

# PERANCANGAN DAN ANALISIS *TROLLEY* UNTUK *FUSELAGE* PESAWAT TERBANG *CASA 212-400* DI PT DIRGANTARA INDONESIA

Ihsan Yassir Amry, Bustami Ibrahim, SST, MT.

Teknik Rekayasa dan Pengembangan Produk, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung  
Jl. Ir. H. Juanda Komp. Kanayakan Dago, Tromol Pos 851, Bandung 40135 Indonesia  
Phone : 085659027325, E-mail : [ihsan\\_yassir\\_amry@yahoo.com](mailto:ihsan_yassir_amry@yahoo.com)

## ABSTRAK

PT Dirgantara Indonesia merupakan industri pesawat terbang pertama dan satu-satunya di Asia Tenggara. Salah satu jenis pesawat yang dibuat oleh PT Dirgantara Indonesia adalah *CASA 212-400* hasil pengembangan pesawat sebelumnya yaitu *CASA 212-200*. Dalam proses perakitan pesawat *CASA 212-400* diperlukan alat bantu yang digunakan untuk membawa *fuselage* pesawat terbang dari tempat *sub assy* ke *final assy*. Permasalahan yang dihadapi saat ini adalah belum adanya rancangan *trolley* yang dapat digunakan untuk proses manufakturnya, sehingga diperlukan suatu rancangan *trolley* yang mampu membawa *fuselage* pesawat *CASA 212-400* dengan massa sebesar 700kg. Melihat dari latar belakang yang telah diuraikan, maka penulis akan merancang sebuah alat bantu berupa *trolley* untuk memenuhi kebutuhan divisi *Aero Integration* untuk proses perakitan *CASA 212-400*.

Metoda perancangan *VDI 2222* digunakan penulis sebagai panduan menyelesaikan konsep rancangan *trolley* ini. Konsep *black box* dan sistem modul dibuat untuk mendapatkan konstruksi *trolley* terbaik. Dari setiap sub sistem dibuat alternatif konstruksi kemudian dikelompokkan menjadi tiga variasi konsep. Ketiga variasi konsep ini dinilai berdasarkan aspek penilaian yang telah penulis tentukan. Variasi konsep yang terpilih adalah variasi konsep *trolley* dengan rangka yang dibangun dari pengelasan baja profil, sistem pelokasian *fuselage* ditumpu dengan menggunakan beberapa segmen, sistem pengikatan menggunakan sabuk (komponen standar), serta roda penggerak *trolley* menggunakan *automotif wheel*.

Komponen yang akan dilakukan proses analisis adalah rangka *trolley* dan poros roda, perhitungan manual dan analisis software dilakukan sehingga penulis dapat membandingkan hasilnya. Hasil dari kedua analisis tersebut menunjukkan bahwa *trolley* tersebut aman untuk digunakan. Perhitungan estimasi harga *tool* dibuat dengan menyajikan biaya komponen utama, komponen standar, pemesinan dan perakitan. Total dari masing-masing biaya tersebut yang akan menjadi gambaran ongkos produksi untuk pembuatan *trolley* di PT Dirgantara. Estimasi biaya yang perlu dikeluarkan oleh PT Dirgantara Indonesia adalah sebesar Rp19,287,400.00.

**Kata Kunci:** *fuselage*, *CASA 212-400*, *trolley*

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu jenis pesawat yang dibuat oleh PT Dirgantara Indonesia adalah *CASA 212-400* hasil pengembangan pesawat sebelumnya yaitu *CASA 212-200*. Dalam proses perakitan pesawat *CASA 212-400* diperlukan alat bantu yang digunakan untuk membawa *fuselage* pesawat terbang dari tempat *sub assy* ke *final assy*. Kondisi saat ini, proses pemindahan *fuselage* *CASA 212-400* masih menggunakan *trolley* untuk pesawat *C-295*, dimana tidak adanya lokator dan alat pencekam yang memastikan *fuselage* dapat dipindahkan dengan baik dan aman tanpa terjadinya cacat produk. Penggunaan *trolley* tersebut oleh PT Dirgantara Indonesia dianggap menghambat proses produksi dan beresiko terjadinya gagal produksi karena menggunakan alat bantu yang tidak sesuai dengan peruntukannya. Atas dasar kebutuhan alat bantu tersebut, bagian *Aero*

*Integration* meminta kepada *Production Engineering* untuk dibuatkan *trolley* yang mampu membawa *fuselage* *CASA 212-400* ketika proses perakitan.



Gambar 1.1 Pesawat *CASA 212-400*

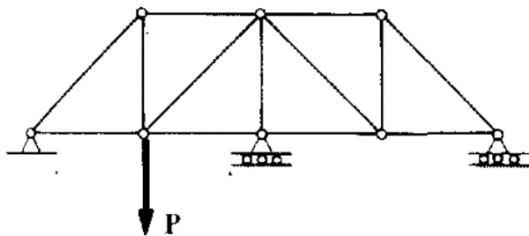
Dalam proses pembuatan *trolley* tersebut, *Production Engineering* bertanggung jawab mulai dari proses perancangan, analisis dan manufakturnya. Proses

perancangan dan analisis dilakukan di divisi *Tooling Engineering* melalui Departemen *GSE (General Support Equipment)* yang kemudian dilakukan proses pembuatannya di divisi *Tooling Manufacturing*. Permasalahan yang dihadapi saat ini adalah belum adanya rancangan *trolley* yang dapat digunakan untuk proses manufakturnya, sehingga diperlukan suatu rancangan *trolley* yang mampu membawa *fuselage* pesawat CASA 212-400 dengan massa sebesar 700kg.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Beban Terpusat

Apabila suatu beban bekerja pada area yang sangat kecil, maka beban tersebut dapat diidealisasikan sebagai beban terpusat, yang merupakan gaya tunggal. Beban ini dinyatakan dengan intensitasnya “P” yang mempunyai satuan gaya.



Gambar 2.1 Ilustrasi Beban Terpusat

### 2.2 Factor of Safety

*Factor of Safety* atau yang lebih sering kita kenal dengan *safety factor* merupakan faktor keamanan yang digunakan untuk menyediakan jaminan desain. Dalam desain konstruksi mesin, besarnya angka keamanan harus lebih besar dari 1 (satu).

$$\text{Factor of Safety } (n) = \frac{\text{Yield Strength } (\sigma_y)}{\text{Actual Strength } (\sigma_{\text{actual}})}$$

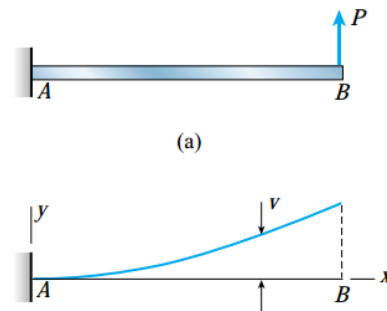
Faktor keamanan diberikan agar desain konstruksi dan komponen mesin mempunyai ketahanan terhadap beban yang diterima.

Faktor kewanaman/*Safety Factor* berdasarkan jenis pembebanan [8]:

- Pembebanan Statis: 1.25 – 2
- Pembebanan Dinamis : 2 – 3
- Pembebanan Kejut: 3 – 5

### 2.3 Defleksi

Defleksi merupakan perubahan bentuk pada balok dalam arah “y” akibat adanya pembebanan vertical yang diberikan kepada balok atau batang. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi.



Gambar 2.2 Ilustrasi defleksi pada batang

### 2.4 Teori *Finite Element Analysis (FEA)*

(Radhakrishnan, P; Subramanyan, S; Raju, V.;, 2008, p. 189) [3]

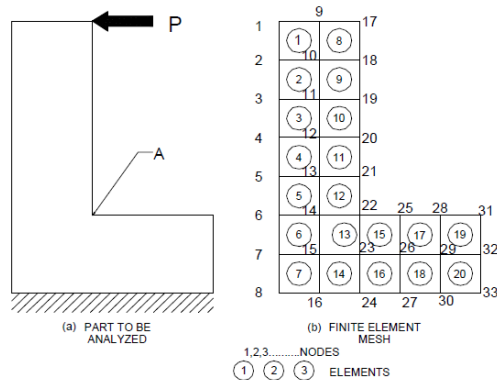
Pendekatan tradisional untuk merancang analisis melibatkan penerapan klasik atau teknik analitis. Pendekatan ini memiliki keterbatasan berikut :

- Tegangan dan regangan yang diperoleh hanya pada tingkat makro. Hal ini dapat mengakibatkan penyebaran material yang tidak sesuai. Informasi tingkat mikro penting untuk untuk mengalokasikan penyebaran material
- Informasi yang memadai tidak akan tersedia pada tegang kritis pada bagian pada komponen.
- Perlu untuk membuat beberapa penyederhanaan dan asumsi untuk merancang komponen yang kompleks dan sistem. Jika analisis rancangan dilakukan dengan cara konvensional.
- Desain manual memakan waktu dan rentan terjadi kesalahan
- Optimasi rancangan membosankan dan memakan waktu

FEA merupakan alat yang memudahkan untuk analisis struktur sederhana dan kompleks. analisis elemen hingga tidak terbatas pada sistem teknik mesin saja. FEA dapat diaplikasikan secara luas di bidang teknik listrik, teknik elektronika, elektro mikro, sistem mekanik, biomedis rekayasa dll. Pada dunia manufaktur, FEA digunakan dalam simulasi dan optimalisasi proses manufaktur seperti pengecoran, permesinan, molding, *forging*, *forming*, *heat treatment*, pengelasan dan lain sebagainya. Permasalahan struktur, *dynamic*, *thermal*, *magnetic potencial*, dan aliran fluida dapat ditangani dengan mudah dan akurat dengan FEA.

Metode elemen hingga merupakan prosedur numeric. Metode ini melibatkan pemodelan struktur menggunakan sejumlah elemen kecil yang saling berhubungan. Contoh dengan mempertimbangkan sebuah plat 2D yang diberikan gaya P. Struktur plat 2D tersebut dibagi menjadi 20 elemen dan 33 nodal yang dilustrasikan pada gambar 2.6

Nodal dalam hal ini adalah titik sudut dari setiap elemen persegi empat. Nodal dari nomor 1 sampai 33, masing-masing dibentuk oleh elemen persegi. Solusi didapatkan dengan perkiraan FEA. Akurasi pada solusi tergantung pada tipe elemen dan jumlah elemen yang digunakan. Sangat penting untuk memahami permasalahan fisik untuk menentukan elemen yang sesuai pada permasalahan yang diberikan.

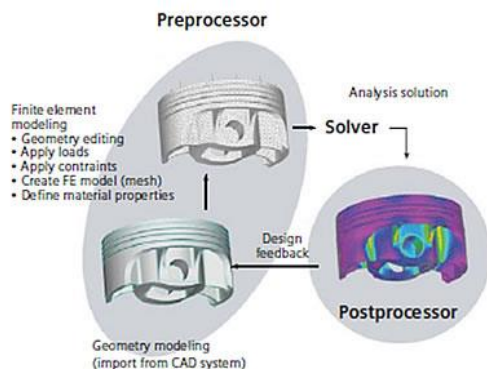


Gambar 2.3 Finite Element Modeling

### 2.4.1 Finite Element Modeling

(Lee, 1999, p.230) [4]

Secara garis besar kegiatan pada *finite element modeling* terdiri dari *pre-processor*, *solving* dan *post-processor*. Kegiatan pada *finite element modeling* kegiatan yang dilakukan adalah pembuatan model geometri, *meshing*, menentukan kondisi batas dan beban, menentukan properti material, dan menentukan tipe analisis. Pada tahapan *solving* dilakukan analisis solusi yang ditampilkan pada tahap *post-processor*.

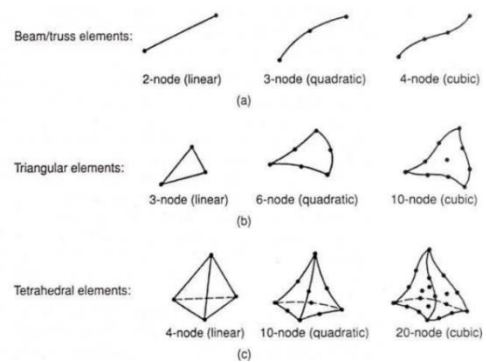


Gambar 2.4 Ilustrasi kegiatan finite element modeling

### 2.4.2 Mesh Generation

(Budynas–Nisbett, 2006, p. 938) [5]

Jaringan elemen dan nodal yang membagi model menjadi elemen kecil disebut sebagai mesh.



Gambar 2.8 Ilustrasi tipe elemen (a) satu dimensi, (b) dua dimensi, (c) tiga dimensi (Lee, 1999, p. 232)

Kerapatan mesh meningkat sebagai elemen lainnya ditempatkan dalam suatu wilayah tertentu. perbaikan mesh adalah ketika mesh dimodifikasi dari satu model analisis ke analisis selanjutnya untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Hasil umumnya menjadi lebih baik ketika kerapatan mesh meningkat pada daerah *stress gradien* yang tinggi atau ketika zona transisi geometris dibuat mesh yang hasil. Umumnya, tetapi tidak selalu, hasil FEA konvergen menuju hasil yang lebih tepat sebagaimana mesh terus diperbaiki. Untuk menilai perbaikan, di daerah di mana stress gradien yang tinggi muncul, mesh pada struktur dapat diperbaiki dengan kerapatan mesh yang lebih tinggi di lokasi ini. Jika ada perubahan dalam minimal dalam nilai maksimum tegangan merupakan . Ini merupakan anggapan wajar solusi telah konvergen.

## 3. PROSES PERANCANGAN

### 3.1 Merencana

Dalam bab ini akan diuraikan langkah-langkah yang dilakukan dalam penyelesaian konsep rancangan *trolley* untuk *fuselage CASA 212-400*. Metoda perancangan yang digunakan adalah metoda perancangan VDI 2222 (*Verien Deutsche Ingenieur/Persatuan Insinyur Jerman*).

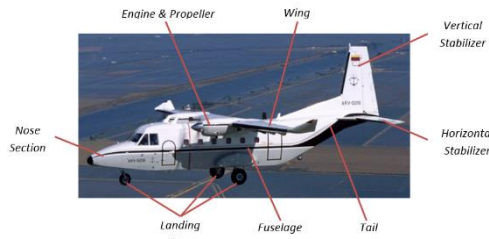
### 3.2 Metoda Perancangan

#### 3.2.1 Penugasan / Order

Penugasan atau *order* alat bantu *trolley* ini didapat dari divisi *Aero Integration* kepada divisi *Production Engineering*. *Production Engineering* bertanggung jawab mulai dari proses perancangan, analisis dan manufakturnya. Proses perancangan dan analisis dilakukan di sub-divisi *Tooling Engineering* melalui Departemen *GSE (General Support Equipment)* yang kemudian dilakukan proses pembuatannya di sub-divisi *Tooling Manufacturing*.

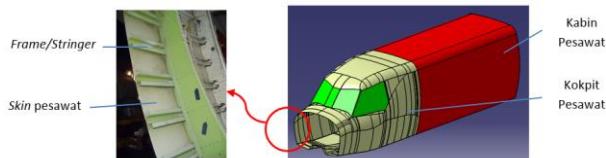
### 3.2.2 Identifikasi Produk

CASA 212-400 memiliki sayap yang tinggi, badan berbentuk kotak tidak sempurna dan ekor tradisional yang sering ditemukan pada pesawat-pesawat lain. Roda pendaratan menggunakan konfigurasi “roda tiga” yang tidak dapat dilipat. Pesawat ini memiliki kapasitas 21-28 tempat duduk tergantung dari konfigurasi dan kebutuhan. Mengingat kabin CASA 212-400 yang tidak bertekanan, maka penerbangan pesawat ini terbatas hanya 10000 kaki atau 3000m diatas permukaan laut.



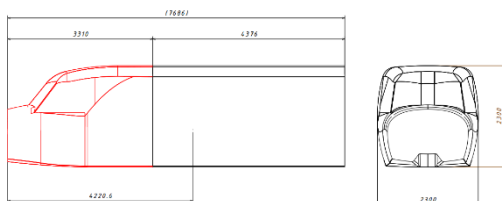
Gambar 3.1 Bagian-bagian utama CASA 212-400

Fuselage merupakan bagian dari CASA 212-400 yang akan dibuatkan alat bantu berupa trolley untuk keperluan perakitan. Fuselage CASA 212-400 terdiri dari dua bagian yang sambung, yaitu bagian kokpit dan kabin, dimana pada dasarnya struktur fuselage terdiri dari panel-panel sheet metal dan rangka/frame yang disusun dari profil-profil ekstrusi (stringer). Panel-panel sheet metal ini lebih dikenal dengan nama skin, dimana proses pembentukannya dengan stretch forming dan roll forming.



Gambar 3.2 Fuselage CASA 212-400

Ukuran terluar fuselage CASA 212-400 sekitar 2300X2300X7686 dan memiliki bobot total sebesar 700kg. Bagian kokpit memiliki bobot sebesar 213kg, sedangkan bagian kabin sebesar 487kg. Lokasi titik berat fuselage dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.3 Letak titik berat fuselage

### 3.2.3 Daftar Persyaratan

Daftar persyaratan dibuat untuk memaparkan hal-hal apa saja yang perlu dipenuhi oleh penulis ketika membuat konsep rancangan berdasarkan aspek-aspek yang telah

ditentukan. Berikut daftar persyaratan yang sudah penulis susun dalam sebuah tabel.

Tabel 3.1 Daftar Persyaratan

No.	Parameter	Kuantitas/Kualitas	Keterangan
1.	<b>Persyaratan Primer</b>		
	a. Dimensi trolley	Max. 1.2 X 3 X 8.5 (m <sup>3</sup> )	
	b. Kekuatan trolley	Max. 700kg	
	b. Proses manufaktur & assy	mudah	Proses pembuatan dan perakitan dilakukan di workshop PT Dirgantara Indonesia.
	c. Sumber tenaga penggerak trolley	1 unit mobil listrik	
2.	<b>Persyaratan Sekunder</b>		
	a. Jumlah operator	2 orang	
	b. Sistem pengoperasian	Mudah	Tidak memerlukan tenaga ahli
	c. Keamanan	Aman	
3.	<b>Persyaratan Tersier</b>		
	a. Biaya operasional	Relatif murah	
	b. Perawatan	Mudah	Perawatan berkala

### 3.1 Mengkonsep

#### 3.1.1 Pemilihan Sistem Mekanisme

Berdasarkan sumber tenaga penggerak, terdapat dua tipe trolley yang dapat digunakan untuk membawa fuselage CASA 212-400, yaitu:

**a. Trolley dengan sumber tenaga penggerak langsung**  
Trolley dengan sumber tenaga langsung dapat dikatakan seperti mobil pengangkut, dimana sumber tenaga penggerak, sistem kemudi dan tempat penyimpanan benda yang akan dibawa tersusun menjadi satu kesatuan.



Gambar 3.4 Trolley dengan sumber tenaga penggerak langsung

#### b. Trolley dengan sumber tenaga penggerak tidak langsung

Trolley tipe kedua ini memiliki sumber tenaga yang terpisah dari tempat penyimpanan benda yang akan dibawanya, sehingga trolley ini tidak dapat dikemudikan secara langsung. Trolley ini bekerja dengan cara ditarik atau didorong dengan alat yang memiliki sumber tenaga penggerak (mobil).



Gambar 3.5 Trolley dengan sumber tenaga penggerak tidak langsung

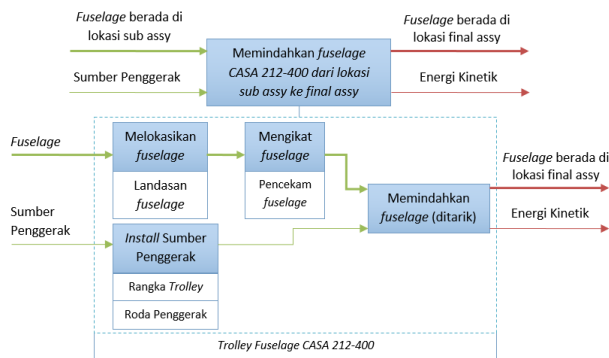
Tabel 3.2 Perbandingan jenis *trolley* berdasarkan sumber tenaga

No.	Parameter	Jenis Trolley	
		Sumber Tenaga Langsung	Sumber Tenaga Tidak Langsung
1	Biaya	lebih mahal	lebih murah
2	Proses Manufaktur	- terdapat elemen yang tidak dapat dibuat sendiri (harus beli) - rigid - perakitan mudah - elemen pendukung lebih sedikit	- dapat dibuat di workshop - rigid - perakitan kompleks - elemen pendukung lebih banyak sehingga perlu rancangan
3	Dimensi	ukuran standar pabrik	dapat disesuaikan dengan kebutuhan
4	Keamanan	aman	aman
5	Handling	tidak perlu tenaga ahli	tidak perlu tenaga ahli
6	Perawatan	mudah	mudah

Setelah melihat tabel perbandingan di atas, maka *trolley* dengan tipe sumber tenaga penggerak terpisah akan dikembangkan pada karya tulis ini. *Trolley* dengan tipe sumber tenaga penggerak terpisah ini dipilih karena dari segi biaya lebih murah dan proses manufaktur dapat dilakukan di PT Dirgantara Indonesia.

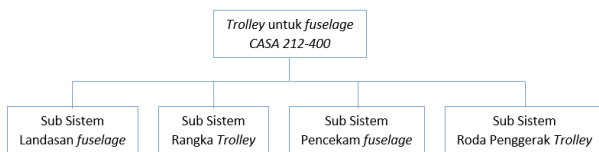
### 3.1.2 Pembagian Fungsi

Fungsi utama *trolley* ini adalah sebagai alat bantu untuk memindahkan *fuselage CASA 212-400* dari lokasi sub-assy ke final assy. Pada tahap ini akan dilakukan pembagian fungsi alat yang akan dirancang sebagai sarana untuk mencari alternatif dari masing-masing fungsi tersebut. Untuk mempermudah pembagian fungsi, penulis membuat bagan fungsi dalam konsep *Black Box*.



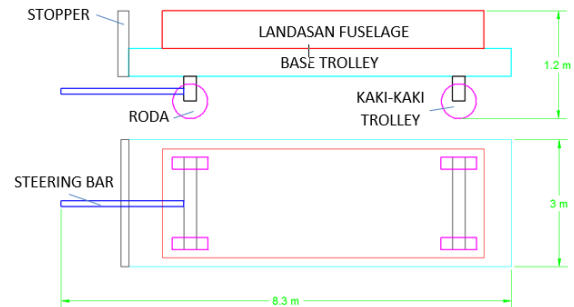
Gambar 3.6 Konsep *Black Box*

Selanjutnya dibuat struktur fungsi yang menunjukkan elemen-elemen fungsi penyusun alat tersebut dalam bentuk sistem modul.



Gambar 3.7 Sistem Modul

Untuk mempermudah dalam proses perancangan, maka penulis membuat skema rancangan yang dikembangkan dari konsep *black box* dan sistem modul. Skema rancangan inilah yang akan menjadi panduan dalam pemilihan alternative sub sistem. Berikut skema rancangan yang telah penulis buat:



Gambar 3.8 Skema rancangan

### 3.1.3 Pembuatan Alternatif Sub Sistem

#### a. Sub Sistem Rangka *Trolley*

Tabel 3.3 Alternatif sub sistem rangka *trolley*

A1	Alternatif 1	A2	Alternatif 2	A3	Alternatif 3
	Baja profil pengelasan	Baja pemesanan			Sheet Metal
	<b>Kelebihan</b>				
	• Mudah dikonstruksi	• Sangat rigid		• Bentuk artistic	• Konstruksi ringan
	• Konstruksi ringan	• Bentuk ergonomis		• Konstruksi ringan	
	<b>Kekurangan</b>				
	• Komponen banyak	• Biaya pembuatan mahal		• Pembuatan rumit	• Kurang rigid
		• Berat			


#### b. Sub Sistem Landasan *Fuselage*

Tabel 3.4 Alternatif sub sistem landasan *fuselage*

B1	Alternatif 1	B2	Alternatif 2	B3	Alternatif 3
	Segment	Full Contour			Point to Point
	<b>Kelebihan</b>				
	• Mudah dibuat	• Ketika pelokasian, hampir seluruh bagian fuselage terwakili		• Komponen sedikit	• Konstruksi ringan
	• Konstruksi ringan	• Setting lebih mudah			
	<b>Kekurangan</b>				
	• Komponen banyak	• Biaya pembuatan mahal		• Setting sulit	• Pelokasian kurang stabil
		• Berat			

**c. Sub Sistem Pencekam Fuselage**

Tabel 3.5 Alternatif sub sistem pencekam fuselage

C1	Alternatif 1	C2	Alternatif 2	C3	Alternatif 3
	<i>Toggle Clamp</i>		<i>Belt Clamp</i>		<i>Pneumatic</i>
					
<b>Kelebihan</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mudah diperoleh (komponen standar)</li> <li>Pemasangan mudah</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mudah diperoleh (komponen standar)</li> <li>Pencekaman lebih merata</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mudah diperoleh (komponen standar)</li> <li>Kekuatan pencekaman dapat diatur</li> </ul>	
<b>Kekurangan</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Kekuatan pencekaman sulit diatur</li> <li>Perlu dalam jumlah yang banyak</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Proses <i>clamping</i> lebih lama</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalasi rumit</li> <li>mahal</li> </ul>	

**d. Sub Sistem Roda Penggerak Trolley**

Tabel 3.6 Alternatif sub sistem roda penggerak trolley

D1	Alternatif 1	D2	Alternatif 2	D3	Alternatif 3
	<i>Normal Wheel</i>		<i>Wheel with Brake System</i>		<i>Wheel with Spring System</i>
					
<b>Kelebihan</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Murah</li> <li>Pemasangan mudah</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Pemasangan mudah</li> <li><i>Brake system</i> dapat mempermudah proses <i>unloading fuselage</i></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Pemasangan mudah</li> <li>Tahan getaran ketika proses pemindahan.</li> </ul>	
<b>Kekurangan</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Memerlukan <i>Jack Stabilizer</i> ketika proses <i>unloading fuselage</i></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mahal</li> <li>Sulit mencari ukuran yang besar.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mahal</li> <li>Memerlukan <i>Jack Stabilizer</i> ketika proses <i>unloading fuselage</i></li> </ul>	

**3.1.4 Pembuatan Variasi Konsep**

Tabel 3.7 Variasi konsep

No.	Struktur Modul	Alternatif		
		1	2	3
1	Rangka trolley	A1	A2	A3
2	Landasan fuselage	B1	B2	B3
3	Pencekam fuselage	C1	C2	C3
4	Roda penggerak trolley	D1	D2	D3
Variasi Konsep		VK1	VK2	VK3

**3.1.5 Penilaian Variasi Konsep**

Tabel 3.8 Penilaian variasi konsep menurut penulis

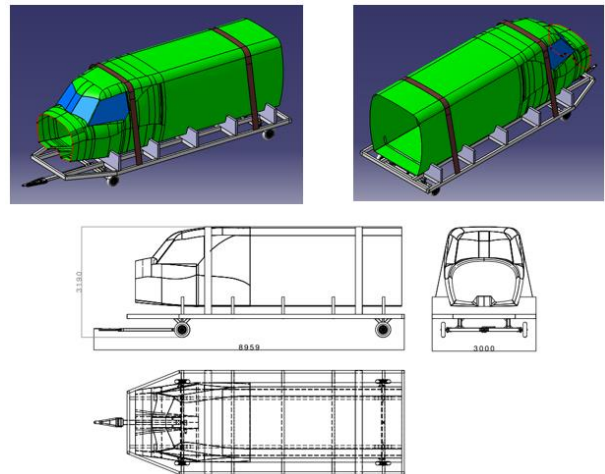
No.	Aspek Penilaian	Bobot (%)	Variasi Konsep			Nilai Ideal
			1	2	3	
1	Fungsi	30	4	4	3	4
2	Manufaktur	30	4	2	3	4
3	Perakitan	10	3	4	2	4
4	Perawatan	10	4	3	2	4
5	Biaya	20	3	1	4	4
Nilai total setelah pembobotan {(nilai x bobot)/100}			3,7	2,7	3	4
Persentase nilai total setelah pembobotan			92.5%	67.5%	75%	100%

**3.1.6 Penentuan Konsep Pemecahan**

Tahap selanjutnya adalah penentuan konsep pemecahan, dimana pada tahap sebelumnya yaitu penilaian variasi konsep nilai terbesar didapat oleh variasi konsep 1. Berdasarkan penilaian tersebut, maka konsep variasi 1

inilah yang akan dipilih dan selanjutnya akan dikembangkan pada tahap merancang,

**3.2 Merancang**

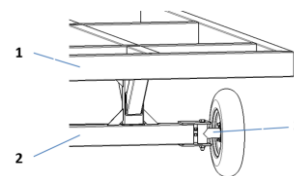


Gambar 3.9 Hasil Rancangan

**4. PERHITUNGAN DAN ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI**

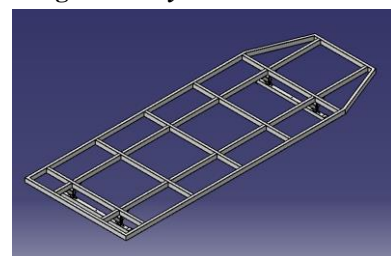
**4.1 Analisis Kekuatan Konstruksi**

Pada tahap ini, analisis kekuatan konstruksi dilakukan dengan menggunakan software (FEA (Finite Element Analysis) CATIA V5. Bagian trolley yang akan dianalisis kekuatannya hanya pada bagian kritis saja, seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 4.1 Bagian konstruksi yang akan dianalisis (1) Rangka Trolley (2) Batang Tumpuan (3) Tumpuan Roda

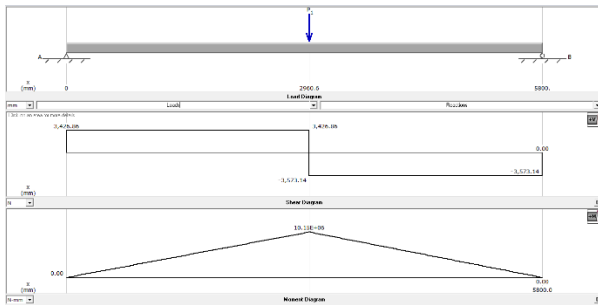
**4.1.1 Analisis Rangka Trolley**



Gambar 4.2 Rangka Trolley yang akan dianalisis

- ✚ Rectangulare Tube 75 X 125 tebal 3.2mm
- ✚ Material: DIN 1.0037/S235JR → Yield Strength = 235 [N/mm<sup>2</sup>] (Solidworks Materials Data Base)
- ✚ Gaya luar = 7000 [N]

## a. Perhitungan Manual



Gambar 4.3 Diagram batang rangka trolley

### ✦ Gaya pada tumpuan ( $\sum M = 0$ ; $\sum F = 0$ ; CW (+))

$$\sum M_A = 0 \text{ dimana } P = 7000 \text{ [N]}$$

$$(P \cdot (2960.6)) - (F_B \cdot 5800) = 0$$

$$(2960.6)(7000) = 5800F_B$$

$$20724200 = 5800F_B$$

$$F_B = 3573.14 \text{ [N]}$$

$$\sum F = 0$$

$$P - F_A - F_B = 0$$

$$7000 - F_A - 3573.14 = 0$$

$$F_A = 3426.86 \text{ [N]}$$

### ✦ Momen Bengkok Maksimum

$$M_{b_{\max}} = (F_A \cdot 2960.6)$$

$$M_{b_{\max}} = (3426.86)(2960.6)$$

$$M_{b_{\max}} = 10145561.72 \text{ [Nmm]}$$

### ✦ Tegangan Bengkok Maksimum

$$\sigma_{\text{Bengkok}} = \frac{M_B}{W_B \cdot n} = \frac{10145561.72}{(42725.72)(4)} = 59.36 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

### ✦ Defleksi Maksimum

$$\delta_{\text{Max}} = \frac{P \cdot b}{48 \cdot E \cdot I \cdot n} (3l^2 - 4b^2)$$

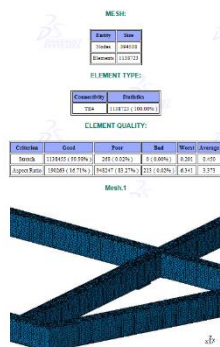
$$= \frac{(7000)(1039.4)}{(48)(2.1 \times 10^5)(2.8 \times 10^6)(4)} ((3(5800^2)) - (4(1039.4^2)))$$

$$= 6.2 \text{ [mm]}$$

Dari hasil perhitungan manual yang telah dilakukan didapatkan tegangan maksimum sebesar 59.36 N/mm<sup>2</sup>, defleksi batang 4.7mm dan factor keamanan 3.9 (Aman).

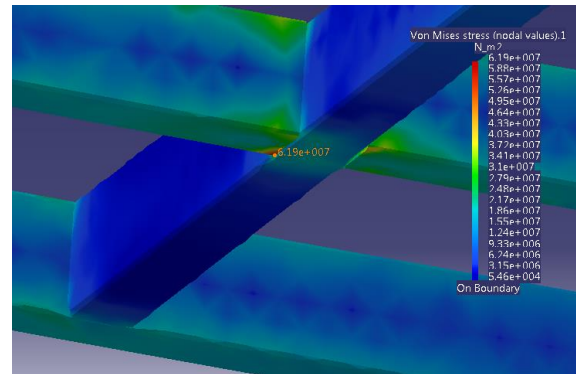
## b. Analisis Software

### 1. Pembuatan mesh



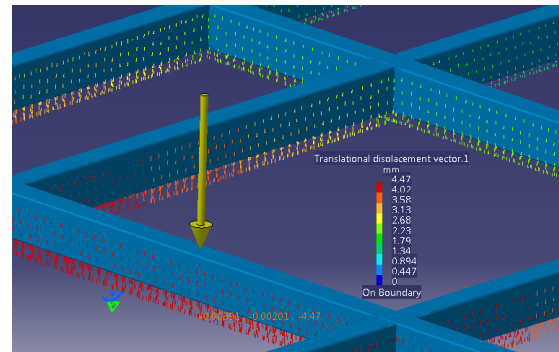
Gambar 4.4 Penentuan ukuran mesh pada rangka trolley

### 2. Tegangan Von Mises yang terjadi pada rangka trolley



Gambar 4.5 Von Mises Stress pada rangka trolley  
Tegangan Von Mises maksimum yang terjadi pada rangka trolley dapat dilihat pada gambar di atas, dimana indikasi warna merah menunjukkan nilai 61.9 N/mm<sup>2</sup>.

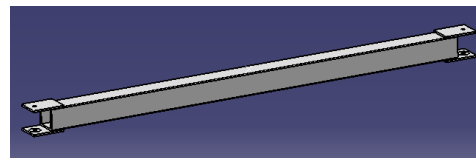
### 3. Defleksi yang terjadi pada rangka trolley



Gambar 4.6 Translational displacement pada rangka trolley

Setelah melakukan analisis terhadap rangka trolley dengan menggunakan software CATIA V5, maka didapatkan tegangan maksimum sebesar 61.9 N/mm<sup>2</sup> dan defleksi maksimum 4.47mm. Faktor keamanan yang didapat sebesar 3.8, maka dapat disimpulkan rangka trolley aman.

### 4.1.2 Analisis Batang Tumpuan



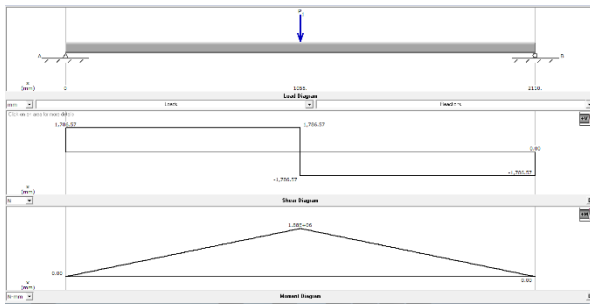
Gambar 4.7 Batang tumpuan yang akan dianalisis

#### ✦ Rectangulare Tube 100 X 100 tebal 3.2mm

✦ Material: DIN 1.0037/S235JR → Yield Strength = 235 [N/mm<sup>2</sup>] (Solidworks Materials Data Base)

✦ Gaya luar = 3573.14 [N]

## a. Perhitungan Manual



Gambar 4.10 Diagram batang rangka *trolley*

### ✦ Gaya pada tumpuan ( $\sum M = 0$ ; $\sum F = 0$ ; CW (+))

$$\sum M_A = 0 \quad \text{dimana} \quad P = 3573.14 \text{ [N]}$$

$$(P \cdot 1055) - (F_B \cdot 2110) = 0$$

$$(3573.14)(1055) = 2110F_B$$

$$3769662.7 = 2110F_B$$

$$F_B = 1786.57 \text{ [N]}$$

$$\sum F = 0$$

$$P - F_A - F_B = 0$$

$$3573.14 - F_A - 1786.57 = 0$$

$$F_A = 1786.57 \text{ [N]}$$

### ✦ Momen Bengkok Maksimum

$$M_{b_{\max}} = (F_A \cdot 1055)$$

$$M_{b_{\max}} = (1786.57)(1055)$$

$$M_{b_{\max}} = 1884831.35 \text{ [Nmm]}$$

### ✦ Tegangan Bengkok Maksimum

$$\sigma_{\text{Bengkok}} = \frac{M_B}{W_B \cdot n} = \frac{1884831.35}{(38742.63)(1)} = 48.65 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

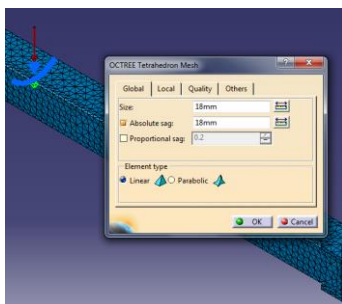
### ✦ Defleksi Maksimum

$$\begin{aligned} \delta_{\max} &= \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I \cdot n} \\ &= \frac{(3573.14)(2110^3)}{(48)(2.1 \times 10^5)(1.9 \times 10^6)(1)} \\ &= 1.75 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan manual yang telah dilakukan didapatkan tegangan maksimum sebesar 48.65 N/mm<sup>2</sup>, defleksi batang 1.75mm dan factor keamanan 4.8 (Aman).

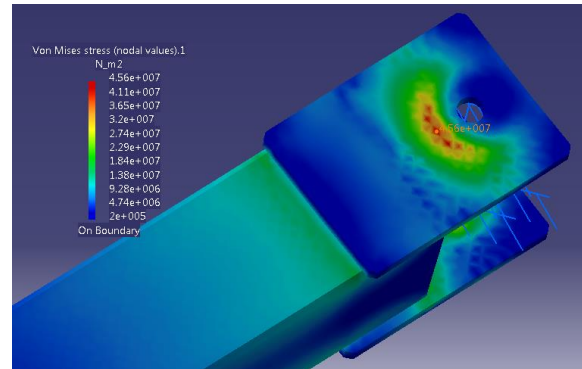
## b. Analisis Software

### 1. Pembuatan *mesh*



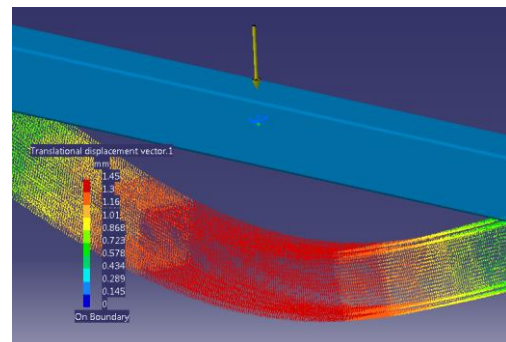
Gambar 4.8 Penentuan ukuran *mesh* pada batang tumpuan

### 2. Tegangan *Von Mises* yang terjadi pada batang tumpuan



Gambar 4.9 *Von Mises Stress* pada batang tumpuan. Tegangan *Von Mises* maksimum yang terjadi pada batang tumpuan dapat dilihat pada gambar di atas, dimana indikasi warna merah menunjukkan nilai 45.6 N/mm<sup>2</sup>.

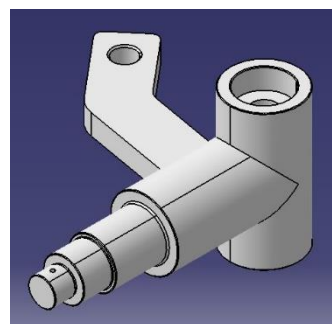
### 3. Defleksi yang terjadi pada batang tumpuan



Gambar 4.10 *Translational displacement* pada batang tumpuan

Setelah melakukan analisis terhadap batang tumpuan dengan menggunakan *software CATIA V5*, maka didapatkan tegangan maksimum sebesar 45.6 N/mm<sup>2</sup> dan defleksi maksimum 1.45mm. Faktor keamanan yang didapat sebesar 5.2, maka dapat disimpulkan batang tumpuan aman.

### 4.1.3 Analisis Tumpuan Roda



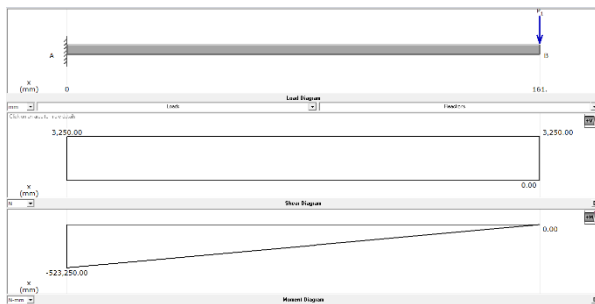
Gambar 4.11 Tumpuan Roda yang akan dianalisis



- Material: DIN 1.0070/E360 → *Yield Strength* = 360 [N/mm<sup>2</sup>]
- Gaya luar = 3250 [N] (Berat *fuselage* + berat *trolley*)

### a. Perhitungan Manual

Sebelum dilakukan proses analisis menggunakan metoda FEA, maka analisis perlu dibandingkan menggunakan metoda analisis manual. Perhitungan dilakukan menggunakan perhitungan tegangan *von mises*. Gaya (P1) yang terjadi pada batang sebesar 3250 N. Diagram benda bebas dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.12 Diagram batang tumpuan roda

$$\sigma_{Bengkok} = \frac{M_B}{W_B} = \frac{F \cdot l}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{(3250)(161)}{\frac{\pi \cdot 30^3}{32}} = \frac{523250}{2650.72} = 197.4 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\tau_{Geser} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \cdot r^2} = \frac{3250}{\pi \cdot 15^2} = \frac{3250}{706.86} = 4.6 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

### Maximum Principal Stress

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{Geser}^2}$$

$$\sigma_1 = \frac{197.4 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{197.4 - 0}{2}\right)^2 + 4.6^2}$$

$$\sigma_1 = 98.7 + 98.8$$

$$\sigma_1 = 197.5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

### Minimum Principal Stress

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{Geser}^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{197.4 + 0}{2} - \sqrt{\left(\frac{197.4 - 0}{2}\right)^2 + 4.6^2}$$

$$\sigma_2 = 98.7 - \sqrt{(98.7)^2 + 4.6^2}$$

$$\sigma_2 = 98.7 - 98.8$$

$$\sigma_2 = -0.1 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

### Von Mises Stress (Maximum Distortion Energy)

$$\sigma_{VM} \geq \sqrt{(\sigma_1)^2 + (\sigma_2)^2 - (\sigma_1 \cdot \sigma_2)}$$

$$\sigma_{VM} \geq \sqrt{(197.4)^2 + (-0.1)^2 - ((197.4)(-0.1))}$$

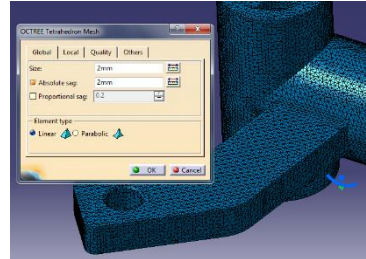
$$\sigma_{VM} \geq \sqrt{11315.64}$$

$$\sigma_{VM} \geq 197.45 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Dari hasil perhitungan manual yang telah dilakukan didapatkan tegangan maksimum sebesar 197.45 N/mm<sup>2</sup>, defleksi batang 4.7mm dan faktor keamanan 1.8 (Aman).

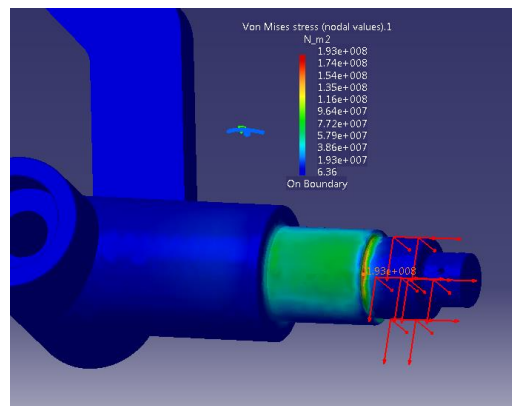
### b. Analisis Software

#### 1. Pembuatan mesh



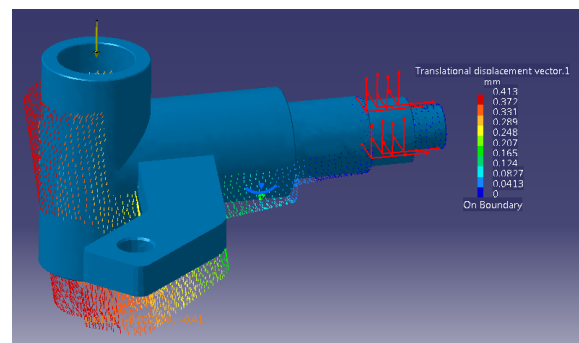
Gambar 4.13 Penentuan ukuran mesh pada tumpuan roda

#### 2. Tegangan Von Mises yang terjadi pada tumpuan roda



Gambar 4.21 *Von Mises Stress* pada tumpuan roda. Tegangan *Von Mises* maksimum yang terjadi pada batang tumpuan dapat dilihat pada gambar di atas, dimana indikasi warna merah menunjukkan nilai 193 N/mm<sup>2</sup>.

#### 3. Defleksi yang terjadi pada batang tumpuan



Gambar 4.14 *Translational displacement* pada poros roda

Setelah melakukan analisis terhadap batang tumpuan dengan menggunakan *software CATIA V5*, maka

didapatkan tegangan maksimum sebesar 193 N/mm<sup>2</sup> dan defleksi maksimum 0.41mm. Faktor keamanan yang didapat sebesar 1.9, maka dapat disimpulkan tumpun roda aman.

## 4.2 Optimasi

### 4.2.1 Optimasi Rangka Trolley

Proses optimasi dilakukan dengan mengubah ukuran batang struktur (*rectangular tube*) trolley yang mulanya memiliki ketebalan 3.2mm menjadi 2.3mm. Ketebalan batang tersebut menyesuaikan dengan standar *rectangular tube* yang ada di standar material.

#### a. Perhitungan Manual

##### ✚ Tegangan Bengkok Maksimum

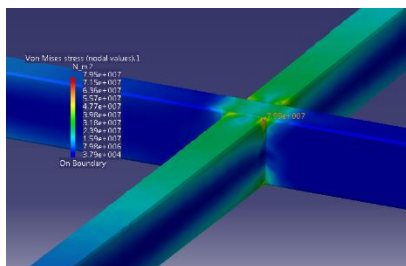
$$\sigma_{Bengkok} = \frac{M_B}{W_B \cdot n} = \frac{10145561.72}{(31483.57)(4)} = 80.56 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

##### ✚ Defleksi Maksimum

$$\begin{aligned} \delta_{Max} &= \frac{P \cdot b}{48 \cdot E \cdot I \cdot n} (3l^2 - 4b^2) \\ &= \frac{(7000)(1039.4)}{(48)(2.1 \times 10^5)(2 \times 10^6)(4)} ((3(5800^2)) - (4(1039.4^2))) \\ &= 8.7 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

#### b. Analisis Software

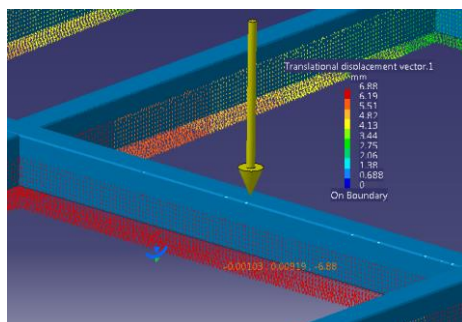
##### 1. Tegangan Von Mises yang terjadi pada rangka trolley



Gambar 4.15 Von Mises Stress pada rangka trolley (optimasi)

Tegangan Von Mises maksimum yang terjadi pada rangka trolley dapat dilihat pada gambar di atas, dimana indikasi warna merah menunjukkan nilai 79.5 N/mm<sup>2</sup>.

##### 2. Defleksi yang terjadi pada rangka trolley



Gambar 4.16 Translational displacement pada rangka trolley (optimasi)

Setelah melakukan optimasi terhadap rangka trolley dengan mengubah ketebalan material, maka didapatkan tegangan maksimum sebesar 79.5 N/mm<sup>2</sup> dan defleksi maksimum 6.88mm. Faktor keamanan yang didapat sebesar 3.

### 4.2.2 Optimasi Batang Tumpuan

Proses optimasi dilakukan dengan mengubah ukuran batang struktur (*square tube*) trolley yang mulanya memiliki ketebalan 3.2mm menjadi 2.3mm. Ketebalan batang tersebut menyesuaikan dengan standar *rectangular tube* yang ada di standar material.

#### a. Perhitungan Manual

##### ✚ Tegangan Bengkok Maksimum

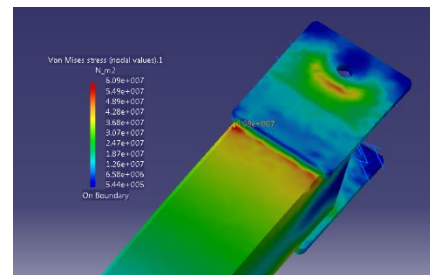
$$\sigma_{Bengkok} = \frac{M_B}{W_B \cdot n} = \frac{1884831.35}{(28614.81)(1)} = 65.86 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

##### ✚ Defleksi Maksimum

$$\begin{aligned} \delta_{Max} &= \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I \cdot n} \\ &= \frac{(3573.14)(2110^3)}{(48)(2.1 \times 10^5)(1.4 \times 10^6)(1)} \\ &= 2.37 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

#### b. Analisis Software

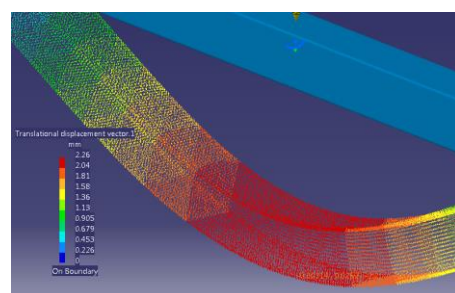
##### 1. Tegangan Von Mises yang terjadi pada batang tumpuan



Gambar 4.17 Von Mises Stress pada batang tumpuan (optimasi)

Tegangan Von Mises maksimum yang terjadi pada batang tumpuan dapat dilihat pada gambar di atas, dimana indikasi warna merah menunjukkan nilai 60.9 N/mm<sup>2</sup>.

##### 2. Defleksi yang terjadi pada batang tumpuan



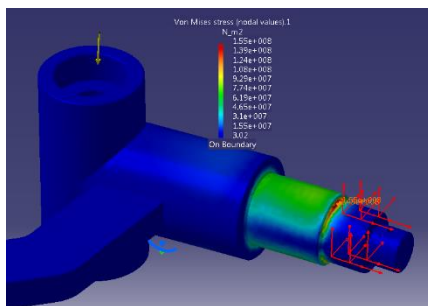
Gambar 4.18 Translational displacement pada batang tumpuan (optimasi)

Setelah melakukan optimasi terhadap batang tumpuan dengan mengubah ketebalan material, maka didapatkan tegangan maksimum sebesar  $60.9 \text{ N/mm}^2$  dan defleksi maksimum  $2.26 \text{ mm}$ . Faktor keamanan yang didapat sebesar  $3.9$ .

### 4.2.3 Optimasi Tumpuan Roda

Proses optimasi dilakukan dengan mengubah ukuran radius pada bagian poros berstep, dari  $0.5 \text{ mm}$  diperbesar menjadi  $1 \text{ mm}$ . Ukuran radius maksimum tidak boleh lebih besar dari ukuran radius tepi *bearing*.

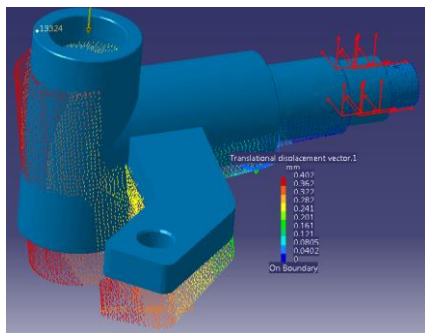
1. Tegangan *Von Mises* yang terjadi pada tumpuan roda



Gambar 4.27 *Von Mises Stress* pada tumpuan roda (optimasi)

Tegangan *Von Mises* maksimum yang terjadi pada batang tumpuan dapat dilihat pada gambar di atas, dimana indikasi warna merah menunjukkan nilai  $155 \text{ N/mm}^2$ .

2. Defleksi yang terjadi pada batang tumpuan



Gambar 4.28 *Translational displacement* pada tumpuan roda (optimasi)

Setelah dilakukan optimasi dengan memperbesar radius pada bagian yang kritis, maka dapat dilihat pada gambar tegangan *Von Mises* maksimum yang terjadi pada tumpuan roda berkurang menjadi  $155 \text{ N/mm}^2$ . Defleksi maksimum  $0.4 \text{ mm}$ . Faktor keamanan yang didapat sebesar  $2.3$ .

## 4.3 Tabel Hasil Analisis dan Optimasi

Tabel 4.1 Hasil Analisis dan Optimasi Kekuatan Konstruksi dengan Perhitungan Manual

No.	Nama Konstruksi	Geometry	Yield Strength [Mpa]	Actual Strength [Mpa]	Defleksi [mm]	Factor of Safety	Status
1	Rangka Trolley	Rectangular Tube (3.2X75X125)	235	59.36	6.2	3.9	AMAN
		Rectangular Tube (2.3X75X125)	235	80.56	8.7	2.9	AMAN (Optimasi)
2	Batang Tumpuan	Square Tube (3.2X100X100)	235	48.6	1.75	4.8	AMAN
		Square Tube (2.3X100X100)	235	65.86	2.37	3.6	AMAN (Optimasi)
3	Tumpuan Roda	ST. 10070 (R=0.5mm)	360	197.45	0.54	1.8	AMAN
		ST. 10070 (R=1mm)	360	155	0.4	2.3	AMAN (Optimasi)

Tabel 4.2 Hasil Analisis dan Optimasi Kekuatan Konstruksi dengan Software CATIA V5

No.	Nama Konstruksi	Geometry	Yield Strength [Mpa]	Actual Strength [Mpa]	Defleksi [mm]	Factor of Safety	Status
1	Rangka Trolley	Rectangular Tube (3.2X75X125)	235	61.9	4.47	3.8	AMAN
		Rectangular Tube (2.3X75X125)	235	79.5	6.88	3.0	AMAN (Optimasi)
2	Batang Tumpuan	Square Tube (3.2X100X100)	235	45.6	1.45	5.2	AMAN
		Square Tube (2.3X100X100)	235	60.9	2.26	3.9	AMAN (Optimasi)
3	Tumpuan Roda	ST. 10070 (R=0.5mm)	360	193	0.41	1.9	AMAN
		ST. 10070 (R=1mm)	360	155	0.4	2.3	AMAN (Optimasi)

## 4.4 Perhitungan Estimasi Harga Tool

Detail perhitungan waktu proses dan harga *tool* terdapat pada lampiran 3. Berikut estimasi harga *tool* yang akan dibuat :

Tabel 4.3 Estimasi harga *tool*

No.	Jenis Biaya	Estimasi Biaya
1	Biaya Komponen Utama	Rp13,322,400.00
2	Biaya Komponen Standar	Rp 3,479,000.00
3	Biaya Pemesinan	Rp 1,888,500.00
4	Biaya Perakitan	Rp 597,500.00
<b>Total Biaya Pembuatan Trolley</b>		<b>Rp19,287,400.00</b>

## 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan yang didapat dari perancangan dan analisis *trolley* untuk *fuselage* pesawat terbang *CASA 212-400* di PT Dirgantara Indonesia:

1. Konstruksi *trolley* untuk *fuselage CASA 212-400* ini dirancang sesuai dengan tuntutan yang diinginkan oleh pihak PT Dirgantara Indonesia. *Trolley* ini memiliki rangka utama yang dibuat dari baja profil dengan cara dilas, landasan *fuselage* dibuat dengan beberapa segmen/ribs dan dicekam dengan menggunakan sabuk kebagian badan *fuselage*.
2. Proses analisis konstruksi dilakukan dengan dua metode, yaitu perhitungan manual dan analisis software. Dari hasil perhitungan kedua metode tersebut didapatkan hasil bahwa *trolley* aman digunakan untuk membawa *fuselage CASA 212-400* yang berbobot  $700 \text{ kg}$ .

3. Estimasi harga *trolley* untuk *fuselage* pesawat terbang CASA 212-400 ini adalah Rp19,287,400.00

## 5.2 Saran

Dalam karya tulis ini penulis memberikan saran demi perbaikan konstruksi rancangan kearah yang lebih baik. Adapun sarannya adalah sebagai berikut:

1. Hasil rancangan *trolley* untuk *fuselage* CASA 212-400 ini dapat dikembangkan kedepannya sebagai *universal trolley*, dimana *trolley* tersebut dapat membawa *fuselage* pesawat lain yang sejenis.
2. Dalam proses analisis struktur *trolley* dapat menggunakan *software* CAE lain sebagai bahan perbandingan hasil analisis kekuatan.
3. Pemilihan material dan komponen standar sebaiknya menyesuaikan dengan stock material yang ada di PT Dirgantara Indonesia dengan harapan dapat mengurangi ongkos produksi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ruswandi, Ayi. *Metoda Perancangan 1*. Bandung: Politeknik Manufaktur Bandung.
- [2] James M. Gere, & Barry J. Godno. (2012). *Mechanics of Material: Brief Edition*. Global Engineering.
- [3] Radhakrishnan, P; Subramanyan, S; Raju, V;. (2008). *CAD/CAM/CIM*. New Delhi: New Age International.
- [4] Lee, K. (1999). *Principles CAD/CAM/CAE System*. Addison - Wesley.
- [5] Budynas–Nisbett. (2006). *Shigley's Mechanical Engineering Design: Eight Edition*. The McGraw Hill.
- [6] <http://www.indonesian-aerospace.com/view.php?m=product&t=aircraft-detil&id=4>
- [7] <http://www.ilmuterbang.com/artikel-mainmenu-29/teori-penerbangan-mainmenu-68/111-bab-1-struktur-pesawat-udara>
- [8] Dobrovolsky . V, *Machine Elements*, Foreign Languages Publishing House , Moscow 1988.