

Analisis Kekuatan *Chassis* Terhadap *Impact* pada Kendaraan Bus Mitsubishi Fuso FE 84G BC dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Dwi Dani Aufar Fakhri dan I Nyoman Sutantra
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
e-mail: tantra@me.its.ac.id

Abstrak—Peningkatan jumlah penduduk di Indonesia berdampak pada kebutuhan alat transportasi di Indonesia, terutama alat transportasi umum yaitu bus. Padatnya transportasi tidak menutup kemungkinan terjadinya kecelakaan, sehingga keselamatan dan keamanan dalam berkendara merupakan hal yang sangat penting. Dampak paling besar saat terjadi kecelakaan salah satunya dari depan kendaraan, sehingga sangat berbahaya bagi keselamatan pengemudi dan penumpang. Oleh karena itu dalam merancang suatu kendaraan, faktor keamanan dan kenyamanan merupakan hal yang sangat penting. Sehingga keselamatan pengemudi menjadi perhatian penting apabila bus ini mengalami kecelakaan. Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi dengan menggunakan metode elemen hingga. Mekanisme pemodelan pengujian *impact* yang dilakukan yaitu *full width frontal collision* dan *offset frontal collision*. Variasi uji tabrak ini dilakukan pada *chassis bus Mitsubishi FUSO FE 84G BC* yang menggunakan *bumper* depan dan tanpa *bumper* depan. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yakni dengan variasi kecepatan 48 km/jam sampai 96 km/jam. Deformasi terbesar yaitu 5,662 mm pada *full width frontal collision* tanpa *bumper* pada kecepatan 96 km/jam. Sesuai standar FMVSS 204 besar deformasi tidak melebihi dari 127 mm dan dinyatakan aman. *Bumper* yang terpasang pada *chassis* kendaraan dapat mengurangi defleksi yang terjadi pada *chassis*. Pada *full width frontal collision* reduksi defleksi terbesar pada kecepatan 75 km/jam yaitu 21,628%, Sedangkan pada *offset frontal collision* reduksi terbesar pada kecepatan 96 km/jam yaitu 27,667%. Besar energi serapan yang diterima oleh *chassis* saat terjadi tumbukan maksimum beragam sesuai besar kecepatan. Semakin tinggi kecepatan *collision* semakin besar pula nilai energi serapan yang diterima oleh *chassis bus*. Perbandingan energi yang diserap antara *chassis* tanpa *bumper* lebih besar dari pada yang menggunakan *bumper*.

Kata Kunci—*Chassis, Full Width Frontal Collision, Offset Frontal Collision, Barrier, Chassis Bus.*

I. PENDAHULUAN

TRANSPORTASI umum memegang peranan penting dalam mendukung kegiatan perekonomian masyarakat di Indonesia. Transportasi umum di Indonesia beragam mulai dari bus, kereta dan kapal laut. Bus merupakan kendaraan bermotor yang menjadi transportasi massal yang sangat penting. Mulai dari antar kota hingga antar provinsi. Adapun data dari Direktorat Jenderal Perhubungan Darat menunjukkan pada tahun 2016 terdapat 22.742 unit bus yang ada di Indonesia. Dan untuk PO (Perusahaan Otobus) yang ada di Indonesia pada tahun 2016 sebanyak 843 perusahaan. Dalam

menjaga keselamatan penumpang bus, perusahaan bus yang ada di Indonesia selalu mengedepankan kenyamanan dan keamanan penumpang agar bisa bersaing satu dengan yang lainnya.

Perancangan *chassis* merupakan hal yang sangat penting dalam proses pembuatan bus. Terutama untuk keselamatan bagi pengemudi dan penumpang. Menurut I Nyoman Sutantra (2009) [1] dalam bukunya menjelaskan *chassis* adalah komponen kendaraan yang fungsi utamanya sebagai rangka penguat konstruksi badan kendaraan agar mampu menahan beban kendaraan dan beban *impact* saat terjadi tabrakan sehingga dapat melindungi penumpang. *Chassis* merupakan bagian terpenting dalam stabilitas dari sebuah kendaraan, karena semua komponen yang berkaitan dengan kestabilan menempel pada *chassis*. Beberapa diantaranya adalah suspensi, roda, *steering system*, *braking system*, dan tempat meletakkan mesin.

Untuk itu perlu adanya suatu pengujian terhadap kendaraan, khususnya bus untuk mengetahui kekuatan material dan desain *chassis*. Salah satu pengujian yang dilakukan adalah uji tabrak kendaraan. Pengujian ini berfungsi untuk mengukur kemampuan *chassis bus* sehingga dapat dikatakan aman bagi penumpang saat terjadi hal yang tidak diinginkan. Dalam pengujiannya menggunakan salah satu perangkat lunak yaitu ANSYS.

II. TINJAUAN PUSTAKA

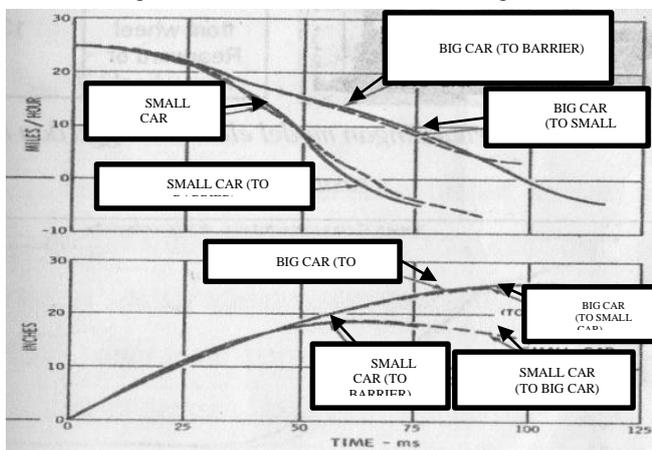
Bus Fuso FE 84G BC merupakan jenis bus pariwisata. Di karoseri, bus ini termasuk dalam produksi Jetbus MD. Bus pariwisata Jetbus MD ini menggunakan *chassis* Mitsubishi FE 84G BC yang paling umum digunakan untuk kelas medium Bus. JetBus MD merupakan produk untuk kelas medium bus dari karoseri

Di Indonesia pada umumnya mobil-mobil yang diproduksi menggunakan sasis monokok (*monocoque chassis*). Artinya kerangka mobil menjadi satu dengan badan mobil sehingga badan mobil juga berfungsi sebagai kerangka. Tetapi untuk kendaraan massal seperti halnya bus tidak menggunakan jenis ini. Adapun jenis *chassis* yang diproduksi untuk bus sendiri yaitu *ladder fram chassis* dan *space frame chassis*. *Ladder frame chassis* disebut *Ladder Frame* karena bentuk *chassis* ini menyerupai bentuk tangga, dimana terdapat dua batang utama kemudian ada penguat diantara batang tersebut. Sedangkan *Space frame chassis* berbeda dengan *ladder frame chassis*, bus yang menggunakan *space frame chassis* terdapat dua bagian, yaitu kompartemen mesin di belakang dan

kompartemen kemudi di depan, diantara kedua kompartemen ini dibuat sambungan chassis menggunakan besi siku dengan standar kualitas yang sudah ditentukan oleh pabrikan.

Pada penelitian ini menggunakan analisis FEM (*Finite Element Method*) adalah membagi suatu benda yang akan dianalisis menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (finite). Bagian-bagian ini disebut elemen, dan tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Serta menggunakan standar FMVSS 204. FMVSS 204 adalah aturan tentang keamanan batang dan lingkaran kemudi agar pengemudi tidak terluka saat terjadi tabrakan. Standar ini mensyaratkan bahwa jika kendaraan penumpang, truk atau bus yang memiliki berat kotor kendaraan sebesar 10000 kg atau dibawahnya, jika ditabrakkan pada beton *massive* dengan kecepatan 48 km/jam maka lingkaran kemudi tidak boleh bergerak mundur melebihi 127 mm pada sumbu horizontal dari kendaraan tersebut.

Berdasarkan *Society of Automotove Engineers* (SAE) [2] tabrakan *frontal* antara kedua kendaraan ekuivalen dengan tabrakan antara kendaraan tunggal dengan *fixed rigid barrier concrete*. Gambar 1 perbandingan hasil penelitian tabrakan kendaraan dengan kendaraan dan kendaraan dengan *barrier*.



Gambar 1. Grafik kecepatan dan perpindahan selama uji tabrakan kendaraan.

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh *National Crash Analysis Center* [3] mencoba membandingkan hasil pengujian tabrakan kendaraan sesungguhnya dengan model dari elemen hingga. Dan hasilnya menunjukkan bahwa ada perbedaan kecil antara pengujian tabrak sesungguhnya dengan pengujian melalui simulasi menggunakan metode elemen hingga. Perbedaan kecil tersebut akibat dari sedikit perbedaan property dari kendaraan yang dimodelkan. Sehingga model elemen hingga dapat digunakan untuk mensimulasikan tabrakan kendaraan antara kedua kendaraan atau kendaraan tunggal dengan *fixed rigid barrier concrete*.

Abdillah Hadi Alif Ilhami [4], dalam Analisis *Collision* pada Formula Sapuangan Speed dengan material aluminium menggunakan metode elemen hingga, menyimpulkan bahwa penggunaan *impact attenuator* sebagai *damper* mengurangi terjadinya deformasi baik pada pengujian *full width frontal collision* juga pada *offset frontal collision*. Penggunaan *damper* ini mengurangi defleksi *chassis* sebesar 18% pada *full width frontal collision* dan 8% pada *offset frontal collision*.

III. METODOLOGI PENELITIAN

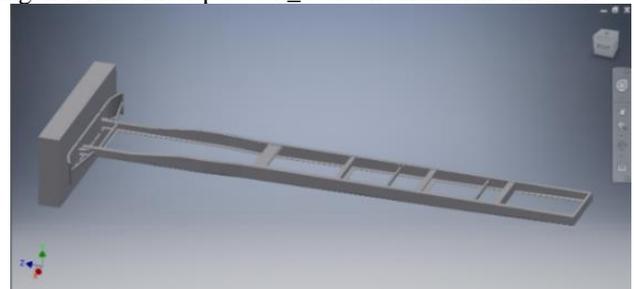
A. Metode Penelitian

Untuk mendapatkan besar deformasi pada *chassis* bus FUSO FE 84G BC perlu dilakukan 3 tahapan penelitian

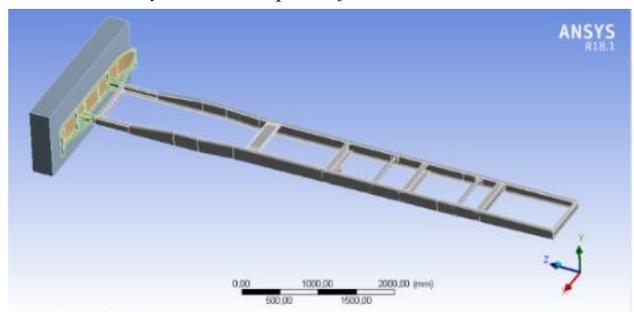
meliputi, tahap pencarian data *geometry chassis*, tahap simulasi dan tahap validasi hasil simulasi. Berdasarkan *National Agency for Automotive Safety and Victim's Aid* (NASVA) [5] terdapat dua metode pengujian *frontal collision* yaitu *full width frontal collision* dan *offset frontal collision*. Dua jenis *frontal collision* ini merupakan metode yang akan digunakan untuk simulasi pada penelitian kali ini. Kemudian simulasi ini menggunakan standar dari FMVSS (*Federal Motor Vehicle Safety Standards*) 204 yang mana telah ditentukan kecepatan kendaraan dan deformasi setang kemudi yang diijinkan. Deformasi yang dihasilkan tergantung dari variasi kecepatan dan metode *collision* yang digunakan. Adapun variasi *collision* yang akan dianalisis adalah *full width frontal collision* dan *offset frontal collision* dengan variasi 3 kecepatan yaitu 48 km/h, 75 km/h dan 96 km/h.

B. Import Geometri Chassis

Proses pertama yaitu mendesain geometri seperti pada Gambar 2 dan melakukan *assembly* dari *chassis bus* beserta komponen yang digunakan untuk simulasi seperti *chassis*, *bumper* serta *barrier* dengan menggunakan *software CAD*. Kemudian import geometri tersebut ke ANSYS, Gambar 3 dengan format file.stp atau x_b untuk dilakukan simulasi.



Gambar 2. *Geometry Chassis Bus* pada *software CAD*.



Gambar 3. *Geometry Chassis Bus* pada ANSYS.

C. Input Properties Material

Material *chassis* yang akan digunakan dalam penelitian kali ini adalah baja galvanis, sedangkan material *barrier* menggunakan *default carbon steel* yang sudah disediakan oleh *software*. *Barrier* dianggap sebagai *fix rigid body*. Sedangkan untuk rangka bumper menggunakan material *galvanized* dan untuk pelat bumper menggunakan material *aluminium alloy* sedangkan untuk rangka bumper menggunakan material *stainless steel*.

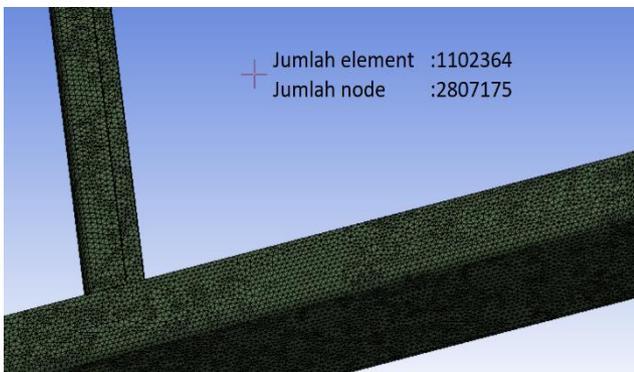
D. Proses Meshing

Tahap selanjutnya, geometri dan material yang sudah di *import* dilakukan *meshing* pada *chassis* kendaraan. *Meshing* merupakan pembagian model menjadi elemen-elemen. Elemen yang akan digunakan pada *meshing* pada *chassis* adalah elemen berbentuk tetrahedral ditunjukkan pada Gambar 4. Berikut ini merupakan hasil *meshing* dari *chassis* bus FUSO FE 84G BC. Untuk mendapatkan *meshing* yang baik

menggunakan konvergensi dari beberapa ukuran *meshing*. Uji konvergensi ditunjukkan pada Table 1, merupakan suatu proses untuk menguji apakah *quality mesh* baik dari pemilihan ukuran *mesh* untuk mendapatkan hasil deformasi yang valid. Dalam uji konvergensi ini diharapkan hasil dari proses *meshing* memberikan hasil yang konvergen. Semakin kecil ukuran elemen atau semakin banyak elemen maka didapatkan hasil yang valid, akan tetapi hal ini akan berpengaruh pada proses simulasi yang memakan waktu lebih lama.

Tabel 1. Uji konvergensi

No	Ukuran Mesh (mm)	Jumlah Elemen	Jumlah Titik	Average
1	12 (mm)	579378	715343	0,648
2	11 (mm)	593974	759882	0,680
3	10 (mm)	612342	818090	0,706
4	9 (mm)	639541	903768	0,740
5	8 (mm)	678068	1028735	0,767
6	7 (mm)	741564	1248295	0,775
7	6 (mm)	861089	1730870	0,762
8	5 (mm)	1102364	2807175	0,792



Gambar 4. Hasil *meshing* part chassis.

E. Perhitungan Pembebanan

Sebelum simulasi, perlu dilakukan perhitungan pembebanan untuk kondisi *collision* yang kemungkinan terjadi. Pemberian beban berupa pembebanan yang diakibatkan oleh kecepatan awal dan beban total kendaraan yang diberikan pada chassis. Besarnya kecepatan tergantung pada jenis *collision*nya. Massa total kendaraan sebesar 8000 kg sudah termasuk massa *driver*, penumpang dan beban lainnya. Berikut merupakan perhitungan pembebanan kecepatan awal.

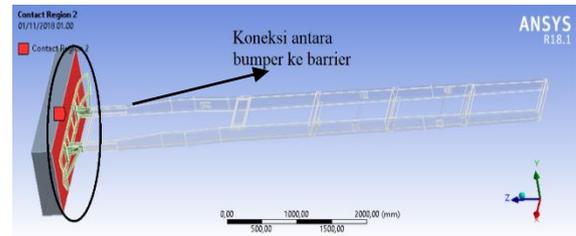
$$V_{lebm} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} (V_1 - V_2) \quad (1)$$

F. Penentuan Initial Condition

Pada tahap ini ada beberapa kondisi yang harus dimasukan untuk mendapatkan besar deformasi dari simulasi. Adapun kondisi yang dimasukan merupakan komponen yang sangat penting pada proses persiapan simulasi. Adapun kondisi yang harus diinput yaitu *connection part*, *fixed support*, input arah dan besar kecepatan, *end time* dan *input point mass*.

1. Connection pada barrier dan impact attenuator

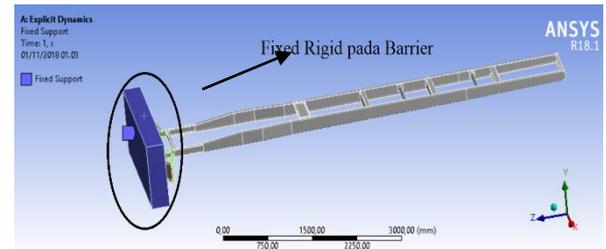
Dimana perlu adanya koneksi antara 2 geometry yang akan bertumbukan. Pada penelitian ini untuk koneksi yang diperlukan yaitu koneksi antara permukaan depan chassis dengan permukaan barrier yang akan ditumbukan. Ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Connection Geometry chassis.

2. Fixed Support pada Barrier

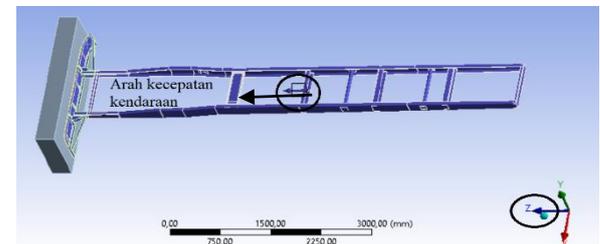
Pada Gambar 6 kondisi dimana geometri dari barrier diberi *boundary condition* berupa *fixed support*. Dimana fungsi dari *fixed support* sendiri adalah untuk membuat keadaan barrier rigid sehingga deformasi yang terjadi hanya pada chassis kendaraan.



Gambar 6. Penentuan fixed support.

3. Input Kecepatan pada Geometry Chassis

Pada Gambar 7 kondisi dimana geometri diberi input kecepatan agar bergerak sesuai kecepatan yang diinginkan untuk mendapatkan besar deformasi yang akan dianalisis. Dari pemberian kecepatan pada geometri juga dapat menentukan arah gerak dari kendaraan itu sendiri. Untuk arah dari kecepatan kendaraan sejajar.



Gambar 7. Input kecepatan pada geometri bus.

4. Penentuan waktu tumbukan

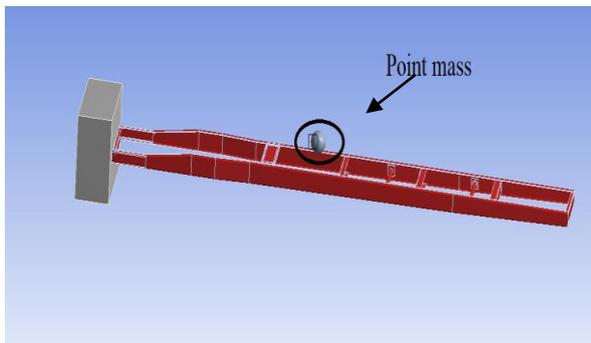
End time untuk *collision* kali ini didapatkan dengan beberapa kali simulasi untuk mendapatkan *end time* yang dapat menunjukkan kapan deformasi maksimal terjadi. Pada *end time* 0,0001 besar deformasi 0,69771 mm, *end time* 0,001 besar deformasi 13,75 mm, *end time* 0,01 besar deformasi 13,3605, *end time* 3 s besar deformasi 0,325 mm. Sehingga dari hasil beberapa simulasi yang mempunyai deformasi maksimal pada waktu 0,001 ditunjukkan pada Gambar 8.

Tabular Data				
	Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]	Average [mm]
42	6.22e-004	0.	11.400	4.0139
43	8.4002e-004	0.	11.702	4.6928
44	8.6003e-004	0.	11.983	4.7699
45	8.8005e-004	0.	12.233	4.8456
46	9.0007e-004	0.	12.486	4.9196
47	9.2008e-004	0.	12.734	4.9921
48	9.401e-004	0.	12.94	5.0629
49	9.6e-004	0.	13.126	5.1316
50	9.8002e-004	0.	13.384	5.199
51	1.e-003	0.	13.75	5.2649

Gambar 8. Waktu lama tumbukan.

5. Input Point Mass

Penambahan *point mass* pada geometri bertujuan untuk memberi beban tambahan pada kendaraan yang akan ditabrakan. Beban yang diberikan sesuai beban dari kendaraan yang akan dianalisis deformasinya yaitu 8000 kg. Bentuk pembebanan ditunjukkan pada Gambar 9.

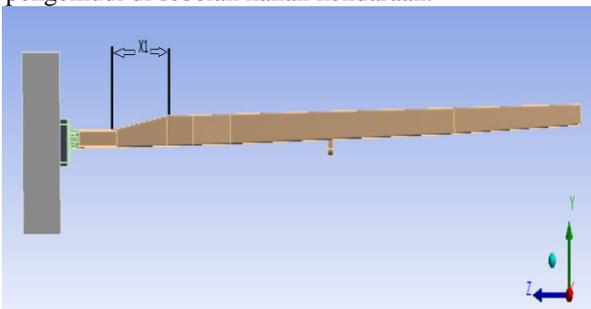


Gambar 9. *Point mass* pada *chassis* kendaraan.

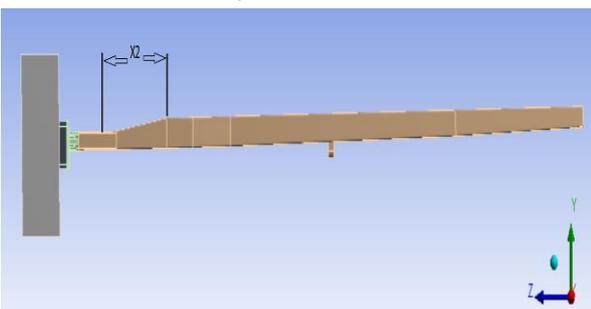
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Deformasi Bus FUSO FE 84G B

Letak roda kemudi dianggap *rigid* dan melekat pada *chassis* sehingga deformasi yang dialami oleh *chassis* akan sama dengan besarnya perpindahan roda kemudi. Sehingga, analisis perpindahan roda kemudi dapat dilakukan dengan menghitung selisih dari besarnya deformasi yang terjadi pada *chassis* sisi kanan untuk referensi, dimana letak posisi kemudi dan pengemudi di sebelah kanan kendaraan.



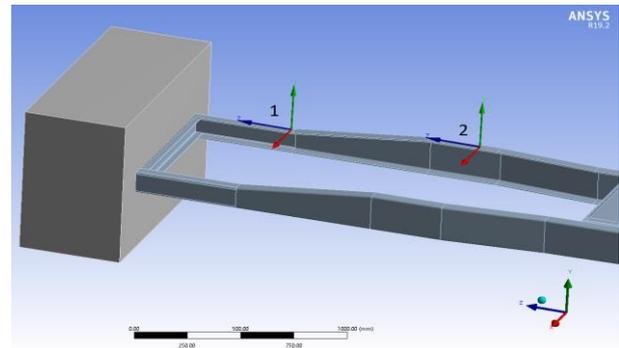
Gambar 10. *Chassis* sebelum terjadi *Collision*.



Gambar 11. *Chassis* setelah terjadi *Collision*.

Gambar 10 dan Gambar 11 merupakan keadaan *chassis* sebelum dan sesudah terjadi *collision*, dimana X_1 adalah jarak awal antara *steering* dan pengemudi sebelum terjadinya *collision* dan X_2 adalah jarak akhir antara *steering* dan pengemudi sesudah terjadinya *collision*.

Untuk mengetahui besarnya deformasi, pada *steering* dan pengemudi, maka perlu diberi titik koordinat sebagai acuan sebelum terjadi tabrakan. Penentuan titik koordinat dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Posisi koordinat pada bagian *steering* dan pengemudi untuk sisi kanan.

Dengan menentukan titik koordinat dapat membantu besar deformasi yang terjadi di titik yang diamati. Koordinat 1 merupakan posisi awal titik untuk *steering* dan koordinat 2 untuk pengemudi. Sehingga untuk menghitung total perpindahan antar *steering* dan pengemudi pada *chassis* kendaraan dapat dihitung dari selisih perpindahan kedua koordinat.

B. Prosedur Simulasi

Pada simulasi yang dilakukan ada beberapa prosedur yang harus ditentukan untuk mendapatkan hasil deformasi yang diinginkan, adapun prosedur yang harus dilakukan:

1. Menentukan 'Engineering Data'

Dimana penentuan material yang diinginkan untuk simulasi serta dapat menambahkan nilai *properties* material yang diinginkan.

2. Geometry

Pada outline ini terdapat bentuk *geometry* yang akan dianalisis, serta tahap ini dilakukan penambahan massa dari geometri itu sendiri tanpa merubah *properties* material dengan 'insert point mass' disini dapat memasukan besar massa yang diinginkan 8000kg.

3. Coordinate System

Pada outline ini dilakukan penambahan koordinat yang akan dianalisis, yaitu posisi titik koordinat untuk peletakan batang kemudi dan posisi pengemudi.

4. Connections

Pada outline ini dilakukan penentuan 'contact body' dan 'target body', dimana 2 permukaan *body* yang nantinya pada saat proses simulasi terjadi *contact*.

5. Mesh

Pada outline ini merubah bentuk solid dari *geometry* menjadi bentuk elemen-elemen kecil tak hingga yang setiap elemennya terhubung dengan *node*. Penentuan *mesh* agar dapat mendekati kondisi sebenarnya dilakukan dengan metode konvergensi dimana melakukan *meshing* berulang dengan variasi ukuran sehingga didapatkan ukuran yang digunakan 5mm dengan kualitas 79 %.

6. Initial Conditions

Pada tahap ini dilakukan input kecepatan untuk kendaraan yang akan ditabrakan 48km/jam, 75km/jam, 96 km/jam. Serta menentukan arah tabrakan menuju *barrier* yaitu sejajar dengan arah sumbu z positif.

7. Explicit Dynamics

Disini dilakukan penambahan *boundary* pada simulasi yang diperlukan seperti contohnya yaitu 'fixed support' dimana untuk memberi *fixed* pada *barrier* sehingga saat terjadi *collision barrier* tidak mengalami kerusakan.

8. Analysis Setting

Pada tahap ini dimasukan data-data simulasi yang diperlukan seperti lama waktu *collision*, *number of cycle*, *result number of point*, *analysis setting* yang nantinya akan memperlihatkan hasil dari simulasi.

9. Solution

Tahap ini merupakan tahap dimana dilakukan input untuk meninjau hasil yang akan dianalisis. Pada penelitian kali ini yang ditinjau antara lain *total deformation*, *deformation probe 1*, *deformation probe 2*, energi serapan.

C. Analisis Hasil Simulasi

Pada Table 2 menunjukan bahwa deformasi perpindahan terbesar terjadi pada *full width frontal collision* tanpa menggunakan bumper pada kecepatan 96 km/jam. Hal ini terjadi karena pada *full width frontal collision* tanpa bumper, energi tumbukan langsung diserap oleh *chassis* sehingga mengakibatkan perpindahan koordinat antara *steering* dan *driver* lebih besar dari pada *collision chassis* dengan bumper. Deformasi ini hanya ditinjau dari kanan *chassis* kendaraan bus dikarenakan posisi dari *steering* dan pengemudi bus berada diposisi kanan kendaraan yang ditunjukkan oleh *probe 1* dan *probe 2* pada Gambar 13.

Tabel 2. Hasil simulasi *chassis* bus *full width frontal collision* dan *offset width frontal collision* dengan variasi kecepatan dan penggunaan bumper

No	Tipe Collision	Chassis Kendaraan	Kecepatan (km/jam)	Hasil (mm)
1		Tanpa bumper	48	2,8436
2		bumper	75	4,4345
3			96	5,6624
4	Full width frontal collision	Dengan bumper	48	2,3349
5			75	3,4754
6			96	4,16
7		Tanpa bumper	48	2,8
8		bumper	75	4,3856
9	Offset width frontal collision		96	5,6
10		Dengan bumper	48	2,2722
11			75	3,4
12			96	4,051

Dari dua belas variasi simulasi *collision* pada *chassis* bus FUSO FE 84G BC, *chassis* kendaraan masih dalam batas aman sesuai standar FMVSS 204 yang menyebutkan bahwa perpindahan roda kemudi yang diizinkan sebesar 127 mm. Hal ini disebabkan karena massa dari bus Mitsubishi ini termasuk kendaraan tipe bus mini jika dibandingan dengan bus tipe HDD dan SHD, serta ketebalan dari desain *chassis* bus Mitsubishi cukup tebal untuk mengurangi besarnya deformasi yang terjadi.

Desain *bumper* dari karoseri yang digunakan dapat mengurangi deformasi yang terjadi pada *chassis*. Pada *full width frontal collision*, bumper dapat mereduksi hingga 17,889% dari deformasi yang terjadi pada *chassis* tanpa bumper pada kecepatan 48 km/jam, 27,596% pada kecepatan 75 km/jam dan 26,532% pada kecepatan 96 km/jam. Sedangkan pada *offset frontal collision* dapat mereduksi hingga 18,85% dari deformasi yang terjadi pada *chassis* tanpa bumper pada kecepatan 48 km/jam, 22,47% pada kecepatan 75 km/jam dan 21,628% pada kecepatan 96 km/jam. Pengurangan deformasi ini diakibatkan adanya jarak antara bagian depan bumper dan bagian depan *chassis*, sehingga ketika *chassis* menerima energi tumbukan tidak lagi pada kecepatan maksimal.

D. Internal energy pada chassis kendaraan setelah collision

Energi internal atau energi serapan yang terjadi pada *chassis* disebabkan dari pengaruh dari tumbukan yang terjadi

dengan *barrier*. Energi tumbukan dari kendaraan dapat dirasakan langsung oleh pengemudi dan penumpang. Untuk menjaga keamanan dan energi tumbukan tidak dirasakan oleh pengemudi maka harus ada bagian dari *chassis* yang dikorbankan untuk menyerap energi tumbukan namun deformasi pada *chassis* tidak melebihi standar FMVSS 204 yaitu sebesar 127 mm.

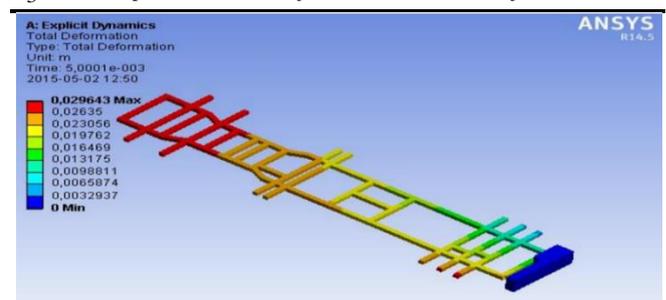
Adapun nilai dari energi serapan dari dua belas variasi *collision* yaitu untuk *full width frontal collision* besar energi serapan pada *chassis* dengan bumper dengan kecepatan 48 km/jam adalah 9511,8 J, kecepatan 75 km/jam adalah 22698 J dan kecepatan 96 km/jam adalah 36264, sedangkan untuk *chassis* tanpa bumper dengan kecepatan 48 km/jam adalah 11788, kecepatan 75 km/jam adalah 28551 J dan kecepatan 96 km/jam adalah 46463 J. Untuk *offset frontal collision* besar energi serapan pada *chassis* dengan bumper dengan kecepatan 48 km/jam adalah 4620,8 J, kecepatan 75 km/jam adalah 11103 J dan kecepatan 96 km/jam adalah 17853 J, sedangkan untuk *chassis* tanpa bumper dengan kecepatan 48 km/jam adalah 6016,3 J, kecepatan 75 km/jam adalah 14567 J dan kecepatan 96 km/jam adalah 23698 J. Dapat dilihat besar energi serapan antara *chassis* tanpa bumper lebih besar dari pada *chassis* dengan bumper, ini dikarenakan adanya bumper dapat mengurangi besar energi karena tumbukan.

E. Tahap Validasi Hasil Simulasi

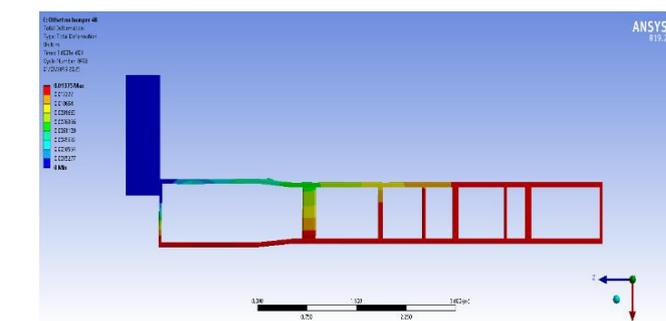
Untuk validasi hasil simulasi pada hasil penelitian kali ini diperlukannya komperasi hasil deformasi dengan penelitian sebelumnya atau sejenis untuk membandingkan besar deformasi yang didapatkan. Pada penelitian yang dilakukakn oleh Tautvydas Pravilonis, Edgar Sokolovskij dan Vytenis Surblys dari Vilnius Gediminas Technical University pada penelitiannya yang berjudul “*The analysis of deformations of the frame in a basic minibus and a low floor minibus*” didapatkan hasil pada Tabel 3.

Tabel 3. Komperasi hasil simulasi

No	Parameter	Chassis bus FUSO	Chassis basic minibus
1	Besar deformasi	13,75 mm	29,643 mm
2	End time	0,001 s	0,005 s
3	Kecepatan	48 km/jam	50 km/jam



Gambar 13. Penelitian *chassis basic minibus*.



Gambar 14. *Chassis* bus FUSO.

Dari hasil penelitian *frontal impact* pada kendaraan bus antara *chassis* bus FUSO dan *chassis basic minibus* terdapat perbedaan yang tidak signifikan dari parameter besar deformasi, *End time* dan kecepatan yang ditunjukkan pada Table 3 dan dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14 untuk hasil simulasi *explicite dynamic*. Perbedaan untuk besar deformasi dari kedua *chassis* ini dapat dipengaruhi oleh beban, ketebalan geometri dari kedua *chassis* serta material yang digunakan pada simulasi *finite elemen analysis* pada *software ansys*.

V. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi *collision* pada bus mitsubishi FUSO FE 84G BC yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Deformasi *chassis* bus Mitsubishi FUSO FE 84G BC untuk *full width frontal collision* dan *offset frontal collision* dengan variasi kecepatan dan bumper yang terbesar yaitu 5,6624 mm pada *full width frontal collision* tanpa bumper pada kecepatan 96 km/jam. Sesuai standar FMVSS 204 besar deformasi tidak melebihi dari 127 mm dan dinyatakan aman.

2. Bumper yang terpasang pada *chassis* kendaraan dapat mengurangi defleksi yang terjadi pada *chassis*. Pada *full width frontal collision* reduksi defleksi terbesar pada kecepatan 75 km/jam yaitu 21,628%, Sedangkan pada *offset frontal collision* reduksi terbesar pada kecepatan 96 km/jam yaitu 27,66%.
3. Besar energi serapan yang diterima oleh *chassis* saat terjadi tumbukan maksimum beragam sesuai besar kecepatan. Semakin tinggi kecepatan *collision* semakin besar pula nilai energi serapan. Dan perbandingan energi yang diserap antara *chassis* tanpa bumper lebih besar dari pada yang menggunakan bumper.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. I. Sutantra, *Teknologi Otomotif dan Aplikasinya*. .
- [2] S. Moaveni, *Finite Elementy Analysis Theory and Application with ANSYS*. .
- [3] NCAC, *Introduction to Vehicle Crashworthiness Lecture 1*. .
- [4] A. Ilhami A, H, "Analisis Collision pada Chassis Formula Sapuangin Speed dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga," 2016.
- [5] "National Highway Traffic Safety Administration Laboratory Test Procedure for FMVSS 204 Steering Control Rearward Displacement," 1996.