

## OPTIMALISASI STRUKTUR RANGKA BUS WISATA DENGAN ANALISA METODE ELEMEN HINGGA

Noor Eddy<sup>1</sup>; Muhammad Irfan Nofa<sup>2</sup>; A.C. Arya<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

<sup>2</sup> Alumni Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

Jl. Kyai Tapa No. 1 Grogol Jakarta Barat 11440

Email: nooreddy.mt@ gmail

### INTISARI

*Bus tingkat adalah sebagai sarana kepada turis lokal maupun mancanegara untuk menikmati suasana kota. Dalam perancangan sebuah struktur bodi bus, harus dipertimbangkan beban operasional maksimum yang dapat ditopang sebuah bus. Namun dalam praktiknya, kendaraan umum seperti bus tingkat seringkali digunakan untuk kegiatan-kegiatan kota yang mana pembebanan yang dialami bodi bus jauh lebih besar dari kapasitas operasional maksimumnya. Fenomena tersebut dinamakan beban penuh dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini dibahas mengenai optimasi rangka bus dengan permodelan CAD secara 3 dimensi, yang disimulasikan dengan pembebanan statis sehingga diperoleh hasil tegangan, defleksi maksimum beserta lokasinya dan faktor pengaman. Dengan memvariabelkan bentuk profil, batang penyusun rangka dan ketebalan batang, maka diperoleh bentuk rangka yang optimal untuk pembebanan penuh, yang mana rangka memiliki faktor pengaman tertinggi, yaitu rangka dengan clamp channel beam ukuran 50x100x5 dan clamp tube berdiameter 1.5 inci dengan tebal 3.5mm.*

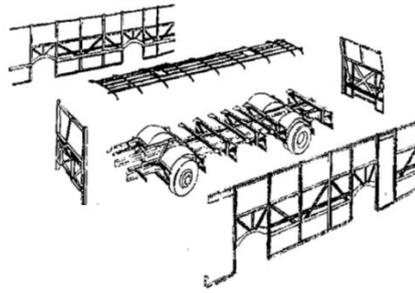
**Kata kunci:** *rangka bus, bus tingkat, rangka, stress analysis, defleksi maksimum, permodelan metode elemen hingga*

### 1. PENDAHULUAN

Dalam mendesain kendaraan, rangka utama kendaraan tersebut dirancang sedemikian rupa agar dapat menahan berbagai pembebanan yang terjadi ketika kendaraan dioperasikan, hal ini sangatlah penting agar umur / masa pakai kendaraan dapat tahan lama. Oleh karena itu diperlukan untuk menganalisa struktur utama dengan metode elemen hingga yang merupakan salah satu metode analisa dalam industri otomotif saat dalam proses desain [3].

Penelitian ini bertujuan antara lain untuk menghitung seberapa besar tegangan dan deformasi yang terjadi pada rangka utama Bus dengan pembebanan operasional. Menghitung seberapa besar tegangan dan deformasi yang terjadi pada rangka utama Bus dengan BUS dalam keadaan Penuh akan penumpang. Memetakan distribusi tegangan dan deformasi yang terjadi pada setiap simulasi. Mendapatkan nilai tegangan yang diizinkan dengan menganalisa kekuatan rangka dengan membandingkan tegangan luluh (*Yield Strength*) Material dengan faktor pengaman yang dirancang dalam pembuatan rangka bus ini. Memodifikasi rangka bus agar berstatus aman dengan pembebanan penuh.

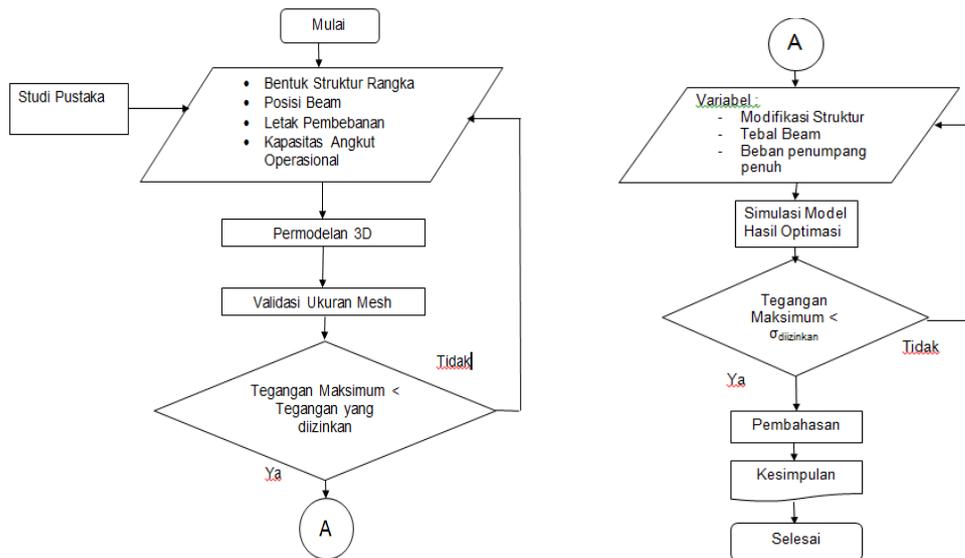
Bus tingkat sudah ada pada tahun 1829 di Perancis, namun pada masa tersebut belum ditemukan mesin dengan sistem pembakaran dalam (*internal combustion*), maka penggeraknya adalah kerbau ataupun kuda. Struktur bodi bus dibagi menjadi substruktur-substruktur agar mempermudah dalam merencanakan struktur bodi. Masing-masing substruktur mempunyai fungsi yang berbeda-beda.



Gambar 1. Struktur Bodi Bus secara umum

## 2. METODE PENELITIAN

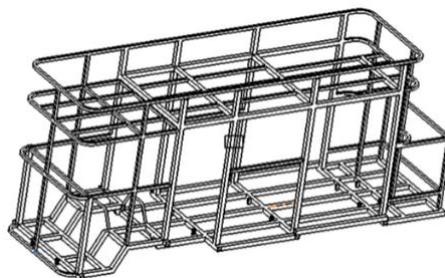
Metode yang digunakan dalam penelitian mengenai Optimasi Struktur Rangka Bus Tingkat metode analitis dengan bantuan Software simulasi berbasis metode elemen hingga.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Berbagai informasi mengenai Bus Tingkat yang meliputi desain struktur, pemilihan jenis beam, Kapasitas angkut penumpang maksimum yang dijadikan bahan penelitian ini dengan dipadukan dengan studi pustaka mengenai rangka struktur Bus, maka permodelan rangka yang tepat untuk kendaraan Bus Tingkat secara 3 dimensi dibuat.

Model Bus Tingkat disimulasikan dengan pembebanan statis. Hasil simulasi model rancangan awal kendaraan adalah diperolehnya besar dan letak tegangan, defleksi maksimum. Model rancangan rangka struktur tersebut dapat dikatakan aman apabila tegangan maksimum yang terjadi tidak melebihi batas tegangan yang diperbolehkan struktur itu sendiri. Permodelan CAD 3 Dimensi dilakukan dengan bantuan *software* Dassault System CATIA V5 R17.



Gambar 3. Rangka Bus Tingkat

**Tabel 1. Spesifikasi dimensi rangka Struktur Bus Tingkat**

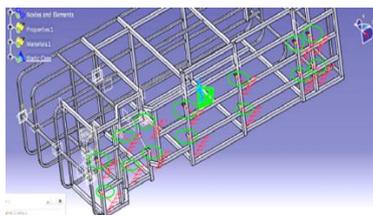
Spesifikasi	Dimensi
Panjang Total	7570.96mm
Lebar Total	2200mm
Tinggi Total	3269.97mm

Sebelum analisa dilakukan, perlu ditetapkan material yang digunakan sebagai rangka struktur. Semua beam penyusun rangka Bus Tingkat menggunakan material JIS 3101 Grade SS400.

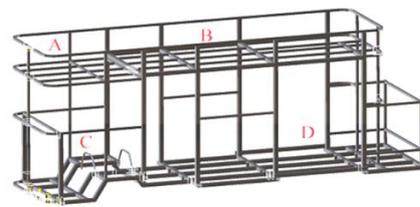
**Tabel 2. Sifat JIS 3101 Grade SS400**

Spesifikasi	Nilai
Yield Strength	$2.5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
Poison Ratio	0.266
Modulus Young	$2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
Kepadatan massa	$7860 \text{ kg/m}^3$

Pemberian batasan (*Clamp*) pada rangka diberikan pada lokasi tumpuan rangka struktur bodi kendaraan yang menempel pada chassis utama yang ditunjukkan pada gambar 4(a). Untuk kendaraan ini menggunakan chassis Hino MDBL 130 yang diperuntukan untuk karoseri bus.



(a)



(b)

**Gambar 4. (a) Batasan yang diberikan; (b) Pembagian Segmen yang ada di struktur rangka**

Terdapat 14 lokasi pemberian *clamp* yang diberikan pada rangka sebagaimana rangka menumpu di *chassis* utama kendaraan.

Pembebanan yang diberikan adalah pembebanan statis, dimana beban-beban ini berasal dari beban yang diasumsikan ketika bus digunakan untuk operasional sehari-hari dan kepentingan lain (dalam penelitian ini disebut beban penuh).

Dalam pemberian beban dibagi menjadi 4 segmen, 2 di bagian atap bus, 2 dibagian bawah bus. Beban yang diberikan berupa beban yang terdistribusi merata di setiap segmen seperti yang diilustrasikan seperti gambar 4(b).

**Tabel 3. Daftar Pembebanan operasional di Tiap Segmen**

Segmen	Jumlah Orang	$F_{\text{Total}} \text{ (N)}$
A	12	7063.2
B	23	13537.8
C	5	2943
D	12	7063.2

**Tabel 4. Daftar Pembebanan penuh di Tiap Segmen**

Segmen	Jumlah Orang	$F_{\text{Total}} \text{ (N)}$
A	20	11772
B	35	20601
C	5	2943
D	27	15892.2
BEBAN TOTAL		51208.2

Dalam menentukan faktor pengaman perlu memperhatikan aspek Material, toleransi, pengerjaan, korosi, dan ketahanan, karena akan sangat berpengaruh dalam menentukan faktor pengaman total, agar rancangan dapat kuat menahan beban yang akan dirancang.

Pemberian faktor pengaman didasarkan pada golongan II, dimana dalam pembuatan bus ini dikerjakan di pabrik menggunakan bahan yang cukup baik, serta mempunyai pemeriksaan produksi yang cukup sederhana.

**Tabel 5. Tabel Perencanaan Faktor Pengaman.**

Faktor Pengaman	Keterangan	Faktor Pengaman
$S_{Material}$	Sifat-sifat dari material cukup diketahui dari handbook atau data-data dari pabrik	1.1
$S_{Toleransi}$	Toleransi pada pengerjaan biasa saja	1.1
$S_{Kerja}$	Pada pengerjaan tidak terjadi perubahan struktur dan tidak menggunakan alat khusus pemeriksaan	1.2
$S_{Korosi}$	Bahan cukup menahan korosi terhadap Co2	1.1
$S_{Tahan}$	Ketahanan dari benda antara 92-98%	1.3
Faktor Pengaman Total		2.07

Penentuan tegangan yang diizinkan ditentukan dari besarnya tegangan lumer pada material dibagi dengan faktor pengaman yang dijadikan acuan pada perancangan agar tegangan maksimum yang dirancang dapat bernilai dibawah dari tegangan yang diizinkan.

$$\sigma_{diizinkan} = \frac{\sigma_y}{S} \quad (1)$$

$$\sigma_{diizinkan} = \frac{2.5 \times 10^8}{2.07} \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{diizinkan} = 1.20 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

Proses meshing merupakan proses pembacaan setiap elemen pada konstruksi yang sedang mengalami pengujian struktur. Besar kecilnya pembagian pembacaan struktur dalam proses meshing sangat menentukan kecepatan proses pengujian dan akurasi hasil pengujian. Maka diperlukan validasi software dengan membanding perhitungan teoritis agar hasil yang didapat akurat.

Ukuran *mesh* 20mm yang mempunyai hasil yang akurat, yang mana akan digunakan selanjutnya dalam penelitian ini.

Modifikasi terhadap rancangan rangka dilakukan dengan variabel tebal profil, penambahan crossmember dan penambahan titik *clamp* yang dilakukan optimasi secara bertahap. Upaya pencarian tegangan yang diizinkan yang dikategorikan aman dengan beban Penuh dilakukan dengan membandingkan tegangan yang diperbolehkan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Simulasi Rancangan Awal

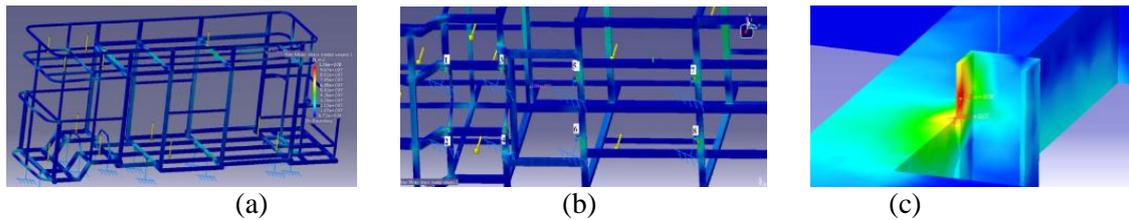
Rancangan awal adalah sebuah desain asli dari pabrik yang dianalisa terhadap pembebanan operasional dan penuh.

##### 3.1.1 Hasil Simulasi Beban Operasional

Pada simulasi rangka dengan beban operasional, jumlah nodal yang dihasilkan sebanyak 276181 dan jumlah elemen 834380.

- *Von Misses Stress*

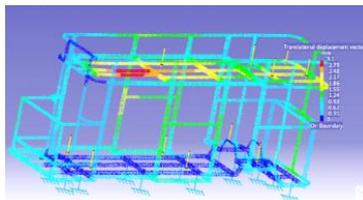
Tegangan *von mises* maksimum yang dialami rangka sebesar 1.06x10<sup>8</sup> N/m<sup>2</sup>. Hasil von mises stress yang dialami rangka ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. (a) Gambar hasil simulasi secara utuh. (b) Gambar struktur bagian bawah yang mengalami tegangan maksimum. (c) Lokasi tegangan maksimum yang terjadi.

- Defleksi

Untuk besar defleksi maksimum hasil simulasi pada struktur rangka dengan beban operasional, terjadi pada bagian tengah atap dari struktur, atau lebih spesifiknya di bagian kosong tempat ditempatkan tangga seperti yang dideskripsikan pada gambar 6. Besar defleksi maksimum di daerah tersebut adalah 3.1mm.



Gambar 6. Defleksi maksimum pada rancangan beban operasional

- Tegangan yang Diizinkan

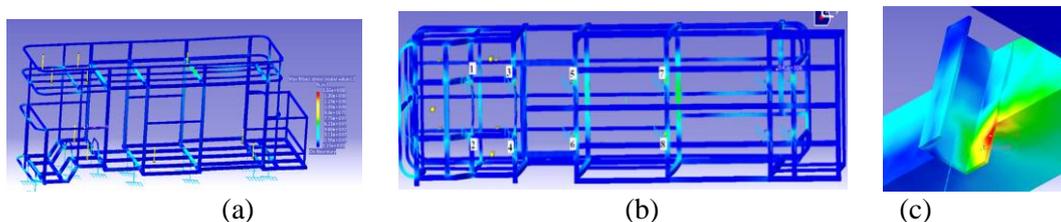
Nilai tegangan yang diizinkan adalah perbandingan antara nilai tegangan lumer material terhadap faktor pengaman yang diterapkan pada rancangan yaitu 2.07. Pada rancangan dengan pembebanan operasional, nilai tegangan maksimum adalah  $1.06 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ , sementara tegangan yang diizinkan adalah  $1.20 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ . Maka rangka struktur dengan beban operasional dapat dinyatakan aman.

### 3.1.2 Hasil Simulasi Beban Penuh

Pada simulasi rangka dengan beban penuh, jumlah nodal yang dihasilkan sebanyak 276181 dan jumlah elemen 834380.

- Von Mises

Tegangan *von mises* maksimum yang dialami rangka sebesar  $1.55 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ . Hasil von mises stress yang dialami rangka ditunjukkan pada gambar 7.

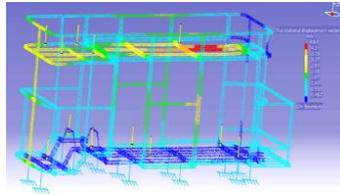


Gambar 7. (a) Gambar hasil simulasi secara utuh. (b) Gambar struktur bagian bawah yang mengalami tegangan maksimum. (c) Lokasi tegangan maksimum yang terjadi

- Defleksi

Untuk besar defleksi maksimum hasil simulasi pada struktur rangka dengan beban operasional, terjadi pada bagian tengah atap dari struktur, atau lebih spesifiknya di bagian kosong tempat ditempatkan tangga seperti yang dideskripsikan pada gambar 8. Besar defleksi maksimum di daerah tersebut adalah 4.67 mm.

- Tegangan yang diizinkan  
Pada rancangan dengan pembebanan penuh, nilai tegangan maksimum adalah  $1.55 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>, sementara tegangan yang diizinkan adalah  $1.20 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>. Maka rangka struktur dengan beban penuh dapat dinyatakan tidak aman.



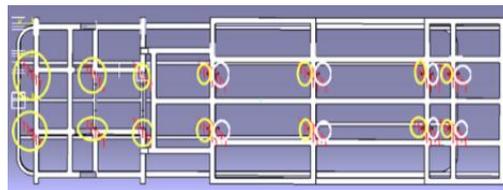
Gambar 8. Defleksi maksimum pada rancangan beban operasional.

### 3.2. Rancangan Modifikasi untuk Optimasi

Beberapa rancangan modifikasi dibuat karena pembebanan penuh dengan rangka desain awal tegangan maksimum yang terjadi adalah  $1.55 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>, maka *safety factor* yang dihasilkan 1.6161 dimana pada rancangan dengan pembebanan penuh, nilai tegangan maksimum adalah  $1.55 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>, sementara tegangan yang diizinkan adalah  $1.20 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>. Maka rangka struktur dengan beban penuh dapat dinyatakan tidak aman. Diharapkan rancangan modifikasi dapat mengurangi tegangan yang terjadi pada rangka.

#### 3.2.1 Modifikasi Rangka Optimasi 1

Dalam rangka optimasi 1, terdapat penambahan jumlah menjadi 22 buah yang sebelumnya terdapat 14 buah *clamp*. Diharapkan dengan penambahan jumlah *clamp* ini dapat mengurangi tegangan maksimum yang terjadi di rangka.



Gambar 9. Modifikasi Rangka Optimasi 1

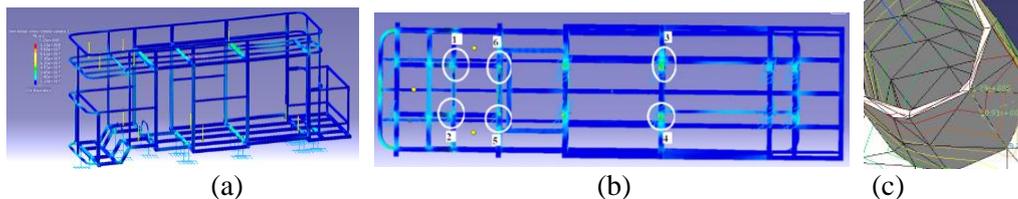
Seperti yang terlihat pada gambar 9, yang merupakan bagian bawah struktur rangka bus, *clamp* yang dilingkari lingkaran hijau adalah *clamp* yang terdapat pada desain awal. *Clamp* yang dilingkari lingkaran putih adalah penambahan yang dilakukan untuk modifikasi.

#### 3.2.2 Hasil Simulasi Optimasi 1

Dengan pengaplikasian beban penuh, jumlah nodal yang dihasilkan sebanyak 276181 dan jumlah elemen 834380.

- *Von Mises Stress*

Tegangan *von mises* maksimum yang dialami rangka sebesar  $1.23 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>. Hasil *von mises stress* yang dialami rangka ditunjukkan pada gambar 10.

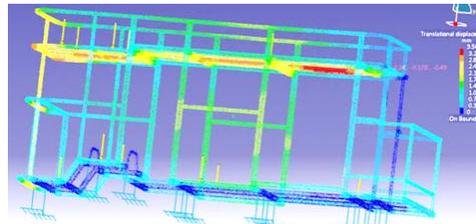


Gambar 10. (a) Gambar hasil simulasi secara utuh. (b) Gambar struktur bagian bawah yang mengalami tegangan maksimum. (c) Lokasi tegangan maksimum yang terjadi

Dapat terlihat pada gambar 10, tegangan maksimum yang terdapat pada titik 6 adalah  $1.23 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ . Tegangan terbesar yang dialami rangka terletak pada titik 6. Dengan nilai tegangan maksimum sebesar  $1.23 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ .

- Defleksi

Untuk besar defleksi maksimum hasil simulasi pada struktur rangka optimasi 1 dengan beban penuh, terjadi pada bagian tengah atap dari struktur, atau lebih spesifiknya di bagian kosong tempat ditematkannya tangga seperti yang dideskripsikan gambar 11. Besar defleksi maksimum di daerah tersebut adalah 3.56 mm.



Gambar 11. Defleksi maksimum pada rancangan modifikasi 1

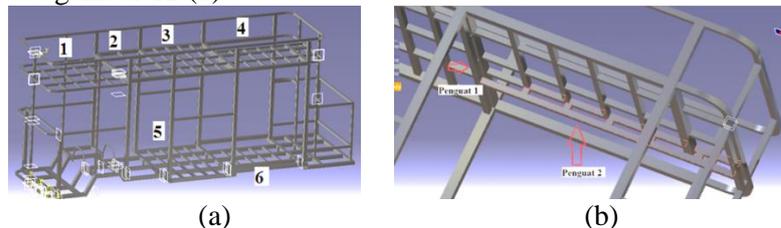
- Tegangan yang diizinkan

Besar nilai tegangan yang diizinkan adalah perbandingan antara nilai tegangan lumer material terhadap faktor pengaman yang diterapkan pada rancangan yaitu 2.07. Pada rancangan modifikasi 1, nilai tegangan maksimum adalah  $1.23 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ , sementara tegangan yang diizinkan adalah  $1.20 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ . Maka rangka struktur modifikasi 1 dengan beban penuh dapat dinyatakan tidak aman. Maka diperlukan lagi optimasi.

### 3.2.3 Modifikasi Rangka Optimasi 2

Dalam rangka optimasi 1, tegangan maksimum terjadi pada clamp titik. 6. Defleksi maksimum yang terletak pada segmen B seperti yang dijelaskan pada gambar 12. melihat kondisi tersebut, dalam optimasi 2, ditambahkan *cross-member* diseluruh bagian rangka seperti yang dideskripsikan pada gambar 12 (a).

Selain itu ada beberapa bagian penguat rangka yang diharapkan mengurangi defleksi dibagian titik 4. Batang penguat tersebut berukuran  $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 2\text{mm}$ . 2 titik penguat tersebut dideskripsikan pada gambar 12 (b).



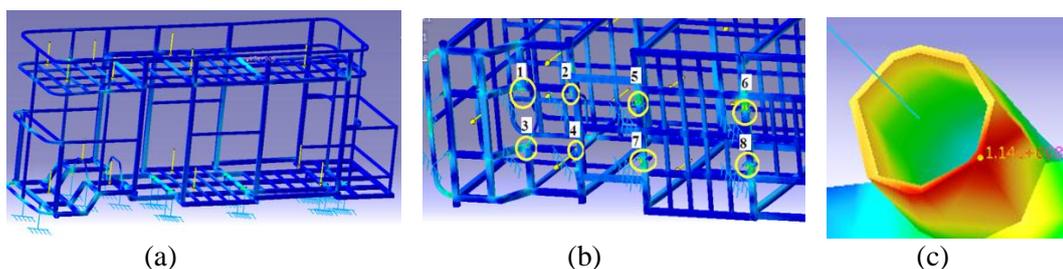
Gambar 12. (a) Modifikasi Rangka Optimasi 2 (b) Titik Penguat Pada Optimasi 2

### 3.2.4 Hasil Simulasi Optimasi 2

Dengan pengaplikasian beban penuh, jumlah nodal yang dihasilkan sebanyak 318986 dan jumlah elemen 967039.

- Von Mises Stress

Tegangan *von mises* maksimum yang dialami rangka sebesar  $1.14 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ . Hasil von mises stress yang dialami rangka ditunjukkan pada gambar 13.

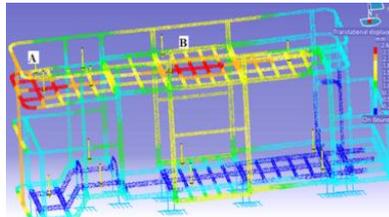


**Gambar 13. (a) Gambar hasil simulasi secara utuh. (b) Gambar struktur bagian bawah yang mengalami tegangan maksimum. (c) Lokasi tegangan maksimum yang terjadi**

Dapat terlihat pada gambar 13(c), tegangan maksimum yang terdapat pada titik 4 adalah  $1.14 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ .

- Defleksi

Untuk besar defleksi maksimum hasil simulasi pada struktur rangka optimasi 2 dengan beban penuh, terjadi pada bagian A dan B. Besar defleksi maksimum di daerah tersebut adalah 2.63 mm.



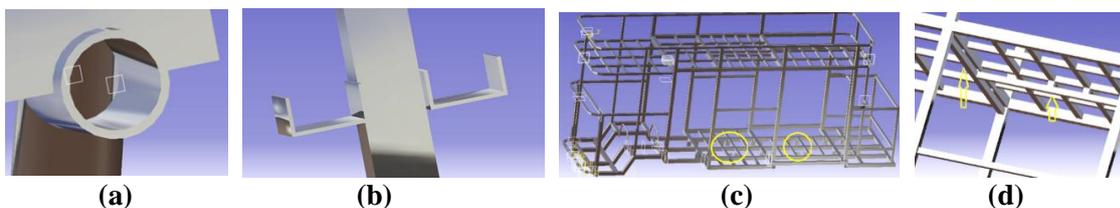
**Gambar 14. Defleksi maksimum pada rancangan beban penuh**

- Tegangan yang diizinkan

Besar nilai tegangan yang diizinkan adalah perbandingan antara nilai tegangan lumer material terhadap faktor pengaman yang diterapkan pada rancangan yaitu 2.07. Pada rancangan modifikasi 2, nilai tegangan maksimum adalah  $1.14 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ , sementara tegangan yang diizinkan adalah  $1.20 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ . Maka rangka struktur modifikasi 2 dengan beban penuh dapat dinyatakan tidak aman. Karena nilai tegangan maksimum yang terjadi masih dikatakan kritis karena mendekati tegangan yang diizinkan dengan nilai  $1.14 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ .

### 3.2.5 Modifikasi Rangka Optimasi 3

Pada simulasi rangka Optimasi 3 ini, hampir menyerupai optimasi 2, hanya saja yang membedakan adalah ukuran clamp yang diganti yang lebih besar yang sebelumnya adalah *U Channel Beam* 50x30x3.5 diganti menjadi lebih besar yaitu 100mmx50mmx5mm, *Circle beam* ukuran 1.5" dengan tebal 2mm diganti dengan tebal 3mm seperti pada gambar 15 (a) diambil dari lampiran H. Struktur rangka ditambahkan *clamp* menjadi 30 buah. 4 berada pada di celah kosong pada deck penumpang. 4 berada pada deck roda belakang seperti yang dideksripsikan pada gambar 15 (c) yang diberi lingkaran kuning. Juga pula menambahkan penguat pada bagian tengah atap seperti yang dideksripsikan pada gambar 15 (d). Karena melihat optimasi sebelumnya, tegangan maksimum berada dibagian clamp.



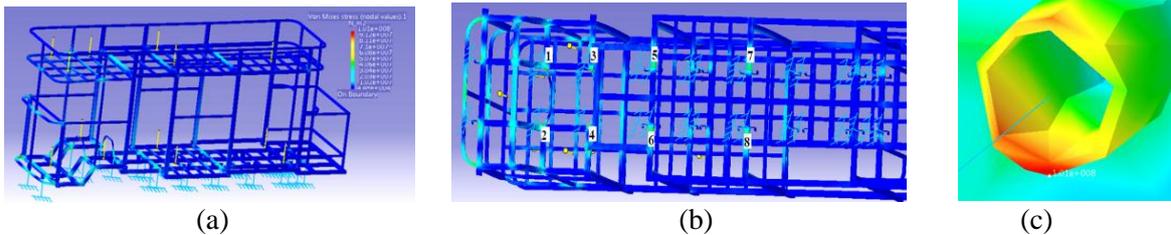
**Gambar 15 Penambahan Clamp pada Optimasi 3. (a) Profil Clamp Circle Hollow Beam (b) Profil U Channel Beam (c) Gambar 3D Struktur Rangka (d) Penambahan Penguat**

### 3.2.6 Hasil Simulasi Optimasi 3

Dengan pengaplikasian beban penuh, jumlah nodal yang dihasilkan sebanyak 325994 dan jumlah elemen 988662.

- Von Mises Stress

Tegangan *von mises* maksimum yang dialami rangka sebesar  $1.01 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ . Hasil *von mises stress* yang dialami rangka ditunjukkan pada gambar 16.

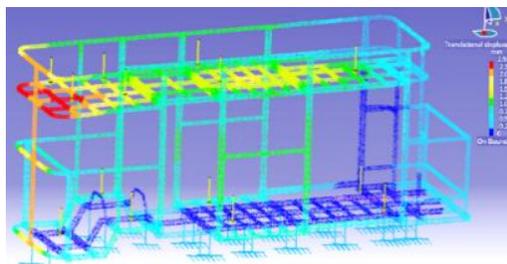


Gambar 16. (a) Gambar hasil simulasi secara utuh. (b) Gambar struktur bagian bawah yang mengalami tegangan maksimum. (c) Lokasi tegangan maksimum yang terjadi

Tegangan maksimum yang terdapat pada titik 2 adalah  $1.01 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup> dimana tegangan maksimum terjadi.

- **Defleksi**

Untuk besar defleksi maksimum hasil simulasi pada struktur rangka optimasi 3 dengan beban penuh, terjadi pada bagian deck atas bagian depan. Besar defleksi maksimum di daerah tersebut adalah 2.58 mm.



Gambar 17 Defleksi maksimum pada rancangan beban penuh

- **Tegangan Yang Diizinkan**

Besar nilai tegangan yang diizinkan adalah perbandingan antara nilai tegangan lumer material terhadap faktor pengaman yang diterapkan pada rancangan yaitu 2.07. Pada rancangan modifikasi 3, nilai tegangan maksimum adalah  $1.01 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>, sementara tegangan yang diizinkan adalah  $1.20 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>. Maka rangka struktur modifikasi 3 dengan beban penuh dapat dinyatakan aman.

### 3.3 Pembahasan

Rangka optimasi 3 adalah rangka yang paling optimal karena memiliki tegangan maksimum yang jauh dibawah tegangan yang diizinkan ( $1.20 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>) dibanding lainnya. Selain itu rangka optimasi 3 memiliki defleksi yang paling kecil diantara rangka lainnya.

**Tabel 7. Hasil Simulasi Seluruh Konsep Rancangan Rangka Struktur**

Rancangan	Von Misses Stress	Defleksi Maksimum	Status
Desain Pabrik	$1.55 \times 10^8$ N/m <sup>2</sup>	4.67 mm	Tidak Aman
Optimasi 1	$1.23 \times 10^8$ N/m <sup>2</sup>	3.56 mm	Tidak Aman
Optimasi 2	$1.14 \times 10^8$ N/m <sup>2</sup>	2.63 mm	Aman, namun kritis
Optimasi 3	$1.01 \times 10^8$ N/m <sup>2</sup>	2.58 mm	Aman

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan permodelan, analisa serta simulasi yang telah dilakukan pada berbagai konsep rancangan rangka, dapat diambil kesimpulan :

1. *Safety factor* yang dirancang yaitu 2.07.
2. Rangka desain pabrik masih aman terhadap beban operasional.
3. Rangka desain pabrik tidak aman terhadap beban penuh.
4. Dilakukan 5 permodelan rangka struktur bus dengan simulasi desain awal dengan beban operasional dan beban penuh.
5. Rangka optimasi 1, dimodifikasi dari rangka desain pabrik dari 14 clamp menjadi 22 clamp namun masih belum aman terhadap beban penuh.

6. Pada Optimasi 2, memodifikasi rangka struktur menjadi 30 clamp, menambah crossmember di seluruh struktur rangka dan menambahkan penguat di bagian segmen B, sudah aman terhaap beban penuh namun sangat kritis, dikhawatirkan mengalami kegagalan.
7. Pada Optimasi 3, memodifikasi optimasi 2 dengan mengubah bentuk clamp yang ada di seluruh struktur rangka. Perubahan tersebut meliputi mengubah *Circle Hollow Beam* ukuran 1.5” x3mm dan mengubah *U Channel Beam* ukuran 100mmx50mmx5mm. Rangka optimasi 3 sudah aman terhadap beban penuh.
8. Optimasi 3 dapat dijadikan acuan sebagai rancangan perbaikan struktur bus.  
Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini yaitu:
  1. Hasil simulasi statis ini dapat dilanjutkan dengan simulasi dinamis dan eksperimental.
  2. Rangka Optimasi 3 sebagai masukan untuk rancangan perbaikan dalam produksi bus selanjutnya.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Barlian, Nasution Interview 2014, “Asal-Muasal Bus Bandros”, Bandung
- David Ullman, 2003 “The Machine Design Process” U.S McGraw-hill
- Dinas Perhubungan, “PERATURAN DIREKTUR JENDERAL PERHUBUNGAN DARAT  
NOMOR : SK.2752/AJ.402/DRJD/2006 TENTANG PEDOMAN TEKNIS BUKU UJI,  
TANDA UJI BERKALA DAN TANDA SAMPING KENDARAAN BERMOTOR”
- Indra Tedjakumala, Dasar Perancangan Elemen Mesin, 2008.
- Julian Happian Smith, Ed., An Introduction to Modern Vehicle Design. Oxford,U.K.: Butterworth-Heinemann, 2002
- Lisiana Subianto “Double Decker Bus History”. 15 Oktober 2014.  
<http://sciencehistorylover.wordpress.com/2013/02/23/double-decker-bus-history/>
- Mercedes-Benz, AG, Body/Equipment mounting directives O405,O405G,O404, Stuttgart – Germany 1992
- Ronald Houston and Harold Joseph, Practical Stress Analysis in Engineering Design, 3rd ed. Boca Raton, U.S.: CRC Press 2009
- R.S Khurmi and J.K. Gupta, A Textbook of Machine Design. New Delhi: Eurasia Publishing House LTD.2006
- Popov, 1991 “strength of materials” 3rd ed. U.S McGraw-hill  
<http://bandung.go.id/images/download/> Data Kunjungan Wisatawan Yang Datang Ke Kota Bandung.