



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TM141585**

# **ANALISIS COLLISION PADA KENDARAAN MULTIGUNA PEDESAAN MENGGUNAKAN SOFTWARE VIRTUAL PERFORMANCE SOLUTION**

**MUHAMMAD NUR ARIFIN**  
NRP 0211134000058

**DOSEN PEMBIMBING**  
Dr. Ir. AGUS SIGIT PRAMONO, DEA

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018**



TUGAS AKHIR – TM141585

**ANALISIS *COLLISION* PADA KENDARAAN  
MULTIGUNA PEDESAAN MENGGUNAKAN  
*SOFTWARE VIRTUAL PERFORMANCE  
SOLUTION***

MUHAMMAD NUR ARIFIN  
NRP. 0211134000058

Dosen Pembimbing  
Dr.Ir.Agus Sigit Pramono,DEA

PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018



FINAL PROJECT – TM141585

***COLLISION ANALYSIS FOR RURAL  
MULTIPURPOSE VEHICLE USING VIRTUAL  
PERFORMANCE SOLUTION SOFTWARE***

MUHAMMAD NUR ARIFIN  
NRP. 0211134000058

Academic Supervisor  
Dr.Ir.Agus Sigit Pramono,DEA

BACHELOR PROGRAM  
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018

**ANALISIS COLLISION PADA KENDARAAN  
MULTIGUNA PEDESAAN MENGGUNAKAN  
SOFTWARE VIRTUAL PERFORMANCE SOLUTION**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**MUHAMMAD NUR ARIFIN**

**NRP. 02111340000058**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Agus Sigit Pramono, DEA  
NIP. 196508101991021001 (Pembimbing)
2. Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E  
NIP. 196511031990021001 (Penguji I)
3. Alief Wikarta, ST., M.Sc.Eng.Ph.D  
NIP. 198202102006041002 (Penguji II)
4. Ir. Julendra B. Ariatedja, MT.  
NIP. 196807061999031004 (Penguji III)



**SURABAYA**

**JANUARI, 2018**

**ANALISIS COLLISION PADA KENDARAAN  
MULTIGUNA PEDESAAN MENGGUNAKAN  
SOFTWARE VIRTUAL PERFORMANCE SOLUTION**

**Nama** : Muhammad Nur Arifin  
**NRP** : 0211134000058  
**Departemen / Fakultas** : Teknik Mesin / FTI – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. Agus Sigit Pramono,  
DEA

**ABSTRAK**

*Mobil multiguna pedesaan adalah suatu kendaraan yang mampu menjadi alat transportasi bagi masyarakat pedesaan guna meningkatkan produktivitas masyarakat pedesaan baik di daerah pesisir pantai maupun di daerah dataran tinggi. Mobil multiguna pedesaan sendiri menggunakan chassis dengan tipe ladder dan body tipe pick up. Desain mobil tipe pick up sendiri tidak memiliki moncong dibagian depan kursi pengemudi. Sehingga keselamatan pengemudi menjadi perhatian penting apabila mobil ini mengalami kecelakaan. Salah satu faktor krusial dan penting yang mempengaruhi keamanan kendaraan terletak pada chassis. Untuk itu perlu adanya suatu pengujian terhadap kendaraan untuk mengoptimalkan kekuatan dan berat dari chassis.*

*Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi dengan menggunakan metode elemen hingga. Mekanisme pemodelan pengujian collision yang dilakukan yaitu full*

*width frontal collision dan offset frontal collision. Pengujian frontal collision ini semuanya dilakukan di dalam software Virtual Performance Solution. Adapun collision ini dilakukan dengan kecepatan awal 48.3 km/jam pada semua metode collision sesuai dengan standar FMVSS 204. Analisa deformasi yang terjadi dilakukan sesaat ketika terjadi impact antara kendaraan dengan barrier.*

*Hasil dari simulasi menunjukkan deformasi terbesar terjadi pada pengujian full width frontal collision terhadap chassis, yaitu sebesar 1,621 mm. Sedangkan deformasi terkecil terjadi pada pengujian offset frontal collision terhadap body dan chassis yaitu sebesar 0,346 mm. Hasil pengujian tabrak kendaraan multiguna pedesaan menunjukkan defromasi yang sangat kecil sehingga masih jauh dari batas maksimal yang ditentukan oleh standard FMVSS 204,yaitu sebesar 127 mm. Sehingga desain chassis mobil multiguna pedesaan dinyatakan aman baik pada saat pengujian full width frontal collision maupun pada pengujian offset frontal collision.*

**Kata kunci:** *chassis, full width frontal collision, offset frontal collision, barrier, pick up*

***COLLISION ANALYSIS FOR RURAL  
MULTIPURPOSE VEHICLE USING VIRTUAL  
PERFORMANCE SOLUTION SOFTWARE***

***Name*** : ***Muhammad Nur Arifin***  
***NRP*** : ***0211134000058***  
***Departement / Faculty*** : ***Teknik Mesin / FTI – ITS***  
***Advisor*** : ***Dr. Ir. Agus Sigit Pramono,  
DEA.***

***ABSTRACT***

*Rural multipurpose car is a vehicle which be able to be a villager transportation to increase their productivity. This car uses ladder and pick up type as its chassis and body. Pick up car design doesn't have hood in front of driver seat so the passengers safety is the most important thing to be concerned about when this car having an accident. One of the most crucial and important factor which affects its safety is this car chassis. Because of that, we need to do research to optimize the strength and weight of its chassis.*

*The research method used is a simulation using finite element method. Collision test modelling mechanism done is full width frontal collision and offset frontal collision. Frontal collision test had been done by using Virtual Performance Solution software and the initial velocity is 48.3 km/h for all collision method agreed with FMVSS 204*

*standard. Deformation analysis had been done at moment when the impact between vehicle and barrier occurred.*

*The result of this simulation showed that the biggest deformation happened at test of full width frontal collision to chassis, 1,621 mm. While, the smallest deformation happened at test of offset frontal collision to body and chassis, 0,346 mm. And the result of rural multipurpose car crash test showed a very small deformation and it's far from maximal limit which is determined by FMVSS 204 standard, 127 mm. The conclusion is chassis of rural multipurpose car is safe not only at full width frontal collision test, but also offset frontal collision test.*

***Key words : chassis, full width frontal collision, offset frontal collision, barrier, pick up***

## KATA PENGANTAR



Puji syukur dihaturkan kehadirat Allah SWT, hanya karena tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan Pendidikan Sarjana S-1 di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksanakan dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orangtua penulis, Ibu **Tumini** dan Bapak **Musnari** yang senantiasa mendoakan, membimbing dan memberikan semua hal terbaik untuk penulis. Terimakasih karena telah menjadi seorang ibu dan bapak terbaik bagi penulis.
2. Kakak-kakak penulis, **Mas Ahmad, Mas Anam, Mas Arif** yang senantiasa memberikan dukungan baik secara moral, material, maupun spiritual. Terimakasih telah mengajarkan arti kehidupan bagi penulis.
3. Seluruh keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan, doa, motivasi dan nasihat kepada penulis.
4. **Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA** selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. **Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E, Alief Wikarta, ST., M.Sc.Eng, Ph.D, Ir. Julendra B. Ariatedja, MT** selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis dalam penyempurnaan Tugas Akhir ini.

6. **Mbek, Annas, Haqur, Bobi, Culbot, Ubed, Adul, Alham, Angga, Abner, Toni, Citro, Manda, Wicak, Bokir, Uyab, Intan, Uwik, Cino, Dika, Daus, Devi, Anggi, Rujak, Keputih, Marom** yang telah memberikan cerita, pengalaman hidup, dan keorganisasian yang penuh suka dan duka selama ini. **Thanks Bengkelerz 2013 (BEGALS) ! We are the superteam**
7. Seluruh pengurus **Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin (LBMM) FTI ITS** yang telah menjadi organisasi satu-satunya bagi penulis selama menjadi mahasiswa dan mengajarkan peran sebagai mahasiswa yang produktif.
8. Sahabat-sahabat **M-Cangkir** yang telah menemani dikala sedang butuh inspirasi dalam secangkir kopi.
9. **Bagong, Ujo, Acil, Tito dan seluruh pengurus FSAE Electric Team** atas kesediannya untuk selalu direpotkan dengan kebutuhan penyelesaian tugas akhir ini.
10. **Keluarga Keputih gang 1A no 22**, yang telah menjadi keluarga pertama bagi penulis di tanah rantau.
11. **Semua teman-teman angkatan 2013 (M56)** yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis. Terima kasih atas segala kritik dan saran serta motivasi yang telah kalian berikan.
12. **Teman-teman di lab MBP dan seperjuangan TA**, yang telah menemani mengerjakan tugas akhir dalam 1 semester terakhir.
13. **Segenap Dosen dan Karyawan Departemen Teknik Mesin FTI ITS**, Terima kasih atas ilmu yang disampaikan, semoga bermanfaat kedepannya bagi diri penulis dan bagi bangsa dan negara.
14. **Gedung Riset Mobil Listrik Nasional**, yang telah memberikan sarana dan pra sarana guna menyelesaikan tugas akhir ini.
15. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Dengan segala keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL  
LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Pokok Permasalahan .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penulisan .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Mobil Multiguna Pedesaan .....	7
2.1.1 Data Teknis Kendaraan .....	9
2.2 Kajian Pustaka .....	10
2.2.1 Penelitian Terdahulu .....	10
2.2.2 Klasifikasi Standar Keamanan Kendaraan .....	16
2.3 Dasar Teori .....	17
2.3.1 Komponen Kendaraan .....	17
2.3.2 Metode Elemen Hingga untuk Analisa Struktur .....	21
2.3.3 Teori Tumbukan .....	25
2.3.4 Mekanisme Uji Tabrak Kendaraan .....	31
2.3.5 Virtual Performance Solution .....	32
BAB III METODOLOGI .....	35
3.1 Prosedur Penelitian .....	35
3.2 Diagram Alir Penelitian .....	35
3.3 Mekanisme Pengujian .....	38
3.4 Spesifikasi Mobil Multiguna Pedesaan .....	39
3.5 Diagram Alir Permodelan .....	40

3.6	Import Geometri Mobil Multiguna Pedesaan.....	43
3.7	Proses Meshing.....	43
3.8	Input Properties Material.....	44
3.9	Perhitungan Pembebanan.....	44
3.10	Penentuan Initial Condition.....	48
BAB IV ANALISA HASIL SIMULASI .....		51
4.1	Analisa Deformasi Mobil Multiguna Pedesaan.....	51
4.2	Mobil Multiguna Pedesaan <i>Collision</i> dengan Ketebalan 2 mm	53
4.2.1	<i>Chassis Full width frontal collision</i> untuk ketebalan 2 mm.....	53
4.2.2	<i>Body dan Chassis Full width frontal collision</i> untuk ketebalan <i>chassis</i> 2 mm.....	54
4.2.3	<i>Chassis Offset frontal collision</i> untuk ketebalan 2 mm.....	56
4.2.4	<i>Body dan Chassis Offset frontal collision</i> untuk ketebalan <i>chassis</i> 2 mm.....	57
4.3	Mobil Multiguna Pedesaan <i>Collision</i> dengan Ketebalan 3 mm .....	58
4.3.1	<i>Chassis Full-width frontal collision</i> untuk ketebalan 3 mm.....	58
4.3.2	<i>Body dan Chassis Full-width frontal collision</i> untuk ketebalan <i>chassis</i> 3 mm.....	60
4.3.3	<i>Chassis Offset frontal collision</i> untuk ketebalan 3 mm.....	61
4.3.4	<i>Body dan Chassis Offset frontal collision</i> untuk ketebalan <i>chassis</i> 3 mm.....	62
4.4	Mobil Multiguna Pedesaan <i>Collision</i> dengan Ketebalan 5 mm	64
4.4.1	<i>Chassis Full-width frontal collision</i> untuk ketebalan 5 mm.....	64
4.4.2	<i>Body dan Chassis Full-width frontal collision</i> untuk ketebalan <i>chassis</i> 5 mm.....	65
4.4.3	<i>Chassis Offset frontal collision</i> untuk ketebalan 5 mm.....	66

4.4. 4 <i>Body</i> dan <i>Chassis Offset frontal collision</i> untuk ketebalan <i>chassis</i> 5 mm.....	68
4.5 Analisa Hasil Simulasi.....	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
5.1 Kesimpulan .....	73
5.2 Saran .....	74
DAFTAR PUSTAKA.....	75

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

### BAB 2

Gambar 2. 1 Desain modifikasi mobil multiguna pedesaan oleh ITS .....	8
Gambar 2. 2 Grafik kecepatan dan perpindahan selama uji tabrakan kendaraan .....	11
Gambar 2. 3 Perbandingan model elemen hingga dan kendaraan sesungguhnya .....	12
Gambar 2. 4 Hasil akhir deformasi kendaraan van dari Mohd Novry Rahadia.....	13
Gambar 2. 5 Hasil akhir deformasi kendaraan <i>articulated bus</i> dari Agung Setyo Nugroho .....	14
Gambar 2. 6 Hasil akhir deformasi kendaraan sapuangin speed dari Abdillah Hadi Alif Ilhami.....	15
Gambar 2. 7 Beberapa tipe struktur bodi dan <i>chassis</i> kendaraan.....	19
Gambar 2. 8 Beberapa tipe setang kemudi pada kendaraan	21
Gambar 2. 9 Elemen quadrilateral isoparametrik empat node.....	22
Gambar 2. 10 Element triangle .....	24
Gambar 2. 11 Proses Terjadinya Tumbukan Lenting Sempurna .....	26
Gambar 2. 12 Proses Terjadinya Tumbukan Tidak Lenting Sama Sekali .....	28
Gambar 2. 13Salah Satu Bentuk Tumbukan Lenting Sebagian.....	30
Gambar 2. 14 Tampilan Aplikasi Pam-Crash Solver.....	33

### BAB 3

Gambar 3. 1 Full width frontal <i>collision</i> .....	38
---	----

Gambar 3. 2 Offset frontal <i>collision</i> .....	39
Gambar 3. 3 Geometri mobil multiguna pedesaan untuk simulasi .....	43
Gambar 3. 4 Hasil meshing mobil multiguna pedesaan .....	44
Gambar 3. 5 Proses input material .....	44
Gambar 3. 6 Input kecepatan pada mobil multiguna pedesaan.....	47
Gambar 3. 7 Kontak pada <i>chassis</i> .....	48
Gambar 3. 8 <i>Connection impact attenuator</i> dan <i>chassis</i> ....	48
Gambar 3. 9 Penentuan <i>fix support</i> .....	49
Gambar 3. 10 Pemberian batasan koordinat pada <i>chassis</i> ..	49
Gambar 3. 11 End time pada pengujian <i>chassis</i> (0.0023 s) dan pada pengujian <i>chassis</i> beserta <i>body</i> (0.0088 s).....	50

#### BAB 4

Gambar 4. 1 Posisi steering dan penumpang pada mobil multiguna pedesaan.....	51
Gambar 4. 2 <i>Chassis</i> sebelum terjadi <i>collision</i> .....	52
Gambar 4. 3 <i>Chassis</i> sesudah terjadi <i>collision</i> .....	52
Gambar 4. 4 Posisi <i>chassis</i> sebelum <i>full-width frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 2 mm .....	53
Gambar 4. 5 Posisi <i>chassis</i> setelah <i>full-width frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 2 mm .....	53
Gambar 4. 6 Posisi <i>body</i> dan <i>chassis</i> sebelum <i>full-width frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 2 mm .....	54
Gambar 4. 7 Posisi <i>body</i> dan <i>chassis</i> setelah <i>full-width frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 2 mm .....	55
Gambar 4. 8 Posisi <i>chassis</i> sebelum <i>offset frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 2 mm .....	56
Gambar 4. 9 Posisi <i>chassis</i> setelah <i>offset frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 2 mm .....	56

Gambar 4. 10 Posisi <i>body</i> dan <i>chassis</i> sebelum <i>offset frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 2 mm.....	57
Gambar 4. 11 Posisi <i>chassis</i> sebelum <i>full-width frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 3 mm.....	58
Gambar 4. 12 Posisi <i>chassis</i> setelah <i>full-widht frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 3 mm.....	59
Gambar 4. 13 Posisi <i>body</i> dan <i>chassis</i> sebelum <i>full-width frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 3 mm .....	60
Gambar 4. 14 Posisi <i>body</i> dan <i>chassis</i> setelah <i>full-widht frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 3 mm .....	60
Gambar 4. 15 Posisi <i>chassis</i> sebelum <i>offset frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 3 mm .....	61
Gambar 4. 16 Posisi <i>chassis</i> setelah <i>offset frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 3 mm .....	61
Gambar 4. 17 Posisi <i>body</i> dan <i>chassis</i> sebelum <i>offset frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 3 mm.....	62
Gambar 4. 18 Posisi <i>body</i> dan <i>chassis</i> setelah <i>offset frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 3 mm.....	63
Gambar 4. 19 Posisi <i>chassis</i> sebelum <i>full-width frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 5 mm.....	64
Gambar 4. 20 Posisi <i>chassis</i> setelah <i>full-widht frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 5 mm.....	64
Gambar 4. 21 Posisi <i>body</i> dan <i>chassis</i> sebelum <i>full-width frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 5 mm .....	65
Gambar 4. 22 Posisi <i>body</i> dan <i>chassis</i> setelah <i>full-widht frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 5 mm .....	65
Gambar 4. 23 Posisi <i>chassis</i> sebelum <i>offset frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 5 mm .....	66
Gambar 4. 24 Posisi <i>chassis</i> setelah <i>offset frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 5 mm .....	67
Gambar 4. 25 Posisi <i>body</i> dan <i>chassis</i> sebelum <i>offset frontal collision</i> pada variasi ketebalan <i>chassis</i> 5 mm.....	68

Gambar 4. 26 Posisi *body* dan *chassis* setelah *offset frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 5 mm..... 68

Gambar 4. 27 Desain *chassis* pada manual book software VPS sebelum dan sesudah tumbukan ..... 71

Gambar 4. 28 Geometri *chassis* pada penelitian yang dilakukan oleh Mohd Novry Rahadian setelah menabrak *barrier*..... 72

## DAFTAR TABEL

### BAB 2

Tabel 2. 1 Tabel Spesifikasi Mobil Multiguna Pedesaan .....	9
Tabel 2. 2 Perbandingan penelitian-penelitian sebelumnya	15

### BAB 3

Tabel 3. 1 Material properties untuk chassis dan frame belakang .....	40
Tabel 3. 2 Material properties untuk bodi depan dan bak toko.....	40
Tabel 3. 3 Closing Speed Pada Penelitian Saat Ini .....	46

### BAB 4

Tabel 4. 1 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat <i>full-widht frontal collision</i> .....	54
Tabel 4. 2 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat <i>full-widht frontal collision</i> .....	55
Tabel 4. 3 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat <i>offset frontal collision</i> .....	56
Tabel 4. 4 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat <i>offset frontal collision</i> .....	58
Tabel 4. 5 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat <i>full-widht frontal collision</i> .....	59
Tabel 4. 6 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat <i>full-widht frontal collision</i> .....	60
Tabel 4. 7 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat <i>offset frontal collision</i> .....	62
Tabel 4. 8 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat <i>offset frontal collision</i> .....	63
Tabel 4. 9 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat <i>full-widht frontal collision</i> .....	64

Tabel 4. 10 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat <i>full-widht frontal collision</i> .....	66
Tabel 4. 11 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat <i>offset frontal collision</i> .....	67
Tabel 4. 12 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat <i>offset frontal collision</i> .....	68
Tabel 4. 13 Hasil simulasi tanpa body dan dengan body dengan variasi ketebalan.....	69

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini kemajuan teknologi alat transportasi telah berkembang sedemikian pesatnya. Perkembangan yang terjadi berasal dari permintaan konsumen yang menginginkan untuk kendaraan yang lebih baik. Tak hanya masyarakat perkotaan, namun masyarakat pedesaan juga menginginkan adanya kemajuan alat transportasi khusus pedesaan. Indonesia lewat Kementerian Perindustrian (Kemenperin), mewacanakan program pengembangan produk otomotif mobil multiguna untuk mendukung produktivitas masyarakat pedesaan dalam beraktifitas.

Dalam mendukung pemerintah, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya sebagai salah satu institut terbaik di Indonesia yang berfokus dibidang keteknikan menawarkan desain kendaraan yang dapat digunakan dalam berbagai macam proses produksi pertanian dan perikanan seperti pengangkutan ,penggilingan, pembekuan, dan lain-lain. Departemen Teknik Mesin telah mewujudkan *prototype* mobil multiguna pedesaan yang menggunakan desain mobil GEA karya PT.INKA (Industri Kereta Api) dengan *box* belakang yang dapat diubah-ubah sesuai kebutuhan masyarakat pedesaan. Namun dalam merancang suatu kendaraan, faktor keamanan dan kenyamanan merupakan hal yang sangat penting. Salah satu faktor krusial dan penting yang mempengaruhi keamanan kendaraan terletak pada *chassis*.

Menurut I Nyoman Sutantra (2009)<sup>[1]</sup> dalam bukunya menjelaskan *chassis* adalah komponen kendaraan yang fungsi utamanya sebagai rangka penguat konstruksi bodi

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 *engine*.

Kecelakaan lalu lintas bisa terjadi dimana saja, sehingga pada saat ini kendaraan harus dirancang untuk lebih mampu menerima kecelakaan terlebih lagi kendaraan yang mengangkut penumpang seperti mobil pedesaan. Apalagi ditambah medan jalan di pedesaan yang beragam, jalan yang licin atau ketika kondisi pengereman tidak berfungsi sebagaimana mestinya menambah resiko terjadinya kecelakaan pada mobil pedesaan. Kemudian mobil pedesaan milik ITS ini didesain menggunakan tipe bodi mobil *pick-up* karena sesuai dengan kebutuhan mobil ini sebagai sarana transportasi pengangkutan di pedesaan. Desain mobil tipe *pick up* sendiri tidak memiliki moncong dibagian depan kursi pengemudi. Sehingga keselamatan pengemudi menjadi perhatian penting apabila mobil ini mengalami kecelakaan. Untuk itu perlu adanya suatu pengujian terhadap kendaraan untuk mengoptimalkan kekuatan dan berat dari *chassis*. Salah satu pengujian yang dilakukan adalah uji tabrak kendaraan. Uji tabrak kendaraan mengukur kemampuan struktur kendaraan untuk menyerap energi kinetik yang ditimbulkan selama terjadi tabrakan (*collision*). Desain *chassis* yang baik dapat menyerap energi yang besar selama tabrakan (*collision*).

Dengan perkembangan teknologi komputer, maka proses pengujian ini dapat dilakukan dengan lebih mudah. Dengan membangun simulasi komputer maka kita bisa

memprediksi hasil dari pengujian ini dan memberikan referensi teknikal mengenai desain sebelum melaksanakan proses manufaktur yang memerlukan banyak biaya. Simulasi ini dibangun dengan menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*).

## 1.2 Pokok Permasalahan

Uji tabrak kendaraan dapat menyajikan informasi yang penting mengenai performa keamanan dari suatu kendaraan apabila mengalami kecelakaan. Sehingga permasalahan dari penelitian ini adalah, bagaimana menyimulasikan uji tabrak *chassis* yang dapat mendekati kondisi sebenarnya.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Memodelkan pengujian *frontal collision* untuk *chassis* dan *body* mobil multiguna pedesaan dengan kondisi awal sesuai dengan standar FMVSS 204.
2. Menghitung besarnya deformasi yang terjadi pada *chassis* ketika terjadi *frontal collision*.
3. Menganalisa deformasi yang terjadi pada *chassis* mobil multiguna pedesaan untuk beberapa jenis *collision* sesuai standar FMVSS 204 sehingga dapat menentukan apakah desain *chassis* kendaraan cukup aman jika mengalami *frontal collision*.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada analisis *collision* ini adalah :

1. Analisis dibatasi hanya pada *chassis* dan *body* mobil multiguna pedesaan ITS dengan tipe bak angkut.

2. Kendaraan dianalisa dengan kondisi berjalan lurus dengan kecepatan konstan.
3. Sambungan dari tiap join diasumsikan sempurna.
4. Material *chassis* diasumsikan homogen.
5. Batang kemudi dianggap rigid.
6. Yawing dan pitching pada kendaraan diabaikan.
7. Menggunakan *software Virtual Performance Solution*.

### **1.5 Manfaat Penulisan**

Adapun manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian pada Tugas Akhir ini dapat dijadikan referensi untuk mendesain kendaraan yang lebih baik, demi kemajuan mobil multiguna pedesaan ITS dan dunia otomotif di Indonesia.
2. Sebagai media penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan didunia otomotif dalam hal perancangan kendaraan.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Dalam penyusunan proposal Tugas Akhir kali ini, sistematika penulisan adalah sebagai berikut :

#### **Bab I Pendahuluan**

Berisikan latar belakang, pokok permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penulisan serta sistematika laporan

#### **Bab II Tinjauan Pustaka**

Berisikan teori-teori pendukung yang digunakan dalam menyusun Tugas Akhir ini.

#### **Bab III Metodologi**

Berisikan prosedur pelaksanaan pengujian dan pengambilan data serta prosedur analisa.

#### **BAB IV Pembahasan**

Berisikan analisa data dari hasil penelitian yang sudah dilakukan.

#### **BAB V Kesimpulan dan Saran**

Berisikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk penelitian tersebut

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Mobil Multiguna Pedesaan**

Mobil multiguna pedesaan adalah salah satu program yang dicanangkan oleh pemerintah khusus bagi kepentingan masyarakat pedesaan guna meningkatkan produktivitas masyarakat pedesaan baik yang berada di daerah pesisir maupun di daerah dataran tinggi. Solusi yang ditawarkan oleh pemerintah ini kemudian dicoba oleh Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya untuk diaplikasikan menjadi sebuah *prototype* yang mana telah berhasil dibuat bekerja sama dengan PT. Industri Kereta Api (INKA). Dalam hal ini PT.INKA membuat mobil dengan tipe *pick up* kemudian pihak Departemen Teknik Mesin ITS mendesain *box* belakang yang mampu diganti sesuai kebutuhan masyarakat pedesaan.

PT.INKA menamai mobil ini dengan sebutan mobil GEA, yang merupakan singkatan Gulirkan Energi Alternatif. Sumber tenaganya adalah mesin berkapasitas 640 cc yang terletak di bagian bawah *chassis*. Mobil multiguna pedesaan ini menggunakan *chassis* tipe *ladder frame*. Tipe *chassis* ini berbentuk seperti tangga, yang mana terbuat dari material baja simetris. *Chassis* tipe ini tidak menyatu dengan mobil dan terletak dibagian bawah. Kemudian komponen lain mobil multiguna pedesaan seperti body, mesin, maupun bak belakang mobil disambungkan ke *chassis* menggunakan *joint* berupa las dan baut.



Gambar 2. 1 Desain modifikasi mobil multiguna pedesaan oleh ITS

Mobil multiguna pedesaan ini didesain dengan diameter ban berukuran 13 inci yang tergolong mobil mini, dashboard nya didesain minimalis dengan panel kecepatan diletakkan di bagian tengah. Dalam panel ada jarum penunjuk kecepatan, indikator bahan bakar, temperature, oli, dan lampu. Untuk membuka dan menutup kaca pintu depan dilakukan secara manual. Bagian belakang terdapat *box* yang mulanya didesain seperti *pick up* kemudian dikembangkan oleh Departemen Teknik Mesin ITS mampu dirubah menjadi *box* untuk penumpang dengan tambahan pengait dan tiang penopang untuk pergantian *box*. Sementara lampu depan dibuat besar (dengan lubang angin untuk pendinginan mesin diantara 2 lampu depan besar tersebut). Semuanya ramping dengan tiga susunan lampu berbeda. Masing-masing berwarna kuning dan putih. Sedangkan mesin mobil berada di bagian bawah *chassis*.

### 2.1.1 Data Teknis Kendaraan

Berikut beberapa data mengenai spesifikasi mobil multiguna pedesaan :

Tabel 2. 1 Tabel Spesifikasi Mobil Multiguna Pedesaan

<b>Spesifikasi Mobil Multiguna Pedesaan</b>	
<b>Dimensi</b>	
Jarak sumbu roda	2590 mm
Lebar	1440 mm (depan)
	1480 mm (belakang)
Tinggi	2260 mm
Jarak terdekat ke lintasan	240 mm
<b>Berat</b>	
Berat rolling chassis	910 kg
Berat bak angkut	300 kg
Berat box penumpang/toko	700 kg
<b>Ban</b>	
4 roda tunggal	Radial (P 165/80 R13)
<b>Sistem Penggerak</b>	
Kapasitas ruang bakar	644 cc
Rasio tekanan (compression ratio)	9.0 : 1
Sistem pasokan bahan bakar	Injeksi
Daya mesin maksimum	20 kW (4500 rpm)
Torsi maksimum	51 N.m (3000 rpm)
Konsumsi bahan bakar spesifik	280 gr/kWh (2800 rpm)
Putaran maksimum	5500 rpm
Putaran lambat (idle)	1000 rpm
Moving-off element ratio	1.6
<b>Gear Ratio</b>	
1 <sup>st</sup> gear	4
2 <sup>nd</sup> gear	2.8

3 <sup>rd</sup> gear	1.8
4 <sup>th</sup> gear	1
Final gear ratio	4.9

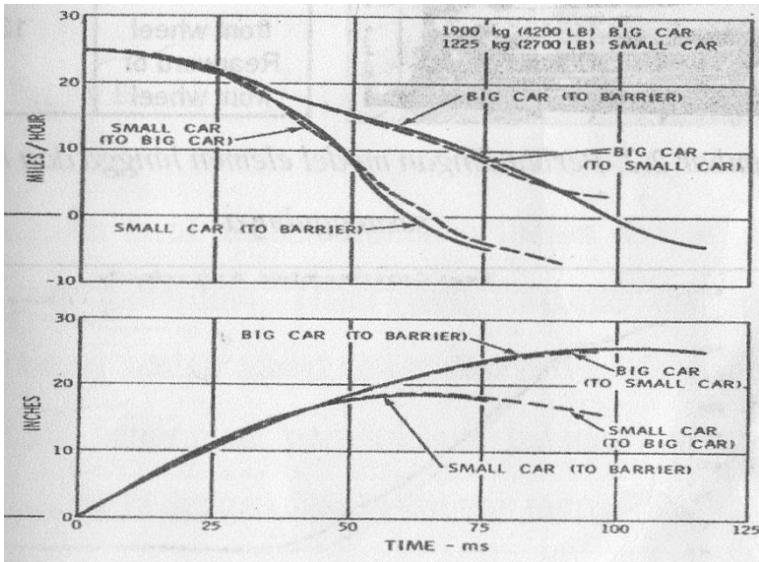
## 2.2 Kajian Pustaka

### 2.2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam melakukan penelitian ini diperlukan berbagai referensi dari penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Beberapa penelitian tersebut yang akan dijabarkan antara lain penelitian mengenai perbandingan pengujian tabrakan kendaraan dengan *barrier*, penggunaan metode elemen hingga untuk analisa *collision*.

#### 2.2.1.1 Perbandingan Pengujian Tabrakan Kendaraan dengan Kendaraan dan Kendaraan dengan *Barrier*

Berdasarkan Society of Automotove Engineers (SAE)<sup>(2)</sup> tabrakan frontal antara kedua kendaraan ekuivalen dengan tabrakan antara kendaraan tunggal dengan *fixed rigid barrier concrete*. Perbandingan hasil penelitian tabrakan kendaraan dengan kendaraan dan kendaraan dengan *barrier* dapat dilihat dari grafik di bawah ini.

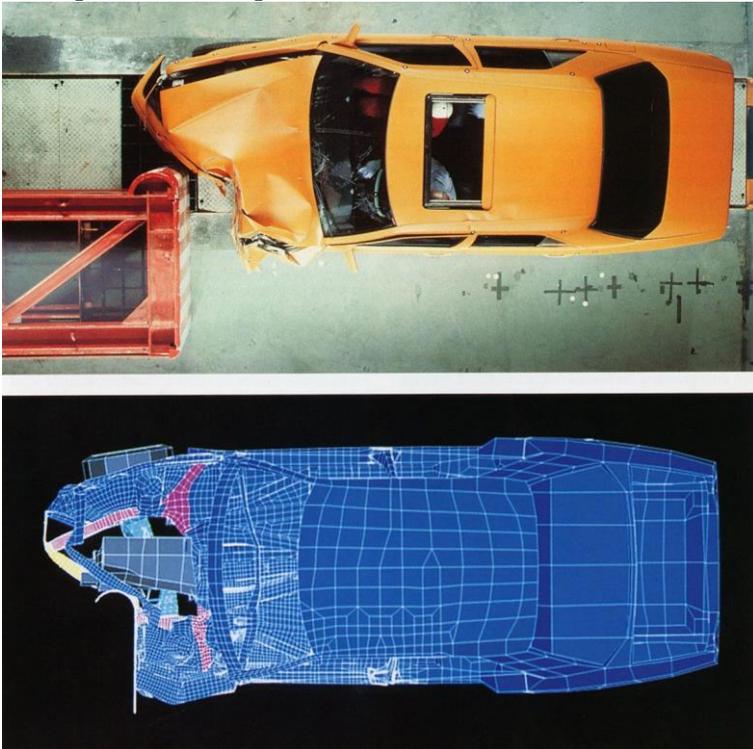


Gambar 2. 2 Grafik kecepatan dan perpindahan selama uji tabrakan kendaraan

Dari empat study kasus diatas, tabrakan kendaraan berat dengan *barrier* memiliki durasi yang paling lama dan kendaraan kecil dengan *barrier* memiliki durasi yang paling kecil. Sedangkan kendaraan berat dengan kendaraan kecil memiliki durasi tidak lebih lama dibandingkan kendaraan berat terhadap *barrier* maupun tidak lebih kecil durasinya dibandingkan kendaraan kecil terhadap *barrier*. Sehingga bisa diasumsikan tabrakan antara kendaraan tunggal dengan *fixed rigid barrier concrete* dan tabrakan antara kedua kendaraan yaitu ekuivalen.

### 2.2.1.2 Penggunaan Metode Elemen Hingga untuk Analisa *Collision*

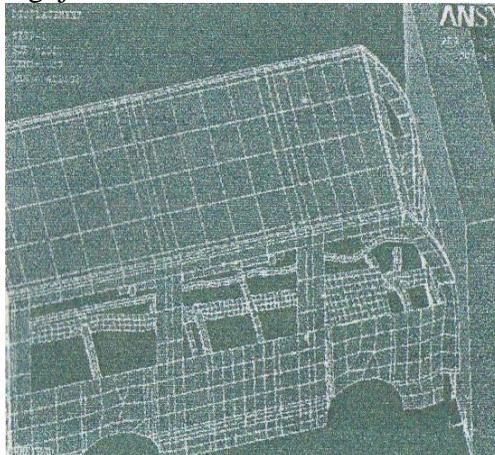
Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh National Crash Analysis Center<sup>(3)</sup> mencoba membandingkan hasil pengujian tabrakan kendaraan sesungguhnya dengan model dari elemen hingga. Beberapa parameter yang diamati adalah bentuk deformasi yang terjadi, gerak umum kendaraan, energy yang diserap selama tabrakan dan *time history* dari beberapa lokasi komponen.



Gambar 2. 3 Perbandingan model elemen hingga dan kendaraan sesungguhnya

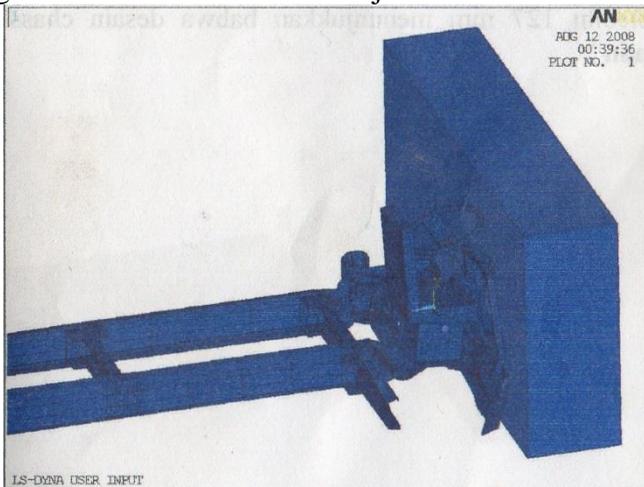
Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa ada perbedaan kecil antara pengujian tabrak sesungguhnya dengan pengujian melalui simulasi menggunakan metode elemen hingga. Perbedaan kecil tersebut akibat dari sedikit perbedaan property dari kendaraan yang dimodelkan. Sehingga model elemen hingga dapat digunakan untuk mensimulasikan tabrakan kendaraan.

Penelitian mengenai penggunaan metode elemen hingga untuk analisa *collision* dilakukan oleh Mohd Novry Rahadian<sup>(4)</sup>, dalam *Analisa Collision pada kendaraan model van* telah melakukan penelitian tentang analisa frontal *collision* dengan metode full width dan offset pada bagian *chassis* kendaraan van Mitsubishi Colt T120ss. Dari penelitian Novry memberikan informasi bahwa perpindahan batang kemudi pada pengujian offset frontal *collision* lebih besar daripada pengujian full width frontal *collision*.



Gambar 2. 4 Hasil akhir deformasi kendaraan van dari Mohd Novry Rahadia

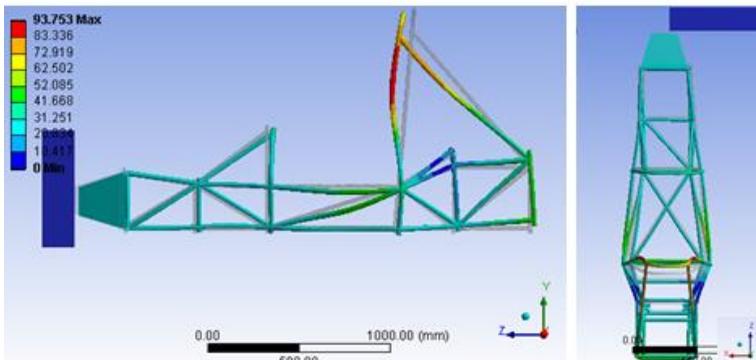
Agung Setyo Nugroho<sup>(5)</sup>, dalam *Studi Kasus Collision pada Chassis Articulated Bus Dengan Metode Elemen Hingga* menyimpulkan bahwa dari hasil pengujian tabrakan dengan berbagai jenis kendaraan, didapatkan hasil bahwa *chassis* kendaraan uji mengalami perpindahan batang kemudi melebihi batas maksimum kemanan yang diijinkan yaitu 127 mm. Tetapi *chassis* kendaraan bagian belakang tidak mengalami kerusakan sewaktu terjadi tabrakan.



Gambar 2. 5 Hasil akhir deformasi kendaraan *articulated bus* dari Agung Setyo Nugroho

Abdillah Hadi Alif Ilhami<sup>(6)</sup>, dalam *Analisis Collision pada Formula Sapuangin Speed dengan Material Alumunium Menggunakan Metode Elemen Hingga* juga menyimpulkan penggunaan *impact attenuator* sebagai *dampers* mengurangi terjadinya deformasi baik pada pengujian *full width frontal collision* juga pada *offset frontal collision*. Penggunaan *dampers* ini mengurangi defleksi

*chassis* sebesar 18% pada *full width frontal collision* dan 8% pada *offset frontal collision*.



Gambar 2. 6 Hasil akhir deformasi kendaraan sapuangin speed dari Abdillah Hadi Alif Ilhami

Tabel 2. 2 Perbandingan penelitian-penelitian sebelumnya

	Mohd Novry	Agung Setyo	Abdillah H. Alif
Objek Penelitian	Mobil Mitsubishi colt T120 SS (van)	<i>Articulated Bus</i>	<i>Sapuangin Speed</i>
Software	Ansys	Ansys	Ansys
Model	Hexahedron	Hexahedron	Tetrahedron

Type Collision	Full width dan offset frontal collision	Full width dan offset frontal collision	Full width dan offset frontal collision
Standard	FMVSS 204	FMVSS 204	FMVSS 204
Variasi Penelitian	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kendaraan sejenis</li> <li>• Light truck</li> <li>• Heavy truck</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kendaraan ringan</li> <li>• Kendaraan berat</li> <li>• Kendaraan sejenis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kendaraan sejenis</li> <li>• Menggunakan bumper/tidak</li> </ul>

Berdasarkan keempat penelitian yang sudah dilakukan, pada penelitian *collision chassis* mobil multiguna pedesaan kali ini akan menggunakan metode finite elemen untuk mensimulasikan *collision* yang terjadi. Jenis *collision* yang akan diujikan sama dengan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yaitu full-widht frontal *collision* dan offset frontal *collision*.

### 2.2.2 Klasifikasi Standar Keamanan Kendaraan

Ada berbagai jenis standar keamanan yang digunakan, salah satunya adalah Federal Motor Savety Standar (FMVSS). Standar keamanan tersebut dapat diklasifikasikan kedalam 4 jenis yaitu :

- FMVSS 201-205, 208, 210, 212, 214, 216  
Standar untuk mengurangi terjadinya luka-luka
- FMVSS 205, 206, 212  
Standar untuk mengurangi kemungkinan penumpang terlempar dari kendaraan
- FMVSS 207, 210  
Standar untuk meyakinkan kekuatan dan keamanan dari komponen
- FMVSS 301  
Standar untuk meminimalkan resiko kebakaran

Pada penelitian ini uji tabrakan kendaraan yang akan digunakan adalah **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 kendaraan sebesar 4.536 kg atau

dibawahnya dan kendaraan tidak bermuatan dengan berat 2.496 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. Besarnya perpindahan harus diukur relatif terhadap titik yang terganggu pada kendaraan dan akan mewakili perpindahan dinamis maksimum dari utung atas roda kemudi dan poros kemudi selama *collision* tes dilakukan.

## **2.3 Dasar Teori**

### **2.3.1 Komponen Kendaraan**

Dalam analisis collision komponen kendaraan yang sangat penting yaitu struktur bodi kendaraan (*chassis*) dan sistem setang kemudi. Karena kedua komponen ini berhubungan langsung dengan proses terjadinya tumbukan dalam suatu tabrakan. Struktur bodi berhubungan langsung dengan proses penyerapan energy mekanik sedangkan setang kemudi merupakan komponen yang dianalisis langsung perpindahannya sesuai standard yang ada.

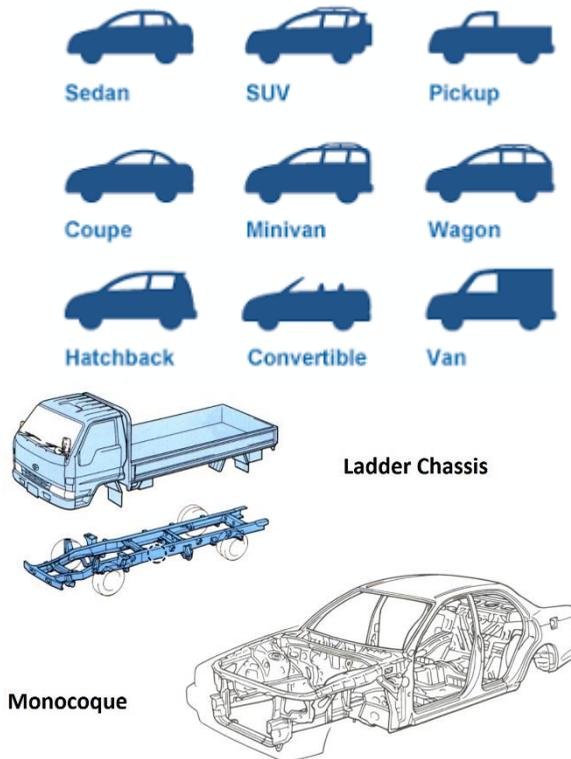
#### **2.3.1.1 Struktur Bodi Kendaraan**

Struktur bodi kendaraan penumpang dan barang pada umumnya terdiri dari 3 bagian utama yaitu : bagian rangka, bagian bodi, dan bagian depan kendaraan. Namun tidak jarang kendaraan didesain tidak memiliki bagian depan kendaraan karena kebutuhan penggunaan agar lebih gesit terutama kendaraan yang berfungsi membawa berat lebih di bagian belakang, misalnya : bus, *pick up*, dan lain sebagainya. Struktur bodi kendaraan mempunyai fungsi untuk melindungi penumpang, member kenyamanan pada

penumpang serta menjamin keamanan dari penumpang. Bodi biasanya terbuat dari pelat dengan ketebalan antara 0.76 mm sampai 1.02 mm. Struktur bodi memberikan tiga per empat dari kekakuan kendaraan terhadap bending dan torsi. Dengan demikian bodi dengan strukturnya secara lengkap adalah struktur utama kendaraan dalam memberi kekakuan atau ketahanan kendaraan terhadap benturan atau tumbukan. Jika terjadi tabrakan pada kendaraan, kekuatan struktur bodi lah yang meminimalkan kerusakan yang terjadi pada ruang penumpang. Struktur bodi secara keseluruhan harus mampu menyerap energi tumbukan yang cukup besar sehingga energi tumbukan tidak membahayakan penumpang.

Berbagai macam tipe struktur bodi yang telah diproduksi oleh pabrikan kendaraan. Dalam hal ini ada yang menggolongkan tipe struktur bodi dalam dua hal, yaitu bodi dengan “hidung” dan bodi tanpa “hidung”. Pada penelitian kali ini mobil yang digunakan untuk dilakukan simulasi yaitu salah satu mobil dengan tipe struktur bodi tanpa “hidung”. Tipe struktur bodi tanpa hidung ini sangat rentan ketika terjadi tabrakan dari depan, karena tidak ada bagian kendaraan lain yang menumbuk objek di depannya. Sehingga seakan pengemudi merasakan langsung tumbukan tersebut dan keselamatannya pun menjadi terancam.

Struktur rangka (*frame*) merupakan bagian penguat utama dari struktur bodi dan juga merupakan penopang tempat duduk dari mesin, transmisi suspense, penyalur daya dan aksesoris lain. Pada saat terjadi tabrakan, struktur rangka lah yang mengambil porsi terbesar dalam menyerap energi tabrakan atau tumbukan.



Gambar 2. 7 Beberapa tipe struktur bodi dan *chassis* kendaraan

### 2.3.1.2 Sistem Kemudi Kendaraan

Sistem kemudi kendaraan dimaksudkan untuk mengendalikan arah gerakan kendaraan. Suatu sistem kemudi kendaraan dikatakan ideal untuk suatu kendaraan jika ia mempunyai sifat-sifat :

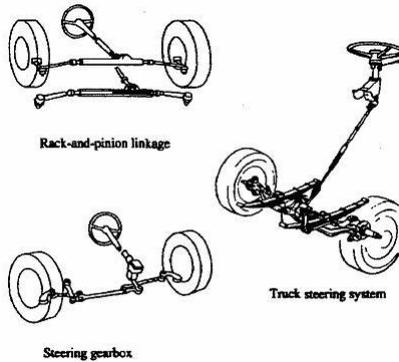
- Dapat digunakan sebagai pengendali arah kendaraan untuk segala kondisi, segala jenis belokan, dan segala kecepatan
- Dapat menjamin serta menjaga stabilitas arah kendaraan pada segala jenis gerakan belok dan pada segala kecepatan
- Tidak membutuhkan tenaga yang besar dari pengemudi untuk menggerakkan roda kemudi dalam mengendalikan arah gerak kendaraan
- Tidak membahayakan pengemudi jika terjadi kecelakaan pada kendaraan.

Komponen utama sistem kemudi terdiri dari *steering coloumn*, *steering gear*, dan *steering linkage*. *Steering gear* tidak hanya berfungsi sebagai untuk mengarahkan roda depan, namun dalam waktu bersamaan juga berfungsi sebagai gigi reduksi untuk meningkatkan momen agar kemudi menjadi ringan. Biasanya perbandingan steerig gear yang dipegunakan antara 18 sampai 20 : 1. Perbandingan yang semakin besar akan menyebabkan kemudi kian ringan, akan tetapi jumlah putarannya bertambah banyak untuk sudut belok yang sama.

Komponen *steering linkage* terdiri dari *rod* dan *arm* yang meneruskan tenaga gerak dari *steering gear* ke roda depan. *Steering linkage* untuk suspensi independen terdiri dari sepasang *tie rod* yang disambungkan dengan *relay rod*. Satu pipa dipasang diantara *tie rod* dan *tie rod end* untuk menyetel panjangnya *rod*.

Secara sederhana cara kerja sistem kemudi adalah bila diputar, maka *steering coloumn* akan meneruskan tenaga putarnya ke *steering gear*. Selanjutnya, *steering gear* memperbesar putar ini sehingga menghasilkan momen yang

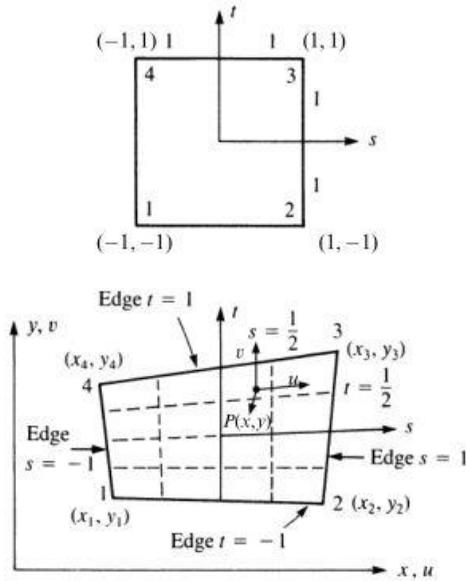
lebih besar untuk menggerakkan roda depan melalui *steering linkage*.



Gambar 2. 8 Beberapa tipe setang kemudi pada kendaraan

### 2.3.2 Metode Elemen Hingga untuk Analisa Struktur

Pada penelitian kali ini menggunakan elemen quadrilateral isoparametrik empat node. Elemen ini digunakan pada sebagian besar penampang (*surface*) bagian kendaraan mobil multiguna pedesaan.



Gambar 2. 9 Elemen quadrilateral isoparametrik empat node

Untuk mendapatkan nilai stress dan strain pada elemen quadrilateral isoparametric empat node menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\varepsilon = D'Nd \text{ dan } \sigma = D B d$$

dimana nilai  $D'$  adalah :

$$D' = \frac{1}{|J|} \begin{bmatrix} \frac{\partial y}{\partial t} \frac{\partial (\cdot)}{\partial s} - \frac{\partial y}{\partial s} \frac{\partial (\cdot)}{\partial t} & 0 & \frac{\partial x}{\partial s} \frac{\partial (\cdot)}{\partial t} - \frac{\partial x}{\partial t} \frac{\partial (\cdot)}{\partial s} \\ 0 & \frac{\partial x}{\partial s} \frac{\partial (\cdot)}{\partial t} - \frac{\partial x}{\partial t} \frac{\partial (\cdot)}{\partial s} & \frac{\partial y}{\partial t} \frac{\partial (\cdot)}{\partial s} - \frac{\partial y}{\partial s} \frac{\partial (\cdot)}{\partial t} \\ \frac{\partial x}{\partial s} \frac{\partial (\cdot)}{\partial t} - \frac{\partial x}{\partial t} \frac{\partial (\cdot)}{\partial s} & \frac{\partial y}{\partial t} \frac{\partial (\cdot)}{\partial s} - \frac{\partial y}{\partial s} \frac{\partial (\cdot)}{\partial t} & \frac{\partial x}{\partial t} \frac{\partial (\cdot)}{\partial s} - \frac{\partial x}{\partial s} \frac{\partial (\cdot)}{\partial t} \end{bmatrix}$$

sedangkan nilai dari Jacobian (J) adalah :

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial s} & \frac{\partial y}{\partial s} \\ \frac{\partial x}{\partial t} & \frac{\partial y}{\partial t} \end{bmatrix}$$

nilai N (*shape function*) untuk dua independent variable dan four-node region didefinisikan sebagai :

$$N_1 = \frac{(1-s)(1-t)}{4} \qquad N_3 = \frac{(1+s)(1+t)}{4}$$

$$N_2 = \frac{(1+s)(1-t)}{4} \qquad N_4 = \frac{(1-s)(1+t)}{4}$$

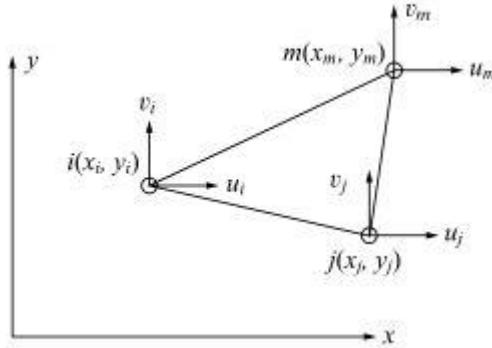
nilai B harus direpresentasikan terhadap  $s-t$  tidak lagi dalam koordinat  $x$  dan  $y$

$$B(s, t) = \frac{1}{|J|} [B_1 \quad B_2 \quad B_3 \quad B_4]$$

strees/strain matriks (D) mempunyai nilai :

$$[D] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix}$$

Selain menggunakan elemen quadrilateral isoparametrik empat node, pada penelitian kali ini juga menggunakan element triangle. Yang mana element triangle ini digunakan pada sebagian kecil bagian kendaraan dan terletak di antara element quadrilateral isoparametrik empat node.



Gambar 2. 10 Element triangle

Rumus strain pada element ini didapatkan dari :

$$\varepsilon = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} \beta_i & 0 & \beta_j & 0 & \beta_m & 0 \\ 0 & \gamma_i & 0 & \gamma_j & 0 & \gamma_m \\ \gamma_i & \beta_i & \gamma_j & \beta_j & \gamma_m & \beta_m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \\ u_m \\ v_m \end{Bmatrix}$$

atau dapat juga didefinisikan sebagai :

$$\{\varepsilon\} = [B_i \quad B_j \quad B_m] \begin{Bmatrix} d_i \\ d_j \\ d_m \end{Bmatrix}$$

Dimana nilai B adalah :

$$\begin{aligned}
 [B_i] &= \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} \beta_i & 0 \\ 0 & \gamma_i \\ \gamma_i & \beta_i \end{bmatrix} & [B_j] &= \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} \beta_j & 0 \\ 0 & \gamma_j \\ \gamma_j & \beta_j \end{bmatrix} & [B_m] &= \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} \beta_m & 0 \\ 0 & \gamma_m \\ \gamma_m & \beta_m \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

sehingga nilai strain dapat dihitung dari rumus :

$$\varepsilon = [B] \{d\}$$

Kemudian hubungan stress terhadap strain dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = [D] \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}$$

dengan mensubstitusikan rumus strain, maka rumus diatas dapat dituliskan :

$$\{\sigma\} = [D] [B] \{d\}$$

### 2.3.3 Teori Tumbukan

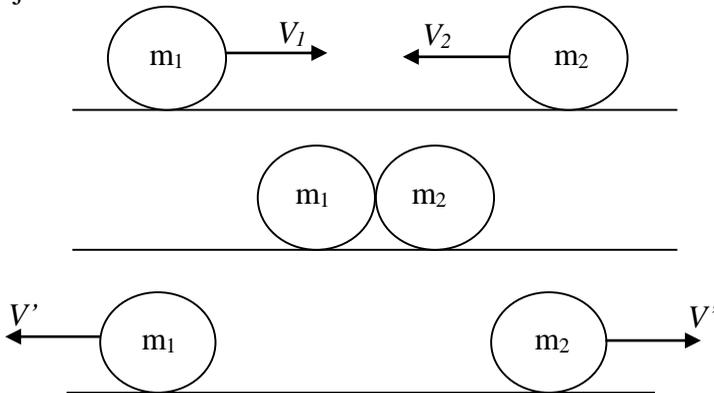
Tumbukan yang paling sederhana adalah tumbukan sentral. Tumbukan sentral adalah tumbukan yang terjadi bila titik pusat benda yang satu menuju ke titik pusat benda yang lain. Banyak kejadian dalam kehidupan sehari-hari yang dapat dijelaskan dengan konsep momentum dan impuls. Di antaranya peristiwa tumbukan antara dua kendaraan. Salah satu penggunaan konsep momentum yang penting adalah pada persoalan yang menyangkut tumbukan. Misalnya tumbukan antara partikel-partikel gas dengan dinding tempat gas berada. Hal ini dapat digunakan untuk menjelaskan sifat-sifat gas dengan menggunakan analisis mekanika.

Berdasarkan sifat kelentingan atau elastisitas benda yang bertumbukan, tumbukan dapat dibedakan menjadi tiga,

yaitu tumbukan lenting sempurna, tumbukan lenting sebagian, dan tumbukan tidak lenting sama sekali.

### 2.3.3.1 Tumbukan Lenting Sempurna

Tumbukan lenting sempurna (elastik) terjadi di antara atom-atom, inti atom, dan partikel-partikel lain yang seukuran dengan atom atau lebih kecil lagi. Dua buah benda dikatakan mengalami tumbukan lenting sempurna jika pada tumbukan itu tidak terjadi kehilangan energi kinetik. Jadi, energi kinetik total kedua benda sebelum dan sesudah tumbukan adalah tetap. Oleh karena itu, pada tumbukan lenting sempurna berlaku hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi kinetik. Tumbukan lenting sempurna hanya terjadi pada benda yang bergerak saja.



Gambar 2. 11 Proses Terjadinya Tumbukan Lenting Sempurna

Dua buah benda memiliki massa masing-masing  $m_1$  dan  $m_2$  bergerak saling mendekati dengan

kecepatan sebesar  $v_1$  dan  $v_2$  sepanjang lintasan yang lurus. Setelah keduanya bertumbukan masing-masing bergerak dengan kecepatan sebesar  $v'_1$  dan  $v'_2$  dengan arah saling berlawanan. Berdasarkan hukum kekekalan momentum dapat ditulis sebagai berikut.

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2$$

$$m_1v_1 - m_1v'_1 = m_2v'_2 - m_2v_2$$

$$m_1(v_1 - v'_1) = m_2(v'_2 - v_2)$$

Sedangkan berdasarkan hukum kekekalan energi kinetik, diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$E_{k1} + E_{k2} = E'_{k1} + E'_{k2}$$

$$\frac{1}{2} m_1v_1^2 + \frac{1}{2} m_2v_2^2 = \frac{1}{2} m_1(v_1')^2 + \frac{1}{2} m_2(v_2')^2$$

$$m_1((v_1')^2 - (v_1)^2) = m_2((v_2')^2 - (v_2)^2)$$

$$m_1(v_1 + v_1')(v_1 - v_1') = m_2(v_2' + v_2)(v_2' - v_2)$$

Jika persamaan di atas saling disubstitusikan, maka diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$m_1(v_1 + v_1')(v_1 - v_1') = m_2(v_2' + v_2)(v_1 - v_1')$$

$$v_1 + v_1' = v_2' + v_2$$

$$v_1 - v_2 = v_2' - v_1'$$

$$-(v_2 - v_1) = v_2' - v_1'$$

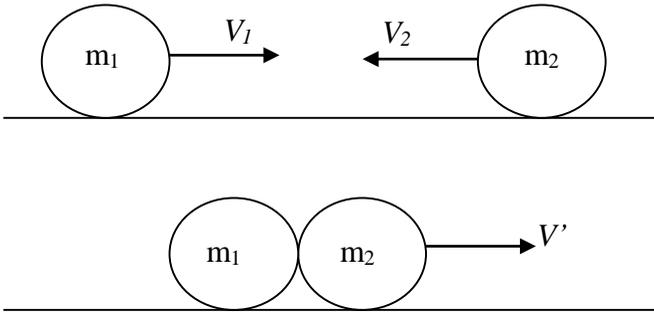
Persamaan di atas menunjukkan bahwa pada tumbukan lenting sempurna kecepatan relatif benda sebelum dan sesudah tumbukan besarnya tetap tetapi arahnya berlawanan.

### 2.3.3.2 Tumbukan Tidak Lenting Sama Sekali

Pada tumbukan jenis ini, kecepatan benda-benda sesudah tumbukan sama besar (benda yang bertumbukan saling melekat). Misalnya, tumbukan antara peluru dengan sebuah target di mana setelah tumbukan peluru mengemram dalam target. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2$$

Jika  $v'_1 = v'_2 = v'$ , maka  $m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v'$



Gambar 2. 12 Proses Terjadinya Tumbukan Tidak Lenting Sama Sekali

Contoh tumbukan tidak lenting sama sekali adalah ayunan balistik. Ayunan balistik merupakan seperangkat alat yang digunakan untuk mengukur benda yang bergerak dengan kecepatan cukup besar, misalnya kecepatan peluru. Prinsip kerja ayunan balistik berdasarkan hal-hal berikut.

a. Penerapan sifat tumbukan tidak lenting.

$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v'$$

$$m_1v_1 + 0 = (m_1 + m_2)v'$$

$$v_1 = \frac{m_1m_2}{m_1}v'$$

b. Hukum kekekalan energi mekanik

$$\frac{1}{2}(m_1 + m_2)(v')^2 = (m_1 + m_2)gh$$

$$v' = \sqrt{2gh}$$

Jika persamaan pertama disubstitusikan ke dalam persamaan kedua, maka diketahui kecepatan peluru sebelum bersarang dalam balok.

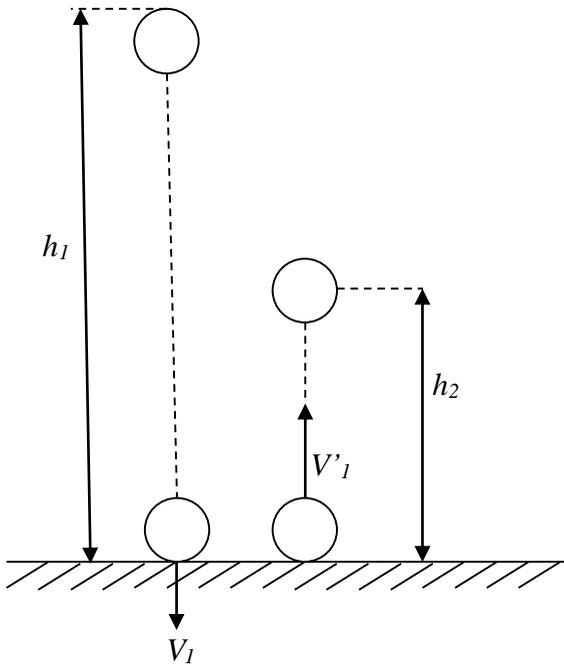
$$v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \sqrt{2gh} \text{ atau } v_p = \frac{m_p + m_b}{m_p} \sqrt{2gh}$$

### 2.3.3.3 Tumbukan Lenting Sebagian

Kebanyakan benda-benda yang ada di alam mengalami tumbukan lenting sebagian, di mana energi kinetik berkurang selama tumbukan. Oleh karena itu, hukum kekekalan energi mekanik tidak berlaku. Besarnya kecepatan relatif juga berkurang dengan suatu faktor tertentu yang disebut koefisien restitusi. Bila koefisien restitusi dinyatakan dengan huruf  $e$ , maka derajat berkurangnya kecepatan relatif benda setelah tumbukan dirumuskan sebagai berikut.

$$e = - \frac{v'_2 - v'_1}{v_2 - v_1}$$

Nilai restitusi berkisar antara 0 dan 1 ( $0 \leq e \leq 1$ ). Untuk tumbukan lenting sempurna, nilai  $e = 1$ . Untuk tumbukan tidak lenting nilai  $e = 0$ . Sedangkan untuk tumbukan lenting sebagian mempunyai nilai  $e$  antara 0 dan 1 ( $0 < e < 1$ ). Misalnya, sebuah bola tenis dilepas dari ketinggian  $h_1$  di atas lantai. Setelah menumbuk lantai bola akan terpental setinggi  $h_2$ , nilai  $h_2$  selalu lebih kecil dari  $h_1$ .



Gambar 2. 13 Salah Satu Bentuk Tumbukan Lenting Sebagian

Coba kita perhatikan gambar diatas. Kecepatan bola sesaat sebelum tumbukan adalah  $v_1$  dan sesaat setelah tumbukan  $v'_1$ . Berdasarkan persamaan gerak jatuh bebas, besar kecepatan bola memenuhi persamaan :

$$v = \sqrt{2gh}$$

Untuk kecepatan lantai sebelum dan sesudah tumbukan sama dengan nol ( $v_2 = v'_2 = 0$ ). Jika arah ke benda diberi harga negatif, maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$v_1 = -\sqrt{2gh_1}$$

Persamaan diatas digunakan untuk tumbukan lenting sebagian

### 2.3.4 Mekanisme Uji Tabrak Kendaraan

Ada berbagai macam mekanisme uji tabrak kendaraan, salah satunya yaitu uji tabrak kendaraan dengan penghalang (*barrier*). Uji tabrak kendaraan dengan *barrier* ini merupakan metode yang efektif untuk menganalisa kekuatan struktur kendaraan apabila terjadi tabrakan. Berdasarkan *Society of Automotive Engineers* (SAE), tabrakan frontal antara kedua kendaraan ekuivalen dengan tabrakan antara kendaraan tunggal dengan *fixed rigid barrier concrete*. Keidentikan *barrier impact* dapat digunakan untuk menunjukkan dan mengevaluasi perilaku kendaraan sewaktu mengalami tabrakan dengan kendaraan lain.

Ekivalensi *barrier impact* ditentukan dengan tumbukan antara kendaraan dengan *barrier* dimana perubahan momentum atau energy yang diserap kendaraan sama dengan *collision* kendaraan dengan kendaraan. Dengan mengasumsikan bahwa setiap kendaraan yang mengalami *collision* memiliki deformasi plastis, maka dengan menggunakan prinsip kekekalan momentum akan didapatkan kecepatan ekuivalen *barrier impact* berdasarkan perubahan momentum antara kendaraan 1 dengan kendaraan 2.

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

Dimana :

$V_{lebm}$  : kecepatan *collision* dari kendaraan pertama terhadap *barrier*

$m_1$  : massa dari kendaraan pertama

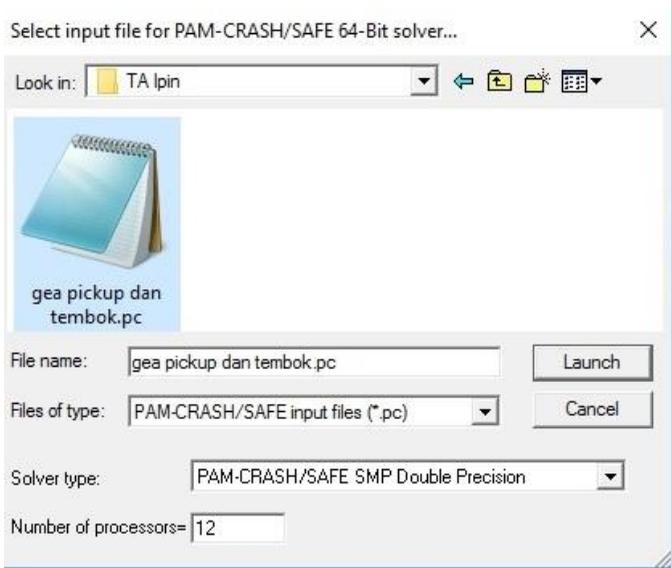
$m_2$  : massa dari kendaraan kedua

$V_1$ - $V_2$  : *closing speed* dari dua kendaraan yang mengalami collision

### 2.3.5 Virtual Performance Solution

Dalam penelitian kali ini digunakan *software* yang dimiliki oleh Institut Teknologi Sepuluh Nopember khususnya yang berada di gedung riset mobil listrik. Software ini merupakan karya dari perusahaan ESI-Group yang mana fungsi dari software ini untuk menganalisis suatu benda yang dimodelkan dalam elemen hingga. *Software* ini dapat menganalisis beberapa kejadian yang biasanya terjadi pada suatu benda, misal tumbukan, bending, maupun kekuatan dari suatu sambungan. *Virtual performance solution* sendiri terdiri dari beberapa aplikasi yang memiliki fungsinya masing-masing, antara lain :

1. Visual Mesh  
Aplikasi ini berfungsi untuk memodelkan suatu gambar ke dalam elemen hingga, yang mana nantinya mempermudah analisis terhadap hasil suatu simulasi.
2. Visual Crash-Pam  
Aplikasi ini berfungsi untuk menambahkan batasan-batasan yang dibolehkan dalam simulasi yang akan dilakukan. Pada aplikasi ini juga dilakukan pemberian pembebanan awal maupun *initial condition* lainnya.
3. Pam-Crash Solver  
Seperti hal nya nama dari aplikasi ini, aplikasi ini berfungsi untuk melakukan penyelesaian terhadap suatu objek yang mana telah diberikan batasan serta *initial condition* pada aplikasi sebelumnya.



Gambar 2. 14 Tampilan Aplikasi Pam-Crash Solver

#### 4. Visual Viewer

Aplikasi ini digunakan untuk melihat hasil simulasi yang telah dilakukan. Data hasil simulasi akan muncul pada aplikasi ini. Sehingga dapat dilakukan analisis data pada aplikasi ini.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Prosedur Penelitian**

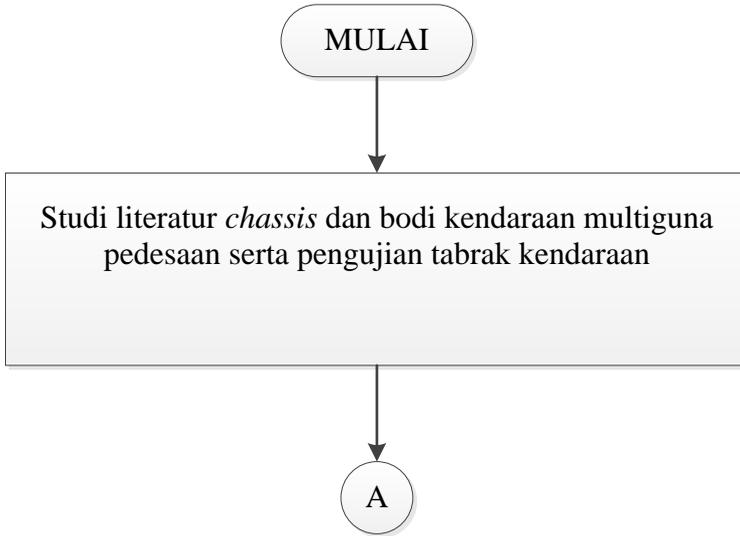
Pada penulisan tugas akhir kali ini, prosedur penelitian akan dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut :

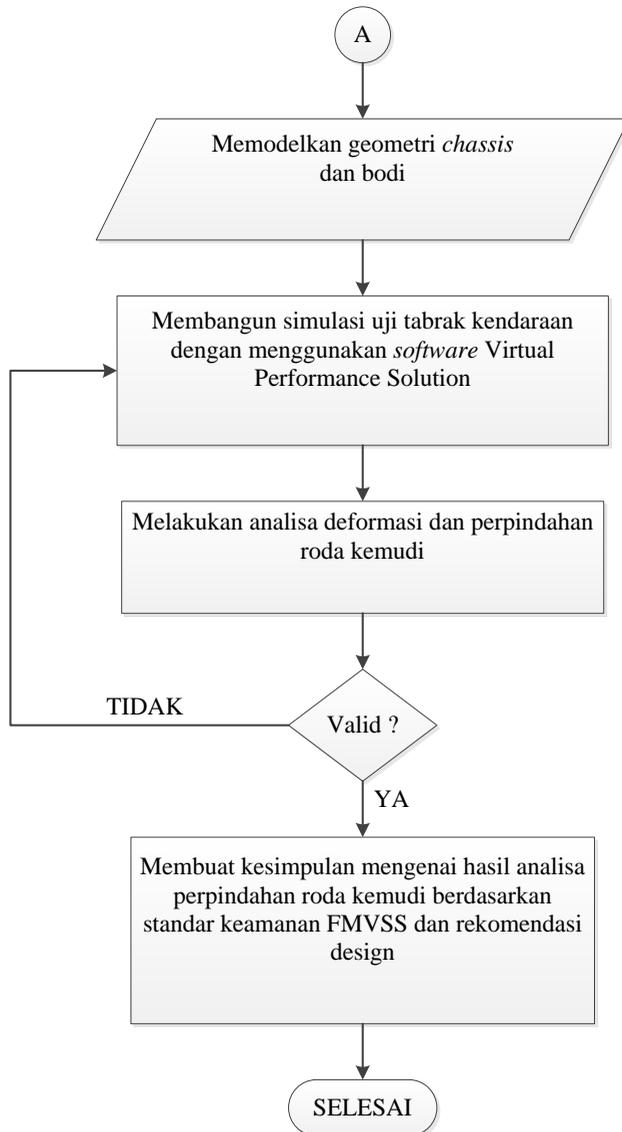
1. Melakukan studi literatur tentang chassis dan bodi kendaraan multiguna pedesaan, standar pengujian tabrak kendaraan dan penggunaan *software* Virtual Performance Solution untuk simulasi uji tabrak kendaraan dan standar keamanan kendaraan yang akan digunakan.
2. Memodelkan geometri 3D *chassis* mobil multiguna pedesaan dengan *software* CAD, yang akan dilakukan uji tabrak.
3. Membangun simulasi pengujian tabrakan *chassis* mobil multiguna pedesaan dengan *software* Virtual Performance Solution untuk full width frontal *collision* dan offset frontal *collision*.
4. Menganalisa deformasi pada *chassis* dan jarak perpindahan roda kemudi pada kendaraan.
5. Membuat kesimpulan dari hasil analisa perpindahan roda kemudi berdasarkan standar keamanan FMVSS 204.

### **3.2 Diagram Alir Penelitian**

Diagram alir penelitian kali ini akan menjelaskan langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian kali ini. Adapun diagram alir ini dimulai dengan studi literature mengenai chassis dan body dari mobil multiguna itu sendiri serta mengenai pengujian *frontal*

*collision* terhadap suatu kendaraan. Hingga didapatkan suatu hasil simulasi yang mana nantinya dianalisa terhadap standar yang digunakan untuk mendapatkan suatu kesimpulan.



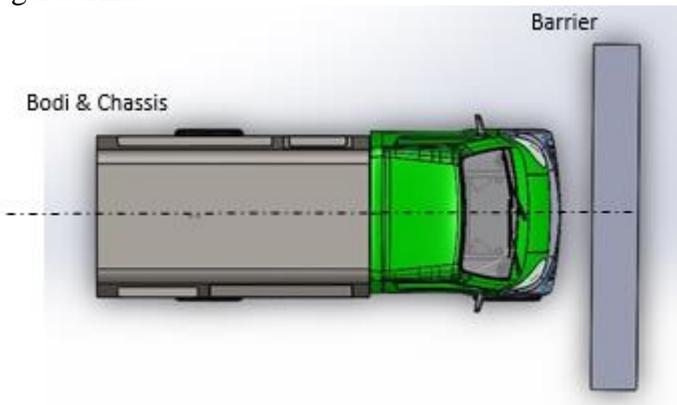


### 3.3 Mekanisme Pengujian

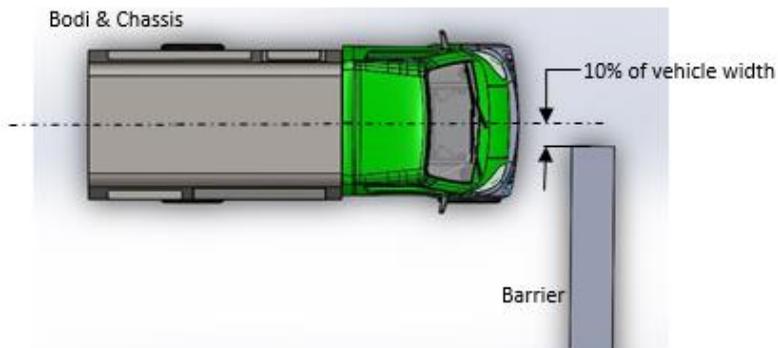
Berdasarkan National Agency for Automotive Safety and Victim's Aid (NASVA)<sup>(7)</sup> terdapat dua metode pengujian frontal collision yaitu full width frontal *collision* dan offset frontal *collision*. Dua jenis frontal *collision* ini merupakan metode yang akan digunakan untuk simulasi pada penelitian 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 dianalisa adalah sebagai berikut :

1. Full width frontal *collision* dengan kecepatan 48.3 km/jam atau 13.417 m/s (FMVSS 204)
2. Offset frontal *collision* dengan kecepatan 48.3 km/jam atau 13.417 m/s (FMVSS 204)

Skema dari kedua metode *collision* yang akan di uji adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Full width frontal *collision*



Gambar 3. 2 Offset frontal *collision*

### 3.4 Spesifikasi Mobil Multiguna Pedesaan

Mobil multiguna Pedesaan memiliki beberapa spesifikasi sebagai berikut :

Jarak Sumbu Roda	: 2590	mm
Lebar	: 1440	mm (depan)
	1480	mm (belakang)
Tinggi	: 2260	mm
Massa kendaraan	: 910	kg

Dalam melakukan pengujian *collision* kali ini hanya bebrapa bagian dari kendaraan yang disimulasikan. Bagian-bagian tersebut tentunya yang berkaitan langsung dengan struktur chassis dan terkena tumbukan terhadap barrier. Adapun bagian-bagian tersebut menggunakan material dengan properties sebagai berikut :

---

Tabel 3. 1 Material properties untuk chassis dan frame belakang

Mass Density	$7870 \text{ Kg/m}^3$
Modulus Elastisitas	$186 \times 10^9 \text{ Kg/m.s}^2$
Poisson's Ratio	0.29
Tensile Yield Strength	$350 \times 10^6 \text{ Kg/m.s}^2$
Modulus Bulk	$148 \times 10^9 \text{ Kg/m.s}^2$
Modulus Shear	$72 \times 10^9 \text{ Kg/m.s}^2$
Tensile Ultimate Strength	$420 \times 10^6 \text{ Kg/m.s}^2$
Compressive Yield Strength	$350 \times 10^6 \text{ Kg/m.s}^2$

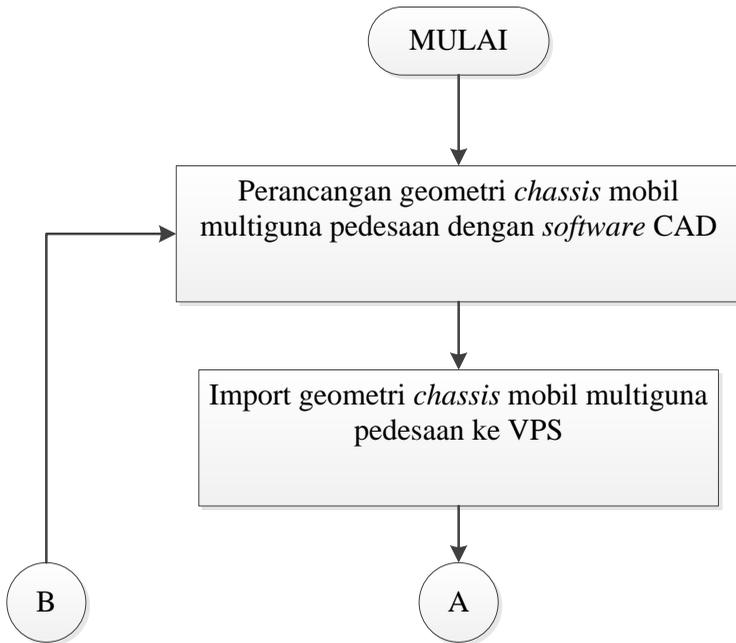
Tabel 3. 2 Material properties untuk bodi depan dan bak toko

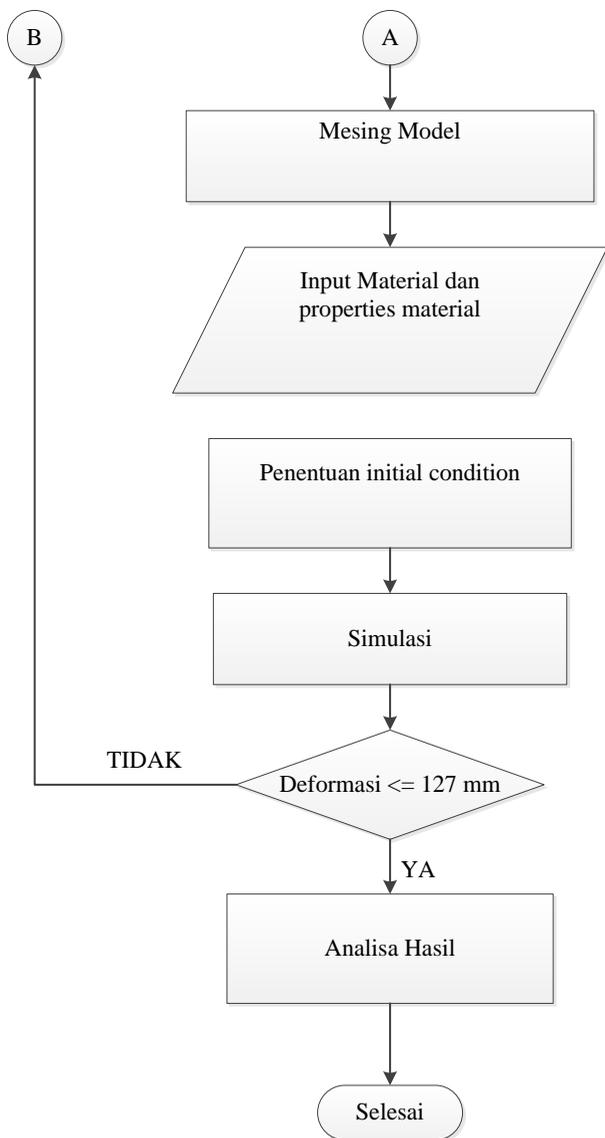
Mass Density	$7800 \text{ Kg/m}^3$
Modulus Elastisitas	$200 \times 10^9 \text{ Kg/m.s}^2$
Poisson's Ratio	0.26
Tensile Yield Strength	$250 \times 10^6 \text{ Kg/m.s}^2$
Tensile Ultimate Strength	$450 \times 10^6 \text{ Kg/m.s}^2$
Compressive Yield Strength	$250 \times 10^6 \text{ Kg/m.s}^2$
Modulus Bulk	$160 \times 10^9 \text{ Kg/m.s}^2$
Modulus Shear	$79.3 \times 10^9 \text{ Kg/m.s}^2$

### 3.5 Diagram Alir Permodelan

Diagram ini akan menjelaskan langkah-langkah permodelan mobil multiguna pedesaan yang mana objek tersebut akan diujikan terhadap frontal collision dengan memasukkan initial condition sesuai dengan standar FMVSS 204. Hingga didapatkan suatu data untuk dianalisa

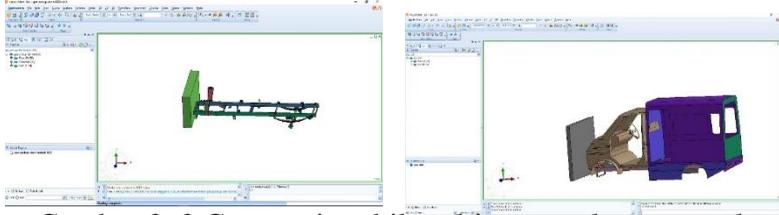
kemudian disimpulkan untuk menjawab tujuan dari penelitian.





### 3.6 Import Geometri Mobil Multiguna Pedesaan

Proses pertama yaitu mendesign geometri dan melakukan *assembly* dari *chassis* mobil multiguna pedesaan beserta komponen yang digunakan untuk simulasi seperti bodi, bak toko dan frame belakang serta *barrier* dengan menggunakan software CAD. Kemudian import geometri tersebut ke VPS dengan format file .IGS untuk dilakukan simulasi.



Gambar 3. 3 Geometri mobil multiguna pedesaan untuk simulasi

### 3.7 Proses Meshing

Langkah selanjutnya adalah proses meshing, yang mana hanya bisa dilakukan di aplikasi Visual Mesh. Meshing merupakan pembagian model menjadi elemen-elemen. Elemen yang akan digunakan pada meshing pada mobil multiguna pedesaan adalah elemen berbentuk *Quadrilater* dan *Triangle*. Pada proses meshing ini hanya akan dilakukan meshing pada *surface* sehingga elemen berbentuk *shell*. Berikut ini merupakan hasil meshing dari mobil multiguna pedesaan.



kendaraan yang diberikan pada *chassis*. Besarnya kecepatan tergantung pada jenis collisionnya. Massa total kendaraan sebesar 980 kg sudah termasuk massa *driver*. Berikut merupakan perhitungan pembebanan kecepatan awal.

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

Dimana :

$V_{lebm}$  : kecepatan *collision* dari kendaraan pertama terhadap barrier

$m_1$  : massa dari kendaraan pertama

$m_2$  : massa dari kendaraan kedua

$V_1 - V_2$  : *closing speed* dari dua kendaraan yang mengalami collision

Dihasilkan *closing speed* yang berbeda pada kemungkinan terjadinya collision antara mobil pedesaan dengan :

- a. Kendaraan yang identik, dalam hal ini massa dari dua kendaraan adalah sama yaitu 980 kg (termasuk massa driver)
- b. Light truck. Light truck yang digunakan disini adalah Toyota Compact Truck (1995) dengan massa 2135.7 Kg (termasuk massa driver)
- c. Heavy truck. Heavy truck yang digunakan disini adalah Toyota NPR Diesel dengan massa 6653 Kg (termasuk massa driver)

Berdasarkan perbedaan jenis kendaraan diatas, terdapat 3 macam *closing speed* yang mana akan setara dengan deformasi yang dihasilkan oleh kecepatan awal sesuai standar , yaitu :

1. Pada kecepatan awal mobil multiguna pedesaan sebesar 13.417 m/s dengan kendaraan yang identik, menghasilkan closing speed sebesar :

$$13.417 \frac{m}{s} = \frac{980 \text{ Kg}}{980 \text{ Kg} + 980 \text{ Kg}} (V_1 - V_2)$$

$$V_1 - V_2 = 26.834 \text{ m/s}$$

2. Pada kecepatan awal mobil multiguna pedesaan sebesar 13.417 m/s dengan light truck, menghasilkan closing speed sebesar :

$$13.417 \frac{m}{s} = \frac{2135.7 \text{ Kg}}{2135.7 \text{ Kg} + 980 \text{ Kg}} (V_1 - V_2)$$

$$V_1 - V_2 = 19.574 \text{ m/s}$$

3. Pada kecepatan awal mobil multiguna pedesaan sebesar 13.417 m/s dengan heavy truck truck, menghasilkan closing speed sebesar :

$$13.417 \frac{m}{s} = \frac{6653 \text{ Kg}}{6653 \text{ Kg} + 980 \text{ Kg}} (V_1 - V_2)$$

$$V_1 - V_2 = 15.393 \text{ m/s}$$

Tabel 3. 3 Closing Speed Pada Penelitian Saat Ini

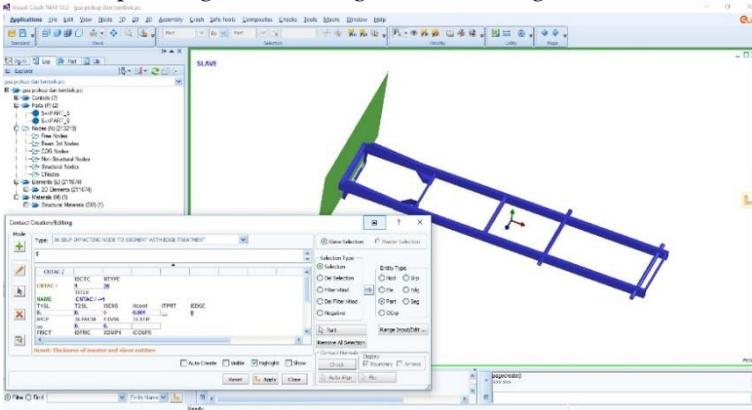
No	Objek		Tipe Collision	Kecepatan (m/s)	Hasil (mm)
1		Kendaraan Sejenis	Full Width Frontal	26.834	



### 3.10 Penentuan Initial Condition

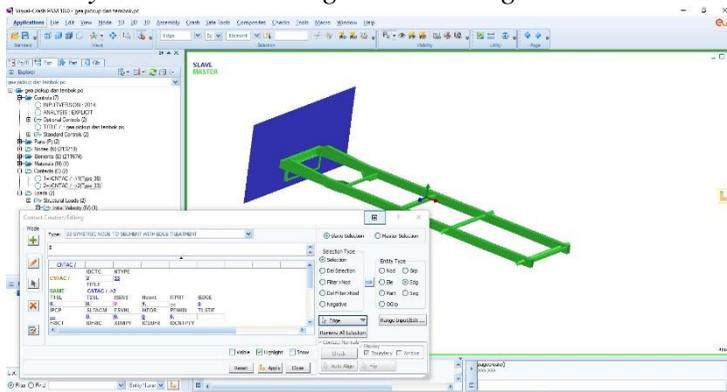
Kedaaan awal yang akan diberikan yaitu :

1. Kontak pada *chassis* dengan menggunakan *self impacting node to segment with edge treatment*



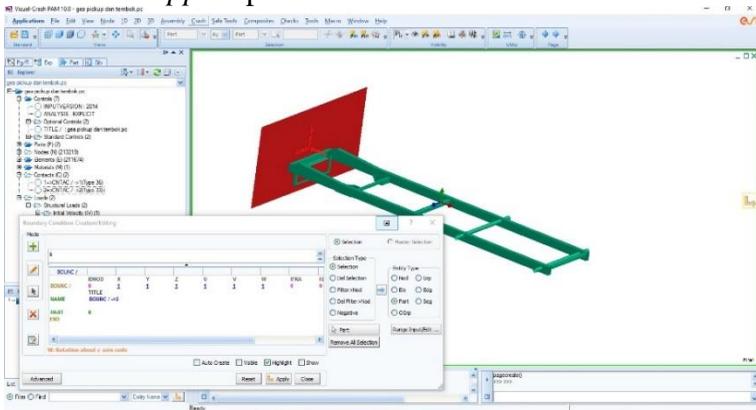
Gambar 3. 7 Kontak pada *chassis*

2. Kontak antara *chassis* dan *barrier* menggunakan *symetric node to segment with edge treatment*



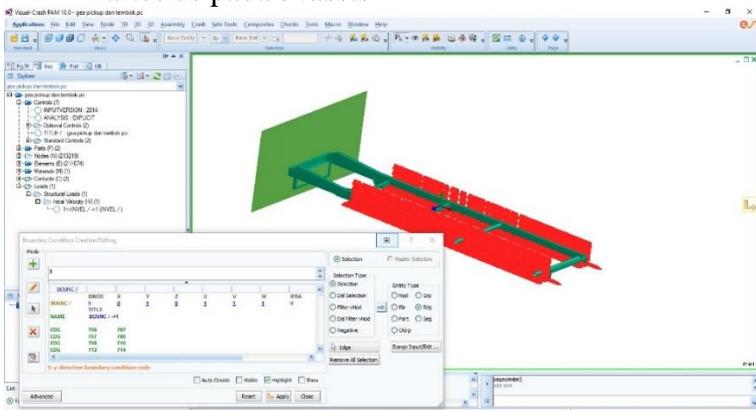
Gambar 3. 8 Connection impact attenuator dan *chassis*

### 3. *Fix support* pada *barrier*



Gambar 3. 9 Penentuan *fix support*

### 4. Pemberian batasan perpindahan terhadap koordinat kartesius pada *chassis*

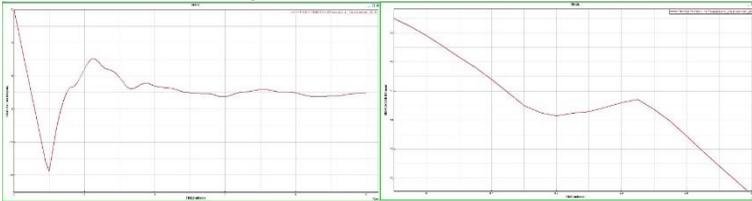


Gambar 3. 10 Pemberian batasan koordinat pada *chassis*

### 5. Penentuan lamanya tumbukan

End time untuk *collision* kali ini didapatkan dengan beberapa kali simulasi untuk mendapatkan

end time yang dapat menunjukkan kapan deformasi maksimal terjadi.

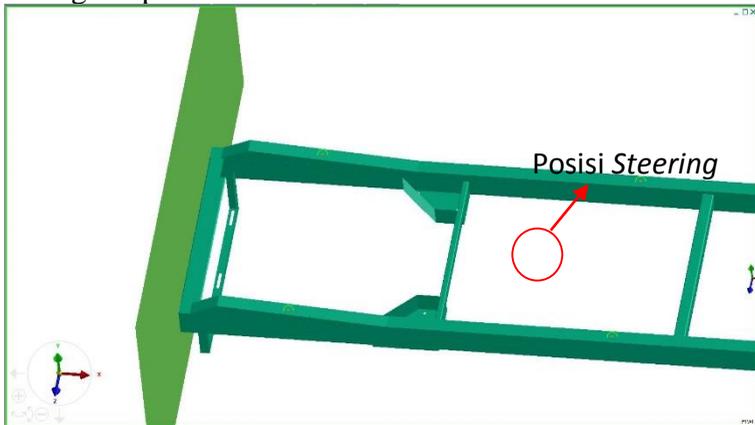


Gambar 3. 11 End time pada pengujian chassis (0.0023 s) dan pada pengujian chassis beserta body (0.0088 s)

## BAB IV ANALISA HASIL SIMULASI

### 4.1 Analisa Deformasi Mobil Multiguna Pedesaan

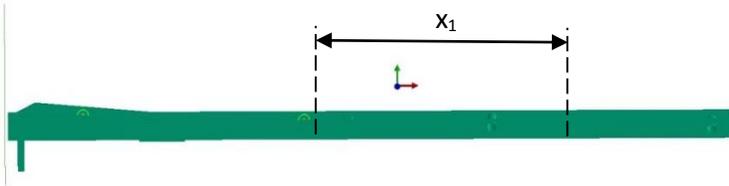
Sebagai acuan untuk menentukan besarnya deformasi yang terjadi pada mobil multiguna pedesaan, maka dapat diamati deformasi pada suatu titik yang mana telah ditentukan sesuai dengan letak menempelnya *steering* pada *chassis* terhadap suatu titik yang telah ditentukan sesuai dengan posisi pengemudi pada mobil multiguna pedesaan. Berikut ini merupakan gambar dari letak titik yang menggambarkan posisi *steering* dan pengemudi pada mobil multiguna pedesaan.



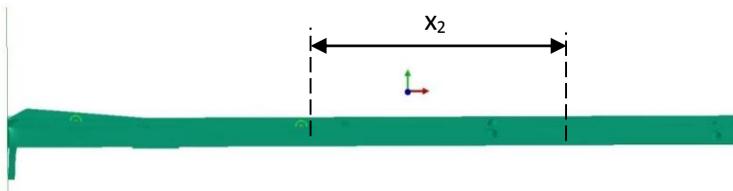
Gambar 4. 1 Posisi steering dan penumpang pada mobil multiguna pedesaan

. Karena 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 kiri dan kanan untuk referensi.



Gambar 4. 2 *Chassis* sebelum terjadi *collision*

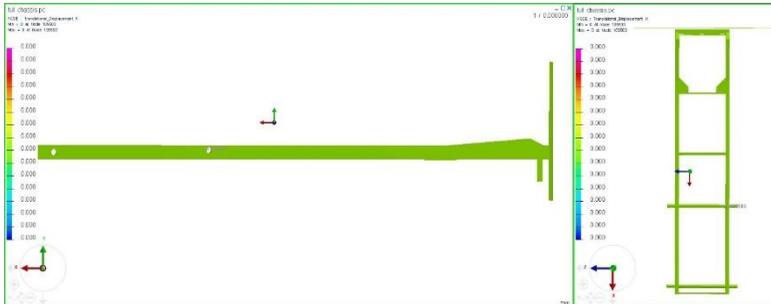


Gambar 4. 3 *Chassis* sesudah terjadi *collision*

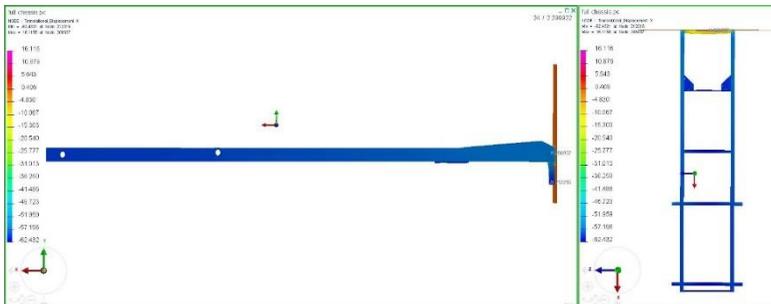
Gambar 4.2 dan 4.3 merupakan keadaan *chassis* sebelum dan sesudah terjadi *collision*, dimana  $x_1$  adalah jarak awal antara *steering* dan pengemudi sebelum terjadinya *collision* dan  $x_2$  adalah jarak akhir antara *steering* dan penumpang sesudah terjadinya *collision*.

## 4.2 Mobil Multiguna Pedesaan *Collision* dengan Ketebalan 2 mm

### 4.2.1 *Chassis Full width frontal collision* untuk ketebalan 2 mm



Gambar 4. 4 Posisi *chassis* sebelum *full-width frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 2 mm



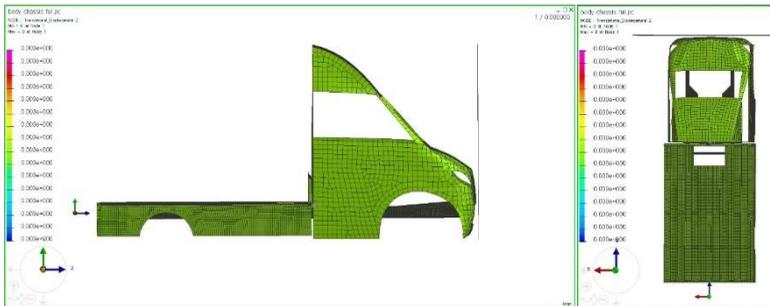
Gambar 4. 5 Posisi *chassis* setelah *full-width frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 2 mm

Tabel 4. 1 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat *full-widht frontal collision*

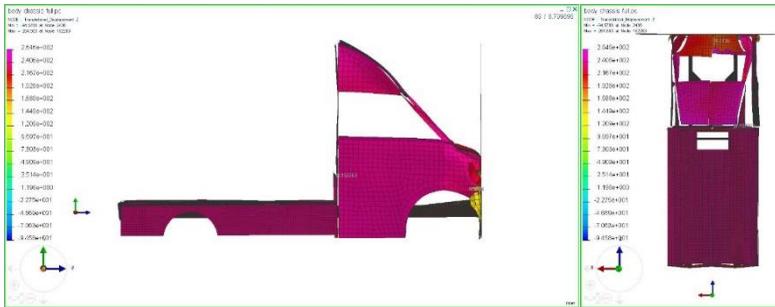
No	Sisi	$x_1$ (dalam mm)	$x_2$ (dalam mm)	Selisih (dalam mm)	Rata-rata (dalam mm)
1	Kanan	1122.524	1120.951	1.573	1.621
2	Kiri	1142.467	1140.799	1.668	

Jika ditinjau dari hasil simulasi, *chassis* sebelah kanan terdeformasi sebesar 1.573 mm. Sedangkan *chassis* sebelah kiri terdeformasi sebesar 1.668 mm. Dengan besar deformasi rata-rata adalah 1.621 mm. Besarnya deformasi antara *chassis* sebelah kanan dan kiri yang belum melebihi 127 mm menunjukkan bahwa design *chassis* **aman**.

#### 4.2.2 *Body dan Chassis Full width frontal collision untuk ketebalan chassis 2 mm*



Gambar 4. 6 Posisi *body* dan *chassis* sebelum *full-width frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 2 mm



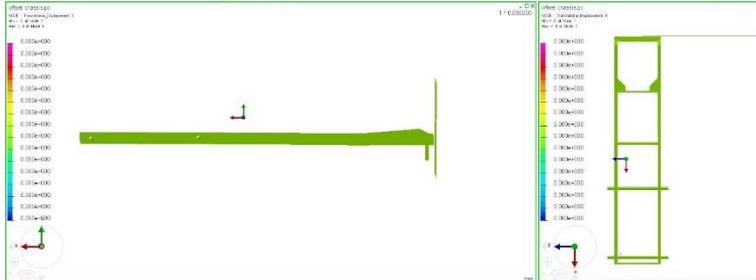
Gambar 4. 7 Posisi *body* dan *chassis* setelah *full-width frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 2 mm

Tabel 4. 2 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat *full-widht frontal collision*

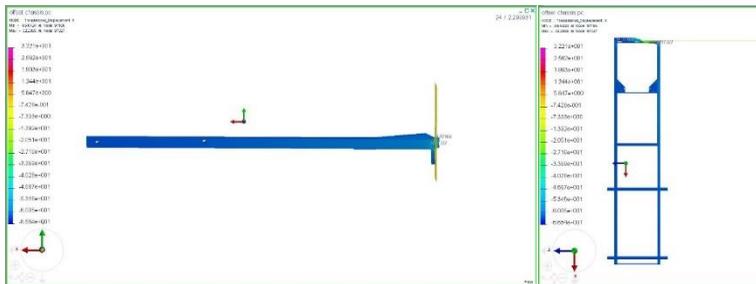
No	Sisi	$x_1$ (dalam mm)	$x_2$ (dalam mm)	Selisih (dalam mm)	Rata-rata (dalam mm)
1	Kanan	980.105	979.465	0,64	0.691
2	Kiri	970.104	969.363	0.741	

Jika ditinjau dari hasil simulasi, *chassis* sebelah kanan terdeformasi sebesar 0.64 mm. Sedangkan *chassis* sebelah kiri terdeformasi sebesar 0.741 mm. Dengan besar deformasi rata-rata adalah 0.691 mm. Besarnya deformasi antara *chassis* sebelah kanan dan kiri yang belum melebihi 127 mm menunjukkan bahwa design *chassis* **aman**.

### 4.2.3 Chassis Offset frontal collision untuk ketebalan 2 mm



Gambar 4. 8 Posisi chassis sebelum offset frontal collision pada variasi ketebalan chassis 2 mm



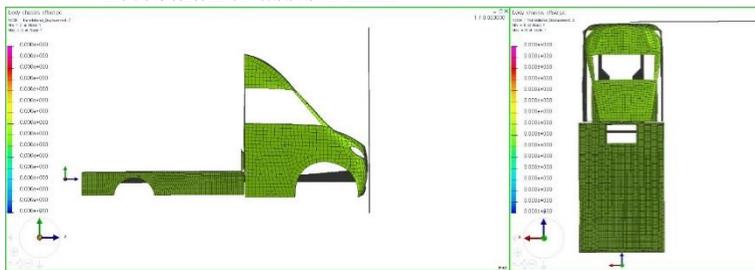
Gambar 4. 9 Posisi chassis setelah offset frontal collision pada variasi ketebalan chassis 2 mm

Tabel 4. 3 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat offset frontal collision

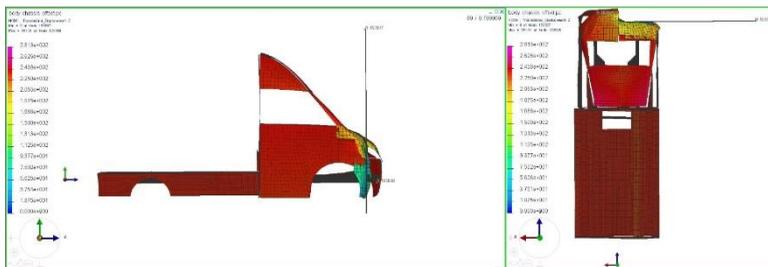
No	Sisi	$x_1$ (dalam mm)	$x_2$ (dalam mm)	Selisih (dalam mm)	Rata-rata (dalam mm)
1	Kanan	1160	1157.567	2.433	1.611
2	Kiri	1187.410	1186.621	0.789	

Jika ditinjau dari hasil simulasi, *chassis* sebelah kanan terdeformasi sebesar 2.433 mm. Sedangkan *chassis* sebelah kiri terdeformasi sebesar 0.789 mm. Dengan besar deformasi rata-rata adalah 1.611 mm. Besarnya deformasi antara *chassis* sebelah kanan dan kiri yang belum melebihi 127 mm menunjukkan bahwa design *chassis* **aman**.

#### 4.2.4 *Body* dan *Chassis Offset frontal collision* untuk ketebalan *chassis* 2 mm



Gambar 4. 10 Posisi *body* dan *chassis* sebelum *offset frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 2 mm



Gambar 4.11 Posisi *body* dan *chassis* setelah *offset frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 2 mm

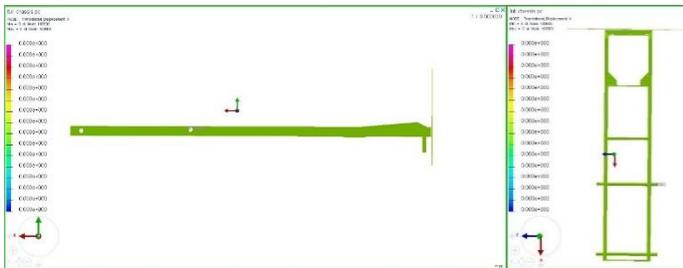
Tabel 4. 4 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat *offset frontal collision*

No	Sisi	$x_1$ (dalam mm)	$x_2$ (dalam mm)	Selisih (dalam mm)	Rata-rata (dalam mm)
1	Kanan	990.082	989,347	0.735	0.375
2	Kiri	985.106	985.092	0.014	

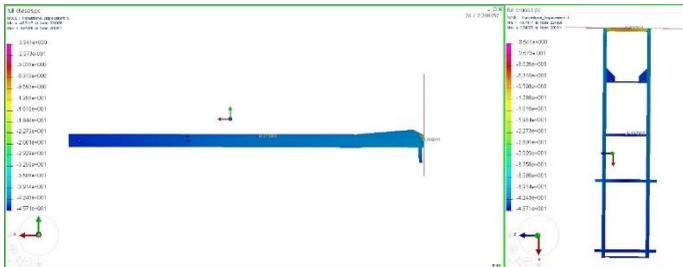
Jika ditinjau dari hasil simulasi, *chassis* sebelah kanan terdeformasi sebesar 0.735 mm. Sedangkan *chassis* sebelah kiri terdeformasi sebesar 0.014 mm. Dengan besar deformasi rata-rata adalah 0.375 mm. Besarnya deformasi antara *chassis* sebelah kanan dan kiri yang belum melebihi 127 mm menunjukkan bahwa design *chassis* **aman**.

### 4.3 Mobil Multiguna Pedesaan *Collision* dengan Ketebalan 3 mm

#### 4.3.1 *Chassis Full-width frontal collision* untuk ketebalan 3 mm



Gambar 4. 11 Posisi *chassis* sebelum *full-width frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 3 mm



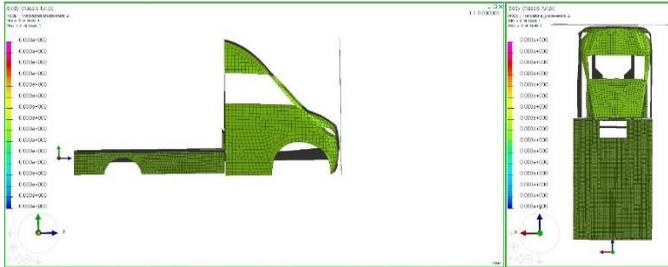
Gambar 4. 12 Posisi *chassis* setelah *full-widht frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 3 mm

Tabel 4. 5 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat *full-widht frontal collision*

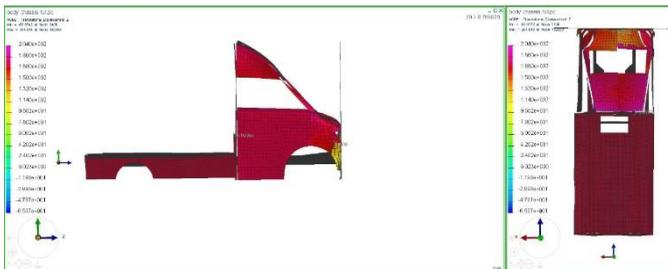
No	Sisi	$x_1$ (dalam mm)	$x_2$ (dalam mm)	Selisih (dalam mm)	Rata-rata (dalam mm)
1	Kanan	1122.524	1121.014	1.51	1.515
2	Kiri	1142.467	1140.947	1.52	

Jika ditinjau dari hasil simulasi, *chassis* sebelah kanan terdeformasi sebesar 1.51 mm. Sedangkan *chassis* sebelah kiri terdeformasi sebesar 1.52 mm. Dengan besar deformasi rata-rata adalah 1.515 mm. Besarnya deformasi antara *chassis* sebelah kanan dan kiri yang belum melebihi 127 mm menunjukkan bahwa design *chassis* **aman**.

### 4.3.2 *Body dan Chassis Full-width frontal collision untuk ketebalan chassis 3 mm*



Gambar 4. 13 Posisi *body* dan *chassis* sebelum *full-width frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 3 mm



Gambar 4. 14 Posisi *body* dan *chassis* setelah *full-width frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 3 mm

Tabel 4. 6 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat *full-width frontal collision*

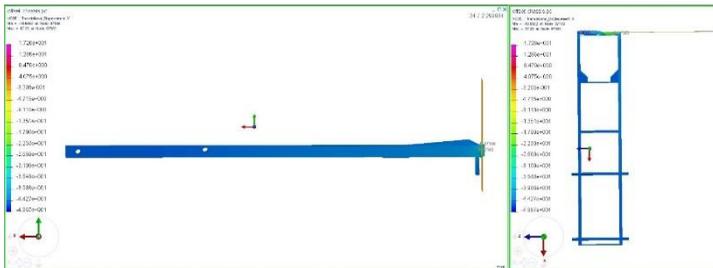
No	Sisi	$x_1$ (dalam mm)	$x_2$ (dalam mm)	Selisih (dalam mm)	Rata-rata (dalam mm)
1	Kanan	980.105	979.671	0.434	0.516
2	Kiri	970.104	969.507	0.597	

Jika ditinjau dari hasil simulasi, *chassis* sebelah kanan terdeformasi sebesar 0.434 mm. Sedangkan *chassis* sebelah kiri terdeformasi sebesar 0.402 mm. Dengan besar deformasi rata-rata adalah 0.418 mm. Besarnya deformasi antara *chassis* sebelah kanan dan kiri yang belum melebihi 127 mm menunjukkan bahwa design *chassis* **aman**.

### 4.3.3 *Chassis Offset frontal collision* untuk ketebalan 3 mm



Gambar 4. 15 Posisi *chassis* sebelum *offset frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 3 mm



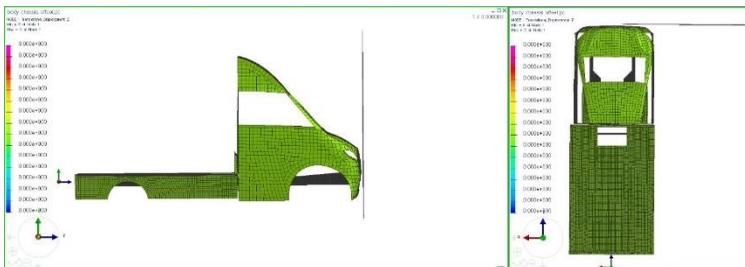
Gambar 4. 16 Posisi *chassis* setelah *offset frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 3 mm

Tabel 4. 7 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat *offset frontal collision*

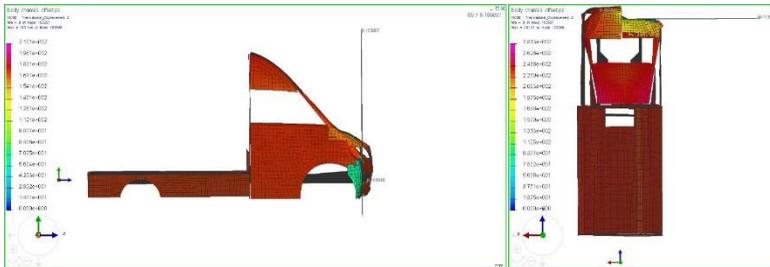
No	Sisi	$x_1$ (dalam mm)	$x_2$ (dalam mm)	Selisih (dalam mm)	Rata-rata (dalam mm)
1	Kanan	1160	1157.697	2,303	1,482
2	Kiri	1187.410	1186.749	0.661	

Jika ditinjau dari hasil simulasi, *chassis* sebelah kanan terdeformasi sebesar 2.303 mm. Sedangkan *chassis* sebelah kiri terdeformasi sebesar 0.661 mm. Dengan besar deformasi rata-rata adalah 1.482 mm. Besarnya deformasi antara *chassis* sebelah kanan dan kiri yang belum melebihi 127 mm menunjukkan bahwa design *chassis* **aman**.

#### 4.3.4 *Body dan Chassis Offset frontal collision untuk ketebalan chassis 3 mm*



Gambar 4. 17 Posisi *body* dan *chassis* sebelum *offset frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 3 mm



Gambar 4. 18 Posisi *body* dan *chassis* setelah *offset frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 3 mm

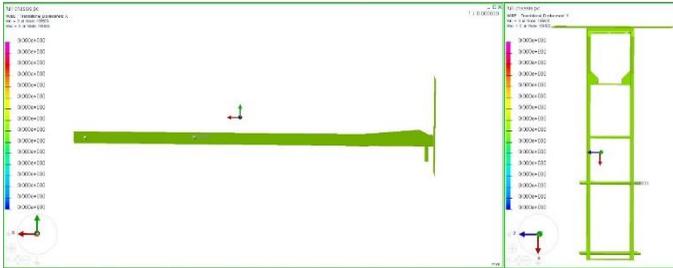
Tabel 4. 8 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat *offset frontal collision*

No	Sisi	$x_1$ (dalam mm)	$x_2$ (dalam mm)	Selisih (dalam mm)	Rata-rata (dalam mm)
1	Kanan	990.082	989.350	0.732	0.372
2	Kiri	985.106	985.095	0.011	

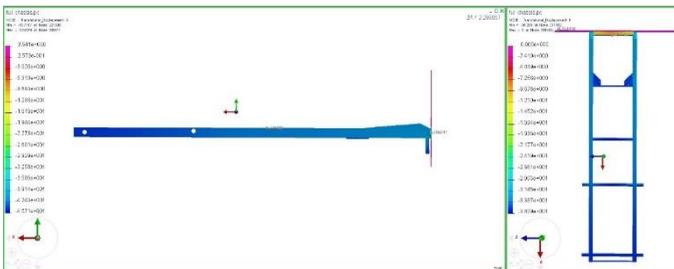
Jika ditinjau dari hasil simulasi, *chassis* sebelah kanan terdeformasi sebesar 0.732 mm. Sedangkan *chassis* sebelah kiri terdeformasi sebesar 0.011 mm. Dengan besar deformasi rata-rata adalah 0.372 mm. Besarnya deformasi antara *chassis* sebelah kanan dan kiri yang belum melebihi 127 mm menunjukkan bahwa design *chassis* **aman**.

#### 4.4 Mobil Multiguna Pedesaan *Collision* dengan Ketebalan 5 mm

##### 4.4.1 *Chassis Full-width frontal collision* untuk ketebalan 5 mm



Gambar 4. 19 Posisi *chassis* sebelum *full-width frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 5 mm



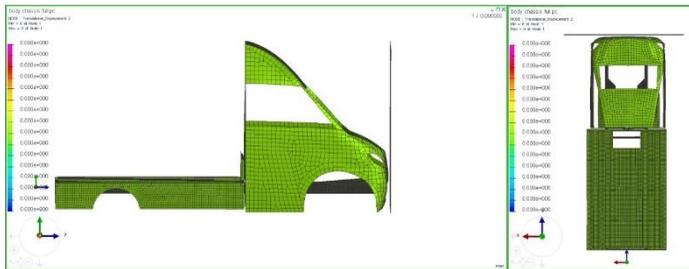
Gambar 4. 20 Posisi *chassis* setelah *full-widht frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 5 mm

Tabel 4. 9 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat *full-widht frontal collision*

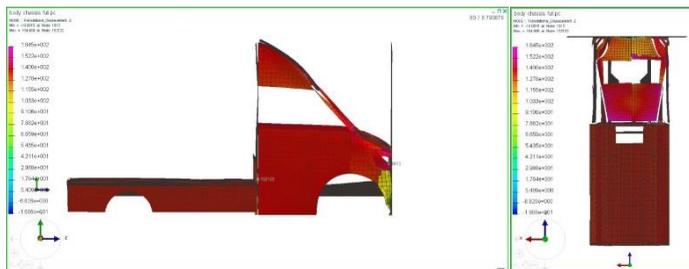
No	Sisi	$x_1$ (dalam mm)	$x_2$ (dalam mm)	Selisih (dalam mm)	Rata-rata (dalam mm)
1	Kanan	1122.524	1121.023	1.501	1,506
2	Kiri	1142.467	1140.957	1.51	

Jika ditinjau dari hasil simulasi, *chassis* sebelah kanan terdeformasi sebesar 1.501 mm. Sedangkan *chassis* sebelah kiri terdeformasi sebesar 1.51 mm. Dengan besar deformasi rata-rata adalah 1.506 mm. Besarnya deformasi antara *chassis* sebelah kanan dan kiri yang belum melebihi 127 mm menunjukkan bahwa design *chassis* **aman**.

#### 4.4.2 *Body dan Chassis Full-width frontal collision untuk ketebalan chassis 5 mm*



Gambar 4. 21 Posisi *body* dan *chassis* sebelum *full-width frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 5 mm



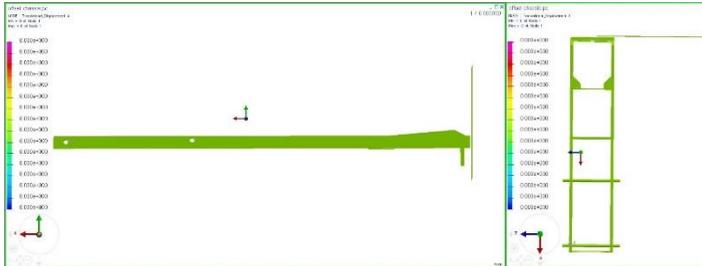
Gambar 4. 22 Posisi *body* dan *chassis* setelah *full-width frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 5 mm

Tabel 4. 10 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat *full-widht frontal collision*

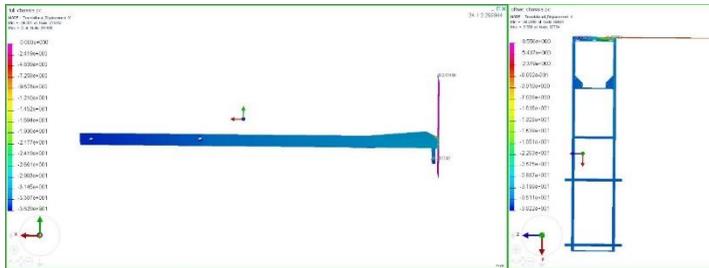
No	Sisi	$x_1$ (dalam mm)	$x_2$ (dalam mm)	Selisih (dalam mm)	Rata-rata (dalam mm)
1	Kanan	980.105	979.679	0.426	0.367
2	Kiri	970.104	969.797	0.307	

Jika ditinjau dari hasil simulasi, *chassis* sebelah kanan terdeformasi sebesar 0.426 mm. Sedangkan *chassis* sebelah kiri terdeformasi sebesar 0.307 mm. Dengan besar deformasi rata-rata adalah 0.367 mm. Besarnya deformasi antara *chassis* sebelah kanan dan kiri yang belum melebihi 127 mm menunjukkan bahwa design *chassis* **aman**.

#### 4.4.3 *Chassis Offset frontal collision* untuk ketebalan 5 mm



Gambar 4. 23 Posisi *chassis* sebelum *offset frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 5 mm



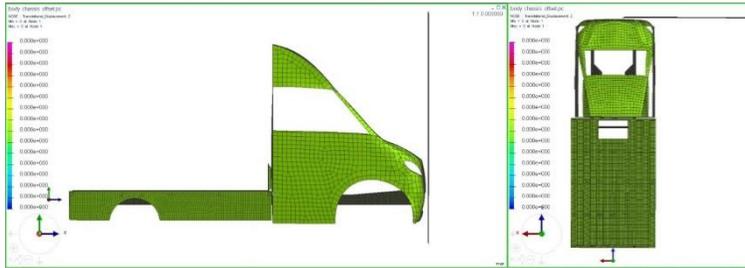
Gambar 4. 24 Posisi *chassis* setelah *offset frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 5 mm

Tabel 4. 11 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat *offset frontal collision*

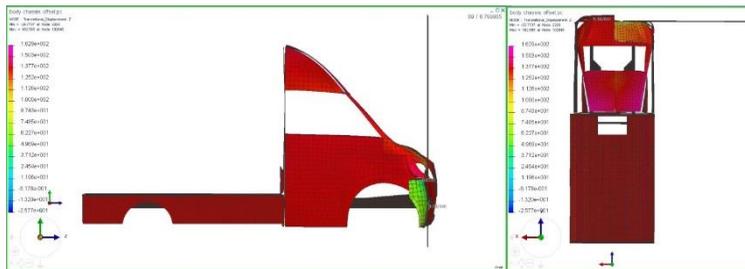
No	Sisi	$x_1$ (dalam mm)	$x_2$ (dalam mm)	Selisih (dalam mm)	Rata-rata (dalam mm)
1	Kanan	1160	1157.93	2,07	1,324
2	Kiri	1187,410	1186.832	0,578	

Jika ditinjau dari hasil simulasi, *chassis* sebelah kanan terdeformasi sebesar 2.07 mm. Sedangkan *chassis* sebelah kiri terdeformasi sebesar 0.578 mm. Dengan besar deformasi rata-rata adalah 1.324 mm. Besarnya deformasi antara *chassis* sebelah kanan dan kiri yang belum melebihi 127 mm menunjukkan bahwa design *chassis* **aman**.

#### 4.4.4 Body dan Chassis Offset frontal collision untuk ketebalan chassis 5 mm



Gambar 4. 25 Posisi *body* dan *chassis* sebelum *offset frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 5 mm



Gambar 4. 26 Posisi *body* dan *chassis* setelah *offset frontal collision* pada variasi ketebalan *chassis* 5 mm

Tabel 4. 12 Perhitungan deformasi roda kemudi pada saat *offset frontal collision*

No	Sisi	$x_1$ (dalam mm)	$x_2$ (dalam mm)	Selisih (dalam mm)	Rata-rata (dalam mm)
1	Kanan	990.082	989.394	0.688	0.346
2	Kiri	985.106	985.102	0.004	

Jika ditinjau dari hasil simulasi, *chassis* sebelah kanan terdeformasi sebesar 0.688 mm. Sedangkan *chassis* sebelah kiri terdeformasi sebesar 0.004 mm. Dengan besar deformasi rata-rata adalah 0.346 mm. Besarnya deformasi antara *chassis* sebelah kanan dan kiri yang belum melebihi 127 mm menunjukkan bahwa design chassis **aman**.

#### 4.5 Analisa Hasil Simulasi

Dari hasil simulasi di atas maka dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4. 13 Hasil simulasi tanpa body dan dengan body dengan variasi ketebalan

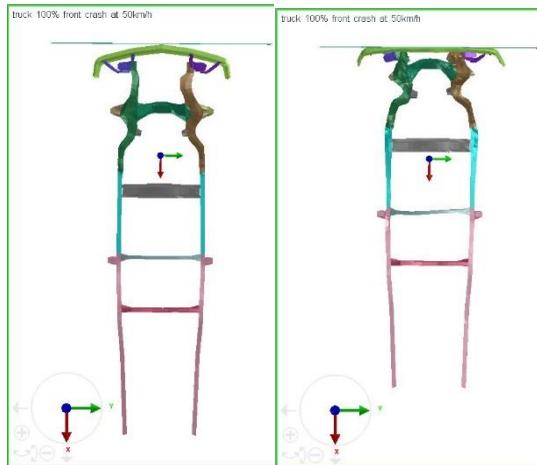
No	Objek	Tipe Collision	Ketebalan (mm)	Hasil (mm)
1	Chassis	Full Width Frontal	2	1.621
2		Offset Frontal	2	1.611
3		Full Width Frontal	3	1.511
4		Offset Frontal	3	1.482
5		Full Width Frontal	5	1.506
6		Offset Frontal	5	1.324
7	Chassis dan Body	Full Width Frontal	2	0.691
8		Offset Frontal	2	0.375
9		Full Width Frontal	3	0.516
10		Offset Frontal	3	0.372
11		Full Width Frontal	5	0.367
12		Offset Frontal	5	0.346

Dari tabel diatas menunjukkan deformasi terbesar terjadi pada *full width frontal collision* pada objek simulasi *chassis* saja tanpa menggunakan *body* pada variasi ketebalan *chassis* 2 mm. Hal ini terjadi karena *full width frontal collision* tanpa *body*, energi tumbukan diserap langsung oleh *chassis* sehingga mengakibatkan deformasi pada *chassis* lebih besar daripada collision dengan *body*. Pada *full width frontal collision*, energi tumbukan diserap oleh kedua sisi dari *chassis* sehingga ketika dimasukkan ke dalam rata-rata deformasi menjadi besar. Sedangkan pada *offset frontal collision* deformasi di sisi kanan sangat besar namun pada bagian kiri *chassis* hampir tidak mengalami deformasi sama sekali. Sehingga rata-rata deformasi pada *offset frontal collision* menjadi lebih kecil dibanding pada *full width frontal collision*.

Dari keseluruhan variasi simulasi collision pada mobil multiguna pedesaan, kendaraan masih dalam batas keamanan sesuai standar FMVSS 204 yang menyebutkan bahwa perpindahan roda kemudi yang diijinkan sebesar 127 mm. Namun pada penelitian kali ini didapatkan deformasi yang terlampau kecil, hal ini disebabkan oleh desain *chassis* mobil multiguna pedesaan yang sangat rigid.

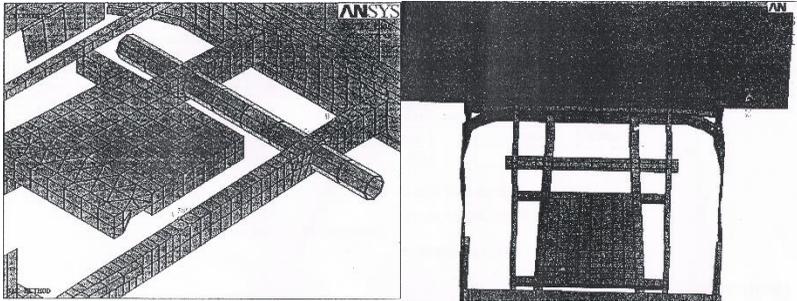
Desain *chassis* yang terlampau rigid bukan merupakan pilihan terbaik dalam penggunaan *chassis*. Hal ini mengakibatkan energi tumbukan dari kendaraan dapat dirasakan langsung oleh pengemudi. Untuk menjaga keamanan dan energi tumbukan tidak dirasakan oleh pengemudi maka harus ada bagian dari *chassis* yang dikorbankan untuk menyerap energi tumbukan namun deformasi pada *chassis* tidak melebihi standar FMVSS 204 yaitu sebesar 127 mm. Seperti bentuk *chassis* pada *Manual Book of Virtual Performance Solution*<sup>(8)</sup>, dimana bentuk

chassis tersebut tidak tegak lurus langsung terhadap *barrier* namun memiliki sudut kemiringan sehingga pada bagian depan yang memiliki sudut kemiringan tersebut lah yang dikorbankan untuk menyerap energi tumbukan dan mengalami deformasi.



Gambar 4. 27 Desain chassis pada manual book software VPS sebelum dan sesudah tumbukan

Untuk menyerap energi tumbukan, Mohd Novry Rahadian dalam penelitiannya juga menggunakan chassis yang memiliki sudut kemiringan terhadap *barrier*. Pada hasil penelitiannya chassis mampu terdeformasi sebesar 10.1 mm ketika diberikan kecepatan awal sebesar 48.3 Km/jam. Hasil deformasi ini masih dalam tahap aman, karena nilai nya kurang dari batas maksimal yang ditentukan oleh FMVSS 204 yaitu sebesar 127 mm.



Gambar 4. 28 Geometri *chassis* pada penelitian yang dilakukan oleh Mohd Novry Rahadian setelah menabrak *barrier*

Penggunaan *body* pada pengujian kali ini mempengaruhi deformasi yang terjadi. Pada *full width frontal collision*, mengurangi deformasi sebesar 57.4%. Sedangkan pada *offset frontal collision* mengurangi deformasi sebesar 76.7%. Pengurangan deformasi ini diakibatkan adanya jarak antara bagian depan *body* dan bagian depan *chassis*, sehingga ketika *chassis* menerima energi tumbukan tidak lagi pada kecepatan maksimal. Pengurangan deformasi yang terlampaui banyak ini juga diakibatkan oleh penggunaan material yang terlampaui kuat sehingga mampu menyerap energi tumbukan dan mengakibatkan deformasi pada *chassis* menjadi lebih kecil.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil simulasi collision pada mobil multiguna pedesaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Deformasi pada *chassis* mobil multiguna pedesaan dengan ketebalan 2 mm pada saat mengalami tumbukan yaitu sebesar 1.621 mm untuk *full width frontal collision* dan 1.611 untuk *offset frontal collision*, sedangkan pada simulasi *chassis* dan *body* terhadap mobil yang sama menunjukkan hasil deformasi sebesar 0.691 mm untuk *full width frontal collision* dan 0.375 mm untuk *offset frontal collision*. Pada pengujian *chassis* mobil multiguna pedesaan dengan ketebalan 3 mm mengalami deformasi sebesar 1.511 mm untuk *full width frontal collision* dan 1.482 mm untuk *offset frontal collision*, sedangkan pada simulasi *chassis* dan *body* terhadap mobil yang sama menunjukkan hasil deformasi sebesar 0.516 mm untuk *full width frontal collision* dan 0.372 untuk *offset frontal collision*. Pada pengujian tumbukan *chassis* mobil multiguna pedesaan dengan ketebalan 5 mm mengalami deformasi sebesar 1.506 mm pada *full width frontal collision* dan 1.324 untuk *offset frontal collision*, sedangkan pada simulasi *body* dan *chassis* terhadap mobil yang sama menunjukkan hasil deformasi sebesar 0.367 mm untuk *full width frontal collision* dan 0.346 mm

untuk offset frontal collision. Hasil deformasi pada chassis mobil multiguna pedesaan tidak melebihi batas keamanan yang diijinkan oleh standar FMVSS 204 yaitu sebesar 127 mm. Hasil yang masih jauh dari standar yang ditentukan disebabkan oleh desain chassis yang terlalu rigid.

2. Body mobil multiguna pedesaan memberikan pengaruh yang besar terhadap deformasi yang terjadi, yang mana memberikan pengurangan deformasi sebesar 57.4% pada *full width frontal collision* dan 76.7% pada *offset frontal collision*. Hal ini dikarenakan adanya jarak antara *body* dan *chassis* juga dikarenakan penggunaan material yang terlampau kuat.

## 5.2 Saran

Untuk pemodelan *chassis* mobil multiguna pedesaan berikutnya, perlu diperhatikan lagi untuk bentuk chassis yang mampu menyerap energi hingga chassis mengalami deformasi namun tidak melebihi batas deformasi yang ada dalam standar. Penyerapan energi oleh *chassis* membuat efek tumbukan tidak dirasakan oleh pengemudi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sutantra, I. N., 2009. *Teknologi Otomotif Teori dan Aplikasinya edisi Revisi*. Surabaya : Guna Widya
- [2] Moaveni, Saeed.,1999. *Finite Element Analysis (Theory and Application with ANSYS)*.New Jersey : Prentice Hall, Inc, Upper Saddle River
- [3] National Crash Analysis Center (NCAC). *Introduction to Vehicle Crashworthiness Lecture 1*. Diambil dari : <http://crash.ncac.gwu.edu/preedep>.
- [4] Rahadian,M. N., 2005. *Analisis Collision pada Kendaraan Model Van dengan Menggunakan Ansys 8.0*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [5] Nugroho,A. S., 2008. *Studi Kasus Collision pada Chassis Articulated Bus dengan Metode Elemen Hingga*.Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [6] Ilhami,A. H. A.,2016.*Analisis Collision pada Chassis Formula Sapuangin Speed dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga*.Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [7] National Agency for Automotive Safety & Victim's Aid.,2009. *Collision Safety Performance Test*. Diambil dari : [www.nasva.go.jp/mamoru/en/assessment\\_car/crackup\\_test.html](http://www.nasva.go.jp/mamoru/en/assessment_car/crackup_test.html). (26 Oktober 2017)
- [8] ESI Group., 2013. *Manual Book of Virtual Performance Solution*. Paris : ESI-Group
- [9] Hibbeler, R. C. *Mekanika Teknik – Dinamika*. Jakarta : PT Prenhallindo

- [10] Kamal, M. M.,1982. ***Modern Automotive Structural Analysis***. New York : Van Norstrand Reinhold Company
- [11] Material Property Data. Diambil dari : [www.matweb.com](http://www.matweb.com). (17 Oktober 2017)
- [12] U.S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration., 1996. ***Laboratory Test Procedure for FMVSS 204 Steering Control Rearward Displacement***. Washington D. C.

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Muhammad Nur Arifin, dilahirkan di Madiun pada 23 November 1994. Merupakan anak keempat dari empat bersaudara. Penulis menempuh Pendidikan sekolah dasar pada tahun 2001-2007 di MI Islamiyah 02 Madiun, pendidikan sekolah menengah pertama pada tahun 2007-2010 di SMP Negeri 2 Madiun, lalu sekolah menengah atas pada 2010-2013 di SMA Negeri 2 Kota Madiun. Lalu penulis melanjutkan pendidikan yang lebih tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya dengan Departemen Teknik Mesin bidang studi Desain.

Selama berkuliah di Kampus Perjuangan ITS, penulis telah aktif di organisasi keprofesian Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin (LBMM-ITS). Penulis adalah staff divisi Organisasi, Kabiro Organisasi Divisi Organisasi serta Staff Divisi Organisasu pada tahun 2014, 2015, dan 2016. Di Departemen Teknik Mesin, penulis mengambil bidang studi mekanika benda padat sebagai bahan tugas akhir.

Jika ada informasi, pertanyaan, maupun saran yang ingin disampaikan kepada penulis, dapat menghubungi penulis melalui email [muhammadnurarifin85@gmail.com](mailto:muhammadnurarifin85@gmail.com)