

Analisa Kekuatan Struktur Rangka Bis *Monocoque* Medium Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga Dan Hasil Pengujian

Khairul Jauhari^{a*}, Achmad Zaki. R^a, Mahfudz Al Huda^a

^a*Balai Mesin Perkakas Teknik Produksi dan Otomasi (MEPPO),
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi,
Gedung Teknologi II No 251 Kawasan Puspiptek, Setu, Tangerang Selatan,
Banten 15314.*

*Corresponding author E-mail: khairul.jauhari@bppt.go.id

Abstract

Monocoque body structure is widely used as the vehicle frame structure of a large passenger car such as city bus. This structure distribute the load through overall of body structure of the vehicle, so that thickness of the material can be reduced, consequently the total weight of the vehicle is reduced and it will save fuel consumption. In addition, since the impact forces in the collusion are also distribute through overall of body frame, this structure is also more safety for the passenger. In this paper, the strength of the monocoque body structure in medium size bus is analyzed due to various loading conditions. The finite element method and experiment result approach are used to calculate the stress – strain through the structure. As a result, the combination of both techniques is proposed to the maximum stress and deflection that occurs on the monocoque frame due to symmetrical and asymmetrical static load below allowable values.

Keywords: *Bus, Monocoque, Static Load, Finite Element Method, Experiment Result*

1. PENDAHULUAN

Transportasi massal merupakan bentuk sistem transportasi yang lazim terdapat di daerah kota-kota besar. Salah satu bentuk sistem transportasi massal yang digunakan pada daerah perkotaan adalah *bus rapid transport* (BRT). Karakteristik bentuk moda transportasi jenis bis ini memiliki beberapa ukuran sesuai dengan dimensi panjangnya yaitu mulai dari ukuran medium memiliki panjang 6 meter hingga 8 meter, sedangkan untuk ukuran besar panjangnya mulai dari 9 meter hingga 12 meter. Dari hasil pengamatan di beberapa kota besar di Indonesia, diperoleh bahwa hampir di sebagian besar wilayah menggunakan bis ukuran medium sebagai bentuk sistem transportasi massalnya. Hal tersebut didasarkan atas kondisi jalan yang relatif sangat ramai dan padat. Selain pengamatan tentang ukuran dimensi pengamatan juga dilakukan pada bentuk struktur rangka, pada umumnya struktur rangka masih menggunakan struktur *chassis* dan bodi yang terintegrasi. Akan tetapi, trend teknologi untuk struktur rangka kendaraan bis penumpang saat ini telah mulai banyak menggunakan struktur bodi *monocoque*. Keunggulan dari struktur bodi *monocoque* ini adalah dapat menyebarkan secara menyeluruh pengaruh beban pada struktur bodi, berat total kendaraan menjadi lebih ringan sehingga bisa lebih menghemat bahan bakar, selain itu sangat dimungkinkan membuat lantai yang lebih rendah

(*Low Floor*), sehingga diharapkan sangat ramah terhadap penumpang. Tujuan dari makalah ini adalah menganalisa tentang tingkat kekuatan struktur bodi bis *monocoque* pada ukuran medium akibat pengaruh kondisi pembebanan sehingga dapat diketahui keandalannya.

Studi telah dilakukan untuk menentukan bentuk optimal model struktur rangka kendaraan berpenumpang banyak [7]. Parameter model ditentukan berdasarkan spesifikasi kebutuhan desain, model dianalisa dengan menggunakan metode elemen hingga dan data berdasarkan hasil pengujian [2,3,6]. Hasil analisa simulasi ditampilkan berupa besaran distribusi tegangan dan deformasi yang divalidasi dengan data hasil pengujian.

2. METODE

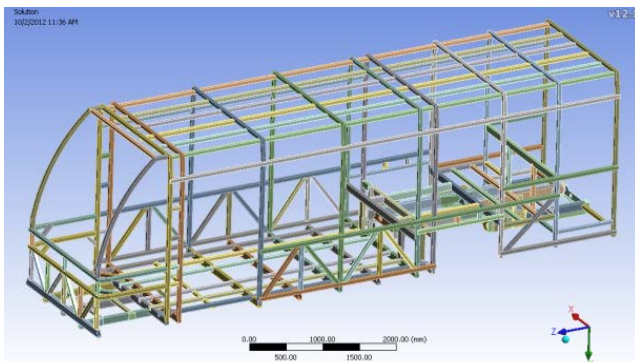
Metoda permodelan yang digunakan untuk analisa kekuatan struktur *monocoque* bis ini dimulai dengan data-data mengenai struktur *monocoque*, karakteristik bis medium, penentuan letak posisi titik berat atau *center of gravity* (COG), dan pembebanan-pembebanan yang dialami oleh struktur bis baik posisi dan besarnya yang selanjutnya dianalisa dengan menggunakan *software Pro-Mechanica* dan divalidasi dengan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian aktual.

2.1 Monocoque Frame

Dalam makalah ini bentuk struktur bodi *monocoque* dibagi menjadi tiga macam dan dimodelkan yang pertama sebagai susunan beberapa batang yang membentuk lingkaran tertutup (*closed ring*) [1] yang merupakan struktur utama dari bodi *monocoque*. Kedua struktur sekunder tersusun atas beberapa batang yang berfungsi sebagai pengikat antara struktur utama yang satu dengan lainnya. Ketiga struktur tersier yang sifatnya sebagai penguat struktur sekunder. Struktur bodi *monocoque* yang digunakan sebagai model analisa ini memiliki berat total (GVW) 6.153 ton. Struktur rangka ini terdiri atas beberapa jenis batang baja *hollow* yaitu ukuran 100 mm x 50 mm dan 50 mm x 50 mm yang terdapat pada bagian struktur utama (primer), sekunder maupun tersier. Model material yang digunakan berupa baja struktur (SS400) dengan sifat propertinya sebagai berikut :

Tabel 1. Properties Material SS400

Massa Jenis	7850	kg/m ³
Modulus Elastisitas	200	G pa
Poisson Ratio	0.3	
Shear Modulus	0.7	Gpa
Yeild Strength	250	Mpa
Ultimate Strength	460	Mpa

Gambar 1. Model Rangka *Monocoque*

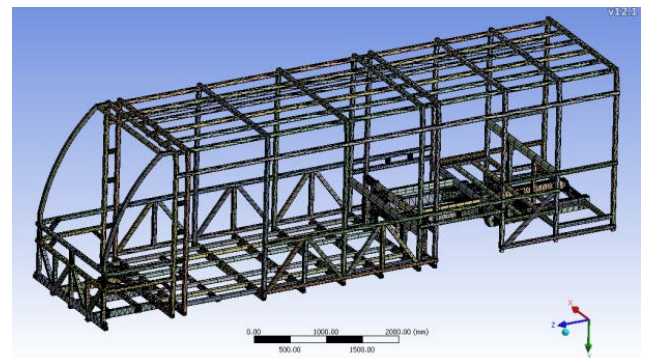
2.2 Model Elemen Hingga

Monocoque frame dimodelkan sebagai elemen *10-noded tetrahedral* (Tet-10) dan *brick-noded*. Studi secara eksperimen maupun numerik pada batang lurus jenis *rectangular hollow* sederhana mampu menunjukkan bahwa, kualitas geometri *meshing* lebih akurat dan jumlah elemen yang dihasilkan semakin sedikit. Bentuk analisa yang dilakukan berupa analisa tegangan statik linear untuk mencari pengaruh sebaran tegangan dan bentuk pola deformasi akibat dari pengaruh beban statik. Dalam makalah ini model rangka *monocoque* diperoleh untuk bentuk *meshing* dengan 76.134 elemen dan 217.424 nodal.

Dalam makalah ini kondisi batas digunakan sebagai bentuk representasi yang mewakili kondisi nyata dari model rangka *monocoque*. Kondisi batas pin merupakan bentuk representasi dari *mounting-bracket* suspensi pada rangka *monocoque*, dimana pada lokasi sumbu tersebut tidak diperkenankan terjadinya translasi pada arah sumbu axis apapun tetapi hanya diizinkan terjadinya rotasi pada sumbu tersebut.

Pembebanan dilakukan pada beberapa kondisi yaitu ketika bis pada keadaan stasioner dimana beban berasal dari berat komponen dan penumpang, ketika bis mengalami kondisi akselerasi, ketika bis mengalami kondisi saat pengereman dan ketika bis melaju pada kondisi memutar.

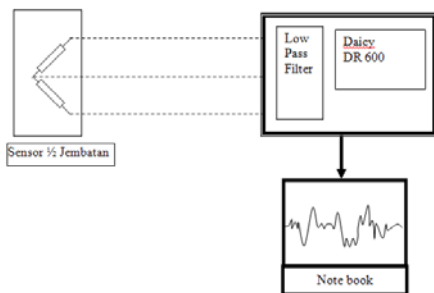
Berdasarkan dari hasil permodelan elemen hingga, penentuan kondisi batas dan penentuan beberapa kondisi pembebanan tersebut, analisa statik model rangka *monocoque* disimulasikan dengan bantuan *software pro-mechanica*.

Gambar 2. Model *Meshing* Rangka *Monocoque*

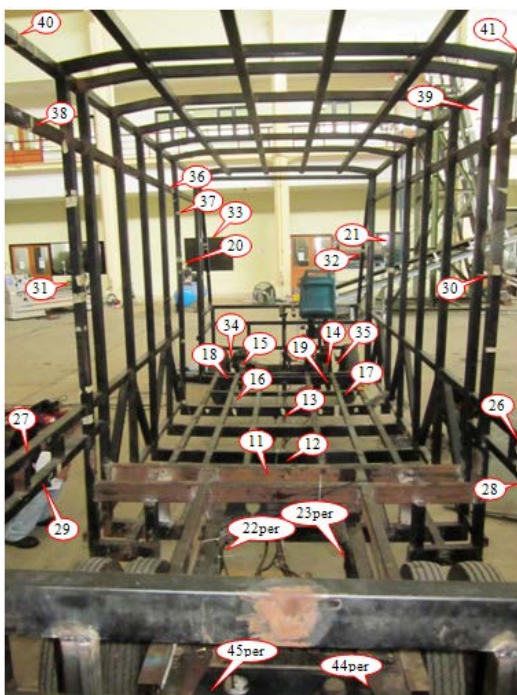
2.3 Model Pengujian

Pengujian yang dilakukan termasuk dalam katagori pengujian experimental, dimana dengan cara pengujian ini tegangan/regangan yang bekerja pada struktur *frame* bisa langsung diketahui secara *real* sesuai dengan beban yang bekerja. Sensor yang digunakan adalah *strain gauge*, dimana sensor ini mampu mengukur perubahan regangan (deformasi) pada struktur sampai dengan orde mikron. Secara umum akibat adanya pembebanan, maka struktur akan mengalami deformasi/perubahan. Deformasi yang terjadi sedemikian kecilnya sesuai dengan angka keamanan yang direncanakan oleh pabrikan. Perubahan yang terjadi sebagai fungsi beban selanjutnya dideteksi oleh sensor (*strain gage*). Sensor regangan akan mengukur deformasi yang terjadi dan informasi perubahan akan terdeteksi sebagai perubahan nilai tahanan. Perubahan nilai tahanan juga sedemikian kecilnya sehingga digunakan metode jembatan *wheatstone* untuk mengukur perubahan yang terjadi. Seluruh perubahan yang terjadi selanjutnya direkam dengan menggunakan alat *dynamic strain* meter yang

dilengkapi dengan filter untuk memastikan bahwa perubahan yang terukur adalah murni disebabkan oleh perubahan mekanik selama operasi. Seluruh data hasil pengukuran disimpan dalam *hard disk* (*note book*).



Gambar 3. Skematik Pengukuran Experimen



Gambar 4. Lokasi Pemasangan Strain Gauge

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembebanan Akibat Berat

Simulasi didasarkan pada asumsi bahwa bis berada pada kondisi stasioner. Rangka *monocoque* dimodelkan sebagai permodelan balok sederhana yang terbebani akibat pengaruh gaya berat komponen yang dialami oleh balok. Gaya reaksi pada *axle* ditentukan oleh penjumlahan gaya-gaya dan momen akibat berat komponen dan posisi komponen.

Untuk memudahkan dalam perhitungan dilakukan bahwa, beban yang terjadi pada rangka termasuk beratnya dianggap sebagai beban yang bekerja pada suatu titik. Beban titik ini secara statik ekuivalen dengan beban distribusi aktual yang dialami kendaraan [5]. Berat komponen yang terjadi dianggap sebagai beban titik yang bekerja pada rangka. Beban penumpang sebesar 2.240 kg dibagi menjadi tiga

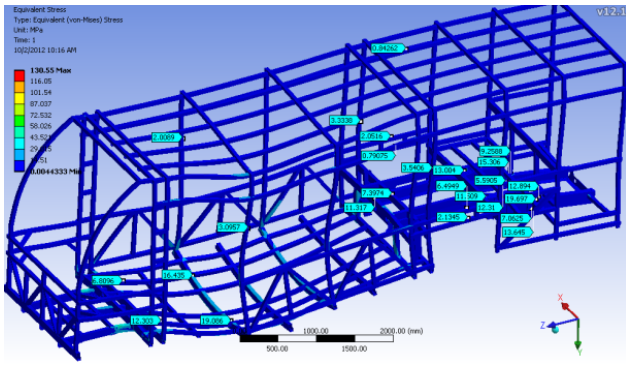
bagian beban gaya yang bekerja pada posisi dimana dek terintegrasi. Table 1 menunjukkan berat dan gaya dari komponen dan beserta posisinya di sepanjang rangka. Gaya reaksi *axle* secara terjadi secara vertikal pada posisi tengah dari suspensi *mounting-bracket*.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gaya reaksi pada *front axle* sebesar 901 kg (8.841 N) dan *rear axle* sebesar 3.267 kg (32.048 N). Besar gaya reaksi ini masih dibawah kapasitas maksimum kedua *axle* dimana *front axle* (3000 kg) dan *rear axle* (8.000 kg), dibandingkan dengan spesifikasi teknik *axle*. Perhitungan tersebut dijadikan dasar karena gaya reaksi *axle* berasal dari perhitungan hanya akibat dari berat komponen dan beban penumpang ketika bis pada kondisi stasioner. Pada kondisi aktual, ketika bis melaju pada jalan datar, gaya reaksi yang terjadi lebih besar dari kondisi ketika diam hal ini diakibatkan oleh adanya ketidakrataan permukaan jalan yang berupa undakan atau lubang.

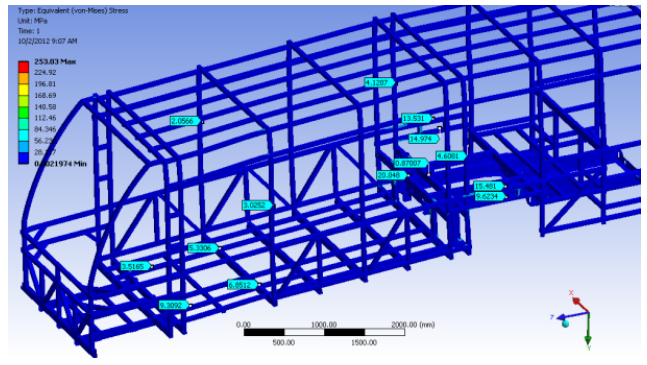
Tabel 2. Massa, Beban Serta Posisinya Pada Rangka *Monocoque*

No	Komponen	Massa (kg)	Beban (N)	Posisi Terhadap ROH (mm)
1	Engine	350	3433	-1400
2	Gear Box	150	1471	-1070
3	Pay Load	840	8240	-500
4	Fuel Tank	80	785	875
5	Pay Load	1400	13734	2587
6	Cab	421	4136	5450
7	Cab	551	5405	775

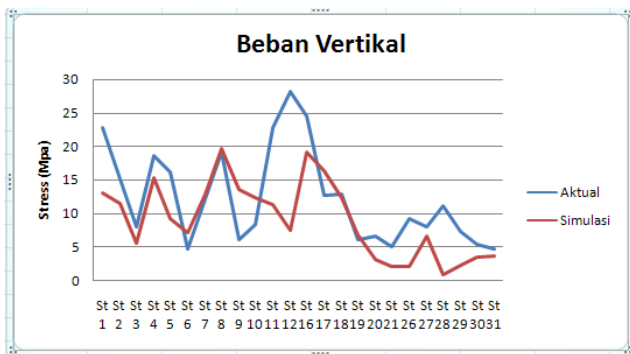
Gambar 3. di bawah ini menunjukkan letak posisi strain gauge hasil simulasi untuk distribusi *stress* dan bentuk pola deformasi rangka *monocoque* akibat pengaruh beban berat vertikal komponen. Distribusi tegangan terbesar hasil simulasi terletak pada daerah posisi strain gauge no. 8 sebesar 19.697 Mpa, sedangkan untuk posisi yang sama tegangan aktual yang terjadi sebesar 19.236 Mpa pada daerah *underframe* bagian belakang sebelah kiri. Bentuk pola karakteristik tegangan antara hasil *finite element* dengan hasil pengujian memiliki bentuk yang hampir sama, hal tersebut ditunjukkan pada grafik 1 dibawah ini.



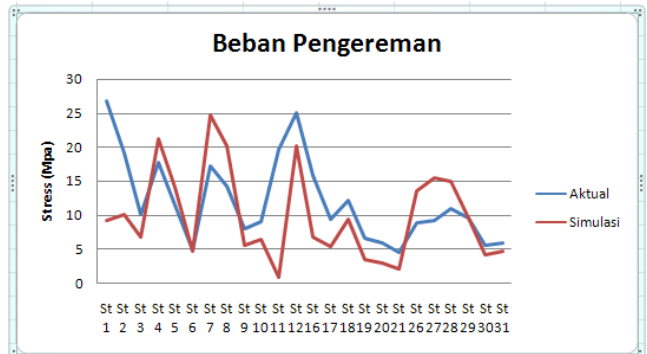
Gambar 5. Kontur Tegangan Dan Pola Deformasi Untuk Pembebanan Akibat Berat



Gambar 6. Kontur Tegangan Dan Pola Deformasi Untuk Pembebanan Akibat Pengereman



Grafik 1. Karakteristik Tegangan Aktual Vs FEA



Grafik 2. Karakteristik Tegangan Aktual Vs FEA

3.2 Pembebanan Akibat Pengereman

Simulasi didasarkan pada asumsi bahwa bis berada pada kondisi pengereman. Gaya reaksi pada *axle* ditentukan oleh beban yang ditransfer dari *rear axle* ke *front axle* sesuai dengan proporsi percepatan yang dialami yaitu sebesar 5.48 m/s^2 [6].

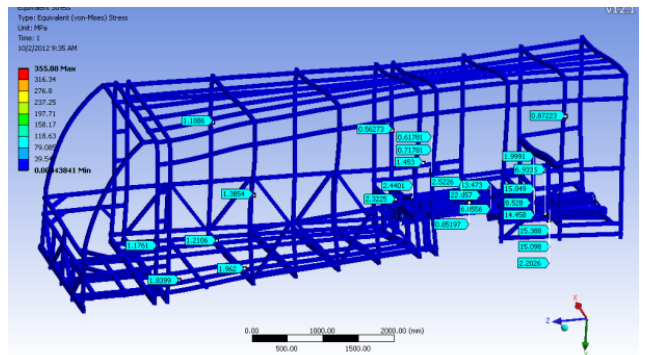
Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gaya reaksi pada *front axle* sebesar 1.340 kg (13.141 N) dan *rear axle* sebesar 2.829 kg (27.750 N).

Gambar 6. di bawah ini menunjukkan letak posisi strain gauge hasil simulasi untuk distribusi *stress* dan bentuk pola deformasi rangka *monocoque* akibat pengaruh beban vertikal pada kondisi pengereman. Distribusi tegangan terbesar hasil simulasi terletak pada daerah posisi strain gauge no. 7 sebesar 24.626 Mpa, sedangkan untuk posisi yang sama tegangan aktual yang terjadi sebesar 17.136 Mpa pada daerah *underframe* bagian belakang sebelah kiri. Bentuk pola karakteristik tegangan antara hasil *finite element* dengan hasil pengujian memiliki bentuk yang hampir sama, hal tersebut ditunjukkan pada grafik 2 dibawah ini.

3.3 Pembebanan Asimetris

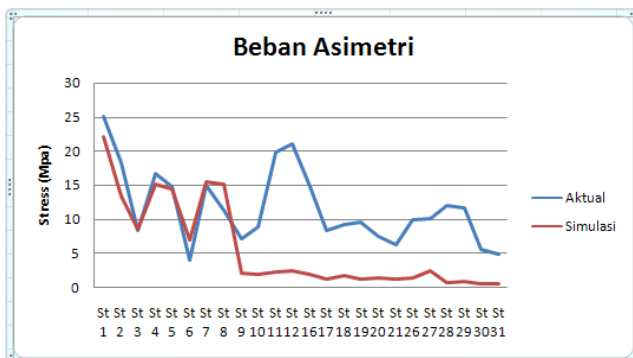
Simulasi didasarkan pada asumsi bahwa bis berada pada kondisi melaju sambil memutar. Gaya reaksi pada *axle* ditentukan oleh beban yang ditransfer antar *axle* dari *front axle* ke *rear axle* maupun antar sesama satu *axle* sesuai dengan proporsi kecepatan guling roda yang dialami yaitu sebesar 34.06 km/jam [8].

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gaya reaksi pada *front axle* kiri kanan berturut-turut sebesar 32 kg (315 N) dan 869 kg (8.526 N). Gaya *rear axle* kiri kanan juga sebesar -62 kg (-607 N) dan 3.329 kg (32.655 N). Gaya reaksi negatif pada *rear axle* sebelah kiri inilah yang menyebabkan terjadinya beban asimetris.



Gambar 7. Kontur Tegangan Dan Pola Deformasi Untuk Pembebanan Asimetris

Gambar 7. di atas ini menunjukkan letak posisi strain gauge hasil simulasi untuk distribusi *stress* dan bentuk pola deformasi rangka *monocoque* akibat pengaruh beban asimetris pada kondisi melaju sambil memutar. Distribusi tegangan terbesar hasil simulasi terletak pada daerah posisi strain gauge no. 1 sebesar 22.057 Mpa, sedangkan untuk posisi yang sama tegangan aktual yang terjadi sebesar 25.074 Mpa pada daerah *underframe* bagian belakang sebelah kanan dekat *suspension bracket*. Bentuk pola karakteristik tegangan antara hasil *finite element* dengan hasil pengujian memiliki bentuk yang hampir sama pada daerah *underframe*, hal tersebut ditunjukkan pada grafik 3 dibawah ini.



Grafik 3. Karakteristik Tegangan Aktual Vs FEA

Untuk ketiga model kondisi pembebanan yang telah dijelaskan sebelumnya, ditunjukkan bahwa rangka *monocoque* mengalami tegangan terbesar berdasarkan FEA dan aktual ketika; pembebanan akibat berat sebesar (19.697 Mpa pada St 8) dan (28.266 Mpa pada St 12), kondisi pengereman sebesar (24.626 Mpa pada St 7) dan (26.796 Mpa pada St 1) dan kondisi pembebanan asimetris sebesar (22.057 Mpa dan 25.074 Mpa pada St 1).

4. KESIMPULAN

Dalam makalah ini telah dilakukan mulai dari permodelan hingga analisa statik baik secara *finite element* maupun hasil pengujian, dimana rangka *monocoque* mengalami tiga kondisi pembebanan statik yaitu pembebanan akibat berat komponen, kondisi saat pengereman dan pembebanan asimetris akibat kondisi melaju sambil memutar. Maksimum tegangan aktual terjadi pada daerah dekat suspensi *bracket* bagian belakang *underframe* sebesar 26.796 Mpa. Harga ini dapat diterima karena masih jauh dibawah tegangan ijin (183.75 Mpa) dari material SS400.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] GURSEL K. Turgut, GURSESLI. Serap, 2010,

Analysis Of The Superstructure Of A Design Bus In Accordance With Regulation ECE R66, Journal of Science, GUJS, 71-79.

- [2] Teo Han Fui, Roslan Abd. Rahman, 2007, *Static And Dynamic Sructural Analysis Of 4.5 Ton Truck Chassis*, Jurnal Mekanikal, No 24, 56-57.
- [3] MAN Design Ltd, 2004, *Design Of Commercial Vehicle Chassis And Body Structure*.
- [4] Capoco Design Ltd, 2001, *Side Impact Analysis Of A Passenger Bus Using Ansys/LS-Dyna*, Vol.72, 143-167.
- [5] Asmara Brata. Kusuma, 2004, *Perancangan Dan Pengembangan Rangka Bus Pada Chassis Central Truss Frame Dengan Analisa Beban Puntir Statis Pada Kondisi Jalan Datar*, Tesis Teknik Mesin, UI, Jakarta.
- [6] D. Thomas Gillespie, 1996, *Fundamental Of Vehicle Dynamic*, First Edition, Society Of Automotive Engineers, Inc., Warrendale PA.
- [7] Reimpell, Jornsens, Stoll, Helmut, W. Betzler, Jurgen, 2001, *The Automotive Chassis*, Second Edition, Elsevier Science.
- [8] Sutantra, I. Nyoman, Sampurno, Bambang, 2010, *Teknologi Otomotif*, Edisi Kedua, Guna Widya, Surabaya.