum pada desain rangka sebelum dilapisi (205,45 MPa) lebih tinggi daripada desain yang sudah dilapisi *carbon fiber* sebesar (78,7 MPa), sedangkan *safety factor* menunjukkan angka keamanan minimum desain rangka yang belum dilapisi *carbon fiber* yaitu (1,6796) dan yang sudah dilapisi dengan *carbon fiber* (4,3847).

Saran dari penulis adalah rangka yang dilapisi dengan *carbon fiber* akan menjadikan rangka lebih kaku, maka jika perancang ingin menjadikan rangka lebih kaku salah satu hal yang dapat dilakukan adalah dengan memberikan lapisan *carbon fiber* pada.

Kata Kunci: analisis defleksi, rangka, *carbon fiber*, CATIA, ANSYS

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Kemuliaan itu akan tercapai menurut kadar kesengsaraan, orang yang mencari permatapun harus menyelam ke dasar lautan, barang siapa ingin meraih apa yang di cita-citakan maka ia harus menjadikan waktu malamnya sebagai kendaraan untuk mengejar cita-citanya (dalam kitab ta'lim muta'alim)

PERSEMBAHAN

Saya persembahkan karya ini untuk:

1. Ibu dan Ayahku tercinta yang senantiasa kuhormati kutaati, kusayangi yang tiada lelah mendoakan kesuksesanku dari awal sampai akhir.
2. Adik adiku Sifa, Ririn dan Ria yang selalu kusayangi dan kubanggakan, yang menjadi motivasi hidupku.
3. Keponakanku Keysa semoga menjadi anak yang Sholikhah.
4. Para sahabat-sahabatku selalu membuatku tersenyum, memberikan banyak pengalaman dan pelajaran yang akan selalu aku ingat.
5. Almamater yang selalu aku banggakan.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, dengan rahmat dan hidayah dari Allah SWT penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Defleksi Rangka Mobil Listrik Berbasis Angkutan Massal Menggunakan Metode Elemen Hingga”. Skripsi ditulis dalam rangka menyelesaikan studi Strata 1 untuk mendapat gelar Sarjana Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bimbingan, bantuan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan penuh kerendahan hati disampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Drs. Muhammad Harlanu, M.Pd, Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. M. Khumaedi, M.Pd, Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, serta sebagai pembimbing dan penguji pendamping yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi dan saran kepada penulis
3. Wahyudi, S.Pd, M.Eng, Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
4. Drs. Karsono, M.Pd, penguji utama I yang telah memberikan banyak masukan dan saran kepada penulis.
5. Widi Widayat, S.T, M.T, penguji utama II yang telah memberikan banyak masukan dan saran kepada penulis.

6. Kriswanto, S.Pd, M.T yang memberikan banyak masukan dan ide-ide dalam pembuatan skripsi serta dalam pelaksanaan penelitian.
7. Sahabatku sekaligus *partner team* Nur Rohman Arif, S.Pd yang telah berikan membantu dan memberikan masukan dalam penelitian ini.
8. Sahabat tercintaku Arie, Kharis, Sigit, Gigih, Riwan, Amin, Sidol, Totok, dan kang masku yang kuhormati Ariadi, Rohmat kebersamaannya dan semua motivasi yang tercurah kepada penulis.
9. Teman-teman Program Studi Pendidikan Teknik Mesin angkatan 2010 yang telah memberikan motivasi dan saran kepada penulis.
10. Semua pihak yang telah memberikan motivasi, saran dan masukan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan dunia pendidikan pada khususnya.

Semarang, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	4
BAB II LANDASAN TEORI DAN HIPOTESIS	
A. Kajian Pustaka	5
1. Angkutan Massal	5
2. Rangka	5
3. Bahan	8
4. Konsep Tegangan Regangan	9
5. Kekuatan Tarik	12
6. Faktor Keamanan.....	13
7. Rasio Tegangan	15
8. Tumpuan	16
9. Defleksi	17

10. Momen Inersia	21
11. Teori Umum Metode Elemen Hingga	22
12. Perangkat Lunak ANSYS	24
B. Kerangka Berfikir	25
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Jenis Penelitian.....	27
B. Alat dan Bahan.....	27
1. Alat	28
2. Bahan.....	28
C. Variabel Penelitian.....	28
D. Prosedur Pelaksanaan Penelitian	38
E. Pengumpulan Data.....	30
F. Analisa Data	30
G. Alur Penelitian	31
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Penelitian	34
1. Panjang dan Lebar Rangka	34
2. Material yang digunakan	35
3. Pembebanan yang diterima Rangka	37
4. Pemodelan Desain Rangka.....	38
B. Hasil Pengujian	42
1. Pra Pengujian Rangka.....	42
2. Hasil Pengujian Rangka Sebelum dilapisi <i>Carbon Fiber</i>	46
3. Hasil Pengujian Rangka Setelah dilapisi <i>Carbon Fiber</i>	48
4. Perbandingan Hasil Pengujian Rangka.....	49
C. Pembahasan	50
1. Konstruksi Desain.....	51
2. Tinjauan Analisis Tegangan dan Faktor Keamanan.....	51
3. Tinjauan Besaran Defeksi.....	52

BAB V SIMPULAN DAN SARAN	
A. Simpulan	53
B. Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konstruksi <i>composite body</i>	6
Gambar 2.2 Konstruksi Bodi Integral.....	7
Gambar 2.3 Diagram Tegangan Regangan	11
Gambar 2.4 Tegangan statis	12
Gambar 2.5 Pemodelan tumpuan jepit	17
Gambar 2.6 Pemodelan tumpuan sendi.....	17
Gambar 2.7 Pemodelan tumpuan rol	17
Gambar 2.8 Defleksi yang terjadi pada batang	18
Gambar 2.9 Defleksi balok sederhana.....	19
Gambar 2.10 Penampang rangka utama	21
Gambar 2.10 Defleksi penampang hollow segiempat sederhana.....	21
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian	33
Gambar 4.1 Wheelbase pada Mobil Listrik Angkutan Masal Unnes	34
Gambar 4.2 Panjang Keseluruhan Rangka Mobil Listrik	34
Gambar 4.3 Lebar Keseluruhan Rangka Mobil Listrik	35
Gambar 4.4 Profil material Penyusun Rangka	36
Gambar 4.5 Asumsi beban yang diterima rangka mobil listrik.....	38
Gambar 4.6 Konstruksi rangka mobil listrik angkutan massal Unnes	39
Gambar 4.7 Geometri dasar rangka mobil listrik yang ada.....	40
Gambar 4.8 Penampang rangka yang sebelum dan sesudah dilapisi	41
Gambar 4.9 Pemodelan Rangka Mobil Listrik Berlapis <i>Carbon Fiber</i>	41
Gambar 4.10 Pemodelan rangka mobil listrik sesudah dilapisi <i>carbon fiber</i>	42
Gambar 4.11 Pemasukan Data Material AISI 1010	42
Gambar 4.12 Pemasukan data <i>material properties carbon fiber</i>	43
Gambar 4.13 Geometri Rangka yang diimporkan ke ANSYS.....	43
Gambar 4.14 Penetapan Material Desain Rangka pada ANSYS	44
Gambar 4.15 Pemilihan material AISI 1010 rangka pada ANSYS	44
Gambar 4.16 <i>Meshing</i> Desain Rangka pada ANSYS	45
Gambar 4.17 Pemodelan Beban dan Tumpuan	46

Gambar 4.18 Defleksi rangka sebelum dilapisi <i>carbon fiber</i>	46
Gambar 4.19 <i>Equivalent Von misses stress</i> rangka sebelum dilapisi <i>carbon fiber</i>	47
Gambar 4.20 <i>Safety Factor</i> Rangka Sebelum dilapisi <i>Carbon Fiber</i>	47
Gambar 4.21 Defleksi rangka setelah dilapisi <i>carbon fiber</i>	48
Gambar 4.22 <i>Equivalent Von Misses Stess</i> Rangka Setelah dilapisi <i>Carbon Fiber</i>	48
Gambar 4.23 <i>Safety Factor</i> Rangka Setelah dilapisi <i>Carbon Fiber</i>	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batasan defleksi yang disarankan	18
Tabel 4.1 <i>Chemical composition</i> hasil uji spesimen rangka	35
Tabel 4.2 <i>Material Ptreperties</i> baja AISI 1010.....	37
Tabel 4.3 <i>Material Ptreperties Carbon Fiber Epoxy Resin</i>	37
Tabel 4.4 Asumsi beban yang diterima rangka mobil listrik	36
Tabel 4.6 Perbandingan hasil analisis desain rangka.....	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Tugas Pembimbing	58
Lampiran 2. Surat Keterangan Melaksanakan Uji Komposisi	59
Lampiran 3. Lembar Hasil Komposisi.....	60
Lampiran 4. Geometri Desain Rangka Sebelum dilapisi <i>Carbon Fiber</i>	61
Lampiran 5. <i>Mechanical Report</i> Analisis Rangka Sesudah dilapisi <i>Carbon Fiber</i>	62
Lampiran 6. <i>Mechanical Report</i> Analisis Rangka Sesudah dilapisi <i>Carbon Fiber</i>	108
Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian.....	158

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol	Arti
σ	Tegangan
σ_a	Tegangan bolak-balik
σ_m	Tegangan rata-rata
σ_{max}	Tegangan maksimal
σ_{min}	Tegangan minimal
\emptyset	Diameter
A	Luas bidang
A	Rasio Tegangan
C	Karbon
C_m	Faktor bahan
CR	Faktor keandalan
C_s	Faktor ukuran
C_{st}	Faktor jenis tegangan
D	Diameter
D_c	Kerusakan kumulatif
D_i	Kontribusi kerusakan dari pembebanan
E1	<i>Young's Modulus 0°</i>
E2	<i>Young's Modulus 90°</i>
F	Gaya yang bekerja
Fe	Besi

Fu	Batas akhir nilai F
G12	<i>In-plane Shear Modulus</i>
H	Tinggi
Kf	Faktor modifikasi kekuatan lelah
L	Panjang
<i>m</i>	Batas keamanan
Mn	Mangan
N	Banyaknya Siklus
<i>n</i>	Faktor keamanan
Ni	Jumlah siklus hingga mencapai kegagalan
<i>ni</i>	Jumlah siklus dari tingkat tegangan tertentu
P	Fosfor
R	Rasio Tegangan
S	Sulfur
S	<i>Ult. In-plane Shear Strength</i>
S	Tegangan
Sn	Ketahanan lelah
Su	Tegangan batas tarik
Sy	Tegangan luluh
S'n	Ketahanan lelah aktual
v12	<i>Major Poisson Ratio</i>
W	Lebar
xc	<i>Ult. Comp. Strength 0°</i>

xt	<i>Ult. Tensile Strength 0^o</i>
Yc	<i>Ult. Comp. Strength 90^o</i>
yt	<i>Ult. Tensile Strength 90^o</i>
Singkatan	Arti
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
ANSYS	<i>Analysis System</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CATIA	<i>Computer Aided Three-dimensional Interactive</i>
<i>Application</i>	

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Pembuatan rangka merupakan bagian yang sangat fundamental dari sebuah kendaraan. Rangka merupakan tempat pemasangan atau peletakan dari sebagian besar komponen-komponen dasar dari kendaraan secara utuh. Konstruksi rangka yang tepat dan kuat akan membuat kendaraan lebih stabil, tidak mudah rusak dan tahan lama, sehingga mampu menahan beban dari kendaraan dan tidak mengalami kegagalan struktur.

Rangka mobil listrik yang dibuat oleh Unnes merupakan rangka berbasis angkutan massal yang dapat mengangkut 11 orang, rangka tersebut merupakan jenis rangka bentuk H yang dibuat dalam dua tahapan yang pertama rangka dibuat tanpa dilapisi dengan material tambahan dan yang tahap kedua rangka dilapisi dengan komposit *carbon fiber* pada bagian sisi samping (*side member*).

Rangka mobil listrik angkutan massal Unnes dirancang untuk memuat 11 orang, dalam pengoperasiannya membutuhkan baterai yang cukup banyak sehingga beban yang diterima rangka menjadi lebih besar. Hal ini tentu saja akan berpengaruh pada konstruksi rangka yang diharapkan memiliki kekuatan lentur yang baik untuk dapat menahan beban yang berat, untuk mengetahui kekuatan lentur rangka dalam menerima beban diperlukan analisis defleksi yang dapat mengetahui besaran lentur rangka saat menerima beban.

Pembuatan rangka mobil listrik Unnes telah selesai, tetapi dalam pembuatan rangka mobil listrik belum sesuai dari permodelan dan pemilihan material dalam perancangannya, yang menjadikan analisis perancangan sebelumnya kurang tepat, dari hal inilah yang menjadikan perlu analisis ulang dari pemodelan dan pemilihan material yang disesuaikan pada rangka yang sudah jadi.

Pembuatan rangka mobil listrik Unnes yang dilapisi komposit *carbon fiber* diyakini dapat menambah kekuatan rangka dalam menahan beban, karena *carbon fiber* memiliki sifat material dari kekuatan tarik yang lebih besar dari pada baja sehingga *carbon fiber* dapat menambah kekuatan rangka dalam menerima pembebanan yang besar. Dalam mengetahui pengaruh rangka yang dilapisi dengan *carbon fiber* maka perlu dilakukan dua analisis defleksi yang membedakan antara pemodelan rangka yang sudah dilapisi *carbon fiber* dengan yang belum dilapisi *carbon fiber*. Menanggapi hal tersebut peneliti ingin membandingkan besaran defleksi rangka yang telah dilapisi dengan *carbon fiber* dengan yang tidak dilapisi *carbon fiber* untuk melihat kekuatan rangka dalam menerima pembebanan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, permasalahan yang akan diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seberapa besar defleksi pada rangka sebelum dilapisi *carbon fiber* ?
2. Seberapa besar defleksi pada rangka yang dilapisi *carbon fiber*?

3. Apakah ada perbedaan defleksi pada rangka normal dan rangka yang di beri *carbon fiber*?

C. TUJUAN PENELITIAN

Beberapa tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besaran defleksi pada rangka sebelum dilapisi *carbon fiber*.
2. Mengetahui besaran defleksi pada rangka yang dilapisi *carbon fiber*.
3. Menganalisis perbedaan defleksi pada rangka normal dan rangka yang di beri *carbon fiber*.

D. MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini mempunyai dua manfaat sekaligus, yakni secara teoritis dan secara praktis.

1. Manfaat Teoritis

Dapat menerapkan pengembangan aplikasi keilmuan mekanika kekuatan bahan dan CAD (*Computer Aided Design*) khususnya CATIA terkait dengan analisis defleksi bahan menggunakan metode elemen hingga berbantuan *software* ANSYS.

2. Manfaat Praktis

- a. Bagi Peneliti, dapat menerapkan keilmuan mekanika kekuatan bahan dan CAD (*Computer Aided Design*) terkait dengan analisis defleksi

yang diperoleh selama kuliah, sehingga dapat menjadi pengalaman nyata sebagai implementasi dari teori yang telah dipelajari.

- b. Bagi Universitas dan Masyarakat, Dapat menjadi masukan bagi Universitas dalam rangka mengetahui prediksi defleksi yang dapat terjadi pada rangka mobil listrik yang sedang dikembangkan Teknik Mesin Unnes, serta menjadi referensi bagi masyarakat luas mengenai metode analisis defleksi rangka menggunakan metode elemen hingga.

E. BATASAN MASALAH

Batasan masalah yang ditetapkan dalam penelitian ini, antara lain

1. Analisis pembebanan diasumsikan merata pada rangka mobil listrik berbasis angkutan massal.
2. Beban penumpang dan kelengkapan kendaraan yang di inputkan adalah hasil pengasumsian.
3. Struktur komponen yang dianalisis adalah rangka mobil listrik berbasis angkutan massal yang sudah dibuat.
4. Pembuatan model rangka menggunakan bantuan software Catia V5R19 dan Penganalisis rangka menggunakan metode elemen hingga dari software Ansys 14,0.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Kajian Pustaka

1. Angkutan Massal

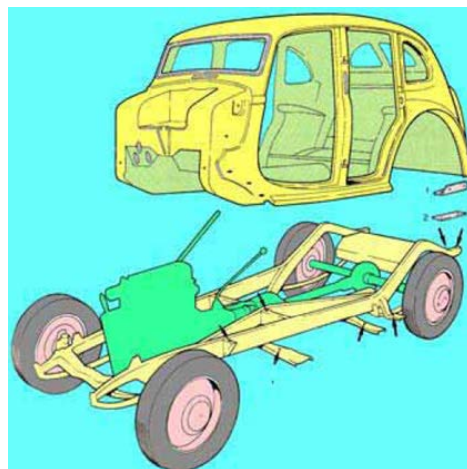
Menurut Tahir (2005 :170) angkutan pada dasarnya adalah sarana untuk memindahkan orang atau barang dari suatu tempat ke tempat lainnya dengan tujuannya membantu orang atau kelompok orang dalam menjangkau tempat yang dikehendaki atau mengirim barang dari tempat asal ke tempat tujuan. Sedangkan yang dimaksud angkutan massal yaitu sistem transportasi publik skala besar di daerah metropolitan tertentu, biasanya terdiri dari bus, kereta bawah tanah dan kereta (Dictionary.com, 2014). Adapun angkutan massal yang dimaksud dalam penelitian ini adalah angkutan massal yang berupa mini bus dengan jumlah penumpang yang dapat ditampung sebanyak 11 orang.

2. Rangka

Rangka adalah tempat menempelnya semua komponen kendaraan termasuk bodi. Oleh karena itu, rangka harus memiliki sifat yang kuat, ringan, kokoh dan tahan terhadap getaran, atau guncangan yang diterima dari kondisi jalan (Gunadi, 2008 : 5). Konstruksi rangka yang kuat ada yang berbentuk kotak, U atau pipa, yang pada umumnya terdiri dari dua batang yang memanjang dan dihubungkan dengan bagian yang melintang. Dalam perkembangannya, teknologi bodi dan rangka kendaraan dibuat

secara terpisah (*composite body*) namun terdapat juga bodi dan rangka yang dibuat menyatu (*monocoque body*, atau *integral body*) terutama pada kendaraan sedan.

Konstruksi rangka terpisah (*composite body*) merupakan jenis konstruksi bodi kendaraan dimana bodi dan rangkanya terpisah. Metode penyambungan bodi dan rangka pada konstruksi jenis ini dilakukan dengan menggunakan baut dan mur. Di antara bodi dan rangka kendaraan juga dipasang karet peredam getaran untuk meningkatkan kenyamanan saat digunakan. Keuntungan dari konstruksi terpisah ini salah satunya adalah lebih memudahkan dalam penggantian bagian bodi kendaraan apabila mengalami kerusakan, terutama bodi bagian bawah atau kerusakan pada rangka. Konstruksi jenis ini umumnya digunakan pada kendaraan sedan tipe lama, kendaraan penumpang dan mobil angkutan barang. (misal *truck*, *bus*, *pick up* dan lain sebagainya). Ilustrasi konstruksi *composite body* ini dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Konstruksi *composite body*
Sumber: (Gunadi, 2008:6)

Konstruksi dari rangka jenis *monocoque* merupakan jenis konstruksi kendaraan dimana bodi dan rangka tersusun menjadi satu kesatuan. Konstruksi ini menggunakan prinsip kulit telur, dimana satu kesatuan yang utuh dapat membagi rata beban yang ada pada semua bagian kulit. Pertautan antara bodi dan rangka menggunakan las. Salah satu kelebihan dari konstruksi jenis ini yaitu bentuknya dapat menjadi lebih rendah yang menyebabkan kendaraan akan lebih stabil. Konstruksi ini umumnya digunakan pada sedan. Berikut adalah salah satu contoh *monocoque body* yang digunakan pada mobil sedan dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Konstruksi Bodi Integral (*Monocoque Body*)

Sumber: (Gunadi, 2008:7)

Konstruksi rangka dapat dibedakan berdasarkan bentuknya menjadi beberapa macam, yaitu: (1) rangka bentuk H, (2) rangka perimeter, (3) rangka bentuk X, (4) rangka bentuk tulang punggung (*backbone*) dan (5) rangka bentuk lantai (*platform frame*).

3. Bahan

Pemilihan suatu bahan untuk bagian mesin atau struktur adalah salah satu keputusan yang perlu dibuat oleh perencana, keputusan ini biasanya dibuat sebelum ukuran-ukuran dari bagian tersebut didapat. Setelah memilih bahan dan prosesnya, kemudian dapat menentukan ukuran bagian mesin tersebut sehingga tegangan dalam perpanjangannya memiliki harga yang wajar dan memuaskan dibandingkan dengan sifat yang berkaitan dengan kegagalan bahan tersebut.

Baja merupakan bahan yang paling banyak digunakan dalam pembuatan rangka karena sifatnya yang kuat, kaku, mudah dibentuk dan memiliki daya tahan yang tinggi. Perkembangan dalam bidang teknologi yang pesat mendorong penggunaan material rangka yang lebih kuat, yaitu material yang dibuat dari gabungan serabut struktural seperti karbon. Menurut Jensen dan Chenoweth (1989: 34-35) beberapa sifat yang menentukan kualitas bahan struktur antara lain : Kekuatan, elastisitas, kekakuan, keliatan, kemamputempaan, kekerasan, daya lenting, keuletan, kemuluran dan mampu mesin (*machinability*).

Baja karbon diklasifikasikan ke dalam tiga klasifikasi dasar yaitu: baja karbon rendah yang memiliki kandungan karbon kurang dari 0,30%, baja karbon sedang yang mengandung 0,30% – 0,50% karbon dan baja karbon tinggi yang memiliki 0,50% - 0,95% karbon (Mott, 2004: 47). Baja karbon rendah memiliki kekuatan relatif rendah, tetapi mempunyai sifat mampu bentuk (*formability*) yang baik. Baja karbon sedang digunakan

pada kebanyakan elemen yang memiliki syarat kekuatan sedang hingga tinggi dengan keuletan yang cukup baik dan syarat kekerasan sedang. Sedangkan baja karbon tinggi memberikan sifat-sifat keausan yang lebih baik yang sesuai untuk aplikasi yang memerlukan sisi-sisi pemotongan yang tahan lama dan untuk aplikasi-aplikasi di mana permukaan mengalami pengikisan yang tetap.

Berdasarkan ketentuan AISI (*American Iron and Steel Institute*), baja memiliki kandungan berat maksimal unsur karbon 1%, unsur tembaga 0,6%, unsur mangan 1,65%, unsur fosfor 0,4%, unsur silikon 0,6% dan unsur sulfur 0,05% (Efunda, 2014). AISI membuat kode tersendiri bagi baja karbon. Kode tersebut terdiri dari empat digit angka, dengan dua digit angka pertama menandakan tingkatan dari baja sedangkan dua digit terakhir menunjukkan jumlah karbon yang terkandung dalam paduan dalam seperseratus persen.

4. Konsep Tegangan Regangan

a. Tegangan

Tegangan diidentifikasi sebagai tahanan terhadap gaya-gaya luar yang diukur dalam bentuk gaya yang di timbulkan per satuan luas (Jensen dan Chenoweth, 1989: 1). Dalam menentukan bahan untuk pembuatan suatu struktur atau komponen, maka hal yang paling utama yang harus ditentukan adalah tegangan yang mampu diberikan pada struktur tersebut. Menurut Jensen dan Chenoweth (1989: 4) tegangan ijin merupakan bagian kekuatan batas yang bisa aman digunakan pada

perancangan. Istilah dalam tegangan kerja dan tegangan kerja aman memberikan pengertian yang sama dan keduanya digunakan secara luas.

Tegangan yang bekerja pada penampang bahan dapat dirumuskan sebagai berikut : (Singer dan Pytel, 1985: 5)

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2 - 1)$$

Dimana : σ = Tegangan atau gaya per satuan luas (N/m^2)

P = Beban (*Newton*)

A = Luas penampang (m^2)

Secara umum tegangan dasar dibagi menjadi dua jenis, yaitu: Tegangan normal, tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan yang mengalami tegangan yang sedang ditinjau maupun tekan dan tegangan geser yaitu tegangan yang bekerja sejajar terhadap permukaan yang mengalami tegangan (Jensen dan Chenoweth, 1989: 2).

Batasan tegangan maksimum yang diijinkan dalam analisis ini adalah nilai tegangan maksimum tidak boleh melebihi nilai *yield strength* (tegangan luluh) material yang digunakan, karena nilai tegangan luluh merupakan fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke deformasi plastis.

b. Regangan

Menurut Shigley dan Mitchell (1984: 41) regangan adalah jumlah pertambahan panjang atau pemuaian, sedangkan satuan regangan adalah pertambahan panjang per satuan panjang dari batang tersebut. Menurut Singer dan Pytel (1985: 32) untuk memperoleh satuan regangan, maka dilakukan dengan membagi perpanjangan (δ) dengan panjang (L) yang telah diukur, dengan demikian rumusnya :

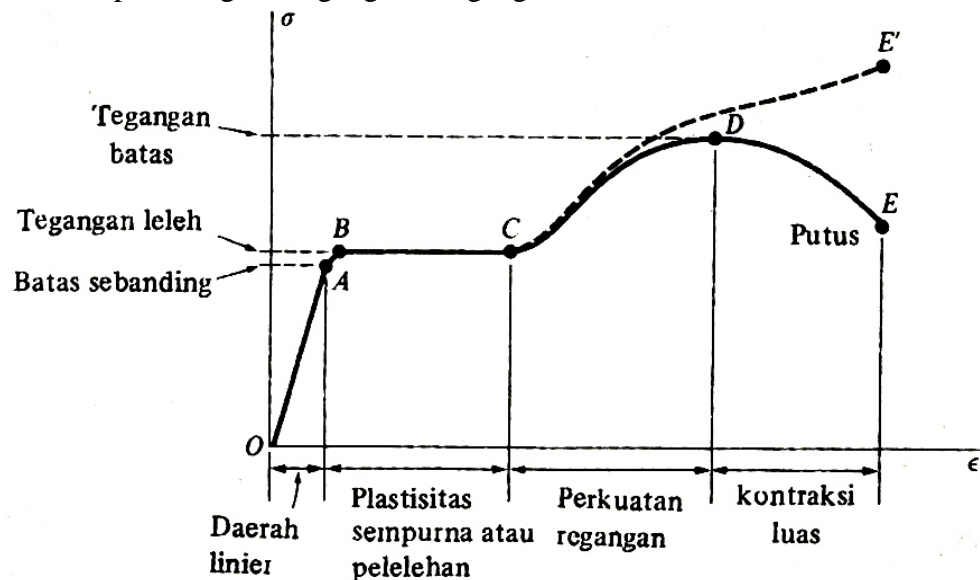
$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2 - 2)$$

Dimana : ε = regangan

δ = perubahan bentuk aksial total (mm)

L = panjang batang (mm)

Secara umum hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada diagram tegangan – regangan berikut ini



Gambar 2.3 Diagram Tegangan Regangan
Sumber: (Gere dan Timoshenko, 1996: 10)

Dari diagram regangan gambar 2.3 diketahui pemberian beban sampai batas sebanding akan mempercepat regangan setiap penambahan tegangan, akibatnya jika tegangan melebihi batas sebanding maka terjadi kurva kemiringan sampai titik B (tegangan leleh), dari kurva titik B terjadi regangan yang sangat besar sampai pada titik C tanpa adanya tegangan, gejala tersebut dinamakan pelehan bahan. Setelah mengalami regangan yang besar di daerah BC, maka baja akan mengalami perkuatan regangan yang menghasilkan bertambahnya tahanan bahan terhadap deformasi selanjutnya. Akhirnya pembebanan mencapai nilai maksimum pada titik D yang disebut tegangan batas, jika penarikan bahan itu dilakukan sebenarnya diikuti dengan pengurangan beban dimana terjadi proses *necking* atau kontraksi luas, membuat bahan menjadi putus dititik E. jika luas penampang sebenarnya pada bagian sempit dari kontraksi luas digunakan untuk menghitung tegangan, maka kurva tegangan regangan sebenarnya akan mengalami seperti garis terputus-putus CE' .

5. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik (*tensile strength, ultimate tensile strength*) adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah (Irwan 2009:5). Kekuatan tarik adalah kebalikan dari kekuatan tekan, dan nilainya bisa berbeda. Menurut Carli, dkk (2012:21) menyatakan semakin tinggi kekuatan tarik bahan, bahan tersebut akan semakin tahan terhadap gaya

tarik sehingga bahan lebih kuat dan tidak mudah putus saat menerima tegangan.

Pemilihan komposit *carbon fiber* memiliki kekuatan tarik yang tinggi sehingga dapat menambah kekuatan dari rangka mobil listrik Unnes, menurut Purnama dkk (2013:69) menyatakan komposit *carbon fiber* mempunyai kuat tarik dan kuat lentur yang lebih tinggi dari pada serat lainnya yang disebabkan oleh sifatnya yang memiliki *specific modulus* dan *specific strength* yang tinggi dibandingkan serat yang lainnya”.

6. Faktor Keamanan

Shigley dan Mitchell (1984: 11) menyatakan definisi faktor keamanan adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi keamanan suatu mesin. Sedangkan menurut Jensen dan Chenoweth (1989: 4) menyatakan faktor keamanan adalah perbandingan tegangan rusak terhadap tegangan izin. Sedangkan tegangan izin merupakan bagian kekuatan batas yang biasa aman digunakan dalam perancangan (Jensen dan Chenoweth, 1989: 4).

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

akhir harga F atau disebut F_u , maka faktor keamanan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$n = \frac{F_u}{F} \quad (2 - 3)$$

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

$$m = n - 1 \quad (2 - 4)$$

Secara teoritis nilai faktor keamanan yang digunakan dalam skala industri adalah minimal 4. Adapun sebagai pedoman, menurut Mott (2009: 164) untuk menentukan faktor keamanan suatu struktur yang akan dirancang dapat menggunakan aturan berikut:

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

elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beberapa kombinasi beban, sifat-sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.

Dalam analisis defleksi rangka mobil listrik angkutan massal, angka keamanan yang digunakan adalah minimal 2 karena rangka mobil listrik juga akan menerima pembebanan dinamis dalam pengoperasiannya

7. Rasio Tegangan

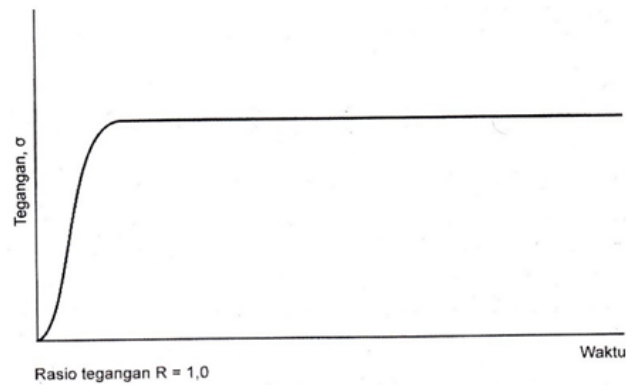
Faktor-faktor utama yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan jenis pembebanan yang akan diterima suatu komponen mesin adalah pola variasi beban dan variasi tegangan yang dihasilkan dengan waktu. Variasi tegangan tersebut ditunjukkan oleh empat nilai penting sebagai berikut:

- 1) Tegangan maksimal, σ_{\max}
- 2) Tegangan minimal, σ_{\min}
- 3) Tegangan rata-rata, σ_m
- 4) Tegangan bolak-balik, σ_a (amplitudo tegangan)

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

$$\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2 \quad (2 - 5)$$

$$\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2 \quad (2 - 6)$$



Gambar 2.4 Tegangan statis

Sumber: (Mott, 2009:42)

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

$$\text{Rasio Tegangan } R = \frac{\text{tegangan minimal}}{\text{tegangan maksimal}} = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad (2 - 7)$$

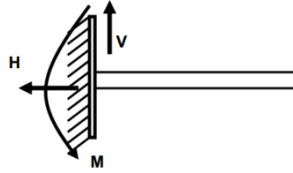
$$\text{Rasio Tegangan } R = \frac{\text{tegangan bolak balik}}{\text{tegangan rata - rata}} = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} \quad (2 - 8)$$

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

8. Tumpuan

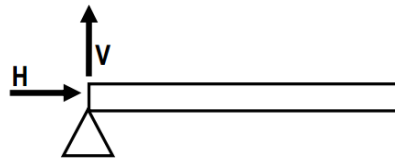
Tumpuan atau perletakan adalah lokasi pada struktur diletakan, sebagai pendukung yang menyalurkan akibat beban luar kebagian pendukung lainnya (Hariandja, 1996: 38) . Konstruksi tumpuan dalam desain dibedakan beberapa macam. Tiga diatarannya adalah:

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



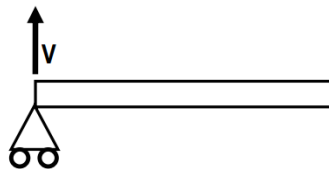
Gambar 2.5 Pemodelan tumpuan jepit

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



Gambar 2.6 Pemodelan tumpuan sendi

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



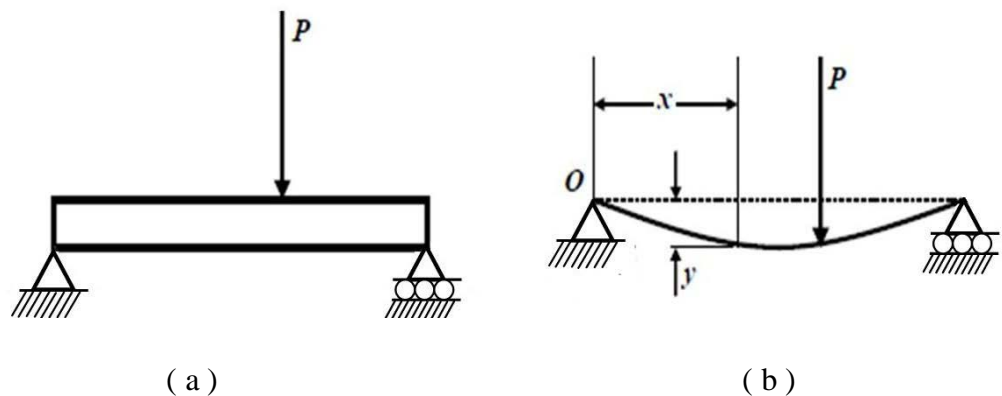
Gambar 2.7 Pemodelan tumpuan rol

9. Defleksi

Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok atau batang dalam arah vertikal dan horisontal akibat adanya pembebanan yang diberikan pada balok atau batang (Joko 2010: 12). Sumbu sebuah batang akan terdeteksi dari kedudukannya semula bila benda dibawah pengaruh gaya terpakai. Dengan kata lain suatu batang akan mengalami pembebanan

transversal baik itu beban terpusat maupun terbagi merata akan mengalami defleksi.

Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Gambar a memperlihatkan batang pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan b adalah batang dalam konfigurasi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan.



Gambar 2.8 Defleksi yang terjadi pada batang

Sumber: (Joko, 2010:12)

Jarak perpindahan y pada gambar 2.5 didefinisikan sebagai defleksi batang. Disamping faktor tegangan, spesifikasi untuk rancang bangun sering ditentukan oleh adanya defleksi. Dengan demikian, batang yang dirancang dengan baik tidak hanya mampu menahan beban yang akan diterimanya, tetapi juga harus mampu mengatasi terjadinya defleksi sampai batas tertentu.

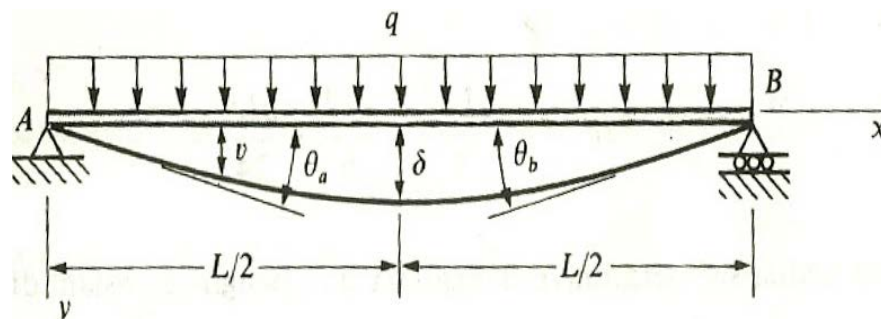
Tabel 2.1 Batasan defleksi yang disarankan

(Mott, 2009: 177)

Kreteria	Batasan yang disarankan (mm/mm panjang)	Batasan rangka (panjang 4400mm)
Umum	0,0012705 - 0,0076203	0,558822 mm - 3,352932 mm
Sedang	0,000025401-0,00127005	0,011176 mm - 0,558822 mm
Tinggi	0,00000254 - 0,000025401	0,001118 mm - 0,011176 mm

Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu kekakuan batang, besar kecilnya gaya yang diberikan, jenis tumpuan yang diberikan dan jenis beban yang terjadi pada batang (Mulyati, 2008: 3). Buku elemen mesin dalam perancangan mekanis karangan Robert L. Mott membahas tentang batasan defleksi yang disarankan yakni tidak boleh melebihi 0,0076203 mm/mm panjang dari rangka, rangka yang panjang bentang horinsontal yang di ukur sebesar 4400mm, maka diperoleh besaran defleksi yang disarankan untuk rangka mobil listrik Unnes tidak boleh melebihi 3,352 mm untuk kreteria tingatan umum.

Salah satu contoh persamaan kurva defleksi untuk balok. diatas perletakan bebas AB yang diberi beban merata q .



Gambar 2.9 Defleksi balok sederhana
Sumber: (Gere dan Timosshenko, 1996:383)

Dalam pusat koordinat pada peletakan kiri, persamaan untuk momen lentur adalah

$$M = \frac{qLx}{2} - \frac{qx^2}{2} \quad (2 - 9)$$

maka, turunan kedua persamaan deferensial $EIv'' = -M$ menjadi

$$EIv'' = -\frac{qLx}{2} + \frac{qx^2}{2} \quad (2 - 10)$$

dengan pengalihan kedua sisi persamaan ini dengan dx dan mengintegrikan, didapat

$$EIv' = -\frac{qLx^2}{4} + \frac{qx^3}{6} + C_1 \quad (2 - 11)$$

dimana C_2 adalah konstanta integrasi. Untuk menentukan konstanta tersebut, perlu meninjau sifat simetris dimana kemiringan v' ditengah bentang adalah nol. jadi akan didapatkan suatu kondisi

$$v' = 0 \text{ apabila } x = \frac{L}{2} \quad (2 - 11)$$

yang mana secara ringkas dapat dituliskan sebagai

$$v' \left(\frac{L}{2} \right) = 0 \quad (2 - 12)$$

Dengan memasukan kondisi ini ke persamaan (2 - 11), diperoleh

$$C_1 = \frac{qL^3}{24} \quad (2 - 13)$$

dan Per. (2 - 11) akan menjadi

$$EIv' = -\frac{qLx^2}{4} + \frac{qx^3}{6} + \frac{qL^3}{24} \quad (2 - 14)$$

dengan mengalikan kedua sisi persamaan daengan dx dan pengintegrasian, didapat

$$EIv = -\frac{qLx^3}{12} + \frac{qx^4}{24} + \frac{qL^3x}{24} C_2 \quad (2 - 15)$$

konstanta integrasi C_2 dapat diperoleh dengan syarat bahwa $v = 0$ bila $x = 0$, atau

$$v(0) = 0 \quad (2 - 16)$$

dengan memasukan kondisi ini ke Pers. (2 - 15) menghasilkan $C_2 = 0$, maka persamaan defleksi adalah

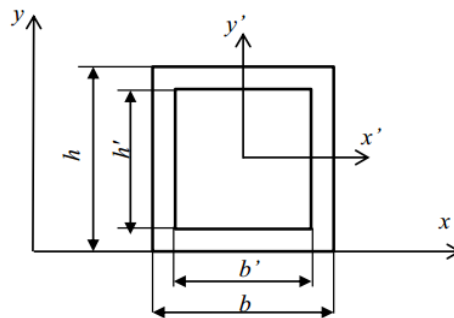
$$v = \frac{qx}{24EI} (L^3 - 2Lx^3 + x^3) \quad (2 - 17)$$

persamaan ini menyatakan defleksi pada titik sepanjang balok Defleksi maksimum δ didapat dengan memasukan $x = L/2$ ke persamaan (2 - 17). Hasilnya adalah

$$\delta = v_{max} = \frac{5qL^4}{384EI} \quad (2 - 18)$$

10. Momen Inersia Penampang *Hollow* Segiempat

Untuk luas penampang dari rangka utama yang merupakan besi *hollow* persegi dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.10 Penampang rangka utama

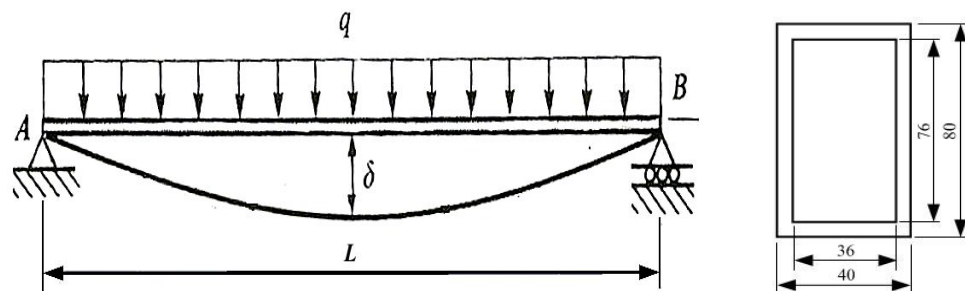
Dengan adanya dimensi dari penampang rangka utama maka dapat dicari momen inersia luas penampang rangka utama. Untuk luas penampang persegi panjang rumus inersia luas penampangnya adalah (mott, 2004:618):

$$I_x = \frac{1}{12}bh^3 \quad (2 - 19)$$

Maka dari persamaan 2-16, dapat dicari momen inersia luas penampang rangka utama:

$$I = I_x = \frac{1}{12}bh^3 - \frac{1}{12}b'h'^3 \quad (2 - 20)$$

Contoh soal defleksi penampang hollow segiempat sederhana



Gambar 2.11 Defleksi penampang hollow segiempat sederhana

Diketahui:

$$L = 2550 \text{ mm}$$

$$q = 2,27 \frac{N}{mm}$$

$$E = 200 \text{ Gpa} = 200.000 \text{ N/mm}^2$$

Ditanyakan : Berapa defleksi maksimal?

Mencari momen inersia

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

$$I = \frac{1}{12} 40mm. (80mm)^3 - \frac{1}{12} 36mm. (76mm)^3$$

$$I = \frac{1}{12} 40.512000 - \frac{1}{12} 38.438976$$

$$I = 1706667 - 1316928$$

$$I = 389739mm^4$$

Mencari defleksi maksimal

$$\delta = v_{max} = \frac{5qL^4}{384El}$$

$$\delta = \frac{5 \cdot 2,27 \frac{N}{mm} \cdot (2550 \text{ mm})^4}{384 \cdot 200.000 \frac{N}{mm^2} \cdot 389739 \text{ mm}^4}$$

$$\delta = \frac{5 \cdot 2,27 \frac{N}{mm} \cdot 4,228250625 \times 10^{13} \text{ mm}^4}{384 \cdot 200.000 \frac{N}{mm^2} \cdot 389739 \text{ mm}^4}$$

$$\delta = \frac{4,799064459375 \times 10^{14}}{2,9931955 \times 10^{13}}$$

$$\delta = 16mm$$

Jadi defleksi maksimal yang dihasilkan sebesar $16mm = 1,6cm$.

11. Teori Umum Metode Elemen Hingga

Bila suatu kontinum di bagi-bagi menjadi beberapa bagian yang lebih kecil, maka bagian kecil ini disebut elemen hingga (Weaver dan

Johnston, 1993: 1). Sedangkan menurut Hidajat (2005: 4) metode elemen hingga merupakan prosedur numerik untuk menyelesaikan permasalahan fisik yang diatur dalam persamaan diferensial atau teorema energi. Proses pembagian suatu kontinum menjadi elemen-elemen hingga ini sering disebut sebagai proses diskretisasi (pembagian). Dinamakan elemen hingga ukuran elemen kecil ini berhingga dan umumnya memiliki bentuk geometri yang sederhana dibanding dengan kontinumnya.

Menurut Erinofiardi (2012: 365) metode elemen hingga dapat digunakan untuk menganalisis data mengenai tegangan, tekanan, kecepatan fluida dan pengaruh temperature. Pada metode elemen hingga pemodelan dilakukan dengan membagi model yang akan dianalisa menjadi beberapa elemen dan menggunakan elemen tersebut sebagai dasar perhitungan dan analisis. Elemen-elemen pada metode elemen hingga terdiri dari beberapa nodal dimana semakin banyak nodal yang digunakan akan diperoleh hasil yang presisi atau teliti.

Menurut Hidajat (2005: 6) persamaan metode elemen hingga biasanya berbentuk :

$$[k] \{u\} = \{F\} \quad (2 - 21)$$

Keterangan:

$[k]$ = matrik kekakuan

$\{u\}$ = vektor kolom dengan komponen matrik berupa nilai nodal

$\{F\}$ = Gaya yang bekerja pada nodal

Menurut Hidajat (2005: 6) secara umum metode elemen hingga terdiri dari langkah dasar, yaitu: mendiskritisasikan daerah-daerah yang meliputi penempatan titik-titik nodal dan penentuan koordinatnya, menentukan derajat atau orde persamaan pendekatan linear, menyusun sistem persamaan-persamaan, menyelesaikan sistem persamaan-persamaan, menghitung kuantitas yang dicari.

12. Perangkat Lunak ANSYS

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

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

sangat bergantung pada cara memecah model tersebut dan menggabungkannya. Secara umum, tahapan analisis elemen hingga menggunakan 3 tahapan berikut:

1) *Model Generation*

- a) Penyederhanaan / idealisasi.
- b) Menentukan bahan / sifat material.
- c) Menghasilkan model elemen hingga.

2) Solusi

- a) Tentukan kondisi batas.
- b) Menjalankan analisis untuk mendapatkan solusi.

3) Hasil ulasan

- a) Plot / daftar hasil.

(Madenci, 2006 : 26).

B. Kerangka Berpikir

Pembuatan mobil listrik berbasis angkutan massal yang dikembangkan oleh Unnes, salah satu tahapan yang sudah dibuat adalah pembuatan rangka yang dilapisi dengan *carbon fiber* yang diyakini dapat menambah kekakuan pada rangka. Menanggapi hal tersebut peneliti ingin mengetahui seberapa kaku rangka yang telah dilapisi dengan *carbon fiber* dengan yang tidak dilapisi dalam hal besaran defleksi lentur yang yang dihasilkan kedua rangka, mengingat bahwa defleksi dipilih karena salah satu faktor yang timbul karena adanya besaran defleksi adalah faktor kekakuan pada material.

Penganalisan defeksi sendiri menggunakan metode elemen hingga dalam hal ini menggunakan bantuan *software* ANSYS sebagai alat untuk melakukan analisis, sebelum rangka yang dianalisis dilakukan pemodelan rangka menggunakan *software* CATIA, hasil dari nilai defeksi sendiri akan dibahas dan dilakukan perbandingan batasan-batasan nilai dari defleksi yang disarankan apakah besaran defeksi melebihi dari batasan yang telah ditetapkan atau tidak, batasan dari nilai defleksi mempunyai tingkatan kriteria presisi defleksi dari mulai tingkatan umum, sedang maupun tingkatan presisi defleksi yang tinggi.

Melalui penelitian analisis defleksi rangka mobil listrik berbasis angkutan massal ini akan didapatkan pembahasan tentang besaran nilai defeksi rangka. Hasil analisis juga dapat digunakan sebagai kajian ilmiah tentang rangka dan juga dapat sebagai acuan pertimbangan dalam pembuatan atau pengembangan rangka mobil

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dalam penelitian eksperimen tersebut analisis pemodelan rangka yang dilapisi komposit *carbon fiber* akan dibandingkan dengan analisis pemodelan rangka sebelum dilakukan pelapisan komposit *carbon fiber*, sedangkan beban yang bekerja pada struktur rangka berasal dari asumsi pembebanan pada rangka mobil listrik. Pemodelan rangka yang dianalisis mengacu pada pengukuran manual/langsung pada rangka yang hendak dianalisa yaitu rangka mobil listrik Unnes berbasis angkutan massal menggunakan *software* CATIA.

Proses analisis dijalankan dengan menggunakan *software* ANSYS dan dapat menampilkan *output* sesuai jenis analisa yang dilakukan. Setelah *output* diketahui, kemudian dapat dibandingkan bagaimana hasil dari masing masing rangka yang berupa besaran defleksi, tegangan maksimum dan angka keamanan.

B. Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

1. Alat:

- a. Perangkat komputer / Laptop dengan spesifikasi :

Type Processor : Intel(R) Core(TM) i3 CPU M350 @ 2,27GHz

Memory : 2048 MB RAM

Direct X Version : DirectX 11

VGA: Intel(R) HD GraphicsMemory VGA : 762MB

Display Mode : 1366 x 768 (32bit) (60Hz)

- b. *Software CATIA V5 R19*
- c. *Software ANSYS 14.0*
- d. *Alat ukur (micrometer, vernier caliper, meteran dan busur)*

2. Bahan:

- a. *Rangka mobil listrik angkutan massal*
- b. *Pipa hollow 40x80x2 mm*
- c. *Pipa silindris Ø48x1mm*
- d. *Plat 2mm,3mm,4mm,5mm dan 6mm*
- e. *Carbon fiber (6000 filament dengan perekat epoxy/resin)*

C. Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian analisis defleksi rangka mobil listrik angkutan massal menggunakan metode elemen hingga yaitu desain rangka mobil listrik, pembebanan, material rangka dan material properties sedangkan variable terikat berupa nilai tegangan maksimum, angka faktor keamanan dan besaran defleksi pada desain rangka mobil listrik.

D. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Prosedur dalam pelaksanaan penelitian ini terdiri dari 5 langkah yaitu: permodelan, pemasukan data material, pengasumsian, pengujian dan interpretasi hasil (*output*). Berikut adalah penjelasannya:

1. Permodelan

Pada tahap ini penulis melaksanakan pembuatan model didasarkan pada pengamatan dan pengukuran langsung pada struktur rangka mobil listrik angkutan massal yang ada. Permodelan rangka dilakukan pada masing-masing rangka baik sebelum dan sesudah dilapisi *carbon fiber*. Adapun langkah-langkah dalam permodelan sebagai berikut:

- a. Melakukan pengamatan dan pengukuran langsung pada rangka yang ada.
- b. Penggambaran geometri rangka sketsa yang disesuaikan langsung pada rangka dan memasukan data yang telah diperoleh dari pengukuran.
- c. Pengambilan foto rangka sebagai acuan dalam penggambaran geometri.
- d. Dilanjutkan dengan mendesain gambar rangka mobil listrik dalam bentuk tiga dimensi menggunakan CATIA.

2. Pemasukan Data Material

Pemasukan data material di ANSYS dapat diakses melalui menu *Engineering Data*. Data untuk baja yang digunakan dalam pembuatan rangka didapatkan dari hasil pengujian komposisi pada spesimen material rangka mobil listrik yang sudah ada.

3. Pengasumsian

Asumsi digunakan untuk memudahkan peneliti dalam melakukan analisis. Adapun beberapa asumsi yang diperlukan dalam analisis defleksi adalah :

- a. Beban kelengkapan mobil listrik (bodi, motor, baterai dan lain-lain).
- b. Beban hidup maksimum yang diterima rangka.
- c. Pembebanan merata.

4. Pengujian

Pengujian rangka dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS. Pengujian ini dilakukan pada kedua pemodelan rangka mobil listrik angkutan massal, yaitu pada rangka yang belum dilapisi *carbon fiber* rangka yang sudah dilapisi *carbon fiber*.

5. Hasil (*Output*)

Output analisis berupa data besaran defleksi, tegangan dan angka keamanan yang ditampilkan dalam kontur warna pada geometri rangka serta angka-angka dan tabel pada kedua rangka di *engineering data*.

E. Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu melalui pengujian simulasi menggunakan perangkat lunak ANSYS, yang mana pengambilan data didasarkan pada hasil analisis defleksi, tegangan dan faktor keamanan menggunakan ANSYS.

F. Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan teknik analisis deskriptif, di mana angka yang ditunjukkan sebagai hasil pengujian rangka mobil listrik angkutan massal kemudian dipaparkan dan dideskriptifkan. Data yang dianalisis adalah angka yang

diperoleh dari hasil pengujian analisis defleksi, tegangan dan faktor keamanan menggunakan perangkat lunak ANSYS.

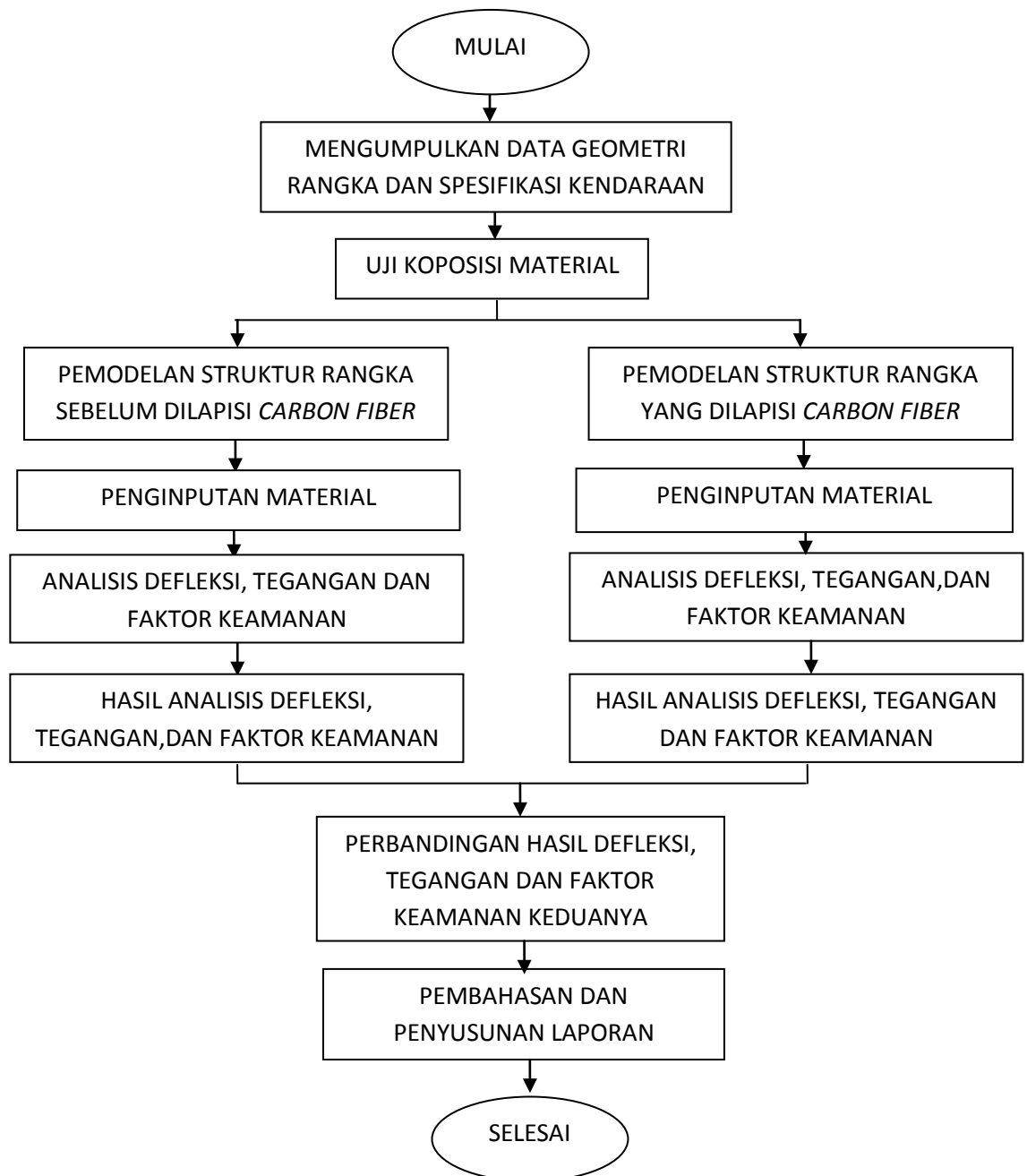
G. Alur Penelitian

Alur dalam penelitian analisis defleksi rangka mobil listrik angkutan massal menggunakan metode elemen hingga ini dari mulai hingga selesai adalah sebagai berikut:

1. Peneliti melakukan pengumpulan data geometri rangka dan spesifikasi kendaraan serta kelengkapan data pendukung untuk analisis defleksi.
2. Melakukan pengujian komposisi material untuk diketahui jenis material baja yang digunakan.
3. Langkah selanjutnya setelah didapatkan ukuran geometri rangka, kemudian dilakukan proses permodelan rangka yang ada yaitu rangka yang belum dilapisi *carbon fiber* menggunakan *software* CATIA.
4. Selanjutnya dilakukan penginputan *material properties* dan memasukan asumsi pembebanan pada desain rangka menggunakan *software* ANSYS.
5. Kemudian dilakukan proses analisis defleksi, tegangan dan faktor keamanan menggunakan ANSYS.
6. Didapatkan Hasil analisis defleksi, tegangan dan faktor keamanan pada rangka yang belum dilapisi *carbon fiber*.
7. Langkah selanjutnya adalah permodelan rangka yang sudah dilapisi

carbon fiber menggunakan CATIA.

8. Kemudian dilakukan penginputan *material properties* dan memasukan asumsi pembebanan yang sudah dilapisi *carbon fiber* menggunakan *software ANSYS*.
9. Selanjutnya dilakukan proses analisis defleksi, tegangan dan faktor keamanan menggunakan ANSYS.
10. Didapatkan Hasil analisis defleksi, tegangan dan faktor keamanan pada rangka yang sudah dilapisi *carbon fiber*.
11. Data hasil analisis defleksi pada masing-masing rangka keduanya, kemudian dilakukan perbandingan nilai defleksi, tegangan dan faktor keamanan. Pada proses ini hasil perbandingan juga akan diulas dan dibahas batas besaran defeksi yang disarankan.



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

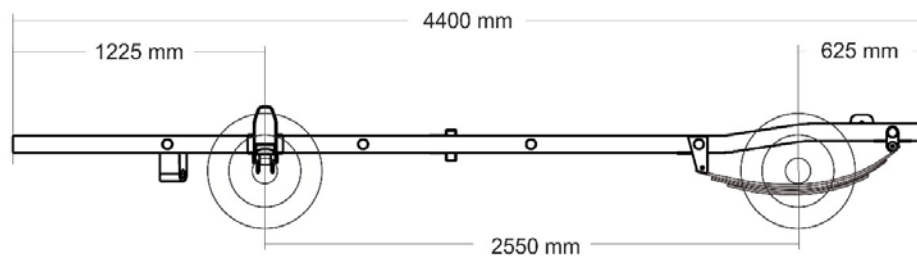
A. HASIL PENELITIAN

1. Panjang dan Lebar Rangka



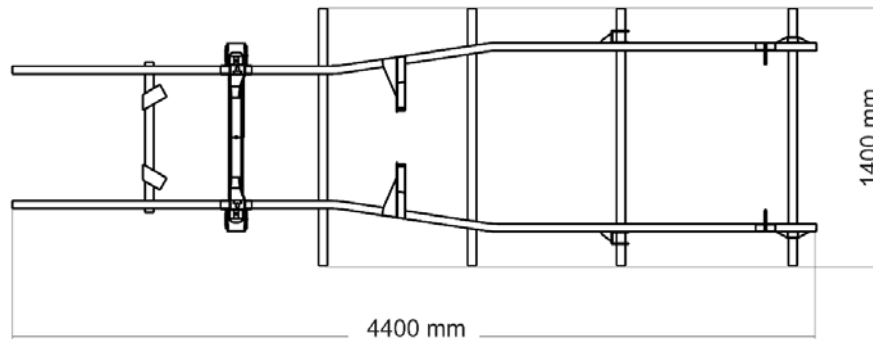
Gambar 4.1 *Wheelbase* pada mobil listrik angkutan massal Unnes

Jarak sumbu roda (*wheelbase*) mobil listrik angkutan massal Unnes diukur dari poros roda depan ke poros roda belakang (2550 mm). Jarak bebas bagian depan rangka sebesar 1225 mm dan bagian belakang 625 mm, jadi total panjang rangka yang ada adalah 4400 mm.



Gambar 4.2 Panjang keseluruhan rangka mobil listrik

Lebar rangka mobil listrik memiliki dimensi 1400 mm



Gambar 4.3 Lebar keseluruhan rangka mobil listrik

2. Material yang digunakan

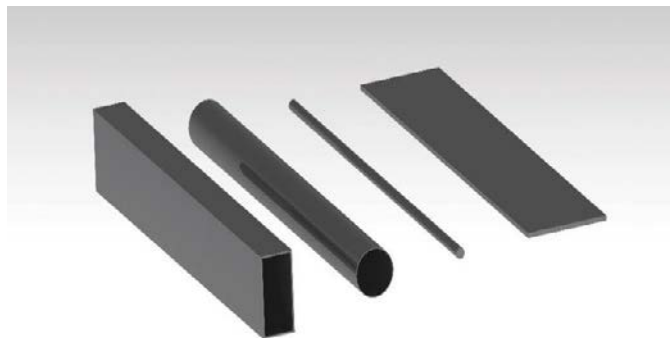
Berdasarkan hasil uji komposisi material *side member* dari rangka mobil listrik angkutan massal Unnes, diketahui jenis material yang digunakan adalah baja karbon rendah dengan kode AISI 1010 adapun hasil uji komposisi dari spesimen rangka mobil listrik dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.1. *Chemical composition* hasil uji spesimen rangka

Fe	Mn	S	P	C
99,3481%	0,3675%	0,0140%	0,0102%	0,1022%

Bentuk material yang digunakan pada rangka mobil listrik angkutan massal Unnes ini adalah jenis pipa *hollow* 40x80x2 mm, pipa silindris Ø48x1mm, pipa silindris Ø42x1mm, plat 2mm, 3mm, 4mm, 5mm dan 6mm, serta baut panjang Ø11mm. Material pipa *hollow* 40x80x2 digunakan untuk sisi samping rangka (*side member*), pipa *hollow* dipilih karena profil material jenis ini berongga dan tidak pejal sehingga ringan

dan mudah dibentuk. Pipa silindris Ø48 digunakan sebagai *cross member* untuk menguatkan susunan rangka. Sedangkan komponen- komponen lainnya digunakan sebagai penguat dan *support* sistem suspensi. Dalam pembuatan rangka mobil listrik ini juga menggunakan *suspension bar cross member* milik pabrikan panther sebagai penyangga suspensi depan.



Gambar 4.4 Profil material penyusun rangka

Material yang digunakan dalam pelapisan rangka mobil listrik angkutan massal ini adalah tenunan serabut karbon (*carbon fiber fabric*) 6000 *filament* dengan perekat *epoxy/resin*. Material *carbon fiber* ini dipilih karena memiliki kekuatan yang tinggi dan massa jenis yang ringan. Sifat material dari *carbon fiber* ini sangat baik dalam meningkatkan kekakuan dan juga tidak terlalu menambah berat rangka. *Carbon fiber* juga memiliki kekuatan tarik yang tinggi serta memiliki modulus elastisitas yang tinggi dibandingkan dengan serat komposit lainnya.

Material properties dari baja AISI 1010 dan *Carbon Fiber Epoxy resin* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2. *Material Properties* baja AISI 1010

<i>Material</i>	<i>Density</i> (Kg/m ³)	<i>Young Modulus</i> (GPa)	<i>Poisson Ratio</i>	<i>Tensile Yield Strength</i> (MPa)	<i>Tensile Ultimate Strength</i> (MPa)
AISI 1010	7700 – 8030	190-210	0,27-0,30	305	365

Sumber: (Efunda, 2014)

Tabel 4.3 *Material Properties Composite (Carbon Fiber Epoxy Resin)*

<i>Property</i>	<i>Symbol</i>	<i>Units</i>	<i>Std Carbon Fiber Fabric</i>
<i>Young's Modulus 0°</i>	E1	GPa	70
<i>Young's Modulus 90°</i>	E2	GPa	70
<i>In-plane Shear Modulus</i>	G12	GPa	5
<i>Major Poisson Ratio</i>	v12		0,1
<i>Ult. Tensile Strength 0°</i>	Xt	MPa	600
<i>Ult. Comp. Strength 0°</i>	xc	MPa	570
<i>Ult. Tensile Strength 90°</i>	Yt	MPa	600
<i>Ult. Comp. Strength 90°</i>	Yc	MPa	570
<i>Ult. In-plane Shear Strength</i>	S	MPa	90
<i>Density</i>		g/cc	1,6

Sumber: (ACP Composites, 2012)

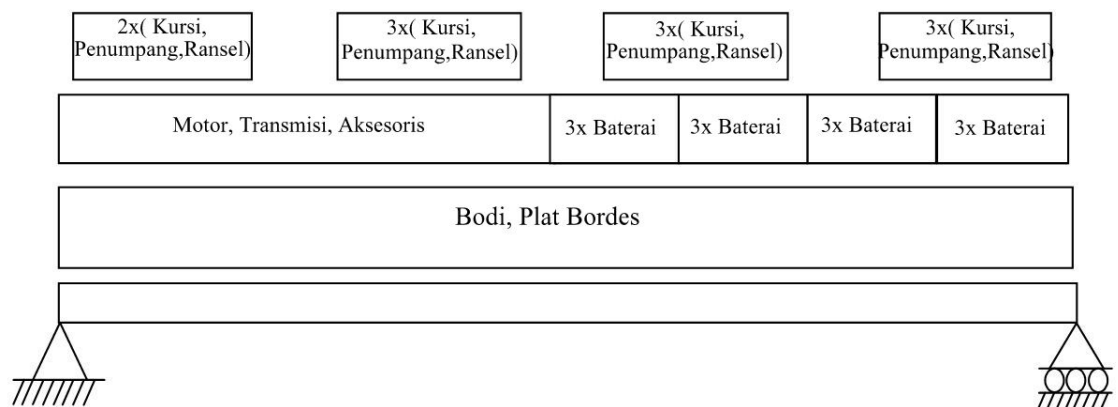
3. Pembebanan yang diterima Rangka

Beban yang diterima rangka mobil listrik angkutan masal Unnes berasal dari bodi, penumpang, kursi, baterai, motor, *plat bordes*, dan aksesoris lainnya. Penentuan berat beban yang diberikan pada rangka dalam penelitian ini dilakukan melalui pengasumsian. Beban maksimum yang diasumsikan dalam penelitian ini adalah 2107 kg menjadi 20669,67 N dengan nilai konversi 1kg = 9,81 N, sedangkan beban minimum yang diasumsikan adalah 1107 kg menjadi 10859,67 N. Beban maksimum

diperoleh dari seluruh beban kelengkapan kendaraan ditambah beban 11 penumpang, sedangkan beban minimum kendaraan diperoleh dari beban kelengkapan kendaraan ditambah 1 penumpang sebagai supir. Adapun rincian pengasumsian beban yang diterima rangka adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4 Asumsi beban yang diterima rangka mobil listrik

Beban	Berat (Kg)	Keterangan
11 Penumpang + Ransel, @100Kg	1100	Asumsi Berat rata-rata per orang = 185 lb (Department of Homeland Security, 2010: 78064)
11 Kursi @5Kg	55	Asumsi
12 Baterai @31Kg	372	<i>US125XC 6V Deep Cycle Battery</i> (At Battery Company, 2014)
Motor	35	Berat (Kg) = 25 – 35 (Alibaba.com, n.d.)
Bodi	350	Asumsi
<i>Plat Bordes</i>	135	Berat: 51,7 Kg per 2,0mm x 4'x8' (PT. Sukses Baja Semesta, n.d.)
Transmisi	50	Asumsi
Aksesoris	10	Asumsi
Total	2107	



Gambar 4.5 Asumsi beban yang diterima rangka mobil listrik

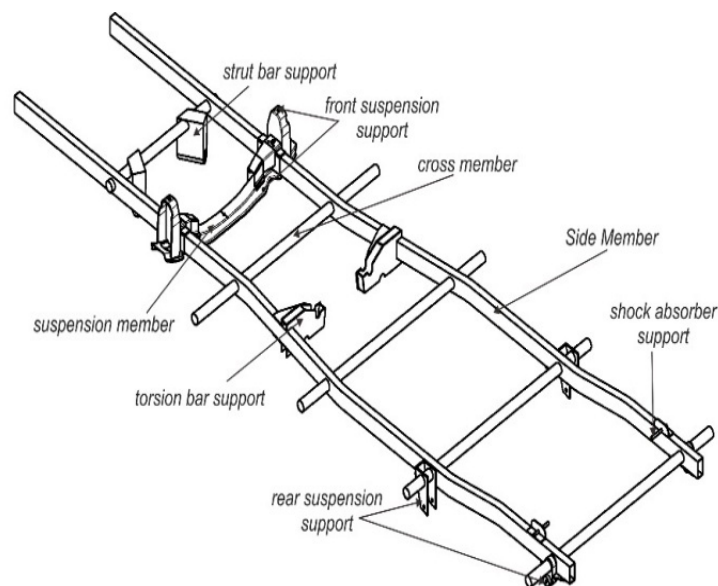
4. Permodelan Desain Rangka

a. Geometri dasar rangka mobil listrik

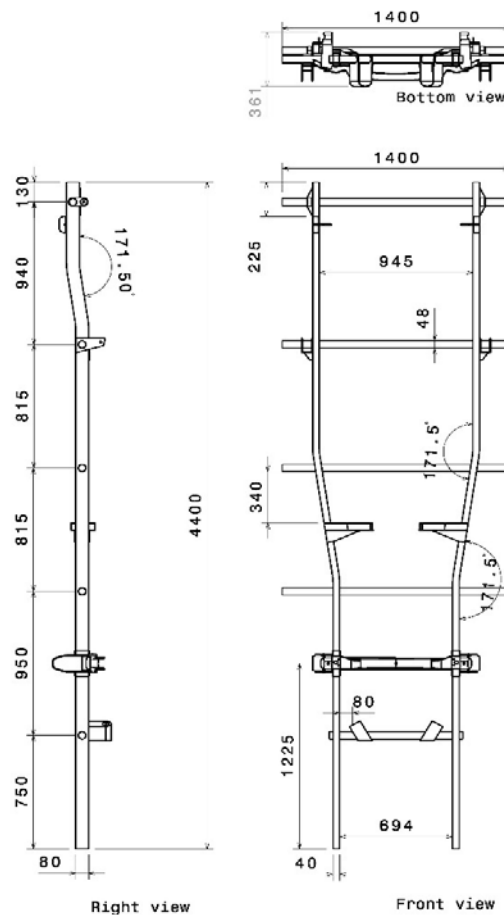
Konstruksi rangka mobil listrik yang ada sebelum dilapisi *carbon*

fiber memiliki dimensi panjang 4400mm dan lebar 1400mm. Rangka tersusun dari 2 side member pipa baja *hollow* 40x80x2mm dengan panjang total masing-masing pipa 4400mm dan diberi penguat berupa 5 *cross member* pipa baja silindris Ø48x1mm dengan jarak antara masing-masing sumbu pipa mulai dari bagian terdepan rangka sampai pipa terakhir adalah 750, 950, 815, 815 dan 940mm. Pada konstruksi rangka ini ditambahkan pula sebuah penguat berupa suspension cross member yang terletak di antara pipa cross member 1 dan 2.

Penyangga atau tumpuan rangka bagian depan terletak pada *suspension cross member*, sedangkan tumpuan untuk bagian belakang berada pada pipa *cross member* ke 4 dan ke 5. Pada rangka mobil listrik yang ada saat ini dilengkapi pula dengan pemegang *strut bar* pada pipa *cross member* 1 dan pemegang *torsion bar* yang terletak di antara pipa *cross member* 2 dan 3.



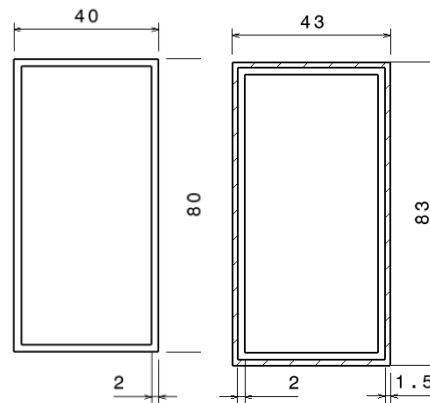
Gambar 4.6 Konstruksi rangka mobil listrik angkutan massal Unnes



Gambar 4.7 Geometri dasar rangka mobil listrik yang ada

b. Geometri rangka mobil listrik setelah dilapisi *carbon fiber*

Bagian yang dilapisi *carbon fiber* pada konstruksi rangka adalah di masing-masing *side member* pada permukaan luarnya dengan tebal pelapisan 1,5mm. Pelapisan *carbon fiber* ini dikarenakan serat karbon memiliki sifat kekuatan yang tinggi dan memiliki massa jenis yang ringan. Dengan demikian, ukuran side member setelah dilapisi *carbon fiber* menjadi 43x83mm dengan tebal 3,5mm. Adapun permodelan rangka yang telah dilapisi *carbon fiber* dapat dilihat seperti pada gambar berikut.

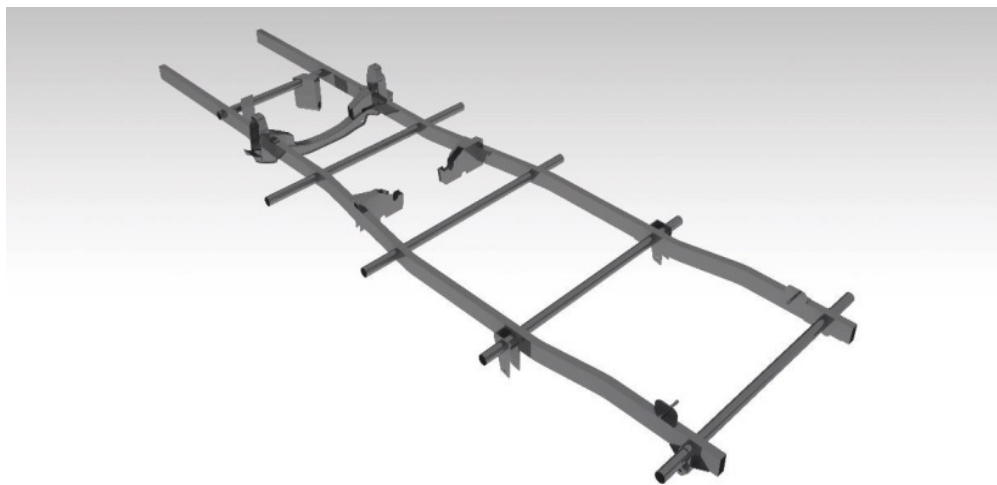


Gambar 4.8 Penampang rangka yang sebelum dan sesudah dilapisi

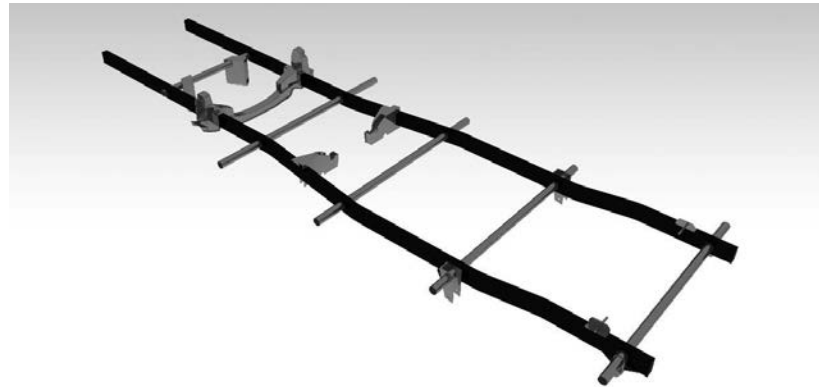
Carbon Fiber

- c. Perbandingan pemodelan rangka sebelum dan sesudah dilapisi *carbon fiber*

Setelah pemodelan rangka mobil listrik yang belum dan sudah dilapisi *carbon fiber* menggunakan *software* CATIA dalam bentuk tiga dimensi, kemudian kedua pemodelan dianalisis kekuatannya menggunakan *software* ANSYS. Adapun perbandingan kedua pemodelan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.9 Pemodelan rangka mobil listrik sebelum dilapisi *carbon fiber*



Gambar 4.10 Pemodelan rangka mobil listrik sesudah dilapisi *carbon fiber*

B. Hasil Pengujian

1. Pra pengujian rangka

Sebelum pengujian pemodelan rangka terdapat beberapa proses yang harus dilakukan dan sangat mempengaruhi kevalidan hasil pengujian. Prosedur yang harus dilakukan sebagai berikut:

a) Pemasukan data material pada *Engineering Data ANSYS*

Data *material properties* yang didapatkan dari studi pustaka maupun pengujian dimasukkan pada *software ANSYS* melalui menu *Engineering Data* pada *ANSYS workbench*.

1	Property	Value	Unit
2	Density	7870	kg m ⁻³
3	Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young'...	
5	Young's Modulus	2E+05	MPa
6	Poisson's Ratio	0,3	
7	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
8	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
9	Alternating Stress Mean Stress	Tabular	
10	Interpolation	Log-Log	
11	Scale	1	
12	Offset	0	MPa
13	Tensile Yield Strength	305	MPa
14	Tensile Ultimate Strength	365	MPa

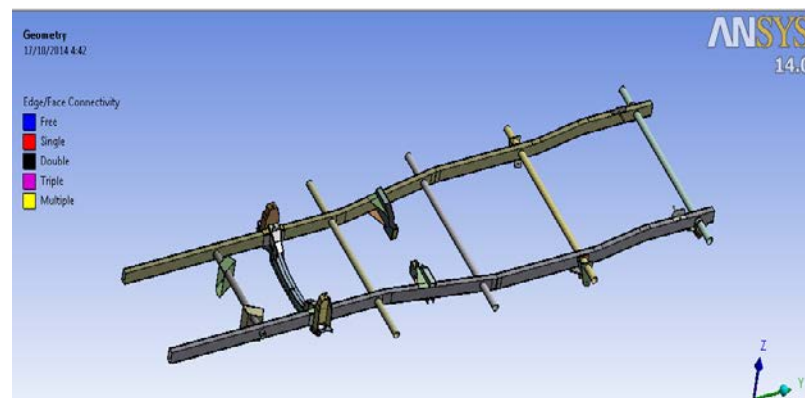
Gambar 4.11 Pemasukan data *material properties* AISI 1010

1	Property	Value	Unit
2	<input checked="" type="checkbox"/> Density	1,6	g cm ⁻³
3	<input checked="" type="checkbox"/> Orthotropic Elasticity		
4	Young's Modulus X direction	70000	MPa
5	Young's Modulus Y direction	70000	MPa
6	Young's Modulus Z direction	70000	MPa
7	Poisson's Ratio XY	0,1	
8	Poisson's Ratio YZ	0,1	
9	Poisson's Ratio XZ	0,1	
10	Shear Modulus XY	5000	MPa
11	Shear Modulus YZ	5000	MPa
12	Shear Modulus XZ	5000	MPa
13	<input checked="" type="checkbox"/> Alternating Stress Mean Stress <input checked="" type="checkbox"/> Tabular		
17	<input checked="" type="checkbox"/> Tensile Ultimate Strength	600	MPa
18	<input checked="" type="checkbox"/> Orthotropic Stress Limits		
19	Tensile X direction	600	MPa
20	Tensile Y direction	600	MPa
21	Tensile Z direction	600	MPa
22	Compressive X direction	570	MPa
23	Compressive Y direction	570	MPa
24	Compressive Z direction	570	MPa
25	Shear XY	90	MPa
26	Shear YZ	90	MPa
27	Shear XZ	90	MPa

Gambar 4.12 Pemasukan data *material properties carbon fiber*

b) Pengimporan geometri rangka dari CATIA ke ANSYS

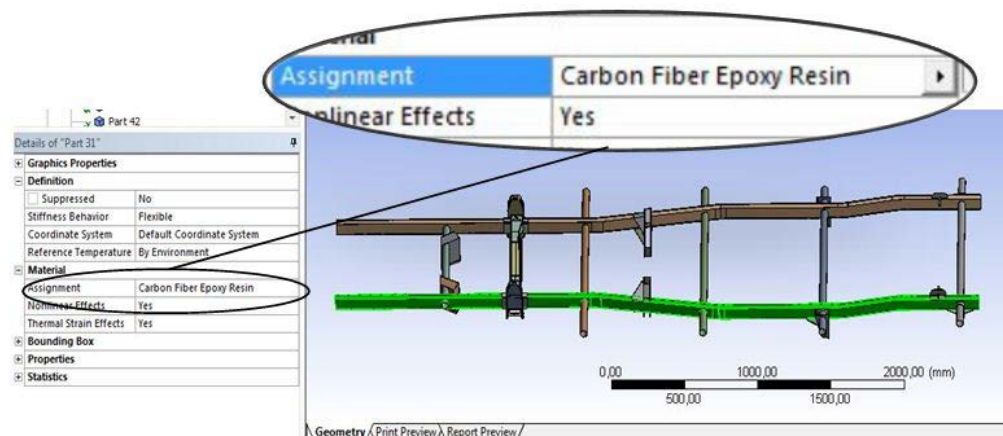
Hasil gambar tiga dimensi dari CATIA di simpan dalam format *igs* untuk dapat diimporkan ke ANSYS. Pengimporan pemodelan rangka dilakukan melalui menu *Geometry* pada *ANSYS workbench*.



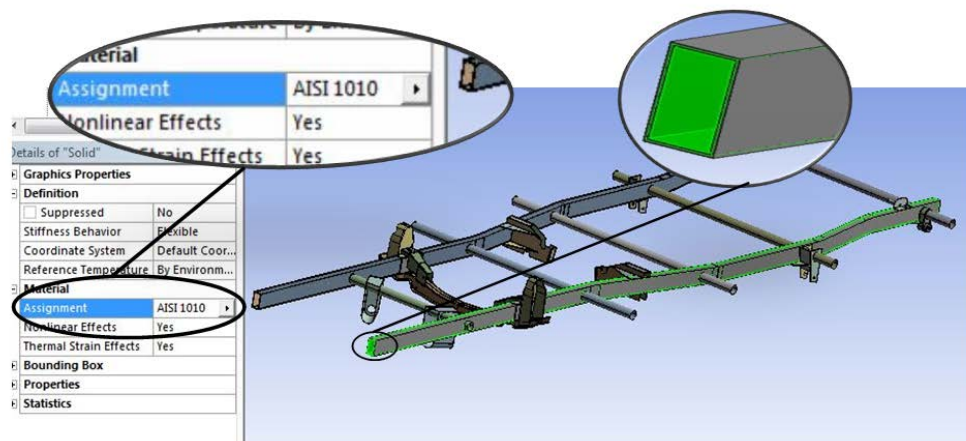
Gambar 4.13 Geometri rangka yang diimporkan ke ANSYS

c) Identifikasi material rangka pada ANSYS

Jenis material rangka sesuai data yang dimasukkan pada proses sebelumnya perlu diterapkan pada geometri rangka yang diimpor ke ANSYS. Pengaplikasian jenis material pada pemodelan rangka dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.14 Pemilihan material *carbon fiber* rangka pada ANSYS

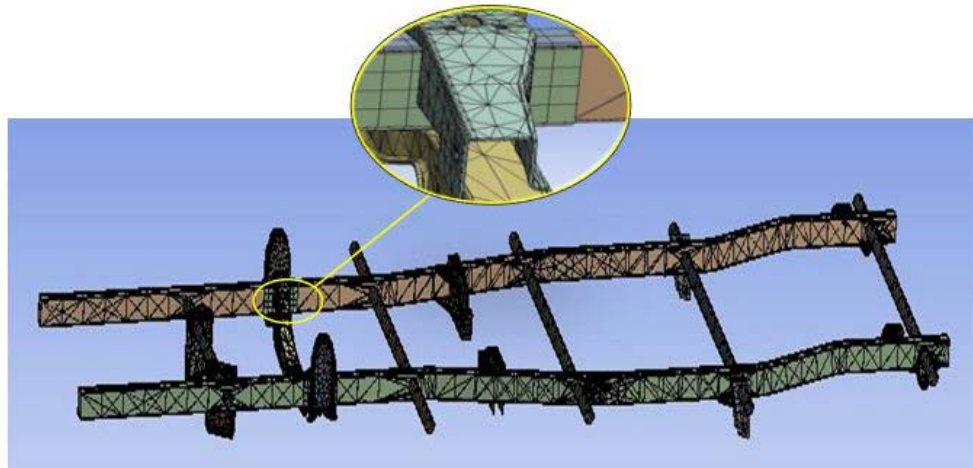


Gambar 4.15 Pemilihan material AISI 1010 rangka pada ANSYS

d) *Meshing* desain rangka

Meshing desain rangka pada analisis ini dilakukan secara otomatis dengan beberapa setting *sizing* pada beberapa bagian rangka. Dari

hasil meshing pada ANSYS didapatkan jumlah elemen sebanyak 189854 dan node sebanyak 399324. Hasil *meshing* desain rangka dapat dilihat pada gambar berikut.



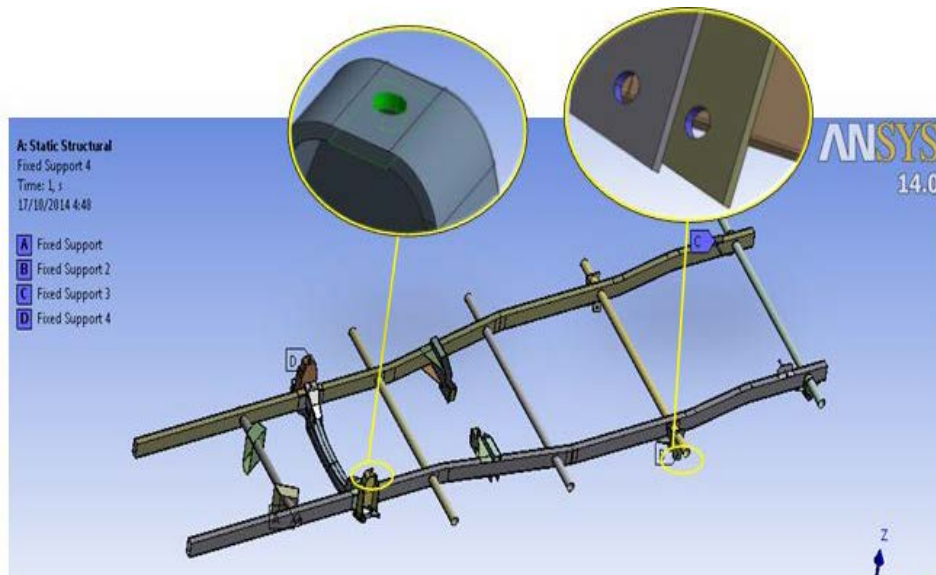
Gambar 4.16 *Meshing* desain rangka pada ANSYS

e) Permodelan pembebanan dan tumpuan

Pembebanan pada struktur rangka dirancang berdasarkan perhitungan bahwa beban maksimum yang diterima rangka adalah 2107 kg dan beban minimum yang diterima adalah 1107 kg. Beban ini kemudian dikonversikan ke dalam satuan *Newton*, dengan nilai konversi $1\text{ kg} = 9,81\text{ N}$. Dengan demikian, beban maksimum yang diterima rangka adalah 20669,67 N dan beban minimum yang diterima adalah 10859,67 N. Beban maksimum 20669,67 N ini dibagi menjadi dua bagian yaitu masing-masing 10334,835 N diberikan pada masing-masing *side member*.

Tumpuan pada rangka ditentukan pada bagian yang mengalami kontak langsung dengan sistem suspensi pada masing-masing roda depan dan belakang. Jenis *support* yang digunakan adalah *fixed support*

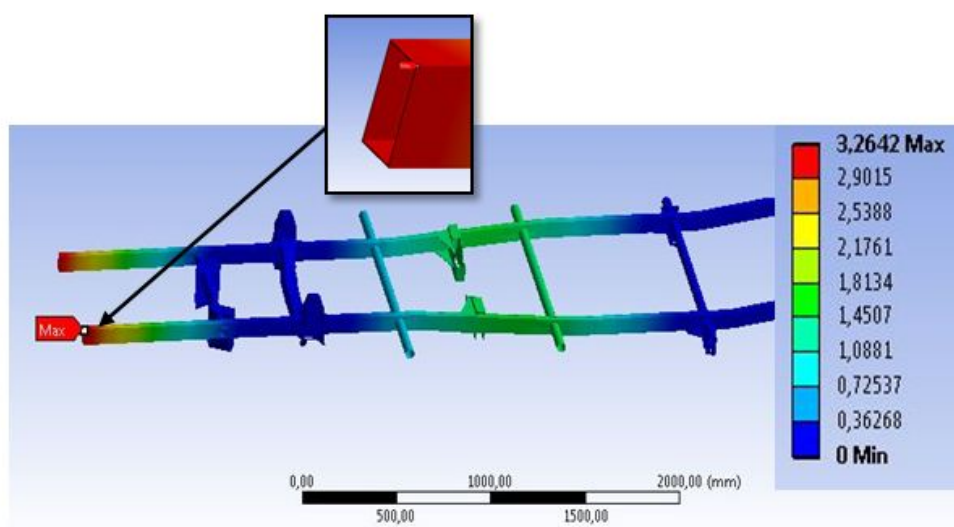
untuk masing-masing tumpuan. Permodelan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.17 Permodelan beban dan tumpuan

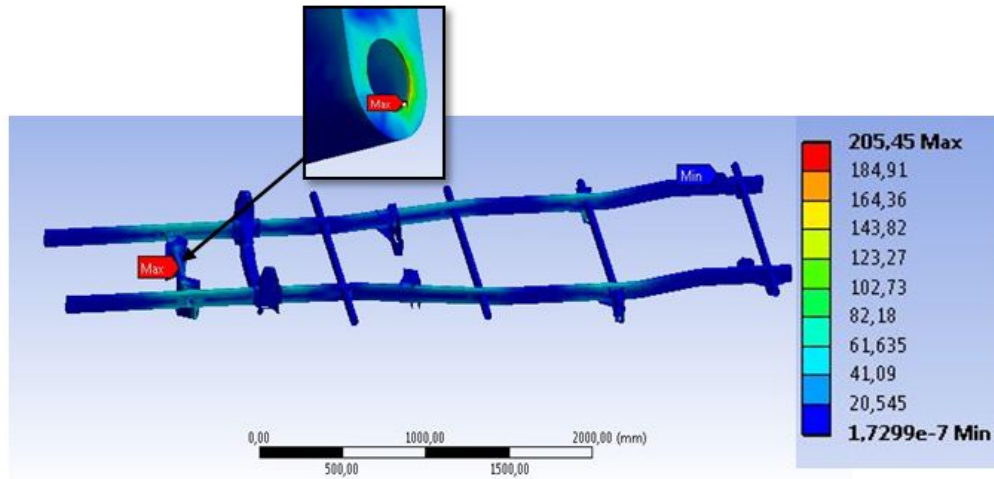
2. Hasil pengujian rangka sebelum dilapisi *carbon fiber*

a) Defleksi



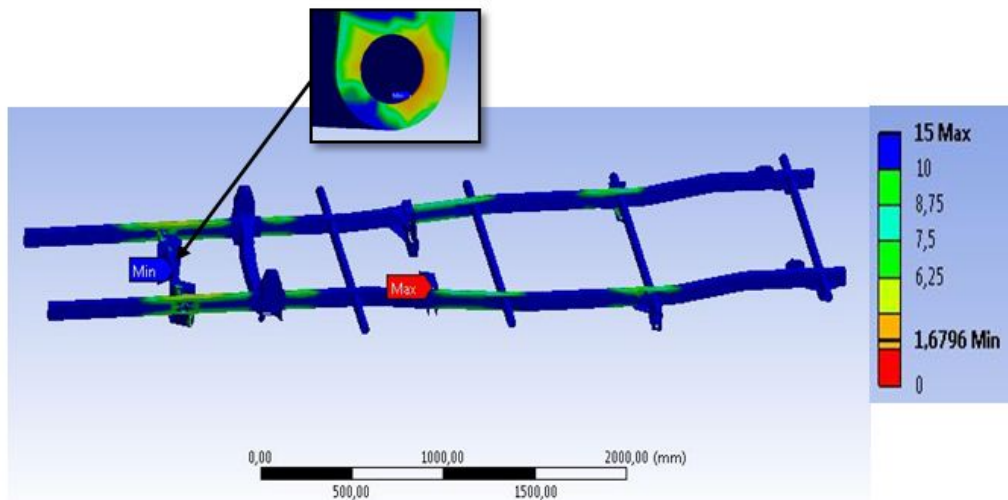
Gambar 4.18 Defleksi rangka sebelum dilapisi *carbon fiber*

b) *Equivalent Von misses stress*



Gambar 4.19 *Equivalent Von misses stress* rangka sebelum dilapisi *carbon fiber*

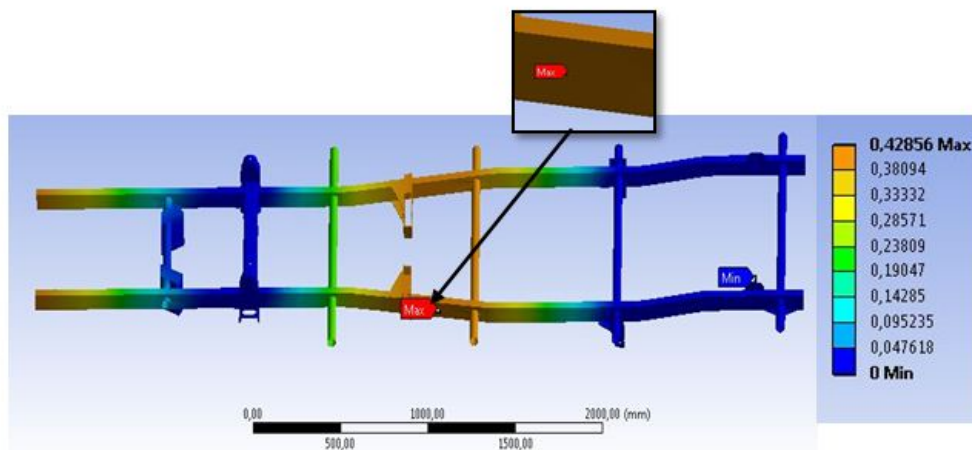
c) *Safety Factor*



Gambar 4.20 *Safety Factor* rangka sebelum dilapisi *carbon fiber*

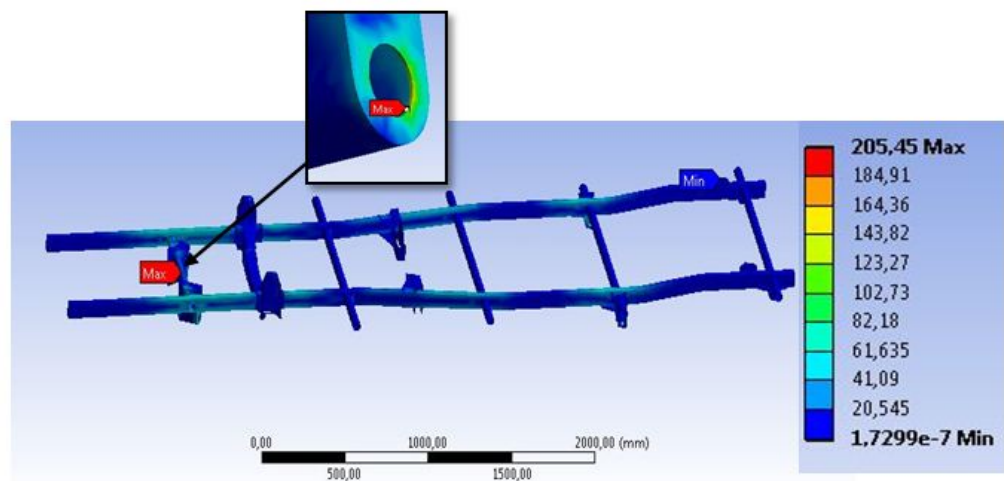
3. Hasil pengujian rangka setelah dilapisi *carbon fiber*

a) Defleksi

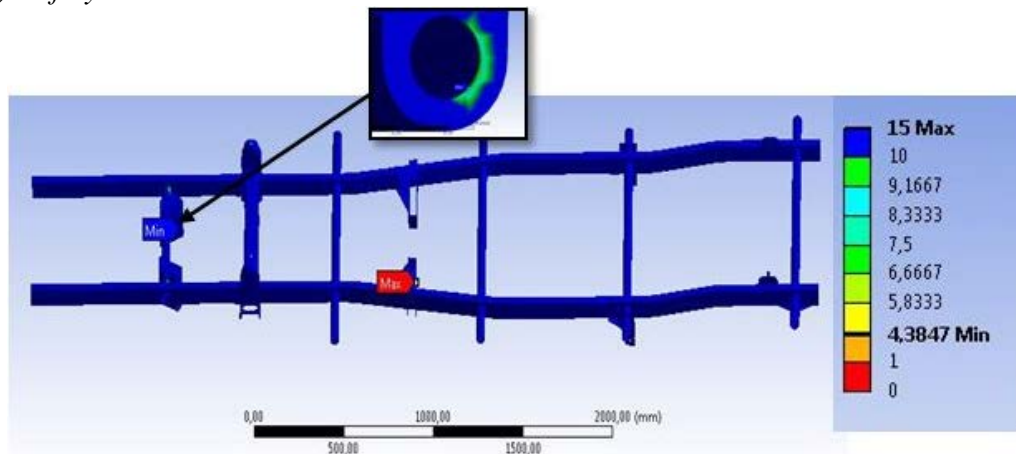


Gambar 4.21 Defleksi rangka setelah dilapisi *carbon fiber*

b) *Equivalent Von misses stress*



Gambar 4.22 *Equivalent Von misses stress* rangka setelah dilapisi *carbon fiber*

c) *Safety Factor*Gambar 4.23 *Safety Factor* rangka setelah dilapisi *carbon fiber*

4. Perbandingan hasil pengujian rangka

Pemodelan rangka yang berbeda akan menghasilkan reaksi yang berbeda terhadap pembebanan yang diberikan. Simulasi pengujian yang dilakukan menggunakan *software* ANSYS menghasilkan reaksi dalam wujud defleksi tegangan (maksimum dan minimum) dan faktor keamanan pada kedua pemodelan rangka. Hasil analisis tersebut dapat digunakan sebagai acuan pembahasan rangka.

Adapun perbandingan hasil pengujian pada kedua pemodelan rangka dapat dilihat dalam tabel-tabel berikut.

Tabel 4.6 Perbandingan hasil analisis pada pemodelan rangka

Karakteristik kekuatan	Sebelum dilapisi <i>carbon fiber</i>	Sesudah dilapisi <i>carbon fiber</i>
Defeksi <i>Max</i> (mm)	3,2642	0,42856
Tegangan <i>Max</i> (MPa)	205,45	78,7
<i>Minimum Safety factor</i>	1,6796	4,3847

Batasan tegangan maksimum yang diijinkan adalah 305 MPa, didapatkan dari nilai *Tensile Yield Strength* (titik luluh) material AISI

1010. Sedangkan batasan defleksi dari kriteria keduanya sudah memenuhi kriteria besaran defleksi yang disarankan, rangka sebelum dilapisi dengan *carbon fiber* besaran defleksi maksimal adalah sebesar 3,2642 mm yang termasuk dalam kriteria umum, sedangkan besaran defleksi maksimal rangka yang sudah dilapisi dengan *carbon fiber* sebesar 0,42856 mm yang termasuk dalam kriteria sedang.

C. PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil dari pengujian yang dilakukan bahwa ada perbedaan yang sangat signifikan antara rangka yang belum dilapisi *carbon fiber* dengan rangka yang sudah dilapisi dengan *carbon fiber*, hal ini menunjukkan pemakaian pelapisan *carbon fiber* dapat mengurangi besaran defleksi pada rangka yang disebabkan kekuatan tarik maksimal dari sifat material *carbon fiber* lebih tinggi dibandingkan dengan baja AISI 1010 menjadikan rangka yang dilapisi *carbon fiber* lebih kuat dalam menahan pembebanan. Hal tersebut sesuai menurut Carli, dkk (2012:21) menyatakan semakin tinggi kekuatan tarik bahan, bahan tersebut akan semakin tahan terhadap gaya tarik sehingga bahan lebih kuat untuk tidak mudah putus saat menerima tegangan.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada masing-masing pemodelan rangka, didapatkan pertimbangan-pertimbangan sebagai alasan bahwa rangka mobil listrik angkutan massal Unnes yang dilapisi *carbon fiber* menjadi lebih kuat dalam menerima pembebanan dari pemodelan

rangka yang belum dilapisi dengan *carbon fiber*. Adapun pertimbangan-pertimbangan tersebut sebagai berikut:

1. Konstruksi Desain

Dilihat dari konstruksi, pemodelan rangka yang dilapisi dengan *carbon fiber* dapat dikatakan hampir sama dengan pemodelan yang belum dilapisi dengan *carbon fiber* karena perubahan hanya terdapat pada pelapisan material *carbon fiber*. Hal ini berarti bahwa tingkat kesulitan pembuatan rangka yang dilapisi *carbon fiber* memiliki tingkat kesulitan yang tidak jauh berbeda.

2. Tinjauan Besaran Defleksi

Setelah dilakukan analisis defleksi menggunakan *software* ANSYS, maka dapat diketahui nilai defleksi yang terjadi akibat pembebanan pada masing-masing pemodelan rangka. Dari tabel 4.6 dapat dilihat bahwa defleksi maksimum pada rangka sebelum dilapisi *carbon fiber* sebesar 3,2642 mm, defleksi maksimum pada rangka setelah dilapisi *carbon fiber* sebesar 0,42856 mm, hal ini berarti terjadi penurunan defleksi pada pemodelan rangka yang disebabkan adanya perlakuan pelapisan *carbon fiber* pada kedua *side member* rangka.

Besaran nilai defleksi dari kedua rangka tersebut sudah memenuhi batasan defleksi yang sudah disarankan, rangka sebelum dilapisi dengan *carbon fiber* berada dikriteria defleksi umum dengan batasan nilai kriteria dari 0,558822 mm sampai 3,352932 mm, sedangkan rangka yang sudah dilapisi berada dikreteria sedang dengan batasan nilai kriteria dari

0,01117644 mm sampai 0,558822 mm. Hal tersebut membuktikan bahwa defeksi pada rangka mobil listrik Unnes aman dari kriteria defleksi yang telah disarankan dan rangka yang dilapisi dengan *carbon fiber* lebih kuat menerima pembebanan dari yang tidak dilapisi dengan *carbon fiber*.

3. Tinjauan Analisis Tegangan dan Faktor Keamanan

Setelah dilakukan analisis tegangan menggunakan *software* ANSYS, maka dapat diketahui nilai tegangan yang terjadi akibat pembebanan pada masing-masing pemodelan rangka. Dari tabel 4.6 dapat dilihat bahwa tegangan maksimum pada rangka sebelum dilapisi *carbon fiber* sebesar 205,45 MPa sedangkan tegangan maksimum pada rangka setelah dilapisi *carbon fiber* sebesar 78,7 MPa. Hal ini berarti terjadi penurunan tegangan maksimum pada pemodelan rangka yang telah dilapisi dengan *carbon fiber* yang juga mempengaruhi peningkatan angka keamanan.

Berdasarkan analisis *safety factor* pada ANSYS, angka keamanan rangka yang sesudah dilapisi *carbon fiber* memiliki nilai minimum 4,3847 dengan memenuhi kriteria *safety factor* yang telah disarankan minimal lebih dari 2,0, sedangkan pada rangka yang belum dilapisi *carbon fiber* memiliki *safety factor* minimum 1,6796 yang belum memenuhi kriteria *safety factor* yang disarankan dari kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa berdasarkan analisis *safety factor* pada ANSYS pelapisan *carbon fiber* pada kedua bagian *side member* telah meningkatkan nilai *safety factor* minimum pada rangka yang dilapisi *carbon fiber*

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. SIMPULAN

Berdasarkan pengujian analisis defleksi rangka mobil listrik maka diperoleh simpulan adanya perbedaan yang signifikan yang membuktikan bahwa rangka yang dilapisi dengan *carbon fiber* lebih kuat dalam menerima pembebanan dibandingkan dengan rangka yang belum dilapisi *carbon fiber* dan sudah menjawab semua tujuan masalah, dengan rincian sebagai berikut :

- a. Besaran defeksi rangka keduanya sudah memenuhi batasan-batasan defleksi maksimal yang diijinkan. Besaran defeksi rangka yang dilapisi dengan *carbon fiber* sebesar 0,42856 mm, sedangkan besaran defeksi rangka belum dilapisi dengan *carbon fiber* sebesar 3,2642mm, selisih defleksi dari kedua rangka tersebut sebesar 2,83564 mm.
- b. Berkurangnya tegangan maksimal rangka yang dilapisi dengan *carbon fiber* dengan rangka sebelum dilapisi *carbon fiber* dari semula 205,45 Mpa menjadi 78,7 Mpa dengan selisih keduanya sebesar 126,75 Mpa.
- c. Meningkatnya faktor keamanan rangka yang dilapisi dengan *carbon fiber* dengan rangka normal dari semula 1,6796 menjadi 4,3847 dengan selisih keduanya sebesar 2,7051.

B. SARAN

Berdasarkan penelitian analisis defleksi rangka mobil listrik berbasis angkutan massal menggunakan metode elemen hingga peneliti memberikan beberapa saran.

1. Pelapisan rangka mobil menggunakan komposit *carbon fiber* sebenarnya tidak lazim digunakan karena material rangka baja tidak bisa saling mengikat kuat dengan komposit *carbon fiber* sehingga kekuatan struktur baja yang dilapisi komposit *carbon fiber* akan cenderung berdiri sendiri tidak saling menguatkan antara rangka baja dengan komposit *carbon fiber*.
2. Melapisi rangka dengan komposit *carbon fiber* perlu diperhatikan kebutuhan mengingat harga *carbon fiber* yang cukup mahal, supaya memastikan efektifitas dan efisiensi dalam pembuatan rangka mobil sehingga nilai ekonomis dapat dipertimbangkan.

DAFTAR PUSTAKA

- ACP Composites. 2012. *Mechanical Properties of Carbon Fiber Composite Materials, Fiber / Epoxy resin (120 Cure)*. Online at <http://www.acpsales.com/upload/Mechanical-Properties-of-Carbon-FiberComposite-Materials.pdf> [accessed 10/12/2014].
- Alibaba.com. 2014. *11 Sheat Electric Shuttle Bus LQY113B*. Online at http://langqing.en.alibaba.com/product/555746636-50125844/11_seats_electric_shuttle_bus_LQY113B.html [accessed 09/12/2014].
- At Battery Company. 2014. US Battery US125XC 6V Deep Cycle Golf Cart Battery. Online at <http://www.atbatt.com/us-battery-us125xc-6v-deep-cycle-golfcart-battery.asp> [accessed 15/12/2014]
- Carli, S. A. Widyanto dan Ismoyo Haryanto. 2012 Analisis Kekuatan Tarik Lentur Komposit Serat Gelas Jenis Woven dengan Matriks Epoxy dan Polyester Berlapis Simetri dengan Metode Manufaktur Hand Lay-Up. *Teknis*. Volume 7. Nomor 1: 22-26.
- Department of Homeland Security. 2010. Passenger Weight and Inspected Vessel Stability Requirements; Final Rule. Online at <http://www.uscg.mil/hq/cgcv/cvc1/policy/pwivsr/pwivsr.pdf> [accessed 18/12/2014]
- Dictionary.com. 2014. Mass Transit. Online at <http://dictionary.reference.com/browse/mass+transit> [accessed 18/12/2014]
- Efunda. 2014. *General Information on Carbon Steels*. Online at http://www.efunda.com/materials/alloys/carbon_steels/carbon.cfm [accessed 09/12/2014].
- Efunda. 2014. *Properties of Carbon Steel AISI 1010*. Online at http://www.efunda.com/materials/alloys/carbon_steels/show_carbon.cfm?ID=AISI_1010&prop=all&Page_Title=AISI%201010 [accessed 11/12/2014].
- Erinofiardi, Hendra. 2012. Analisa Defleksi Struktur Tower Transmisi Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Volume 3. Nomor 2: 362-371.
- Hariandja, Binsar. 1996. *Mekanika Teknik: Statistika dalam Analisa Stuktur berbentuk Rangka*. Jakarta: Erlangga.

- Hidajat, R. L. Lambang G. 2005. *Teori dan Penerapan Metode Elemen Hingga*. Suarakarta: LPP UNS dan UNS Press.
- Gere, James M. dan Stephen P. Timoshenko. 1996. *Mekanika Bahan*. Translated by Hans J Wospakrik. Jakarta: Erlangga.
- Gunadi. 2008. *Teknik Bodi Otomotif Jilid 1 untuk SMK*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Irawan, Agustinus Purna. 2009. *Diktat Elemen Mesin*. Jakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tarumanegara.
- Jensen, Alfred dan Harry H. Chenoweth. 1989. *Kekuatan Bahan Terapan* (4th Ed.). Translated by Darwin Sebayang. Jakarta: Erlangga.
- Joko, Apri. 2010. Aplikasi Motode Elemen Hingga (MEH) pada Stuktur Rib Bodi Angkutan Publik. *Jurnal Inkuiri*. Volume 1. Nomor 2: 10-15.
- Madenci, Erdogan dan Ibrahim Guven. 2006. *The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS*. United States of America: Springer Science+Business Media, LLC.
- Mott, Robert L. 2004. *Machine Elements in Mechanical Design* (4th Ed.). New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Mott, Robert L. 2009. *Elemen-Elemen Mesin dalam Perancangan Mekanis* (Buku 1). Translated by Rines, Agus Unggul Santoso, Wibowo Kusbandono, Rusdi Sambada, I Gusti Ketut Puja dan A. Teguh Siswantoro. Yogyakarta: ANDI.
- Mulyati. 2008. *Bahan Ajar Mekanika bahan*. Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Negara, D. N. Ketut Putra dan S. P. G. Gunawan Tista. 2009. Simulasi dan Studi Eksperimen Defleksi Beam Bright Minld Steel Akibat Variasi Besan Horizontal. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram*. Volume 3. Nomor 1: 69-74.
- Nakasone, Y, T.A. Stolarski dan S. Yoshimoto. 2006. *Engineering Analysis With ANSYS Software*. Jordan Hill: Elseiver Butterworth-Heinemann.
- Purnama, H., Joko, dan T. Yogo. 2013. Pengaruh Jenis Serat Terhadap Kuat Tarik Dan Kuat Benturan Pada Material Komposit Resin Epoksi, *Simposium Nasional RAPI XII FT UMS*. Halaman 64-69.

Tahir, Anas. 2005. Angkutan Massal Sebagai Alternatif Mengatasi Persoalan Kemacetan Lalu Lintas Kota Surabaya. *Jurnal SMARTek*. Volume 3. Nomor 3: 169-182.

Shigley, J. E. dan Larry D. Mitchell. 1984. *Perencanaan Teknik Mesin* (4th Ed.) Jilid 1. Translated by Gandhi Harahap. Jakarta: Erlangga.

Singer, Ferdinand L. dan Andrew Pytel. 1985. *Kekuatan Bahan*. Translated by Darwin Sebayang. Jakarta: Erlangga.

Weaver, William dan Paul R. Johnston. 1993. *Elemen Hingga untuk Analisis Struktur*. Translated by Markus Rubijanto Kusuma. Bandung: Eresco.

Lampiran 1. Surat Tugas Pembimbing



**KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**
Nomor:
Tentang
**PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER
GASAL/GENAP
TAHUN AKADEMIK 2014/2015**

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

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


Menimbang : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pend. Teknik Mesin Tanggal 2 Januari 2014

MEMUTUSKAN


Menetapkan :
PERTAMA : Menunjuk dan menugaskan kepada:
Nama : Dr. Muhammad Khumaedi, M.Pd.
NIP : 196209131991021001
Pangkat/Golongan : IV/B
Jabatan Akademik :
Sebagai Pembimbing
Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :
Nama : MUHAMMAD ASHFAL FUAD
NIM : 5201410033
Jurusan/Prodi : Teknik Mesin/Pend. Teknik Mesin
Topik : ANALISIS TEGANGAN DAN DEFORMASI RANGKA SASIS MOBIL LISTRIK BERBASIS ANGKUTAN MASSAL AKIBAT BEBAN STATIS MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

KEDUA : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

DITETAPKAN DI : SEMARANG
PADA TANGGAL : 6 Januari 2014

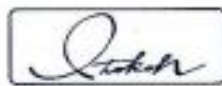

Muhammad Harlanu
NIP. 196602151991021001

Tembusan
1. Pembantu Dekan Bidang Akademik
2. Ketua Jurusan
3. Petinggal



5201410033
FM-03-AKD-24/Rev. 00

Lampiran 2. Surat Keterangan Melaksanakan Uji Komposisi



PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Casting



SURAT KETERANGAN

Bersama ini kami sampaikan bahwa:

1. Sdr. Muhamad Ashfal Fuad Nim: 5201410033

2. Sdr. Nur Rohman Arif Nim: 5201410017

Pend. Teknik Mesin, S1. Fakultas Teknik.

Pada hari ini senin 11 Agustus 2014 benar benar telah melaksanakan uji komposisi di perusahaan kami.

Demikian pemberitahuan kami semoga surat keterangan ini dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Klaten, 11 Agustus 2014

Hormat Kami.

PT. ITOKOH CEPERINDO

Krisna S

INDONESIA OFFICE & FACTORY : J. KH. Hasyim As'ari By Pass Selatan Klaten 57438 PO. BOX 130, Jateng - Indonesia
Phone : (0272) 324208, 324038, Fax. (324213), E-mail : itokohci@indosat.net.id

JAPAN OFFICE : 3-22-2 Mologo, Kawaguchi City, Saitama, Japan
Phone : 81 482 248 401, Fax : 81 482 242070

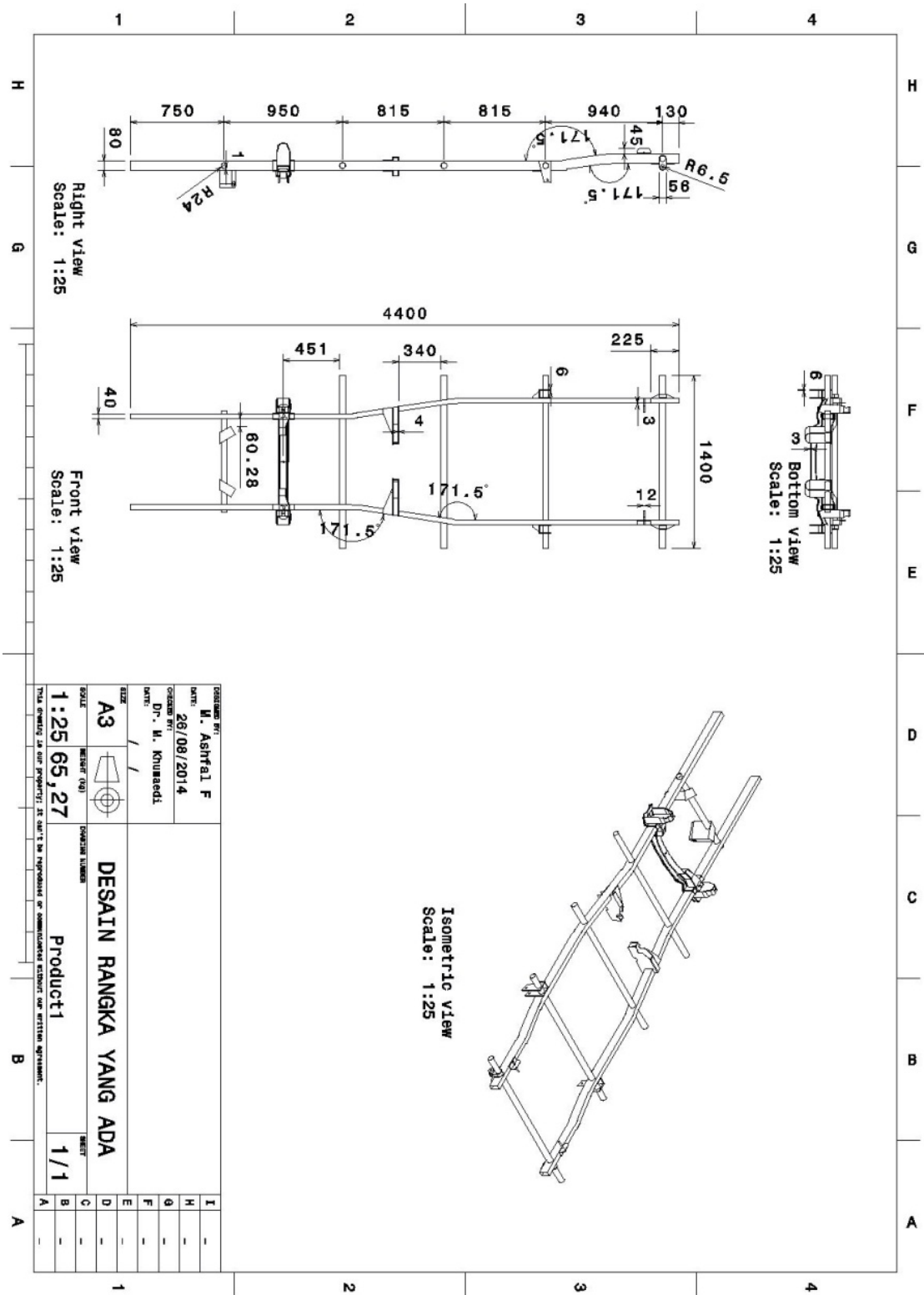
Lampiran 3. Lembar Hasil Komposisi

CONTACT		PT. ITOKOH CEPERINDO	
SAMPLE NAME		SAMPLE 11A7	
CUSTOMER		UMEDA	
SURFACE		PHOSPHORUS	
OPERATOR		LEO	
DATE / TIME		11-AUG-2014	09:57:01
TASK	Comp. Fee	METHOD	FEELIFE
		Fe	C
1	98.9468	0.0146	0.0032
2	98.9497	0.0139	0.0031
AVG	98.9481	0.0140	0.0032
SD	0.0022	0.0005	0.0002
ADN	0.40	0.88	1.01
		Si	Mn
1	0.0070	0.0001	0.0005
2	0.0061	0.0008	0.0004
AVG	0.0065	0.0007	0.0003
SD	0.0007	0.0003	0.0002
ADN	0.71	0.33	63.69
		P	S
1	0.0011	0.0001	0.0015
2	0.0049	0.0005	0.0013
AVG	0.0030	0.0004	0.0014
SD	0.0019	0.0002	0.0003
ADN	2.43	27.41	28.97
		N	As
1	0.0001	0.0001	0.0001
2	0.0001	0.0001	0.0001
AVG	0.0001	0.0001	0.0001
SD	0.0001	0.0001	0.0001
ADN	2.43	27.41	28.97

INDONESIA OFFICE & FACTORY : J. KH. Hasyim As'ari By Pass Selatan Klaten 57438 PO. BOX 130, Jateng - Indonesia
Phone : (0271) 324208, 324038, Fax: (324213), E-mail : itokoh@indocast.net.id

JAPAN OFFICE : 3-22-2 Motogo, Kawaguchi City, Saitama, Japan
Phone : 81 482 248 401, Fax: 81 482 242070

Lampiran 4. Geometri Desain Rangka

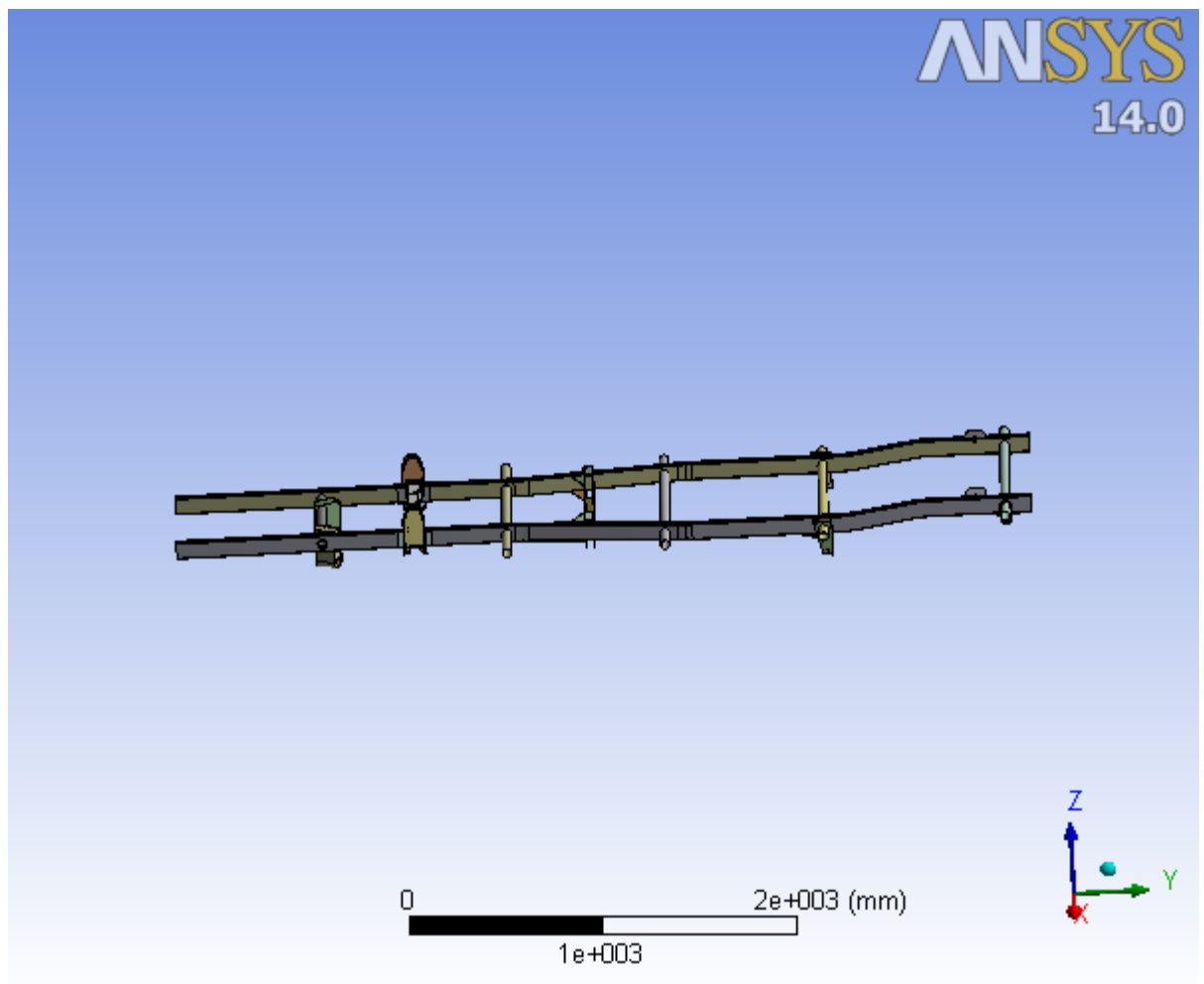


DESAIN RANGKA M. ASHRAF F 26/08/2014 DESAIN RANGKA DR. H. KHUSNEDI 1:25 65,27		DESAIN RANGKA YANG ADA Product1 1/1
1	A	
1	B	
1	C	
1	D	
1	E	
1	F	
1	G	
1	H	
1	I	

Lampiran 5. *Mechanical Report Analisis Rangka Sebelum dilapisi Carbon Fiber*

Project

First Saved	Sunday, July 13, 2014
Last Saved	Monday, February 16, 2015
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Regions](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(A5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Standard Earth Gravity](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(A6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
 - [informaton safety](#)
 - [Results](#)
 - [Result Charts](#)
- [Material Data](#)
 - [AISI 1010](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (A4)

Geometry

TABLE 2
Model (A4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	E:\PENTING\New folder\biasa\Assembly Rangka.igs
Type	Iges
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	

Length X	1400, mm
Length Y	4400, mm
Length Z	361,1 mm
Properties	
Volume	8,293e+006 mm ³
Mass	65,266 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	56
Active Bodies	56
Nodes	59681
Elements	21988
Mesh Metric	Element Quality
Min	8,60368048476482E-04
Max	0,999636319821334
Average	0,242028940176129
Standard Deviation	0,204888315912907
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\ASHFAL23FUAD\AppData\Roaming\Ansys\lv140
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Faces	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Part 1</i>	<i>Part 2</i>	<i>Part 3</i>	<i>Part 4</i>	<i>Part 5</i>
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				

Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	297,79 mm		224,82 mm		145,98 mm
Length Y	4, mm		110,95 mm		40, mm
Length Z	150, mm		20,672 mm	4, mm	
Properties					
Volume	1,3175e+005 mm ³		38389 mm ³	38282 mm ³	22400 mm ³
Mass	1,0369 kg		0,30212 kg	0,30128 kg	0,17629 kg
Centroid X	796,5 mm	789,93 mm	849,54 mm	849,87 mm	861,7 mm
Centroid Y	-2251, mm	-2295, mm	-2325,7 mm	-2325,8 mm	-2273, mm
Centroid Z	-70, mm		-14,921 mm	-98,791 mm	11,209 mm
Moment of Inertia Ip1	7742,3 kg·mm ²		95,565 kg·mm ²	95,271 kg·mm ²	288,74 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	1683, kg·mm ²		784,03 kg·mm ²	771,22 kg·mm ²	23,694 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	6062,1 kg·mm ²		878,21 kg·mm ²	865,68 kg·mm ²	311,97 kg·mm ²
Statistics					
Nodes	293		520	188	226
Elements	30		199	20	24
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,115770424269533	0,115770424269558	9,96477323088135E-02	0,035908459432897	0,428622264209786

Max	0,2461756008 49712	0,246175600 849699	0,7036213619 24552	0,3008503026 88485	0,4286222643 91496
Average	0,1904449877 99915	0,190444987 799916	0,2997258016 05209	0,1034608738 25723	0,4286222643 29261
Standard Deviation	2,6698238050 8442E-02	0,026698238 050842	0,1080241900 26813	5,9207232404 5685E-02	5,0738843128 6066E-09

TABLE 4
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 6	Part 7	Part 8	Part 9	Part 10
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	15,619 mm	40, mm	115, mm	40, mm	115, mm
Length Y	40, mm	108, mm	12, mm	108, mm	12, mm
Length Z	79,729 mm	45, mm	12, mm	45, mm	12, mm
Properties					
Volume	12800 mm ³	25124 mm ³	11824 mm ³	25124 mm ³	11824 mm ³
Mass	0,10074 kg	0,19773 kg	9,3052e-002 kg	0,19773 kg	9,3052e-002 kg
Centroid X	644,83 mm	976,05 mm	945,06 mm	8,9489 mm	39,938 mm
Centroid Y	-2273, mm	-279, mm			
Centroid Z	-96,927 mm	51,892 mm	48,5 mm	51,889 mm	48,5 mm
Moment	53,86 kg·mm ²	66,315	1,507 kg·mm ²	66,294	1,5069

of Inertia Ip1		kg·mm ²		kg·mm ²	kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	67,157 kg·mm ²	235,17 kg·mm ²	102,79 kg·mm ²	235,08 kg·mm ²	102,79 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	13,566 kg·mm ²	195,61 kg·mm ²	102,79 kg·mm ²	195,54 kg·mm ²	102,79 kg·mm ²
Statistics					
Nodes	287	1203	837	1214	801
Elements	32	519	410	523	382
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,6547285010 72963	0,1155908397 11421	8,4012002679 7774E-02	0,1155908397 11422	8,1982521928 0712E-02
Max	0,6547285010 73037	0,7306764804 49118	0,9996363198 21334	0,7306764804 49122	0,9960499131 61904
Average	0,6547285010 73007	0,3982068421 65025	0,6124574690 18344	0,4050557952 30284	0,6083549755 79397
Standard Deviation	1,0705310227 0827E-08	0,1185537454 89856	0,2534108699 30595	0,1160684343 40032	0,2597564697 1863

TABLE 5
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Part 11</i>	<i>Part 12</i>	<i>Part 13</i>	<i>Part 14</i>	<i>Part 15</i>
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transpar ency	1				
Definition					
Suppress ed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordina te System	Default Coordinate System				
Referenc e Temperat ure	By Environment				
Material					
Assignm ent	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				

Bounding Box					
Length X	6, mm		57, mm		4, mm
Length Y	95, mm		35,77 mm		56, mm
Length Z	178, mm		112,59 mm		120, mm
Properties					
Volume	62546 mm ³		39053 mm ³		11409 mm ³
Mass	0,49224 kg		0,30735 kg		8,9785e-002 kg
Centroid X	1071, mm	1008, mm	1039,5 mm	1007, mm	1038, mm
Centroid Y	-1064,2 mm		-1105, mm		-130, mm
Centroid Z	-103,83 mm		-75,913 mm		-35,211 mm
Moment of Inertia Ip1	1481,4 kg·mm ²		334,92 kg·mm ²		97,636 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	1225,9 kg·mm ²		417,21 kg·mm ²		66,099 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	258,49 kg·mm ²		84,136 kg·mm ²		31,777 kg·mm ²
Statistics					
Nodes	372		287		444
Elements	40		32		41
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,2431741088 89868	0,2431741088 89853	0,6752370846 51751	0,2167086607 20375	0,2167086607 20396
Max	0,7473934117 26396	0,7473934117 26379	0,6804964499 64214	0,8487878092 55749	0,8487878092 55675
Average	0,4836847149 86828	0,4836847149 86816	0,6785200871 35767	0,5864477759 94926	0,5864477759 9497
Standard Deviation	0,1265458180 71679	0,1265458180 71675	1,8034428432 1303E-03	0,1671588932 94269	0,1671588932 94273

TABLE 6
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 16	Part 17	Part 18	Part 19	Part 20
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				

Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	56, mm	27, mm	4, mm		56, mm
Length Y	42, mm	56, mm		42, mm	
Length Z	42, mm	120, mm		42, mm	
Properties					
Volume	16204 mm ³	31467 mm ³	11408 mm ³		16204 mm ³
Mass	0,12753 kg	0,24765 kg	8,9784e-002 kg		0,12753 kg
Centroid X	1028,9 mm	1022,5 mm	-22, mm	-53, mm	-43,945 mm
Centroid Y	-130, mm				
Centroid Z	-67, mm	-31,88 mm	-35,211 mm		-67, mm
Moment of Inertia Ip1	38,784 kg·mm ²	389,1 kg·mm ²	97,636 kg·mm ²		38,784 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	81,629 kg·mm ²	494,75 kg·mm ²	66,099 kg·mm ²		81,627 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	81,652 kg·mm ²	135,8 kg·mm ²	31,777 kg·mm ²		81,651 kg·mm ²
Statistics					
Nodes	2370	758	444		2288
Elements	1188	84	41		1132
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,011670157739835	0,22670397176443	0,21670866072038		5,95637340189911E-03
Max	0,888184197538857	0,572233915715543	0,848787809255692		0,888183786515024
Average	0,284226201579023	0,470015373101252	0,586447775995411	0,586447775995409	0,293723056705457
Standard Deviation	0,162954530859241	7,98744900715893E-02	0,167158893267686		0,163161619277161

TABLE 7
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 21	Part 22	Part 23	Part 24	Part 25
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	27, mm	6, mm	57, mm	297,79 mm	
Length Y	56, mm	95, mm	35,77 mm	4, mm	
Length Z	120, mm	178, mm	112,59 mm	150, mm	
Properties					
Volume	31467 mm ³	62546 mm ³	39053 mm ³	1,3175e+005 mm ³	
Mass	0,24765 kg	0,49224 kg	0,30735 kg	1,0369 kg	
Centroid X	-37,5 mm	-86, mm	-23, mm	-54,5 mm	188,5 mm
Centroid Y	-130, mm	-1064,2 mm		-1105, mm	-2251, mm
Centroid Z	-31,88 mm	-103,83 mm		-75,913 mm	-70, mm
Moment of Inertia Ip1	389,1 kg·mm ²	1481,4 kg·mm ²		334,92 kg·mm ²	7742,3 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	494,75 kg·mm ²	1225,9 kg·mm ²		417,21 kg·mm ²	1683, kg·mm ²
Moment of Inertia	135,8 kg·mm ²	258,49 kg·mm ²		84,136 kg·mm ²	6062,1 kg·mm ²

Ip3					
Statistics					
Nodes	739	323	287	279	
Elements	82	33	32	28	
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,2354497627 3221	0,2261866501 46982	0,2261866501 46981	0,6752370846 51757	0,1136947271 70373
Max	0,5933864913 68382	0,7547410101 82386	0,7547410101 82383	0,6804964499 64211	0,2273481884 86109
Average	0,4892492180 78364	0,4592191757 90825	0,4592191757 90823	0,6785200871 35767	0,1757794226 87669
Standard Deviation	6,5675550909 4433E-02	0,1364484555 68134	0,1364484555 68133	1,8034428432 448E-03	3,0132305119 0693E-02

TABLE 8
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Part 26</i>	<i>Part 27</i>	<i>Part 28</i>	<i>Part 29</i>	<i>Part 30</i>
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	297,79 mm	224,82 mm	145,98 mm	15,619 mm	
Length Y	4, mm	110,95 mm	40, mm		
Length Z	150, mm	20,672 mm	4, mm	79,729 mm	
Properties					
Volume	1,3175e+005 mm ³	38389 mm ³	38282 mm ³	22400 mm ³	12800 mm ³

Mass	1,0369 kg	0,30212 kg	0,30128 kg	0,17629 kg	0,10074 kg
Centroid X	195,07 mm	135,46 mm	135,13 mm	123,3 mm	340,17 mm
Centroid Y	-2295, mm	-2325,7 mm	-2325,8 mm	-2273, mm	
Centroid Z	-70, mm	-14,921 mm	-98,791 mm	11,209 mm	-96,927 mm
Moment of Inertia Ip1	7742,3 kg·mm ²	95,565 kg·mm ²	95,271 kg·mm ²	288,74 kg·mm ²	53,86 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	1683, kg·mm ²	784,03 kg·mm ²	771,22 kg·mm ²	23,694 kg·mm ²	67,157 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	6062,1 kg·mm ²	878,21 kg·mm ²	865,68 kg·mm ²	311,97 kg·mm ²	13,566 kg·mm ²
Statistics					
Nodes	279	520	188	226	287
Elements	28	199	20	24	32
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,113694727170375	0,101729884887804	3,59084594328974E-02	0,428622264209792	0,654728501072975
Max	0,227348188486161	0,703621361924528	0,300850302688494	0,428622264391492	0,654728501073042
Average	0,175779422687669	0,299195714148355	0,103460873825723	0,428622264329264	0,654728501073007
Standard Deviation	3,01323051190722E-02	0,107410222226382	5,92072324045697E-02	-1,#IND	

TABLE 9
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Part 31</i>	<i>Part 32</i>	<i>Part 33</i>	<i>Part 34</i>	<i>Part 35</i>
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				

Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	175, mm	40, mm		5, mm	
Length Y	85, mm	170, mm			
Length Z	140, mm	5, mm		80, mm	
Properties					
Volume	92027 mm ³	34000 mm ³		68000 mm ³	
Mass	0,72425 kg	0,26758 kg		0,53516 kg	
Centroid X	786,46 mm	859,46 mm		836,96 mm	881,96 mm
Centroid Y	-3175,2 mm	-3175, mm			
Centroid Z	-45,767 mm	-99,291 mm	-14,291 mm	-56,791 mm	
Moment of Inertia Ip1	862,25 kg·mm ²	36,235 kg·mm ²		286,53 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip2	2595,3 kg·mm ²	644,98 kg·mm ²		1574,3 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip3	2946,8 kg·mm ²	680,1 kg·mm ²		1290, kg·mm ²	
Statistics					
Nodes	3700	165		287	
Elements	1718	16		32	
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,015025180125135	0,425467592202724	0,425467592202742	0,425467592202729	0,425467592202705
Max	0,969648657652808	0,425467592202763	0,425467592202762	0,425467592202771	0,425467592202747
Average	0,28663817363869	0,425467592202747	0,42546759220275	0,425467592202754	0,42546759220273
Standard Deviation	0,176303718979548	5,44113474592731E-09	7,69492655238989E-09	-1,#IND	1,07053102270827E-08

TABLE 10
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 36	Part 37	Part 38	Part 39	Part 40
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				

Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	69,762 mm	165,54 mm	139,95 mm	109, mm	
Length Y	110, mm	4400, mm	167,4 mm	75, mm	
Length Z	246,47 mm	136,79 mm	205, mm	6, mm	
Properties					
Volume	2,4969e+005 mm ³	2,0114e+006 mm ³	1,4848e+005 mm ³	36372 mm ³	
Mass	1,965 kg	15,83 kg	1,1685 kg	0,28625 kg	
Centroid X	903,85 mm	922,05 mm	716,38 mm	1007,3 mm	-22,31 mm
Centroid Y	-3175, mm	-2204,3 mm	-3618,4 mm	-1134,7 mm	
Centroid Z	5,19 mm	-47,143 mm	-129,37 mm	-99,806 mm	
Moment of Inertia Ip1	13023 kg·mm ²	2,5568e+007 kg·mm ²	7477,1 kg·mm ²	104,23 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip2	10311 kg·mm ²	29979 kg·mm ²	6193,4 kg·mm ²	216,84 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip3	4275,3 kg·mm ²	2,5562e+007 kg·mm ²	3156, kg·mm ²	319,35 kg·mm ²	
Statistics					
Nodes	2719	3086	3037	268	
Elements	1268	1446	1394	30	
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,0771529261	1,5695181252	4,3529100364	0,4421911308	0,4421911307

	54134	9893E-03	0549E-02	16467	75762
Max	0,9827924790 97319	0,4026098498 6405	0,7107817839 2972	0,7549732813 65683	0,7549732813 73184
Average	0,4108518036 88974	2,9879530862 1784E-02	0,1734016129 11778	0,5882914631 94085	0,5882914631 99976
Standard Deviation	0,1569895367 25229	2,4981308158 0639E-02	0,0869734425 67432	8,3623822507 5738E-02	0,0836238225 19475

TABLE 11
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 41	Part 42	Part 43	Part 44	Part 45
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	139,95 mm	69,762 mm	40, mm	5, mm	
Length Y	167,4 mm	110, mm	170, mm		
Length Z	205, mm	246,47 mm	5, mm	80, mm	
Properties					
Volume	1,4848e+005 mm ³	2,6098e+005 mm ³	34000 mm ³		68000 mm ³
Mass	1,1686 kg	2,0539 kg	0,26758 kg		0,53516 kg
Centroid X	268,66 mm	81,145 mm	125,54 mm		148,04 mm
Centroid Y	-3618,5 mm	-3175, mm			
Centroid Z	-129,11 mm	5,1854 mm	-99,291 mm	-14,291 mm	-56,791 mm

Moment of Inertia Ip1	7445,9 kg·mm ²	13022 kg·mm ²	36,235 kg·mm ²		286,53 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	6164,2 kg·mm ²	10310 kg·mm ²	644,98 kg·mm ²		1574,3 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	3150,7 kg·mm ²	4275,2 kg·mm ²	680,1 kg·mm ²		1290, kg·mm ²
Statistics					
Nodes	3145	2640	165		287
Elements	1448	1218	16		32
Mesh Metric	Element Quality				
Min	3,04713678940124E-02	0,090208573061335	0,425467592202731	0,425467592202739	0,425467592202733
Max	0,535194621349931	0,982793140639147	0,425467592202762	0,42546759220276	0,425467592202766
Average	0,178736463653594	0,402444223259022	0,425467592202746	0,42546759220275	0,425467592202751
Standard Deviation	8,83258463402311E-02	0,155193618732799	0	-1,#IND	9,27107061204694E-09

TABLE 12
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Part 46</i>	<i>Part 47</i>	<i>Part 48</i>	<i>Part 49</i>	<i>Part 50</i>
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain	Yes				

Effects					
Bounding Box					
Length X	5, mm	175, mm	1023,1 mm	75, mm	
Length Y	170, mm	85, mm	120,12 mm	184, mm	
Length Z	80, mm	140, mm	138,96 mm	4, mm	
Properties					
Volume	68000 mm ³	92027 mm ³	4,7811e+005 mm ³	38912 mm ³	
Mass	0,53516 kg	0,72425 kg	3,7627 kg	0,30624 kg	
Centroid X	103,04 mm	198,54 mm	491,62 mm	992,72 mm	-7,7171 mm
Centroid Y	-3175, mm	-3175,2 mm	-3175,1 mm	-130, mm	
Centroid Z	-56,791 mm	-45,768 mm	-135,64 mm	-42, mm	
Moment of Inertia Ip1	286,53 kg·mm ²	862,26 kg·mm ²	7965,3 kg·mm ²	862,79 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip2	1574,3 kg·mm ²	2595,3 kg·mm ²	3,0406e+005 kg·mm ²	93,045 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip3	1290, kg·mm ²	2946,7 kg·mm ²	3,0382e+005 kg·mm ²	955,02 kg·mm ²	
Statistics					
Nodes	287	3694	7774	224	294
Elements	32	1716	3798	23	33
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,425467592 202736	1,3341259290 2119E-02	8,6036804847 6482E-04	0,1659713103 28615	0,2181476163 11442
Max	0,425467592 20277	0,9696486576 53156	0,8636067597 57696	0,4002373727 8855	0,4388772110 37579
Average	0,425467592 202754	0,2884636730 07093	0,1386347411 09701	0,3093156398 21989	0,3368028648 58014
Standard Deviation	-1,#IND	0,1768062251 48416	0,1339938070 6109	5,8539939968 2656E-02	5,0717256753 6777E-02

TABLE 13
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 51	Part 52	Part 53	Part 54	Part 55
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				

Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	1400, mm			820, mm	
Length Y	48, mm				
Length Z	48, mm				
Properties					
Volume	2,0671e+005 mm ³			1,2107e+005 mm ³	
Mass	1,6268 kg			0,95283 kg	
Centroid X	490,2 mm		494,8 mm		494,19 mm
Centroid Y	-130,01 mm	-1070, mm	-1885, mm	-2700, mm	-3650, mm
Centroid Z	-0,11216 mm	-56,904 mm			-56,914 mm
Moment of Inertia Ip1	899,21 kg·mm ²			528,27 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip2	2,6862e+005 kg·mm ²			54505 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip3	2,6861e+005 kg·mm ²			54504 kg·mm ²	
Statistics					
Nodes	1335			1020	
Elements	180			135	
Mesh Metric	Element Quality				
Min	2,98448613537075E-03	2,98448613537066E-03	2,98448613537043E-03		4,87216485143686E-03
Max	5,87159609760443E-03	5,87159609760528E-03	5,87159609760655E-03	5,87159609760255E-03	9,46387834156764E-03
Average	3,70960712119874E-03	3,70960712119875E-03	3,70960712119876E-03	3,70960712119857E-03	6,03345122403207E-03

Standard Deviation	8,7180259787 3623E-04	8,7180259787 3618E-04	8,7180259787 3555E-04	8,7180259787 3201E-04	1,3858422409 4818E-03
--------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

TABLE 14
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Part 56</i>
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	AISI 1010
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	165,54 mm
Length Y	4400, mm
Length Z	136,79 mm
Properties	
Volume	2,0114e+006 mm ³
Mass	15,83 kg
Centroid X	62,952 mm
Centroid Y	-2204,3 mm
Centroid Z	-47,145 mm
Moment of Inertia Ip1	2,5567e+007 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	29978 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	2,5561e+007 kg·mm ²
Statistics	
Nodes	3128
Elements	1459
Mesh Metric	Element Quality
Min	1,56951812536273E-03
Max	0,202218894273013
Average	3,20278421511905E-02
Standard Deviation	2,54133326850917E-02

Coordinate Systems

TABLE 15
Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	

Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
Origin	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
Directional Vectors	
X Axis Data	[1, 0, 0,]
Y Axis Data	[0, 1, 0,]
Z Axis Data	[0, 0, 1,]

Connections

TABLE 16
Model (A4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 17
Model (A4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0,
Tolerance Value	11,579 mm
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

TABLE 18
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region</i>	<i>Contact Region 2</i>	<i>Contact Region 3</i>	<i>Contact Region 4</i>	<i>Contact Region 5</i>
State	Fully Defined				

Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face	3 Faces	1 Face		
Target	1 Face	3 Faces	1 Face		
Contact Bodies	Part 1			Part 2	
Target Bodies	Part 5	Part 6	Part 37	Part 3	Part 4
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 19
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 6	Contact Region 7	Contact Region 8	Contact Region 9	Contact Region 10
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face	3 Faces	1 Face		
Target	1 Face	3 Faces	1 Face		
Contact Bodies	Part 2			Part 3	Part 4
Target Bodies	Part 5	Part 6	Part 37		
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 20
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 11	Contact Region 12	Contact Region 13	Contact Region 14	Contact Region 15
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	3 Faces		1 Face	3 Faces	
Target	2 Faces		1 Face	2 Faces	
Contact Bodies	Part 7		Part 8	Part 9	
Target Bodies	Part 8	Part 37		Part 10	Part 56
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 21
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 16	Contact Region 17	Contact Region 18	Contact Region 19	Contact Region 20
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face			2 Faces	1 Face
Target	1 Face			2 Faces	1 Face
Contact Bodies	Part 10	Part 11			Part 12
Target Bodies	Part 56	Part 13	Part 39	Part 52	Part 13
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				

Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 22
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 21	Contact Region 22	Contact Region 23	Contact Region 24	Contact Region 25
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face		2 Faces	1 Face	
Target	1 Face		2 Faces	1 Face	
Contact Bodies	Part 12			Part 13	
Target Bodies	Part 37	Part 39	Part 52	Part 37	Part 39
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 23
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 26	Contact Region 27	Contact Region 28	Contact Region 29	Contact Region 30
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	3 Faces	1 Face		3 Faces	5 Faces
Target	3 Faces	1 Face		4 Faces	
Contact Bodies	Part 14				
Target Bodies	Part 16	Part 17	Part 37	Part 49	Part 51
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				

Behavior	Program Controlled
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 24
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 31	Contact Region 32	Contact Region 33	Contact Region 34	Contact Region 35
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	3 Faces	1 Face	2 Faces	5 Faces	3 Faces
Target	3 Faces	1 Face	2 Faces	4 Faces	
Contact Bodies	Part 15				Part 16
Target Bodies	Part 16	Part 17	Part 49	Part 51	Part 17
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 25
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 36	Contact Region 37	Contact Region 38	Contact Region 39	Contact Region 40
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face			3 Faces	6 Faces
Target	1 Face			4 Faces	

Contact Bodies	Part 16		Part 17		
Target Bodies	Part 37	Part 49	Part 37	Part 49	Part 51
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 26
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 41</i>	<i>Contact Region 42</i>	<i>Contact Region 43</i>	<i>Contact Region 44</i>	<i>Contact Region 45</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	3 Faces	1 Face	3 Faces	5 Faces	2 Faces
Target	3 Faces	1 Face	4 Faces		2 Faces
Contact Bodies	Part 18				
Target Bodies	Part 20	Part 21	Part 50	Part 51	Part 56
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 27
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 46</i>	<i>Contact Region 47</i>	<i>Contact Region 48</i>	<i>Contact Region 49</i>	<i>Contact Region 50</i>
-------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	3 Faces	2 Faces	5 Faces	3 Faces	
Target	3 Faces	2 Faces	4 Faces		
Contact Bodies	Part 19				Part 20
Target Bodies	Part 20	Part 21	Part 50	Part 51	Part 21
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 28
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 51</i>	<i>Contact Region 52</i>	<i>Contact Region 53</i>	<i>Contact Region 54</i>	<i>Contact Region 55</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face	3 Faces	6 Faces	1 Face	
Target	1 Face	4 Faces			1 Face
Contact Bodies	Part 20		Part 21		
Target Bodies	Part 50	Part 56	Part 50	Part 51	Part 56
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				

Pinball Region	Program Controlled
----------------	--------------------

TABLE 29
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 56</i>	<i>Contact Region 57</i>	<i>Contact Region 58</i>	<i>Contact Region 59</i>	<i>Contact Region 60</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face		2 Faces	1 Face	
Target	1 Face		2 Faces	1 Face	
Contact Bodies	Part 22			Part 23	
Target Bodies	Part 24	Part 40	Part 52	Part 24	Part 40
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 30
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 61</i>	<i>Contact Region 62</i>	<i>Contact Region 63</i>	<i>Contact Region 64</i>	<i>Contact Region 65</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	2 Faces	1 Face			
Target	2 Faces	1 Face			
Contact Bodies	Part 23		Part 24		Part 25
Target Bodies	Part 52	Part 56	Part 40	Part 56	Part 29
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					

Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 31
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 66	Contact Region 67	Contact Region 68	Contact Region 69	Contact Region 70
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face	3 Faces	1 Face		
Target	1 Face	3 Faces	1 Face		
Contact Bodies	Part 25		Part 26		
Target Bodies	Part 30	Part 56	Part 27	Part 28	Part 29
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 32
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 71	Contact Region 72	Contact Region 73	Contact Region 74	Contact Region 75
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face	3 Faces	1 Face	4 Faces	
Target	1 Face	3 Faces	1 Face	2 Faces	
Contact Bodies	Part 26		Part 27	Part 28	Part 31
Target Bodies	Part 30	Part 56			Part 33

Definition	
Type	Bonded
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 33
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 76	Contact Region 77	Contact Region 78	Contact Region 79	Contact Region 80
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	4 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	11 Faces
Target	2 Faces	1 Face		2 Faces	6 Faces
Contact Bodies	Part 31				
Target Bodies	Part 34	Part 35	Part 36	Part 37	Part 48
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 34
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 81	Contact Region 82	Contact Region 83	Contact Region 84	Contact Region 85
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping	Geometry Selection				

Method					
Contact	1 Face				
Target	1 Face	4 Faces		1 Face	
Contact Bodies	Part 32			Part 33	
Target Bodies	Part 36	Part 37	Part 48	Part 36	Part 37
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 35
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 86</i>	<i>Contact Region 87</i>	<i>Contact Region 88</i>	<i>Contact Region 89</i>	<i>Contact Region 90</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face				
Target	1 Face	4 Faces	1 Face		4 Faces
Contact Bodies	Part 34		Part 35		
Target Bodies	Part 37	Part 48	Part 36	Part 37	Part 48
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 36
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 91	Contact Region 92	Contact Region 93	Contact Region 94	Contact Region 95
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face	8 Faces	1 Face		
Target	1 Face	8 Faces	1 Face	4 Faces	1 Face
Contact Bodies	Part 36		Part 37		
Target Bodies	Part 37	Part 48	Part 39	Part 48	Part 49
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 37
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 96	Contact Region 97	Contact Region 98	Contact Region 99	Contact Region 100
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	4 Faces				
Target	2 Faces				
Contact Bodies	Part 37				
Target Bodies	Part 51	Part 52	Part 53	Part 54	Part 55
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				

Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 38
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 101	Contact Region 102	Contact Region 103	Contact Region 104	Contact Region 105
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	6 Faces	1 Face	6 Faces	1 Face	
Target	3 Faces	1 Face	3 Faces	1 Face	
Contact Bodies	Part 38	Part 40	Part 41	Part 42	
Target Bodies	Part 55	Part 56	Part 55	Part 43	Part 44
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 39
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 106	Contact Region 107	Contact Region 108	Contact Region 109	Contact Region 110
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face		8 Faces	1 Face	
Target	1 Face		8 Faces	1 Face	4 Faces
Contact Bodies	Part 42				Part 43
Target Bodies	Part 46	Part 47	Part 48	Part 56	Part 48
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				

Behavior	Program Controlled
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 40
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 111	Contact Region 112	Contact Region 113	Contact Region 114	Contact Region 115
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face
Target	1 Face	4 Faces	1 Face	4 Faces	
Contact Bodies	Part 43	Part 44		Part 45	
Target Bodies	Part 56	Part 47	Part 56	Part 47	Part 48
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 41
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 116	Contact Region 117	Contact Region 118	Contact Region 119	Contact Region 120
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face				10 Faces
Target	1 Face	2 Faces	4 Faces	1 Face	6 Faces

Contact Bodies	Part 45	Part 46			Part 47
Target Bodies	Part 56	Part 47	Part 48	Part 56	Part 48
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 42
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 121</i>	<i>Contact Region 122</i>	<i>Contact Region 123</i>	<i>Contact Region 124</i>	<i>Contact Region 125</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	4 Faces		1 Face	2 Faces	
Target	2 Faces	1 Face		4 Faces	
Contact Bodies	Part 47	Part 48	Part 50	Part 51	Part 52
Target Bodies	Part 56				
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 43
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 126</i>	<i>Contact Region 127</i>	<i>Contact Region 128</i>
State	Fully Defined		

Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Contact	2 Faces		
Target	4 Faces		
Contact Bodies	Part 53	Part 54	Part 55
Target Bodies	Part 56		
Definition			
Type	Bonded		
Scope Mode	Automatic		
Behavior	Program Controlled		
Suppressed	No		
Advanced			
Formulation	Program Controlled		
Detection Method	Program Controlled		
Normal Stiffness	Program Controlled		
Update Stiffness	Program Controlled		
Pinball Region	Program Controlled		

Mesh

TABLE 44
Model (A4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	2,9409e-002 mm
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Advanced	
Shape Checking	Standard Mechanical

Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	59681
Elements	21988
Mesh Metric	Element Quality
Min	8,60368048476482E-04
Max	0,999636319821334
Average	0,242028940176129
Standard Deviation	0,204888315912907

Static Structural (A5)

TABLE 45
Model (A4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 46
Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off

Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Nonlinear Controls	
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Calculate Results At	All Time Points
Max Number of Result Sets	Program Controlled
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	E:\PENTING\New folder\biasa\Analisis Rangka Lama_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

TABLE 47
Model (A4) > Static Structural (A5) > Accelerations

Object Name	<i>Standard Earth Gravity</i>
State	Fully Defined
Scope	
Geometry	All Bodies
Definition	
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	0, mm/s ² (ramped)
Y Component	0, mm/s ² (ramped)
Z Component	-9806,6 mm/s ² (ramped)
Suppressed	No
Direction	-Z Direction

FIGURE 1
Model (A4) > Static Structural (A5) > Standard Earth Gravity

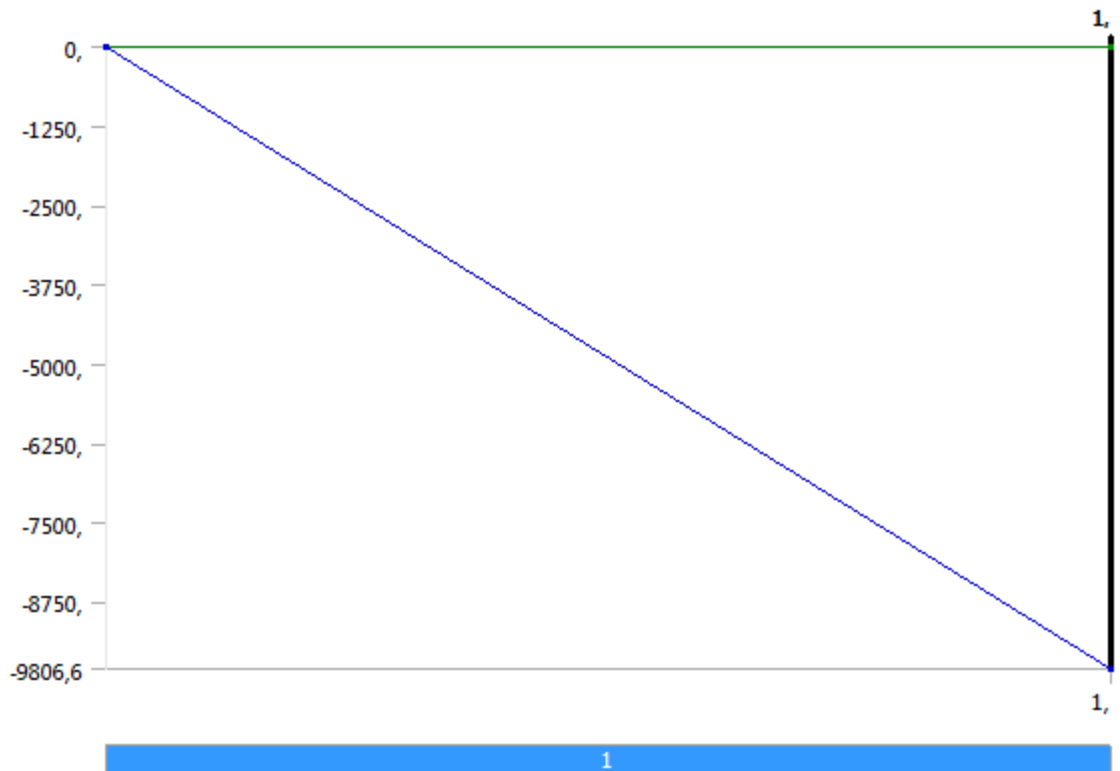


TABLE 48
Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads

Object Name	<i>Support Suspensi Depan Kanan</i>	<i>Support Suspensi Depan Kiri</i>	<i>Support Suspensi Belakang Kanan</i>	<i>Support Suspensi Belakang Kiri</i>	<i>Force</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	12 Faces		9 Faces		5 Faces
Definition					
Type	Fixed Support				Force
Suppressed	No				
Define By					Vector
Magnitude					10335 N (ramped)
Direction					Defined

FIGURE 2
Model (A4) > Static Structural (A5) > Force

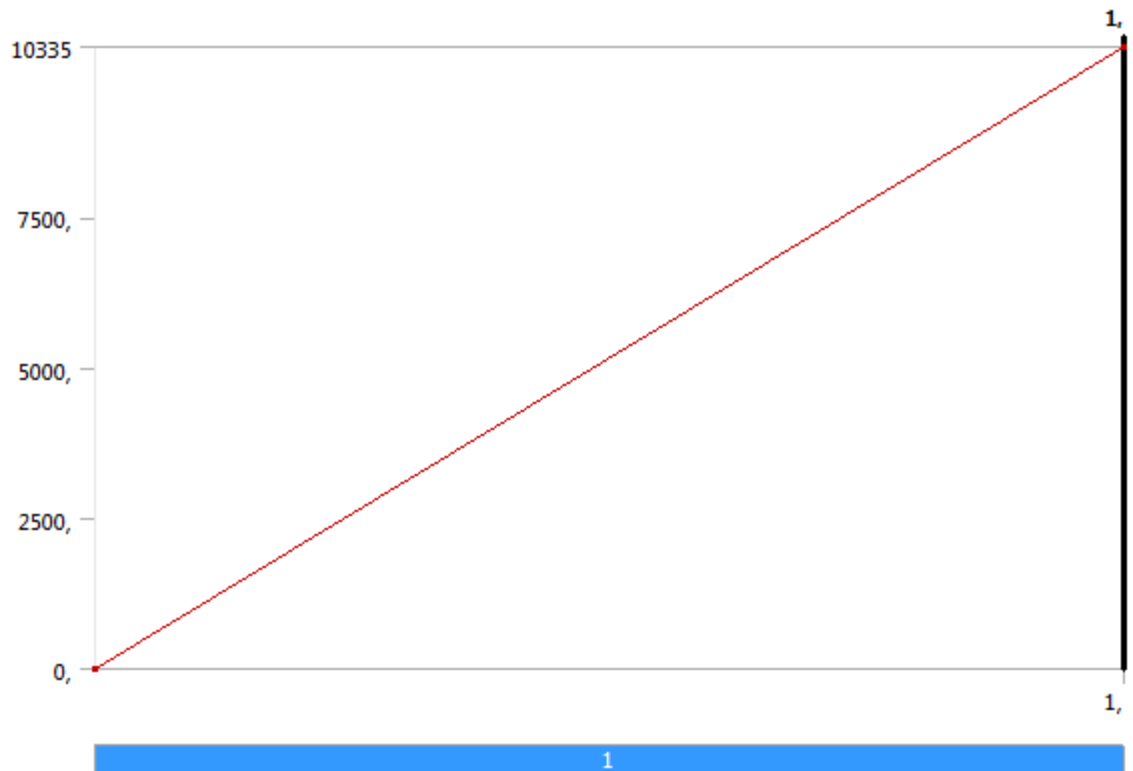
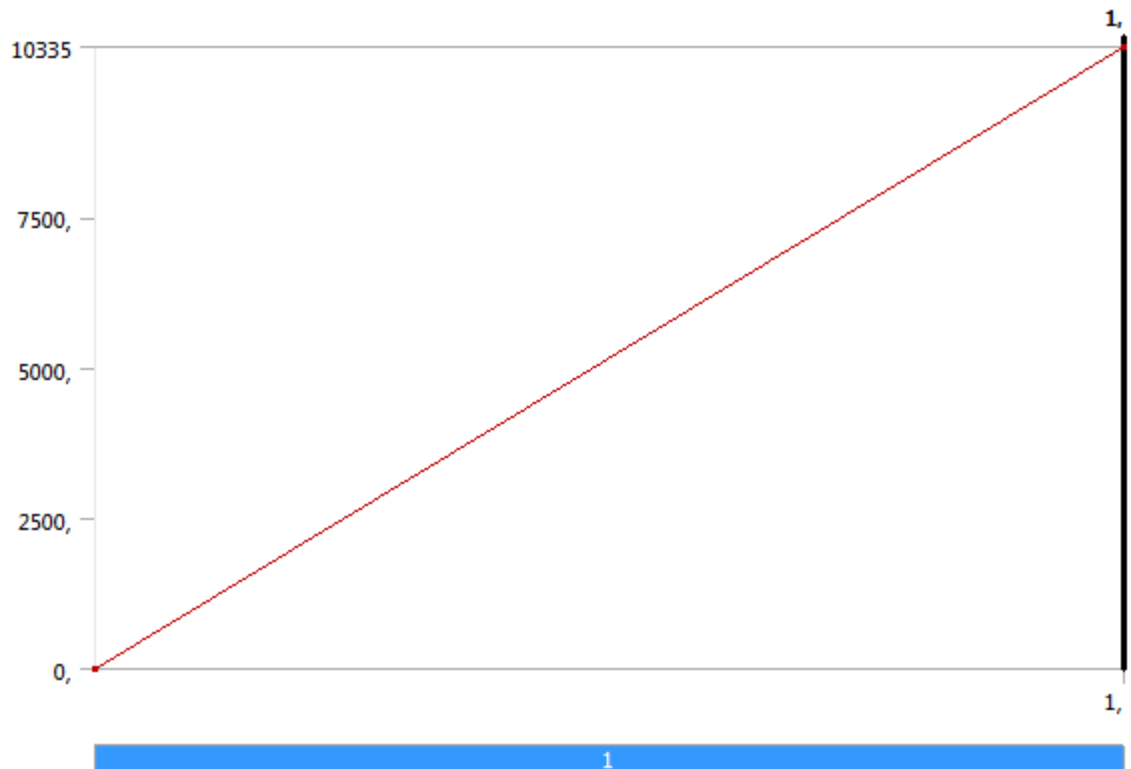


TABLE 49
Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads

Object Name	<i>Force 2</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	5 Faces
Definition	
Type	Force
Define By	Vector
Magnitude	10335 N (ramped)
Direction	Defined
Suppressed	No

FIGURE 3
Model (A4) > Static Structural (A5) > Force 2



Solution (A6)

TABLE 50
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
Information	
Status	Done

TABLE 51
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors

Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 52
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results

Object Name	<i>Deflection</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Deflection	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Results		
Minimum	0, mm	1,7299e-007 MPa
Maximum	3,2642 mm	205,45 MPa
Minimum Occurs On	Part 8	Part 10
Maximum Occurs On	Part 37	Part 41
Information		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	

TABLE 53
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Fatigue Tools

Object Name	<i>informaton safety</i>
State	Solved
Materials	
Fatigue Strength Factor (Kf)	0,81
Loading	
Type	Ratio
Loading Ratio	0,52539
Scale Factor	1,
Definition	
Display Time	1, s
Options	
Analysis Type	Stress Life
Mean Stress Theory	Gerber

Stress Component	Equivalent (Von Mises)
Life Units	
Units Name	cycles
1 cycle is equal to	1, cycles

FIGURE 4
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Information

Constant Amplitude Load
Fully Reversed

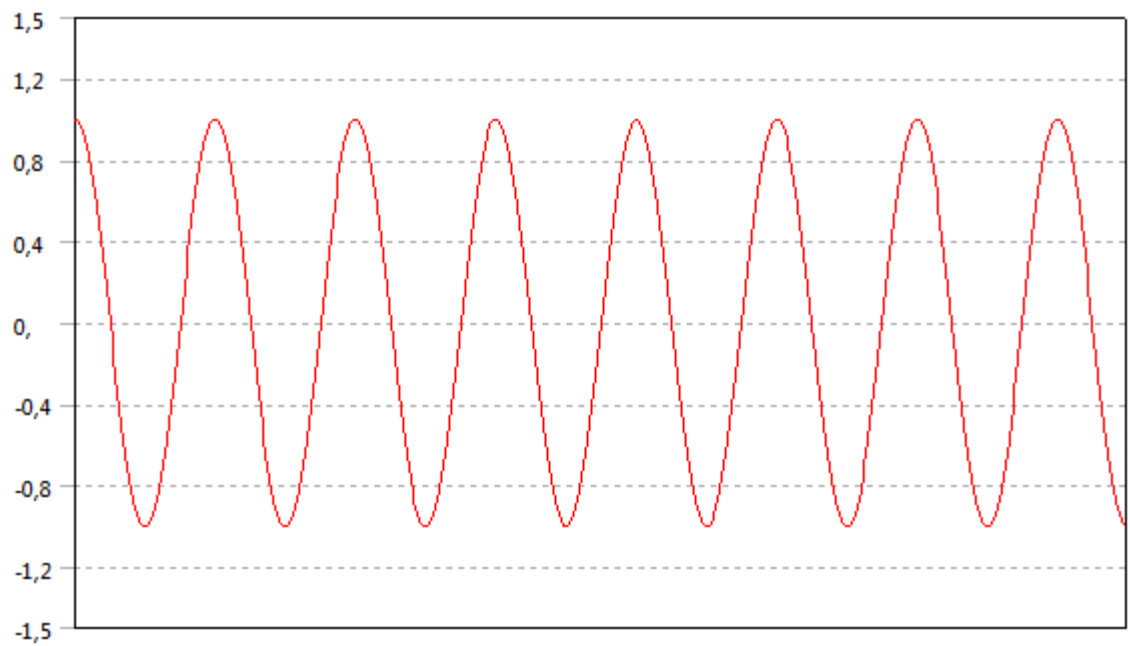


FIGURE 5
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Information

Mean Stress Correction Theory

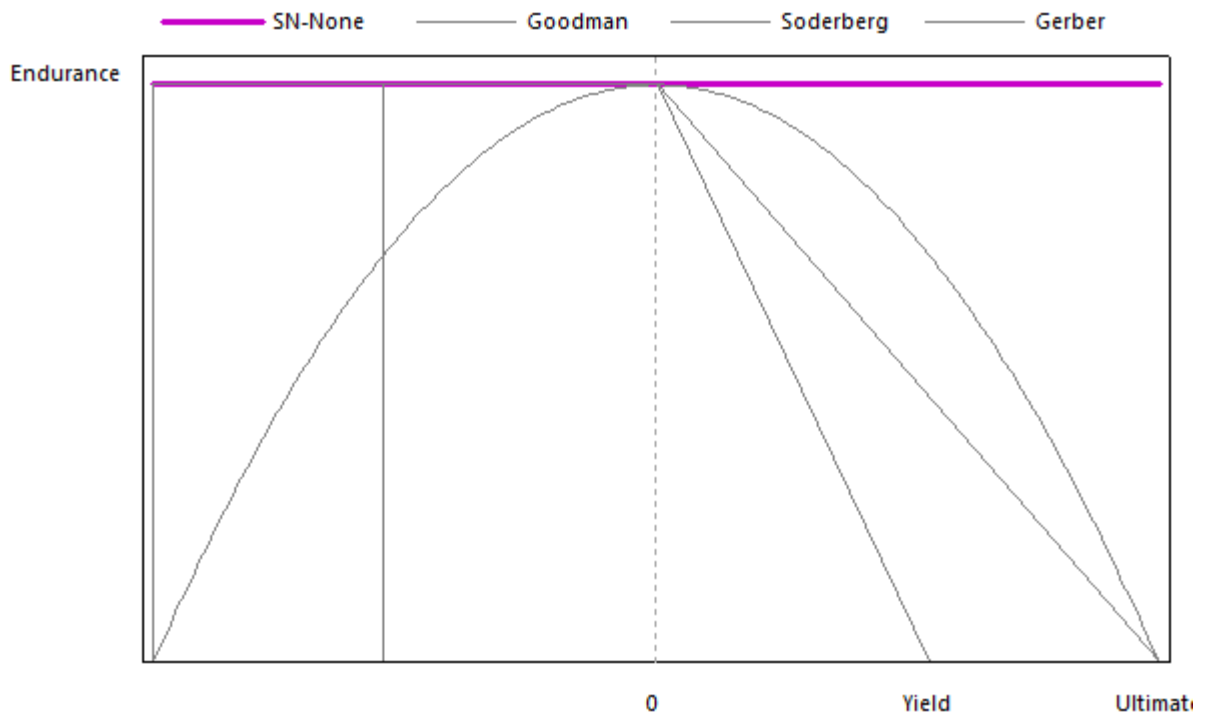


TABLE 54
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Informaton safety > Results

Object Name	Life	Damage	Safety Factor	Equivalent Alternating Stress
State	Solved			
Scope				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	All Bodies			
Definition				
Type	Life	Damage	Safety Factor	Equivalent Alternating Stress
Identifier				
Suppressed	No			
Design Life		1,e+006 cycles		
Results				
Minimum	1,2e+007 cycles		1,6796	5,0679e-008 MPa
Minimum Occurs On	Part 1		Part 41	Part 10
Maximum		8,3333e-002		73,79 MPa
Maximum Occurs On		Part 1		Part 41

TABLE 55
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Informaton Safety > Result Charts

Object Name	<i>Fatigue Sensitivity</i>		<i>Safety Factor Sensitivity</i>	
State	Solved			
Scope				
Geometry	All Bodies			
Definition				
Sensitivity For	Life	Safety Factor		
Suppressed	No			
Design Life				1,e+006 cycles
Options				
Lower Variation	50, %			
Upper Variation	150, %			
Number of Fill Points	25			
Chart Viewing Style	Linear			

FIGURE 6
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > informaton safety > Fatigue Sensitivity

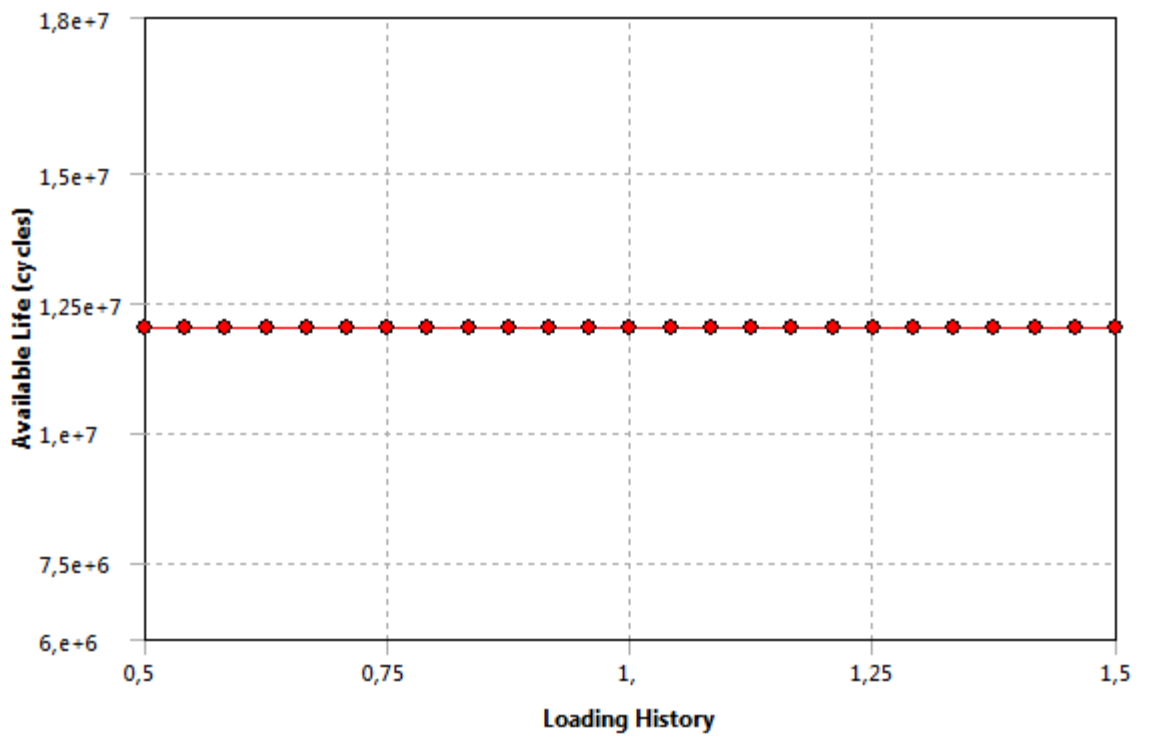


FIGURE 7
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > informaton safety > Safety Factor Sensitivity

The linked image cannot be displayed. The file may have been moved, renamed, or deleted. Verify that the link points to the correct file and location.

Material Data

AISI 1010

TABLE 56
AISI 1010 > Constants

Density	7,87e-006 kg mm ⁻³
---------	-------------------------------

TABLE 57
AISI 1010 > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2,e+005	0,3	1,6667e+005	76923

TABLE 58
AISI 1010 > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
228,	4,3e+005	0,
207,	1,2e+006	0,
176,	3,8e+006	0,
155,	6,e+006	0,
135,	1,2e+007	0,

TABLE 59
AISI 1010 > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength MPa
305,

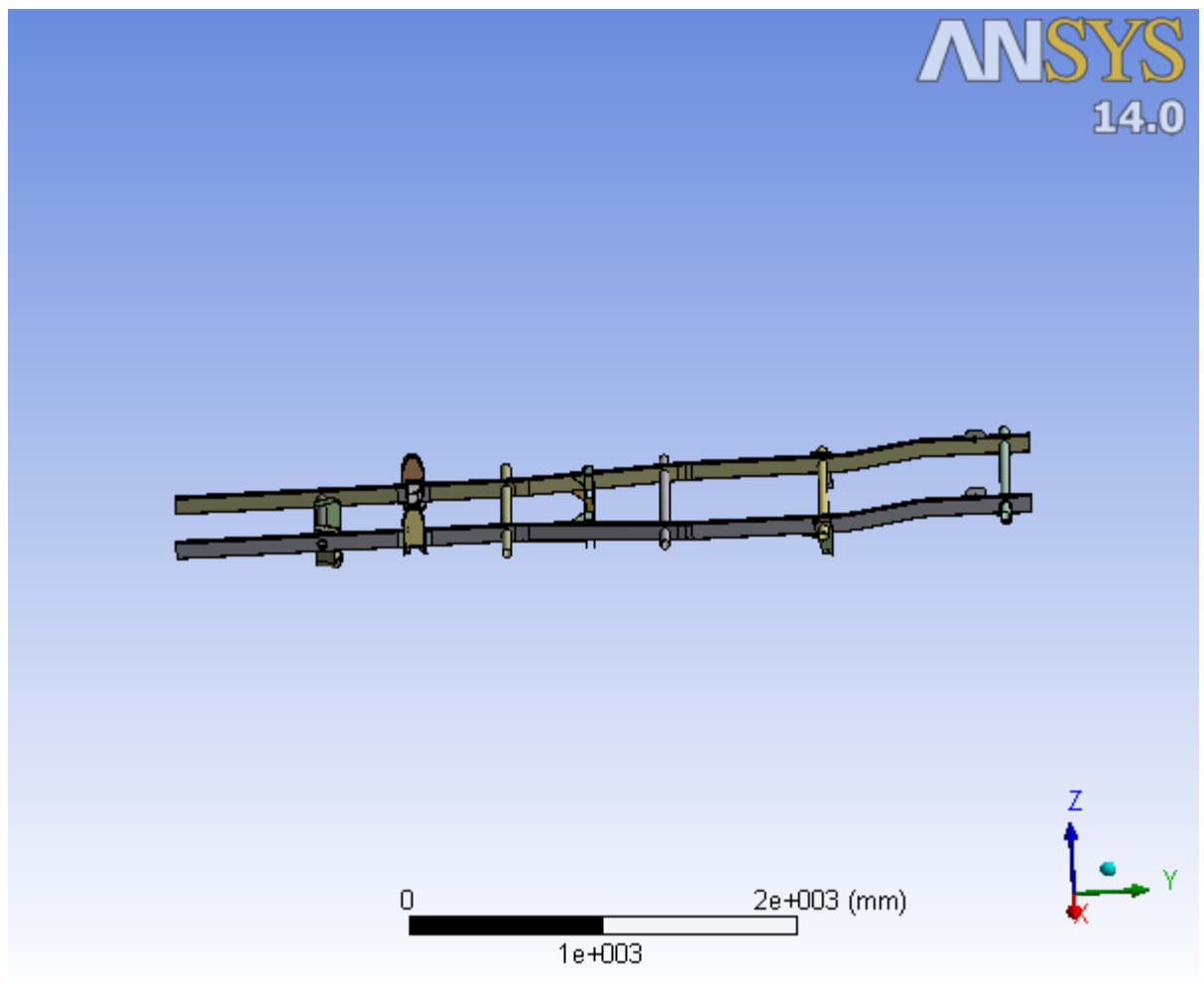
TABLE 60
AISI 1010 > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa
365,

Lampiran 6. *Mechanical Report Analisis Rangka sesudah dilapisi Carbon Fiber*

Project

First Saved	Sunday, July 13, 2014
Last Saved	Sunday, February 15, 2015
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Regions](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(A5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Standard Earth Gravity](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(A6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
 - [Information Safety](#)
 - [Results](#)
 - [Result Charts](#)
- [Material Data](#)
 - [AISI 1010](#)
 - [Carbon Fiber Epoxy Resin](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (A4)

Geometry

TABLE 2
Model (A4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	E:\PENTING\New folder\carbon\Assembly Rangka.igs
Type	Iges
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color

Bounding Box	
Length X	1400, mm
Length Y	4400, mm
Length Z	361,1 mm
Properties	
Volume	1,2112e+007 mm ³
Mass	71,376 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	58
Active Bodies	58
Nodes	65610
Elements	24764
Mesh Metric	Element Quality
Min	8,60368048476482E-04
Max	0,999636319821334
Average	0,217694553207167
Standard Deviation	0,204963871258963
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\ASHFAL23FUAD\AppData\Roaming\Ansyslv140
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Faces	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Part 1</i>	<i>Part 2</i>	<i>Part 3</i>	<i>Part 4</i>	<i>Part 5</i>
State	Meshed				
Graphics Properties					

Visible	Yes			
Transparency	1			
Definition				
Suppressed	No			
Stiffness Behavior	Flexible			
Coordinate System	Default Coordinate System			
Reference Temperature	By Environment			
Material				
Assignment	AISI 1010			
Nonlinear Effects	Yes			
Thermal Strain Effects	Yes			
Bounding Box				
Length X	297,79 mm	224,82 mm	145,98 mm	
Length Y	4, mm	110,95 mm	40, mm	
Length Z	150, mm	20,672 mm	4, mm	
Properties				
Volume	1,3175e+005 mm ³	38389 mm ³	38282 mm ³	22400 mm ³
Mass	1,0369 kg	0,30212 kg	0,30128 kg	0,17629 kg
Centroid X	796,5 mm	789,93 mm	849,54 mm	849,87 mm
Centroid Y	-2251, mm	-2295, mm	-2325,7 mm	-2325,8 mm
Centroid Z	-70, mm	-14,921 mm	-98,791 mm	11,209 mm
Moment of Inertia Ip1	7742,3 kg·mm ²	95,565 kg·mm ²	95,271 kg·mm ²	288,74 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	1683, kg·mm ²	784,03 kg·mm ²	771,22 kg·mm ²	23,694 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	6062,1 kg·mm ²	878,21 kg·mm ²	865,68 kg·mm ²	311,97 kg·mm ²
Statistics				
Nodes	293	520	188	226
Elements	30	199	20	24
Mesh Metric	Element Quality			
Min	0,1157704242	0,115770424	9,9647732308	0,0359084594
				0,4286222642

	69533	269558	8135E-02	32897	09786
Max	0,2461756008 49712	0,246175600 849699	0,7036213619 24552	0,3008503026 88485	0,4286222643 91496
Average	0,1904449877 99915	0,190444987 799916	0,2997258016 05209	0,1034608738 25723	0,4286222643 29261
Standard Deviation	2,6698238050 8442E-02	0,026698238 050842	0,1080241900 26813	5,9207232404 5685E-02	5,0738843128 6066E-09

TABLE 4
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 6	Part 7	Part 8	Part 9	Part 10
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	15,619 mm	40, mm	115, mm	40, mm	115, mm
Length Y	40, mm	108, mm	12, mm	108, mm	12, mm
Length Z	79,729 mm	45, mm	12, mm	45, mm	12, mm
Properties					
Volume	12800 mm ³	25124 mm ³	11824 mm ³	25124 mm ³	11824 mm ³
Mass	0,10074 kg	0,19773 kg	9,3052e-002 kg	0,19773 kg	9,3052e-002 kg
Centroid X	644,83 mm	976,05 mm	945,06 mm	8,9489 mm	39,938 mm
Centroid Y	-2273, mm	-279, mm			
Centroid Z	-96,927 mm	51,892 mm	48,5 mm	51,889 mm	48,5 mm

Moment of Inertia Ip1	53,86 kg·mm ²	66,315 kg·mm ²	1,507 kg·mm ²	66,294 kg·mm ²	1,5069 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	67,157 kg·mm ²	235,17 kg·mm ²	102,79 kg·mm ²	235,08 kg·mm ²	102,79 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	13,566 kg·mm ²	195,61 kg·mm ²	102,79 kg·mm ²	195,54 kg·mm ²	102,79 kg·mm ²
Statistics					
Nodes	287	1203	837	1214	801
Elements	32	519	410	523	382
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,654728501072963	0,115590839711421	8,40120026797774E-02	0,115590839711422	8,19825219280712E-02
Max	0,654728501073037	0,730676480449118	0,999636319821334	0,730676480449122	0,996049913161904
Average	0,654728501073007	0,398206842165025	0,612457469018344	0,405055795230284	0,608354975579397
Standard Deviation	1,07053102270827E-08	0,118553745489856	0,253410869930595	0,116068434340032	0,25975646971863

TABLE 5
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Part 11</i>	<i>Part 12</i>	<i>Part 13</i>	<i>Part 14</i>	<i>Part 15</i>
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain	Yes				

Effects					
Bounding Box					
Length X	6, mm		57, mm	4, mm	
Length Y	95, mm		35,77 mm	56, mm	
Length Z	178, mm		112,59 mm	120, mm	
Properties					
Volume	62546 mm ³		39053 mm ³	11409 mm ³	
Mass	0,49224 kg		0,30735 kg	8,9785e-002 kg	
Centroid X	1071, mm	1008, mm	1039,5 mm	1007, mm	1038, mm
Centroid Y	-1064,2 mm		-1105, mm	-130, mm	
Centroid Z	-103,83 mm		-75,913 mm	-35,211 mm	
Moment of Inertia Ip1	1481,4 kg·mm ²		334,92 kg·mm ²	97,636 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip2	1225,9 kg·mm ²		417,21 kg·mm ²	66,099 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip3	258,49 kg·mm ²		84,136 kg·mm ²	31,777 kg·mm ²	
Statistics					
Nodes	372		287	444	
Elements	40		32	41	
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,2431741088 89868	0,2431741088 89853	0,6752370846 51751	0,2167086607 20375	0,2167086607 20396
Max	0,7473934117 26396	0,7473934117 26379	0,6804964499 64214	0,8487878092 55749	0,8487878092 55675
Average	0,4836847149 86828	0,4836847149 86816	0,6785200871 35767	0,5864477759 94926	0,5864477759 9497
Standard Deviation	0,1265458180 71679	0,1265458180 71675	1,8034428432 1303E-03	0,1671588932 94269	0,1671588932 94273

TABLE 6
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 16	Part 17	Part 18	Part 19	Part 20
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness	Flexible				

Behavior					
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	56, mm	27, mm	4, mm		56, mm
Length Y	42, mm	56, mm			42, mm
Length Z	42, mm	120, mm			42, mm
Properties					
Volume	16204 mm ³	31467 mm ³	11408 mm ³		16204 mm ³
Mass	0,12753 kg	0,24765 kg	8,9784e-002 kg		0,12753 kg
Centroid X	1028,9 mm	1022,5 mm	-22, mm	-53, mm	-43,945 mm
Centroid Y	-130, mm				
Centroid Z	-67, mm	-31,88 mm	-35,211 mm		-67, mm
Moment of Inertia Ip1	38,784 kg·mm ²	389,1 kg·mm ²	97,636 kg·mm ²		38,784 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	81,629 kg·mm ²	494,75 kg·mm ²	66,099 kg·mm ²		81,627 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	81,652 kg·mm ²	135,8 kg·mm ²	31,777 kg·mm ²		81,651 kg·mm ²
Statistics					
Nodes	2370	758	444		2288
Elements	1188	84	41		1132
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,011670157739835	0,22670397176443	0,21670866072038		5,95637340189911E-03
Max	0,888184197538857	0,572233915715543	0,848787809255692		0,888183786515024
Average	0,284226201579023	0,470015373101252	0,586447775995411	0,586447775995409	0,293723056705457
Standard Deviation	0,162954530859241	7,98744900715893E-02	0,167158893267686		0,163161619277161

TABLE 7
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 21	Part 22	Part 23	Part 24	Part 25
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	27, mm	6, mm	57, mm	297,79 mm	
Length Y	56, mm	95, mm	35,77 mm	4, mm	
Length Z	120, mm	178, mm	112,59 mm	150, mm	
Properties					
Volume	31467 mm ³	62546 mm ³	39053 mm ³	1,3175e+005 mm ³	
Mass	0,24765 kg	0,49224 kg	0,30735 kg	1,0369 kg	
Centroid X	-37,5 mm	-86, mm	-23, mm	-54,5 mm	188,5 mm
Centroid Y	-130, mm	-1064,2 mm	-1105, mm	-2251, mm	
Centroid Z	-31,88 mm	-103,83 mm	-75,913 mm	-70, mm	
Moment of Inertia Ip1	389,1 kg·mm ²	1481,4 kg·mm ²	334,92 kg·mm ²	7742,3 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip2	494,75 kg·mm ²	1225,9 kg·mm ²	417,21 kg·mm ²	1683, kg·mm ²	
Moment of Inertia	135,8 kg·mm ²	258,49 kg·mm ²	84,136 kg·mm ²	6062,1 kg·mm ²	

Ip3					
Statistics					
Nodes	739	323	287	279	
Elements	82	33	32	28	
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,2354497627 3221	0,2261866501 46982	0,2261866501 46981	0,6752370846 51757	0,1136947271 70373
Max	0,5933864913 68382	0,7547410101 82386	0,7547410101 82383	0,6804964499 64211	0,2273481884 86109
Average	0,4892492180 78364	0,4592191757 90825	0,4592191757 90823	0,6785200871 35767	0,1757794226 87669
Standard Deviation	6,5675550909 4433E-02	0,1364484555 68134	0,1364484555 68133	1,8034428432 448E-03	3,0132305119 0693E-02

TABLE 8
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Part 26</i>	<i>Part 27</i>	<i>Part 28</i>	<i>Part 29</i>	<i>Part 30</i>
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	297,79 mm	224,82 mm	145,98 mm	15,619 mm	
Length Y	4, mm	110,95 mm	40, mm		
Length Z	150, mm	20,672 mm	4, mm	79,729 mm	
Properties					
Volume	1,3175e+005 mm ³	38389 mm ³	38282 mm ³	22400 mm ³	12800 mm ³

Mass	1,0369 kg	0,30212 kg	0,30128 kg	0,17629 kg	0,10074 kg
Centroid X	195,07 mm	135,46 mm	135,13 mm	123,3 mm	340,17 mm
Centroid Y	-2295, mm	-2325,7 mm	-2325,8 mm	-2273, mm	
Centroid Z	-70, mm	-14,921 mm	-98,791 mm	11,209 mm	-96,927 mm
Moment of Inertia Ip1	7742,3 kg·mm ²	95,565 kg·mm ²	95,271 kg·mm ²	288,74 kg·mm ²	53,86 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	1683, kg·mm ²	784,03 kg·mm ²	771,22 kg·mm ²	23,694 kg·mm ²	67,157 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	6062,1 kg·mm ²	878,21 kg·mm ²	865,68 kg·mm ²	311,97 kg·mm ²	13,566 kg·mm ²
Statistics					
Nodes	279	520	188	226	287
Elements	28	199	20	24	32
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,113694727170375	0,101729884887804	3,59084594328974E-02	0,428622264209792	0,654728501072975
Max	0,227348188486161	0,703621361924528	0,300850302688494	0,428622264391492	0,654728501073042
Average	0,175779422687669	0,299195714148355	0,103460873825723	0,428622264329264	0,654728501073007
Standard Deviation	3,01323051190722E-02	0,107410222226382	5,92072324045697E-02	-1, #IND	

TABLE 9
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Part 31</i>	<i>Part 32</i>	<i>Part 33</i>	<i>Part 34</i>	<i>Part 35</i>
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				

Material					
Assignment	Carbon Fiber Epoxy Resin		AISI 1010		
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	168,54 mm		175, mm	40, mm	
Length Y	4400, mm		85, mm	170, mm	
Length Z	139,79 mm		140, mm	5, mm	
Properties					
Volume	1,9093e+006 mm ³		92027 mm ³	34000 mm ³	
Mass	3,0548 kg		0,72425 kg	0,26758 kg	
Centroid X	915,19 mm	69,808 mm	786,46 mm	859,46 mm	
Centroid Y	-2346,9 mm	-2347, mm	-3175,2 mm	-3175, mm	
Centroid Z	-48,697 mm	-48,7 mm	-45,767 mm	-99,291 mm	-14,291 mm
Moment of Inertia Ip1	4,7475e+006 kg·mm ²	4,7473e+006 kg·mm ²	862,25 kg·mm ²	36,235 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip2	6100,2 kg·mm ²	6100,1 kg·mm ²	2595,3 kg·mm ²	644,98 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip3	4,7465e+006 kg·mm ²	4,7463e+006 kg·mm ²	2946,8 kg·mm ²	680,1 kg·mm ²	
Statistics					
Nodes	2962	2967	3700	165	
Elements	1390	1386	1718	16	
Mesh Metric	Element Quality				
Min	1,59248525065804E-03	1,59248525072041E-03	0,015025180125135	0,425467592202724	0,425467592202742
Max	0,194800625937724	0,17976530597803	0,969648657652808	0,425467592202763	0,425467592202762
Average	0,024524151999903	0,025373021464429	0,28663817363869	0,425467592202747	0,42546759220275
Standard Deviation	1,96361332475431E-02	2,10339006700844E-02	0,176303718979548	5,44113474592731E-09	7,69492655238989E-09

TABLE 10
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 36	Part 37	Part 38	Part 39	Part 40
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				

Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	5, mm	69,762 mm	165,54 mm	139,95 mm	
Length Y	170, mm	110, mm	4400, mm	167,4 mm	
Length Z	80, mm	246,47 mm	136,79 mm	205, mm	
Properties					
Volume	68000 mm ³	2,4969e+005 mm ³	2,0114e+006 mm ³	1,4848e+005 mm ³	
Mass	0,53516 kg	1,965 kg	15,83 kg	1,1685 kg	
Centroid X	836,96 mm	881,96 mm	903,85 mm	922,05 mm	716,38 mm
Centroid Y	-3175, mm			-2204,3 mm	-3618,4 mm
Centroid Z	-56,791 mm	5,19 mm	-47,143 mm	-129,37 mm	
Moment of Inertia Ip1	286,53 kg·mm ²	13023 kg·mm ²	2,5568e+007 kg·mm ²	7477,1 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip2	1574,3 kg·mm ²	10311 kg·mm ²	29979 kg·mm ²	6193,4 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip3	1290, kg·mm ²	4275,3 kg·mm ²	2,5562e+007 kg·mm ²	3156, kg·mm ²	
Statistics					
Nodes	287	2719	3086	3037	
Elements	32	1268	1446	1394	
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,4254675922	0,4254675922	0,0771529261	1,5695181252	4,3529100364

	02729	02705	54134	9893E-03	0549E-02
Max	0,4254675922 02771	0,4254675922 02747	0,9827924790 97319	0,4026098498 6405	0,7107817839 2972
Average	0,4254675922 02754	0,4254675922 0273	0,4108518036 88974	2,9879530862 1784E-02	0,1734016129 11778
Standard Deviation	-1,#IND	1,0705310227 0827E-08	0,1569895367 25229	2,4981308158 0639E-02	0,0869734425 67432

TABLE 11
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 41	Part 42	Part 43	Part 44	Part 45
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	109, mm		139,95 mm	69,762 mm	40, mm
Length Y	75, mm		167,4 mm	110, mm	170, mm
Length Z	6, mm		205, mm	246,47 mm	5, mm
Properties					
Volume	36372 mm ³		1,4848e+005 mm ³	2,6098e+005 mm ³	34000 mm ³
Mass	0,28625 kg		1,1686 kg	2,0539 kg	0,26758 kg
Centroid X	1007,3 mm	-22,31 mm	268,66 mm	81,145 mm	125,54 mm
Centroid Y	-1134,7 mm		-3618,5 mm	-3175, mm	
Centroid Z	-99,806 mm		-129,11 mm	5,1854 mm	-99,291 mm

Moment of Inertia Ip1	104,23 kg·mm ²	7445,9 kg·mm ²	13022 kg·mm ²	36,235 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip2	216,84 kg·mm ²	6164,2 kg·mm ²	10310 kg·mm ²	644,98 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip3	319,35 kg·mm ²	3150,7 kg·mm ²	4275,2 kg·mm ²	680,1 kg·mm ²	
Statistics					
Nodes	268	3145	2640	165	
Elements	30	1448	1218	16	
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,442191130816467	0,442191130775762	3,04713678940124E-02	0,090208573061335	0,425467592202731
Max	0,754973281365683	0,754973281373184	0,535194621349931	0,982793140639147	0,425467592202762
Average	0,588291463194085	0,588291463199976	0,178736463653594	0,402444223259022	0,425467592202746
Standard Deviation	8,36238225075738E-02	0,083623822519475	8,83258463402311E-02	0,155193618732799	0

TABLE 12
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Part 46</i>	<i>Part 47</i>	<i>Part 48</i>	<i>Part 49</i>	<i>Part 50</i>
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain	Yes				

Effects					
Bounding Box					
Length X	40, mm	5, mm		175, mm	1023,1 mm
Length Y	170, mm			85, mm	120,12 mm
Length Z	5, mm	80, mm		140, mm	138,96 mm
Properties					
Volume	34000 mm ³	68000 mm ³		92027 mm ³	4,7811e+005 mm ³
Mass	0,26758 kg	0,53516 kg		0,72425 kg	3,7627 kg
Centroid X	125,54 mm	148,04 mm	103,04 mm	198,54 mm	491,62 mm
Centroid Y	-3175, mm			-3175,2 mm	-3175,1 mm
Centroid Z	-14,291 mm	-56,791 mm		-45,768 mm	-135,64 mm
Moment of Inertia Ip1	36,235 kg·mm ²	286,53 kg·mm ²		862,26 kg·mm ²	7965,3 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	644,98 kg·mm ²	1574,3 kg·mm ²		2595,3 kg·mm ²	3,0406e+005 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	680,1 kg·mm ²	1290, kg·mm ²		2946,7 kg·mm ²	3,0382e+005 kg·mm ²
Statistics					
Nodes	165	287		3694	7774
Elements	16	32		1716	3798
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,425467592202739	0,425467592202733	0,425467592202736	1,33412592902119E-02	8,60368048476482E-04
Max	0,42546759220276	0,425467592202766	0,42546759220277	0,969648657653156	0,863606759757696
Average	0,42546759220275	0,425467592202751	0,425467592202754	0,288463673007093	0,138634741109701
Standard Deviation	-1,#IND	9,27107061204694E-09	-1,#IND	0,176806225148416	0,13399380706109

TABLE 13
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 51	Part 52	Part 53	Part 54	Part 55
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				

Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	AISI 1010				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	75, mm		1400, mm		
Length Y	184, mm		48, mm		
Length Z	4, mm		48, mm		
Properties					
Volume	38912 mm ³		2,0671e+005 mm ³		
Mass	0,30624 kg		1,6268 kg		
Centroid X	992,72 mm	-7,7171 mm	490,2 mm		494,8 mm
Centroid Y	-130, mm		-130,01 mm	-1070, mm	-1885, mm
Centroid Z	-42, mm		-0,11216 mm	-56,904 mm	
Moment of Inertia Ip1	862,79 kg·mm ²		899,21 kg·mm ²		
Moment of Inertia Ip2	93,045 kg·mm ²		2,6862e+005 kg·mm ²		
Moment of Inertia Ip3	955,02 kg·mm ²		2,6861e+005 kg·mm ²		
Statistics					
Nodes	224	294	1335		
Elements	23	33	180		
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,1659713103 28615	0,2181476163 11442	2,9844861353 7075E-03	2,9844861353 7066E-03	2,9844861353 7043E-03
Max	0,4002373727 8855	0,4388772110 37579	5,8715960976 0443E-03	5,8715960976 0528E-03	5,8715960976 0655E-03
Average	0,3093156398 21989	0,3368028648 58014	3,7096071211 9874E-03	3,7096071211 9875E-03	3,7096071211 9876E-03
Standard	5,8539939968	5,0717256753	8,7180259787	8,7180259787	8,7180259787

Deviation	2656E-02	6777E-02	3623E-04	3618E-04	3555E-04
-----------	----------	----------	----------	----------	----------

TABLE 14
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Part 56</i>	<i>Part 57</i>	<i>Part 58</i>
State	Meshed		
Graphics Properties			
Visible	Yes		
Transparency	1		
Definition			
Suppressed	No		
Stiffness Behavior	Flexible		
Coordinate System	Default Coordinate System		
Reference Temperature	By Environment		
Material			
Assignment	AISI 1010		
Nonlinear Effects	Yes		
Thermal Strain Effects	Yes		
Bounding Box			
Length X	1400, mm	820, mm	165,54 mm
Length Y	48, mm		4400, mm
Length Z	48, mm		136,79 mm
Properties			
Volume	2,0671e+005 mm ³	1,2107e+005 mm ³	2,0114e+006 mm ³
Mass	1,6268 kg	0,95283 kg	15,83 kg
Centroid X	494,8 mm	494,19 mm	62,952 mm
Centroid Y	-2700, mm	-3650, mm	-2204,3 mm
Centroid Z	-56,904 mm	-56,914 mm	-47,145 mm
Moment of Inertia I _{p1}	899,21 kg·mm ²	528,27 kg·mm ²	2,5567e+007 kg·mm ²
Moment of Inertia I _{p2}	2,6862e+005 kg·mm ²	54505 kg·mm ²	29978 kg·mm ²
Moment of Inertia I _{p3}	2,6861e+005 kg·mm ²	54504 kg·mm ²	2,5561e+007 kg·mm ²
Statistics			
Nodes	1335	1020	3128
Elements	180	135	1459
Mesh Metric	Element Quality		
Min	2,98448613537043E-03	4,87216485143686E-03	1,56951812536273E-03
Max	5,87159609760255E-03	9,46387834156764E-03	0,202218894273013
Average	3,70960712119857E-03	6,03345122403207E-03	3,20278421511905E-02
Standard Deviation	8,71802597873201E-04	1,38584224094818E-03	2,54133326850917E-02

Coordinate Systems

TABLE 15
Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
Origin	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
Directional Vectors	
X Axis Data	[1, 0, 0,]
Y Axis Data	[0, 1, 0,]
Z Axis Data	[0, 0, 1,]

Connections

TABLE 16
Model (A4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 17
Model (A4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0,
Tolerance Value	11,579 mm
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies

Search Across	Bodies
---------------	--------

TABLE 18
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region	Contact Region 2	Contact Region 3	Contact Region 4	Contact Region 5
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face		3 Faces		1 Face
Target	1 Face		3 Faces		1 Face
Contact Bodies	Part 1				Part 2
Target Bodies	Part 5	Part 6	Part 31	Part 39	Part 3
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 19
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 6	Contact Region 7	Contact Region 8	Contact Region 9	Contact Region 10
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face			3 Faces	
Target	1 Face			3 Faces	
Contact Bodies	Part 2				
Target Bodies	Part 4	Part 5	Part 6	Part 31	Part 39
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection	Program Controlled				

Method	
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 20
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 11</i>	<i>Contact Region 12</i>	<i>Contact Region 13</i>	<i>Contact Region 14</i>	<i>Contact Region 15</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	3 Faces
Target	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces
Contact Bodies	Part 3		Part 4		Part 7
Target Bodies	Part 31	Part 39	Part 31	Part 39	Part 8
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 21
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 16</i>	<i>Contact Region 17</i>	<i>Contact Region 18</i>	<i>Contact Region 19</i>	<i>Contact Region 20</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	3 Faces		1 Face		3 Faces
Target	2 Faces		1 Face		2 Faces
Contact Bodies	Part 7		Part 8		Part 9
Target Bodies	Part 31	Part 39	Part 31	Part 39	Part 10
Definition					
Type	Bonded				

Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 22
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 21</i>	<i>Contact Region 22</i>	<i>Contact Region 23</i>	<i>Contact Region 24</i>	<i>Contact Region 25</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	3 Faces		1 Face		
Target	2 Faces		1 Face		
Contact Bodies	Part 9		Part 10		Part 11
Target Bodies	Part 32	Part 58	Part 32	Part 58	Part 13
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 23
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 26</i>	<i>Contact Region 27</i>	<i>Contact Region 28</i>	<i>Contact Region 29</i>	<i>Contact Region 30</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face	2 Faces	1 Face		

Target	1 Face	2 Faces	1 Face		
Contact Bodies	Part 11		Part 12		
Target Bodies	Part 41	Part 54	Part 13	Part 31	Part 39
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 24
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 31</i>	<i>Contact Region 32</i>	<i>Contact Region 33</i>	<i>Contact Region 34</i>	<i>Contact Region 35</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face	2 Faces	1 Face		
Target	1 Face	2 Faces	1 Face		
Contact Bodies	Part 12		Part 13		
Target Bodies	Part 41	Part 54	Part 31	Part 39	Part 41
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 25
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact</i>	<i>Contact</i>	<i>Contact</i>	<i>Contact</i>	<i>Contact</i>
-------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

	<i>Region 36</i>	<i>Region 37</i>	<i>Region 38</i>	<i>Region 39</i>	<i>Region 40</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	3 Faces	1 Face	5 Faces	1 Face	3 Faces
Target	3 Faces	1 Face	4 Faces	1 Face	4 Faces
Contact Bodies	Part 14				
Target Bodies	Part 16	Part 17	Part 31	Part 39	Part 51
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 26
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 41</i>	<i>Contact Region 42</i>	<i>Contact Region 43</i>	<i>Contact Region 44</i>	<i>Contact Region 45</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	5 Faces	3 Faces	1 Face	2 Faces	5 Faces
Target	4 Faces	3 Faces	1 Face	2 Faces	4 Faces
Contact Bodies	Part 14	Part 15			
Target Bodies	Part 53	Part 16	Part 17	Part 51	Part 53
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				

Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 27
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 46	Contact Region 47	Contact Region 48	Contact Region 49	Contact Region 50
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	3 Faces	2 Faces	1 Face		
Target	4 Faces	1 Face			
Contact Bodies	Part 16				Part 17
Target Bodies	Part 17	Part 31	Part 39	Part 51	Part 31
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 28
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 51	Contact Region 52	Contact Region 53	Contact Region 54	Contact Region 55
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face	3 Faces	6 Faces	3 Faces	1 Face
Target	1 Face	4 Faces		3 Faces	1 Face
Contact Bodies	Part 17			Part 18	
Target Bodies	Part 39	Part 51	Part 53	Part 20	Part 21
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				

Advanced	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 29
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 56</i>	<i>Contact Region 57</i>	<i>Contact Region 58</i>	<i>Contact Region 59</i>	<i>Contact Region 60</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	5 Faces	3 Faces	5 Faces	2 Faces	3 Faces
Target	4 Faces			2 Faces	3 Faces
Contact Bodies	Part 18				Part 19
Target Bodies	Part 32	Part 52	Part 53	Part 58	Part 20
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 30
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 61</i>	<i>Contact Region 62</i>	<i>Contact Region 63</i>	<i>Contact Region 64</i>	<i>Contact Region 65</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	2 Faces		5 Faces	3 Faces	2 Faces
Target	2 Faces		4 Faces		1 Face
Contact Bodies	Part 19			Part 20	

Target Bodies	Part 21	Part 52	Part 53	Part 21	Part 32
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 31
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 66</i>	<i>Contact Region 67</i>	<i>Contact Region 68</i>	<i>Contact Region 69</i>	<i>Contact Region 70</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face			3 Faces	6 Faces
Target	1 Face			4 Faces	
Contact Bodies	Part 20		Part 21		
Target Bodies	Part 52	Part 58	Part 32	Part 52	Part 53
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 32
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 71</i>	<i>Contact Region 72</i>	<i>Contact Region 73</i>	<i>Contact Region 74</i>	<i>Contact Region 75</i>
State	Fully Defined				
Scope					

Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face		2 Faces	1 Face	
Target	1 Face		2 Faces	1 Face	
Contact Bodies	Part 21	Part 22			Part 23
Target Bodies	Part 58	Part 24	Part 42	Part 54	Part 24
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 33
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 76</i>	<i>Contact Region 77</i>	<i>Contact Region 78</i>	<i>Contact Region 79</i>	<i>Contact Region 80</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face		2 Faces	1 Face	
Target	1 Face		2 Faces	1 Face	
Contact Bodies	Part 23				Part 24
Target Bodies	Part 32	Part 42	Part 54	Part 58	Part 32
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 34
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 81	Contact Region 82	Contact Region 83	Contact Region 84	Contact Region 85
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face			3 Faces	
Target	1 Face			3 Faces	
Contact Bodies	Part 24		Part 25		
Target Bodies	Part 42	Part 58	Part 29	Part 30	Part 32
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 35
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 86	Contact Region 87	Contact Region 88	Contact Region 89	Contact Region 90
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	3 Faces	1 Face			
Target	3 Faces	1 Face			
Contact Bodies	Part 25	Part 26			
Target Bodies	Part 58	Part 27	Part 28	Part 29	Part 30
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				

Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 36
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 91	Contact Region 92	Contact Region 93	Contact Region 94	Contact Region 95
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	3 Faces		2 Faces	1 Face	2 Faces
Target	3 Faces		2 Faces	1 Face	2 Faces
Contact Bodies	Part 26		Part 27		Part 28
Target Bodies	Part 32	Part 58	Part 32	Part 58	Part 32
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 37
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 96	Contact Region 97	Contact Region 98	Contact Region 99	Contact Region 100
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face	2 Faces			
Target	1 Face	4 Faces	2 Faces		
Contact Bodies	Part 28	Part 31			
Target Bodies	Part 58	Part 33	Part 34	Part 35	Part 36
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				

Behavior	Program Controlled
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 38
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 101	Contact Region 102	Contact Region 103	Contact Region 104	Contact Region 105
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	2 Faces	1 Face	42 Faces	1 Face	
Target	2 Faces	1 Face	38 Faces	1 Face	4 Faces
Contact Bodies	Part 31				
Target Bodies	Part 37	Part 38	Part 39	Part 41	Part 50
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 39
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 106	Contact Region 107	Contact Region 108	Contact Region 109	Contact Region 110
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	2 Faces	4 Faces			
Target	2 Faces				

Contact Bodies	Part 31				
Target Bodies	Part 51	Part 53	Part 54	Part 55	Part 56
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 40
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 111</i>	<i>Contact Region 112</i>	<i>Contact Region 113</i>	<i>Contact Region 114</i>	<i>Contact Region 115</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	4 Faces	1 Face		2 Faces	
Target	2 Faces	1 Face		2 Faces	
Contact Bodies	Part 31	Part 32			
Target Bodies	Part 57	Part 42	Part 44	Part 45	Part 46
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 41
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 116</i>	<i>Contact Region 117</i>	<i>Contact Region 118</i>	<i>Contact Region 119</i>	<i>Contact Region 120</i>
-------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	2 Faces		1 Face	2 Faces	
Target	2 Faces		4 Faces		2 Faces
Contact Bodies	Part 32				
Target Bodies	Part 47	Part 48	Part 49	Part 50	Part 52
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 42
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 121</i>	<i>Contact Region 122</i>	<i>Contact Region 123</i>	<i>Contact Region 124</i>	<i>Contact Region 125</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	4 Faces				
Target	2 Faces				
Contact Bodies	Part 32				
Target Bodies	Part 53	Part 54	Part 55	Part 56	Part 57
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				

Pinball Region	Program Controlled
----------------	--------------------

TABLE 43
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 126	Contact Region 127	Contact Region 128	Contact Region 129	Contact Region 130
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	42 Faces	4 Faces		2 Faces	1 Face
Target	38 Faces	2 Faces		1 Face	
Contact Bodies	Part 32	Part 33			
Target Bodies	Part 58	Part 35	Part 36	Part 37	Part 38
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 44
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 131	Contact Region 132	Contact Region 133	Contact Region 134	Contact Region 135
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	4 Faces	11 Faces	1 Face		
Target	2 Faces	6 Faces	1 Face		4 Faces
Contact Bodies	Part 33		Part 34		
Target Bodies	Part 39	Part 50	Part 38	Part 39	Part 50
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					

Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 45
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 136</i>	<i>Contact Region 137</i>	<i>Contact Region 138</i>	<i>Contact Region 139</i>	<i>Contact Region 140</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face				
Target	1 Face			4 Faces	1 Face
Contact Bodies	Part 35		Part 36		Part 37
Target Bodies	Part 38	Part 39		Part 50	Part 38
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 46
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 141</i>	<i>Contact Region 142</i>	<i>Contact Region 143</i>	<i>Contact Region 144</i>	<i>Contact Region 145</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face			8 Faces	1 Face
Target	1 Face	4 Faces	1 Face	8 Faces	1 Face
Contact Bodies	Part 37		Part 38		Part 39
Target Bodies	Part 39	Part 50	Part 39	Part 50	Part 41

Definition	
Type	Bonded
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 47
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 146</i>	<i>Contact Region 147</i>	<i>Contact Region 148</i>	<i>Contact Region 149</i>	<i>Contact Region 150</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face		4 Faces		
Target	4 Faces	1 Face	2 Faces		
Contact Bodies	Part 39				
Target Bodies	Part 50	Part 51	Part 53	Part 54	Part 55
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 48
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 151</i>	<i>Contact Region 152</i>	<i>Contact Region 153</i>	<i>Contact Region 154</i>	<i>Contact Region 155</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping	Geometry Selection				

Method				
Contact	4 Faces	6 Faces	1 Face	6 Faces
Target	2 Faces	3 Faces	1 Face	3 Faces
Contact Bodies	Part 39	Part 40	Part 42	Part 43
Target Bodies	Part 56	Part 57	Part 58	Part 57
Definition				
Type	Bonded			
Scope Mode	Automatic			
Behavior	Program Controlled			
Suppressed	No			
Advanced				
Formulation	Program Controlled			
Detection Method	Program Controlled			
Normal Stiffness	Program Controlled			
Update Stiffness	Program Controlled			
Pinball Region	Program Controlled			

TABLE 49
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 156</i>	<i>Contact Region 157</i>	<i>Contact Region 158</i>	<i>Contact Region 159</i>	<i>Contact Region 160</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face			8 Faces	
Target	1 Face			8 Faces	
Contact Bodies	Part 44				
Target Bodies	Part 45	Part 46	Part 48	Part 49	Part 50
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 50
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 161</i>	<i>Contact Region 162</i>	<i>Contact Region 163</i>	<i>Contact Region 164</i>	<i>Contact Region 165</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face			2 Faces	1 Face
Target	1 Face	4 Faces	1 Face	4 Faces	1 Face
Contact Bodies	Part 44	Part 45		Part 46	
Target Bodies	Part 58	Part 50	Part 58	Part 49	Part 58
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 51
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region 166</i>	<i>Contact Region 167</i>	<i>Contact Region 168</i>	<i>Contact Region 169</i>	<i>Contact Region 170</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	2 Faces	1 Face			
Target	4 Faces		1 Face	2 Faces	4 Faces
Contact Bodies	Part 47			Part 48	
Target Bodies	Part 49	Part 50	Part 58	Part 49	Part 50
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				

Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 52
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 171	Contact Region 172	Contact Region 173	Contact Region 174	Contact Region 175
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face	10 Faces	4 Faces		1 Face
Target	1 Face	6 Faces	2 Faces	1 Face	
Contact Bodies	Part 48	Part 49		Part 50	Part 52
Target Bodies	Part 58	Part 50	Part 58		
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Program Controlled				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Program Controlled				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Program Controlled				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 53
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 176	Contact Region 177	Contact Region 178	Contact Region 179	Contact Region 180
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	2 Faces				
Target	4 Faces				
Contact Bodies	Part 53	Part 54	Part 55	Part 56	Part 57
Target Bodies	Part 58				
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				

Behavior	Program Controlled
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

Mesh

TABLE 54
Model (A4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	2,9409e-002 mm
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Advanced	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled

Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	65610
Elements	24764
Mesh Metric	Element Quality
Min	8,60368048476482E-04
Max	0,999636319821334
Average	0,217694553207167
Standard Deviation	0,204963871258963

Static Structural (A5)

TABLE 55
Model (A4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 56
Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Nonlinear Controls	
Force Convergence	Program Controlled

Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Calculate Results At	All Time Points
Max Number of Result Sets	Program Controlled
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	E:\PENTING\New folder\carbon\rangka karbon_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

TABLE 57
Model (A4) > Static Structural (A5) > Accelerations

Object Name	<i>Standard Earth Gravity</i>
State	Fully Defined
Scope	
Geometry	All Bodies
Definition	
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	0, mm/s ² (ramped)
Y Component	0, mm/s ² (ramped)
Z Component	-9806,6 mm/s ² (ramped)
Suppressed	No
Direction	-Z Direction

FIGURE 1
Model (A4) > Static Structural (A5) > Standard Earth Gravity

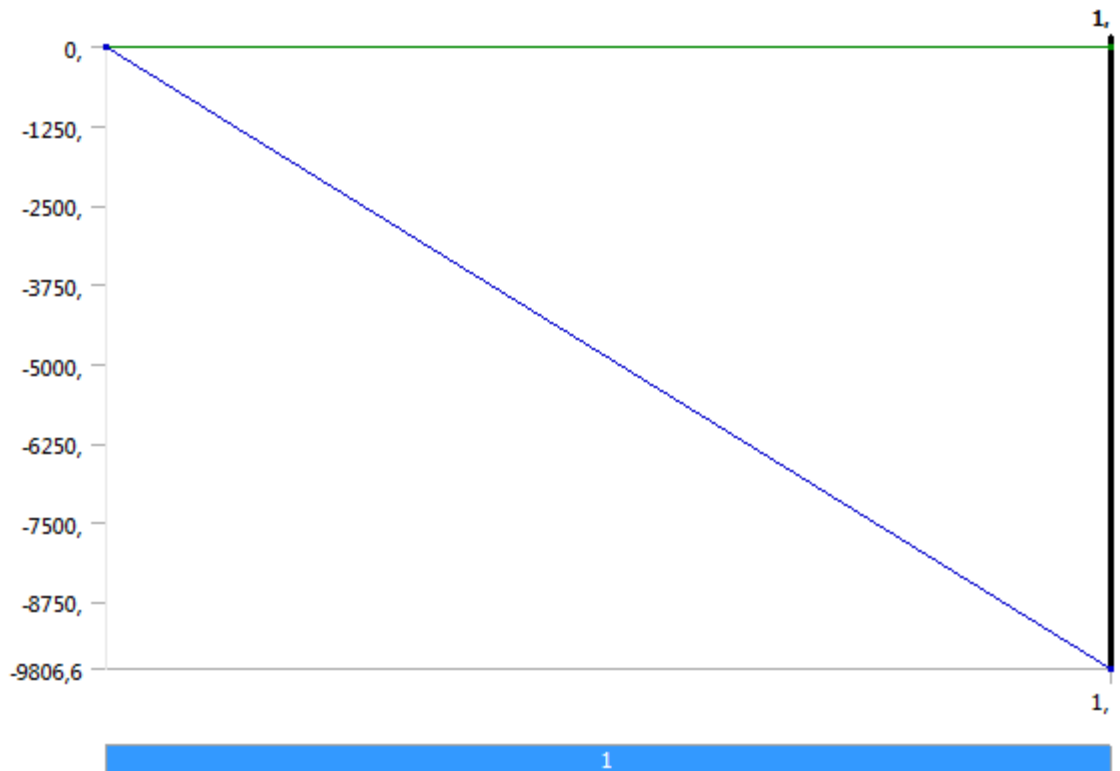


TABLE 58
Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads

Object Name	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Fixed Support</i>	<i>Fixed Support 2</i>	<i>Fixed Support 3</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	5 Faces	12 Faces		9 Faces	
Definition					
Type	Force	Fixed Support			
Define By	Vector				
Magnitude	10335 N (ramped)				
Direction	Defined				
Suppressed	No				

FIGURE 2
Model (A4) > Static Structural (A5) > Force

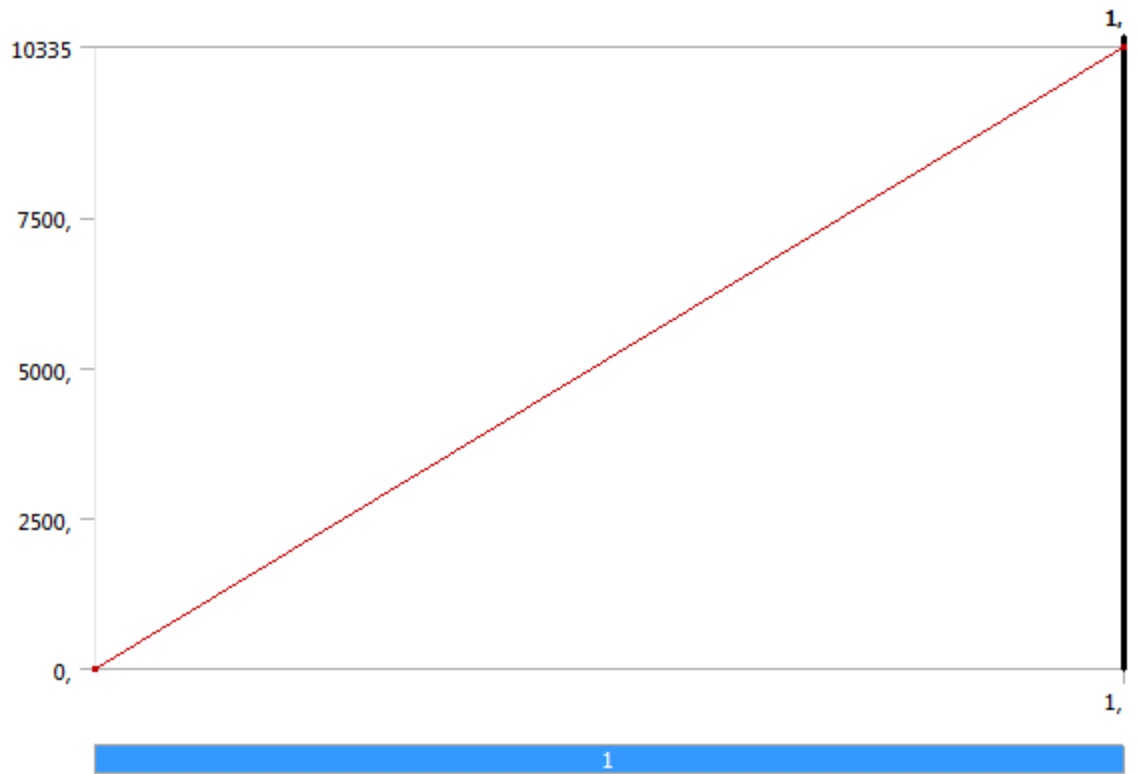


FIGURE 3
Model (A4) > Static Structural (A5) > Force 2

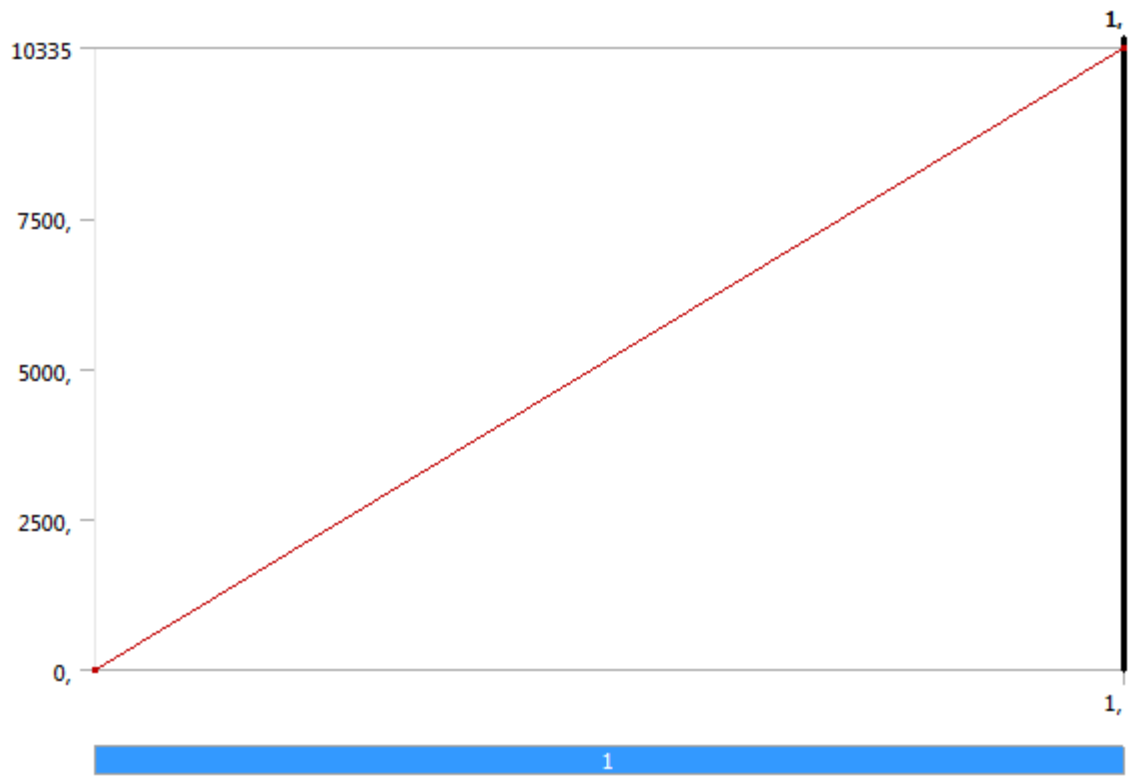


TABLE 59
Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support 4</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	9 Faces
Definition	
Type	Fixed Support
Suppressed	No

Solution (A6)

TABLE 60
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
Information	
Status	Done

TABLE 61
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 62
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results

Object Name	<i>Deflection</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	

Definition		
Type	Deflection	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Results		
Minimum	0, mm	1,7299e-007 MPa
Maximum	0,42856 mm	78,7 MPa
Minimum Occurs On	Part 8	Part 10
Maximum Occurs On	Part 39	Part 43
Information		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	

TABLE 63
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Fatigue Tools

Object Name	<i>Information Safety</i>
State	Solved
Materials	
Fatigue Strength Factor (Kf)	0,81
Loading	
Type	Ratio
Loading Ratio	0,52539
Scale Factor	1,
Definition	
Display Time	1, s
Options	
Analysis Type	Stress Life
Mean Stress Theory	Gerber
Stress Component	Equivalent (Von Mises)
Life Units	
Units Name	cycles
1 cycle is equal to	1, cycles

FIGURE 4
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Information Safety

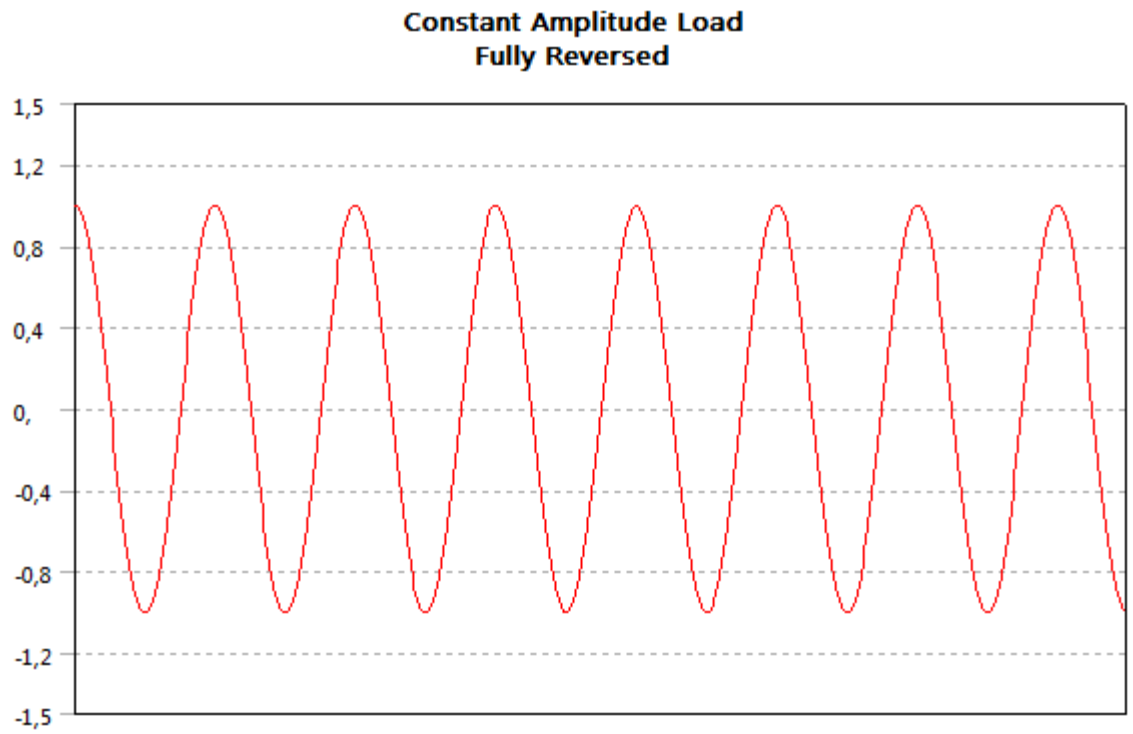


FIGURE 5
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Information Safety
Mean Stress Correction Theory

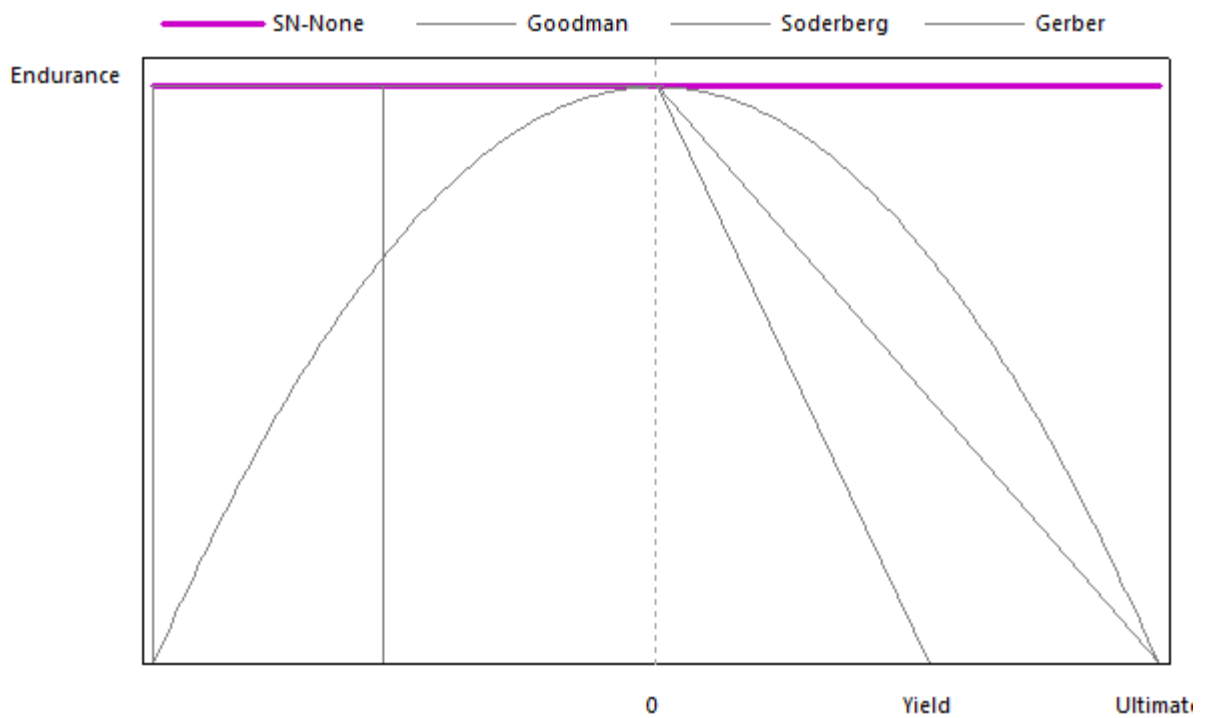


TABLE 64
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Information Safety > Results

Object Name	<i>Life</i>	<i>Damage</i>	<i>Safety Factor</i>	<i>Equivalent Alternating Stress</i>
State	Solved			
Scope				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	All Bodies			
Definition				
Type	Life	Damage	Safety Factor	Equivalent Alternating Stress
Identifier				
Suppressed	No			
Design Life		1,e+006 cycles		
Results				
Minimum	1,2e+007 cycles		4,3847	5,0679e-008 MPa
Minimum Occurs On	Part 1		Part 43	Part 10
Maximum		8,3333e-002		23,697 MPa
Maximum Occurs On		Part 1		Part 43

TABLE 65
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Information Safety > Result Charts

Object Name	<i>Fatigue Sensitivity</i>	<i>Safety Factor Sensitivity</i>
State	Solved	
Scope		
Geometry	All Bodies	
Definition		
Sensitivity For	Life	Safety Factor
Suppressed	No	
Design Life		1,e+006 cycles
Options		
Lower Variation	50, %	
Upper Variation	150, %	
Number of Fill Points	25	
Chart Viewing Style	Linear	

FIGURE 6
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Information Safety > Fatigue Sensitivity

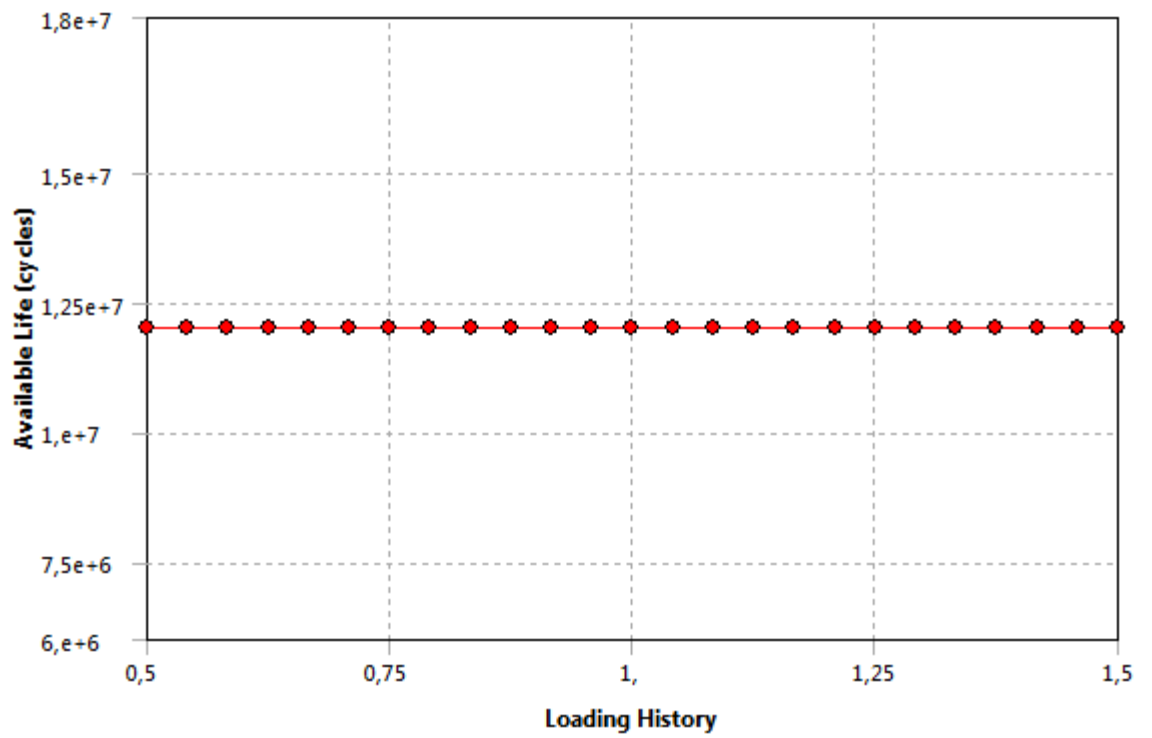


FIGURE 7
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Information Safety > Safety
Factor Sensitivity

The linked image cannot be displayed. The file may have been moved, renamed, or deleted. Verify that the link points to the correct file and location.

Material Data

AISI 1010

TABLE 66
AISI 1010 > Constants

Density	7,87e-006 kg mm ⁻³
---------	-------------------------------

TABLE 67
AISI 1010 > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2,e+005	0,3	1,6667e+005	76923

TABLE 68
AISI 1010 > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
228,	4,3e+005	0,
207,	1,2e+006	0,
176,	3,8e+006	0,
155,	6,e+006	0,
135,	1,2e+007	0,

TABLE 69
AISI 1010 > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength MPa
305,

TABLE 70
AISI 1010 > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa
365,

Carbon Fiber Epoxy Resin

TABLE 71
Carbon Fiber Epoxy Resin > Constants

Density	1,6e-006 kg mm ⁻³
---------	------------------------------

TABLE 72
Carbon Fiber Epoxy Resin > Orthotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus X direction MPa	Young's Modulus Y direction MPa	Young's Modulus Z direction MPa	Poisson's Ratio XY	Poisson's Ratio YZ	Poisson's Ratio XZ	Shear Modulus XY MPa	Shear Modulus YZ MPa	Shear Modulus XZ MPa
	70000	70000	70000	0,1	0,1	0,1	5000,	5000,	5000,

TABLE 73
Carbon Fiber Epoxy Resin > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
470,	70,	0,
470,	300,	0,
465,	6000,	0,
445,	1,e+005	0,
445,	1,8e+005	0,
430,	2,9e+006	0,
420,	4,5e+006	0,
420,	7,5e+006	0,
420,	1,4e+007	0,

TABLE 74
Carbon Fiber Epoxy Resin > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa
600,

TABLE 75
Carbon Fiber Epoxy Resin > Tsai-Wu Constants

Temperature C	Coupling Coefficient XY	Coupling Coefficient YZ	Coupling Coefficient XZ
	-1,	-1,	-1,

TABLE 76
Carbon Fiber Epoxy Resin > Orthotropic Stress Limits

Temperature C	Tensile X direction MPa	Tensile Y direction MPa	Tensile Z direction MPa	Compressive X direction MPa	Compressive Y direction MPa	Compressive Z direction MPa	Shear XY MPa	Shear YZ MPa	Shear XZ MPa
	600,	600,	600,	570,	570,	570,	90,	90,	90,

Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian

1. *Epoxy Resin*2. *Carbon Fiber*

3. Pengukuran Geometri Rangka



4. Rangka Mobil Listrik



5. Potongan Material Rangka dan Spesimen



6. Leptop Uji

