

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

M7-005 ANALISA UJI PENDULUM PADA STRUKTUR RANGKA BUS DENGAN MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT METHOD (FEM)*

Djoeli Satrijo, Trisma Pandhadha

Department of Mechanical Engineering
Diponegoro University
Kampus Undip Tembalang, Semarang 50275, Indonesia
Phone: +62-24-7460059, FAX: +62-24-7460058

ABSTRAK

Bus adalah salah satu kendaraan bermotor yang dapat membawa banyak penumpang. Oleh karena itu bus harus didesain agar dapat memberikan rasa aman bagi penumpangnya dan juga pengemudi dan kru yang bekerja.

Struktur rangka bus merupakan bagian dari sebuah bus yang berfungsi sebagai rumah-rumah dari kendaraan tersebut. Dalam berbagai kasus kecelakaan, struktur rangka tersebut sangat mempengaruhi keselamatan pengguna bus. Salah satu diantaranya yaitu kecelakaan berguling (*rollover accident*), dimana kecelakaan tersebut dapat melukai bahkan menewaskan penumpang di dalam bus. Di Eropa, kecelakaan berguling pada bus mengacu pada peraturan ECE R66

Tugas akhir ini membahas analisa displacemant dan keamanan pada struktur rangka bus (HINO tipe RK8JSKA-MHJ) dengan memberikan beban pendulum sesuai ECE R66. Penulis melakukan analisa dengan menggunakan metode elemen hingga dan dengan software bantu ANSYS/LS-DYNA. Hasil analisa yang ditunjukkan yaitu *displacement* dan konsentrasi tegangan hanya pada daerah-daerah sambungan bagian samping struktur rangka bus. Besarnya *displacement* pada bagian tersebut tidak melebihi batas selamat (*residual space*), oleh karena itu, struktur rangka bus ini aman jika terkena beban pendulum atau beban *rollover*.

Kata kunci: Metode Elemen Hingga, Displacement, *residual space*

Tujuan:

Untuk mengaplikasikan metode elemen hingga (*Finite Element Method*) dalam analisa struktur rangka bus dengan memberikan pembebanan pendulum sesuai ECE R66 sehingga dapat diketahui *stress*, *displacement* dan faktor keamanan dari rangka bus tersebut saat diberi pembebanan.

Pembatasan Masalah:

1. Analisa struktur rangka bus dilakukan dengan menggunakan *software* komputer (*CATIA*, *ANSYS/LS DYNA*).
2. Menganalisa struktur rangka bus dari segi konstruksinya dengan mengabaikan efek *aerodinamika*, hambatan *rolling* dan termodinamika.
3. Menganalisa struktur rangka bus dengan memberikan pembebanan pendulum sesuai *ECE R66*.
4. Tegangan sisa pada kampuh las di percabangan diabaikan.
5. Struktur rangka bus yang dianalisa adalah struktur rangka bus pada Landasan kendaraan bermotor *HINO* Tipe RK8JSKA-MHJ

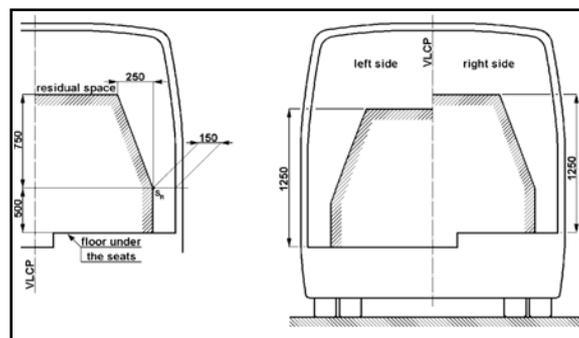
Dasar Teori:

ECE R66:

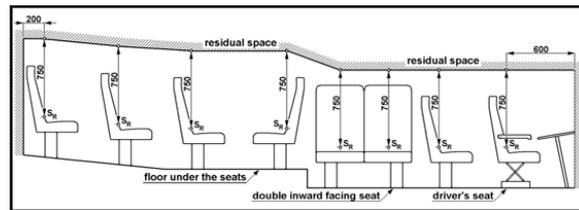
ECE (ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE) Regulation 66 merupakan Peraturan yang berlaku pada (*single-decked vehicles*) atau kendaraan satu geladak dan dibangun guna membawa lebih dari 22 penumpang baik duduk atau berdiri ditambah pengemudi dan kru. Peraturan ini memerlukan spesifikasi umum mengenai beberapa metode uji seperti uji *roll-over* pada kendaraan, uji *roll-over* pada bagian rumah-rumah/ karoseri/ *body section* nya saja, uji pendulum pada *bodysection*, *residual space* atau ruang aman bagi penumpang saat kendaraan mengalami *roll over*. Dalam analisa struktur rangka bus ini hanya akan membahas uji pendulum pada *body section* bus atau struktur rangka bus. Dimana gerakan pendulum mempunyai *energy kinetic* yang sama atau lebih besar dari energi yang diserap ketika terjadi *rollover*.

Residual Space (ruang selamat):

Selubung ruang selamat (*residual space*) pada kendaraan adalah bidang melintang secara vertical pada bagian dalam kendaraan bus.



Residual Space (ruang selamat) tampak depan



Residual Space (ruang selamat) tampak samping

Perhitungan Energi:

$$E^* = 0,75 M \cdot g \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{W}{2}\right)^2 + H_s^2} - \frac{W}{2H} \sqrt{H^2 - 0,8^2} + 0,8 \frac{H_s}{H} \right]$$

(Nm)

dimana:

M = Massa kendaraan/ struktur rangka bus (Kg)

g = 9,8 m/s²

W = Lebar kendaraan/ struktur rangka bus (m)

H_s = Tinggi pusat massa (*center of gravity*) kendaraan / struktur rangka bus (m)

H = Tinggi kendaraan/ struktur rangka bus (m)

Pendulum:

Pendulum terbuat dari baja atau tripleks dengan ketebalan 20 mm ± 5 mm, massa pendulum dari distribusi rata-rata, tingginya tidak kurang dari 800 mm dan panjangnya tidak kurang dari panjang *body section* bus.

Sudut pendulum pada waktu mengenai struktur rangka bus yaitu:

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{800}{H_c}\right)$$

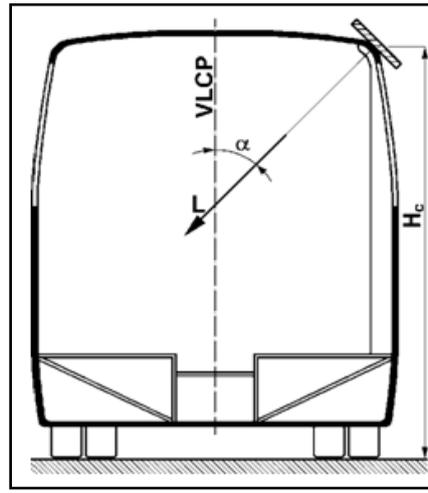
dimana: H_c = Tinggi struktur rangka bus

Berdasarkan perhitungan energi total pada sub bab sebelumnya, maka energi kinetik pada pendulum sama dengan energi total, yaitu:

$$\begin{aligned} E_k \text{ pendulum} &= E^* \\ E^* &= \frac{1}{2} m v^2 \end{aligned}$$

dimana: m = massa pendulum (kg)

v = kecepatan pendulum (m)



Posisi pendulum pada waktu mengenai *body section* (struktur rangka bus)

Teori tegangan Von Mises:

Teori ini memperkirakan suatu kegagalan mengalah dalam tegangan geser yang memadai lebih besar dari yang diperkirakan oleh teori tegangan geser maksimal. Untuk analisis perancangan akan lebih mudah jika kita menggunakan tegangan Von Misses yaitu : (Persamaan yang berkaitan dengan dengan suatu tegangan dalam tiga sumbu) adalah:

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

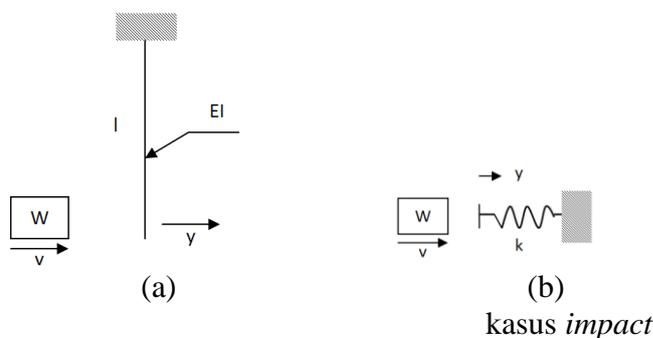
Hal ini akan terjadi kegagalan jika: $\sigma' \geq S_y$

SHOCK DAN IMPACT:

Impact yaitu tumbukan dua massa dengan kecepatan relatif mula mula. Dibeberapa kasus *impact* dapat didesain sesuai dengan yang diinginkan, seperti *coining*, *stamping*, dan *forming presses*. Dalam kasus yang lain, *impact* terjadi karena defleksi yang berlebihan atau karena *clearances* antara dua *part*.

Contoh kasus *impact*:

Sebuah beam kantilever seperti pada gambar berikut, ditumbuk oleh benda bermassa dengan kecepatan konstan.



Kekakuan (k) didapat dari :

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

$$k = \frac{F}{y} = \frac{3EI}{l^3}$$

Jika v adalah kecepatan konstan maka defleksi maksimum (y_{maks}) adalah:

$$y_{maks} = v \sqrt{\frac{Wl^3}{3EIg}}$$

Moment maks pada beam:

$$M_{maks} = kly_{maks} = y \sqrt{\frac{3EIW}{gl}}$$

Penulis menggunakan 2 program bantu pada Tugas Akhir ini, yaitu:

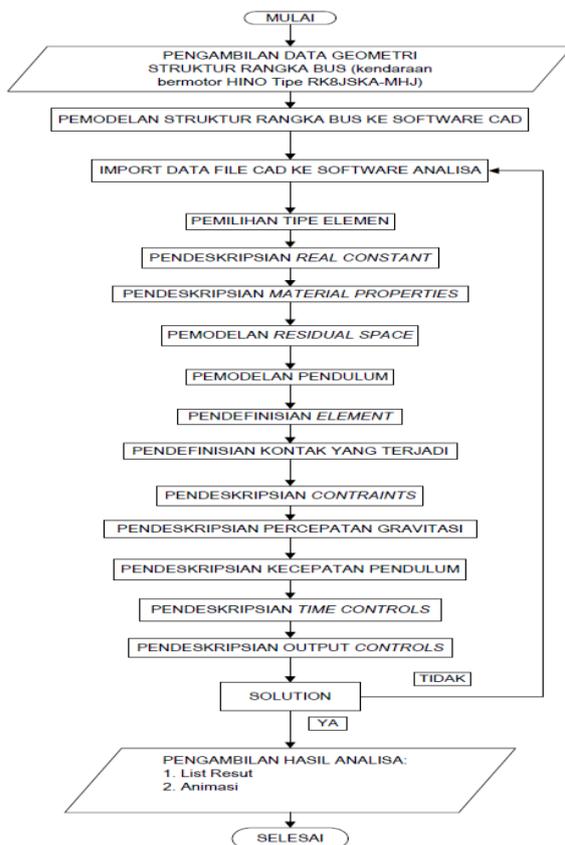
a. CATIA

CATIA merupakan *software* desain yang tujuan akhirnya adalah untuk menghasilkan gambar teknik profesional. *Software* ini biasa digunakan di industri untuk membantu proses manufaktur atau pun perencanaan.

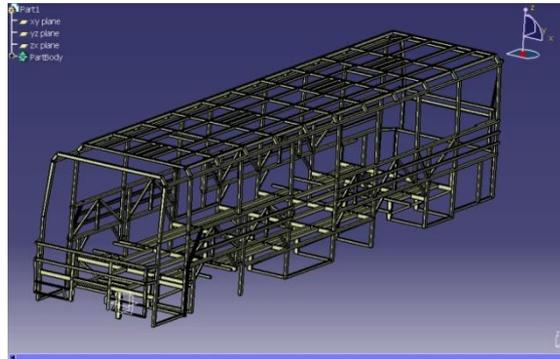
b. ANSYS/ LS DYNA

ANSYS merupakan *software* analisa berbasis metode elemen hingga. Dalam hal ini penulis menggunakan *ANSYS/ LS-DYNA* sebagai program bantu karena dapat menganalisa struktural.

BAGAN PEMODELAN DAN ANALISA



Pemodelan struktur rangka bus ke software CAD:



Pemilihan tipe elemen : ada 3 part semuanya tipe *shell 163*

Pendefinisian *Real constant* (ketebalan):

- *Sruktur rangka bus* : 0,0032 m
- *Pendulum* : 0,025 m
- *Residual space* : 0,0001 m

Pendeskripsian *material properties* masing-masing part:

- *Struktur rangka bus:*

<i>Material properties</i>	nilai
Modulus elastisitas	$210 \cdot 10^9$ Pa
<i>Poission ratio</i>	0,30
densitas	7580 kg/m^3
<i>Yield stress</i>	$284,4 \cdot 10^6$ Pa
<i>Tangent modulus</i>	$386,1 \cdot 10^6$ Pa

- *Pendulum & Residual space:*

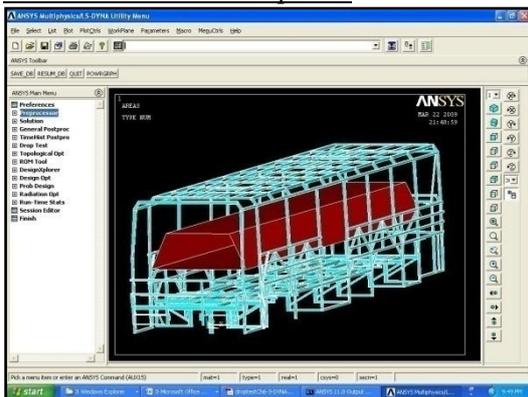
<i>Material properties</i>	nilai
Modulus elastisitas	$207 \cdot 10^9$ Pa
<i>Poission ratio</i>	0,30
densitas	7580 kg/m^3

Meshing model struktur rangka bus:

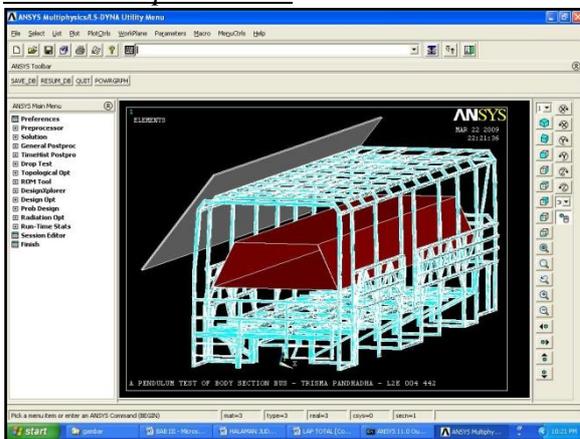
Meshing merupakan pembagian benda menjadi bagian-bagian yang kecil, yang masih memiliki sifat-sifat yang sama dengan benda asalnya. Struktur rangka bus ini termasuk model yang kompleks sehingga membutuhkan memori dalam komputer yang cukup besar, untuk itu menggunakan *size control*, *elemen size* dengan ukuran yang kecil pada bagian percabangan rangka.

Element size pada bagian yang bukan percabangan yaitu 200 mm.

Pemodelan *residual space*:



Pemodelan *pendulum*:



(sudut letak pendulum): $\alpha = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{800}{H_c}\right)$

H_c = Tinggi *body section* bus

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{800}{H_c}\right) \quad H_c = 2,8 \text{ meter}$$

$$= 90^\circ - \arcsin\left(\frac{800}{2800}\right)$$

$$= 90^\circ - 16,9^\circ = 73,1^\circ$$

pendefinisian *element*: untuk menandai tiap-tiap *part* pada masing-masing element.

pendefinisian *contact*: *pendulum* ke *struktur rangka bus (ASTS)*

Solution:

Pendeskripsian *constraints*: Kondisi batas ini adalah struktur bus berada pada *chasis/landasan*, oleh karena itu letak *constraint* berada pada bagian bawah lantai struktur rangka bus.

Pendeskripsian percepatan gravitasi: percepatan $9,8 \text{ m/s}^2$ pada arah -Z

Pendeskripsian kecepatan pendulum = $4,6 \text{ m/s}$

$$E^* = 0,75 M. g. \left[\sqrt{\left(\frac{W}{2}\right)^2 + H_s^2} - \frac{W}{2H} \sqrt{H^2 - 0,8^2} + 0,8 \frac{H_s}{H} \right] (\text{Nm}) = 0,75 \cdot 6426,4.$$

$$,8 \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{2,5}{2}\right)^2 + 1,38^2} - \frac{2,5}{2,2,76} \sqrt{2,76^2 - 0,8^2} + 0,8 \frac{1,38}{2,76} \right] = 50351,49 \text{ Nm} \approx 50351,5$$

Nm

$$E^* = \frac{1}{2} m v^2$$

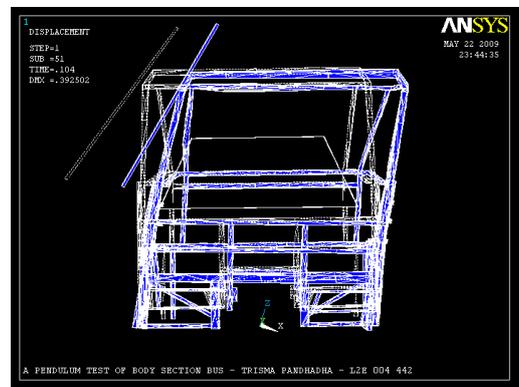
$$50351,5 \text{ Nm} = \frac{1}{2} 4792,43 \text{ kg} \cdot v^2$$

$$v = \sqrt{21,01} = 4,58 \approx 4,6 \text{ m/s}$$

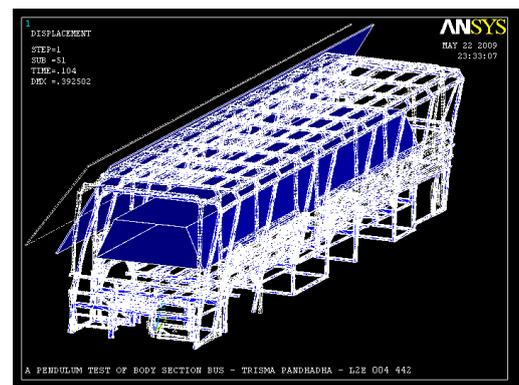
Pendeskripsian *time controls* : 0,5 s

Pendeskripsian *output controls* : 20 step

1. Plot displacement

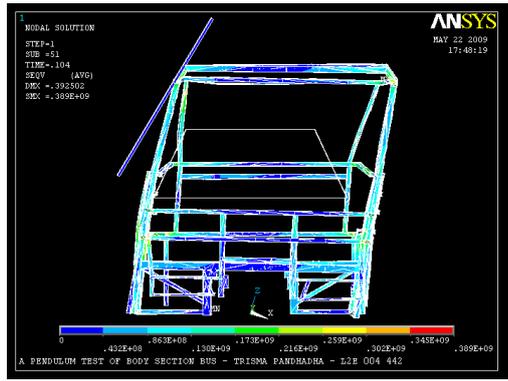


Tampak depan

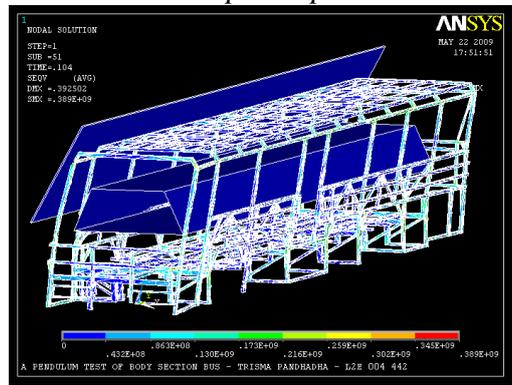


Tampak perspektif

2. Plot tegangan vonmises

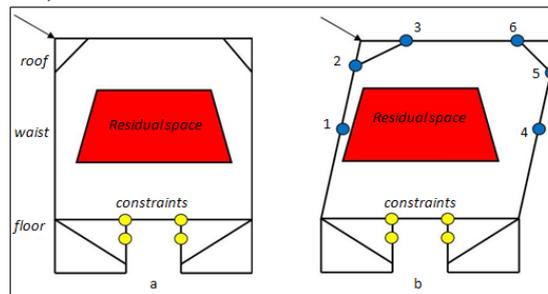


Tampak depan



Tampak perspektif

List result: (pada 6 posisi)



Gambar 4.1 a. Struktur rangka bus sebelum dilakukan uji pendulum;

b. Struktur rangka bus sesudah dilakukan uji pendulum

Tegangan vonmises maks, min, dan rata-rata pada 6 posisi:

Posisi	Teg. vonmises	Nilai (N/m ²)
Posisi 1	Max	146. 10 ⁶
	Min	62,447. 10 ⁶
	Rata-rata	97,5. 10 ⁶
Posisi 2	Max	276,18. 10 ⁶
	Min	118,25. 10 ⁶
	Rata-rata	189. 10 ⁶

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Posisi 3	Max	221,9. 10 ⁶
	Min	93,91. 10 ⁶
	Rata-rata	147. 10 ⁶
Posisi 4	Max	251,99. 10 ⁶
	Min	52,211. 10 ⁶
	Rata-rata	106. 10 ⁶
Posisi 5	Max	265,24. 10 ⁶
	Min	83,974. 10 ⁶
	Rata-rata	176. 10 ⁶
Posisi 6	Max	235,49. 10 ⁶
	Min	79,755. 10 ⁶
	Rata-rata	158. 10 ⁶

Tegangan von mises maksimum pada struktur rangka bus (secara keseluruhan) yaitu 389 MPa.

Displacement maksimum, minimum dan rata-rata pada ke 6 posisi:

Posisi	Displacement	Nilai (m)
Posisi 1	Max	0.16513
	Min	0.1512
	Rata-rata	0.1578
Posisi 2	Max	0.25237
	Min	0.24573
	Rata-rata	0.2482
Posisi 3	Max	0.25503
	Min	0.24803
	Rata-rata	0.2505
Posisi 4	Max	0.16652
	Min	0.14046
	Rata-rata	0.1545
Posisi 5	Max	0.25326
	Min	0.24438
	Rata-rata	0.2491
Posisi 6	Max	0.25675
	Min	0.24758
	Rata-rata	0.25048

RELASI ENERGI

Selain melakukan analisa beban pendulum sesuai dengan ECE, penulis melakukan perbandingan dengan memberikan pembebanan pendulum 2x lipat energinya.

Tegangan vonmises maks, min, dan rata-rata (energy 2x lipat dari semula) pada 6 posisi:

Posisi	Teg. vonmises	Nilai (N/m ²)
Posisi	Max	248. 10 ⁶

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

1		
	Min	101. 10 ⁶
	Rata-rata	170. 10 ⁶
Posisi 2	Max	292. 10 ⁶
	Min	154. 10 ⁶
	Rata-rata	234. 10 ⁶
Posisi 3	Max	298. 10 ⁶
	Min	121. 10 ⁶
	Rata-rata	233. 10 ⁶
Posisi 4	Max	286. 10 ⁶
	Min	125. 10 ⁶
	Rata-rata	187. 10 ⁶
Posisi 5	Max	286. 10 ⁶
	Min	131. 10 ⁶
	Rata-rata	220. 10 ⁶
Posisi 6	Max	269. 10 ⁶
	Min	100. 10 ⁶
	Rata-rata	206. 10 ⁶

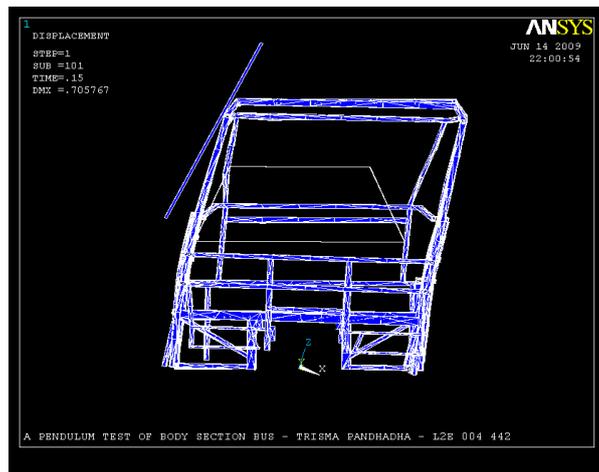
Displacement maksimum, minimum dan rata-rata pada ke 6 (energy 2x lipat dari semula) posisi:

Posisi	Displacement	m
Posisi 1	Max	0,228
	Min	0,197
	Rata-rata	0,209
Posisi 2	Max	0,463
	Min	0,454
	Rata-rata	0,458
Posisi 3	Max	0,471
	Min	0,459
	Rata-rata	0,463
Posisi 4	Max	0,224
	Min	0,183
	Rata-rata	0,204
Posisi 5	Max	0,467
	Min	0,452
	Rata-rata	0,459
Posisi 6	Max	0,476
	Min	0,457
	Rata-rata	0,462

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Pada pembebanan pendulum dengan energy 2x lipat dari semula, displacement maksimum terjadi pada posisi ke 6 yaitu sebesar 0,476 m, sedangkan tegangan vonmises maksimum terjadi pada posisi 2 sebesar 292 MPa. Displacement pada posisi 1,2,dan 3 sudah melebihi batas residual space (lihat gambar dibawah ini hasil plot displacement pada time 0,15 s)



Kondisi plastis sudah terjadi pada posisi 2, 3, 4, dan 5 karena tegangan vonmises sudah melebihi yield stress nya ($S_y = 284,4$ MPa).

Berikut adalah tabel perbandingan displacement dan tegangan vonmises pada energi sesiau ECE dan 2x lipatnya:

Tabel Perbandingan displacement

POSISI	Energy sesuai ECE : Energy 2x lipatnya
Posisi 1	1 : 1,4
Posisi 2	1 : 1,85
Posisi 3	1 : 1,85
Posisi 4	1 : 1,4
Posisi 5	1 : 1,85
Posisi 6	1 : 1,85

Tabel Perbandingan tegangan vonmises

POSISI	Energy sesuai ECE : Energy 2x lipatnya
Posisi 1	1 : 1,6
Posisi 2	1 : 1,2
Posisi 3	1 : 1,3
Posisi 4	1 : 1,7
Posisi 5	1 : 1,2
Posisi 6	1 : 3

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

KESIMPULAN

1. Konsentrasi tegangan vonmises maksimum pada posisi 1, 2 dan 3 (bagian samping atas struktur rangka bus yang terkena beban pendulum) yaitu 146 MPa; 276,18 MPa; dan 221,9 MPa. Sedangkan pada posisi 4, 5, dan 6 (bagian samping atas struktur rangka bus yang tidak terkena beban pendulum) yaitu 251,99 MPa; 265, 24 MPa; dan 235,9 MPa.
2. Konsentrasi tegangan vonmises maksimum pada ke enam posisi (bagian samping kanan dan kiri) tidak terjadi kegagalan material karena nilainya kurang dari *yield strength*nya ($S_y = 284,4$ MPa).
3. Konsentrasi tegangan vonmises maksimum pada semua nodal struktur rangka bus yaitu 389 MPa dengan faktor keamanan 0,73.
4. Displacement maksimum pada keenam posisi yaitu 0,165 m; 0,252 m; 0,255 m; 0,167 m; 0,253 m; 0,258 m. Besarnya displacement tersebut tidak melebihi batas selamat (*residual space*) sesuai *ECE R66*, oleh karena itu, struktur rangka bus pada landasan kendaraan bermotor *HINO* Tipe RK8JSKA-MHJ aman jika terkena beban pendulum atau beban *rollover*.

SARAN

1. Analisa distribusi tegangan dalam tugas akhir ini sangat terbatas untuk rangka bus jenis tertentu (tanpa modifikasi), sehingga perlu dilakukan analisa optimasi untuk mendapatkan desain rangka yang efektif dan kuat. Misalnya optimasi dimensi atau bentuk struktur rangka bus. Selain itu juga perlu adanya optimasi pada bentuk sambungan-sambungan pada rangka (sambungan las).

Referensi

1. UNDANG-UNDANG (UU) Oleh: PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA Nomor: 3 TAHUN 1965 (3/1965) Tanggal: 1 APRIL 1965 (JAKARTA) Sumber: LN 1965/25; TLN NO. 2742
2. KEPUTUSAN DI REKTUR JENDERAL PERHUBUNGAN DARAT Nomor: SK.1131/AJ.003/DRJD/2003)
3. KEPUTUSAN MENTERI PERHUBUNGAN NOMOR : KM. 35 TAHUN 2003
4. James Eric Lloyd, *Vehicle Standard (Australian Design Rule 59/00-Standard For Omnibus Rollover Strength)*,2007 (ECE R66)
5. Susatio Yerri, "Dasar – Dasar Metode Elemen Hingga", ANDI, Yogyakarta.
6. Cook, Robert D. " *Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga* " , Edisi kedua, PT. Eresco.
7. Wibowo, D.B, " *Mekanika Kekuatan Material (modul 1 Analisis Tegangan)* ", Diktat Kuliah, Teknik Mesin UNDIP, Semarang 1999.
8. Popov, E P. Zaenal Astamar, " *Mekanika Teknik* " , Edisi Kedua, Erlangga, 1996.
9. Shigley, Joseph E dan Charles R. Mischke. " *Mechanical Engineering Design* " , Edisi Kelima, Mc Graw Hill.
10. Kraige, J.L. Meriam L.G. " *Mekanika Teknik Dinamika* " ,Edisi Kedua, Erlangga.
11. Kelly, S. G. "Fundamentals of Mechanical Vibration", Edisi Kedua, Mc Graw Hill
12. www.efunda.com