

# STUDI PERANCANGAN STRUKTUR RANGKA BUS MENGUNAKAN CAD/CAE

Hadi Saputra  
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri  
Institut Sains & Teknologi AKPRIND  
e-mail: [hadisaputra@live.com](mailto:hadisaputra@live.com)

## ABSTRACT

*Industry competition forced efficiency in all production process. Engineering is one relevant area to increase of efficiency, using Computer Aided Design (CAD) and Computer Aided Engineering (CAE) for designing new product are becoming as ultimate choice.*

*The aim of this research is to build an efficiency and more quality of bus structure frame. 3D model of this bus structure frame is using commercial application software CAD, and for simulating virtual loading in this bus structure frame is using commercial application software CAE. The Benefit of using CAD software is to build more robust, precision, efficient design, and reduce error in manufacture process. Simulation of static load, e.g. structure, seat, interior equipment, walling, passengers, and baggage weight on bus structure frame, are conducted using application commercial software CAE.*

*The bus structure frame design result, consist of 450 part, all integrated using welding joint, and simulation result by commercial application CAE software shows that, maximum Von Mises stress is  $6,290E02$ , and maximum displacement is  $0.04444\text{mm}$ .*

**Keywords:** Design, CAD, CAE, Structure, Automotive car, Bus

## INTISARI

Kompetisi di dunia industri yang ketat memaksa untuk ditingkatkannya efisiensi pada seluruh lini proses produksi. Area engineering merupakan salah satu lini yang relevan ditingkatkan efisiensinya, dengan memanfaatkan CAD dan CAE untuk perancangan produk baru dipercaya sebagai cara yang tepat.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang struktur rangka bus yang efisien dan lebih berkualitas. Pemodelan 3D struktur rangka bus ini, dilakukan dengan menggunakan software komersial CAD dan untuk mensimulasikan beban pada struktur rangka bus ini, menggunakan software komersial CAE. Keuntungan menggunakan software komersial CAD dan CAE, pada tahap perancangan karena dapat menghasilkan rancangan yang lebih cepat, akurat, dan dapat mencegah terjadinya kesalahan pada tahap manufaktur. Simulasi pembebanan yang terjadi pada struktur, diantaranya diakibatkan oleh berat struktur, komponen interior, dinding interior, peralatan interior, kursi, penumpang, dan bagasi, dilakukan dengan software komersial CAE.

Hasil perancangan struktur ini, terdiri dari 450 komponen, dan sambungan antar komponen mempergunakan sambungan las. Simulasi pembebanan pada struktur rangka bus ini, memberikan hasil, tegangan Von Mises maksimum yang terjadi adalah  $6.290E02\text{N}$  dan maksimum perpindahan (*displacement*) yang terjadi adalah  $0.04551\text{mm}$ .

**Kata Kunci :** Perencanaan, CAD, CAE, Struktur, Kendaraan otomotif, bus

## PENDAHULUAN

Bus merupakan alat transportasi yang menarik untuk dimanfaatkan pada moda transportasi darat, karena memiliki kemampuan untuk memindahkan orang maupun barang dalam jumlah besar, saat ini bus merupakan alat transportasi yang diyakini mampu mengatasi permasalahan transportasi massal, dan diharapkan mampu mengurangi kepadatan arus lalu lintas. Bus sebagai alat transportasi saat ini banyak dipergunakan oleh perusahaan-perusahaan

untuk keperluan antar jemput karyawan, baik untuk pengantaran usai kerja maupun penjemputan karyawan dari tempat tinggalnya. Lembaga pendidikan tertentu, juga memanfaatkannya sebagai sarana alat transportasi untuk penjemputan dan pengantaran siswa-siswinya dari tempat tinggal ke sekolah maupun sebaliknya. Kenyataan di lapangan kecelakaan lalu lintas yang melibatkan bus sering terjadi, diantaranya bus yang mengalami slip, terguling, bertabrakan

dengan kendaraan yang lain atau sesama bus, dan lain sebagainya. Hal ini merupakan tantangan tersendiri bagi perancang kendaraan ini, untuk menghasilkan bus yang mampu memberikan perlindungan bagi penumpangnya saat terjadi kecelakaan.

Persaingan di dunia industri yang ketat saat ini, mendorong perlunya efisiensi dan inovasi dalam proses produksi dengan tidak mengabaikan kualitas produk yang dihasilkan. Pemanfaatan teknologi modeling dengan CAD untuk perancangan, dan CAE untuk simulasi kinematika, dinamika, dan analisis struktur bus, merupakan hal yang tidak bisa dihindari saat ini.

Teknologi modeling menggunakan *Computer-Aided Design (CAD)* saat ini digunakan hampir di setiap industri. Teknologi ini memungkinkan *designer* mengeksplorasi beragam alternatif *design* produk. *Engineer* saat melakukan analisis kualitas komponen suatu produk, baik kualitas *fungsi* komponen dari sisi kinematika, dinamika, serta distribusi tegangannya, biasanya mempergunakan *Computer-Aided Engineering (CAE)*, (Kuang-Hua Chang, Sung-Hwan Joo, 2005).

Pemodelan 3D digunakan pada banyak aplikasi, diantaranya animasi, *computer game*, dan pemodelan komponen produk. CAD *software* umumnya menggunakan *NURBS* sebagai bentuk-bentuk dasar pemodelan 3D, agar dapat divisualisasikan dengan *graphic visualizer* tingkat rendah, seperti *OpenGL*. Sedangkan *animator* biasanya menggunakan *surface* karena sifatnya yang lebih fleksibel dan berkemampuan mencegah *gap*. *NURBS* merupakan cara standar untuk merepresentasikan *smooth surface*. Tetapi tetap perlu disadari bahwa *NURBS* memiliki masalah dengan *gab* sepanjang *boundary*-nya. (David Johnson, 2005).

Integrasi antara pemodelan 3D, *finite element*, dan *optimize design* produk dapat meningkatkan kecepatan proses perancangan, mengurangi terjadinya kesalahan saat proses manufaktur dan meningkatkan *performa* setiap komponen produk (A. Vadya, etc., 2005).

Sistem pemodelan 3D dengan CAD, *finite element analysis (FEA)* dan *design optimization (DO)* yang terintegrasi dianggap mampu meningkatkan *output* dan mengurangi kesalahan pada tahap *design*, serta mempermudah dalam *maintenance system software*-nya. (A. Vaidya\*, S. Yang† and J. St. Ville., 2005).

Integrasi antara *software CAD CATIA v5* dengan *HyperMesh* menggunakan *Microsoft excel* mampu mempercepat pembuatan *FE model*. Proses *Finite element modeling* dapat diselesaikan lebih cepat dengan *system* terintegrasi ini. Waktu yang dibutuhkan pada *finite element model assembly* dapat berkurang lebih dari 80% menggunakan teknik ini dibandingkan dengan metoda konvensional. (Rajiv, Ashokrao, Pimpale, 2008).

Perancangan struktur bus di industri karoseri *otomotif bus* saat ini memanfaatkan teknologi CAD sejak tahap konsep *design* hingga pembuatan *digital prototype*-nya. Pemanfaatan teknologi ini, memberikan andil yang besar pada sisi efisiensi yaitu dengan diterapkannya konsep *paperless technology*, meningkatnya akurasi saat pembuatan komponen produk, pemanfaatan kemampuan simulasi kinematika dan dinamika yang ada di CAD dapat dimanfaatkan untuk simulasi kemampuan fungsional 3D *model* produk.

Harapan yang ingin dicapai dengan memanfaatkan teknologi ini, dapat meminimalkan kesalahan dalam proses produksi komponen, proses *assembly*, serta dapat meningkatkan efisiensi biaya pembuatan produknya, sehingga mampu bersaing dengan produk sejenis yang dihasilkan pihak lain.

#### Tujuan dan batasan penelitian

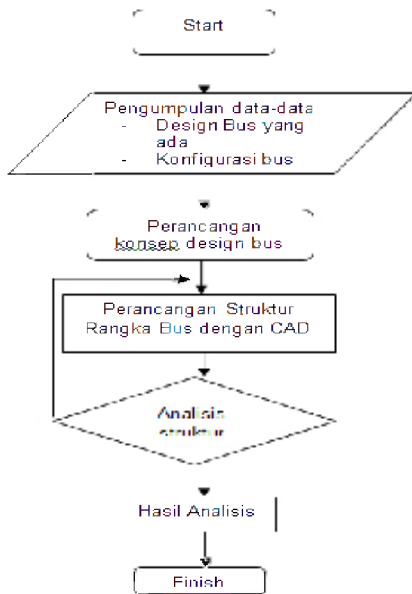
Memodelkan dan menganalisis struktur bus menggunakan metoda elemen hingga dengan batasan analisa dilakukan hanya pada *regime linier elastis*.

#### Alat yang digunakan

- PC intel dual core
- Software aplikasi komersial CAD
- Software aplikasi komersial CAE

#### Cara Penelitian

Flow Chart Penelitian



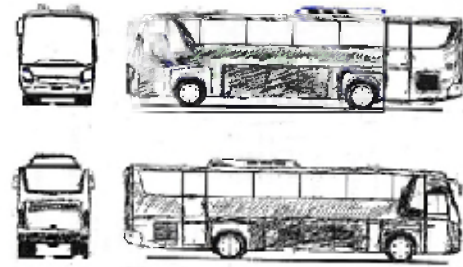
Gambar 1. Alur penelitian

Flow chart penelitian ini, meliputi :

1. Pengumpulan data-data
  - a. Design bus yang ada
  - b. Konfigurasi bus yang ada
2. Perancangan konsep design
3. Pemodelan struktur rangka bus
4. Pemilihan jenis material struktur
5. Pemodelan FEM rangka struktur
6. Penentuan jenis pembebanan
7. Analisa struktur rangka
8. Hasil analisa
9. Kesimpulan dan saran

Penelitian ini diawali dengan perancangan model struktur bus yang akan di analisis, untuk keperluan penelitian ini struktur bus dirancang dengan berdasarkan konsep design bus, seperti yang terlihat pada gambar 2. Konsep design bus, data pengamatan bus yang ada di lapangan saat ini, data dari perusahaan karoseri bus, dan studi *literature*.

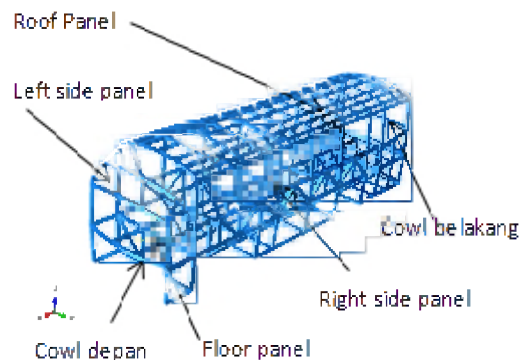
Pembuatan 3D CAD model untuk keperluan penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software aplikasi CAD*. Model CAD ini kemudian di analisis dengan mempergunakan *FEM software—Software aplikasi CAE*.



Gambar 2. Konsep design bus

Pemilihan material untuk konstruksi struktur bus inidilakukan secara bertahap, yaitu pemilihan bahannya berdasarkan data *literature* dan data dari perusahaan karoseri bus, berdasarkan data awal ini (seperti yang ditunjukkan pada tabel. 1), pemodelan struktur rangka dibuat. Bentuk dan dimensi struktur rangka bus ini direncanakan berdasarkan ukuran *chassis* yang akan di gunakan, pada penelitian ini direncanakan menggunakan *chassis OH1526*, serta rencana jumlah penumpang dan bagasi yang mampu di angkut kendaraan ini adalah 40 tempat duduk dan bagasi tiap penumpang direncanakan maksimum 10 kg.

Tahap berikutnya dilakukan pemodelan dengan menggunakan *software aplikasi CAD* (Gambar 3. 3D Model Struktur Rangka Bus).



Gambar 3. 3D Model Struktur Rangka Bus

Konfigurasi struktur bus ini terdiri dari 6 bagian utama (*sub assy*) yaitu, *cowl* depan, *cowl* belakang, *left hand side panel*, *right hand side panel*, *roof panel*, dan *floor panel* keseluruhannya terdiri dari 450 komponen. Konfigurasi design struktur bus ini dapat dilihat pada gambar 3 (3D Model Struktur Rangka Bus). Material yang dipergunakan

untuk membuat struktur bus ini direncanakan terdiri dari profil *square tube steel (st60)* dengan dimensi 80x80x3 mm, dan 100x80x3 mm.

Proses integrasi tiap komponen dilakukan pada setiap *sub assembly* dengan menggunakan sambungan las. *Sub assembly-sub assembly* kemudian saling disambungkan sehingga terbentuk struktur rangka bus seperti gambar 3.

Tabel 1. Sifat-sifat Material yang digunakan

Material	Steel (st 60)
Density	7770 kg/m <sup>3</sup>
Poisson's Ratio	0.295
Modulus of Elasticity	208 x 10 <sup>9</sup>

Struktur rangka bus ini diharapkan mampu menahan beban penumpang maksimum 40 penumpang, beserta bagasi masing-masing 10 kg, beban komponen-komponen *interior* yang ada di dalam bus, diantaranya kursi, *interior walling*, *floor walling*, kaca samping, komponen-komponen elektronik, serta asumsi bila ada penumpang yang berdiri dan berpegangan pada *hand grip* yang ada pada *sub assembly roof*. Beban pada struktur secara detail dapat dilihat pada table 2 dan 3.

Tabel 2. Beban pada *roof* struktur rangka bus

Total penumpang yang menarik hand rail	40	
Beban tiap orang	300	N
beban total	12000	N

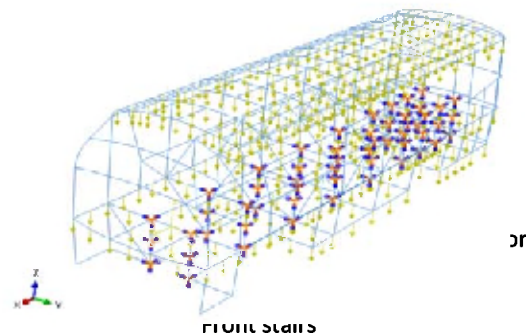
Tabel 3. Beban pada *Floor* struktur rangka bus

<i>Front Stairs</i>	Total penumpang	4	
	Beban per penumpang	700	N
	Total Beban	1400	N
<i>Middle Stairs</i>	Total penumpang	8	
	Beban per penumpang	700	N
	Total Beban	5600	N

<i>Middle Floor</i>	Total penumpang	28	
	Beban per penumpang	700	N
	Total Beban	19600	N

Tempat duduk	Total penumpang	40	
	Beban per penumpang	300	N
	Total Beban	12000	N

Pemodelan *Finite Element Method* Struktur Rangka Bus ini memiliki kerumitan tersendiri, karena bentuk struktur rangkanya tidak simetris, sehingga tidak memungkinkan untuk disederhanakan, menjadi separuh bagian ataupun seperempat bagian, yang mengikuti kaidah penyederhanaan perhitungan dengan metode elemen hingga. Bentuk *finite element* model rangka struktur bus ini dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. *Finite Element* Model Rangka Struktur Bus

Pemodelan *finite element methods* struktur rangka bus ini menggunakan *beam element*. Penggunaan jenis elemen ini karena, merupakan jenis elemen yang secara umum biasa dipergunakan dan efisien dalam menganalisis struktur rangka batang yang memiliki karakteristik *unidirectional*. Jenis elemen ini biasa dipergunakan untuk memodelkan *building skeleton* dan *automobile frame* ataupun struktur-struktur yang setipe. *Beam* elemen memiliki dua nodal dengan enam derajat kebebasan. Tiga derajat kebebasan yang pertama adalah *translasi* dan tiga derajat kebebasan yang kedua adalah *rotasi* sehingga untuk dua nodal terdapat 12 derajat kebebasan, seperti ditunjukkan pada



$$T_3 = \begin{bmatrix} l_x & m_x & n_x \\ l_y & m_y & n_y \\ l_z & m_z & n_z \end{bmatrix}$$

Dimana  $l_k, m_k, n_k$  ( $k= x, y, z$ ) adalah cosines arah yang didefinisikan oleh,

$$l_x = \cos(x, X), \quad m_x = \cos(x, Y), \\ n_x = \cos(x, Z)$$

$$l_y = \cos(y, X), \quad m_y = \cos(y, Y), \\ n_y = \cos(y, Z)$$

$$l_z = \cos(z, X), \quad m_z = \cos(z, Y), \\ n_z = \cos(z, Z)$$

Posisi Vektor  $V_1, V_2, V_3$  adalah

$$V_1 = X_1X + Y_1Y + Z_1Z$$

$$V_2 = X_2X + Y_2Y + Z_2Z$$

$$V_3 = X_3X + Y_3Y + Z_3Z$$

$X_k, Y_k, Z_k$  ( $k = 1, 2, 3$ ) adalah koordinat untuk nodal  $k$ ,

$$X_{kl} = X_k - X_l$$

$$Y_{kl} = Y_k - Y_l$$

$$Z_{kl} = Z_k - Z_l$$

$$V_2 - V_1 = X_{21}X + Y_{21}Y + Z_{21}Z$$

$$V_3 - V_1 = X_{31}X + Y_{31}Y + Z_{31}Z$$

Panjang dari beam elemen ( $l_e$ )

$$l_e = 2a = |V_2 - V_1| = \sqrt{X_{21}^2 + Y_{21}^2 + Z_{21}^2}$$

Vektor satuan sepanjang sumbu x dapat dinyatakan dengan,

$$X = \frac{(V_2 - V_1)_x}{|V_2 - V_1|} = \frac{X_{21}}{2a}X + \frac{Y_{21}}{2a}Y + \frac{Z_{21}}{2a}Z$$

Cosinus arah dalam arah sumbu x dinyatakan dengan,

$$\cos(x, X) = x \cdot X = \frac{X_{21}}{2a} \quad l_x =$$

$$m_x = \cos(x, Y) = x \cdot Y = \frac{Y_{21}}{2a}$$

$$n_x = \cos(x, Z) = x \cdot Z = \frac{Z_{21}}{2a}$$

Berdasarkan system koordinat globalarah dari sumbu z dapat didefinisikan dengan cross product dari vektor  $(V_2 - V_1)$  dan  $(V_3 - V_1)$ , Sehingga vektor satuan sepanjang sumbu z bisa dinyatakan sebagai,

$$Z =$$

$$\frac{(V_2 - V_1) \times (V_3 - V_1)}{|(V_2 - V_1) \times (V_3 - V_1)|}$$

$$Z = \frac{1}{2A_{123}} \{ (Y_{21}Z_{31} - Y_{31}Z_{21})X + (Z_{21}X_{31} - Z_{31}X_{21})Y + (X_{21}Y_{31} - X_{31}Y_{21})Z \}$$

$$A_{123} = \sqrt{(Y_{21}Z_{31} - Y_{31}Z_{21})^2 + (Z_{21}X_{31} - Z_{31}X_{21})^2 + (X_{21}Y_{31} - X_{31}Y_{21})^2}$$

Sehingga

$$l_z = z \cdot X = \frac{1}{2A_{123}} (Y_{21}Z_{31} - Y_{31}Z_{21})$$

$$m_z = z \cdot Y = \frac{1}{2A_{123}} (Z_{21}X_{31} - Z_{31}X_{21})$$

$$n_z = z \cdot Z = \frac{1}{2A_{123}} (X_{21}Y_{31} - X_{31}Y_{21})$$

Dan  $Y = Z \times X$  maka,

$$l_y = m_z n_x - n_z m_x$$

$$m_y = n_z l_x - l_z n_x$$

$$n_y = l_z m_x - m_z l_x$$

Dengan menggunakan transformasi matrix, T persamaan beam elemen di ruang dalam system koordinat global adalah (G.R. liu and S.S. Quek, 2003).

$$K_e = T^T K_e T$$

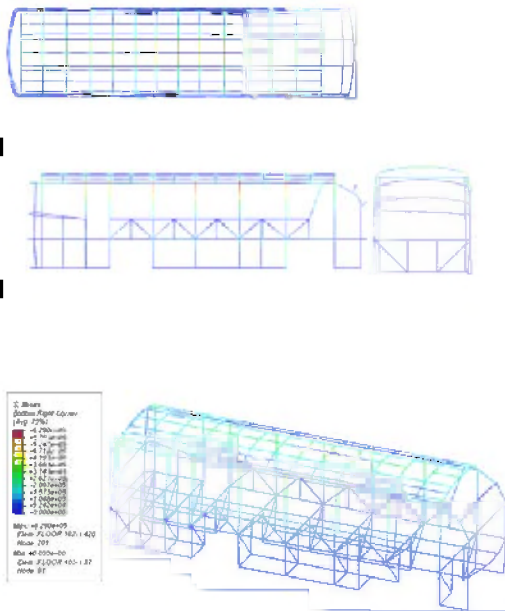
$$M_e = T^T m_e T$$

$$F_e = T^T f_e$$

Struktur rangka bus ini terikat dengan chasis OH 1526 menggunakan sambungan pengelasan seperti ditunjukkan pada gambar 3, sehingga tumpuan akibat sambungan las ini dapat dianggap sebagai tumpuan jepit. Pada pemodelan dengan method elemen hingga, tumpuan jepit ini dinyatakan sebagai  $x=y=z=R_x=R_y=R_z=0$  (Fixed).

## HASIL PENELITIAN

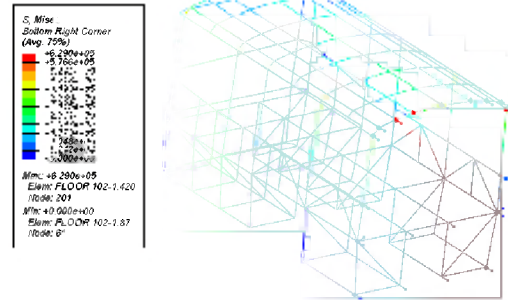
Berdasarkan hasil simulasi besar tegangan *Von Mises* yang terjadi adalah  $6.290E+05 \times 10^{-3}N = 6.290+02N$ , Berdasarkan data bahan struktur yang digunakan adalah ST 60, dengan tegangan *Yield stress*-nya 45KN. Berdasarkan *Huber-Von Mises-Hencky Theories (Distortion Energy Theory)*, struktur akan *failure* (gagal) bila  $\sigma_{yp} \leq \frac{1}{2} \sigma_{VM}$  (J.A. Collins, 1981) maka berdasarkan hasil simulasi dan data bahan yang dipergunakan, struktur rangka bus ini relative amansaat menerima beban yang ada, karena masih berada pada daerah *linier elastis*, sehingga *deformasi* yang terjadi merupakan *deformasi elastis*.



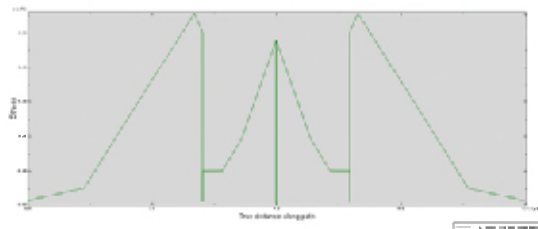
Pandangan *Isometric*

Gambar 6. Distribusi tegangan *Von Mises* hasil simulasi struktur rangka bus

Berdasarkan kontur distribusi tegangan seperti yang diperlihatkan pada gambar 6, daerah yang bertegangan tertinggi (berwarna merah) berada pada sambungan *roof panel* dan *right hand side* serta *left hand side panel*, hal ini mengindikasikan daerah ini memiliki kecenderungan untuk rusak terlebih dahulu bila struktur ini menerima beban yang berlebih.

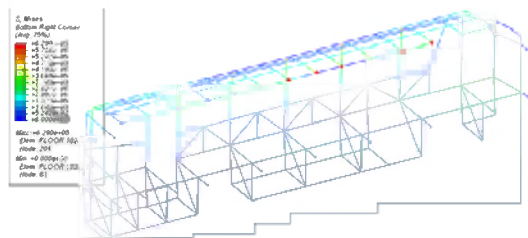


Gambar 7. Penampang melintang struktur Bus potongan I-I

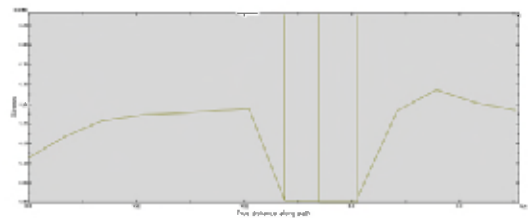


Gambar 8. Distribusi Tegangan *Von Mises* pada penampang I-I

Distribusi tegangan *Von Mises* pada penampang melintang rangka struktur bus seperti diperlihatkan pada gambar 8.

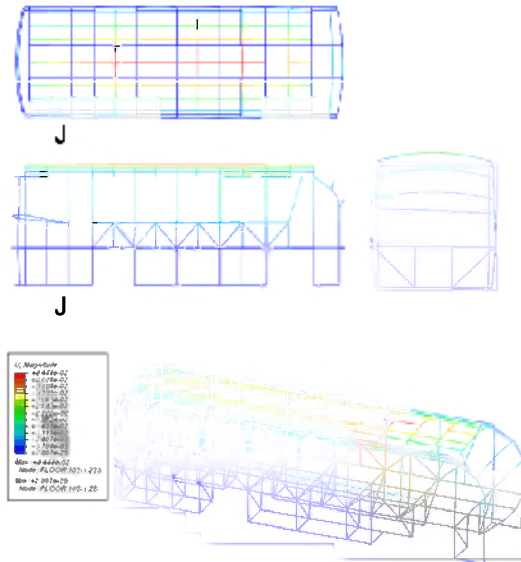


Gambar 9. Penampang longitudinal struktur Bus



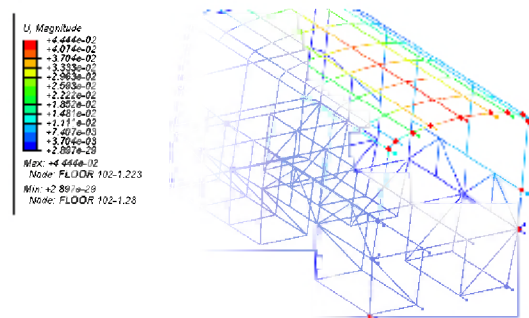
Gambar 10. Distribusi Tegangan *Von Mises* pada penampang longitudinal

Besar deformasi yang terjadi berdasarkan hasil simulasi adalah 0.04444mm, hal ini seperti di perlihatkan pada gambar 10. Berdasarkan distribusi *displacement* seperti yang terlihat pada

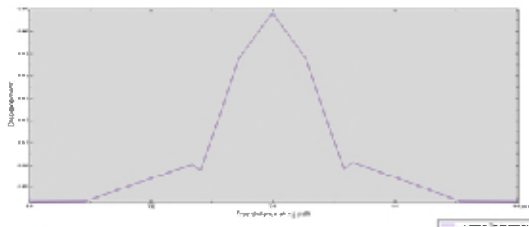


Gambar 11. Hasil simulasi deformasi elastis pada struktur rangka bus

Hasil simulasi menunjukkan *displacement* maksimum akan terjadi pada roof panel, bagian tengah dengan citra warna merah. Sedangkan distribusi *displacement* pada penampang melintangnya, dapat dilihat pada gambar 13, berikut ini.



Gambar 12. Penampang melintang rangka bus pada potongan J-J



Gambar 13. Distribusi *displacement* hasil simulasi pada penampang J-J struktur rangka bus

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil simulasi struktur rangka bus ini dapat diambil kesimpulan, sebagai berikut.

- Struktur rangka bus layak untuk di *manufaktur*.
- Daerah struktur yang lemah, sambungan antara *roof panel* dengan *side panel* sebaiknya di rancang ulang dengan menambahkan *stiffener*, untuk penguat.
- Maksimum tegangan *Von Mises* yang terjadi pada struktur  $6.290E02N$ . dan deformasi maximum pada struktur  $0.04444$  mm.
- Demi keamanan struktur sebaiknya mempergunakan bahan steel ST60 atau yang lebih kuat.

Saran yang dapat diberikan untuk studi ini adalah sebagai berikut.

- Simulasi struktur yang akan datang sebaiknya menggunakan jenis elemen 2D dan 3D sebagai pembandingan.
- Re-enforcement dengan *stiffener* perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut dengan bentuk-bentuk *stiffener* yang beragam diantaranya segitiga, hexagonal, dll.
- Perlu dilakukan analisis lanjut dengan mempertimbangkan frekuensi getaran yang mungkin terjadi dan beban akibat terpaan angin selama bus bergerak.

## DAFTAR PUSTAKA

- Collins, J.A., 1981, *Failure of Materials in Mechanical Design*, John Wiley & Sons, ISBN 0-471-05024-5, pp.137-142.
- David, J., 2005, *Visualization of CAD Models*.
- Liu, G.L. and Quek, S.S., 2003, *The Method Finite Element method*, Butterworth Heinemann, ISBN 0 7506 5866 5.
- Pankaj Chandna, Gian Bhushan, Singh, e.t.c, 2005, *Finite Element Analysis of a Bus Body Structure using CAE Tools*.
- Rajiv, A. P., 2008, *Integration of CATIA V5 and Hypermesh using MS-Excel to Accelerate FE Modelling*.
- Sung, H. J., and Kuang, H.C., 2005, *CAD-Base Design optimization for Vehicle Performance*.
- Vaidya, A., Yang, S., and Ville, J. S., 2005, *Multiphysics CAD-Based Design Optimization*.