

LAPORAN PENELITIAN

PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI



PENGEMBANGAN KENDARAAN LISTRIK TAKTIS SERGAP SENYAP UNTUK MENDUKUNG INDUSTRI PERTAHANAN NASIONAL

TIM PENGUSUL :

Dr. Tarsisius Kristyadi, ST., MT.	NIDN: 0415087101
Liman Hartawan, ST., MT	NIDN: 0418047803
Dr.Ing. Mohammad Alexin Putra	NIDN: 0414116601

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL BANDUNG

2021

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN

Judul : Pengembangan Kendaraan Listrik Taktis Sergap Senyap
Untuk Mendukung Industri Pertahanan Nasional

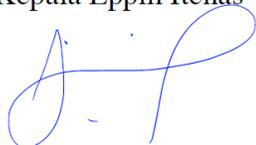
Peneliti / Pelaksana
Nama Lengkap : Dr. Tarsisius Kristyadi, ST., MT.
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Nasional Bandung
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Teknik Mesin
Nomor HP : 081320917913
Alamat Surel (Email) : kristyadi@itenas.ac.id

Anggota (1)
Nama Lengkap : Liman Hartawan, ST., MT
NIDN : 0418047803
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Nasional Bandung

Anggota (2)
Nama Lengkap : Dr.Ing. Mohammad Alexin Putra.
NIDN : 0414116601
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Nasional Bandung

Tahun Pelaksanaan : 2021
Biaya Tahun berjalan : Rp. 917.140.000,-
Biaya Keseluruhan : Rp. 275.010.000,-

Mengetahui,
Kepala Lppm Itenas



(Dr. Iwan Juwana)
NIP/NIK 0403017701

Bandung, 8 November 2021
Ketua,



(Dr. Tarsisius Kristyadi, ST., MT.)

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Tinjauan Pustaka	4
BAB II METODOLOGI	7
2.1 Road Map	7
2.2 Langkah Penelitian	10
BAB III PEMODELAN MOBIL LISTRIK SERGAP SENYAP	18
3.1 Pendahuluan	18
3.1.1 Rangka Mobil	18
3.1.2 Tegangan	24
3.1.3 Regangan	26
3.1.4 Tegangan <i>Yield</i>	26
3.1.5 Teori Elastis dan Plastisitas	29
3.1.6 Defleksi	29
3.1.7 Tabrakan	37

3.1.8 FMVSS 208	37
3.1.9 <i>Full Frontal Fixed Barrier</i>	43
3.1.10 Hubungan Gaya dan Gerak	46
3.1.11 Hubungan Impuls dan Momentum	47
3.2 Tahapan Pemodelan	47
3.2.1 Kondisi Batas Simulasi	58
3.2.2 Metode <i>full frontal fixed barrier</i>	62
3.2.3 Diagram Air Penelitian	62
3.2.4 Langkah-langkah Simulasi	63
3.3 Hasil Simulasi	72
3.3.1 Perhitungan Beban <i>Impact</i>	85
3.3.2 Hasil <i>Static Test</i>	86
3.3.3 Hasil <i>Static Test</i> pada kecepatan 30 Km/h	87
3.3.4 Hasil <i>Static Test</i> pada kecepatan 45 Km/h	89
3.3.5 Hasil <i>Static Test</i> pada kecepatan 60 Km/h	92
3.3.6 Hasil <i>Static Test</i> pada kecepatan 100 Km/h	94
3.4 Data Hasil Pengujian	97
3.4.1 Data Hasil Simulasi pada Model	97
3.4.2 Data Hasil Simulasi pada Sasis Depan	99
3.4.3 Data Hasil Perhitungan Beban <i>Impact</i>	101
3.4.4 Data Hasil <i>Static Test</i>	102

3.5 Analisis	102
BAB IV RANCANG BANGUN MOBIL LISTRIK SERGAP SENYAP ...	104
4.1 <i>Chasis</i>	104
4.2 Body	114
4.2.1 Proses	114
4.2.2 Proses Metal Finishing	115
4.2.3 Konstruksi	116
4.2.4 Penutup Mesin/Kap Mesin	117
4.2.5 Fender	119
4.2.6 Cowl dan Dash Panel	120
4.2.7 Atap Kendaraan (<i>Roof Panel</i>)	120
4.2.8 Bodi Belakang (<i>Quarter Panel</i>)	121
4.2.9 Pillar Tengah	121
4.2.10 Pintu (<i>Door</i>)	121
4.2.11 <i>Deck Lid</i> (Tutup Bagasi)	122
4.2.12 Bumper	122
4.2.13 Kaca Kendaraan	123
4.3 Motor dan Sistem Kendali	124
4.3.1 BLDC Motor	124
4.3.2 Sistem Kendali Motor	126
4.3.3 Kendali Sistem Transmisi	127

4.3.4 Sistem Kendali Steering	128
4.3.5 Sistem Kendali Pengereman	129
4.3.6 Sistem Kendali Daya	129
4.4 Batere	131
BAB V RANCANG BANGUN PENDOBRAK PNEUMATIK	159
5.1 Pendahuluan	159
5.2 Metodologi	159
5.3 Rancang Bangun	160
5.4 Proses Pembuatan	163
5.5 Pengujian	175
DAFTAR PUSTAKA	178

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Platform Kendaraan Listrik	2
Gambar 1.2 <i>Road Map</i> Penelitian Kendaraan Militer Listrik Sergap Senyap .	6
Gambar 2.1 <i>Road Map</i> Penelitian Kendaraan Militer Listrik Sergap Senyap	10
Gambar 2.2 Road Penelitian Kendaraan Listrik ITENASKendaraan	11
Gambar 2.3 Struktur Kendaraan Listrik Sergap Senyap	11
Gambar 2.4 Flowchart Penelitian Tahun 1	13
Gambar 2.5 Tahapan Penelitian Tahun 2	15
Gambar 2.6 Tahapan Penelitian Tahun 3	17
Gambar 3.1 Mobil Listrik	18
Gambar 3.2 Rangka <i>Ladder Frame</i>	20
Gambar 3.3 Rangka <i>Tubular Space Frame</i>	21
Gambar 3.4 Rangka <i>Monocoque</i>	22
Gambar 3.5 Rangka <i>Backbone</i>	22
Gambar 3.6 Rangka <i>Aluminium Space Frame</i>	23
Gambar 3.7 <i>Crumple Zone</i>	24
Gambar 3.8 Tegangan normal	25
Gambar 3.9 Tegangan Geser	25
Gambar 3.10 Grafik <i>Stress vs Strain</i>	27

Gambar 3.11 (a) Balok Sebelum Terjadi Deformasi	30
Gambar 3.11 (b) Balok Dalam Konfigurasi Terdeformasi	30
Gambar 3.12 Perangkat Lunak <i>Solidworks</i> 2019	32
Gambar 3.13 <i>Assembly</i> pada <i>Solidworks</i>	33
Gambar 3.14 <i>Bill of Material</i> pada <i>Solidworks</i>	34
Gambar 3.15 Perangkat Lunak <i>AutoCAD</i>	35
Gambar 3.16 <i>Car-to-car Crash Test</i>	38
Gambar 3.17 <i>Full Frontal Fixed Barrier</i>	39
Gambar 3.18 <i>Oblique Frontal Fixed Barrier</i> (Sudut Tumbukan 30 Derajat)	40
Gambar 3.19 <i>Frontal Offset Deformable Barrier</i>	41
Gambar 3.20 <i>Oblique Moving Deformable Barrier (MDB) Test</i>	42
Gambar 3.21 <i>Full Frontal Fixed Deformable-Face Barrier (FFFDB)</i>	42
Gambar 3.22 Model Sederhana Tampak Samping	49
Gambar 3.23 Model Sederhana Tampak Atas	50
Gambar 3.24 Model Sederhana Tampak Depan	51
Gambar 3.25 Model Sederhana Tampak Belakang	52
Gambar 3.26 Isometri Model Sederhana	52
Gambar 3.27 Posisi Pembebanan pada Model	56

Gambar 3.28 Kecepatan pada Arah Horizontal	58
Gambar 3.29 <i>Rigid Wall</i>	59
Gambar 3.30 Gaya Gravitasi Mobil	59
Gambar 3.31 Arah Gaya Gravitasi Mobil	60
Gambar 3.32 Diagram Alir Penelitian	63
Gambar 3.33 <i>Software Solidworks 2019</i>	64
Gambar 3.34 Model Mobil Listrik	64
Gambar 3.35 Pemilihan Material Model Mobil Listrik	65
Gambar 3.36 Menu <i>Simulation</i>	65
Gambar 3.37 <i>Solidnetwork License Manager Menu</i>	66
Gambar 3.38 <i>Move Up Solidworks Simulation Premium</i>	66
Gambar 3.39 <i>Sub-tools</i> pada <i>New Study</i>	67
Gambar 3.40 <i>Setup</i> pada <i>Drop Test</i>	67
Gambar 3.41 <i>Setup Velocity at Impact</i> pada <i>DropTest</i>	68
Gambar 3.42 <i>Setup Gravity</i> pada <i>Drop Test</i>	68
Gambar 3.43 <i>Setup Plan</i> pada <i>Drop Test</i>	69
Gambar 3.44 <i>Create Mesh</i> pada <i>Meshing</i>	69
Gambar 3.45 <i>Setup Proses Meshing</i>	70

Gambar 3.46 Proses <i>Meshing</i> pada Model	70
Gambar 3.47 Hasil <i>Meshing</i> pada Model	71
Gambar 3.48 Pmilihan <i>Run This Study</i>	71
Gambar 3.49 Proses <i>Run</i> pada <i>Study</i>	72
Gambar 3.50 <i>Stress</i> pada 30 ^{Km/h}	73
Gambar 3.51 <i>Strain</i> pada 30 ^{Km/h}	73
Gambar 3.52 <i>Displacement</i> pada 30 ^{Km/h}	74
Gambar 3.53 <i>Stress</i> pada 45 ^{Km/h}	75
Gambar 3.54 <i>Strain</i> pada 45 ^{Km/h}	76
Gambar 3.55 <i>Displacement</i> pada 45 ^{Km/h}	77
Gambar 3.56 <i>Stress</i> pada 60 ^{Km/h}	78
Gambar 3.57 <i>Strain</i> pada 60 ^{Km/h}	78
Gambar 3.58 <i>Displacement</i> pada 60 ^{Km/h}	79
Gambar 3.59 <i>Stress</i> pada 100 ^{Km/h}	80
Gambar 3.60 <i>Strain</i> pada 100 ^{Km/h}	81
Gambar 3.61 <i>Displacement</i> pada 100 ^{Km/h}	81
Gambar 3.62 <i>Displacement</i> Sasis Depan pada Kecepatan 30 ^{Km/h}	82
Gambar 3.63 <i>Displacement</i> Sasis Depan Pada Kecepatan 45 ^{Km/h}	83

Gambar 3.64 <i>Displacement</i> Sasis Depan pada Kecepatan 60 ^{Km/h}	84
Gambar 3.65 <i>Displacement</i> Sasis Depan pada Kecepatan 100 ^{Km/h}	85
Gambar 3.66 DBB Model pada <i>Static Test</i>	86
Gambar 3.67 Tegangan Model <i>Static Test</i> pada Kecepatan 30 ^{Km/h}	87
Gambar 3.68 Regangan Model <i>Static Test</i> pada Kecepatan 30 ^{Km/h}	88
Gambar 3.69 Defleksi Model <i>Static Test</i> pada Kecepatan 30 ^{Km/h}	88
Gambar 3.70 FOS Model <i>Static Test</i> pada Kecepatan 30 ^{Km/h}	89
Gambar 3.71 Tegangan Model <i>Static Test</i> pada Kecepatan 45 ^{Km/h}	90
Gambar 3.72 Regangan Model <i>Static Test</i> pada Kecepatan 45 ^{Km/h}	90
Gambar 3.73 Defleksi Model <i>Static Test</i> pada Kecepatan 45 ^{Km/h}	91
Gambar 3.74 FOS Model <i>Static Test</i> pada Kecepatan 45 ^{Km/h}	91
Gambar 3.75 Tegangan Model <i>Static Test</i> pada Kecepatan 60 ^{Km/h}	92
Gambar 3.76 Regangan Model <i>Static Test</i> pada Kecepatan 60 ^{Km/h}	93
Gambar 3.77 Defleksi Model <i>Static Test</i> pada Kecepatan 60 ^{Km/h}	93
Gambar 3.78 FOS Model <i>Static Test</i> pada Kecepatan 60 ^{Km/h}	94
Gambar 3.79 Tegangan Model <i>Static Test</i> pada Kecepatan 100 ^{Km/h}	95
Gambar 3.80 Regangan Model <i>Static Test</i> pada Kecepatan 100 ^{Km/h}	95
Gambar 3.81 Defleksi Model <i>Static Test</i> pada Kecepatan 100 ^{Km/h}	96

Gambar 3.82 FOS Model <i>Static Test</i> pada Kecepatan 100 ^{Km} /h	96
Gambar 3.83 Diagram Tegangan vs Kecepatan pada Model	98
Gambar 3.85 Diagram Tegangan vs <i>Safety Factor</i> pada Model	99
Gambar 3.86 Diagram Tegangan vs Kecepatan pada Sasis Depan	100
Gambar 3.87 Diagram Tegangan vs <i>Safety Factor</i> pada Sasis Depan	101
Gambar 4.1 Beban-beban pada Chasis Kendaraan	105
Gambar 4.2 Kecepatan Meshing pada Chasis	105
Gambar 4.3 Tegangan Von Misses yang Terjadi pada Chasis	106
Gambar 4.4 Defleksi yang Terjadi pada Chasis	106
Gambar 4.5 Kerapatan Meshing pada Chasis	108
Gambar 4.6 Tegangan von Misses yang Terjadi pada Chasis Saat Tabrakan	108
Gambar 4.7 Defleksi yang Terjadi pada Chasis Saat Tabrakan	109
Gambar 4.8 Foto-foto Chasis Lader Frame	110
Gambar 4.9 Foto-foto Chasis Lader Frame	111
Gambar 4.10 Foto-foto Chasis Lader Frame	111
Gambar 4.11 Foto-foto Chasis Lader Frame	112
Gambar 4.12 Foto-foto Chasis Lader Frame	112
Gambar 4.13 Rencana Gabungan Chasis Lader dan Tubulan	113

Gambar 4.14 Rencana Gabungan Chasis Lader dan Tubulan	113
Gambar 4.15 Rencana Gabungan Chasis Lader dan Tubulan	114
Gambar 4.16 Gambar Konstruksi Lantai	117
Gambar 4.17 Gambar Konstruksi Kap Mesin	118
Gambar 4.18 Konstruksi Fender.....	120
Gambar 4.19 Gambar Pilar	121
Gambar 4.20 Pembuatan Mobil Listrik	124
Gambar 4.21 Skema Sistem Kendali Motor	126
Gambar 4.22 Wiring System Kendali Motor Listrik	127
Gambar 4.23 Blok Diagram Sistem Kendali Motor	127
Gambar 4.24 Bagan Sistem Kendali Transmisi	128
Gambar 4.25 Diagram Steering System	128
Gambar 4.26 Diagram Alir Sistem Kendali Rem	129
Gambar 4.27 Wiring Diagram Sistem Kendali Daya Mobil Listrik.....	130
Gambar 4.28 Realisasi Kontroler Motor BLDC	130
Gambar 4.29 Pengendalian Mobil Listrik	131
Gambar 4.30 Baterai	131
Gambar 4.31 Baterai <i>Lithium</i> 1-2, 3-5	132

Gambar 4.32 Baterai <i>Lithium Cylinder Cell</i>	133
Gambar 4.33 <i>Spot Welding</i> Baterai <i>Lithium Cylinder Cell</i>	134
Gambar 4.34 <i>Replacement</i> Baterai <i>Lithium Softpack Cell</i>	134
Gambar 4.35 Rangkaian Baterai <i>Lithium Prismatic Cell</i>	135
Gambar 4.36 Baterai <i>SLA (Sealed Lead Acid)</i>	136
Gambar 4.36 Foto Rancang Bangun	136
Gambar 4.38 Foto Rancang Bangun	137
Gambar 4.39 Foto Rancang Bangun	137
Gambar 4.40 Foto Rancang Bangun	138
Gambar 4.41 Foto Rancang Bangun	139
Gambar 4.42 Foto Rancang Bangun	139
Gambar 4.43 Foto Rancang Bangun	140
Gambar 4.44 Foto Rancang Bangun	141
Gambar 4.45 Foto Rancang Bangun	141
Gambar 4.46 Foto Rancang Bangun	142
Gambar 4.47 Foto Rancang Bangun	142
Gambar 4.48 Foto Rancang Bangun	143
Gambar 4.49 Foto Rancang Bangun	143

Gambar 4.50 Foto Rancang Bangun	144
Gambar 4.51 Foto Rancang Bangun	144
Gambar 4.52 Foto Rancang Bangun	145
Gambar 4.53 Foto Rancang Bangun	145
Gambar 4.54 Foto Rancang Bangun	146
Gambar 4.55 Foto Rancang Bangun	146
Gambar 4.56 Foto Rancang Bangun	147
Gambar 4.57 Foto Rancang Bangun	147
Gambar 4.58 Foto Rancang Bangun	148
Gambar 4.59 Foto Rancang Bangun	148
Gambar 4.60 Foto Rancang Bangun	149
Gambar 4.61 Foto Rancang Bangun	150
Gambar 4.62 Foto Rancang Bangun	151
Gambar 4.63 Foto Rancang Bangun	152
Gambar 4.64 Foto Rancang Bangun	152
Gambar 4.65 Foto Rancang Bangun	153
Gambar 4.66 Foto Rancang Bangun	153
Gambar 4.67 Foto Rancang Bangun	154

Gambar 4.68 Foto Rancang Bangun	154
Gambar 4.69 Foto Rancang Bangun	155
Gambar 4.70 Foto Rancang Bangun	155
Gambar 4.71 Foto Rancang Bangun	156
Gambar 4.72 Foto Rancang Bangun	156
Gambar 4.73 Foto Rancang Bangun	157
Gambar 4.74 Foto Rancang Bangun	157
Gambar 4.75 Foto Rancang Bangun	158
Gambar 5.1 Diagram Alir Rancang Bangun Pelontar <i>Speargun</i> Menggunakan Sistem Pneumatik	160
Gambar 5.2 Sistem Pelontar Peluru	161
Gambar 5.3 Proses Mesh	161
Gambar 5.4 Proses Stress Analisis	162
Gambar 5.5 Proses Safety Factor	162
Gambar 5.6 Peluru	163
Gambar 5.7 Proses <i>Drilling</i>	169
Gambar 5.8 Proses Pembuatan <i>Socket</i> ke Tabung	169
Gambar 5.9 Hasil Pengelasan <i>Socket</i> ke Tabung	170
Gambar 5.10 Bahan Dasar dari Sambungan (<i>flange</i>)	171

Gambar 5.11 Proses <i>drilling</i> pada Sambungan	171
Gambar 5.12 Proses Pembubutan pada Sambungan	172
Gambar 5.13 Pembuatan Dudukan <i>Seal</i> pada Sambungan	172
Gambar 5.14 Proses <i>Drilling</i> pada Sambungan	173
Gambar 5.15 Hasil Pemotongan Poros as Pejal untuk <i>Rod Piston</i>	174
Gambar 5.16 Piston yang Telah Dibuat	174
Gambar 5.17 Pelontar Peluru Penumatik Hasil Pembuatan	175
Gambar 5.18 Foto Pengujian	176
Gambar 5.19 Hasil Pengujian Jarak Lontaran Peluru terhadap Tekanan untuk Peluru 4 kg	176
Gambar 5.20 Hasil Pengujian Jarak Lontaran Peluru terhadap Tekanan untuk Peluru 3 kg	177
Gambar 5.21 Hasil Pengujian Jarak Lontaran Peluru terhadap Tekanan untuk Peluru 1 kg	177

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jenis Uji Kecelakaan Kendaraan	44
Tabel 3.2 <i>The Properties of Alloy Steel</i>	57
Tabel 3.3 <i>Chemical Composition of Alloy Steel</i>	57
Tabel 3.4 <i>The Properties of EPDM of Wheel</i>	57
Tabel 3.5 Data Hasil Simulasi pada Model	97
Tabel 3.6 Data Hasil Simulasi pada Sasis Depan	99
Tabel 3.7 Data Hasil Perhitungan Beban <i>Impact</i>	101
Tabel 3.8 Data Hasil Simulasi pada Model	102
Tabel 4.1 Beban Akibat Berat pada Kendaraan	104
Tabel 4.2 Tegangan Maksimum dan Defleksi Maksimum Saat Tubrukan	110
Tabel 5.1 Proses Pengerjaan	164

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

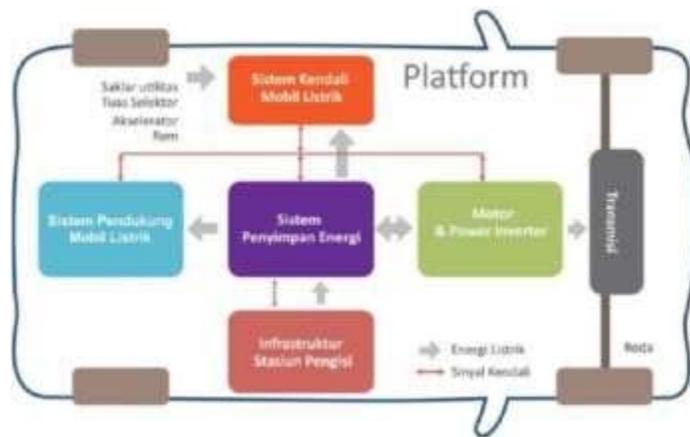
Alat Utama Sistem Pertahanan (ALUTSISTA) berperan penting dalam mengoptimalkan peran TNI sebagai komponen utama pertahanan negara, apakah ALUTSISTA sudah memadai dan sesuai dengan perkembangan teknologi modern. **Kendaraan Taktis Militer** merupakan suatu sarana pendukung daya gerak yang mutlak dimiliki oleh kesatuan militer. Kendaraan Taktis (**Rantis**) merupakan wahana pendukung transportasi personel maupun peralatan. Disebut **taktis** karena kegunaannya sebagai pendukung kegiatan operasi militer. Oleh karenanya **rantis** memiliki karakteristik yang spesifik, khusus dan dituangkan dalam suatu persyaratan spesifikasi tersendiri, berbeda dengan **kendaraan administrasi (ranmin)** yang spesifikasinya hampir sama dengan kendaraan yang digunakan oleh kalangan non-militer.

Rantis memiliki persyaratan minimum diantaranya, mampu melakukan gerak operasi disegala medan termasuk *cross-country*. Kendaraan listrik merupakan kendaraan masa depan karena memiliki efisien tinggi, tidak menghasilkan polusi lokal, rendah suara dan daya dapat diatur. Model dari kendaraan listrik sangat kompleks karena mengandung berbagai komponen, misalnya transmisi, mesin listrik, elektronika daya, sistem pengendalian dan baterai. Setiap komponen perlu dimodelkan secara baik dalam rangka mencegah suatu kesalahan. Desain dan *rating* setiap komponen merupakan parameter penting untuk mempengaruhi tingkat kekuatan satu sama lain.

Oleh karena itu, terdapat suatu kelayakan komponen yang memungkinkan untuk mengembangkan kendaraan yang tidak perlu mahal dan lebih efisien. Penelitian mengenai kendaraan listrik, merupakan prioritas atau unggulan yang dilaksanakan di Institut Teknologi Nasional Bandung (ITENAS). Penelitian mobil

listrik di ITENAS dimulai tahun 2014 dan akan berlanjut sampai mobil listrik bisa diproduksi dengan karakter mobil Indonesia. Penelitian ini akan dilanjutkan dengan pengembangan kendaraan listrik untuk kepentingan militer. Salah satunya adalah untuk kendaraan taktis. Selain itu kendaraan yang akan dikembangkan juga harus mampu untuk melaksanakan operasi militer seperti menerobos halangan.

Penelitian mengenai listrik taktis mencakup beberapa aspek pembentuk mobil listrik seperti terlihat pada gambar berikut ini:



Gambar 1.1 Platform Kendaraan Listrik

Dari **Gambar 1.1** tersebut terlihat bahwa beberapa komponen mobil listrik yaitu system kendali mobil listrik, system penyimpanan energy, motor dan power inverter, infrastruktur stasiun pengisi, transmisi, system pendukung mobil listrik dan platform serta body dan untuk keperluan penyerangan perlu diteliti masalah sistem penyerangnya.

Sebagai bagian dari penelitian mengenai kendaraan listrik, penelitian ini berfokus pada kendaraan listrik untuk keperluan militer. Penelitian ini akan diintegrasikan dengan penelitian lain yang mendukung pengembangan kendaraan listrik yaitu system body, platform, system pengisian dan baterai.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah pengembangan kendaraan taktis sergap senyap untuk kendaraan militer. Penelitian ini akan dilaksanakan selama 3 tahun dengan pendanaan dari DIKTI program PTUPT. Target keluaran dari penelitian ini adalah sebuah prototype kendaraan taktis menggunakan penggerak motor listrik dilengkapi dengan baterai dan dilengkapi dengan alat penghancur halangan berupa peluru dan pelontar peluru.

Tahun pertama *output* yang dihasilkan adalah prototype kendaraan taktis yang sudah diuji di lapangan. Salah satu sifat kendaraan ini harus bisa melewati segala medan. Hasil uji prototype akan dipublikasikan pada jurnal internasional. TKT yang ditargetkan adalah TKT 5. Pada tahun kedua ini, kegiatan penelitian yang dilakukan adalah membuat prototype sistem penerobos halangan dinding yang dilengkapi dengan peluru dan pelontar peluru. Sistem yang dipilih adalah sistem pneumatik. Target tahun ke 2 ini adalah sebuah prototype sistem penghancur halangan yang sudah diuji di lapangan. Hasil dari tahun ke 2 ini juga dipublikasikan pada jurnal internasional. TKT yang ditargetkan adalah TKT 5.

Pada tahun ke 3 sistem kendaraan listrik taktis digabungkan dengan sistem penghancur halangan sehingga terbangunlah sebuah kendaraan sergap senyap yang siap digunakan. Target tahun ke 3 ini berupa prototype dan kajian feasibility study untuk memproduksi kendaraan sergap senyap. Pada tahun ke 3 ini juga direncanakan untuk publikasi ke jurnal internasional disamping sebuah dokumen study kelayakan. Untuk memperkuat penelitian ini, akan dilaksanakan konsultasi dengan pihak militer dan kepolisian.

1.3 Tinjauan Pustaka

Kendaraan Taktis Militer merupakan suatu sarana pendukung daya gerak yang mutlak dimiliki oleh kesatuan militer. Kendaraan Taktis (Rantis) merupakan wahana pendukung transportasi personel maupun peralatan. Disebut taktis karena kegunaannya sebagai pendukung kegiatan operasi militer. Oleh karenanya rantis memiliki karakteristik yang spesifik, khusus dan dituangkan dalam suatu persyaratan spesifikasi tersendiri, berbeda dengan kendaraan administrasi (ranmin) yang spesifikasinya hampir sama dengan kendaraan yang digunakan oleh kalangan non-militer.

Rantis memiliki persyaratan minimum diantaranya, mampu melakukan gerak operasi disegala medan termasuk cross-country. Salah satu kendaraan taktis yang dimiliki kepolisian dan TNI saat ini adalah water cannon vehicle.

Salah satu karakteristik kendaraan taktis adalah chasisnya yang kuat. Agus Sartono dkk telah melakukan kajian mengenai kekuatan rolling chasis pada kendaraan water canon milik kepolisian RI. Dari analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa chasis yang seimbang pada kendaraan water canon dapat memberikan kestabilan kendaraan.

Di luar negeri beberapa kendaraan militer sudah mulai dikembangkan menggunakan penggerak motor listrik. Diantaranya adalah UTV Nicola Zero. Kendaraan ini berpenumpang 4 orang bertenaga motor listrik yang mendapat energi dari baterai. URV Nicola Zero menggunakan BLDC sebagai motor penggerak.

BLDC motor adalah suatu jenis motor dimana medan magnet yang dihasilkan oleh *stator* dan medan magnet *rotor* berputar pada frekuensi dan kecepatan yang sama. BLDC motor tidak mengalami slip, tidak seperti yang terjadi pada motor induksi biasa. BLDC Motor merupakan sebuah perangkat *elektromagnetis* yang mengubah energy listrik menjadi energi mekanik.

Motor *Brushless Direct Current* (*BLDC*) adalah salah satu jenis motor yang digunakan pada mobil listrik. *BLDC* motor tidak menggunakan sikat atau *brush* untuk pergantian medan magnet (komutasi), tetapi dilakukan secara *elektronis commutated*. Motor *BLDC* mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan *DC* motor dan Motor induksi biasa. *Brushless Direct Current* (*BLDC*) motor adalah pilihan ideal untuk aplikasi system yang memerlukan keandalan yang tinggi dan efisien yang tinggi, secara umum motor *BLDC* dianggap motor performa tinggi yang mampu memberikan jumlah besar torsi pada rentang kecepatan yang luas.

Penelitian ini juga akan mengembangkan sebuah kendaraan listrik untuk keperluan militer. Kendaraan ini akan dilengkapi dengan penghacur halangan dengan sistem pelontar peluru. Beberapa sistem pelontar peluru yang saat ini berkembang adalah sistem elektrik, sistem pneumatik, mekanik (*spring*).

- ***Spring Power***

Prinsip dari sistem mekanik (*spring*) ini adalah bahwa dilakukan penekanan (kangkang) yang menekan *spring* di dalam piston yang akan mendorong katub/klep udara padat melewati ruangan (*chamber*) ketika dilepaskan. Sekali dikangkang, piston tertahan kaitan sampai kemudian kaitan tersebut dilepaskan dengan menekan trigger. Piston pun terdorong kembali ke posisi awal dengan tenaga *spring* yang dikangkang tadi. Katub udara padat piston dalam ruangan (*chamber*) menciptakan areal bertekanan tinggi yang mendorong *BB* menuju ke laras hingga mengenai sasaran. *Airsoft spring* biasanya relatif tidak mahal karena menggunakan sedikit suku cadang di dalamnya.

- **Sistem Elektrik**

Pelontar bertenaga listrik menggunakan motor listrik yang dilengkapi dengan pegas dan katup. Sistem ini mirip dengan sistem pegas hanya saja, sistem penekanan atau pengongkangan menggunakan motor listrik dilengkapi *gear box*.

- **Gas Powered**

Sistem pelontar bertenaga gas dioperasikan menggunakan simpanan gas bertekanan dalam bentuk cairan (seperti penyimpanan gas *propane*, *butane*, atau *carbon dioxide* dalam bentuk cairan bertekanan) di dalam ruangan (*chamber*), dan melepaskan sejumlah kecil gas cair tersebut ke dalam ruangan tembak (*firing chamber*) yang secara cepat membesar tekanannya untuk mendorong peluru, dan biasanya ada gas yang digunakan untuk “efek dorongan belakang” (*blowback operation*) untuk menormalkan mekanisme internal sehingga siap untuk dilontarkan kembali.

Penelitian mengenai kendaraan listrik sergap senyap untuk pengembangan industri pertahanan disusun berdasarkan *road map* sebagai berikut:



Gambar 1.2 Road Map Penelitian Kendaraan Militer Listrik Sergap Senyap

BAB II

METODOLOGI

2.1 Road Map

Kendaraan Taktis Militer merupakan suatu sarana pendukung daya gerak yang mutlak dimiliki oleh kesatuan militer. Kendaraan Taktis (Rantis) merupakan wahana pendukung transportasi personel maupun peralatan. Disebut taktis karena kegunaannya sebagai pendukung kegiatan operasi militer. Oleh karenanya rantis memiliki karakteristik yang spesifik, khusus dan dituangkan dalam suatu persyaratan spesifikasi tersendiri, berbeda dengan kendaraan administrasi (ranmin) yang spesifikasinya hampir sama dengan kendaraan yang digunakan oleh kalangan non-militer.

Rantis memiliki persyaratan minimum diantaranya, mampu melakukan gerak operasi disegala medan termasuk *cross-country*. Salah satu kendaraan taktis yang dimiliki kepolisian dan TNI saat ini adalah *water cannon vehicle*. Salah satu karakteristik kendaraan taktis adalah chasisnya yang kuat. Agus Sartono dkk telah melakukan kajian mengenai kekuatan rolling chasis pada kendaraan water canon milik Kepolisian RI. Dari analysis tersebut dapat disimpulkan bahwa chasis yang seimbang pada kendaraan water canon dapat memberikan kestabilan kendaraan.

Di luar negeri beberapa kendaraan militer sudah mulai dikembangkan menggunakan penggerak motor listrik. Diantaranya adalah UTV Nicola Zero. Kendaraan ini berpenumpang 4 orang bertenaga motor listrik yang mendapat energi dari baterai. URV Nicola Zero menggunakan BLDC sebagai motor penggerak.

BLDC motor adalah suatu jenis motor dimana medan magnet yang dihasilkan oleh *stator* dan medan magnet *rotor* berputar pada frekuensi dan kecepatan yang sama. BLDC motor tidak mengalami slip, tidak seperti yang terjadi pada motor induksi biasa. BLDC Motor merupakan sebuah perangkat *elektromagnetis* yang mengubah energy listrik menjadi energi mekanik.

Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) adalah salah satu jenis motor yang digunakan pada mobil listrik. BLDC motor tidak menggunakan sikat atau *brush* untuk pergantian medan magnet (komutasi), tetapi dilakukan secara *elektronis commutated*. Motor BLDC mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan DC motor dan Motor induksi biasa. *Brushless DC* (BLDC) motor adalah pilihan ideal untuk aplikasi sistem yang memerlukan keandalan yang tinggi dan efisiensi tinggi, secara umum motor BLDC dianggap motor performa tinggi yang mampu memberikan jumlah besar torsi pada rentang kecepatan yang luas.

Penelitian ini juga akan mengembangkan sebuah kendaraan listrik untuk keperluan militer. Kendaraan ini akan dilengkapi dengan penghacur halangan dengan sistem pelontar peluru. Beberapa sistem pelontar peluru yang saat ini berkembang adalah sistem elektrik, sistem pneumatik, mekanik (*spring*).

- ***Spring Power***

Prinsip dari sistem mekanik (*spring*) ini adalah bahwa dilakukan penekanan (*kongkang*) yang menekan *spring* di dalam piston yang akan mendorong katub / klep udara padat melewati ruangan (*chamber*) ketika dilepaskan. Sekali dikongkang, piston tertahan kaitan sampai kemudian kaitan tersebut dilepaskan dengan menekan trigger. Piston pun terdorong kembali ke posisi awal dengan tenaga *spring* yang dikongkang tadi. Katub udara padat piston dalam ruangan (*chamber*) menciptakan areal bertekanan tinggi yang mendorong BB menuju ke laras hingga mengenai sasaran. Airsoft *spring* biasanya relatif tidak mahal karena menggunakan sedikit suku cadang di dalamnya.

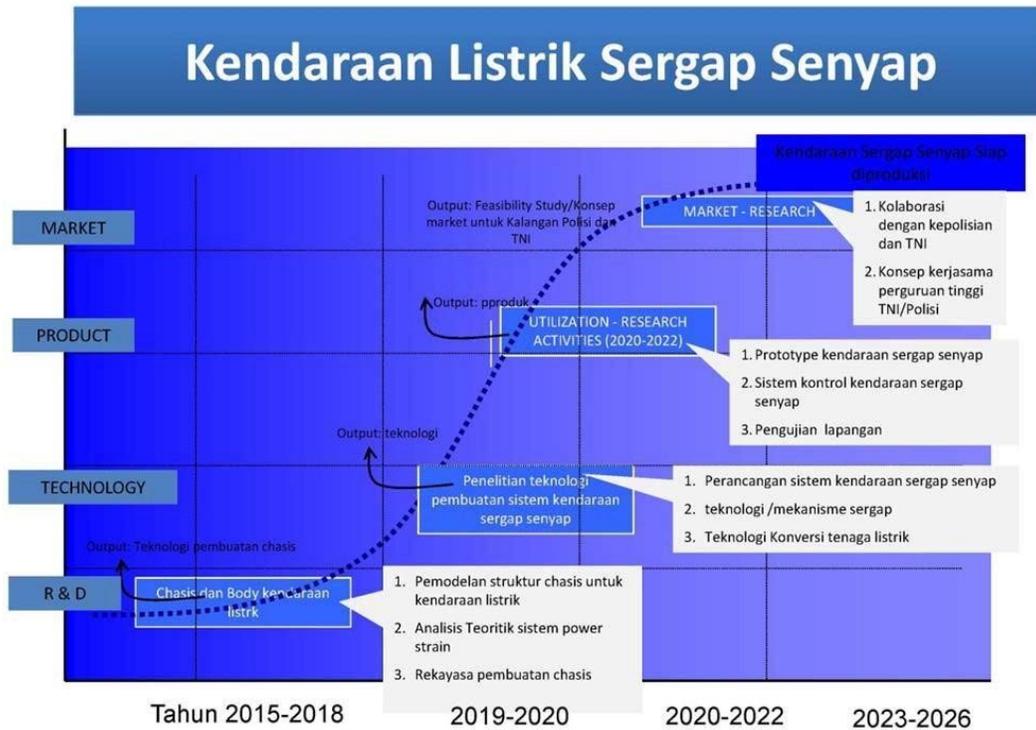
- **Sistem Elektrik**

Pelontar bertenaga listrik menggunakan motor listrik yang dilengkapi dengan pegas dan katup. Sistem ini mirip dengan sistem pegas hanya saja, sistem penekanan atau pengongkangan menggunakan motor listrik dilengkapi *gear box*.

- ***Gas Powered***

Sistem pelontar bertenaga gas dioperasikan menggunakan simpanan gas bertekanan dalam bentuk cairan (seperti penyimpanan gas *propane*, *butane*, atau *carbon dioxide* dalam bentuk cairan bertekanan) di dalam ruangan (*chamber*), dan melepaskan sejumlah kecil gas cair tersebut ke dalam ruangan tembak (*firing chamber*) yang secara cepat membesar tekanannya untuk mendorong peluru, dan biasanya ada gas yang digunakan untuk “efek dorongan belakang” (*blowback operation*) untuk menormalkan mekanisme internal sehingga siap untuk dilontarkan kembali.

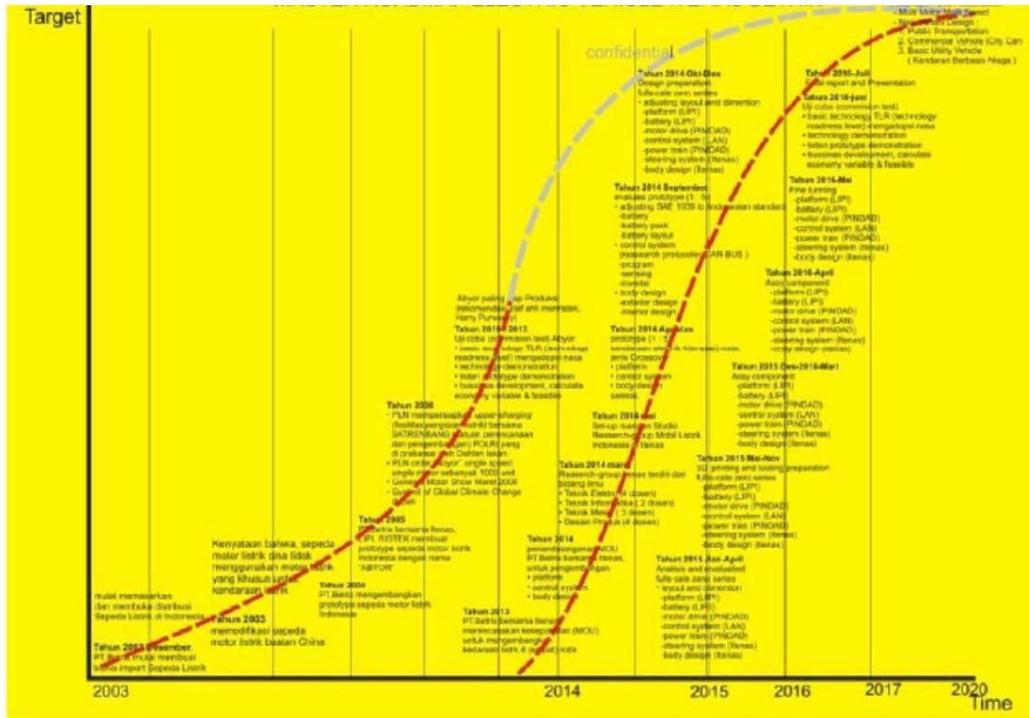
Penelitian mengenai kendaraan listrik sergap senyap untuk pengembangan industri pertahanan disusun berdasarkan *road map* sebagai berikut:



Gambar 2.1 Road Map Penelitian Kendaraan Militer Listrik Sergap Senyap

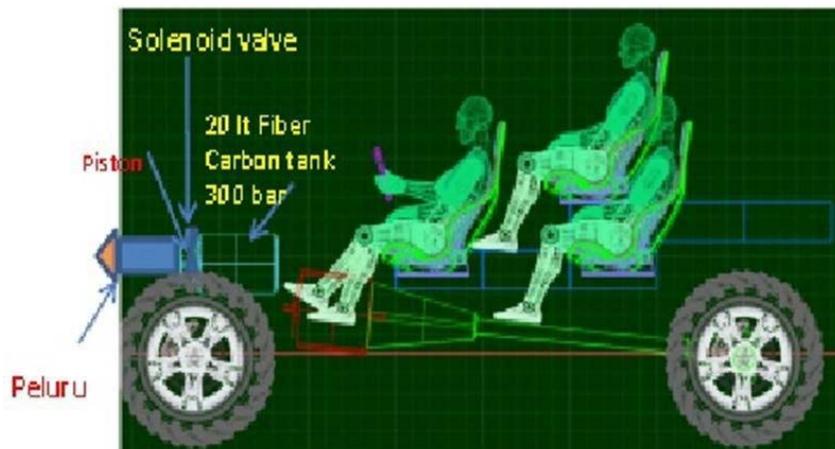
2.2 Langkah Penelitian

Pelaksanaan kegiatan penelitian ini sebagian besar dilaksanakan di laboratorium penelitian mobil listrik yang berlokasi di kampus ITENAS. Pelaksanaan penelitian ini didasari atas *Road Map* kendaraan Listrik ITENAS yang tertuang dalam Rencana Strategis Penelitian ITENAS. *Road Map* penelitian kendaraan listrik ITENAS adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Road Penelitian Kendaraan Listrik ITENASKendaraan

yang akan dikembangkan adalah seperti gambar berikut ini:



Gambar 2.3 Struktur Kendaraan Listrik Sergap Senyap

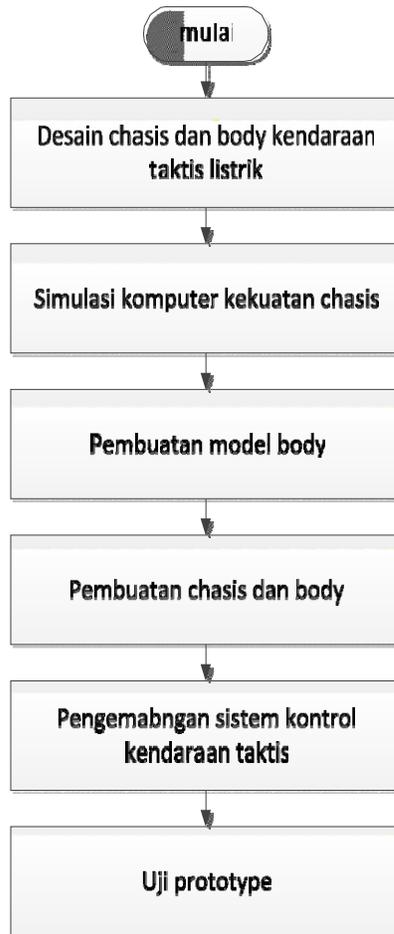
Seperti terlihat pada gambar bahwa kendaraan akan menggunakan penggerak motor listrik dilengkapi dengan peluru dan pelontar peluru. Sistem pelontar peluru akan menggunakan sistem pneumatik yaitu peluru akan dilontarkan dengan tekanan gas yang sangat tinggi yang disimpan dalam tabung terbuat dari *fiber carbon* dengan tekanan sekitar 300 bar. Kendaraan bermuatan 4 orang ini direncanakan bisa melalui segala medan..

Penelitian mengenai kendaraan taktis listrik ini dibagi menjadi beberapa tahapan metodologi yang dijelaskan sebagai berikut:

- **Tahun 1**

Penelitian ini dimulai dengan desain *chasis* dan *body*. Pada tahapan ini dirancang *chasis* dan *body* sesuai dengan kendaraan taktis atau kendaraan militer. Diperlukan *chasis* yang kuat serta *body* yang kuat juga. Sebelum *chasis* dan *body* dibuat perlu dianalisis dahulu dengan pemodelan untuk memeriksa kekuatan *chasis* dan *body*. Pemodelan dilakukan dengan *Soild Work*. Tahapan selanjutnya adalah pembuatan model *body*. Tahapan ini dilakukan untuk memastikan bahwa *body* sesuai yang diinginkan saat desain dan kemungkinan pembuatannya. Model dibuat dalam skala 1:1. Setelah model *body* dibuat dilanjutkan dengan pembuatan *chasis* dan *body* yang sebenarnya.

Hal yang sangat diperhatikan dalam kendaraan militer ini adalah sistem kontrol yang berbeda dengan mobil listrik pada umumnya. Kendaraan ini memerlukan persyaratan khusus. Oleh karena itu tahapan selanjutnya adalah pengembangan sistem kontrol kendaraan taktis yang akan diaplikasikan pada kendaraan yang dikembangkan. Tahapan selanjutnya adalah integrasi *body*, *chasis* dan sistem kontrol untuk membangun *prototype* kendaraan taktis. Setelah *prototype* berhasil dibangun dilanjutkan pengujian baik di laboratorium maupun di medan sesungguhnya. Pengujian akan melibatkan pihak TNI dan kepolisian. Hal-hal yang diuji adalah daya tahan kendaraan, kehalusan suara, kehandalan baterai dan kekuatan *chasis*.



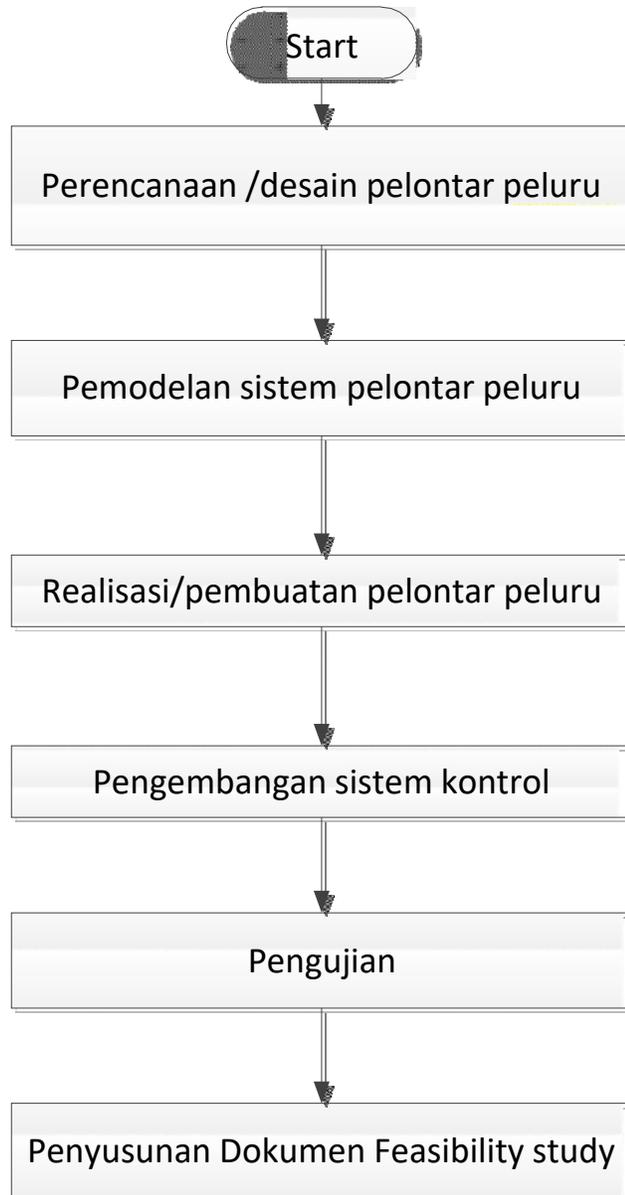
Gambar 2.4 Flowchart Penelitian Tahun 1

- **Tahun 2**

Pada tahun 2 fokus penelitian ini adalah untuk menghasilkan *prototype* Sistem penghancur halangan. Sistem penghancur halangan terdiri dari 2 komponen yaitu peluru dan pelontar peluru. Tahapan yang akan dilaksanakan adalah perencanaan/desain peluru dan pelontar peluru. Perancangan ini didukung dengan pemodelan sistem pelontar peluru. Dengan pemodelan ini dapat diperoleh gambaran mengenai sistem, tekanan dan daya lontar atau daya serang peluru. Setelah desain dan pemodelan dilanjutkan realisasi atau pembuatan peluru dan pelontar peluru. Sistem ini perlu dilengkapi dengan sistem kontrol untuk mengatur waktu dan kekuatan peluru yang ditembakkan. Sistem pengontrolan ini dikembangkan menggunakan gabungan antara *elektronik* dan *pneumatik*. Setelah dilengkapi dengan sistem kontrol, sistem penghancur halangan diuji dilaboratorium dan di lapangan. Pengujian juga perlu disaksikan oleh pihak TNI atau Polisi sebagai narasumber.

Selain itu produk utama dari tahun 2 ini adalah *prototype* pemanfaatan sistem sergap ini untuk dimanfaatkan pada kendaraan militer.

Tahapan penelitian pada tahun 2 ini digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.5 Tahapan Penelitian Tahun 2

- **Tahun 3**

Pada tahun 3 penelitian difokuskan pada integrasi sistem kendaraan taktis dan sistem penghancur halangan sehingga dihasilkan suatu kendaraan taktis sergap senyap dengan menggunakan penggerak listrik. Pada tahun ke 3 ini difokuskan pada evaluasi dan integrasi sistem kendaraan dan sistem penghancur halangan seperti yang sudah dilakukan pada tahun 2. Integrasi ini harus sudah benar-benar mendapatkan masukan dari pihak TNI dan Polri.

Hasil pengujian dan perbaikan akan didiskusikan dengan TNI dan Polri melalui FGD. Dan setelah itu perlu dilakukan uji ulang sehingga kendaraan ini sudah benar-benar bisa digunakan. Sebagai dokumen akhir akan dibuat dokumen feasibility pembuatan dan pemanfaatan kendaraan ini untuk militer dan kepolisian.. Gambaran langkah-langkah penelitian pada tahun 3 dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.6 Tahapan Penelitian Tahun 3

BAB III

PEMODELAN MOBIL LISTRIK SERGAP SENYAP

3.1 Pendahuluan

Mobil listrik merupakan kendaraan roda empat yang berjalan menggunakan motor listrik yang ditenagai oleh listrik dari baterai atau sel bahan bakar. Kendaraan ini berbeda dengan kendaraan konvensional yang umumnya menggunakan mesin bertenaga bensin atau diesel.



Gambar 3.1 Mobil Listrik

(Wikipedia, 2020, Mobil "Velo" Karl Benz (1894), telah diolah kembali)

Mobil listrik tidak menghasilkan [emisi kendaraan bermotor](#). Selain itu, mobil jenis ini juga mengurangi emisi [gas rumah kaca](#) karena tidak membutuhkan bahan bakar fosil sebagai penggerak utamanya.

3.1.1 Rangka Mobil

Rangka berfungsi sebagai penopang berat kendaraan, mesin serta penumpang. Biasanya rangka terbuat dari kerangka baja yang memegang *body* dan *engine* dari sebuah kendaraan. Saat proses manufaktur *body* kendaraan dibentuk sesuai dengan struktur rangkanya. Rangka mobil biasanya terbuat dari logam ataupun komposit.

Material tersebut harus memiliki kekuatan untuk menopang beban dari kendaraan. Rangka juga berfungsi untuk menjaga agar mobil tetap *rigid*, kaku dan tidak mengalami *bending*.

- **Jenis-Jenis Rangka Mobil**

Rangka mobil pada setiap produksi memiliki beberapa jenis-jenis rangka, diantaranya:

- ***Ladder Frame***

Ladder Frame adalah rangka yang mirip dengan tangga, merupakan rangka yang paling tua dalam sejarah dunia otomotif. *Ladder Frame* banyak digunakan untuk kendaraan yang memiliki beban berat (*heavyduty*) contohnya adalah bus, truk, dan kendaraan pengangkut.

Bahan *Ladder Frame* terbuat dari material yang sangat kuat seperti baja simetris atau model balik yang diperkuat dengan *crossmembers*. Karena materialnya berat, otomatis rangka ini sendiri memiliki *frame* yang berat sehingga tidak cocok untuk diaplikasikan ke mobil penumpang.

Uniknya, *Ladder Frame* yang diproduksi pertama kali bukan menggunakan bahan yang kuat seperti besi. *Ladder Frame* pertama kali dibuat menggunakan bahan kayu.

Keuntungan menggunakan sasis ladder adalah mudah untuk didesain dan dimodifikasi, lebih cocok untuk kendaraan berat, serta mudah untuk dilakukan reparasi. Sisi minusnya menggunakan *Ladder Frame* adalah karena materialnya berat, kinerja rangka menjadi lebih rendah daripada rangka jenis lain dan akan lebih boros bahan bakar. Bentuk *Ladder Frame* dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



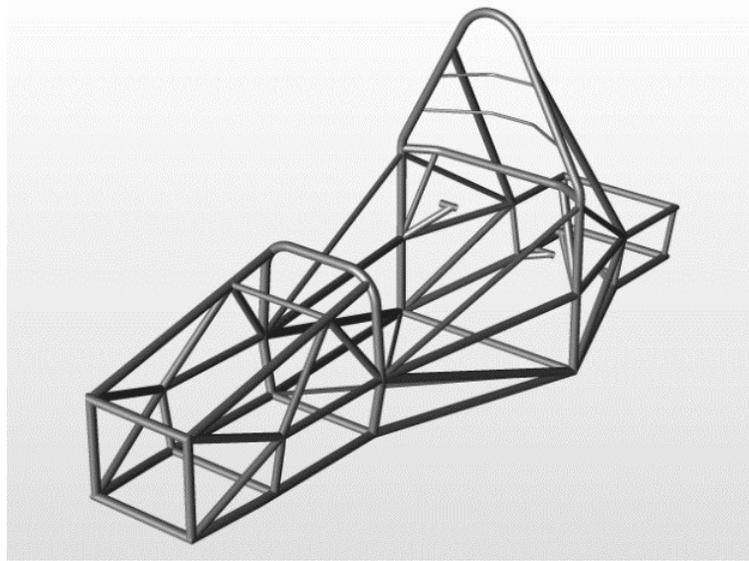
Gambar 3.2 Rangka *Ladder Frame*

(Mark Wan, 2015)

- **Tubular Space Frame**

Tubular Space Frame memakai berbagai macam pipa *circular* (kadang-kadang dipakai bentuk *squaretube* agar mudah disambung, meskipun begitu bentuk *circular* memiliki kekuatan begitu besar). Posisinya yang berbagai arah menghasilkan kekuatan mekanikal untuk melawan gaya dari berbagai arah. Pipa tersebut dilas sehingga terbentuk struktur yang kompleks. Hampir semua mobil balap menggunakan sasis tipe ini.

Keunggulannya, sasis jenis ini sangat mudah untuk didesain dan dilakukan penambahan komponen. Kesulitannya, struktur sasis ini mengharuskan untuk semua komponen yang tersusun sudah tersambung dengan baik dan ter triangulasi (tersusun dari sambungan model segitiga). Rangka ini dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Rangka Tubular *Space Frame*
(Stefanos Stamoulis, 2019)

- ***Monocoque***

Monocoque merupakan satu kesatuan struktur rangka dari bentuk kendaraannya sehingga rangka ini memiliki bentuk yang beragam yang menyesuaikan dengan *body* mobil. Alasan mengapa sasis monokok banyak digunakan pada kendaraan ringan serta mobil penumpang adalah untuk keefisienan proses produksi karena tidak membutuhkan bodi lagi.

Keunggulan sasis yang digabung dengan bodi mobil adalah ketika kendaraan melewati jalanan yang tidak stabil, maka ruang kabin akan menjadi lebih aman disebabkan gaya benturan akan langsung disalurkan ke bodi. Lain halnya dengan sasis jenis lain yang jika mengalami benturan, maka akan ada bagian bodi yang juga terkena benturan.

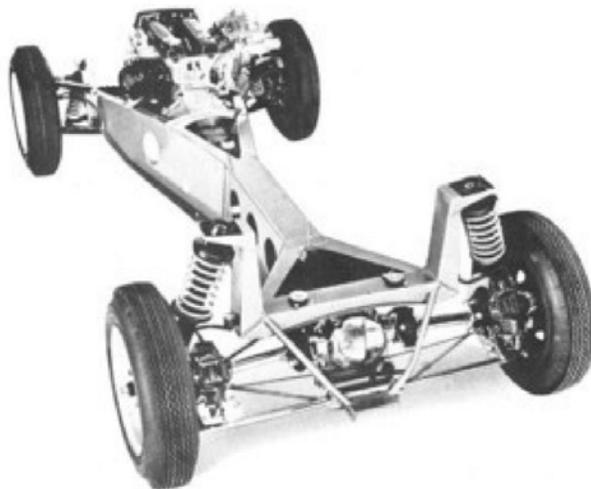
Kelemahan sasis monokok adalah bila terjadi tabrakan akan mengalami kesulitan perbaikan karena sasis menyatu dengan bodi. Jika ingin melakukan facelift, maka harus mengubah bentuk rangka dan dirombak besar-besaran. Rangka ini dapat dilihat pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.4 Rangka *Monocoque*
(Jack, 2013)

- ***Backbone***

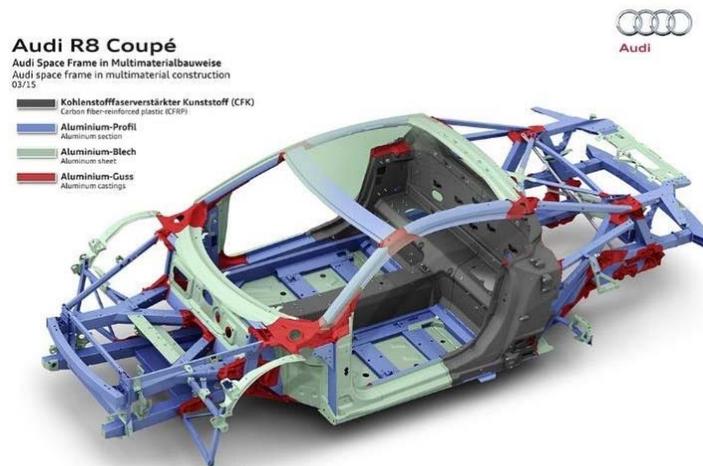
Backbone ini adalah aplikasi langsung dari teori jenis rangka pipa awalnya adalah dengan membuat struktur depan dan belakangnya yang terhubung dengan sebuah rangka *tube* yang melintang di sepanjang mobil. Rangka *Backbone* memiliki kekakuan dari luas area bagian '*backbone*' itu sendiri. Rangka ini dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5 Rangka *Backbone*
(Brian Wiegand, 2015)

- **Aluminium Space Frame**

Aluminium Space Frame dibuat untuk menggantikan rangka baja *monocoque* karena untuk menghasilkan sebuah rangka yang ringan. Keunggulan utamanya adalah memiliki bobot yang lebih ringan 40% dari sasis yang bentuknya sama persis dengan material *non*-aluminium. Walaupun sasis ini terbuat dari aluminium, namun kerangkanya lebih *rigid* 40% dari tipe sasis lainnya. Rangka ini dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3.6 Rangka Aluminium Space Frame

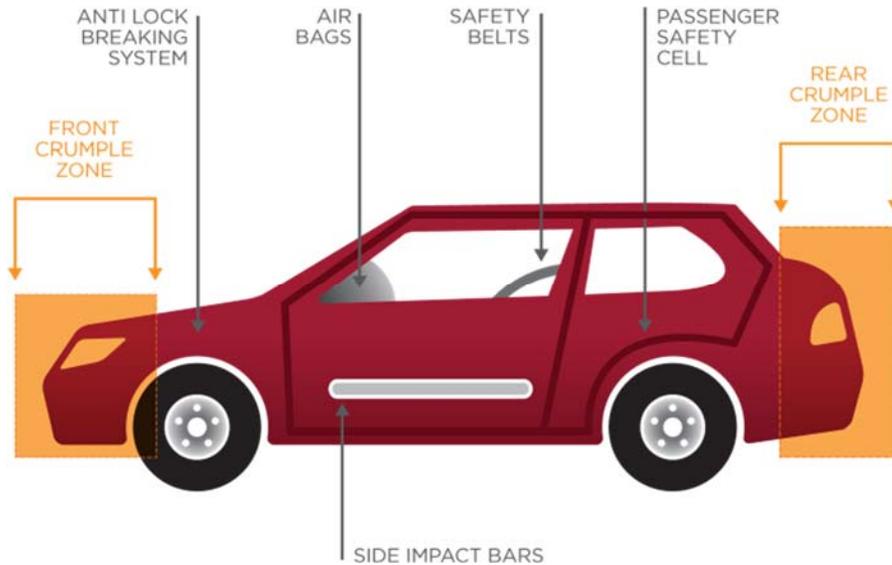
(Audi, 2015)

- **Crumple Zone**

Crumple Zone merupakan suatu bagian yang terdapat pada rangka kendaraan, umumnya pada kendaraan modern. *Crumple zone* dirancang sedemikian rupa agar dapat meredam dan menyerap gaya kinetik yang terjadi pada saat terjadi tabrakan. Tujuannya, agar energi yang terjadi saat benturan tidak diteruskan ke dalam kabin. Wujud mobil pasca benturan boleh saja hancur, namun penumpang di dalamnya terlindungi.

Untuk dapat menyerap energi benturan, beberapa bagian dari kendaraan dirancang sedemikian rupa supaya ‘rapuh’. Zona yang ‘rapuh’ inilah yang menjadi media serap energi kinetik saat tabrakan. Konsep peredam energi kinetik ini

dipaparkan oleh Béla Barényi seorang berkebangsaan Austria di 1937, lalu dipatenkan pada 1941.



Gambar 3.7 *Crumple Zone*
(Waterloo, 2014, telah diolah kembali)

Namun Barényi baru benar-benar menuangkan konsepnya ini saat bekerja di Mercedes-Benz pada tahun 1952. Wujud dari konsepnya dituangkan pada sedan Mercedes-Benz W120 ‘Ponton’ pada tahun 1953. Namun pabrikan Jerman ini baru benar-benar mengaplikasikan pada produk masalnya pada 1959, tepatnya pada sedan W111 ‘Fintail’.

3.1.2 Tegangan

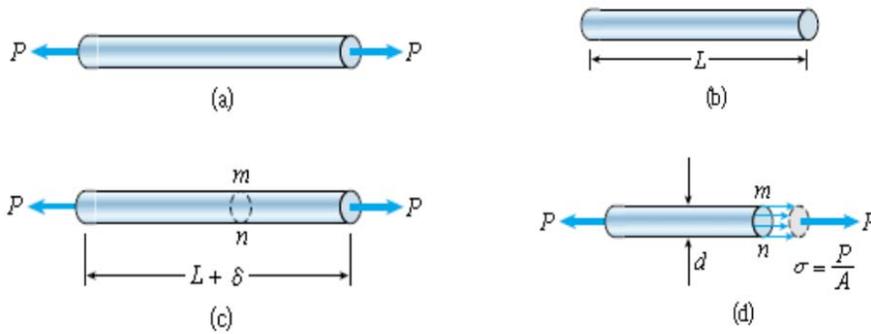
Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya atau reaksi dalam yang timbul persatuan luas. Tegangan menurut Marciniak (2002), dibedakan menjadi dua yaitu, engineering stress dan true stress. Engineering stress dapat dirumuskan sebagai berikut:

Menurut Frick (1978) Tegangan dibagi menjadi dua yaitu tegangan normal dan tegangan geser.

a. Tegangan normal

Tegangan yang bekerja dalam arah tegak lurus permukaan potongan melintang

batang dengan notasi σ .

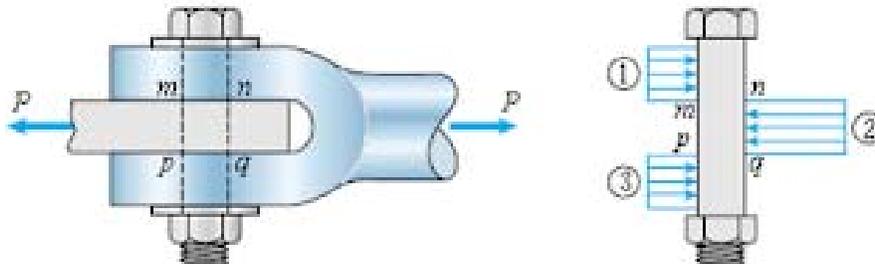


Gambar 3.8 Tegangan Normal

(Dhamara, 2018)

b. Tegangan geser

Menurut Frick (1978) Tegangan geser adalah tegangan yang terjadi akibat ada dua arah gaya yang berlawanan dan tidak lurus bidang suatu benda. Dan menurut Gere (2003) Tegangan geser adalah tegangan yang bekerja dalam arah tangensial terhadap penampang.



Gambar 3.9 Tegangan Geser

(Dhamara, 2018)

True stress adalah tegangan hasil pengukuran intensitas gaya reaksi yang dibagi dengan luas permukaan sebenarnya (*actual*). *True stress* dapat dihitung dengan:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

Keterangan:

$\sigma = \text{True stress}$ (MPa)

P = Gaya (N)

A = Luas permukaan (mm²)

Akibat aksi gaya tarik P, batang dan pengapit akan menekan baut dengan cara tumpu sehingga menimbulkan tegangan tumpu (*bearing stress*). Selain itu batang dan pengapit cenderung menggeser baut dan memotong baut, sehingga timbul tegangan geser (*shear stress*) pada baut.

3.1.3 Regangan

Regangan didefinisikan sebagai perubahan ukuran atau bentuk material dari panjang awal sebagai hasil gaya yang menarik atau yang menekan pada material. Menurut Marciniak (2002), regangan dibedakan menjadi dua, yaitu: engineering strain dan true strain. Engineering strain adalah regangan yang dihitung menurut dimensi benda aslinya (panjang awal). Sehingga untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi adalah dengan membagi perpanjangan dengan panjang semula.

True strain regangan yang dihitung secara bertahap (increment strain), dimana regangan dihitung pada kondisi dimensi benda saat itu (sebenarnya) dan bukan dihitung berdasarkan panjang awal dimensi benda. Maka persamaan regangan untuk *true strain* (ϵ) adalah:

$$\epsilon = \int_0^1 \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0}$$

Keterangan:

$\epsilon = \text{True strain}$

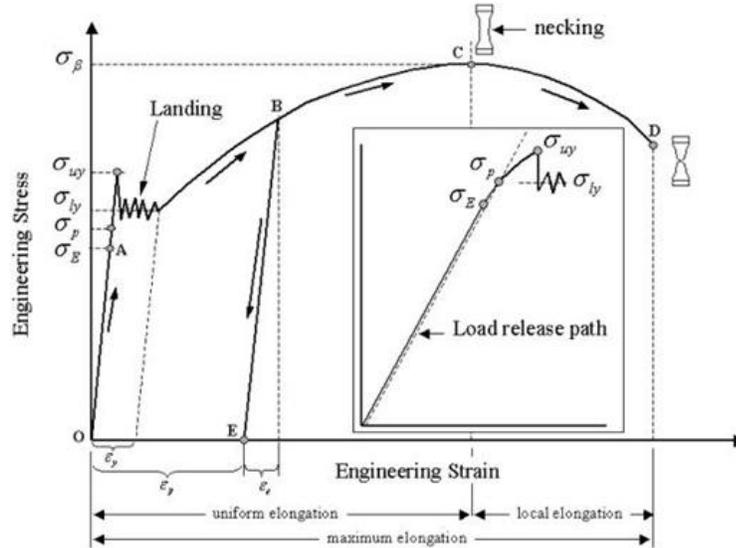
$l_0 = \text{Panjang mula-mula (mm)}$

$l = \text{Panjang setelah diberi gaya (mm)}$

3.1.4 Tegangan Yield

Yield (Titik luluh) adalah titik pada kurva tegangan-regangan yang menunjukkan batas perilaku elastis dan awal perilaku plastik. Tegangan luluh (*yield strength*) adalah tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah kecil

deformasi plastis yang ditetapkan.



Gambar 3.10 Grafik *stress vs strain*

(Rudy, 2010)

Nilai Kekuatan luluh merupakan titik awal sebuah material bahan atau logam mulai terdeformasi secara plastis.

Beberapa keterangan yang lengkap pada **Gambar 3.10** yaitu sebagai berikut:

1. Batas Elastic σ_e (*elastic limit*)

Dalam **Gambar 3.10** dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya hampir kembali ke kondisi semula) yaitu regangan “nol” pada titik O (lihat inset dalam **Gambar 3.10**). Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku dan terdapat perubahan permanen dari bahan. Terdapat konvensi batas regangan permamen (permanent strain) sehingga masih disebut perubahan elastis yaitu kurang dari 0.03%, tetapi sebagian referensi menyebutkan 0.005%. Tidak ada standarisasi yang universal mengenai nilai ini.

2. Batas Proporsional σ_p (*proportional limit*)

Titik sampai di mana penerapan hukum Hooke masih bisa ditolerir. Tidak ada

standarisasi tentang nilai ini. Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.

3. Deformasi Plastis (*plastic deformation*)

Yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula. Pada **Gambar 3.10** yaitu bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah landing.

4. Tegangan Luluh Atas σ_{uy} (*upper yield stress*)

Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.

5. Tegangan Luluh Bawah σ_l (*lower yield stress*)

Tegangan rata-rata daerah landing sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.

6. Regangan Luluh ϵ_y (*yield strain*)

Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.

7. Regangan Elastis ϵ_e (*elastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.

8. Regangan Plastis ϵ_p (*plastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.

9. Regangan Total (*total strain*)

Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$. Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang

tinggal (OE) adalah regangan plastis.

10. Tegangan Tarik Maksimum TTM (UTS, *ultimate tensile strength*)

Pada **Gambar 3.10** ditunjukkan dengan titik C (σ_B), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

11. Kekuatan Patah (*breaking strength*)

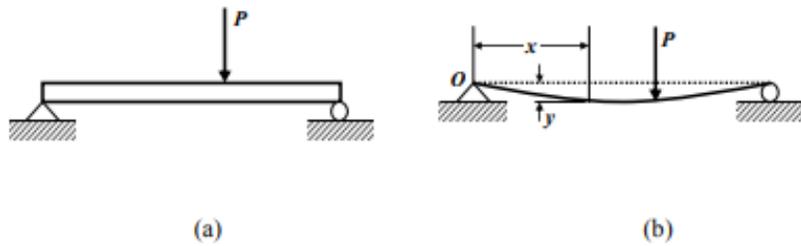
Pada **Gambar 3.10** ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

3.1.5 Teori Elastisitas Dan Plastisitas

Menurut Marciniak, 2002, sebuah material yang dikenai beban dari luar, maka material akan mengalami defleksi. Pada beban luar yang tidak terlalu besar defleksi material akan kembali ke bentuk seperti semula setelah beban yang diberikan dilepas. Material tidak akan terjadi deformasi permanen disebabkan karena gaya elastis material. Hal ini yang disebut sifat elastisitas material. Sedangkan peningkatan beban yang melebihi kekuatan luluh (*yield strength*) yang dimiliki material akan mengakibatkan aliran deformasi material dimana material tidak akan kembali ke bentuk seperti semula atau mengalami deformasi permanen (*permanent set*) yang disebut plastisitas.

3.1.6 Defleksi

Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. Deformasi pada balok secara sangat mudah dapat dijelaskan berdasarkan defleksi balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal sebagai kurva elastis dari balok. **Gambar 3.11 (a)** memperlihatkan balok pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan **Gambar 3.11 (b)** adalah balok dalam konfigurasi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan.



Gambar 3.11 (a) Balok Sebelum Terjadi Deformasi,
Gambar 3.11 (b) Balok Dalam Konfigurasi Terdeformasi
 (Sugeng Rawuh, 2005)

Jarak perpindahan y didefinisikan sebagai defleksi balok. Dalam penerapan, kadang kita harus menentukan defleksi pada setiap nilai x disepanjang balok. Hubungan ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan yang sering disebut persamaan defleksi kurva (atau kurva elastis) dari balok.

- ***Safety Factor***

Dalam rekayasa, faktor keselamatan, juga dikenal sebagai (dan digunakan secara bergantian dengan) faktor keselamatan (SF), menyatakan seberapa kuat suatu sistem daripada yang dibutuhkan untuk beban yang dimaksudkan. Faktor keselamatan sering dihitung menggunakan analisis terperinci karena pengujian komprehensif tidak praktis pada banyak proyek, seperti jembatan dan bangunan, tetapi kemampuan struktur untuk mengangkut beban harus ditentukan dengan akurasi yang wajar.

Perbedaan antara faktor keamanan dan faktor desain (desain faktor keselamatan) adalah sebagai berikut: Faktor keamanan, atau tegangan luluh, adalah seberapa banyak bagian yang dirancang sebenarnya dapat bertahan ("penggunaan pertama" dari atas). Faktor desain, atau tekanan kerja, adalah apa yang diperlukan item untuk dapat bertahan ("penggunaan" kedua). Faktor desain didefinisikan untuk suatu aplikasi (umumnya disediakan sebelumnya dan sering diatur oleh peraturan atau kebijakan bangunan) dan bukan merupakan perhitungan yang sebenarnya, faktor keselamatan adalah rasio kekuatan maksimum terhadap beban

yang dimaksudkan untuk item aktual yang dirancang.

$$SF = \frac{\sigma_y}{\sigma_t} \quad (3.3)$$

Keterangan:

SF = Faktor keamanan (*safety factor*)

σ_y = Nilai tegangan yield pada bahan

σ_t = Nilai tegangan yang terjadi

Dengan definisi ini, struktur dengan FOS tepat 1 akan mendukung hanya beban desain dan tidak lebih. Setiap beban tambahan akan menyebabkan struktur gagal. Struktur dengan FOS 2 akan gagal dua kali lipat beban desain.

- ***Solidworks***

Solidworks adalah perangkat lunak pendukung untuk membantu proses desain suatu rancangan. Perangkat lunak ini juga merupakan sebuah program *CAD* (*Computer Aided Design*) yang memiliki kemampuan membuat model 2 dimensi maupun 3 dimensi yang berguna untuk membantu proses pembuatan desain *prototype* 2 dimensi maupun 3 dimensi secara visual.

Banyak fitur penting yang ada di dalam perangkat lunak *Solidworks* (lihat **Gambar 3.12**) ini diantaranya visualisasi 2 dimensi dan 3 dimensi pada desain, fitur simulasi pembebanan, simulasi aliran fluida pada desain, dan lain-lain. Dalam perangkat lunak ini seorang desainer dapat membuat sketsa 2 dimensi kemudian memodelkannya menjadi 3 dimensi untuk dilanjutkan proses pembuatan *prototype* visual.



Gambar 3.12 Perangkat Lunak *Solidworks* 2019
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Pada tahun 1995 secara resmi *software Solidworks* diperkenalkan di publik menyusul *software manufacture* lainnya yang lebih dulu di rilis kepasar (*Pro-ENGINEER*, *NX Siemens*, *I-Deas*, *Unigraphics*, *Autodesk Inventor*, *Autodeks AutoCAD* dan *CATIA*).

Seiring perkembangan zaman saat ini banyak sekali perusahaan di Indonesia melirik *software* yang satu ini, menurut informasi, *Solidworks* saat ini digunakan oleh lebih dari 3/4 juta insinyur dan desainer di lebih dari 80.000 perusahaan di seluruh dunia. Untuk permodelan pada industri *furniture* dalam hal pembuatan *pattern*-nya, program program 3D seperti ini sangat membantu sebab akan memudahkan operator *pattern* untuk menterjemahkan gambar menjadi *pattern/model casting* yang tentunya akan mengurangi kesalahan pembacaan gambar yang bisa mengakibatkan salah bentuk.

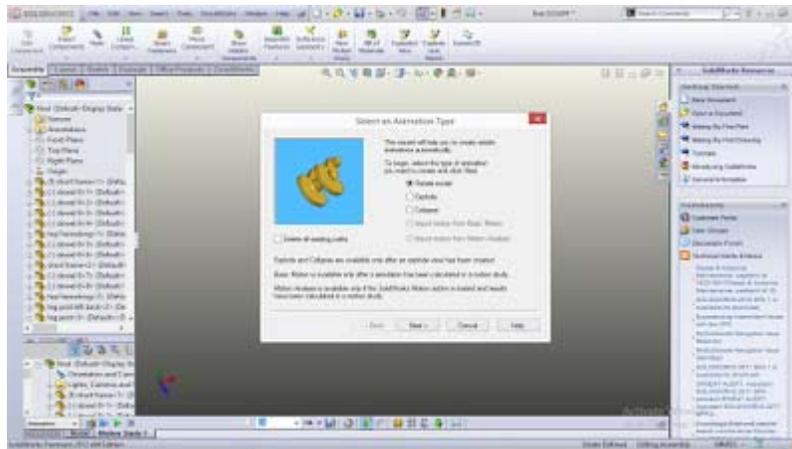
Selain dihasilkan gambar kerja untuk pengerjaan mesin manual juga hasil geometri dari dari suatu produk desain, aplikasi pada *Solidworks* ini bisa secara langsung diproses dengan *CAM* program untuk membuat *G Code* yang dipakai untuk menjalankan proses permesinan otomatis dengan *CNC*, *software* aplikasi *CAM* yang bisa digunakan antara lain:

- *MASTERCAM*
- *SOLIDCAM*
- *VISUALMILL*

- dan lain-lain.

Selain 2 kelebihan diatas yang paling mencolok dari *software* ini adalah:

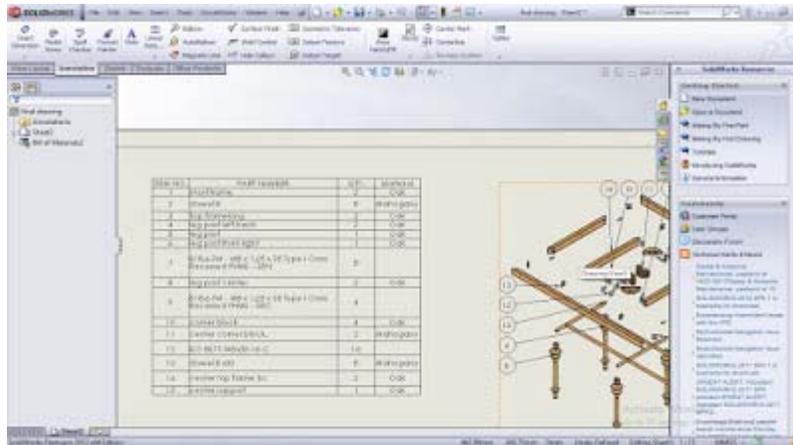
1. *Autodesk inventor Solidworks* mempunyai kemampuan *parametric modeling*, yaitu kemampuan untuk melakukan *design* serta pengeditan dalam bentuk *solid model* dengan data yang telah tersimpan dalam *database*. Dengan kemampuan ini memungkinkan sekali memodifikasi desain tanpa harus mengulang desain.
2. *Assembly* pada *Solidworks* mempunyai fitur *animation (motion study)* yang memungkinkan membuat simulasi *explode part, collapse part* dan *analysis*.



Gambar 3.13 *Assembly* pada *Solidworks*

(Taufiq Hidayat, 2017)

3. Mempunyai kemampuan menghitung *Bill of Material* secara otomatis dalam fitur *drawing* serta dilengkapi dengan *automatic create technical 2D drawing*. Jadi dalam proses penyajian drawing tidak perlu menggambar beberapa tampilan lagi (tampak depan, atas, samping, *explode view*, dan *collaps view*) dengan kemampuan ini *Solidworks* dapat menyajikan secara otomatis tampilan tampilan tersebut hanya dengan model 3D yang dibuat sebelumnya.

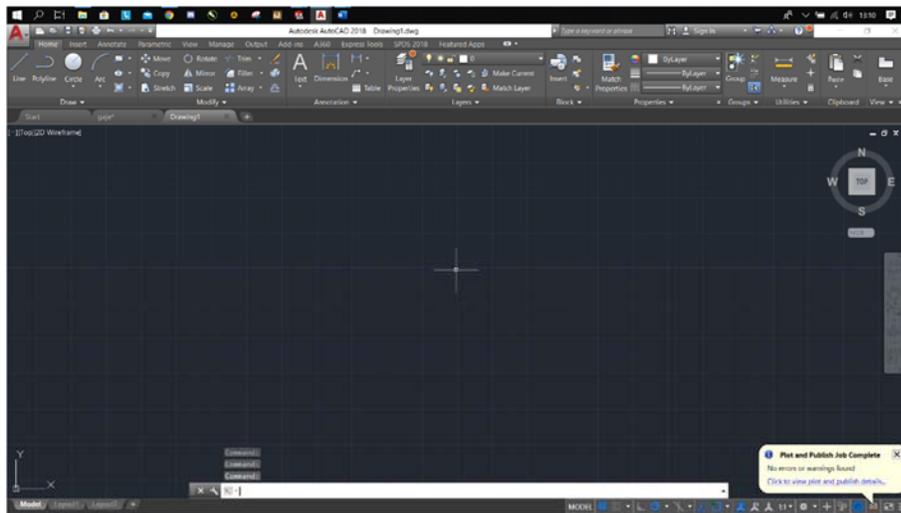


Gambar 3.14 *Bill of Material* pada *Solidworks*
(Taufiq Hidayat, 2017)

4. Dilengkap dengan kemampuan *rendering image* yang cukup mumpuni sehingga dapat menghasilkan model yang lebih halus dan kabarnya *Solidworks* adalah penyempurnaan dari *software CATIA*, jadi bisa dikatakan *software* ini sangat bagus dalam permodelannya.
5. *Analysis, Solidworks* dilengkapi dengan analisis model dalam hal ini bisa saja langsung menghitung hambatan model, kekuatan model, dan *fatigue* model tersebut dengan metode *finite elemen analysis* yang sudah di sediakan.
6. Material yang terdapat dalam *software* ini juga cukup lengkap mulai dari *metal, plastic*, dan kayu. Ketika sulit untuk membayangkan model yang kita buat, material ini bisa saja membantu dalam membayangkan warna, bentuk material, dan visual material alam bentuk hampir menyerupai kenyataan.
7. Untuk permodelan metal ada fitur *sheet metal* yang ada pada *software Solidworks*. Dengan fitur ini memungkinkan untuk melihat bagaimana bentuk model jika dijadikan plat datar sebelum di tekuk.
8. *Weldment, Solidworks* juga ada permodelan struktural seperti profil pipa, siku, H *beam* dll atau pun fitur-fitur pengelasan yang memungkinkan untuk menggambar pengelasan.

- **AutoCAD**

AutoCAD yang merupakan sebuah aplikasi (*software*) yang digunakan untuk menggambar, mendesain gambar, menguji material dimana program tersebut mempunyai kemudahan dan keunggulan untuk membuat gambar secara tepat dan akurat. Program ini dapat digunakan dalam semua bidang kerja terutama pada bidang perancangan dan memerlukan ketrampilan khusus pengetahuan gambar kerja (Ramadhan, 2015:17). Pengetahuan menggambar 3 dimensi dapat terbantu dengan penggunaan software tersebut. Hal ini dikarenakan pada program tersebut tidak hanya dapat menggambar 2 dimensi dengan segala kebutuhan dan ketentuan yang berlaku namun juga membuat objek secara 3 dimensi untuk memberikan penggambaran objek yang dirancang dan dapat menjadi acuan oleh pihak pelaksana. Menurut Suliyanto (2010:196) *AutoCAD* merupakan *Interactive Learning* yang dapat digunakan sebagai penyampaian isi materi dan interaksi dalam pembelajaran.



Gambar 3.15 Perangkat Lunak *AutoCAD*

(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Autodesk juga mengembangkan beberapa program vertikal dari *AutoCAD* untuk beberapa disiplin khusus. Contohnya *AutoCAD Architecture* (sebelumnya disebut *Architectural Desktop*), memungkinkan arsitek untuk menggambar obyek 3 dimensi dari tembok, pintu, jendela, dengan data yang lebih cerdas yang

berhubungan langsung dengan obyek tersebut, daripada obyek sederhana seperti gambar garis dan lingkaran saja.

Sebagai tambahan, setiap aplikasi/software didunia ini pastinya mempunyai kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Begitu pula dengan aplikasi *AutoCAD* mempunyai kelebihan dan kekurangan, diantaranya sebagai berikut:

1. Kualitas gambar konstan, tidak terlalu tergantung pada skill penggambar sebagaimana gambar manual.
2. Relatif lebih akurat dan cepat pengerjaannya karena menggunakan komputer.
3. Dapat diedit, ditambah-kurang tanpa harus memulai dari awal.
4. Dapat menjadi data base yang menyimpan berbagai informasi penting yang dibuat oleh drafter dan dapat diakses langsung oleh pengguna lain.
5. Dapat dibuat library untuk komponen-komponen standar atau komponen yang digambar/ dipergunakan berulang-ulang dalam gambar (misalnya: baut, mur, simbol-simbol, dll.) sehingga mempermudah dan mempercepat dalam proses pembuatan gambar.
6. Lebih mudah dan praktis dalam dokumentasi, duplikasi, dan penyimpanannya.
7. Dapat dibuat dengan berbagai warna sehingga lebih menarik dan mudah dipahami.

Beberapa kekurangan yang terdapat pada *software AutoCAD* ini adalah sebagai berikut:

- Aplikasi ini menjadi lebih kompleks.
- Kebutuhan hardware yang lebih tinggi.
- Infrastruktur pendukungnya harus memadai, seperti penggunaan printer/plotter untuk mencetak gambar dalam ukuran yang besar.
- Software prabayar.
- Struktur file hasil penggambaran, definisi database dan file database dari software tersebut rumit.
- Alur dari proses pekerjaan desain rumit karena software tersebut terbagi atas beberapa software lagi menurut bagian konstruksi mana yang akan dibuat.

- Software tersebut kurang familiar diantara para drafter dan desainer kapal, hanya orang yang pernah diberi pelatihan saja yang bisa, sementara pelatihan software tersebut sangat mahal.

3.1.7 Tabrakan

Tabrakan yang menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) berasal dari kata “tabrak” yang berarti langgar atau bentur, dapat diartikan sebagai peristiwa terbenturnya kendaraan satu dengan kendaraan lain atau objek lain seperti pohon, manusia, binatang, dinding dan lain-lain. Tabrakan dalam hal ini adalah suatu kondisi yang *preventable* atau dapat dicegah karena diawali oleh perilaku pengemudi itu sendiri, dan pada umumnya diawali oleh pelanggaran lalu lintas, sehingga dalam suatu insiden tabrakan dapat dipastikan ada seseorang yang bertanggung jawab atas kejadian tersebut dan ada yang bisa dipersalahkan atas kejadian tersebut.

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Salimin (2018) mengatakan, besar regangan, tegangan, *displacement* dan faktor keamanan tergantung pada besar beban yang diberikan pada *chassis*.

Menurut Dwi 2019, *bumper* yang terpasang pada *chassis* kendaraan dapat mengurangi defleksi yang terjadi pada *chassis*. Besar energi serapan yang diterima oleh *chassis* saat terjadi tumbukan maksimum beragam sesuai besar kecepatan. Semakin tinggi kecepatan semakin besar pula nilai energi serapan. Dan perbandingan energi yang diserap antara *chassis* tanpa *bumper* lebih besar dari pada yang menggunakan *bumper*.

3.1.8 FMVSS 208

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) adalah lembaga federal yang mengatur tentang lalu lintas dan keamanan kendaraan di Amerika untuk mengurangi tingkat kecelakaan, korban luka-luka, hingga kematian (7). Berdasarkan keputusan pemerintah Amerika yang terdapat dalam *Title 49 of the United States Code, Chapter 301, Motor Vehicle Safety*, NHTSA mengeluarkan regulasi *Federal Motor Vehicle Safety Standards* (FMVSS).

Regulasi ini mengatur tentang standar keamanan kendaraan bermotor yang meliputi syarat-syarat desain, konstruksi, performa, dan durabilitas untuk kendaraan

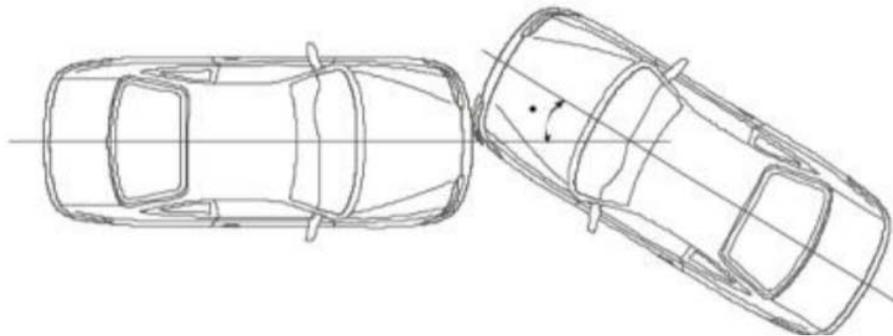
bermotor. FMVSS terbagi menjadi tiga kategori, yaitu *crash avoidance*, *crashworthiness*, dan *post-crash survivability*.

Crashworthiness merupakan standar keamanan kendaraan pada saat terjadi tumbukan (*impact*). Salah satu regulasi FMVSS dari kategori *crashworthiness* adalah FMVSS 208 tentang *Rigid Barrier Test*. Ruang lingkup dari FMVSS 208 yaitu syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh sasis mobil ketika mengalami tabrakan depan dengan kecepatan maksimal 48 km per jam.

Ada beberapa kategori *frontal impact test* pada standar FMVSS 208 yaitu sebagai berikut:

1. *Car-to-Car Crash Test*
2. *Full Frontal Fixed Barrier*
3. *Oblique Frontal Fixed Barrier*
4. *Frontal Offset Deformable Barrier*
5. *Oblique Moving Deformable Barrier (MDB) Test*
6. *Full Frontal Fixed Deformable-face Barrier (FFFDB)*

Berikut akan siskemakan terkait kategori-kategori *frontal impact test* pada standar FMVSS 208.

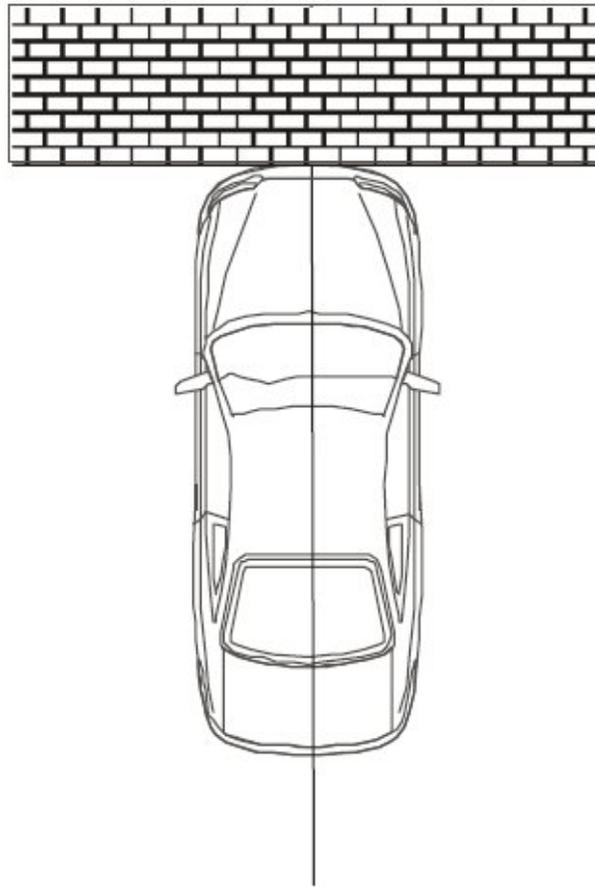


Gambar 3.16 *Car-to-car Crash Test*

(Prof (Dr.) Nataraj K.R, 2014)

Pada **Gambar 3.15** menskemakan bahwa tumbukan antara 2 mobil dengan keadaan yang miring disebut juga dengan *oblique offset carto-car test*. Kondisi kecepatan antara kedua mobil tersebut yaitu berbeda-beda sehingga mobil dengan

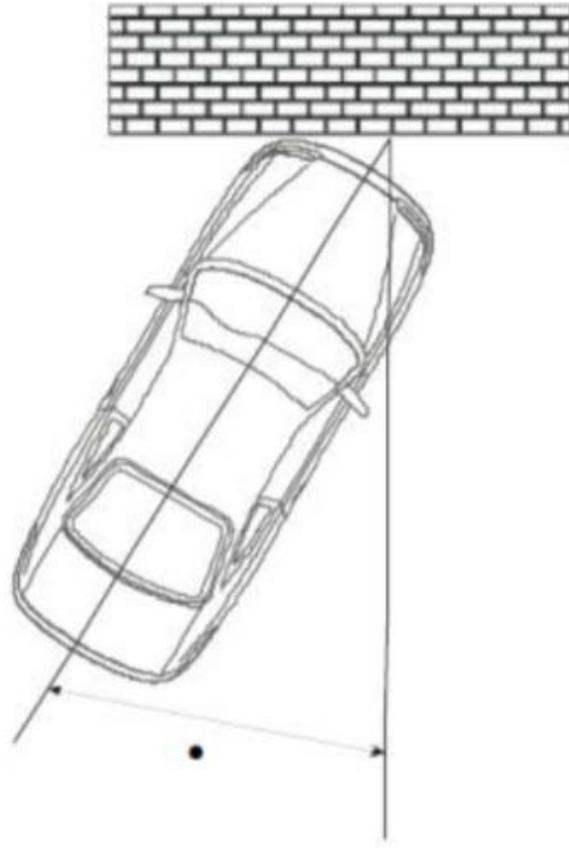
kecepatan yang lebih besar juga merupakan mobil dengan beban yang lebih berat.



Gambar 3.17 *Full Frontal Fixed Barrier*

(Prof (Dr.) Nataraj K.R, 2014)

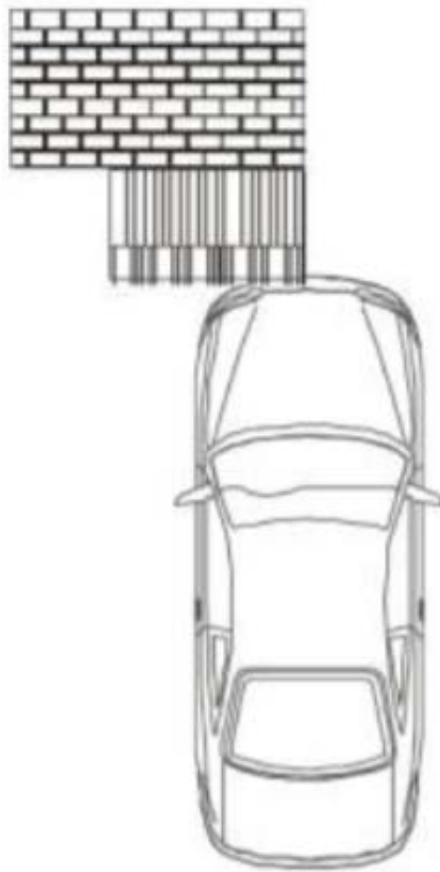
Pada **Gambar 3.16** menskemakan bahwa tumbukan antara mobil dengan *rigid wall* dalam keadaan yang lurus. Kondisi kecepatan antara mobil dan pada saat tumbukan tersebut yaitu sama besar, sehingga beban yang diterima mobil pada saat tumbukan juga sama besar.



Gambar 3.18 *Oblique Frontal Fixed Barrier* (sudut tumbukan 30 derajat)

(Prof (Dr.) Nataraj K.R, 2014)

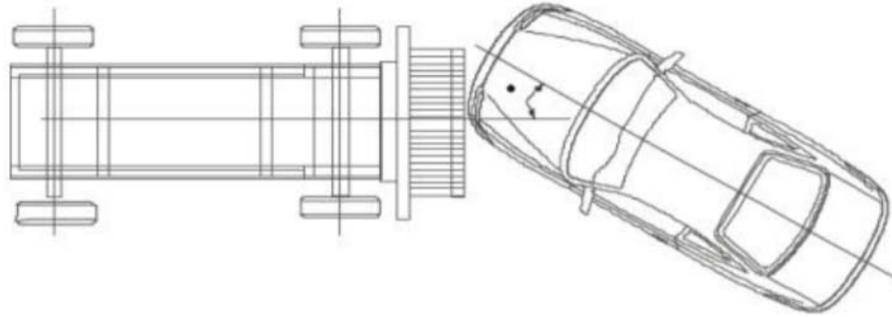
Gambar 3.17 menunjukkan tumbukan yang terjadi antara mobil dengan dinding dengan tumbukan yang membentuk sudut sebesar 30 derajat terhadap garis vertikal. Kondisi kecepatan antara mobil dan pada saat tumbukan tersebut yaitu sama besar, sehingga beban yang diterima mobil pada saat tumbukan juga sama besar. Tumbukan ini bisa sangat krusial pada salah satu penumpang pada bagian yang lebih dekat dengan dinding tabrak. Hal ini mengakibatkan karena beban yang terjadi pada bagian tersebut mengalami kerusakan dan beban yang besar.



Gambar 3.19 *Frontal Offset Deformable Barrier*

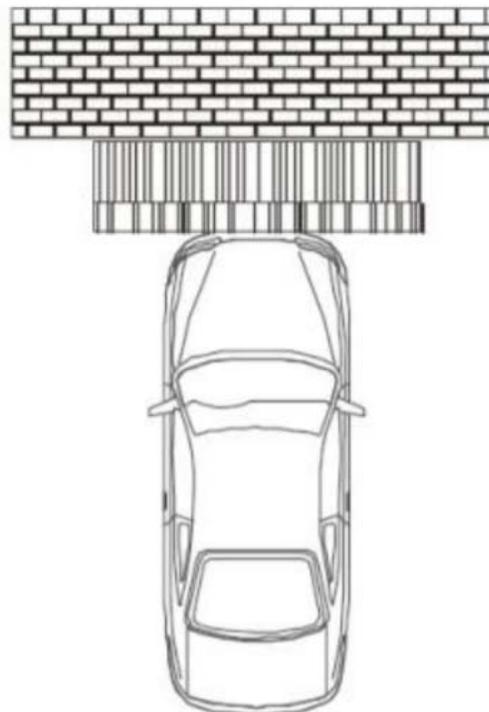
(Prof (Dr.) Nataraj K.R, 2014)

Gambar 3.18 menunjukkan tumbukan yang terjadi antara mobil dengan dinding yang dapat terdeformasi. Tumbukan ini tidak krusial pada kedua penumpang hanya pada bagian yang terkena tumbukan bisa mengalami kerusakan yang lebih besar. Hal ini mengakibatkan karena beban yang terjadi pada bagian tersebut ada yang hilang akibat dinding yang terdeformasi terlebih dahulu sebelum mengenai dinding kaku, akan tetapi beban pada penumpang yang terkena bagian tumbukan lebih besar dari yang tidak terkena dinding tumbukan.



Gambar 3.20 *Oblique Moving Deformable Barrier (MDB) Test*
(Prof (Dr.) Nataraj K.R, 2014)

Gambar 3.19 menunjukkan tumbukan yang terjadi antara mobil dengan dinding yang dapat terdeformasi akan tetapi bergerak. Tumbukan ini lebih krusial dari pada keadaan *frontal offset deformable barrier*. Hal ini mengakibatkan karena beban yang terjadi pada dinding tumbukan yang bergerak lebih besar daripada tidak bergerak karena terdapat beban tambahan yaitu kecepatan pada dinding yang bergerak.



Gambar 3.21 *Full Frontal Fixed Deformable-Face Barrier (FFFDB)*

(Prof (Dr.) Nataraj K.R, 2014)

Gambar 3.20 menunjukkan tumbukan yang terjadi antara mobil dengan dua dinding yang dapat terdeformasi dan dinding yang kaku. Tumbukan ini hampir sama dengan *frontal offset deformable barrier*, akan tetapi bisa krusial pada kedua penumpang. Hal ini mengakibatkan karena beban yang terjadi pada dinding tumbukan tersebut, bagian *bumper* depan mobil tepat mengenai dinding deformasi sehingga beban yang diterima terdistribusi merata sama besar.

Tujuan dari standar ini adalah untuk meningkatkan kemampuan sasis kendaraan ketika mengalami tabrakan depan dengan penghalang dan mengurangi dampak yang terjadi akibat tabrakan. Standar ini dapat diaplikasikan untuk mobil penumpang, *multi-purpose passenger vehicle*, truk, dan bus.

3.1.9 Full Frontal Fixed Barrier

Metode ini merupakan metode yang digunakan dalam salah satu analisis pada *crashworthiness*, merupakan metode dalam analisis tumbukan atau tabrakan dengan dinding *rigid barrier* atau *rigid wall*. Metode yang digunakan pada *full frontal fixed barrier* ini yaitu kondisi tumbukan terjadi yaitu kecepatan tumbukan dan kendaraan yang sama besar yang digambarkan pada metode *Full Frontal Fixed Barrier Crash Test (of Rigid Barrier Test)*. Metode ini diskemakan pada **Gambar 3.16** diatas sesuai standar FMVSS 208.

Tabel 3.1 Jenis Uji Kecelakaan Kendaraan

	BARRIER							
TYPE	Fixed		Moving					
Direction	Frontal		Frontal		Side		Rear	
Stiffness	Rigid	Flexible	Rigid	Flexible	Rigid	Flexible	Rigid	Flexible
In-line	FMVSS 208 barrier	Simulations Only		Frontal Research Program	Side Research Program	EU, FMVSS 214	FMVSS 301	Fuel System Research Program
Oblique	FMVSS 208 barrier					Side Research Program		
Offset In-line	Frontal Research Program	EU, IIHS, Frontal Research Program		Frontal Research Program				Fuel System Research Program
Offset Oblique				Frontal Research Program				

Sumber: *Updated Review of Potential Test Procedures for FMVSS No. 208*

Pada **Tabel 3.1** diatas menunjukkan FVSS 208 memiliki kriteria tipe yang tidak bergerak dengan posisi *full frontal* yakni tepat pada bagian depan 100%. Kondisi dinding yang ditabrak memiliki kekuatan atau kekakuan yang kaku (*rigid*), dinding yang tidak akan terdefleksi.

Banyak kecelakaan terjadi antara kendaraan dengan benda kaku yang sangat signifikan. Kecepatan ijin pada metode ini yaitu 0-48 km/h, pada standar FMVSS 208. Sehingga dengan tumbukan terjadi kecepatan maksimum mencapai range 53 km/h, namun kecepatan tersebut termasuk dalam kecepatan yang rendah. Metode ini juga mengevaluasi struktur kendaraan dan system pengendalian penumpang.

Kecepatan kendaraan akan cepat turun secara signifikan seiringan dengan bertabrak menggunakan *rigid barrier test*. Sehingga dalam frekuensi evaluasi hanya dalam waktu yang sangat singkat.

- **Beban**

Dalam melakukan analisis desain suatu struktur, perlu adanya gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Hal penting yang mendasar adalah pemisahan antara beban-beban yang bersifat statis dan dinamis.

- Beban statis adalah beban tetap, baik besarnya (intensitasnya), titik bekerjanya dan arah garis kerjanya tetap.
- Beban dinamik adalah beban yang besarnya (intensitasnya) berubah-ubah menurut waktu, sehingga dapat dikatakan besarnya beban merupakan fungsi waktu.

- **Gaya**

Gaya merupakan besaran vektor, karena memiliki satuan, besaran, dan arah. Jika sebuah gaya total diberikan pada benda maka kecepatannya akan berubah. Suatu gaya total yang diberikan pada sebuah benda mungkin menyebabkan lajunya bertambah, atau jika gaya total itu mempunyai arah yang berlawanan dengan gerak, gaya tersebut akan memperkecil laju benda itu (Giancoli, 1999).

Manurut e-jurnal (2013), di dalam ilmu fisika, gaya atau kakas adalah apapun yang dapat menyebabkan sebuah benda bermassa mengalami percepatan. Gaya memiliki besar dan arah, sehingga merupakan besaran vektor. Satuan SI yang digunakan untuk mengukur gaya adalah Newton (dilambangkan dengan N). Berdasarkan Hukum kedua Newton, sebuah benda dengan massa konstan akan dipercepat sebanding dengan gaya netto yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya.

Jenis-jenis gaya dapat muncul karena adanya kerja otot, gravitasi bumi, kelistrikan, atau kemagnetan. Sebuah gaya selalu dikerjakan oleh satu benda kepada benda lain. Gaya yang terjadi pada dua buah benda yang bersentuhan secara langsung disebut gaya sentuh atau gaya kontak. Terdapat juga gaya yang bekerja pada benda dengan tidak bersentuhan secara langsung. Gaya semacam ini disebut gaya kerja dengan jarak antara atau gaya aksi jarak jauh. Satu contoh dari gaya jenis ini adalah gaya tarik bumi atau gaya gravitasi bumi. Dalam kehidupan sehari-hari, gaya ini disebut gaya berat benda atau disebut juga berat benda. Berat menyebabkan setiap benda dapat jatuh ke bumi. Contoh lainnya adalah gaya listrik dan gaya magnet.

3.1.10 Hubungan Gaya dan Gerak

Aristoteles (384 SM–322 SM), seorang filsuf Yunani, menyatakan bahwa untuk menjaga suatu benda tetap bergerak maka diperlukan gaya secara terus-menerus. Menurutnya, secara alamiah benda itu diam dan gaya diperlukan untuk membuat objek terus bergerak. Dia juga berpendapat bahwa semakin besar gaya yang diberikan, maka semakin besar juga kecepatannya.

Galileo Galilei (1564–1642) berpendapat bahwa benda yang bergerak dengan kecepatan konstan sama kondisinya dengan benda yang diam. Menurutnya tidak diperlukan gaya untuk mempertahankan kecepatannya, sama seperti benda yang diam. Dia memodelkan dunia tanpa gaya gesekan. Sehingga ketika benda didorong, maka gaya yang diberikan akan menjadi lebih kecil untuk membuatnya terus bergerak. Apabila gaya dihilangkan, maka benda itu masih tetap bergerak dengan kecepatan konstan.

$$F_t = m_{\text{tot}} \alpha; \alpha = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (2.4)$$

Keterangan:

F_t = Gaya (N)

m_{tot} = Massa total (Kg)

α = Percepatan

ΔV = Kecepatan

Δt = Waktu

Newton (1642–1727) merumuskan teorinya tentang gerak berdasarkan teori yang dirumuskan oleh Galileo. Tiga buah teori tentang gerak yang kemudian menjadi hukum gerak Newton tersebut dituliskan dalam bukunya berjudul “Principia” yang diterbitkan tahun 1687.

Hukum pertama Newton mendekati atau bisa dibilang sama dengan teori Galileo tentang gerak. Hukum ini berbunyi, “Setiap benda yang bergerak akan terus bergerak dan benda yang diam akan terus diam selama tidak ada gaya yang bekerja terhadapnya.”

Sementara, hukum kedua Newton menyatakan bahwa percepatan berbanding

lurus dengan total gaya yang bekerja. Kemudian, hukum ketiga Newton menyatakan bahwa jika ada gaya yang bekerja pada suatu benda, maka benda tersebut akan memberikan gaya yang sama besar dengan arah berlawanan.

3.1.11 Hubungan Impuls dan Momentum

Impuls adalah hasil kali antara gaya yang bekerja dengan selang waktu lamanya gaya bekerja. Gaya yang bekerja tersebut dinamakan gaya impuls. Selang waktu gaya impuls bekerja relatif singkat. Sedangkan momentum merupakan hasil kali dari massa suatu benda dengan kecepatannya

Hubungan antara impuls dan momentum dijelaskan oleh teorema impuls-momentum. Teorema impuls-momentum menyatakan bahwa impuls yang bekerja pada suatu benda sama dengan perubahan momentum dari benda tersebut.

Berdasarkan hukum II Newton menyatakan bahwa gaya (F) yang diberikan pada suatu benda besarnya sama dengan perubahan momentum (Δp) benda persatuan waktu (Δt). Secara matematis hubungan antara impuls dan perubahan momentum dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I = \Delta P \quad (2.5)$$

$$I = F \Delta t \quad (2.6)$$

$$P = m v \quad (2.7)$$

Sehingga hubungan antara keduanya memiliki persamaan sebagai berikut:

$$I = \Delta P$$

$$F \times \Delta t = m \times \Delta v$$

$$F = \frac{m \times \Delta v}{\Delta t} \quad (2.8)$$

3.2 Tahapan Pemodelan

Pada penelitian ini difokuskan terhadap keamanan sasis pada mobil listrik menggunakan *finite elemen method*. Model sederhana pada mobil listrik menggunakan *solid plate chassis*. Proses simulasi tabrakan pada penelitian ini menggunakan *software Solidworks*.

Pada proses *Solidworks* ada beberapa tahap dalam pengerjaannya yaitu *preprocessing*, *solution*, dan *postprocessing*. Pada tahap *preprocessing* yaitu tahap

mendasar yang sangat penting karena pembuatan model diperlukan jenis elemen yang akan digunakan, material pada elemen, ukuran-ukuran pada model, sambungan antar elemen termasuk pada saat *meshing* perlu diperhatikan, kondisi batas fisik, dan pembebanan yang diberikan.

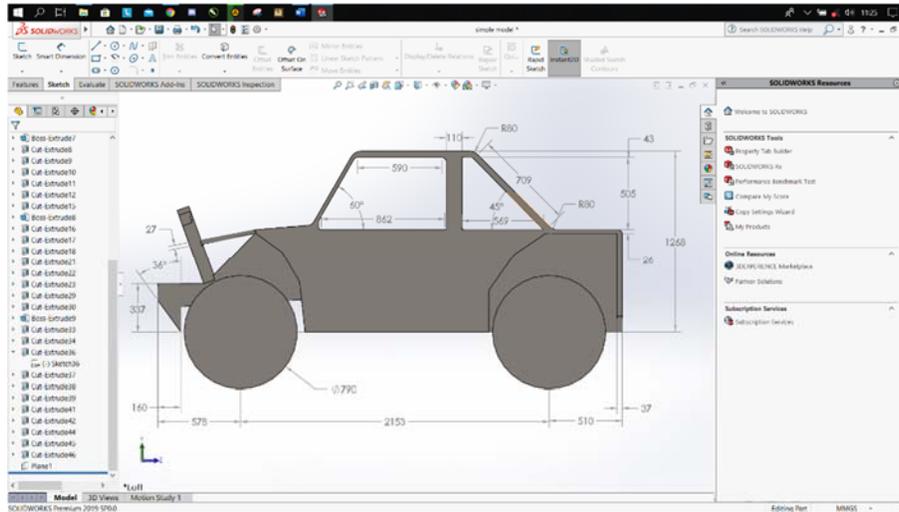
Tahap *solution*, pada tahap ini merupakan tahap simulasi yang akan dilakukan terhadap model yang telah dibuat. Hasil simulasi yang ditunjang dengan beberapa keperluan seperti gaya gravitasi, arah gerak model, dan hasil yang didapat berupa tegangan, regangan, dan defleksi yang terjadi setelah simulasi menggunakan *drop test*.

Pada tahap akhir *postprocessing* yaitu analisis serta evaluasi dari hasil simulasi dan harga-harga yang telah dihitung akan ditampilkan pada tahap ini.

- **Model**

Model merupakan objek yang digunakan dalam penelitian ini dengan pemodelan sederhana menggunakan *software Solidworks*. Ukuran-ukuran yang digunakan merupakan hasil cek lapangan akan tetapi ada beberapa bagian yang tidak sesuai dikarenakan kesulitan dalam pembuatan model dikarenakan sering terjadi *error* pada saat *meshing*. Sehingga pada pemodelan sederhana ada beberapa bagian berdimensi kecil dan tipis yang bisa berpengaruh pada hasil yang akan ditampilkan.

Pemodelan sederhana pada penelitian ini bisa dilihat pada **Gambar 3.22** yang menunjukkan pandangan samping pada model yang digunakan. Pada pandangan samping merupakan pandangan mobil jika dilihat dari samping kiri serta dapat terlihat *bumper* pada bagian depan mobil, kemudian ban mobil, *roof* pada mobil dan *body* pada mobil.

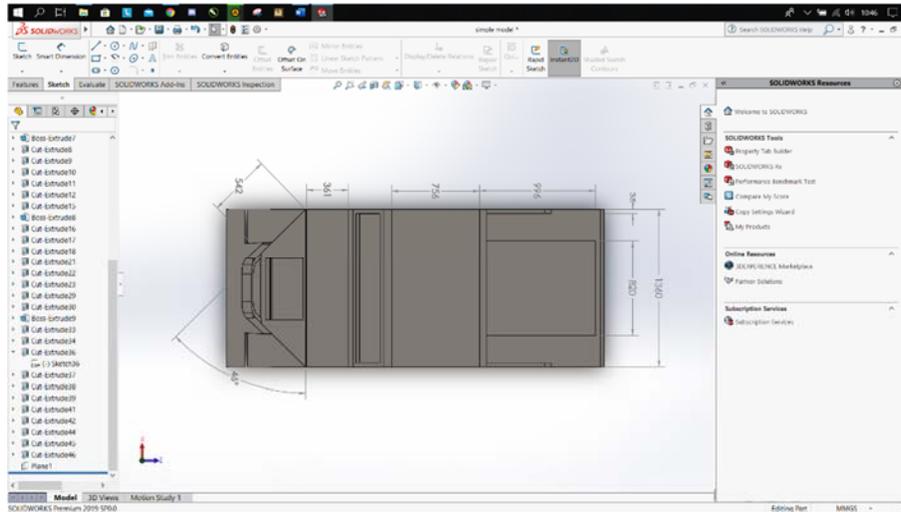


Gambar 3.22 Model Sederhana Tampak Samping
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Pada gambar tersebut terdapat ukuran-ukuran tertentu yaitu ukuran tebal *bumper* dengan ukuran tebal 160 mm, tinggi 337 mm, dan dengan sudut kemiringan sebesar 36 derajat. *Bumper* ini juga merupakan bagian yang pertama kali mengenai dinding tabrak dan termasuk dari sasis juga penting untuk menahan kerusakan langsung pada mobil. Karena itu dibutuhkan akan keamanan terhadap komponen sasis terhadap mobil yang digunakan.

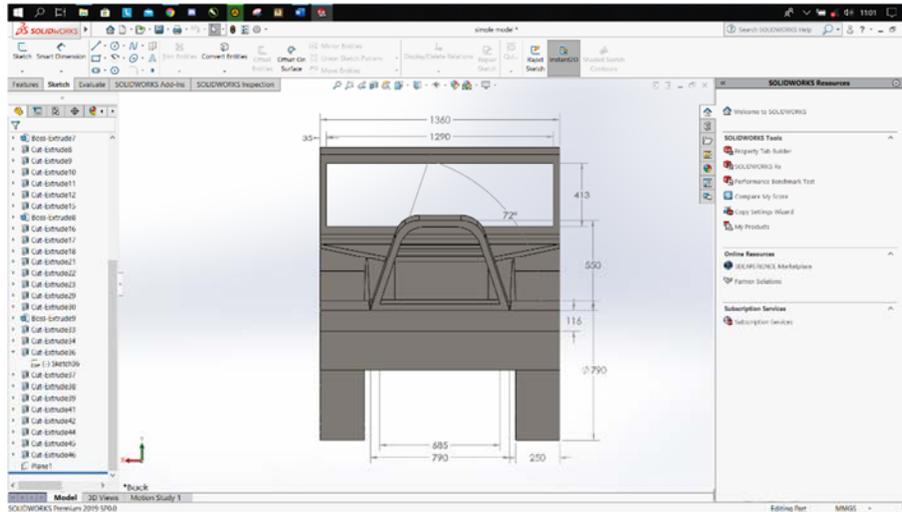
Diameter ban yang digunakan pada mobil yaitu 790 mm dengan jarak antara ban depan dan belakang sebesar 2153 mm. Panjang mobil yang dimodelkan yaitu 3260 mm dan dengan tinggi mobil 1663 mm didapatkan dari tinggi *body* mobil dengan jari-jari ban. pada *roof* mobil ada beberapa ukuran yang perlu diketahui yaitu tinggi *roof* dari dasar kaca hingga ke atap sebesar 548 mm, dengan Panjang 1541 mm, dengan bagian rangka depan membentuk sudut sebesar 60 derajat serta yang belakang 45 derajat.

Dan bak belakang sebagai penyimpanan mesin dan baterai memiliki tebal plat sebesar 26 mm pada bagian atas serta 37 mm di bagian belakang mobil dalam arah vertikal.



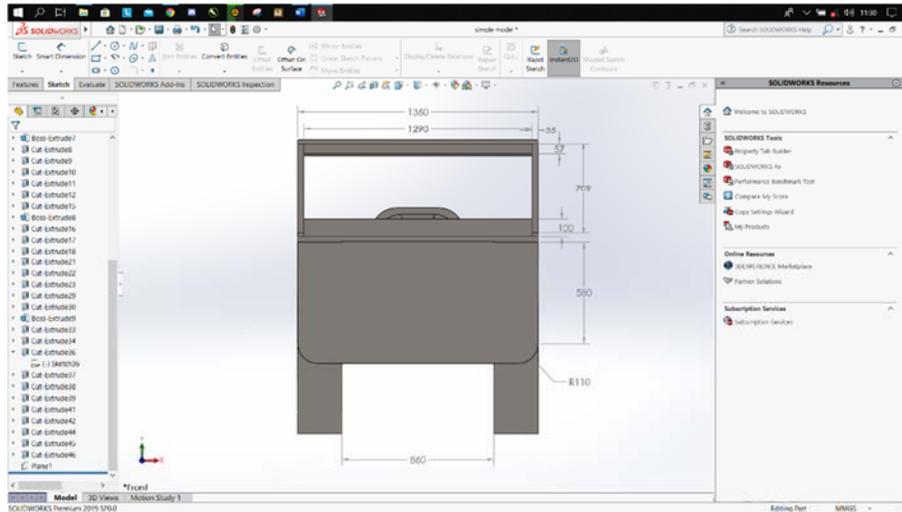
Gambar 3.23 Model Sederhana Tampak Atas
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Pada pandangan atas yang ditunjukkan pada **Gambar 3.23** merupakan pandangan atas pada mobil dapat dilihat lebar mobil sebesar 1360 mm, pada komponen-komponen lain seperti lebar kaca depan 1290 mm, kap depan digunakan untuk menutupi bagian dalam mobil dengan dimensi berbeda-beda yaitu pada bagian persegi panjang yang menempel pada kaca memiliki panjang 1360 mm serta lebar 361 mm, kemudian pada bagian setelahnya yang berbentuk trapesium memiliki Panjang kaki 1360 mm serta sudut dan panjang kemiringan berturut-turut yaitu 46 derajat dan 542 mm. Ukuran pada bak belakang sebagai tempat penyimpanan mesin dan baterai dengan dimensi lebar 820 mm dan panjang 996 mm.



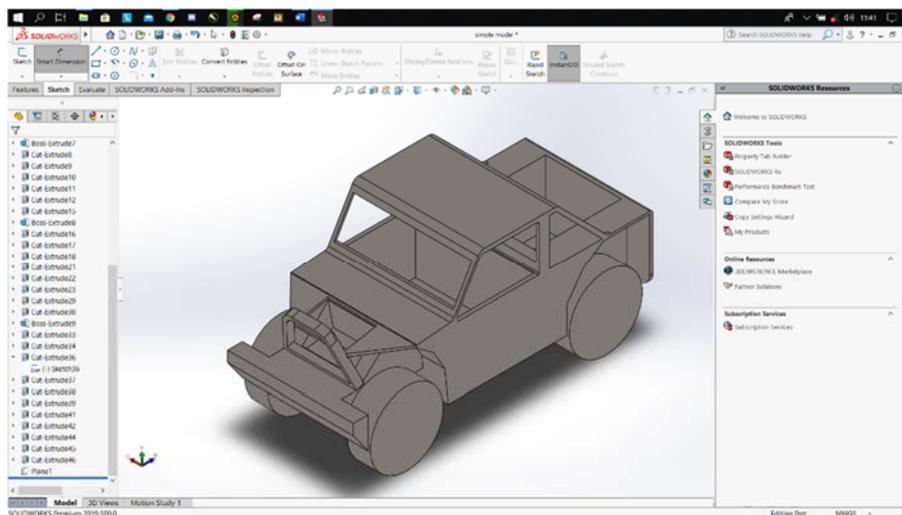
Gambar 3.24 Model Sederhana Tampak Depan
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Pada pandangan depan ditunjukkan pada **Gambar 3.23** merupakan pandangan depan mobil sehingga dapat dilihat juga bagian yang terdapat pada depan mobil beserta ukurannya yaitu lebar *roof* mobil sebesar 1360 mm, komponen-komponen lain seperti tinggi kaca depan 413 mm serta lebar 1290 mm, kap depan digunakan untuk menutupi bagian dalam mobil dengan tebal 27 mm. Ukuran tebal ban yaitu 250 mm dengan diameter 790 mm. Pada ukuran tanduk depan mobil memiliki tinggi 550 mm dengan lebar luar sebesar 790 mm, dan pada bagian tanduk depan memiliki sudut kemiringan 72 derajat.



Gambar 3.25 Model Sederhana Tampak Belakang
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Pada pandangan belakang ditunjukkan pada **Gambar 3.25** merupakan pandangan belakang mobil sehingga dapat dilihat juga bagian yang terdapat pada belakang mobil beserta ukurannya yaitu lebar bak belakang mobil 1360 mm serta tinggi bak belakang 690 mm dan memiliki radius yang ada pada bagian bawah bak dengan radius sebesar 110 mm.



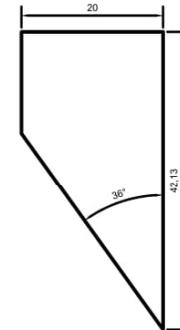
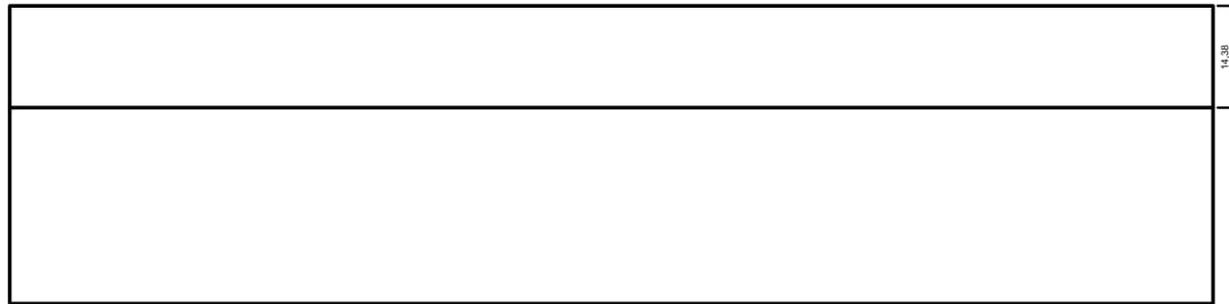
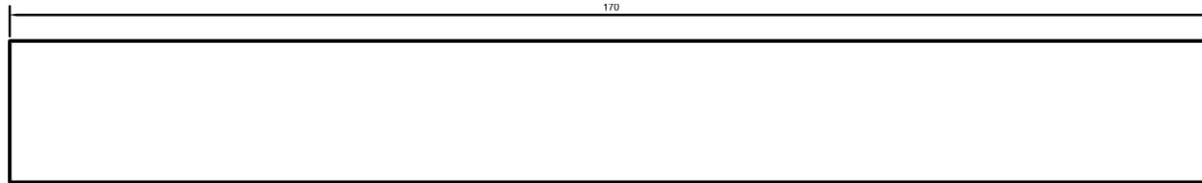
Gambar 3.26 Isometri Model Sederhana
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Pada **Gambar 3.26** merupakan gambar isometri pada mobil yang menampilkan

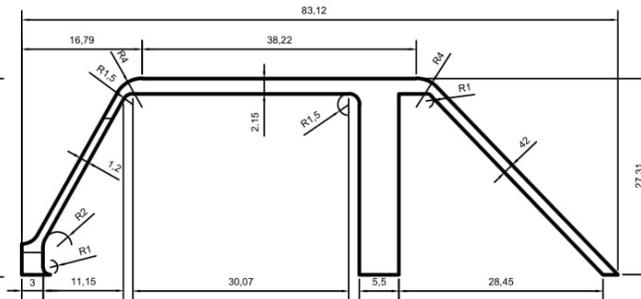
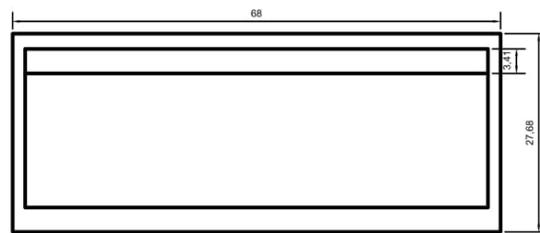
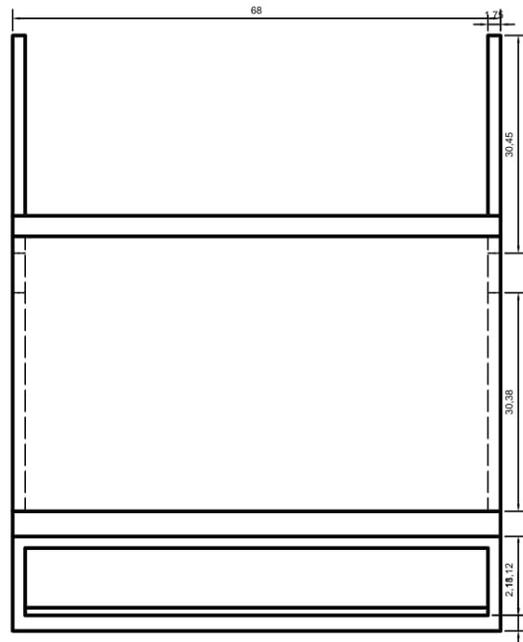
keseluruhan bagian mobil dari gambar-gambar yang telah dibahas sebelumnya. Setelah pembahasan dimensi mobil yang digunakan juga akan dibahas mengenai komponen atau bagian mobil yang kritis. Bagian kritis ini merupakan bagian yang krusial pada tabrakan yang terjadi pada simulasi yang telah dilakukan.

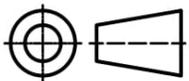
Bagian-bagian kritis mobil seperti *bumper* depan, rangka atas, dan sasis dengan ukuran-ukuran detailnya pada gambar dibawah. Gambar tersebut merupakan gambar berupa 2D yang dioperasikan dengan menggunakan *software AutoCAD*. Penggambaran dengan *software AutoCAD* digunakan karena *tools* dan pengoperasian yang sangat sederhana dan mudah dimengerti sehingga memudahkann proses *sketch* komponenbeserta ukuran-ukuurannya. Dan *software* ini efektif untuk digunakan dalam penggambaran 2D.

Pada gambar dibawah berikut akan ditampilkan secara lengkap dimensi *bumper* dan *roof* yang telah dibuat dengan *software AutoCAD*. Gambar tersebut akan memberikan informasi mengenai bagian kritis pada tabrakan sehingga memudahkan dalam melakukan analisis terhadap tabrakan yang terjadi pada saat simulasi.



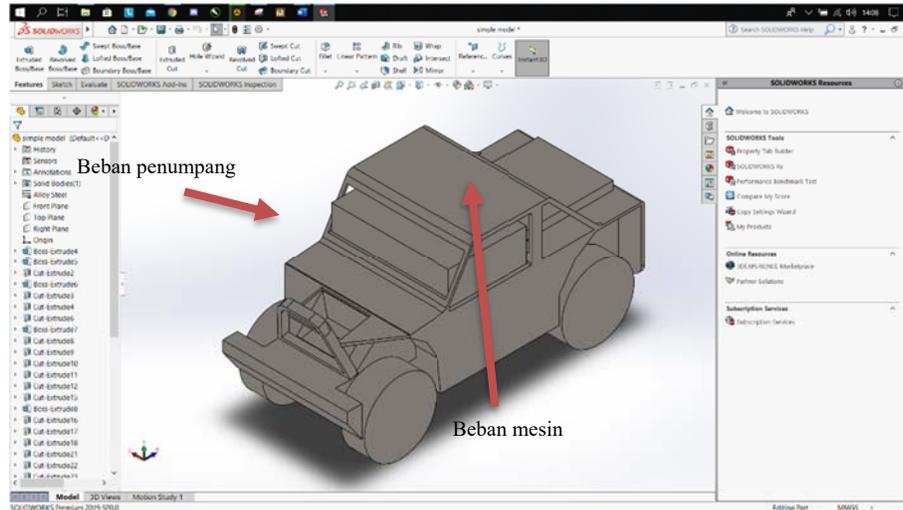
	SKALA : 1: 8	DIGAMBAR : CALVIN	KETERANGAN
	SATUAN : mm	JURUSAN : TEKNIK MESIN	
	TANGGAL : 1-06-2020	DILIHAT : TARSISIUS KRISTYADI, M.T	
ITENAS	BUMPER		A4



	SKALA : 1: 20	DIGAMBAR : CALVIN	KETERANGAN
	SATUAN : mm	JURUSAN : TEKNIK MESIN	
	TANGGAL : 1-06-2020	DILIHAT : TARSISIUS KRISTYADI, M.T	
ITENAS	ROOF		A4

- **Pembebanan**

Pembebanan merupakan besar gaya atau massa yang diterima oleh model, beban yang diberikan kepada model yaitu berat pada sasis, bodi mobil, rangka, penumpang, dan mesin.



Gambar 3.27 Posisi Pembebanan pada Model
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Pada **Gambar 3.27** diskemakan posisi pembebanan yang terjadi pada model dengan total massa yang ditampung pada model sebesar 1.280 kg. Beban-beban yang diberikan juga termasuk pada saat kondisi simulasi akan tetapi tidak ditampilkan secara visual pada saat simulasi.

Beberapa komponen yang termasuk dalam model mobil listrik seperti ban, rangka, *bumper*, body, dan mesin. Berdasarkan komponen tersebut akan dijelaskan spesifikasi material-material yang digunakan pada mobil.

Ban mobil yang digunakan sebagai benda yang berputar untuk memudahkan mobil untuk bergerak maju maupun mundur. Secara umum ban kendaraan lebih banyak menggunakan bahan material karet. Karet yang barbahan EPDM memiliki keuntungan pada setiap kendaraan dalam memudahkan mobilisasi kendaraan dan juga meredam getaran yang terjadi. Material *bumper*, rangka, *body*, yang digunakan pada model ini yaitu *alloy steel*. Berikut spesifikasi material-material yang digunakan

pada tabel dibawah.

Tabel 3.2 *The Properties of Alloy Steel*

Name	Alloy Steel
Model type	Linear Elastic Isotropic
Default failure criterion	Max von Mises Stress
Yield strength	6.20422e+008 N/m ²
Tensile strength	7.23826e+008 N/m ²
Elastic modulus	2.1e+011 N/m ²
Poisson's ratio	0.28
Mass density	7700 kg/m ³
Shear modulus	7.9e+010 N/m ²
Thermal expansion coefficient	1.3e-005 /Kelvin

Tabel 3.3 *Chemical Composition of Alloy Steel*

Komposisi	Persentase (%)
Carbon, C	0.10-0.15
Manganese, Mn	≤1.00
Sulfur, S	0.030
Silicon, Si	≤1.00
Chromium, Cr	11.5-13.5
<i>Martensitic Grades</i>	

Tabel 3.4 *The Properties of EPDM of Wheel*

Properties	EPDM-0	EPDM-30 (30 phr CB)	EPDM-45 (45 phr CB)	EPDM-60 (60 phr CB)	TRW
M_c [g/mol]	2178	1063	611	315	250
v_c [$\times 10^{-26}$ m ⁻³]	2.6	5.8	10.4	21.1	27.4
$\tan \delta$ [1] at the T_g peak	1.305	0.950	0.798	0.626	0.701
Density [g/cm ³]	0.941	1.023	1.052	1.103	1.137
Shore A hardness [1]	52	62	71	81	79
M-100% [MPa]	1.1	2.2	3.9	5.7	3.3
M-300% [MPa]	-	6.0	-	-	11.2
Ultimate tensile strength [MPa]	1.7	6.4	9.2	12.6	19.0
Ultimate tensile strain [%]	195	314	240	250	530
Compression set [%]	9	8	7	5	11
Tear strength [kN/m]	5.2	15.3	12.6	18.1	16.5

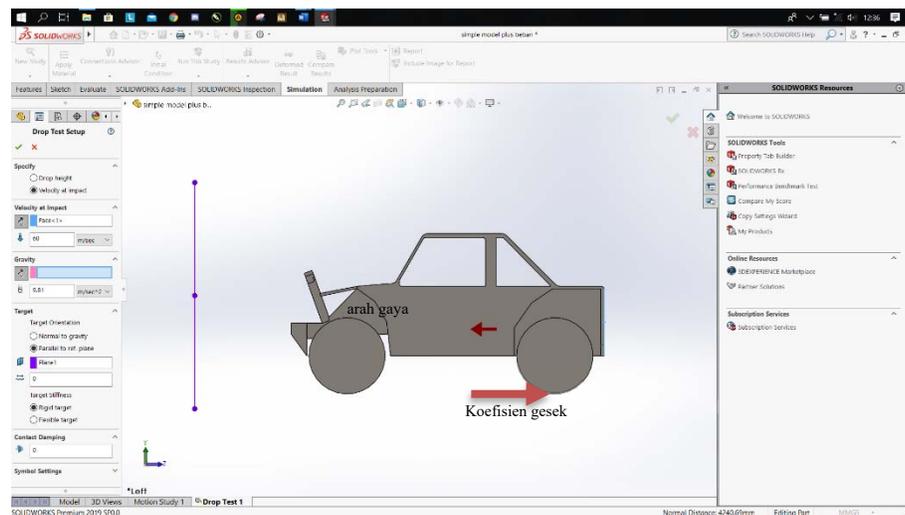
—: not applicable.

3.2.1 Kondisi Batas Simulasi

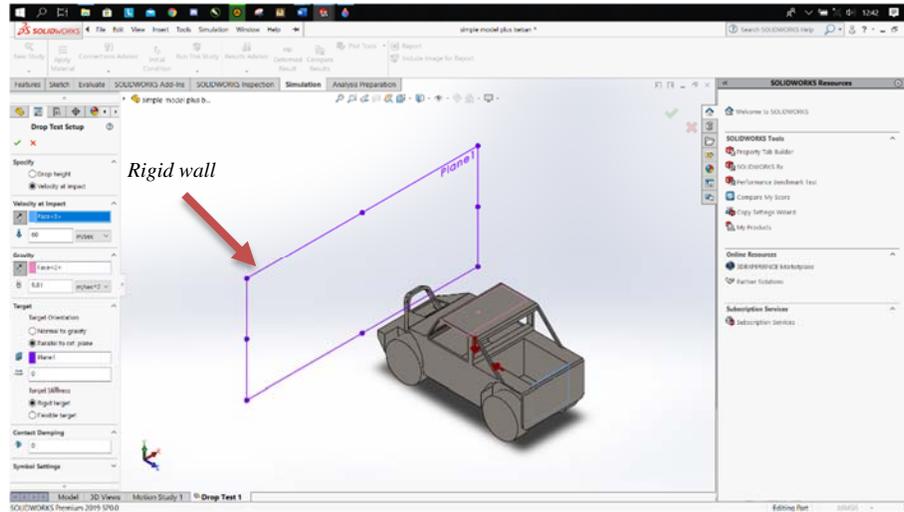
Kondisi batas yang diterapkan pada model mobil listrik ini secara umum yakni, kondisi pertama mobil diberi gaya dan melaju dalam arah horizontal, dalam hal ini mobil ditabrak dengan *rigid wall*, kondisi kedua gaya gravitasi yang secara umum digunakan sebesar $9,81 \text{ m/s}$, kondisi ketiga mobil diberi gaya dengan kecepatan berbeda-beda sebesar 30, 45, 60, 100 Km/h .

- Kondisi pertama

Pada kondisi ini merupakan penentuan terhadap arah gaya dan juga kecepatan yang akan di-*input* pada saat simulasi. Pada penelitian ini ditentukan arah gaya yang sejajar dengan garis horizontal. Serta tidak ada koefisien gesek yang terjadi pada ban. Mobil akan bergerak maju menabrak dinding kaku bisa dilihat detailnya pada **Gambar 3.28**. Dinding kaku (*rigid wall*) yang digunakan yaitu sebagai objek yang akan ditabrak serta diskemakan pada *software solidworks* dengan *plane1* bisa dilihat pada **Gambar 3.29**. Serta *rigid wall* ini tidak akan mengalami defleksi pada saat tabrakan.



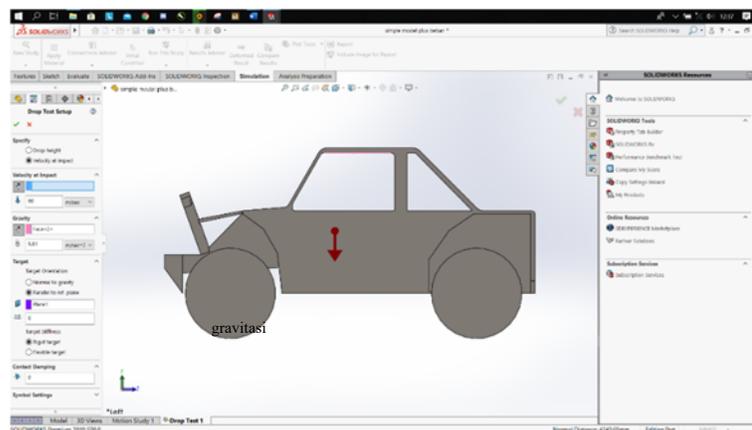
Gambar 3.28 Kecepatan pada Arah Horizontal
(Dokumentasi Pribadi, 2020)



Gambar 3.29 Rigid Wall
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

- Kondisi kedua

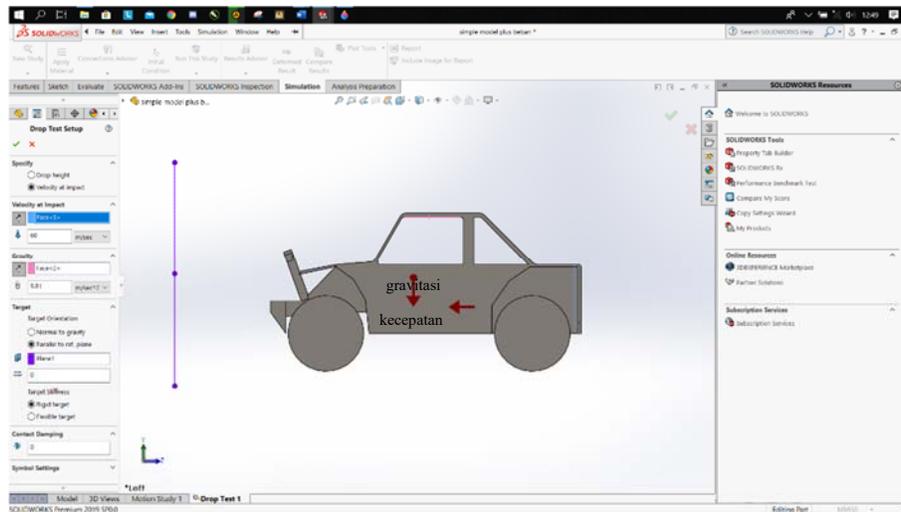
Pada kondisi ini merupakan penentuan terhadap arah gravitasi yang akan di-input pada saat simulasi. Pada penelitian ini ditentukan gaya gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$ sesuai dengan nilai yang digunakan secara umumnya. serta bisa dilihat detailnya pada **Gambar 3.30**.



Gambar 3.30 Gaya Gravitasi Mobil
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

- Kondisi ketiga

Kondisi ini merupakan penggabungan kedua kondisi diatas berupa kecepatan, *rigid wall* dan arah gravitasi yang telah di-*input* sebelumnya. Serta pada kondisi ini proses penginputan kecepatan-kecepatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebesar 30, 45, 60, 100 Km/h. Model pada penelitian ini akan menabrak dinding kaku yang berada didepan dalam hal ini *plane1*. Sehingga pada tabrakan yang terjadi akan dihitung harga-harga yang dibutuhkan yaitu tegangan, regangan, defleksi dan *safety factor*. Nilai-nilai tersebut akan dianalisa dan dilakukan perbandingan menggunakan diagram-diagram berdasarkan data yang telah dihitung. Diagram-diagram yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu tegangan vs kecepatan dan tegangan vs *safety factor*. Detail skema kedua kondisi bisa dilihat pada **Gambar 3.31**.



Gambar 3.31 Arah Gaya Gravitasi Mobil
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Pada kondisi-kondisi yang telah ditentukan akan dihitung hasil berupa tegangan, regangan, defleksi, dan *safety factor* yang terjadi pada model. Pada penelitian ini menggunakan metode-metode untuk menghitung harga-harga yang dibutuhkan. Beberapa persamaan yang digunakan pada *soildworks* dalam menghitung tegangan, regangan, dan *safety factor*.

Adapun pada persamaan yang digunakan dalam menghitung tegangan yaitu menggunakan persamaan yang sesuai dengan yang digunakan *software solidworks* yakni sebagai berikut:

- Metode yang digunakan dalam menghitung tegangan

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.2)$$

Sumber: *Applied Finite Element Analysis with SolidWorks Simulation 2019*

Adapun pada persamaan yang digunakan dalam menghitung regangan yaitu menggunakan persamaan yang sesuai dengan yang digunakan *software solidworks* yakni sebagai berikut:

- Metode yang digunakan dalam menghitung regangan

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (3.3)$$

Sumber: *Applied Finite Element Analysis with SolidWorks Simulation 2018*

Adapun pada persamaan yang digunakan dalam menghitung defleksi yaitu menggunakan persamaan yang sesuai dengan yang digunakan *software solidworks* yakni sebagai berikut:

- Metode yang digunakan dalam menghitung defleksi

$$\delta = \frac{FL}{AE}; \quad (3.4)$$

$$\delta = \frac{F}{K}; \quad (3.5)$$

$$k = \frac{AE}{L} \quad (3.6)$$

Sumber: *Applied Finite Element Analysis with SolidWorks Simulation 2019*

Adapun pada persamaan yang digunakan dalam menghitung *safety factor* yaitu menggunakan persamaan yang sesuai dengan teori yang telah dicantumkan pada kajian teori yakni sebagai berikut:

- Metode yang digunakan dalam menghitung *safety factor*

$$FOS = \frac{S_{limit}}{\sigma_{von}} \quad (3.7)$$

Keterangan:

FOS = Faktor keamanan (*safety factor*)

S_{limit} = Nilai tegangan *yield* pada bahan

σ_{von} = Nilai tegangan yang terjadi

Sumber: *Applied Finite Element Analysis with SolidWorks Simulation 2019*

3.2.2 Metode *full frontal fixed barrier*

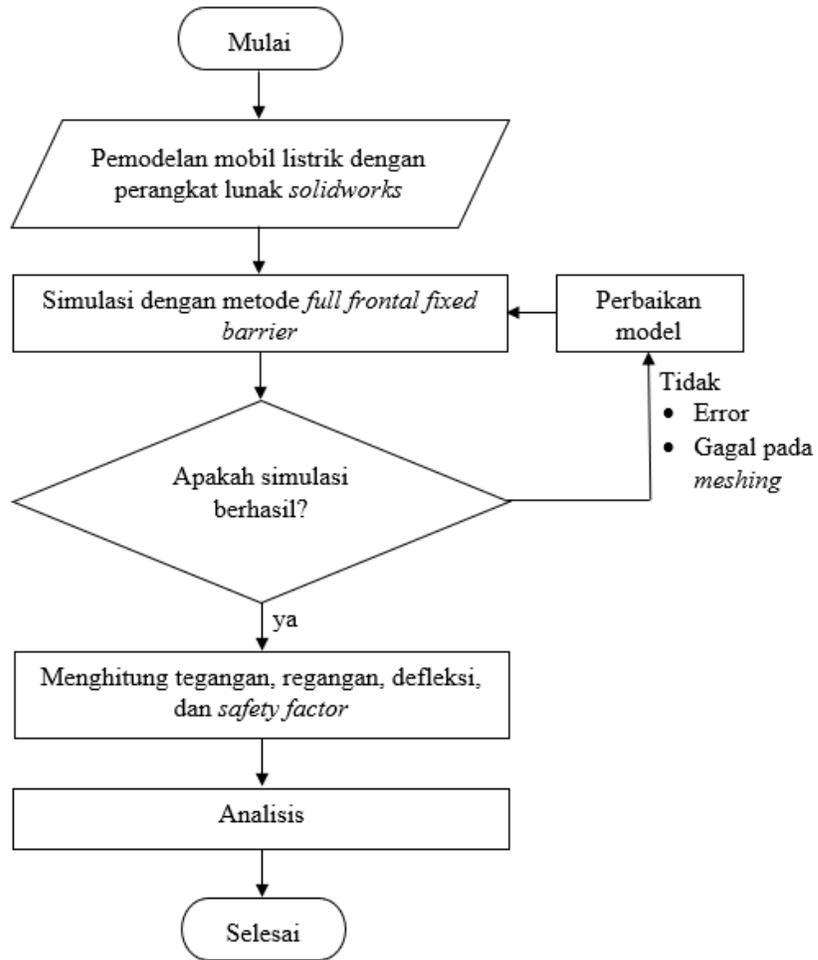
Metode ini merupakan metode yang digunakan dalam salah satu analisis pada *crashworthiness*, merupakan metode dalam analisis tumbukan atau tabrakan dengan dinding *rigid barrier* atau *rigid wall*. Dinding yang digunakan yaitu dinding kaku yang tidak dapat terdefleksi.

Kecepatan ijin pada metode ini yaitu 0-48 km/h, pada standar FMVSS 208. Sehingga dengan tumbukan terjadi kecepatan maksimum mencapai range 53 km/h, namun kecepatan tersebut termasuk dalam kecepatan yang rendah.

Pada penelitian ini menggunakan metode ini terhadap tabrakan yang terjadi, akan tetapi kecepatan yang diambil sedikit berbeda dengan metode ini. Kecepatan-kecepatan yang diambil pada metode ini yaitu 30, 45 km/h dan 60, 100 km/h digunakan untuk sebagai data perhitungan yang dibutuhkan.

3.2.3 Diagram Alir Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan secara garis besar didasarkan pada diagram alir yang ditunjukkan oleh **Gambar 3.32**.



Gambar 3.32 Diagram Alir Penelitian

3.2.4 Langkah-langkah Simulasi

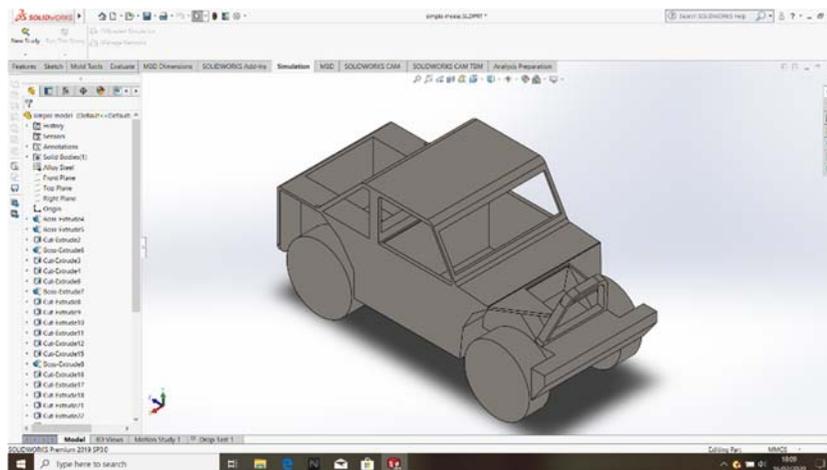
Langkah-langkah dalam pemodelan mobil listrik pada *Solidworks* 2019 sebagai berikut:

1. Siapkan *software* yang telah diinstal dan buka *software Solidworks* 2019. Berikut halaman awal *solidworks* 2019 bisa dilihat pada **Gambar 3.33**.



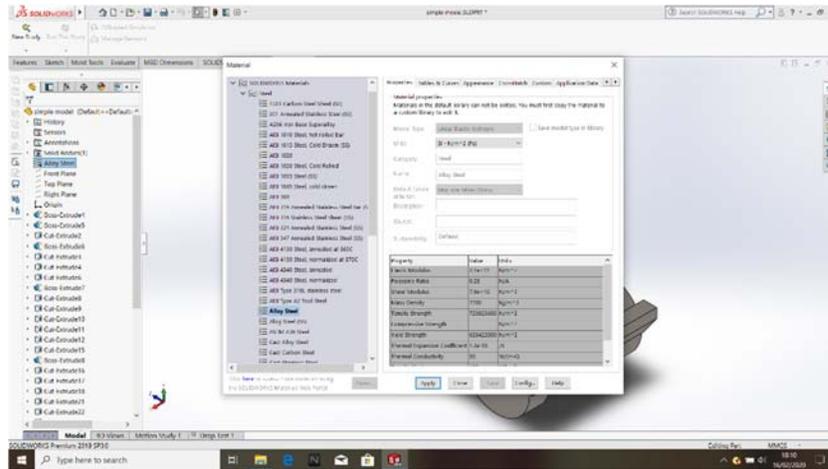
Gambar 3.33 Software Solidworks 2019
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

2. Gambarkan model mobil listrik dengan ukuran yang sudah tersedia. Model yang sudah di-sketch bisa dilihat pada **Gambar 3.34** dibawah.



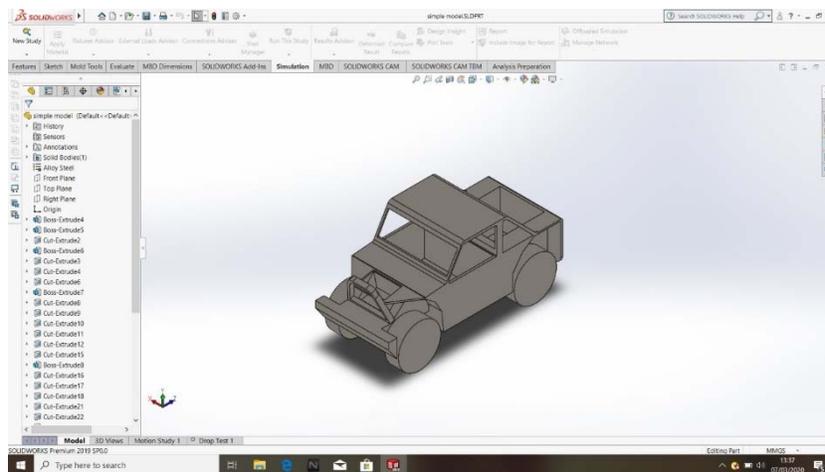
Gambar 3.34 Model Mobil Listrik
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

3. Pilihlah material model, bisa pilih edit material dan sesuaikan dengan material yang digunakan pada mobil listrik. Pada penelitian ini material yang digunakan yaitu *alloy steel*.



Gambar 3.35 Pemilihan Material Model Mobil Listrik
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

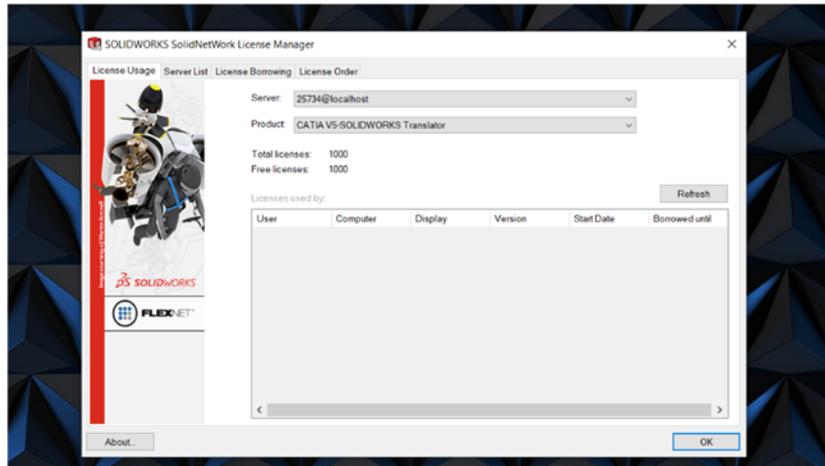
4. Langkah berikutnya mulai dengan menu *solidworks ad-ins* pilih *simulation*, tunggu hingga instalasi selesai. Setelah selesai kemudian pilih *tools new study* untuk memulai *setting* simulasi.



Gambar 3.36 Menu *Simulation*
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

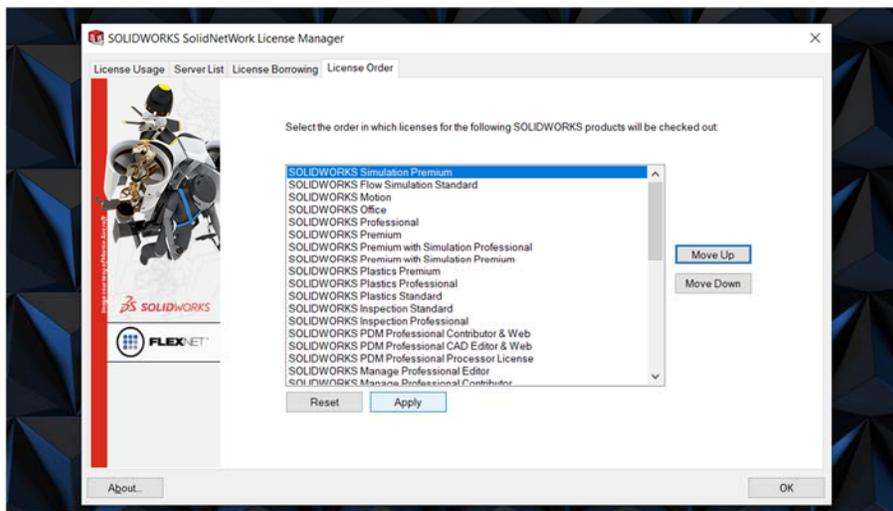
5. Kemudian setelah *tools new study*, pilihlah sub-tools *drop test*. Jika tidak ter-*install* maka perlu ada langkah-langkah yang harus dilakukan.

- Masuk ke menu pencarian, kemudian cari *solidnetwork license manager*



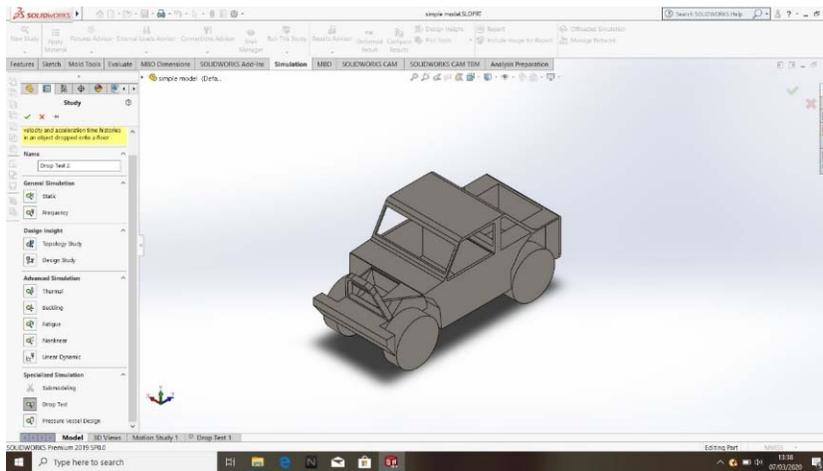
Gambar 3.37 *Solidnetwork License Manager Menu*
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

- Setelah masuk pilih menu *license order* dan selanjutnya caari *solidworks simulation premium*, kemudian lakukan *move up* hingga paling awal.



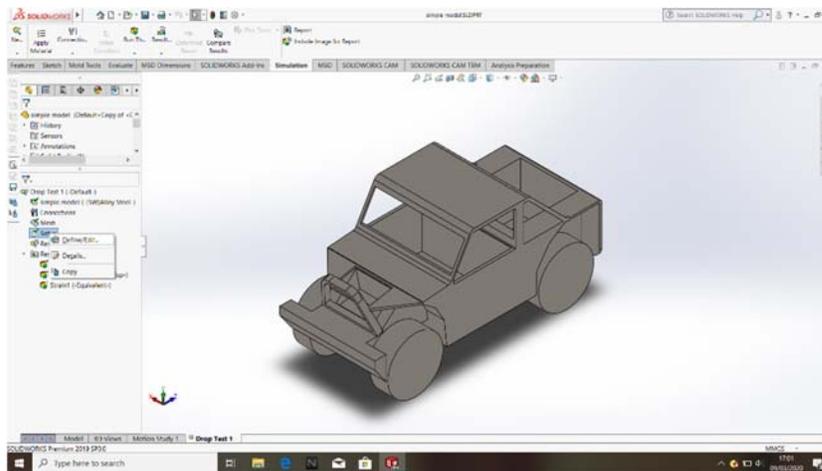
Gambar 3.38 *Move Up Solidworks Simulation Premium*
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

- Setelah *move up* kemudian *apply*, proses instalasi *drop test* sudah selesai. Selanjutnya buka lagi *software solidworks* seperti pada langkah 1 sampai 4, bisa dilihat menu *drop test* sudah terinstal seperti **Gambar 3.39**.



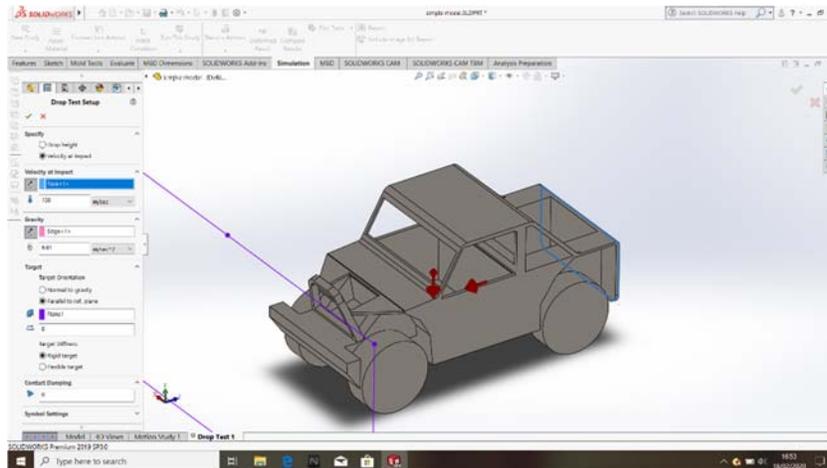
Gambar 3.39 Sub-tools pada *New Study*
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

6. Setelah masuk ke *drop test*, selanjutnya masuk ke menu *setup* kemudian pilih *edit definition*.



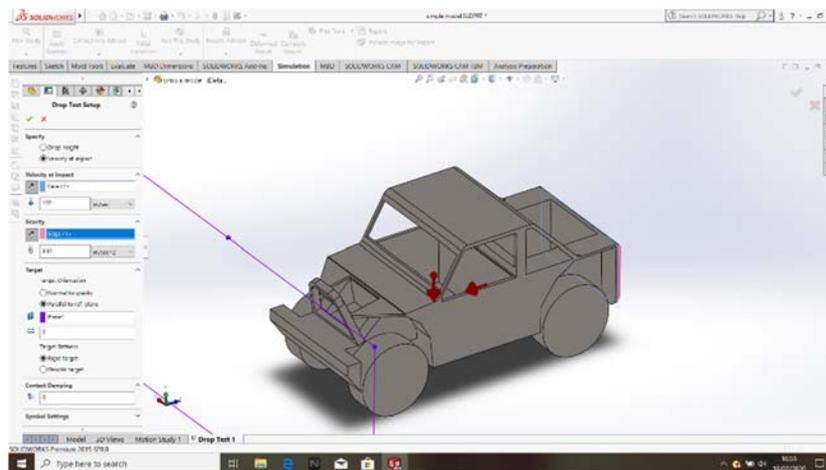
Gambar 3.40 *Setup* pada *Drop Test*
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

7. Kemudian pilihlah *velocity at impact*, tentukan bidang yang tegak lurus dengan sumbu z, selanjutnya *reverse* arah kecepatan supaya berubah dari sumbu Z+ ke Z-, kemudian *input* kecepatan yang akan di gunakan pada simulasi.



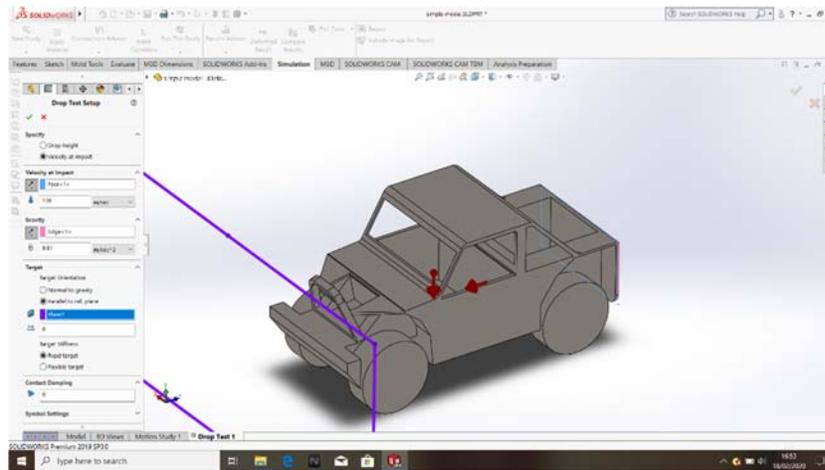
Gambar 3.41 *Setup Velocity at Impact pada DropTest*
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

8. Pada *gravity*, pilihlah bidang yang tegak lurus dengan sumbu y, kemudian *reverse* arah gravitasi berubah dari sumbu Y+ menjadi Y- selanjutnya *input* nilai gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$.



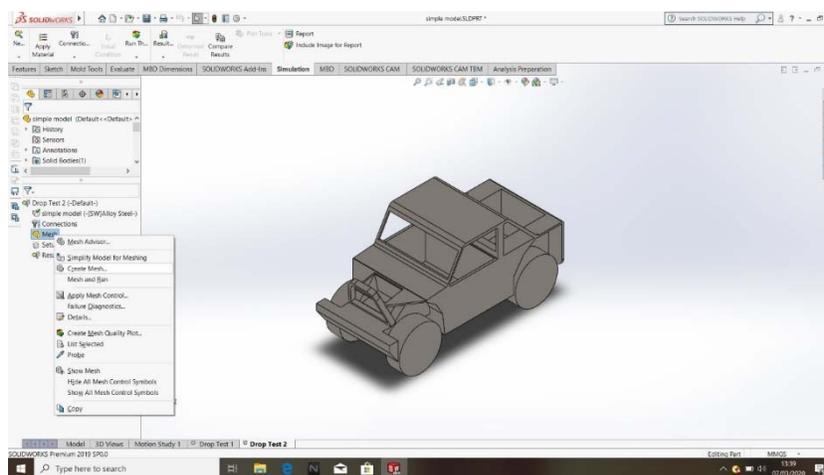
Gambar 3.42 *Setup Gravity pada Drop Test*
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

9. Langkah selanjutnya, pilihlah *plan* sebagai dinding untuk simulasi tabrakan yang berhadapan dengan model mobil listrik. Jika tidak ada maka perlu buat plane baru sebagai dinding.

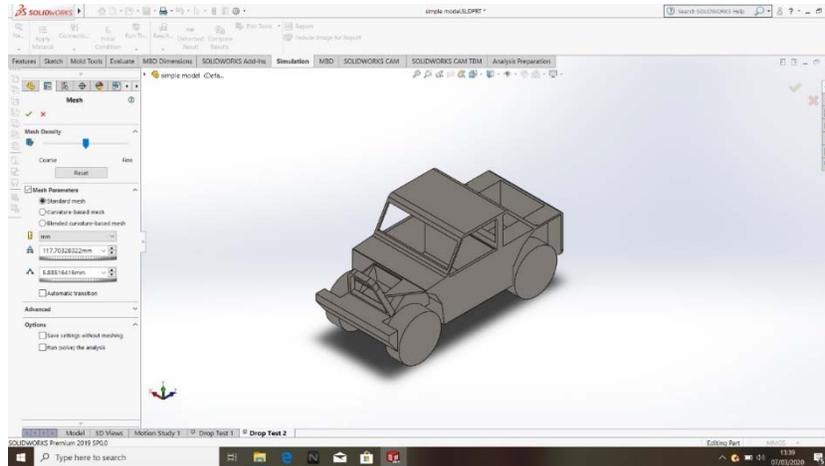


Gambar 3.43 *Setup Plan* pada *Drop Test*
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

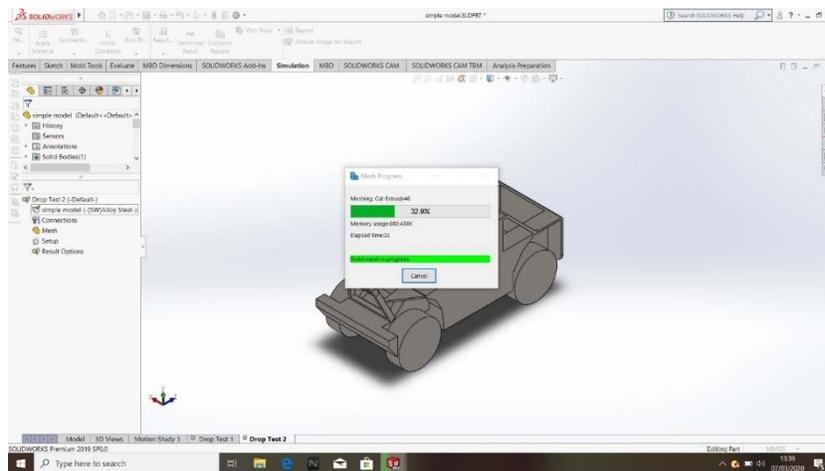
10. Dan klik OK untuk menyelesaikan *setup* pada *drop test*.
11. Masuk ke menu *mesh*, lakukan *meshing* dengan pilihan *create mesh*. Kemudian pada *mesh parameters* pilih *standar meshing* dan pilih OK untuk memulai *meshing* pada model mobil listrik.



Gambar 3.44 *Create Mesh* pada *Meshing*
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

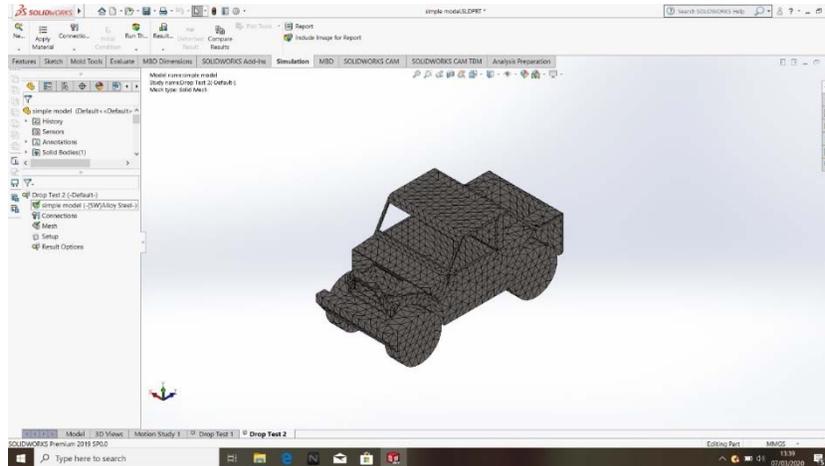


Gambar 3.45 *Setup* Proses *Meshing*
(Dokumentasi Pribadi, 2020)



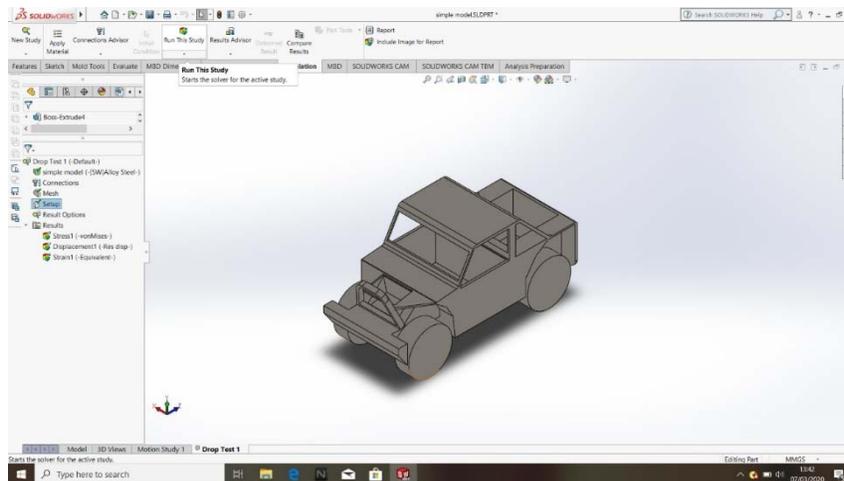
Gambar 3.46 Proses *Meshing* pada Model
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

12. Hasil model yang telah dilakukan proses *meshing*.

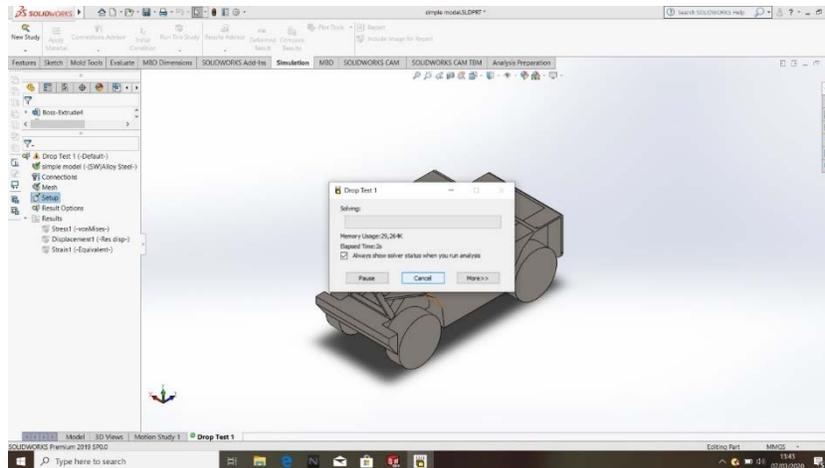


Gambar 3.47 Hasil *Meshing* pada Model
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

13. Setelah proses *meshing* selesai, maka lakukan *tool run this study* untuk mengevaluasi hasil simulasi.



Gambar 3.48 Pemilihan *Run This Study*
(Dokumentasi Pribadi, 2020)



Gambar 3.49 Proses *Run* pada *Study*
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

14. Proses simulasi telah selesai dilakukan. Lakukan langkah berulang dari langkah 7 sampai 11 dengan input kecepatan yang berbeda-beda. Serta dokumentasi hasil tegangan, regangan, dan defleksi pada setiap kecepatan.

3.3 Hasil Simulasi

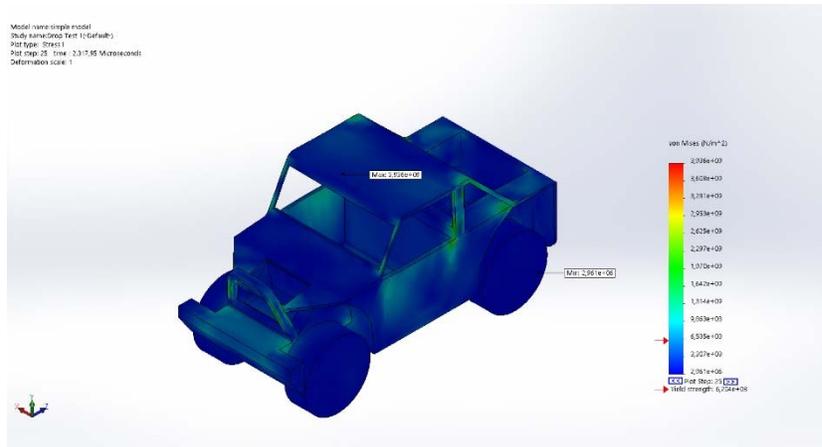
Setelah proses simulasi dilakukan, maka didapatkan data simulasi berupa tegangan, regangan, dan defleksi untuk setiap kecepatan.

- Hasil simulasi pada model dengan kecepatan 30 Km/h

Hasil simulasi pada penelitian ini akan dijabarkan pada tiga poin dapat dilihat pada **Gambar 3.50**, **Gambar 3.51**, dan **Gambar 3.52**.

➤ Tegangan

Pada **Gambar 3.50** bisa dilihat tegangan maksimum yang terjadi pada bidang atap bagian dalam sebesar $3,936 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, karena tegangan yang besar terjadi pada bidang atau dimensi yang kecil dan tipis sehingga distribusi tegangan besar serta terfokus pada bagian bagian atap penumpang sehingga rentan akan perubahan tekanan.

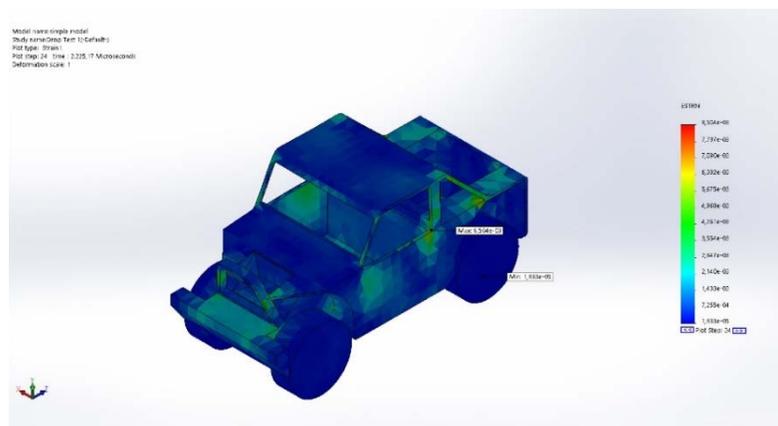


Gambar 3.50 *Stress* pada 30 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Sedangkan tegangan minimum terjadi pada ban mobil sebesar $2,961 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, karena distribusi tegangan sisa telah diterima sasis. Sehingga tegangan sisa yang terjadi pada ban relatif kecil.

➤ **Regangan**

Pada **Gambar 3.51** bisa dilihat regangan maksimum yang terjadi pada bidang



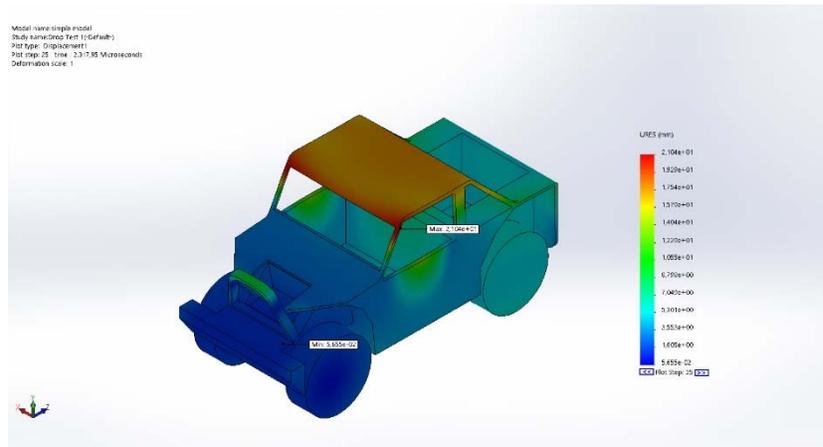
pintu kiri sebesar $8,504 \times 10^{-3}$, hal ini terjadi karena distribusi tegangan banyak terjadi pada bagian tersebut sehingga pada saat tabrakan terjadi, pada pintu mobil kiri mengalami regangan tersebar akibat material yang tipis serta mengalami tekanan antara bagian depan dan kecepatan mobil.

Gambar 3.51 *Strain* pada 30 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Sedangkan regangan minimum terjadi pada ban mobil sebesar $1,833 \times 10^{-5}$, karena bagian ban tidak mengalami tekanan yang besar. Sehingga regangan yang terjadi pada ban relatif kecil.

➤ Defleksi

Pada **Gambar 3.52** bisa dilihat defleksi maksimum yang terjadi pada bidang rangka atap depan sebelah kiri sebesar $2,104 \times 10^1$ mm, karena dimensi pada rangka *roof top* sangat tipis mengalami tekanan dua arah dari rangka kap depan dan bak belakang.



Gambar 3.52 Displacement pada 30 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

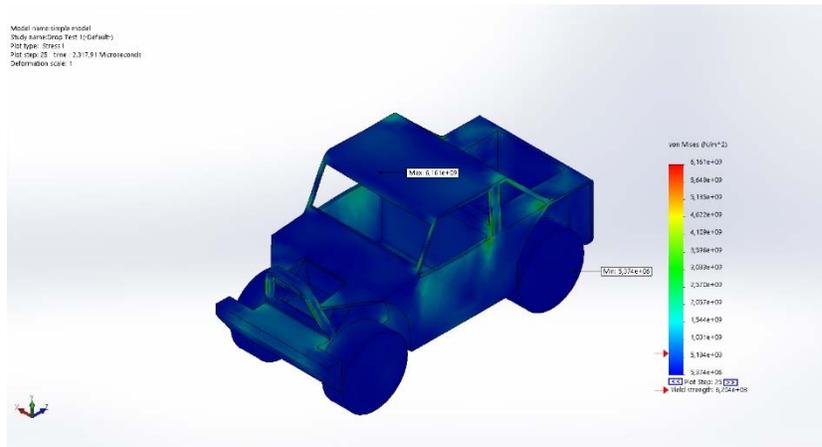
Sedangkan dan defleksi minimum terjadi pada sasis bagian *bumper* depan mobil sebesar $5,655 \times 10^{-2}$ mm, dikarenakan pada sasis memiliki dimensi yang besar serta jenis sasis yang digunakan yakni *ladder frame solid* sehingga defleksi terkecil terjadi pada bagian sasis.

- Hasil simulasi pada model dengan kecepatan 45 Km/h

Hasil simulasi pada penelitian ini akan dijabarkan pada tiga poin dapat dilihat pada **Gambar 3.53**, **Gambar 3.54**, dan **Gambar 3.55**.

➤ Tegangan

Pada **Gambar 3.53** bisa dilihat tegangan maksimum yang terjadi pada bidang atap bagian dalam sebesar $6,161 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, memiliki kondisi yang sama pada kecepatan 30 Km/h. hal ini terjadi karena tegangan yang besar terjadi pada bidang atau dimensi yang kecil dan tipis sehingga distribusi tegangan besar serta terfokus pada bagian bagian atap penumpang sehingga rentan akan perubahan tekanan.



Gambar 3.53 Stress pada 45 Km/h

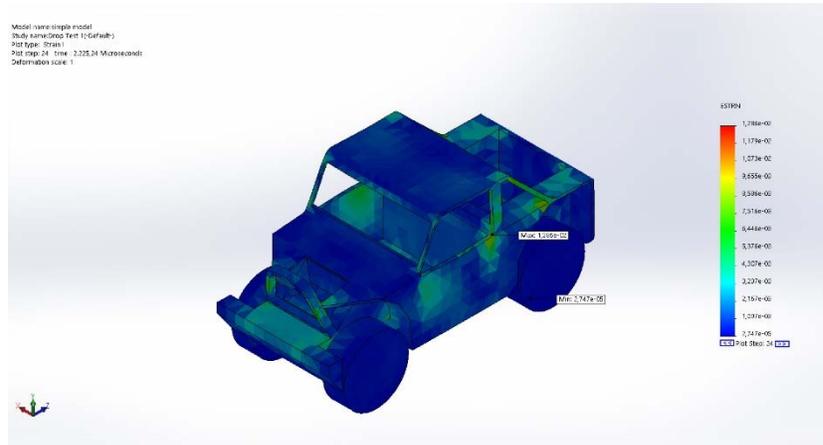
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Sedangkan tegangan minimum terjadi pada ban mobil sebesar $5,374 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, karena distribusi tegangan sisa telah diterima sasis. Sehingga tegangan sisa yang terjadi pada ban relatif kecil.

➤ Regangan

Pada **Gambar 3.54** bisa dilihat regangan maksimum yang terjadi pada bidang pintu kiri sebesar $1,286 \times 10^{-2}$, memiliki kondisi yang sama pada kecepatan 30 Km/h. Hal ini terjadi karena distribusi tegangan banyak terjadi pada bagian tersebut

sehingga pada saat tabrakan terjadi, pada pintu mobil kiri mengalami regangan tersebar akibat material yang tipis serta mengalami tekanan antara bagian depan dan kecepatan mobil.

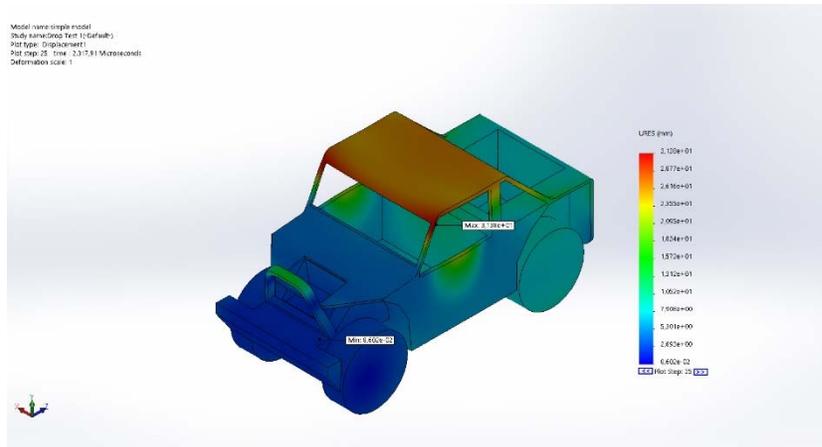


Gambar 3.54 *Strain* pada 45 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Sedangkan regangan minimum terjadi pada ban mobil sebesar $2,747 \times 10^{-5}$, karena bagian ban tidak mengalami tekanan yang besar. Sehingga regangan yang terjadi pada ban relatif kecil.

➤ Defleksi

Pada **Gambar 3.55** bisa dilihat defleksi maksimum yang terjadi pada bidang rangka atap depan sebelah kiri sebesar $3,138 \times 10^1$ mm, karena dimensi pada rangka *roof top* sangat tipis mengalami tekanan dua arah dari rangka kap depan dan bak belakang.



Gambar 3.55 Displacement pada 45 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

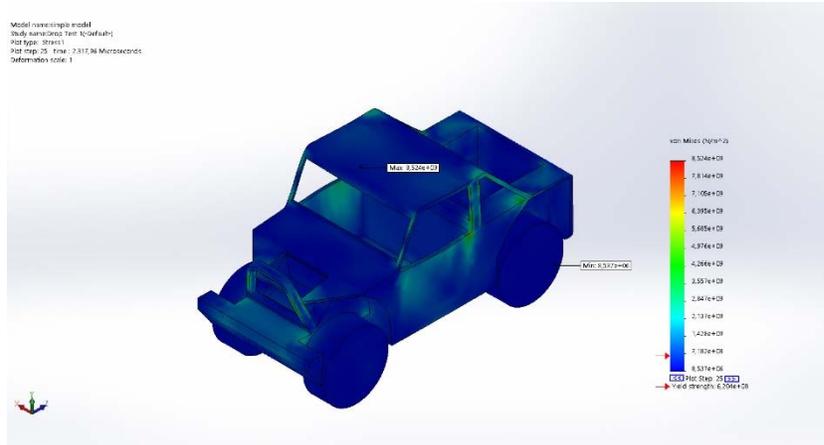
Sedangkan defleksi minimum terjadi pada sasis bagian *bumper* depan mobil sebesar $8,602 \times 10^{-2}$ mm, dikarenakan pada sasis memiliki dimensi yang besar serta jenis sasis yang digunakan yakni *ladder frame solid* sehingga defleksi terkecil terjadi pada bagian sasis.

- **Hasil simulasi pada model dengan kecepatan 60 Km/h**

Hasil simulasi pada penelitian ini akan dijabarkan pada tiga poin dapat dilihat pada **Gambar 3.56**, **Gambar 3.57** dan **Gambar 3.58**.

- **Tegangan**

Pada **Gambar 3.56** bisa dilihat tegangan maksimum yang terjadi pada bidang atas bagian dalam sebesar $8,524 \times 10^9$ N/m², memiliki kondisi yang sama karena tegangan yang besar terjadi pada bidang atau dimensi yang kecil dan tipis sehingga distribusi tegangan besar serta terfokus pada bagian bagian atap penumpang sehingga rentan akan perubahan tekanan.

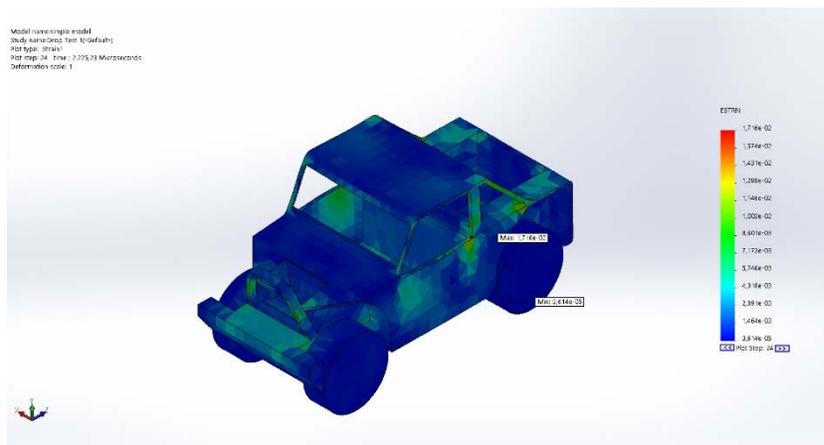


Gambar 3.56 Stress pada 60 Km/h
 (Dokumentasi Pribadi, 2020)

Sedangkan tegangan minimum terjadi pada ban mobil sebesar $8,537 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, karena distribusi tegangan sisa telah diterima sasis. Sehingga tegangan sisa yang terjadi pada ban relatif kecil.

➤ **Regangan**

Pada **Gambar 3.57** bisa dilihat regangan maksimum yang terjadi pada bidang pintu kiri sebesar $1,716 \times 10^{-2}$, memiliki kondisi yang sama karena distribusi tegangan banyak terjadi pada bagian tersebut sehingga pada saat tabrakan terjadi, pada pintu mobil kiri mengalami regangan tersebar akibat meterial yang tipis serta mengalami tekanan antara bagian depan dan kecepatan mobil.

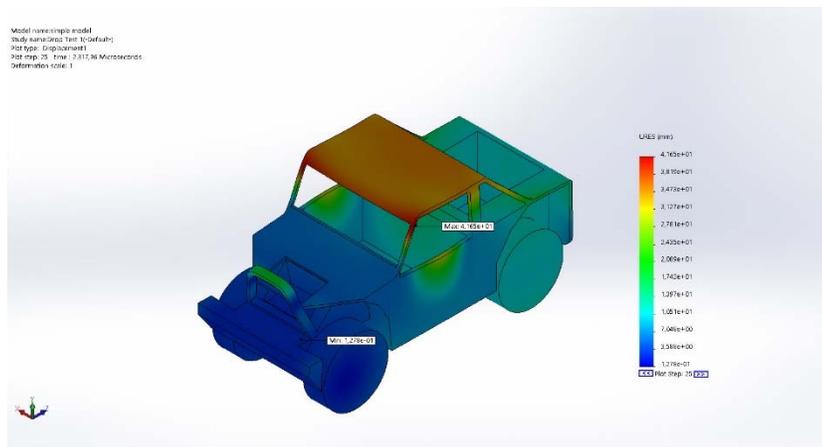


Gambar 3.57 *Strain* pada 60 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Sedangkan regangan minimum terjadi pada ban mobil sebesar $3,614 \times 10^{-5}$, karena bagian ban tidak mengalami tekanan yang besar. Sehingga regangan yang terjadi pada ban relatif kecil.

➤ **Defleksi**

Pada **Gambar 3.58** bisa dilihat defleksi maksimum yang terjadi pada bidang rangka atap depan sebelah kiri sebesar $4,165 \times 10^1$ mm, karena dimensi pada rangka *roof top* sangat tipis mengalami tekanan dua arah dari rangka kap depan dan bak belakang.



Gambar 3.58 *Displacement* pada 60 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

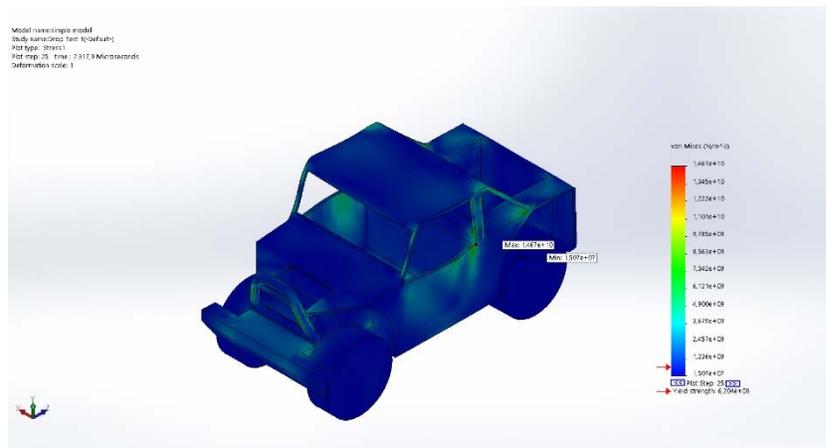
Sedangkan defleksi minimum terjadi pada sasis bagian *bumper* depan mobil sebesar $1,278 \times 10^{-1}$ mm, dikarenakan pada sasis memiliki dimensi yang besar serta jenis sasis yang digunakan yakni *ladder frame solid* sehingga defleksi terkecil terjadi pada bagian sasis.

- Hasil simulasi pada model dengan kecepatan 100 Km/h

Hasil simulasi pada penelitian ini akan dijabarkan pada tiga poin dapat dilihat pada Gambar 3.59, Gambar 3.60 dan Gambar 3.61.

➤ Tegangan

Pada Gambar 3.59 bisa dilihat tegangan maksimum yang terjadi pada bagian pintu kiri sebesar $1,467 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$, memiliki kondisi yang sama karena tegangan yang besar terjadi pada bidang atau dimensi yang kecil dan tipis sehingga distribusi tegangan besar serta terfokus pada bagian bagian atap penumpang sehingga rentan akan perubahan tekanan.



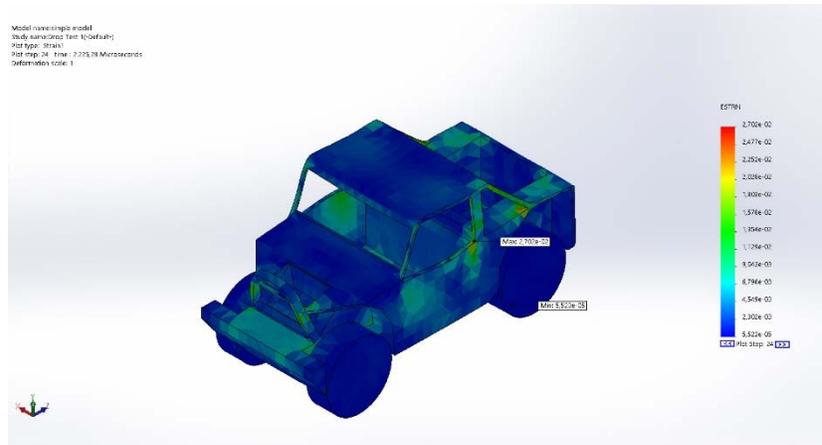
Gambar 3.59 Stress pada 100 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Sedangkan tegangan minimum terjadi pada ban mobil sebesar $1,507 \times 10^7 \text{ N/m}^2$, karena distribusi tegangan sisa telah diterima sasis. Sehingga tegangan sisa yang terjadi pada ban relatif kecil.

➤ Regangan

Pada Gambar 3.60 bisa dilihat regangan maksimum yang terjadi pada bagian pintu kiri sebesar $2,702 \times 10^{-2}$, memiliki kondisi yang sama karena distribusi tegangan banyak terjadi pada bagian tersebut sehingga pada saat tabrakan terjadi, pada pintu mobil kiri mengalami regangan tersebar akibat meterial yang tipis serta mengalami

tekanan antara bagian depan dan kecepatan mobil.

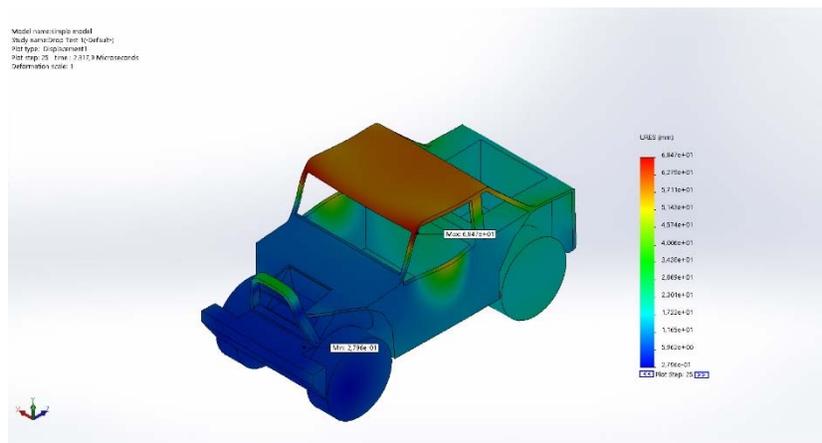


Gambar 3.60 *Strain* pada 100 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Sedangkan regangan minimum terjadi pada ban mobil sebesar $5,523 \times 10^{-5}$, karena bagian ban tidak mengalami tekanan yang besar. Sehingga regangan yang terjadi pada ban relatif kecil.

➤ Defleksi

Pada **Gambar 3.61** bisa dilihat defleksi maksimum yang terjadi pada bagian rangka atap depan sebelah kiri sebesar $6,847 \times 10^1$ mm, karena dimensi pada rangka *roof top* sangat tipis mengalami tekanan dua arah dari rangka kap depan dan bak belakang.



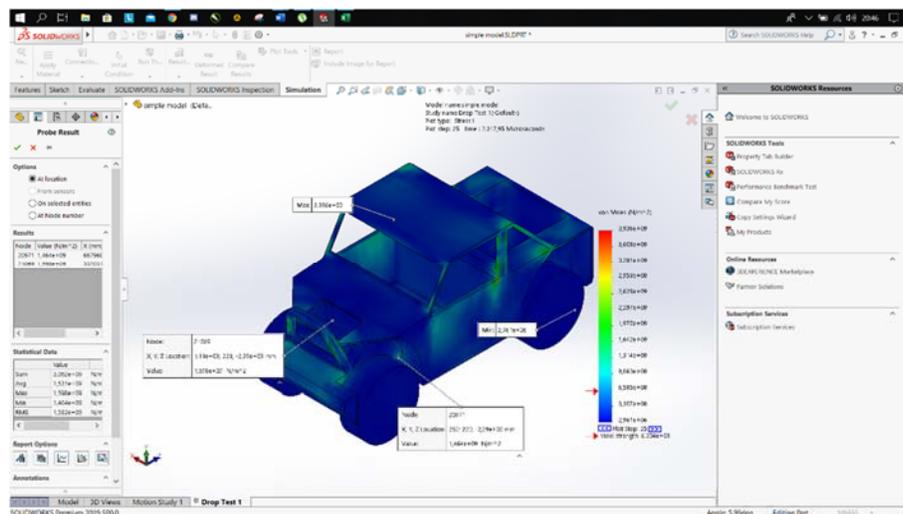
Gambar 3.61 Displacement pada 100 Km/h

(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Sedangkan defleksi minimum terjadi pada sasis bagian *bumper* depan mobil sebesar $2,796 \times 10^{-1}$ mm, dikarenakan pada *bumper* memiliki dimensi yang besar serta jenis sasis yang digunakan yakni *ladder frame solid* sehingga defleksi terkecil terjadi pada bagian sasis.

- Hasil tegangan simulasi pada sasis depan dengan kecepatan 30 Km/h

Pada Gambar 3.62 bisa dilihat tegangan maksimum yang terjadi pada sasis bagian kanan sebesar $1,598 \times 10^9$ N/m² dan tegangan minimum yang terjadi pada sasis bagian kiri sebesar $1,464 \times 10^9$ N/m². Nilai yang dihasilkan seharusnya sama, akan tetapi terjadi perbedaan dikarenakan adanya dimensi yang berbeda pada model yang dibuat. Perbedaan dimensi ini terdapat pada bagian *crumple zone* dikarenakan ada proses *extrude* yang tidak simetris. Sehingga tegangan yang dihasilkan pada simulasi berbeda antara sasis kanan dan kiri model.

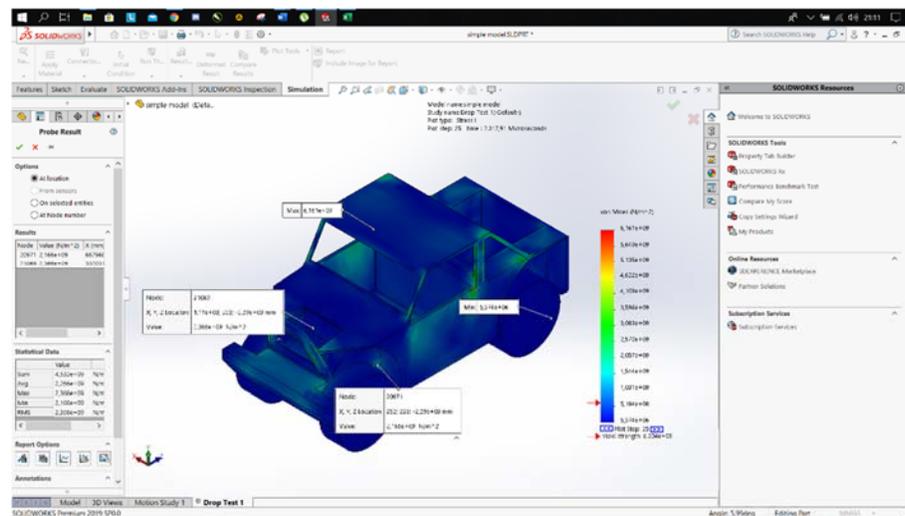


Gambar 3.62 Displacement Sasis Depan pada Kecepatan 30 Km/h

(Dokumentasi Pribadi, 2020)

- Hasil tegangan simulasi pada sasis depan dengan kecepatan 45 Km/h

Pada **Gambar 3.63** bisa dilihat tegangan maksimum yang terjadi pada sasis bagian kanan sebesar $2,366 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ dan tegangan minimum terjadi pada sasis bagian kiri sebesar $2,166 \times 10^9 \text{ N/m}^2$. Nilai yang dihasilkan seharusnya sama, akan tetapi terjadi perbedaan dikarenakan adanya dimensi yang berbeda pada model yang dibuat. Perbedaan dimensi ini terdapat pada bagian *crumple zone* dikarenakan ada proses *extrude* yang tidak simetris. Sehingga tegangan yang dihasilkan pada simulasi berbeda antara sasis kanan dan kiri model.

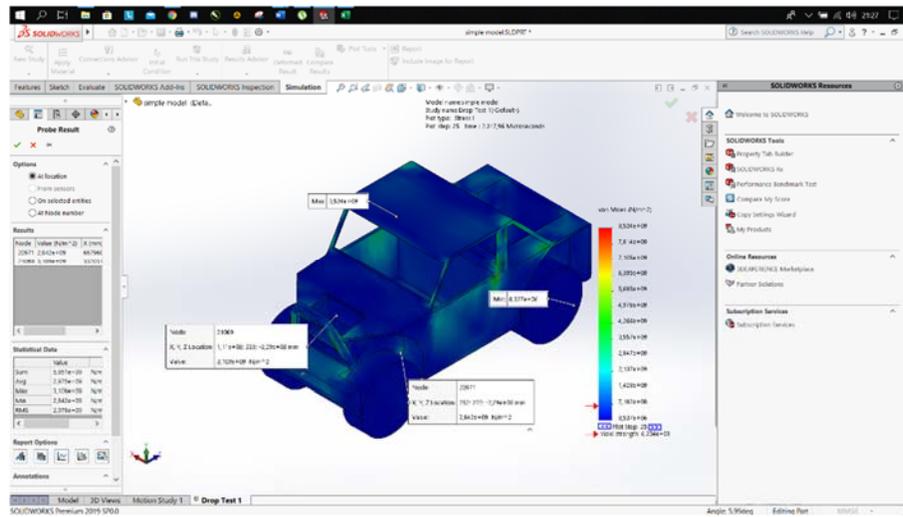


Gambar 3.63 Displacement Sasis Depan Pada Kecepatan 45 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

- Hasil tegangan simulasi pada sasis depan dengan kecepatan 60 Km/h

Pada **Gambar 3.64** bisa dilihat tegangan maksimum yang terjadi pada sasis bagian kanan sebesar $3,109 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ dan tegangan minimum yang terjadi pada sasis bagian kiri sebesar $2,842 \times 10^9 \text{ N/m}^2$. Nilai yang dihasilkan seharusnya sama, akan tetapi terjadi perbedaan dikarenakan adanya dimensi yang berbeda pada model yang dibuat. Perbedaan dimensi ini terdapat pada bagian *crumple zone* dikarenakan ada proses *extrude* yang tidak simetris. Sehingga tegangan yang dihasilkan pada simulasi

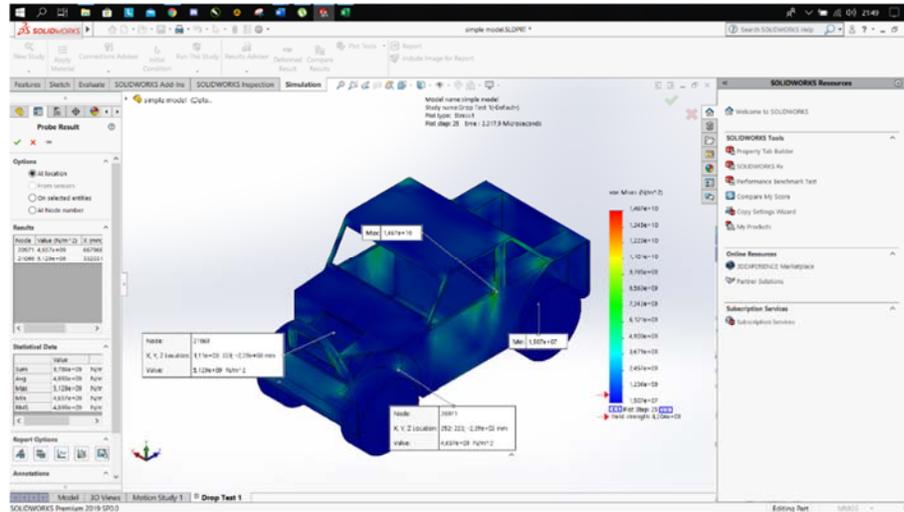
berbeda antara sasis kanan dan kiri model.



Gambar 3.64 Displacement Sasis Depan pada Kecepatan 60 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

- **Hasil tegangan simulasi pada sasis depan dengan kecepatan 100 Km/h**

Pada **Gambar 3.65** bisa dilihat tegangan maksimum yang terjadi pada sasis bagian kanan sebesar $5,129 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ dan tegangan minimum yang terjadi pada sasis bagian kiri sebesar $4,657 \times 10^9 \text{ N/m}^2$. Nilai yang dihasilkan seharusnya sama, akan tetapi terjadi perbedaan dikarenakan adanya dimensi yang berbeda pada model yang dibuat. Perbedaan dimensi ini terdapat pada bagian *crumple zone* dikarenakan ada proses *extrude* yang tidak simetris. Sehingga tegangan yang dihasilkan pada simulasi berbeda antara sasis kanan dan kiri model.



Gambar 3.65 *Displacement* Sasis Depan pada Kecepatan 100 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

3.3.1 Perhitungan Beban *Impact*

Perhitungan beban *impact* ini didapatkan dari hasil tumbukan pada model dengan menggunakan persamaan hubungan antara momentum dan impuls. Berikut perhitungan beban *impact* pada setiap kecepatan:

A. *Impact* pada kecepatan 30 Km/h

$$I = \Delta P$$

$$F \Delta t = m \Delta V$$

$$F = \frac{m \Delta V}{\Delta t} = \frac{12.556,8 \times 30}{2.31795 \text{ s}} = 162,516 \text{ KN}$$

Sehingga beban *impact* yang dihasilkan pada kecepatan 30 Km/h sebesar 162,516 KN

B. *Impact* pada kecepatan 45 Km/h

$$I = \Delta P$$

$$F \Delta t = m \Delta V$$

$$F = \frac{m \Delta V}{\Delta t} = \frac{12.556,8 \times 45}{2.31795 \text{ s}} = 243,774 \text{ KN}$$

Sehingga beban *impact* yang dihasilkan pada kecepatan 30 Km/h sebesar 243,774 KN

C. Impact pada kecepatan 60 Km/h

$$I = \Delta P$$

$$F \Delta t = m \Delta V$$

$$F = \frac{m \Delta V}{\Delta t} = \frac{12.556,8 \times 60}{2.31795 \text{ s}} = 325,032 \text{ KN}$$

Sehingga beban *impact* yang dihasilkan pada kecepatan 30 Km/h sebesar 325,032 KN

D. Impact pada kecepatan 100 Km/h

$$I = \Delta P$$

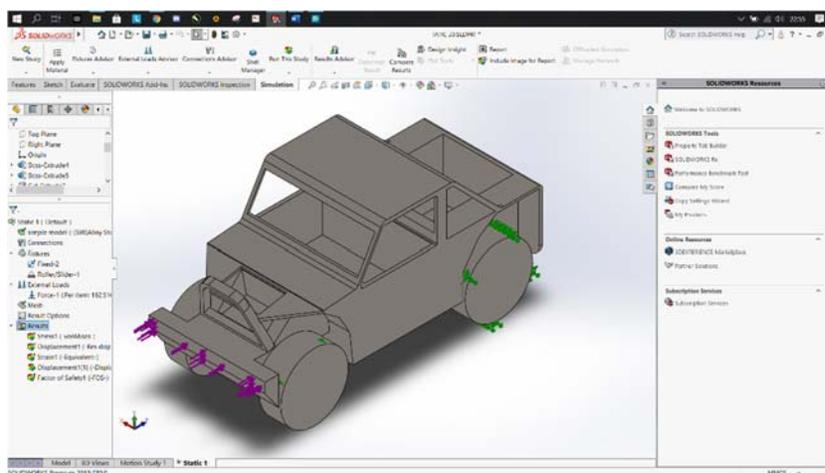
$$F \Delta t = m \Delta V$$

$$F = \frac{m \Delta V}{\Delta t} = \frac{12.556,8 \times 100}{2.31795 \text{ s}} = 541,72 \text{ KN}$$

Sehingga beban *impact* yang dihasilkan pada kecepatan 30 Km/h sebesar 541,72 KN

3.3.2 Hasil *Static Test*

Hasil simulasi beban statik yang telah dilakukan didapat data-data berupa tegangan, regangan, defleksi dan *safety factor* pada setiap kecepatan. berikut penggambaran pada gaya-gaya yang terjadi pada model.



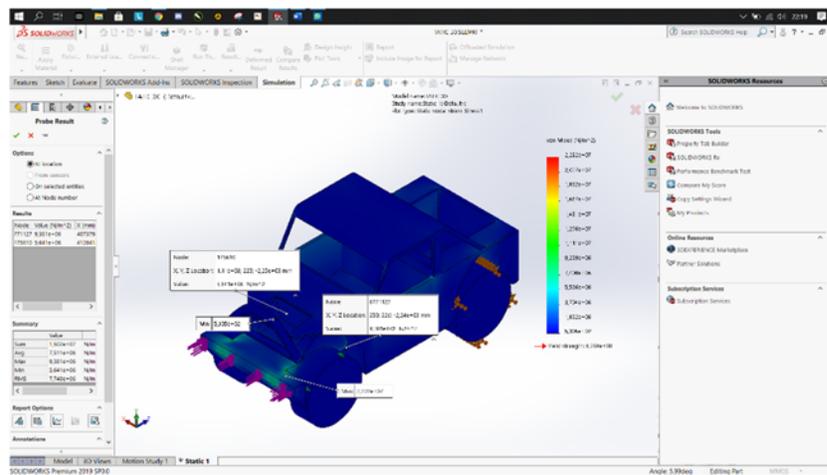
Gambar 3.66 DBB Model pada *Static Test*

(Dokumentasi Pribadi, 2020)

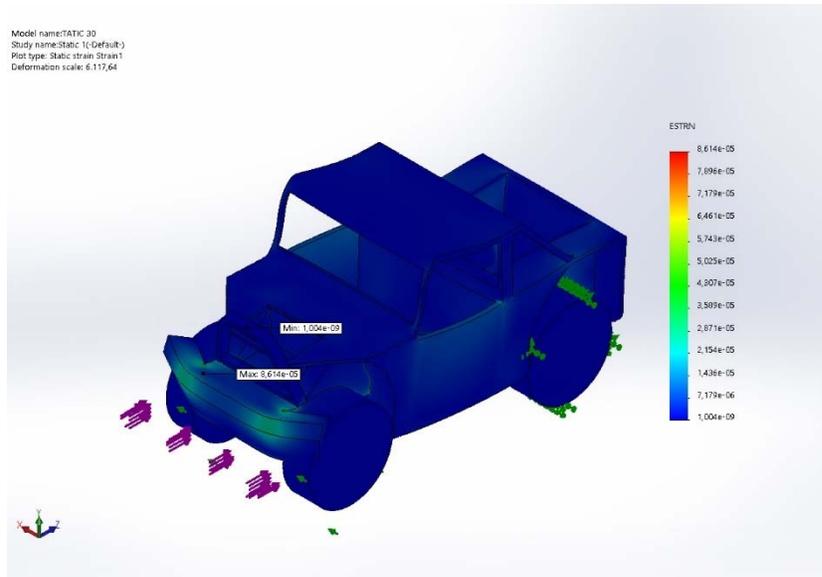
Pada gambar diatas menunjukkan adanya gaya raksi dan tumpuan yang terjadi pada ban mobil. Gaya reaksi yang merupakan beban *impact* yang pada perhitungan menunjukkan hubungan antara beban *impact* dengan kecepatan menunjukkan adanya hukum momentum dan impuls. Tumpuan yang digunakan pada ban depan merupakan tumpuan rol dikarenakan ban tersebut tidak ada rem dibagian tersebut, sedangkan ban belakang mobil menggunakan tumpuan pin karena pada ban belakang terdapat rem.

3.3.3 Hasil *Static Test* pada kecepatan 30 Km/h

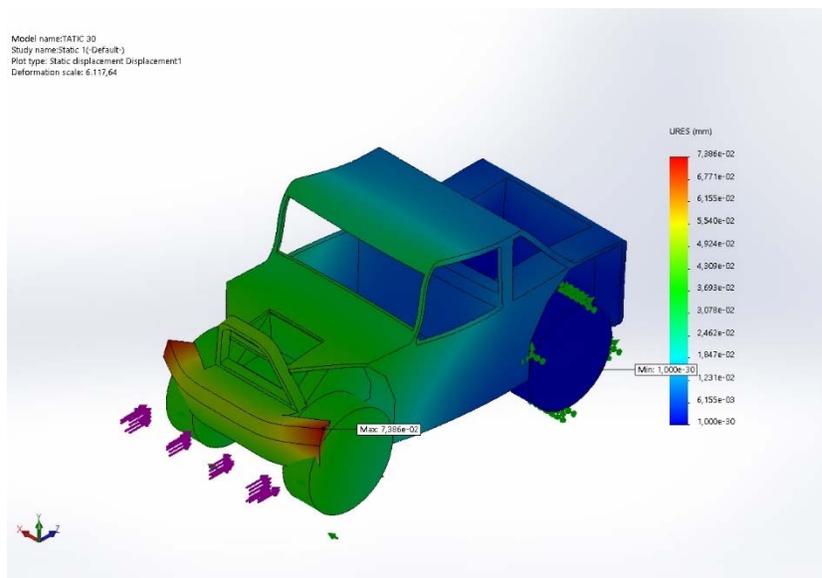
Pada **Gambar 3.67** bisa dilihat tegangan maksimum yang terjadi pada sasis yaitu pada sasis bagian kanan sebesar $9,381 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ dan tegangan maksimum yang terjadi pada sasis yaitu pada sasis bagian kiri sebesar $5,641 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Nilai yang dihasilkan seharusnya sama, akan tetapi terjadi perbedaan dikarenakan adanya dimensi yang berbeda pada model yang dibuat. Perbedaan dimensi ini terdapat pada bagian *crumple zone* dikarenakan ada proses *extrude* yang tidak simetris. Sehingga tegangan yang dihasilkan pada simulasi berbeda antara sasis kanan dan kiri model.



Gambar 3.67 Tegangan Model *Static Test* pada Kecepatan 30 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)



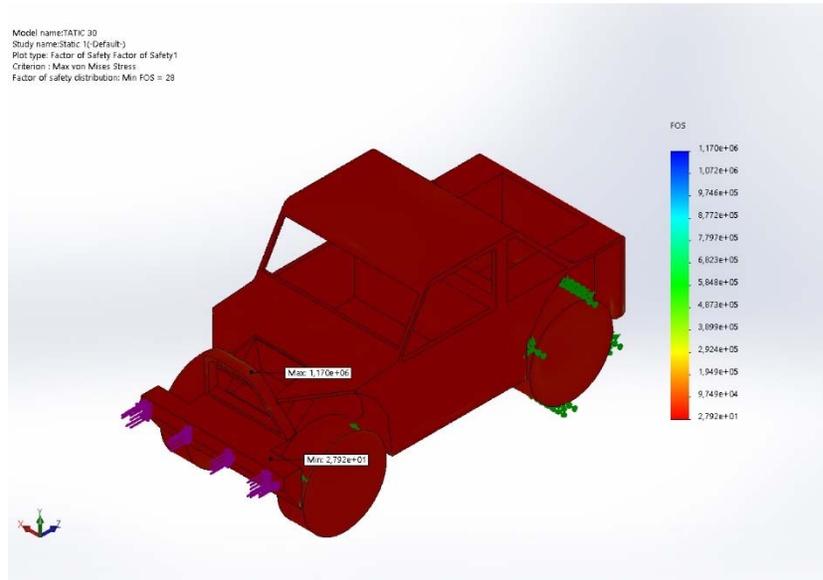
Gambar 3.68 Regangan Model *Static Test* pada Kecepatan 30 Km/h
 (Dokumentasi Pribadi, 2020)



Gambar 3.69 Defleksi Model *Static Test* pada Kecepatan 30 Km/h
 (Dokumentasi Pribadi, 2020)

Pada **Gambar 3.70** bisa dilihat defleksi maksimum yang terjadi pada bagian *bumper* depan sebelah kiri sebesar $7,386 \times 10^{-02}$ mm, karena dimensi pada rangka

roof top sangat tipis mengalami tekanan dua arah dari rangka kap depan dan bak belakang. Sedangkan defleksi minimum terjadi pada sasis bagian ban belakang mobil sebesar 1×10^{-30} mm, dikarenakan pada ban belakang tidak mengalami distribusi tegangan sisa dari hasil pembebanan terjadi.

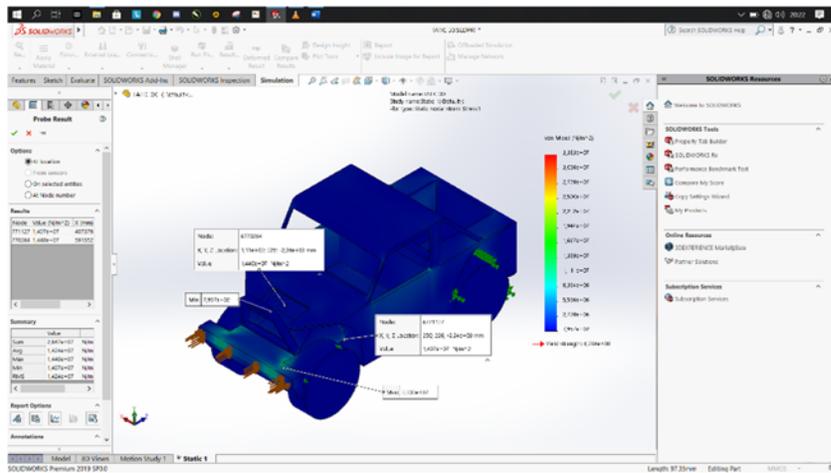


Gambar 3.70 FOS Model *Static Test* pada Kecepatan 30 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

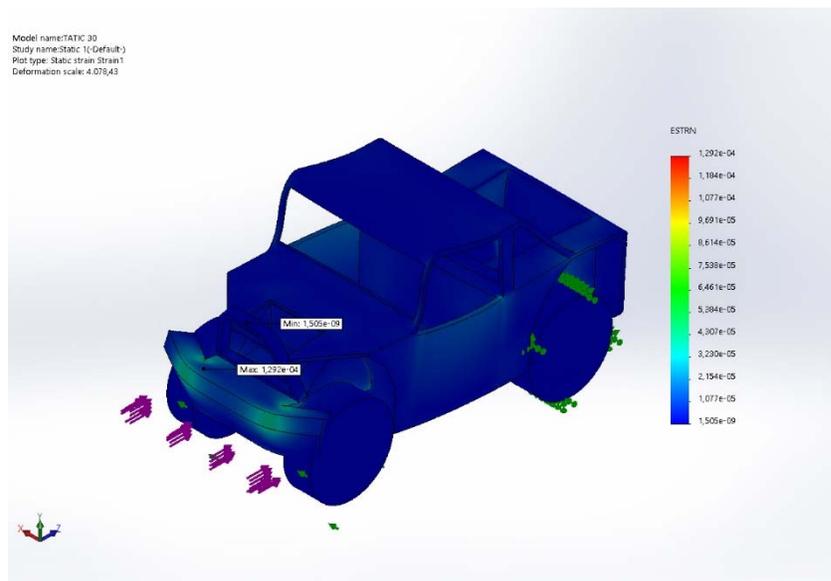
Factor of safety (FOS) yang dihasilkan pada simulasi statik dengan beban *impact* 162.516 N didapatkan FOS maksimum sebesar $1,170 \times 10^6$ serta FOS minimum yang didapatkan dari hasil simulasi yaitu sebesar $2,792 \times 10^1$.

3.3.4 Hasil *Static Test* pada kecepatan 45 Km/h

Pada **Gambar 3.71** bisa dilihat tegangan maksimum yang terjadi pada sasis yaitu pada sasis bagian kanan sebesar $1,440 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ dan tegangan maksimum yang terjadi pada sasis yaitu pada sasis bagian kiri sebesar $1,407 \times 10^7 \text{ N/m}^2$. Nilai yang dihasilkan seharusnya sama, akan tetapi terjadi perbedaan dikarenakan adanya dimensi yang berbeda pada model yang dibuat. Perbedaan dimensi ini terdapat pada bagian *crumple zone* dikarenakan ada proses *extrude* yang tidak simetris. Sehingga tegangan yang dihasilkan pada simulasi berbeda antara sasis kanan dan kiri model.

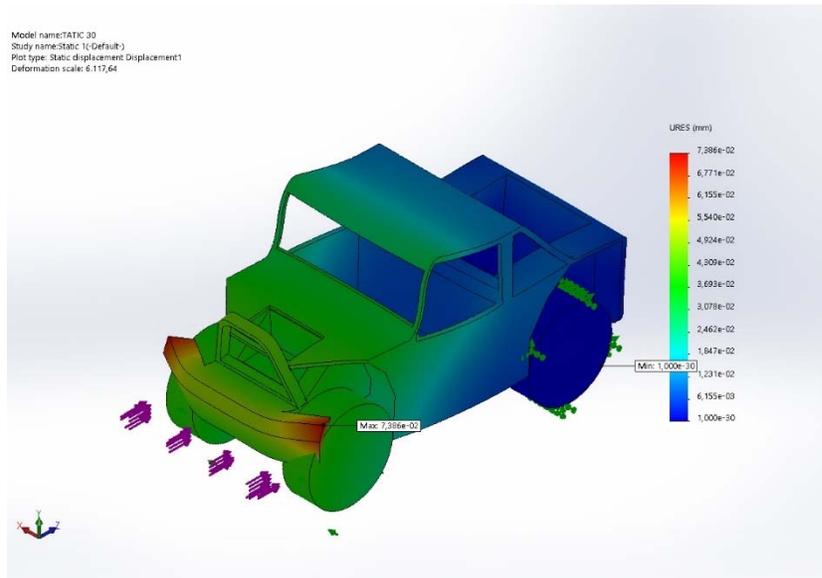


Gambar 3.71 Tegangan Model *Static Test* pada Kecepatan 45 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)



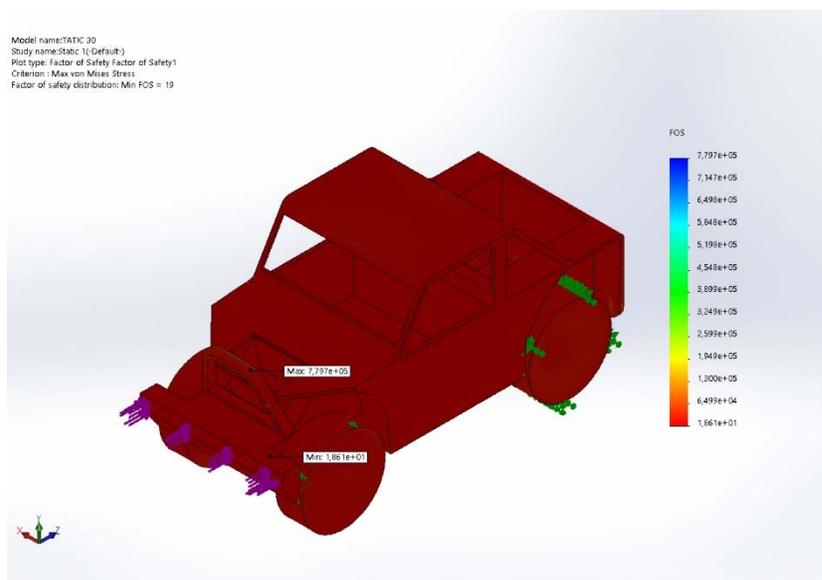
Gambar 3.72 Regangan Model *Static Test* pada Kecepatan 45 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Pada **Gambar 3.73** bisa dilihat defleksi maksimum yang terjadi pada bagian *bumper* depan sebelah kiri sebesar $1,108 \times 10^{-01}$ mm, karena dimensi pada rangka *roof top* sangat tipis mengalami tekanan dua arah dari rangka kap depan dan bak belakang.



Gambar 3.73 Defleksi Model *Static Test* pada Kecepatan 45 Km/h
 (Dokumentasi Pribadi, 2020)

Sedangkan defleksi minimum terjadi pada sasis bagian ban belakang mobil sebesar 1×10^{-30} mm, dikarenakan pada ban belakang tidak mengalami distribusi tegangan sisa dari hasil pembebanan terjadi.

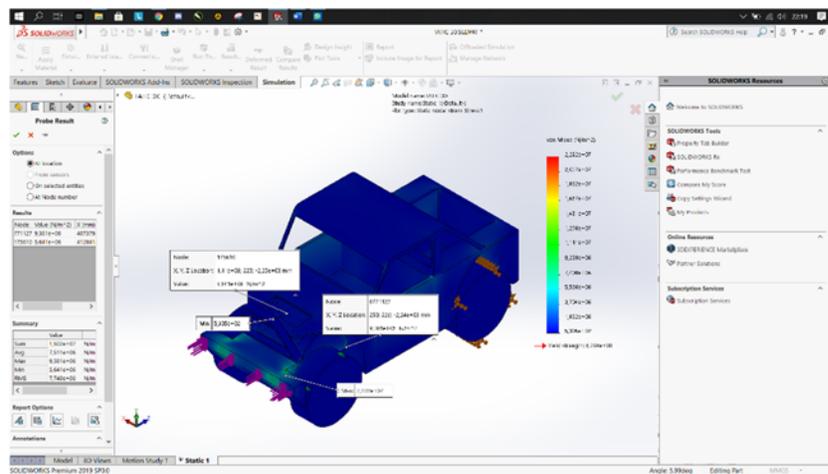


Gambar 3.74 FOS Model *Static Test* pada Kecepatan 45 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

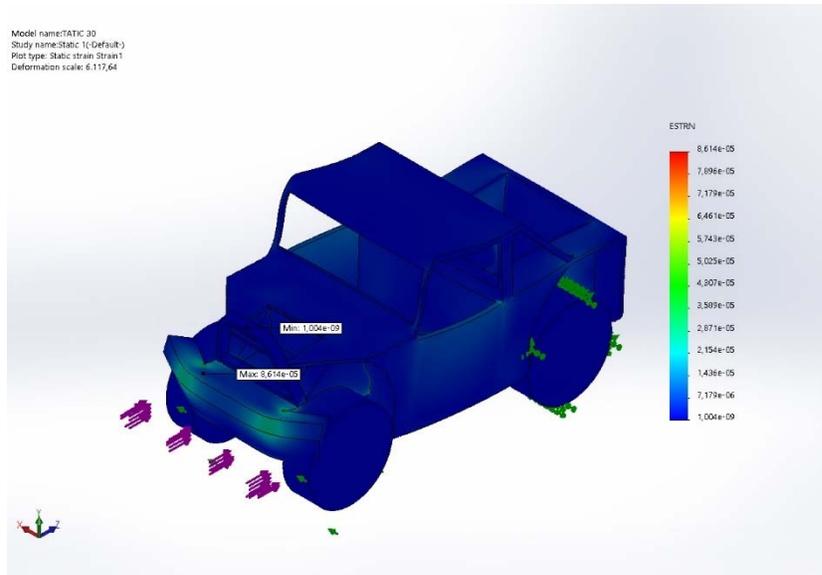
Factor of safety (FOS) yang dihasilkan pada simulasi statik dengan beban *impact* 243.774 N didapatkan FOS maksimum sebesar $7,797 \times 10^5$ serta FOS minimum yang didapatkan dari hasil simulasi yaitu sebesar $1,861 \times 10^1$.

3.3.5 Hasil *Static Test* pada kecepatan 60 Km/h

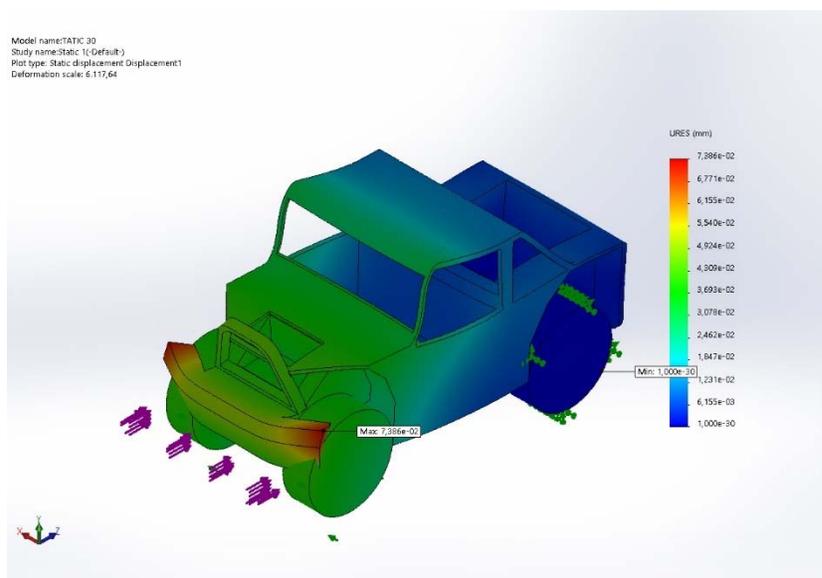
Pada **Gambar 3.75** bisa dilihat tegangan maksimum yang terjadi pada sasis yaitu pada sasis bagian kanan sebesar $1,920 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ dan tegangan maksimum yang terjadi pada sasis yaitu pada sasis bagian kiri sebesar $1,876 \times 10^7 \text{ N/m}^2$. Nilai yang dihasilkan seharusnya sama, akan tetapi terjadi perbedaan dikarenakan adanya dimensi yang berbeda pada model yang dibuat. Perbedaan dimensi ini terdapat pada bagian *crumple zone* dikarenakan ada proses *extrude* yang tidak simetris. Sehingga tegangan yang dihasilkan pada simulasi berbeda antara sasis kanan dan kiri model.



Gambar 3.75 Tegangan Model *Static Test* pada Kecepatan 60 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)



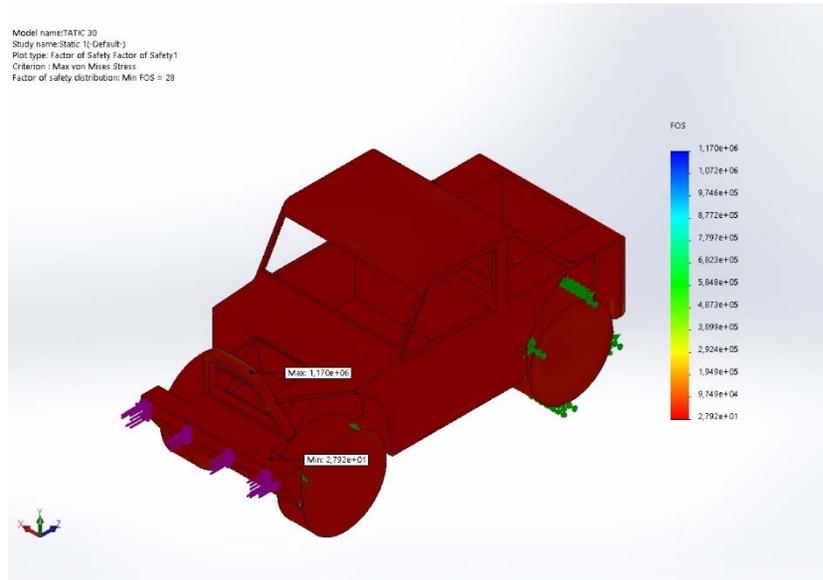
Gambar 3.76 Regangan Model *Static Test* pada Kecepatan 60 Km/h
 (Dokumentasi Pribadi, 2020)



Gambar 3.77 Defleksi Model *Static Test* pada Kecepatan 60 Km/h
 (Dokumentasi Pribadi, 2020)

Pada **Gambar 3.78** bisa dilihat defleksi maksimum yang terjadi pada bagian *bumper* depan sebelah kiri sebesar $1,477 \times 10^{-01}$ mm, karena dimensi pada rangka

roof top sangat tipis mengalami tekanan dua arah dari rangka kap depan dan bak belakang. Sedangkan defleksi minimum terjadi pada sasis bagian ban belakang mobil sebesar 1×10^{-30} mm, dikarenakan pada ban belakang tidak mengalami distribusi tegangan sisa dari hasil pembebanan terjadi.

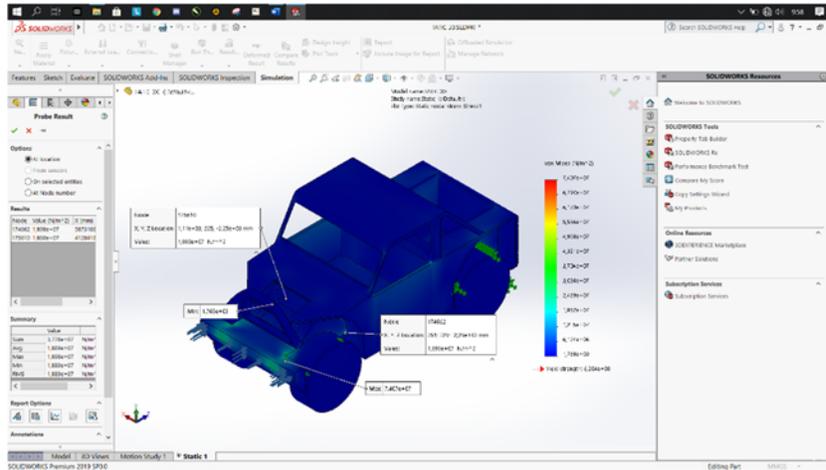


Gambar 3.78 FOS Model *Static Test* pada Kecepatan 60 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

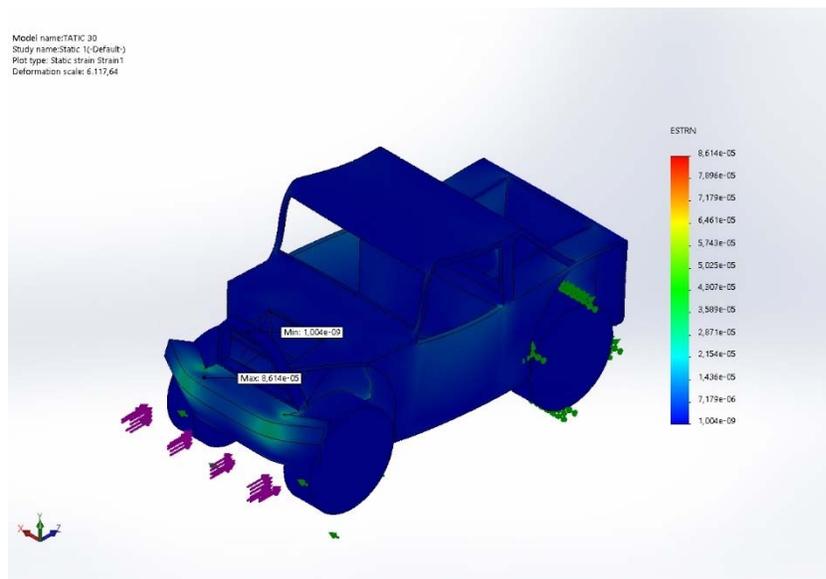
Factor of safety (FOS) yang dihasilkan pada simulasi statik dengan beban *impact* 325.032 N didapatkan FOS maksimum sebesar $5,848 \times 10^5$ serta FOS minimum yang didapatkan dari hasil simulasi yaitu sebesar $1,396 \times 10^1$.

3.3.6 Hasil *Static Test* pada kecepatan 100 Km/h

Pada **Gambar 3.79** bisa dilihat tegangan maksimum yang terjadi pada sasis yaitu pada sasis bagian kanan sebesar $1,880 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ dan tegangan maksimum yang terjadi pada sasis yaitu pada sasis bagian kiri sebesar $1,898 \times 10^7 \text{ N/m}^2$. Nilai yang dihasilkan seharusnya sama, akan tetapi terjadi perbedaan dikarenakan adanya dimensi yang berbeda pada model yang dibuat. Perbedaan dimensi ini terdapat pada bagian *crumple zone* dikarenakan ada proses *extrude* yang tidak simetris. Sehingga tegangan yang dihasilkan pada simulasi berbeda antara sasis kanan dan kiri model.



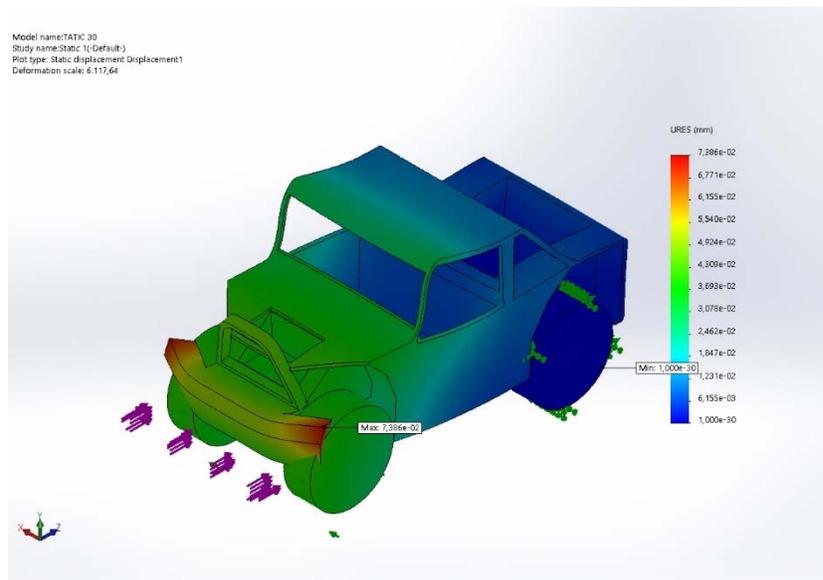
Gambar 3.79 Tegangan Model *Static Test* pada Kecepatan 100 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)



Gambar 3.80 Regangan Model *Static Test* pada Kecepatan 100 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

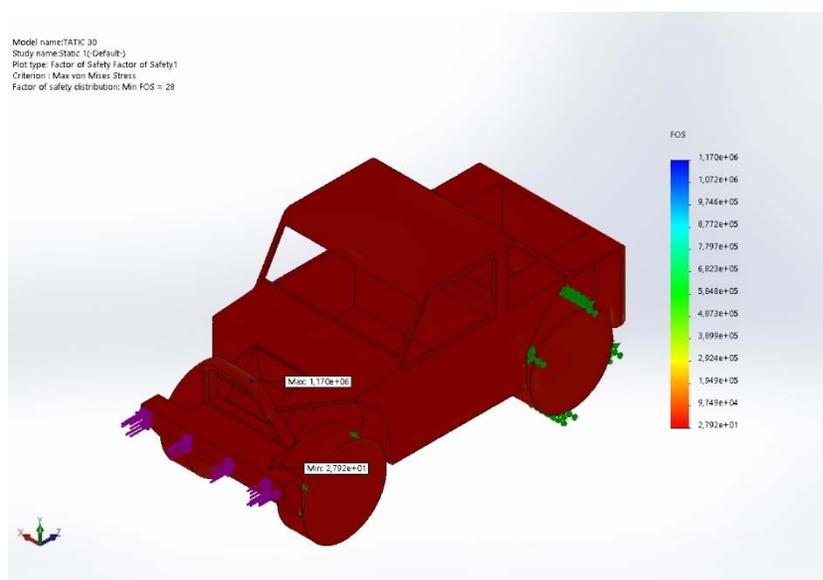
Pada **Gambar 3.81** bisa dilihat defleksi maksimum yang terjadi pada bagian *bumper* depan sebelah kiri sebesar $2,462 \times 10^{-01}$ mm, karena dimensi pada rangka *roof top* sangat tipis mengalami tekanan dua arah dari rangka kap depan dan bak

belakang.



Gambar 3.81 Defleksi Model *Static Test* pada Kecepatan 100 Km/h
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Sedangkan defleksi minimum terjadi pada sasis bagian ban belakang mobil sebesar 1×10^{-30} mm, dikarenakan pada ban belakang tidak mengalami distribusi tegangan sisa dari hasil pembebanan terjadi.



Gambar 3.82 FOS Model *Static Test* pada Kecepatan 100 Km/h

(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Factor of safety (FOS) yang dihasilkan pada simulasi statik dengan beban *impact* 541.720 N didapatkan FOS maksimum sebesar $3,509 \times 10^5$ serta FOS minimum yang didapatkan dari hasil simulasi yaitu sebesar $8,367 \times 10^1$.

3.4 Data Hasil Pengujian

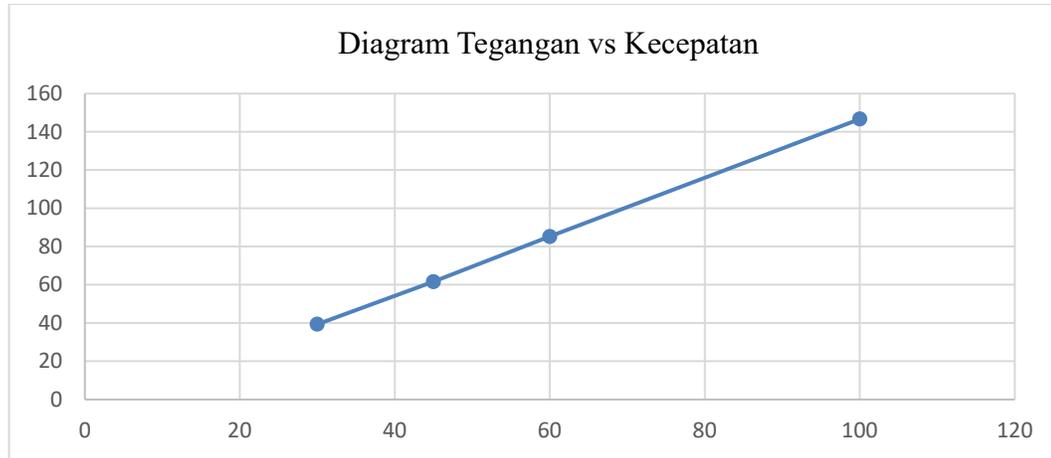
Adapun rangkuman data yang telah diperoleh dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

3.4.1 Data Hasil Simulasi pada Model

Tabel 3.5 Data Hasil Simulasi pada Model

NO	Kecepatan Km/h	Tegangan Max Model $\times 10^8$ (N/m^2)	Defleksi Max Model (mm)	Regangan Max Model $\times 10^{-2}$	SF (<i>Safety Factor</i>)
1	30	39,36	21,04	0,8504	0,1576219
2	45	61,61	31,38	1,286	0,1006979
3	60	85,24	41,65	1,716	0,0727827
4	100	146,7	68,47	2,702	0,0422904

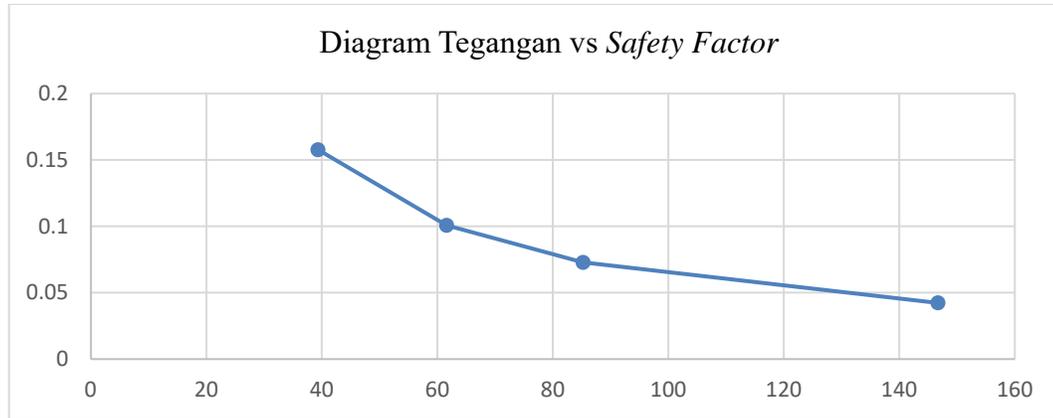
Berdasarkan hasil yang diperoleh, berikut **Gambar 3.83** diagram tegangan vs kecepatan yang menunjukkan hubungan antara tegangan yang terjadi terhadap kecepatan. Pada diagram dibawah bisa dilihat bahwa pada tabrakan terjadi tegangan yang berbeda pada kecepatan 30 Km/h dengan tegangan sebesar $39,36 N/m$, kecepatan 45 Km/h dengan tegangan sebesar $61,61 N/m$, kecepatan 60 Km/h dengan tegangan sebesar $85,24 N/m$, kecepatan 100 Km/h dengan tegangan sebesar $146,7 N/m$.



Gambar 3.83 Diagram tegangan vs kecepatan pada model

Pada diagram yang telah dijelaskan dapat disimpulkan bahwa tegangan yang terjadi semakin besar pada model yang dilakukan uji tabrak, maka keamanan model yang digunakan juga akan menurun sesuai dengan besar tegangan yang terjadi pada saat tabrakan terjadi. Sehingga bisa disimpulkan bahwa tegangan yang terjadi pada suatu benda berbanding lurus dengan kecepatan yang diberikan.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, berikut **Gambar 3.84** diagram tegangan vs *safety factor* yang menunjukkan hubungan antara tegangan yang terjadi terhadap faktor keamanan (*safety factor*). Pada diagram dibawah bisa dilihat bahwa pada tabrakan terjadi tegangan yang berbeda pada kecepatan 30 km/h tegangan sebesar 39,36 N/m didapatkan SF 0,157, kecepatan 45 km/h dengan tegangan sebesar 61,61 N/m didapatkan SF 0,1, kecepatan 60 km/h dengan tegangan sebesar 85,24 N/m didapatkan SF 0,073, kecepatan 100 km/h dengan tegangan sebesar 146,7 N/m didapatkan SF 0,042. Hasil tersebut juga dijelaskan pada persamaan (3.7) yang digunakan bahwa adanya hubungan berbanding terbalik antara tegangan dengan faktor keamanan. Bahwa karena semakin tinggi tegangan yang terjadi pada suatu tabrakan, maka semakin rendah keamanan model tersebut akibat semakin besar kerusakan yang terjadi.



Gambar 3.85 Diagram Tegangan vs *Safety Factor* pada Model

Pada diagram yang telah dijelaskan dapat disimpulkan bahwa tegangan yang terjadi semakin besar pada model yang dilakukan uji tabrak, maka keamanan model yang digunakan juga akan menurun sesuai dengan besar tegangan yang terjadi pada saat tabrakan terjadi. Sehingga bisa disimpulkan bahwa tegangan yang terjadi pada suatu benda berbanding terbalik dengan *safety factor* yang dihasilkan.

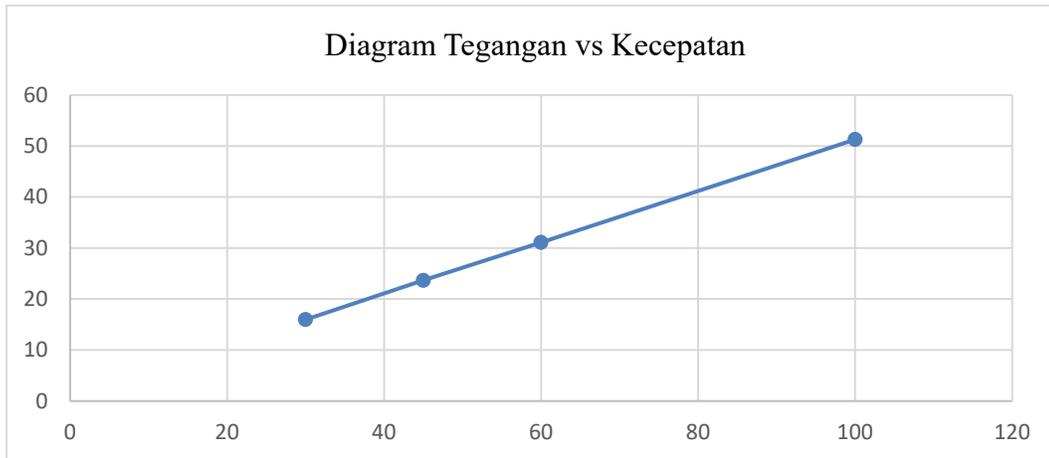
3.4.2 Data Hasil Simulasi pada Sasis Depan

Tabel 3.6 Data Hasil Simulasi pada Sasis Depan

NO	Kecepatan Km/h	Tegangan Yield x 10 ⁸ (N/m ²)	Tegangan Max Sasis Depan x 10 ⁸ (N/m ²)	SF (<i>Safety Factor</i>)
1	30	6,204	15,98	0,388235
2	45	6,204	23,66	0,262214
3	60	6,204	31,09	0,199549
4	100	6,204	51,29	0,120959

Berdasarkan hasil yang diperoleh, berikut gambar diagram tegangan vs kecepatan yang menunjukkan hubungan antara tegangan yang terjadi terhadap kecepatan. Pada diagram dibawah bisa dilihat bahwa pada tabrakan terjadi tegangan yang berbeda pada kecepatan 30 Km/h tegangan sebesar 15,98 N/m didapatkan SF

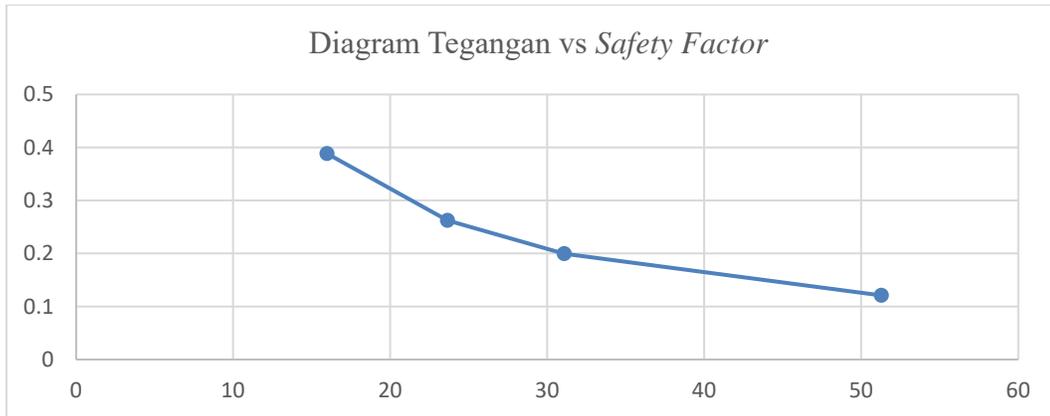
0,388, kecepatan 45 Km/h tegangan sebesar 23,66 N/m didapatkan SF 0,262, kecepatan 60 Km/h tegangan sebesar 31,09 N/m didapatkan SF 0,199, kecepatan 100 Km/h tegangan sebesar 51,29 N/m didapatkan SF 0,121.



Gambar 3.86 Diagram Tegangan vs Kecepatan pada Sasis Depan

Pada diagram yang telah dijelaskan dapat disimpulkan bahwa tegangan yang terjadi semakin besar pada model yang dilakukan uji tabrak, maka keamanan model yang digunakan juga akan menurun sesuai dengan besar tegangan yang terjadi pada saat tabrakan terjadi. Sehingga bisa disimpulkan bahwa tegangan yang terjadi pada suatu benda berbanding lurus dengan kecepatan yang diberikan.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, berikut gambar diagram tegangan vs *safety factor* yang menunjukkan hubungan antara tegangan yang terjadi terhadap faktor keamanan (*safety factor*). Pada diagram dibawah bisa dilihat bahwa pada tabrakan terjadi tegangan yang berbeda pada kecepatan 30 Km/h tegangan sebesar 15,98 N/m didapatkan SF 0,388, kecepatan 45 Km/h tegangan sebesar 23,66 N/m didapatkan SF 0,262, kecepatan 60 Km/h tegangan sebesar 31,09 N/m didapatkan SF 0,199, kecepatan 100 Km/h tegangan sebesar 51,29 N/m didapatkan SF 0,121. Hasil tersebut juga dijelaskan pada persamaan (3.7) yang digunakan bahwa adanya hubungan berbanding terbalik antara tegangan dengan faktor keamanan. Bahwa karena semakin tinggi tegangan yang terjadi pada suatu tabrakan, maka semakin rendah keamanan model tersebut akibat semakin besar kerusakan yang terjadi.



Gambar 3.87 Diagram Tegangan vs *Safety Factor* pada Sasis Depan

Pada diagram yang telah dijelaskan dapat disimpulkan bahwa tegangan yang terjadi semakin besar pada model yang dilakukan uji tabrak, maka keamanan model yang digunakan juga akan menurun sesuai dengan besar tegangan yang terjadi pada saat tabrakan terjadi. Sehingga bisa disimpulkan bahwa tegangan yang terjadi pada suatu benda berbanding terbalik dengan *safety factor* yang dihasilkan.

3.4.3 Data Hasil Perhitungan Beban *Impact*

Tabel 3.7 Data Hasil Perhitungan Beban *Impact*

NO	Kecepatan Km/h	Beban <i>Impact</i> (KN)
1	30	162,516
2	45	243,774
3	60	325,032
4	100	541,72

Berdasarkan hasil yang diperoleh sesuai perhitungan dengan massa 12.556,8 Kg serta waktu tempuh selama 2,31795 sekon. Pada tabel diatas bisa diketahui beban *impact* yang dihasilkan pada setiap kecepatan yaitu pada kecepatan 30 ^{Km/h} beban *impact* yang terjadi sebesar 162,516 KN, kecepatan 45 ^{Km/h} beban *impact* yang terjadi sebesar 243,774 KN, kecepatan 60 ^{Km/h} beban *impact* yang terjadi sebesar 325,032 KN, kecepatan 100 ^{Km/h} beban *impact* yang terjadi sebesar 541,72 KN.

3.4.4 Data Hasil *Static Test*

Tabel 3.8 Data Hasil Simulasi pada Model

NO	Kecepatan Km/h	Tegangan Max Model $\times 10^7$ (N/m^2)	Defleksi Max Model (mm)	Regangan Max Model $\times 10^{-4}$	SF (<i>Safety Factor</i>)
1	30	2,222	21,04	0,8614	27,92
2	45	3,333	11,08	1,292	18,61
3	60	4,444	14,77	1,723	13,96
4	100	7,407	24,62	2,871	8,376

Berdasarkan hasil yang diperoleh sesuai perhitungan dengan massa 12.556,8 Kg serta waktu tempuh selama 2,31795 sekon. Pada tabel diatas bisa diketahui beban *impact* yang dihasilkan pada setiap kecepatan yaitu pada kecepatan 30 Km/h beban *impact* yang terjadi sebesar 162,516 KN, kecepatan 45 Km/h beban *impact* yang terjadi sebesar 243,774 KN, kecepatan 60 Km/h beban *impact* yang terjadi sebesar 325,032 KN, kecepatan 100 Km/h beban *impact* yang terjadi sebesar 541,72 KN.

3.5 Analisis

Simulasi tabrakan pada mobil listrik telah dilakukan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kerusakan tidak terjadi secara signifikan pada bagian sasis depan. Dapat dilihat pada gambar bahwa tegangan terbesar pada sasis bagian depan pada kecepatan 30 Km/h sebesar $15,98 \times 10^8 \text{ N}/\text{m}^2$, 45 Km/h sebesar $23,66 \times 10^8 \text{ N}/\text{m}^2$, 60 Km/h sebesar $31,09 \times 10^8 \text{ N}/\text{m}^2$, 100 Km/h sebesar $51,29 \times 10^8 \text{ N}/\text{m}^2$,

Sehingga didapatkan analisis pada sasis depan hasil simulasi menggunakan *solidworks* yaitu:

1. Pada saat tabrakan, hal yang perlu diperhatikan yaitu besarnya tegangan yang terjadi pada saat proses tumbukan *impact* terjadi. dikarenakan tegangan berbanding lurus dengan kecepatan yang diberikan, sehingga semakin tinggi

tegangan mengakibatkan keamanan mobil semakin rendah begitu juga sebaliknya semakin rendah tegangan yang terjadi maka keamanan pada mobil semakin tinggi.

2. Perbedaan harga antara FOS pada *drop test* dengan *static test* yang dihitung setelah disimulasikan melalui *solidworks* yaitu diakibatkan perbedaan antara kondisi pada saat mobil sedang berjalan dengan kecepatan tertentu dan mobil dalam keadaan diam. Hal ini diakibatkan pengaruh dari perbedaan gaya-gaya yang terjadi antara simulasi *drop test* dan *static test*.

BAB IV

RANCANG BANGUN MOBIL LISTRIK SERGAP SENYAP

4.1 Chasis

- **Stress Analysis Beban pada Casis**

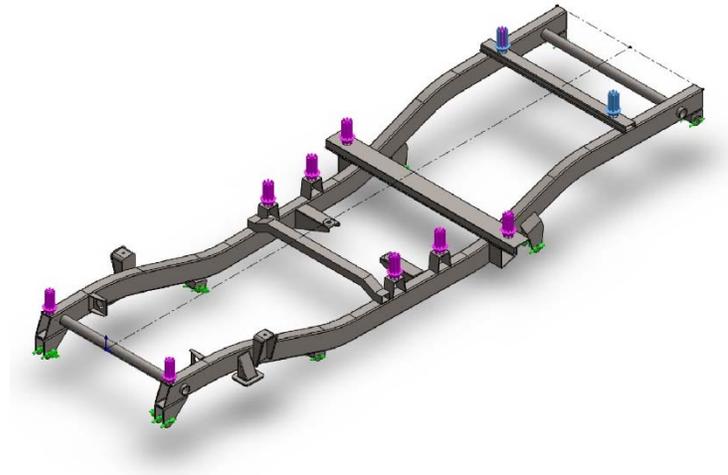
Analisis tegangan (*Stess Analysis*) pada chasis kendaraan bertujuan untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada chasis jika beban-beban diberikan pada kendaraan tersebut. Analisis tegangan pada kendaraan kendaraan listrik menggunakan perangkat lunak solidwork sebagai untuk mengetahui parameter-parameter seperti tegangan maksimum, defleksi maksimum, faktor of safety (FOS) dan sebagainya.

Stress analisis beban pada chasis diambil beberapa asumsi yaitu beban diasumsikan beban statik (diam) yang meliputi beban batree, beban penumpang dan beban kendaraan itu sendiri. bebean tersebut terdistribusi merata pada mounting body kendaraan, dan beban batre ditambahkan pada mounting body paling belakang. Besar Beban-beban pada chasis tersebut meliputi beban keseluruhan body tanpa batre sebesar 2 ton (**19613 N**) dan beban batre maksimum diasumsikan sebesar 500 kg (**4905 N**).

Tabel 4.1 Beban Akibat Berat pada Kendaraan

Beban Berat pada kendaraan	Jumlah Beban	
berat body (Wb)	800 kg	7848N
berat penumpang (Wp)	1200kg	11772N
berat batre (Bbt)	500 kg	4905 N
berat casis (Wc)	105 kg	1030 N
berat total (Wg)	2605kg	25555N

Kemudian chasis ditumpu pada pin-pin suspensi kendaraan, dimana pin tersebut menumpu pada sisi tekan yang terbebani (bearing pressure). Material chasis yang dipakai adalah **AISI 1020 Steel, Cold Rolled, dengan Yield strength sebesar 350 MPa dan Tensile strength 420 MPa serta Elastic modulus 205 Gpa.**



Gambar 4.1 Beban-bekan pada Chasis Kendaraan

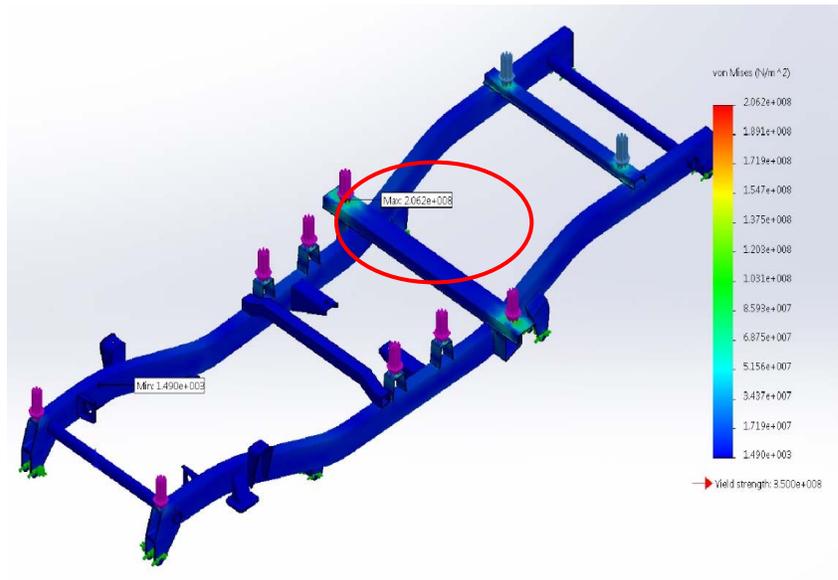
Meshing pada Analisis tegangan chasis dipilih bentuk heksagonal dengan kehalusan baik dan daerah dimana kerapatan mesh diatur secara otomatis oleh perangkat lunak tersebut. Jumlah elemen mesh sebanyak 122556 dan node 241035. Kerapatan mesh telah cukup baik untuk mendapatkan daerah yang terjadi konsentrasi tegangan pada chasis tersebut.



Gambar 4.2 Kearapatan Meshing pada Chasis

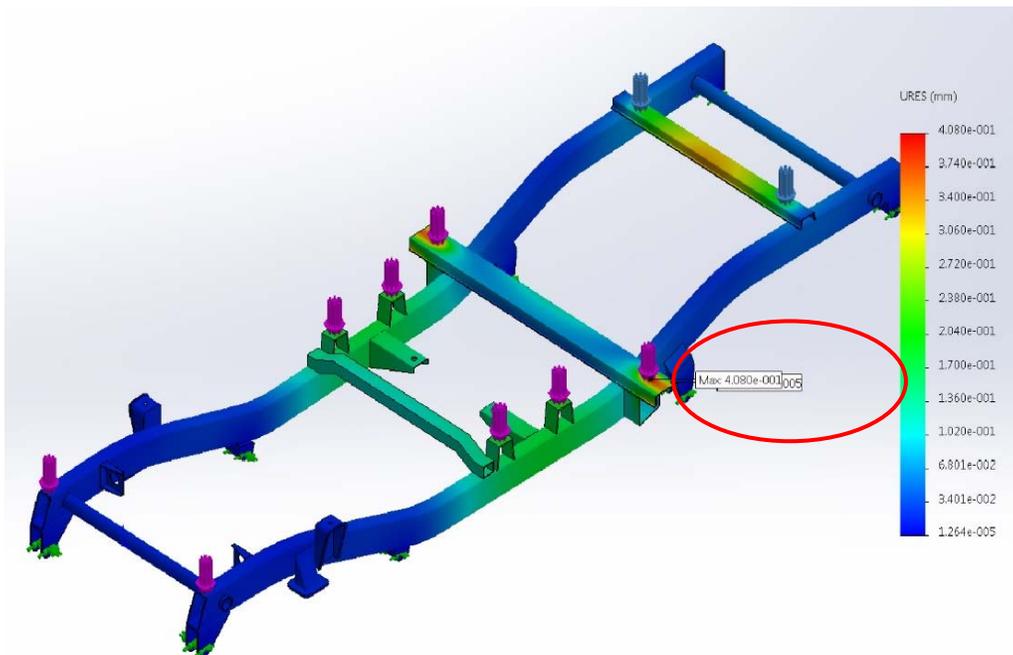
Dari hasil analisi didapatkan tegangan von mises maksimum sebesar 206,2 MPa pada Node: 55510, seperti terlihat pada gambar dibawah. tegangan maksimum terjadi pada tumpuan plat tengah yang tertumpu pada chasis, sehingga komponen chasis masih dibawah tegangan tersebut. Tegangan tersebut masih dibawah tegangan yield strength material serta safety factor sebesar 1.697 sehingga masih aman

digunakan pada chasis.



Gambar 4.3 Tegangan Von Misses yang Terjadi pada Chasis

Defleksi maksimum hasil analisis yang terjadi sebesar 0.408 mm pada Node: 143544, seperti terlihat pada gambar dibawah. defleksi maksimum terjadi pada plat tengah yang menumpu pada chasis, namun defleksi pada komponen utama chasis masih dibawah 0,2 mm sehingga defleksi tersebut masih cukup baik.



Gambar 4.4 Defleksi yang Terjadi pada Chasis

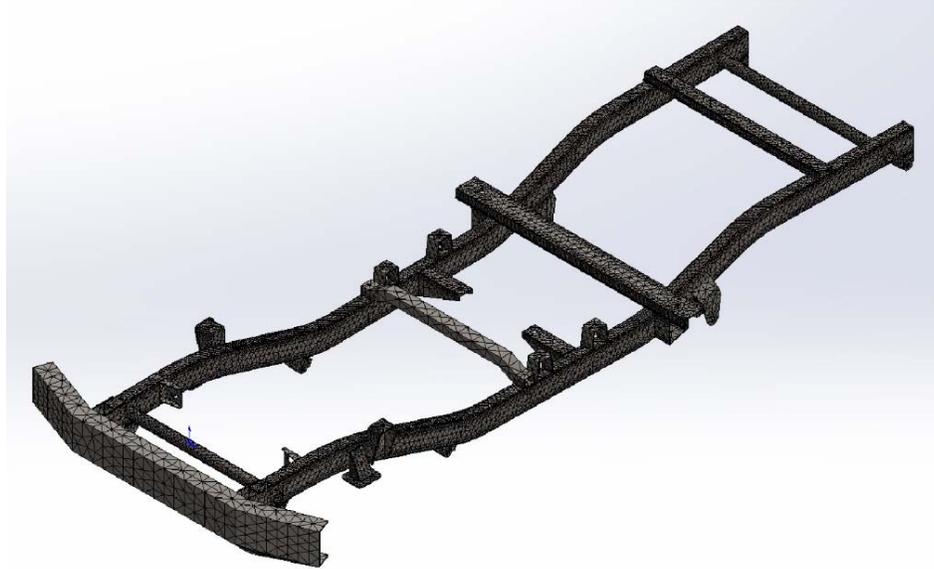
- **Stress Analisis Saat Tabrakan**

Analisis tegangan yang terjadi pada saat tabrakan diperlukan untuk mengetahui komponen atau daerah dimana saja yang akan terjadi failure atau kegagalan, sehingga dapat dilihat bagaimana dampak yang terjadi pada chasis keseluruhan. Parameter yang penting seperti distribusi tegangan yang terjadi dan distribusi defleksi yang terjadi pada chasis. Analisis ini diharapkan dapat diketahui komponen yang pertama gagal atau failure, serta perambatan kegagalan yang terjadi pada chasis dimana beban tumbukan diberikan.

Analisis tegangan pada saat tabrakan akan dilakukan dalam 3 kecepatan yaitu pada kecepatan 100 km/jam, 80 km/jam dan 60 km/jam. Gaya tabrakan yang terjadi pada chasis dihitung berdasarkan dari teori momentum suatu benda pejal, dimana berat dan kecepatan kendaraan menjadi parameter yang menjadi faktor utama besar gaya tumbukan atau tabrakan yang terjadi.

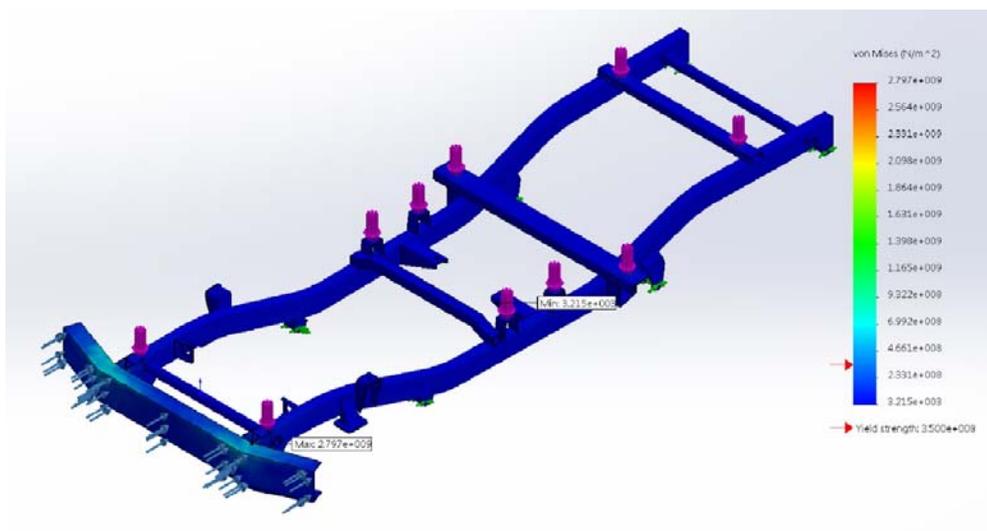
Dalam Analisis tegangan saat tabrakan terdapat beberapa asumsi, sumsi tersebut untuk menyederhanakan gaya-gaya yang terjadi pada chasis tersebut. Pada saat tabrakan terjadi gaya-gaya dinamik yang terjadi pada chasis tersebut, namun pada analisis diasumsi gaya tumbukan terjadi secara merata pada bumper depan kendaraan dan analisis dilakukan secara statik. Gaya tubrukan/tumbukan tersebut merupakan gaya akibat momentum kendaraan sebesar $P=m.v$ dan waktu saat tumbukan didapatkan dari regulasi jarak aman kendaraan pada kecepatan tertentu sebelum terjadi tabrakan.

Meshing pada chasis kendaraan dipilih bentuk kehalusan baik dan daerah dimana kerapatan mesh diatur secara otomatis oleh perangkat lunak tersebut. meshing menghasilkan Jumlah elemen sebanyak 135947 dan 266509 node.



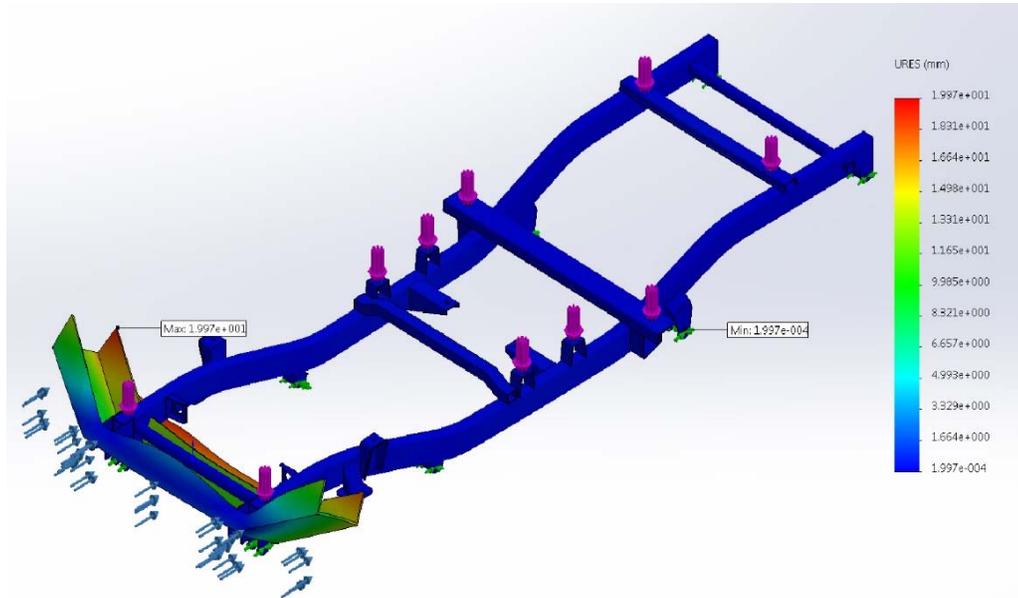
Gambar 4.5 Kerapatan Meshing pada Chasis

Dari hasil analisis tegangan didapatkan tegangan maksimum pada kecepatan 100 km/jam sebesar 2797 MPa , kecepatan 80 km/jam sebesar 2387 MPa dan pada kecepatan 60 km/jam sebesar 2014 MPa. Tegangan maksimum terjadi pada bagian bumper depan bagian sambungan sisi depan dan pinggir yang terkena tumbukan. Tegangan yang terjadi lebih besar dari tegangan ijin material yaitu 350 MPa sehingga pada kecepatan 60 km/jam sampai 100 km/jam bumper depan akan mengalami kerusakan atau failure. Namun pada chasis utama tegangan masih dibawah tegangan ijin sehingga kerusakan pada chasis tidak terlalu besar.



Gambar 4.6 Tegangan von Misses yang Terjadi pada Chasis Saat Tabrakan

Defleksi yang terjadi maksimum terjadi pada bumper bagian samping, dimana bumper tersebut menalami kerusakan akibat gaya tabrakan. Pada kecepatan 100 km/jam defleksi pada bumper sebesar 19.97 mm, pada kondisi tersebut bumper depan mengalami defleksi plastis, begitu juga Pada kondisi kecepatan 60km/jam dan 80 km/jam. Pada bagian chasis defleksi masih dibawah 2 mm, dan jauh dari nilai $L/750$, sehingga relatif masih kondisi baik.



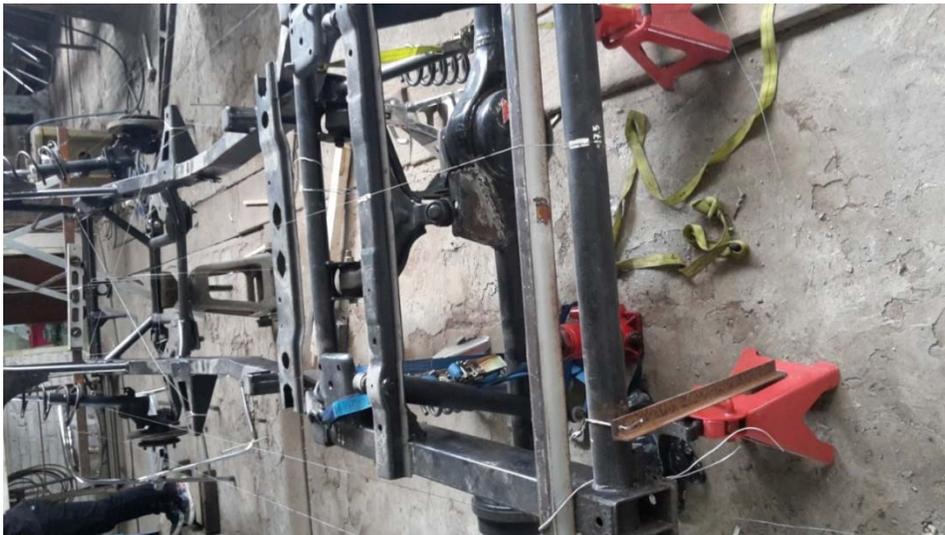
Gambar 4.7 Defleksi yang Terjadi pada Chasis Saat Tabrakan

Berikut tegangan dan defleksi untuk setiap kecepatan pada kendaraan terjadi pada beberapa kondisi kecepatan kendaraan pada saat terjadi tubrukan. Semakin besar kecepatan kendaraan pada saat tubrukan maka semakin besar gaya dan tegangan. Kerusakan chasis terjadi lebih dominan terjadi pada bumper depan, di indikasikan terjadi defleksi elastis dan kegagalan/failure pada daerah bumper tersebut.

Tabel 4.2 Tegangan Maksimum dan Defleksi Maksimum pada Saat Tubrukan

Parameter	Kecepatan (V)					
	100	km/jam	80	km/jam	60	km/jam
jarak aman berkendara (S)	80	m	60	m	40	m
perubahan kecepatan (Δt)	2.88	s	2.70	s	2.40	s
Momentum (p)	72361	N.s	57889	N.s	43417	N.s
gaya saat tabrakan (F)	25125	N	21440	N	18090	N
Tegangan Von Mises Maks (MPa)	2797	MPa	2387	MPa	2014	MPa
defleksi (mm)	19.97	mm	17.04	mm	14.38	mm

Chasis yang digunakan adalah kombinasi antara lader frame dengan tubular.



Gambar 4.8



Gambar 4.9



Gambar 4.10



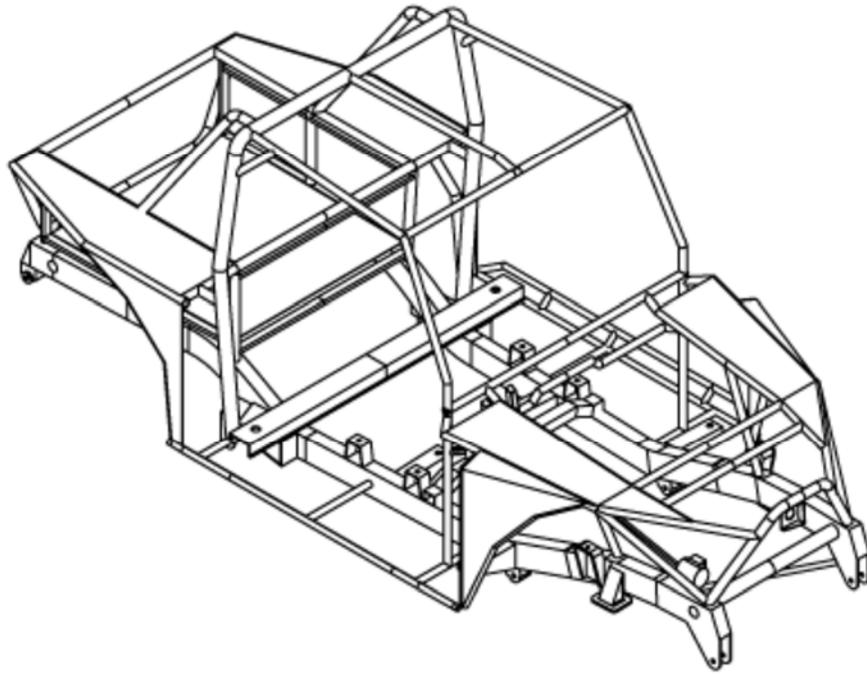
Gambar 4.11



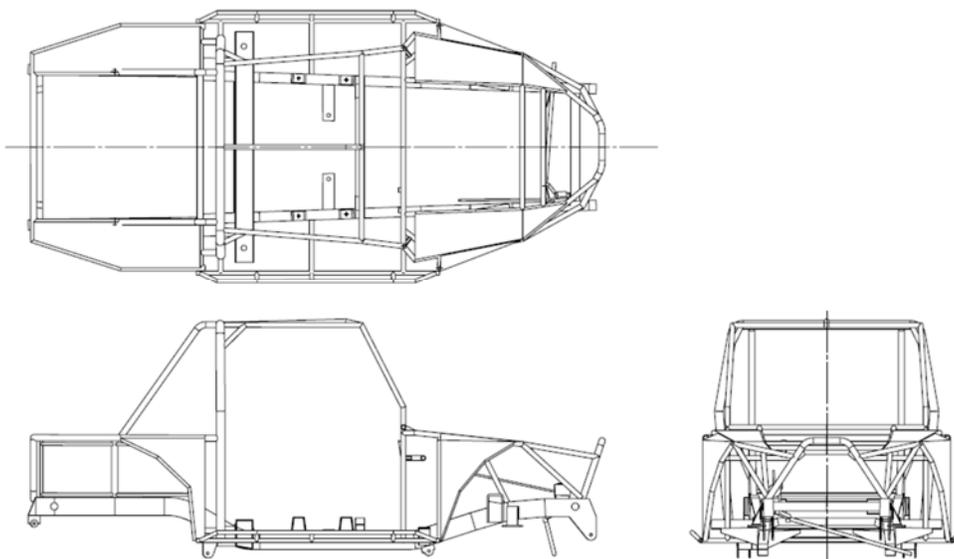
Gambar 4.12

Gambar Foto-foto Chasis Lader Frame

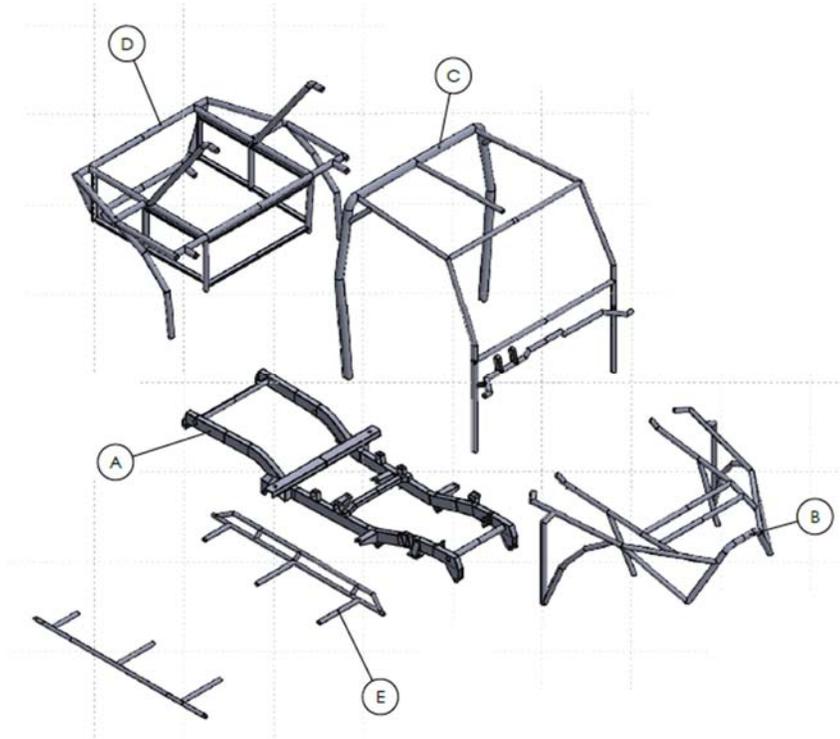
Sedangkan rencana chasis tubular dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 4.13



Gambar 4.14



Gambar 4.15

Gambar Rencana Gabungan Chasis Lader dan Tubulan

4.2 Body

Proses ini dimulai dengan penerimaan material-material body mobil dengan design yang telah direncanakan sesuai dengan kebutuhan, sehingga tepat guna dan berlaku secara komersial. Untuk menghasilkan komponen body mobil yang berkualitas tinggi diperlukan presisi yang tinggi dan bahan dasar berkualitas tinggi.

4.2.1 Proses

- **Welding**

Pada bagian ini, part-part mobil yang sudah dipres digabung menjadi sebuah kerangka mobil melalui suatu pengelasan yang menggunakan alat spot welder. Proses welding merupakan proses pembuatan body kendaraan melalui beberapa tahapan proses seperti body welding, metal finishing, dan frame welding.

- **Proses Body Welding**

Pembuatan body kendaraan dimulai dengan pembentukan beberapa jenis sub assy panel sampai menjadi panel utuh. Pembentukan dilakukan dengan

menggunakan peralatan welding gun dengan metode las titik (spot welding), las brazing (oxy-acetilene), las argon dan las CO₂, selain itu terdapat pula proses hammering (pelipatan sisi plat untuk jenis pintu).

Setelah panel terbentuk, maka langkah selanjutnya adalah menggabungkan beberapa panel yang telah menjadi utuh. Proses yang dilakukan sebagai berikut:

- Proses persiapan sub assy: front floor, rear floor, panel dash, engine compartment, under body, front and rear door RH/LH dan body side RH/LH.
- Proses main body: penggabungan beberapa panel mulai dari under body assy, body assy, dan roof menjadi sebagian body.
- Proses fitting: pemasangan beberapa panel seperti, engine door, back door, front/rear door dan fender sehingga terbentuklah body kendaraan secara utuh.

Setelah body kendaraan terbentuk maka body diteruskan ke proses metal finish. Pada proses ini dikerjakan penggerindaan, pengamplasan, dan perbaikan panel body kendaraan ex proses body welding.

4.2.2 Proses Metal Finishing

Pengamplasan di metal finish terdiri dari 3 tahap, yaitu:

1. Gerinda batu kasar, untuk memperbaiki bekas las CO₂, las kuningan dan spot tajam.
2. Gerinda sandisc, untuk menghaluskan ex gerinda batu.
3. Amplas, untuk menghaluskan bekas gerinda. Setelah mengalami proses ini, maka proses selanjutnya adalah persiapan proses painting. Proses Frame Welding Dalam proses ini dikerjakan pemasangan kerangka/chassis kendaraan. Proses ini menggunakan peralatan las CO₂. Setelah frame terbentuk, maka proses selanjutnya adalah persiapan Black Dipping Chassis (pencelupan cat hitam). Dampak lingkungan yang ada sama dengan proses body welding. Tahapan proses welding antara lain, pos sub jig, pos main jig, pos roll in, pos inspeksi (pengecekan), proses pencucian, oven, pendinginan, black dipping, penirisan, dll.

Pada proses ini dilakukan penutupan sambungan plat-plat metal body dengan menggunakan karet sintetik, yaitu terolan dengan tujuan agar tidak terjadi kebocoran pada mobil saat hujan. Pengoperasian seal dengan menggunakan metode gun, yaitu

dengan cara ditembak. Ada cara pengetesan sealer, yaitu orisinil, spatula, dan kuas. Setelah body dinyatakan baik dan selesai dari proses pengecatan menurut kriteria tertentu, maka tahap pemasangan mesin dan asesoris segera dilakukan

4.2.3 Konstruksi

➤ Konstruksi Luar

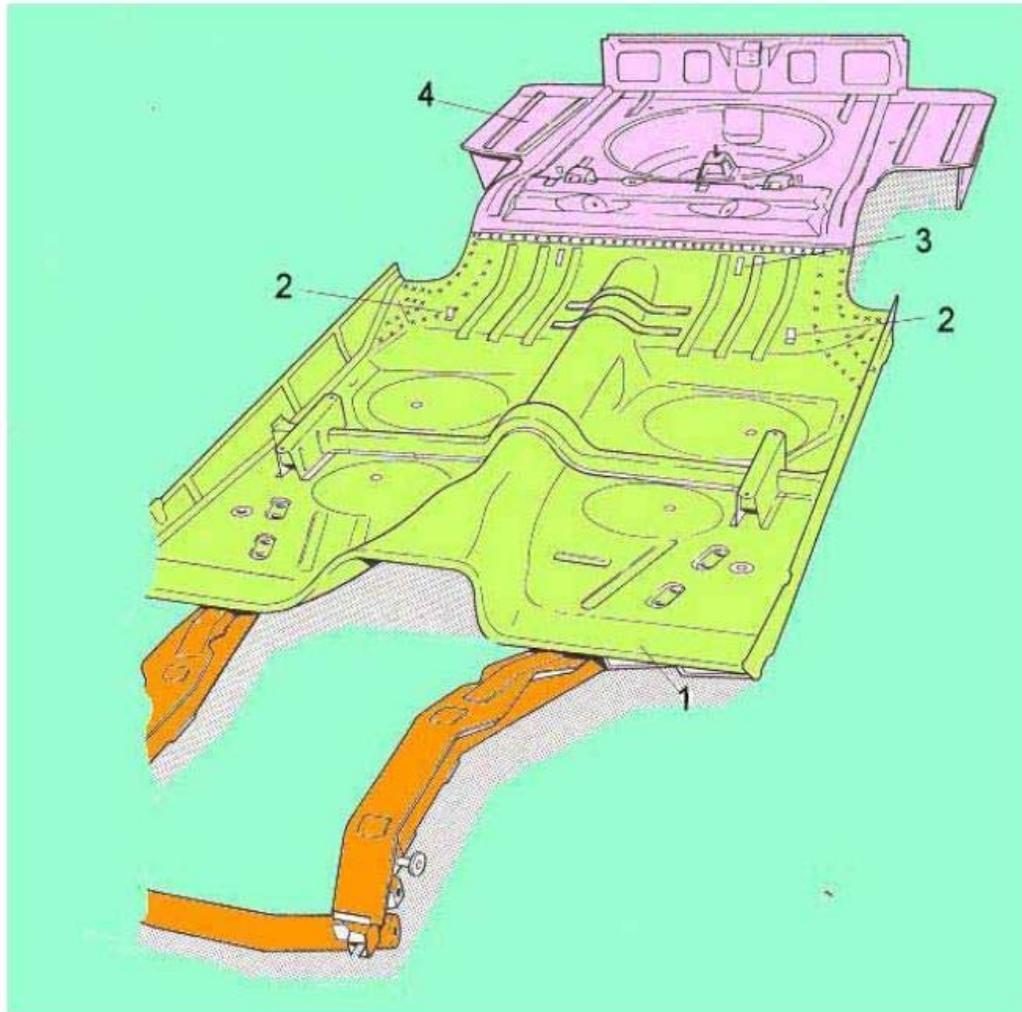
Bagian ini merupakan tempat menempelnya berbagai macam panel dan dapat diumpamakan sebagai kulit dalam tubuh kita. Bagian ini terdiri dari beberapa panel-panel yang disatukan dengan beberapa jenis sambungan dan dapat terlihat secara langsung dari luar, misalnya bumper, engine hood (tutup mesin), pintu-pintu, sunroof (lubang di atap kendaraan agar sinar matahari/udara bisa masuk), roof head lining (atap bagian dalam), fender (bodi samping di dekat roda depan), kaca, boot lid/ deck lid (tutup bagasi belakang), lampu-lampu, dan lain sebagainya.

➤ Konstruksi Dalam

Bagian ini terdiri dari komponen-komponen yang ada didalam bodi kendaraan, penguat-penguat dan panel-panel yang digunakan untuk menguatkan bodi kendaraan.

➤ Lantai (Under Body)

Lantai biasanya terdiri dari beberapa komponen kecil yang dilas secara bersama-sama menjadi satu unit lantai. Semua panel-panel lantai memiliki penguat pada bagian bawah. Bentuk dari lantai tidaklah rata, disesuaikan dengan tujuan, diantaranya, untuk tempat roda, sebagai ruang komponen kendaraan, tempat kaki penumpang, tempat dudukan komponen bodi yang lain, aspek aerodinamis, aspek estetika, aspek ergonomi dan lain sebagainya. Pada tipe komposit biasanya rata dan terpisah dengan chassis, sedangkan pada tipe integral (menyatu dengan chassis) biasanya tidak rata.



Gambar 4.16 Gambar Konstruksi Lantai

Keterangan gambar:

1. Panel lantai depan
2. Panel penahan landasan belakang
3. Panel lantai belakang

4.2.4 Penutup Mesin/Kap Mesin

Engine hood merupakan bagian bodi kendaraan yang menutupi komponen mesin. *Engine hood* ini dipasang ke bodi utama menggunakan engsel (hinge). Berdasarkan letak engselnya, *engine hood* dikelompokkan menjadi 2 jenis, yaitu:

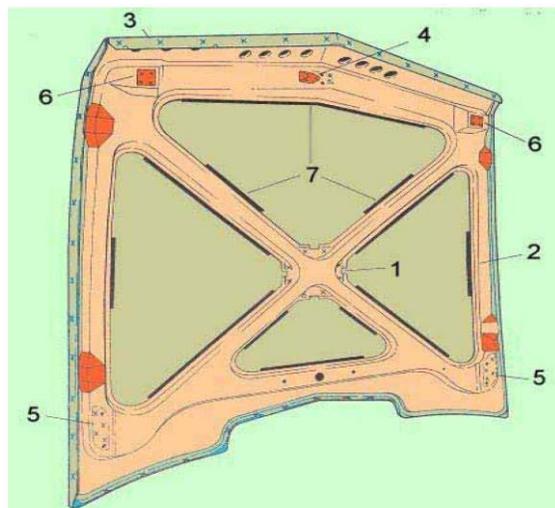
a) *Rear hinged* (Front Opening Type) yaitu tutup mesin dengan engsel dibelakang, engine hood dibuka pada bagian depan. Jenis ini yang paling banyak digunakan pada kendaraan- kendaraan sekarang.

b) *Front Hinged* (Rear Opening Type) yaitu tutup mesin dengan engsel didepan, engine hood dibuka pada bagian belakang (sudah jarang digunakan)

Ketika *engine hood* ditutup, maka akan terkunci. Untuk membuka kunci dilakukan oleh pengemudi dengan menarik tuas yang ada di ruang kemudi. Sistem pengunci *engine hood* tadi dihubungkan dengan kawat kabel yang dapat dioperasikan dari kursi pengemudi. Setelah pengunci ditarik, kemudian *engine hood* bisa dibuka dengan menarik handel yang ada di bawah *engine hood* tadi.

Konstruksi dari *engine hood* terdiri dari lembaran plat yang didukung dengan rangka penguat. Pada jenis kendaraan tertentu, *engine hood* ada yang memiliki saluran washer niple (alat untuk menyemprotkan air pada kaca depan kendaraan bila menghidupkan wiper/ penghapus kaca depan) ataupun lubang-lubang udara (biasanya untuk menambah suplai udara untuk sistem pembakaran).

Penyetelan *engine hood* dapat dilakukan dengan menggeser posisi engsel. Perlu diperhatikan pada saat penyetelan adalah sikap hati-hati, jangan sampai merusak cat kendaraan dan penyetelan celah yang sama terhadap fender samping kiri-kanan dan cowl (bagian belakang), serta penyetelan pengunci *engine hood*.



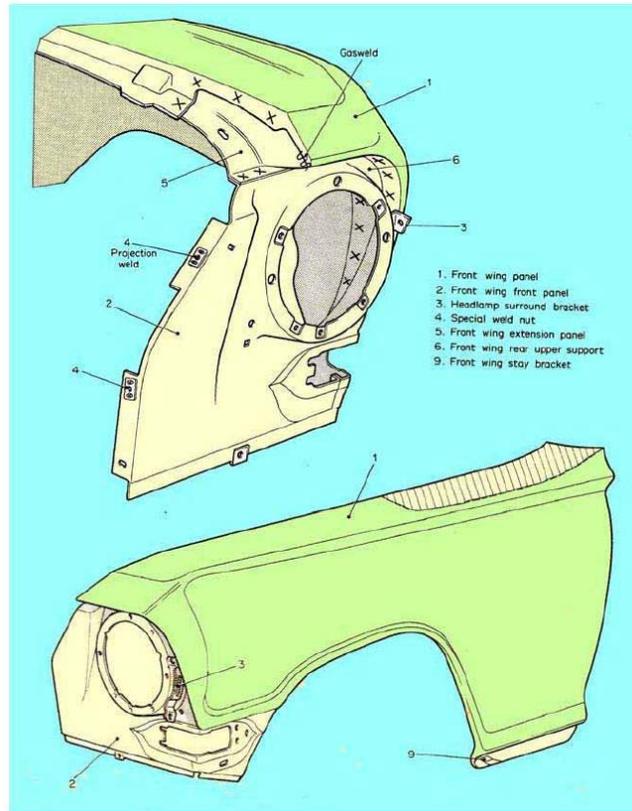
Gambar 4.17 Gambar Konstruksi Kap Mesin

Keterangan gambar :

1. Rangka penguat bagian dalam
2. Hood bagian dalam
3. Hood bagian luar
4. Dudukan dan pengunci hood
5. Dudukan engsel hood
6. Penyangga hood (dapat distel)
7. Sealer

4.2.5 Fender

Fender atau wing adalah komponen kendaraan yang menutupi roda-roda. Dari konsep inilah, berarti kendaraan pada umumnya memiliki 4 buah fender pada masing-masing roda. Namun demikian ada beberapa mobil yang fender belakang tidak bisa dilepas, sehingga seolah-olah fender hanya bagian depan saja. Fender melindungi konstruksi suspensi dan melindungi dari kotoran dan lumpur. Fender depan kendaraan biasanya terpasang pada konstruksi utama dari bodi menggunakan baut sehingga dapat dilepas. Untuk menambah kekuatan dan menghindari getaran yang terjadi, biasanya dudukan baut dibuat mati dengan bodi utama. Fender ini dapat dilakukan penyetelan kedepan atau kebelakang dengan mengatur lubang posisi baut. Penyetelan tidak bisa dilakukan terhadap fender yang sudah dipasang permanen dengan menggunakan las. Pada sebagian kendaraan, fender depan biasanya dilengkapi lampu samping atau sein, trim, hiasan atau chrom, sekaligus sebagai pemanis. Sedangkan konstruksi fender bagian belakang agak berbeda susunannya.



Gambar 4.18 Konstruksi Fender

4.2.6 Cowl dan Dash Panel

Cowl merupakan bagian bodi kendaraan yang berada dibelakang engine hood. Bagian ini berfungsi sebagai pemisah antara ruang mesin dan ruang penumpang yang terdiri dari gabungan panel-panel kecil. Cowl bagian atas dan bagian samping biasanya disambung menggunakan las menjadi satu kesatuan. Ada beberapa kendaraan yang menerapkan kerangka kaca pada bagian cowl ini. Kadang engsel pintupun dapat diletakkan pada cowl.

4.2.7 Atap Kendaraan (Roof Panel)

Atap kendaraan merupakan bagian bodi yang paling lebar dibanding bagian lain, dan memiliki konstruksi yang paling sederhana. Biasanya atap menggunakan bahan lembaran plat besi yang dilakukan pengerasan pada bagian tertentu dengan membuat alur, agar kuat apabila menerima beban dari atas.

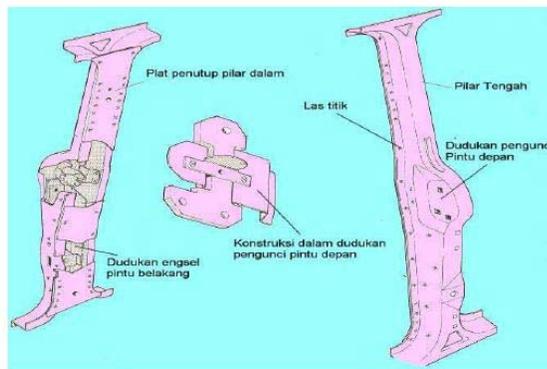
Konstruksi dari atap kendaraan memiliki penguat dari plat tipis menyilang secara beraturan yang berada didalam roof. Penguat ini biasanya disatukan dengan las dan merupakan bagian untuk memegang kawat untuk pemasangan roof head lining.

4.2.8 Bodi Belakang (*Quarter Panel*)

Komponen ini biasanya menyatu dengan sayap belakang, dan memiliki konstruksi luar dan dalam. Konstruksi luar menekuk dan disatukan dengan konstruksi dalam dengan las dan baut. Pada bagian ini berhubungan dengan konstruksi pintu bagian belakang dan konstruksi kursi belakang.

4.2.9 Pilar Tengah

Pilar tengah merupakan penopang bagian tengah dan samping dari atap. Oleh karena itu, konstruksi ini haruslah kuat. Pada pilar tengah ini juga berfungsi sebagai dudukan engsel pintu belakang dan dudukan pengunci pintu depan. Beberapa pabrik membuat pilar lebar dan tampak dari luar, akan tetapi kadang juga dibuat tidak tampak dari luar. Konstruksi pilar tengah biasanya tidak beraturan (dibuat profil tekukan tertentu), yang menyebabkan konstruksi ini kuat dan kokoh, serta dibuat menyesuaikan bentuk dari pintu saat terbuka.



Gambar 4.19 Gambar Pilar

4.2.10 Pintu (*Door*)

Pintu kendaraan memiliki berbagai macam tipe atau bentuk. Namun pada dasarnya, pintu dibuat dari dua panel utama, panel luar dan panel dalam, terbuat dari

plat baja. Pintu kendaraan memiliki kekuatan yang berasal dari panel dalam yang memiliki profil tekukan dan lekukan (dengan jalan dipress) sehingga ketika tepinya disatukan dengan panel luar dan menjadi satu kesatuan, maka konstruksi ini akan menjadi kuat.

Pada profil pintu bagian dalam, terdapat lubang, celah dan sebagainya, yang digunakan untuk pemasangan trim, pemasangan regulator kaca dan pengunci dalam dan handel dalam. Bagian atas dari pintu terdapat bidang luasan yang ditutup dengan kaca, yang telah disiapkan dengan alurnya serta karet perapatnya, sehingga saat ditutup maka akan melindungi dari air hujan, debu dan kotoran.

4.2.11 Deck Lid (Tutup Bagasi)

Deck lid merupakan bodi kendaraan (sebagian besar sedan) pada bagian belakang sebagai tempat barang (bagasi). Komponen ini juga terdiri dari 2 panel utama, yaitu panel luar dan dalam yang disatukan menjadi satu dengan las atau sealant. Bagian luar memiliki bentuk yang sederhana, namun pada bagian dalam terdiri dari rangka penguat. Untuk membuka deck lid, kadang disediakan handel dari luar, atau dapat dibuka dari ruang kemudi menggunakan kabel.

4.2.12 Bumper

Bumper dibedakan jenisnya menjadi 2, yaitu bumper depan dan bumper belakang. Fungsi dari bumper adalah sebagai pengaman pertama terhadap bodi dan penumpangnya jika terjadi tabrakan atau benturan. Pada dasarnya komponen bumper depan dan belakang sama, yaitu bumper sub, bumper arm, bumper side extension sub (bumper samping) dan bumper filler.

Saat akan melepas dari bumper, terlebih dahulu melepas komponen yang menempel pada bumper seperti lampu-lampu, ataupun sambungan bumper samping jika ada. Sedangkan saat melakukan penyetulan dilakukan dengan arah kiri-kanan, atas-bawah dan depan belakang, dengan cara melonggarkan baut-baut atau mur-mur pengikatnya.

4.2.13 Kaca Kendaraan

Kaca kendaraan mobil merupakan komponen yang sangat penting bagi kendaraan, yang terdiri dari kaca depan, kaca belakang dan kaca samping. Ketebalan kaca pada kendaraan minimal 5 mm, terutama kaca depan selain harus memiliki ketebalan 5 mm, kaca depan terdiri dari konstruksi lapisan plastik diantara kaca bagian depan dan kaca bagian dalam. Hal ini karena harus mampu menahan tekanan udara ketika sedang berjalan maupun sebagai perangkat keselamatan ketika menerima benda asing (kerikil) yang mengenai kaca.

Kaca kendaraan harus memiliki beberapa sifat:

- Kaca harus jernih
- Tidak membiaskan cahaya yang datang
- Tahan terhadap tekanan udara yang kuat
- Apabila terjadi kecelakaan tidak membahayakan penumpang
- Tahan terhadap temperatur yang ekstrim.

Apabila mengganti kaca kendaraan yang pecah, maka harus dilakukan dengan metode perbaikan yang benar agar kaca tidak pecah. Karena kaca merupakan komponen yang mudah pecah, bila pemasangannya tidak tepat, pada saat kendaraan mendapat guncangan, dan tekanan yang besar ketika sedang berjalan, maka kaca bisa jatuh dan pecah.

Kaca depan dipasang dengan menggunakan perekat khusus atau karet. Setiap perekat mempunyai waktu pengeringan yang berbeda-beda dan harus ditangani dengan cara yang tertentu pula. Sedangkan jika menggunakan karet akan relatif lebih aman. Pembahasan mengenai kaca akan dijelaskan pada bab selanjutnya.

Foto-Foto Proses Pembuatan mobil listrik dapat dilihat pada gambar berikut:

Foto Pembuatan



Gambar 4.20 Pembuatan Mobil Listrik

4.3 Motor dan Sistem Kendali

4.3.1 BLDC MOTOR

Brushless DC motor (BLDC motor) yang juga dikenal sebagai *electronically commutated motors (ECMs)* adalah tipe motor sinkron yang memakai sumber listrik arus searah sebagai tenaganya. Arus searah yang digunakan umumnya bersumber dari arus bolak-balik yang kemudian disearahkan dengan inverter.

BLDC motor memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan motor stepper namun penggunaan istilah motor stepper kurang tepat bagi BLDC motor karena pengertian dari motor stepper itu sendiri digunakan untuk jenis motor yang di desain secara spesifik untuk dapat dioperasikan dalam mode *positioning* yang akurat dimana bagian motor mampu berhenti di posisi angular yang diinginkan.

Dua parameter performa BLDC motor yang paling utama adalah konstanta motor Kv dan Km. Secara performa, BLDC motor dapat menghasilkan torsi maksimal pada RPM rendah dan secara bertahap akan menurun seiring meningkatnya RPM motor. keunggulan BLDC motor dibandingkan jenis *Brushed*

DC motor lainnya diantaranya efisiensi kerja yang lebih tinggi, tingkat keausan atau *mechanical wear* rendah karena tidak menggunakan *brush*, dan frekuensi perawatan yang minimal.

Konstruksi beberapa BLDC motor menggunakan *permanent magnet* dibagian yang berputar rotor dan *armature* pada bagian stator. Sistem *sequencing* arus listrik menggunakan *electronic controller* sebagai sistem pengganti komutator dengan *brushed* pada motor DC konvensional. *Electronic controller* ini mengubah fasa arus listrik yang menuju gulungan kawat untuk mendistribusikan daya listrik sehingga dapat menjaga perputaran motor agar tetap konstan. Dengan cara ini didapatkan beberapa keuntungan yaitu meminimalkan *energy losses* dan menghilangkan *mechanical wear* antara bagian stator dan rotor.

Keunggulan BLDC motor dibandingkan dengan DC motor konvensional antara lain *torque per weight* dan *per watt* lebih besar, peningkatan efisiensi dan *reliability*, pengurangan *noise* atau kebisingan suara, mengeliminasi percikan ion electron dari komutator dan mengeliminasi *electromagnetic interference* (EMI).

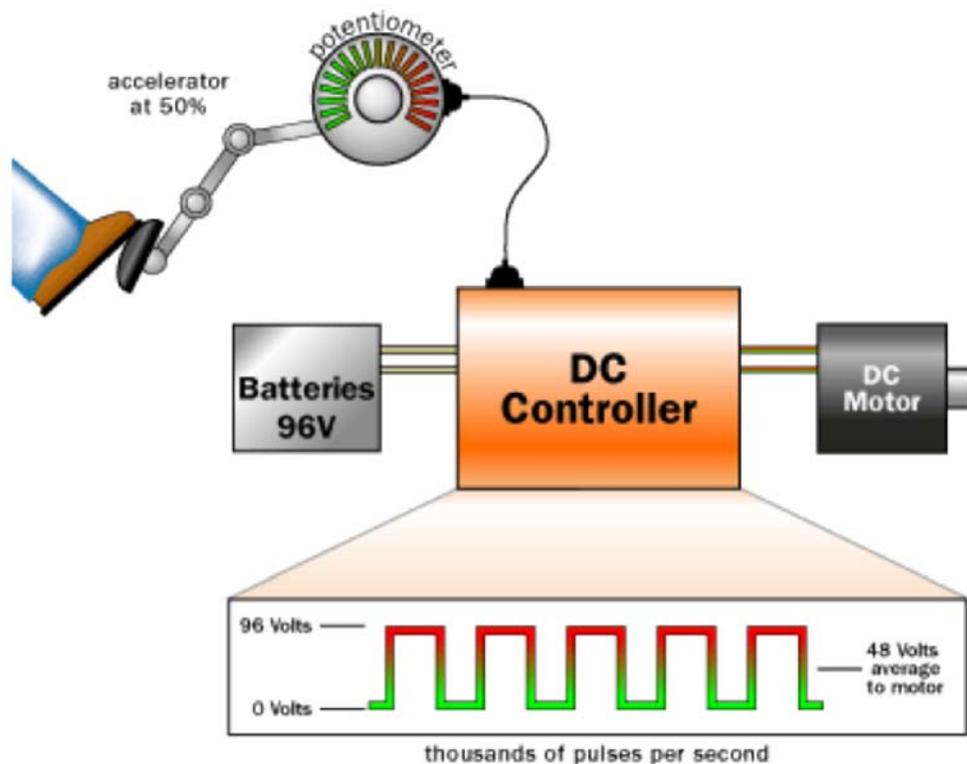
Daya maksimum yang dapat diberikan pada BLDC motor dibatasi hampir hanya oleh energi panas atau *heat* yang dapat melemahkan kekuatan magnet atau merusak selubung insulasi nya. Kekurangan utama BLDC motor yaitu harganya yang lebih mahal. Hal ini terjadi karena sistem komutasi motor ini membutuhkan kontrol kecepatan elektronik yang kompleks sementara *brushed* DC motor atau motor DC konvensional dapat menggunakan sistem *rheostat* (variable resistor) yang sangat sederhana untuk bekerja. Selain itu, sistem produksi BLDC motor secara komersil masih menggunakan proses manual penggulangan kawat secara manual dibandingkan penggulangan mesin.

BLDC motor memiliki efisiensi yang lebih tinggi untuk mengkonversi daya listrik dari sumber energi menjadi daya mekanis untuk menggerakkan motor. Peningkatan efisiensi ini dapat tercapai karena tidak adanya *electrical* dan *friction losses* yang disebabkan oleh komponen *brushed*. Efisiensi maksimal terjadi pada daerah tanpa beban atau *no-load* dan *low-load* pada *performance curve* dari motor. Sementara pada beban mekanis yang sangat tinggi, efisiensi BLDC motor dapat setara dengan *high-quality* DC *Brushed* motor.

4.3.2 Sistem Kendali Motor

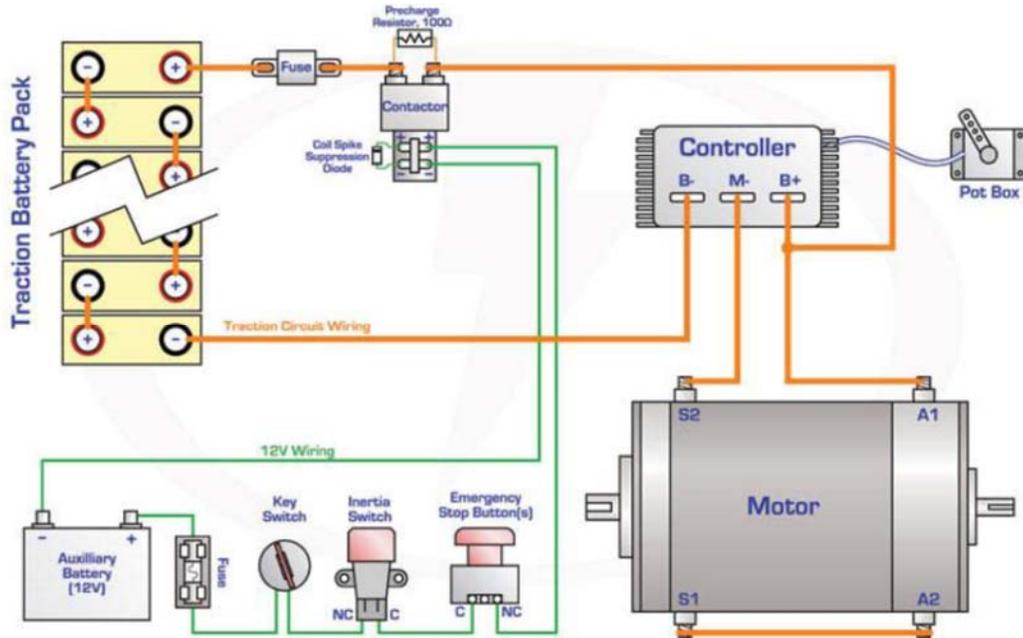
Pada mobil listrik yang akan dikembangkan menggunakan Motor listrik sebagai penggerak utamanya. Kecepatan laju dari kendaraan diatur oleh sistem kendali mobil listrik melalui pengaturan tekanan pada throttle atau pedal gas

Pada mobil listrik, kendali Motor akan mengatur kecepatan dan akselerasi dengan pergerakan mobil listrik dengan menggunakan teknologi Pulse Width Modulation (PWM) dalam pengontrolan motor.



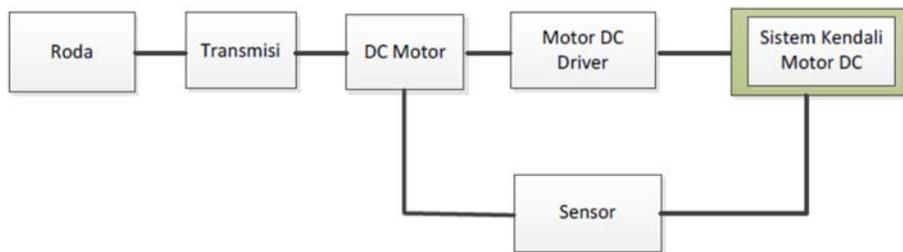
Gambar 4.21 Skema Sistem Kendali Motor

Agar Motor dapat berputar sesuai dengan kecepatan yang diinginkan maka Motor harus dilengkapi dengan sistem Kendali dan Driver Motor yang handal. Sistem kendali Motor merupakan perangkat wajib yang dimiliki oleh setiap kendaraan atau mobil listrik



Gambar 4.22 Wiring System Kendali Motor Listrik

Sebenarnya motor listrik akan memutar roda pada kendaraan melalui transmisi, bukan mengarahkan kendaraan, tetapi efeknya akan berimbas pada arah gerak kendaraan. Motor listrik berkaitan langsung dengan kecepatan atau laju dari mobil listrik.

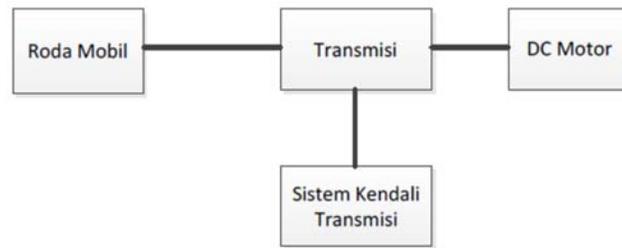


Gambar 4.23 Blok Diagram Sistem Kendali Motor

4.3.3 Kendali Sistem Transmisi

Sistem Transmisi pada mobil berguna untuk mengendalikan arah gerak mobil ke depan atau ke belakang dan dapat juga mengatur perpindahan copling pada mobil listrik. Bila transmisi tidak bekerja dengan baik maka akan berpengaruh pada

kehandalan motor dan juga kenyamanan dalam berkendara

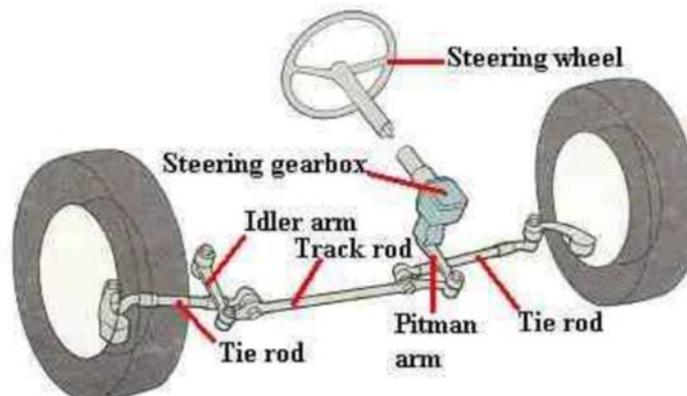


Gambar 4.24 Bagan Sistem Kendali Transmisi

4.3.4 Sistem Kendali Steering

Steer pada mobil berguna untuk mengendalikan arah gerak mobil agar sesuai yang diinginkan, sehingga mobil dapat melaju lurus ke depan maupun ke belakang dan dapat juga berbelok ke arah kiri maupun kanan. Bila steer mobil tidak bekerja dengan baik maka akan berpengaruh pada keselamatan dan kenyamanan dalam berkendara. Steer mobil berkaitan langsung antara pengemudi dengan roda mobil

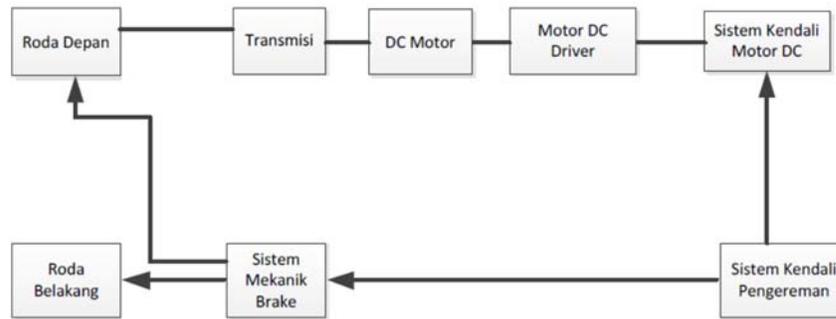
Sistem kemudi merupakan perangkat wajib yang dimiliki oleh setiap kendaraan bermotor. Sebenarnya steer atau sistem kemudi hanya mengarahkan roda pada kendaraan bukan mengarahkan kendaraan, tetapi efeknya akan berimbas pada arah gerak kendaraan. Salah satu bukti bahwa steer hanya menggerakkan roda kendaraan dengan menggerakkan kendaraan ke arah kiri atau kanan pada saat mobil dalam keadaan tidak bergerak atau tidak jalan, pada saat steer digerakkan ke kanan maka roda akan bergerak ke kanan atau pada saat steer digerakkan ke kiri maka roda akan bergerak ke kiri, tetapi tidak pada badan kendaraan tersebut



Gambar 4.25 Diagram Steering System

4.3.5 Sistem Kendali Pengereman

Setiap Mobil wajib memiliki sistem pengereman. Sistem pengereman berkaitan secara langsung dengan laju kendaraan. Sistem pengereman dapat dilakukan dengan mengatur putaran motor dan juga putaran roda pada mobil listrik

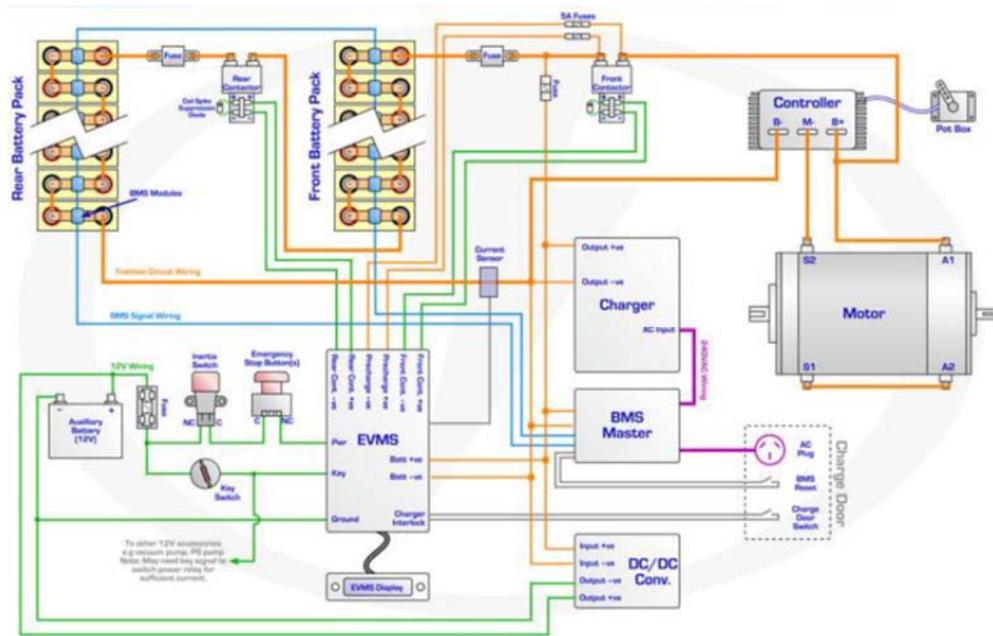


Gambar 4.26 Diagram Alir Sistem Kendali Rem

4.3.6 Sistem Kendali Daya

Pada setiap sistem yang dibangun, semua harus mengimplementasikan konsep daya terkendali dan efisien. Sistem Kendali Daya pada mobil listrik yang akan dibangun, menggunakan komputer sebagai sistem utama untuk pengendalinya. Seluruh subsistem elemen kendali daya akan dihubungkan pada komputer dengan menggunakan komunikasi data via ethernet.

Seluruh aktivitas penggunaan dan pengisian daya pada baterai akan diatur sehingga seluruh aktifitasnya dapat dicatat

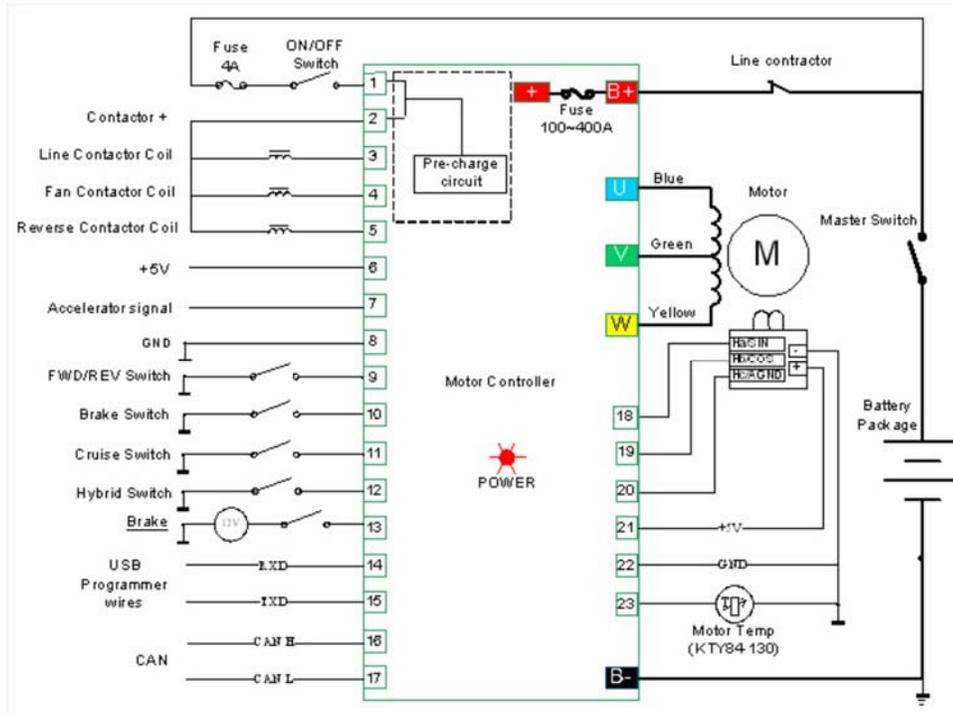


Gambar 4.27 Wiring Diagram Sistem Kendali Daya Mobil Listrik

Pengendalian yang diterapkan dalam mobil listrik ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.28 Realisasi Kontroler Motor BLDC



Gambar 4.29

4.4 Baterai

Baterai merupakan bagian dari perancangan kendaraan listrik yang sangat vital dalam hal menyimpan energi listrik untuk dapat digunakan sebagai daya penggerak motor dan kontrol yang terdapat pada kendaraan listrik. Baterai merupakan energi elektrokimia yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Komponen baterai terdiri dari dua elektroda yaitu elektroda positif (katoda) dan elektroda negatif (anoda) yang terpisah oleh separator dan cairan elektrolit. Cairan elektrolit ini berfungsi sebagai media perantara antara elektron dan sebagai pengisolasi elektron.



Gambar 4.30 Baterai (sumber: Brillian,2011)

Titik terhemat baterai bisa didapatkan apabila baterai/aki yang digunakan memiliki masa pakai yang lama. Hal ini tertentu akan terasa boros/tidak hemat jika kita salah memilih baterai, yang masa pakainya pendek. Pentingnya baterai dalam penyimpanan energi pada sebuah rancangan kendaraan listrik, membuat perancang harus teliti memilih baterai yang sesuai kebutuhan dan memiliki spesifikasi yang memadai. Adapun beberapa jenis baterai yang digunakan sebagai penyimpanan energi sebagai berikut:

➤ **Baterai Lithium 1-2C & 3-5**

Baterai *lithium* merupakan golongan baterai yang terkenal unggul karena bobotnya yang ringan. Baterai lithium memiliki bobot 25% dibandingkan golongan aki *Lead Acid*, namun harganya 2.5X lebih mahal. Jika aki *SLA (Sealed Lead Acid)* dalam 48V 12Ah memiliki bobot 17,8kg maka lithium dalam kapasitas yang sama hanya berbobot 4kg saja. Pada umumnya baterai ini digunakan untuk kendaraan listrik yang secara ruang tidak memungkinkan untuk dipasangkan *SLA (Sealed Lead Acid)*, karena faktor ruangan yang sempit. Seperti misalnya Kendaraan bentuk sepeda *MTB* listrik. Jika dalam aki *SLA (Sealed Lead Acid)* istilahnya adalah *HR rate* pada baterai lithium istilahnya adalah *C rate*. *C rate* adalah Kemampuan baterai bertahan pada saat digunakan secara terus menerus sebesar *C rate* tersebut. Misal Kode 2C pada *lithium spec* 12Ah. Maka baterai lithium tersebut memiliki *initial current* 24A atau 2X dari kapasitas Ah.



Gambar 4.31 Baterai *Lithium* 1-2, 3-5 (sumber: Brillian,2011)

➤ **Baterai Lithium Cylinder cell**

Cylinder cell adalah baterai yang berbentuk seperti tabung. Ada banyak sekali variasi ukuran, namun yang paling terkenal adalah ukuran 18650, 26650 dan 32650. Baterai silinder *cell* memiliki kelebihan kuat dan kokoh karena telah dilindungi oleh casing nya. Baterai case ini lebih tahan dalam kerja pada suhu yang panas. Ketahanan terhadap guncangan juga sangat bagus, maka baterai ini sering familiar dipakai di kendaraan listrik.



Gambar 4.32 Baterai *Lithium cylinder cell* (sumber: Brillian,2011)

Kelemahan model silinder *cell* adalah bobotnya yang berat, karena terdapat casing aluminium foil yang membungkus tiap *cell*. Kelemahan yang ke 2 adalah dalam proses penyambungan wajib menggunakan *spot welding*. Sehingga proses *replacement cell* cukup sulit.



Gambar 4.33 *Spot Welding Baterai Lithium Cylinder Cell*

(sumber: Brillian,2011)

➤ **Baterai Lithium Softpack cell**

Model ini cukup banyak digunakan di kendaraan listrik. model *softpack cell* pada umumnya memiliki aplikasi yang standar-standar saja. Sekitar 1C hingga 2C pemakaian. Tidak berani untuk amper yang sangat besar, dan tidak begitu kuat dengan panas tinggi karena tidak dilindungi case yang kokoh.



Gambar 4.34 *Replacement Baterai Lithium Softpack Cell*

(sumber: Brillian,2011)

Kelebihan model ini adalah: bobotnya yang ringan, *replacement* mudah, dan dalam satu *single cell* mampu berkapasitas besar hingga diatas 20Ah.

➤ **Baterai Lithium Prismatic Cell**

Prismatic cell adalah penyempurnaan dari *softpack case battery*. Model *prismatic cell* bisa dikatakan model *hard case*. Penyempurnaan ini diperuntukan untuk keamanan baterai cell itu sendiri. Supaya lebih tahan guncangan, tahan terhadap panas tinggi, dan lebih anti *exploded* / Melembung.



Gambar 4.35 Rangkaian Baterai *Lithium Prismatic Cell*

(sumber: Brillian,2011)

Baterai Pada mobil listrik merupakan bagian dari komponen mobil listrik yang sangat vital dalam hal penyimpanan energi listrik untuk digunakan sebagai daya penggerak motor dan sistem kontrol dan elektrikal pada mobil listrik



Gambar 4.36 Baterai *SLA* (*Sealed Lead Acid*) (Sumber: Brilian, 2011)

Pada mobil listrik ini dipilih baterai jenis *SLA* (*Seal Lead Acid*) dikarenakan dengan alasan mempertimbangkan harga dan pemasangan yang lebih mudah, dibandingkan dengan Baterai Lithium-ion yang harganya sangat mahal dan perakitannya membutuhkan waktu yang lama. Selain itu juga baterai lithium-ion ini butuh perawatan yang khusus dengan pelindungan baterai yang tahan pada temperatur tinggi.

Foto-foto Rancang Bangun



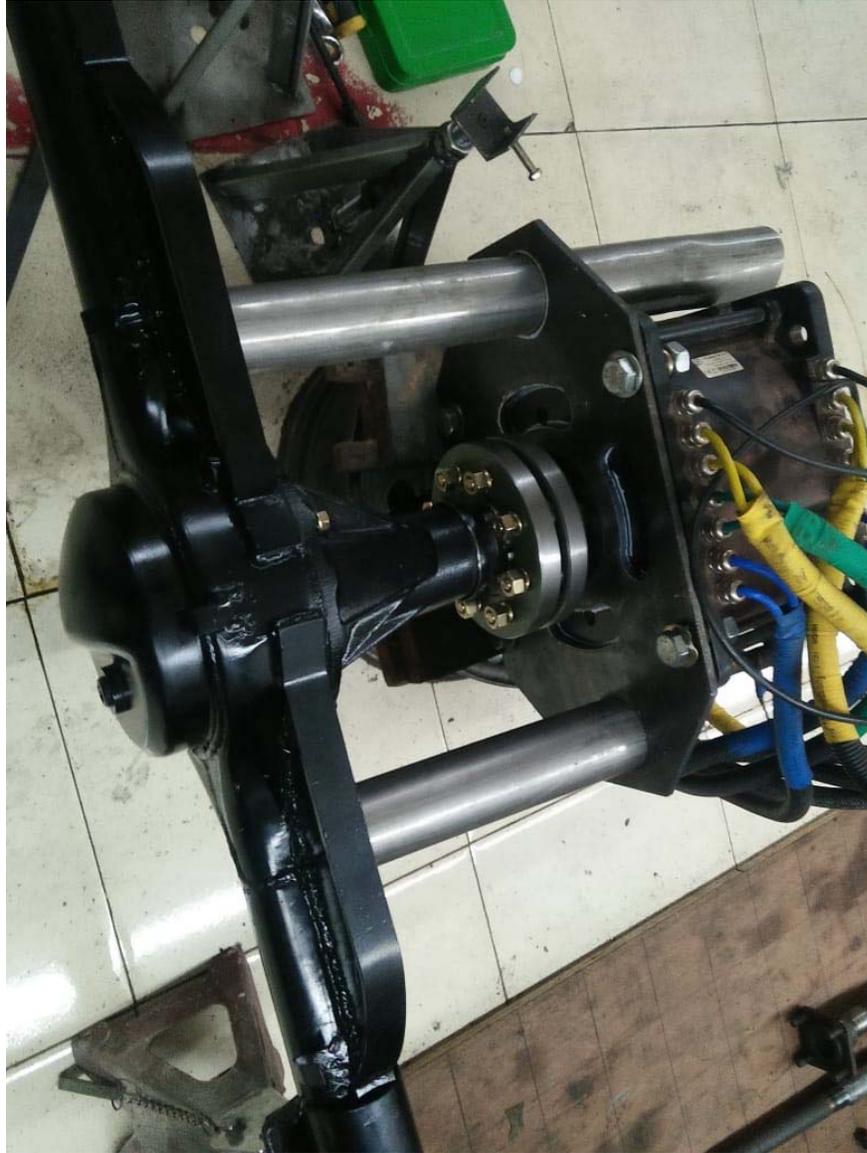
Gambar 4.37



Gambar 4.38



Gambar 4.39



Gambar 4.40



Gambar 4.41



Gambar 4.42



Gambar 4.43



Gambar 4.44



Gambar 4.45



Gambar 4.46



Gambar 4.47



Gambar 4.48



Gambar 4.49



Gambar 4.50



Gambar 4.51



Gambar 4.52



Gambar 4.53



Gambar 4.54



Gambar 4.55



Gambar 4.56



Gambar 4.57



Gambar 4.58



Gambar 4.59



Gambar 4.60



Gambar 4.61



Gambar 4.62



Gambar 4.63



Gambar 4.64



Gambar 4.65



Gambar 4.66



Gambar 4.67



Gambar 4.68



Gambar 4.69



Gambar 4.70



Gambar 4.71



Gambar 4.72



Gambar 4.73



Gambar 4.74



Gambar 4.75

BAB V

RANCANG BANGUN PENDOBRAK PNEUMATIK

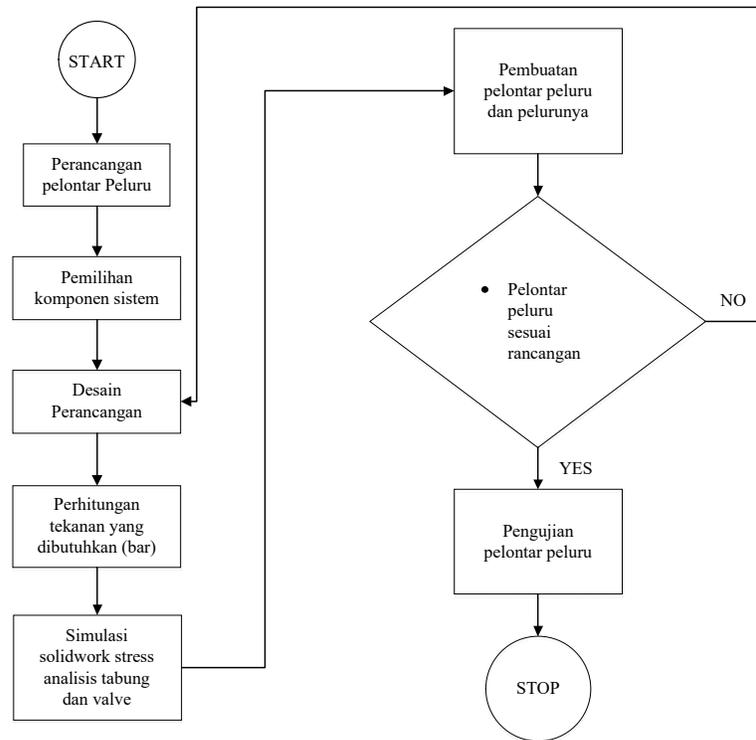
5.1 Pendahuluan

Kendaraan listrik yang digunakan untuk kepentingan militer perlu dilengkapi dengan persenjataan. Salah satu karakteristik persenjataan yang sebaiknya dipasang adalah yang tidak membebani dalam hal kelistrikannya. Oleh karena itu perlu dikembangkan system senjata pneumatic yang memanfaatkan tekanan udara untuk pelontar senjata tersebut.

Salah satu sisi pengembangan persenjataan adalah peningkatan kecepatan dan kemudahan dalam penembakan. Kebutuhan untuk melontarkan suatu peluru dengan jarak dan kecepatan yang sangat baik, memerlukan suatu sistem penumatik untuk mendukung proses pelontaran peluru tersebut. Salah satu jenis alat pelontar peluru yang dapat digunakan adalah pelontar jenis pnumatik dengan memanfaatkan udara bertekanan. Didalam sarana pertahanan dan keamanan pelontar peluru *pneumatic* dapat digunakan untuk menembus pintu dan dinding yang digunakan untuk persembunyian musuh. Pada laporan penelitian ini dipaparkan mengenai perencanaan, pembuatan dan pengujian dari suatu pelontar peluru dengan menggunakan sistem pneumatik yang akan dipasang pada kendaraan listrik.

5.2 Metodologi

Langkah perancangan dan pembuatan pelontar peluru menggunakan sistem pneumatik. Metode perancangan bisa dilihat pada diagram alir **Gambar 5.1** dibawah ini.



Gambar 5.1 Diagram Alir Rancang Bangun Pelontar *Speargun* Menggunakan Sistem Pneumatik

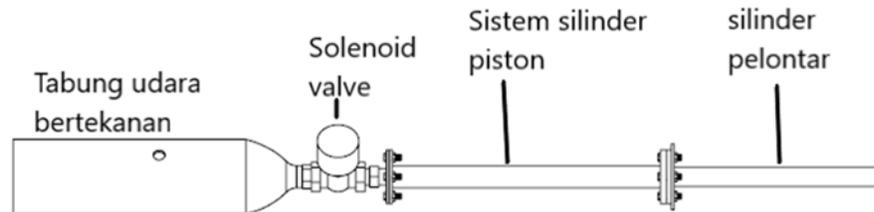
5.3 Rancang Bangun

Sistem pelontar peluru ini direncanakan menggunakan suatu sistem pemanfaatan udara (pneumatik) yang terdiri dari beberapa komponen.

1. Kompresor, digunakan untuk memeberikan input udara bertekanan.
2. Tabung atau *Air receiver tank*, digunakan untuk menyimpan udara beretekanan yang dihasilkan dari kompresor.
3. *Pressure gauge*, digunakan untuk mengukur tekanan fluida kerja.
4. *Solenoid valve*, digunakan untuk mengatur tekanan bukaan yang akan disalurkan ke mekanisme piston untuk melontarkan peluru.
5. *Piston* dan *rod*, digunakan untuk melontarkan peluru dengan hasil dari daya dorong yang diberikan oleh tekanan angin yang dihasilkan dari *air receiver tank* yang dibuka dengan *solenoid valve*.
6. Selongsong, digunakan untuk menyimpan peluru yang akan ditembakkan.
7. Tombol *switch*, digunakan untuk menggerakkan *solenoid valve* untuk

melakukan solenoid valve NO dan NC.

Rangkaian tiap komponen dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini:



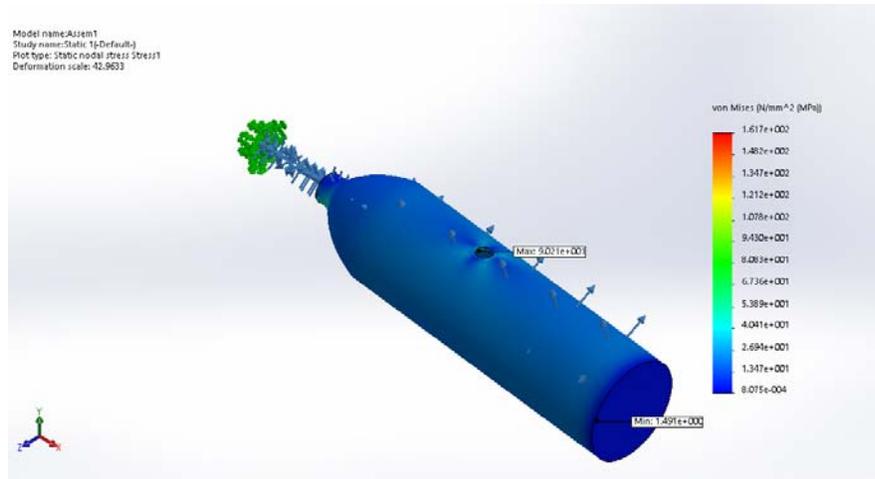
Gambar 5.2 Sistem Pelontar Peluru

- **Komponen yang kritis adalah tabung udara bertekanan dan katup solenoid**

Tangki atau tabung udara bertekanan dirancang dapat menahan tekanan maximum 50 bar. Untuk memastikan. Untuk memastikan bahwa tabung atau tangka mampu menahan udara bertekanan 50 bar maka dilakukan stress analysis. Hasil stress analysis dapat dilihat pada gambar berikut. **Gambar 5.3** menunjukkan mesh komponen yang dikaji meliputi tabung dan solenoid valve yang merupakan satu kesatuan.

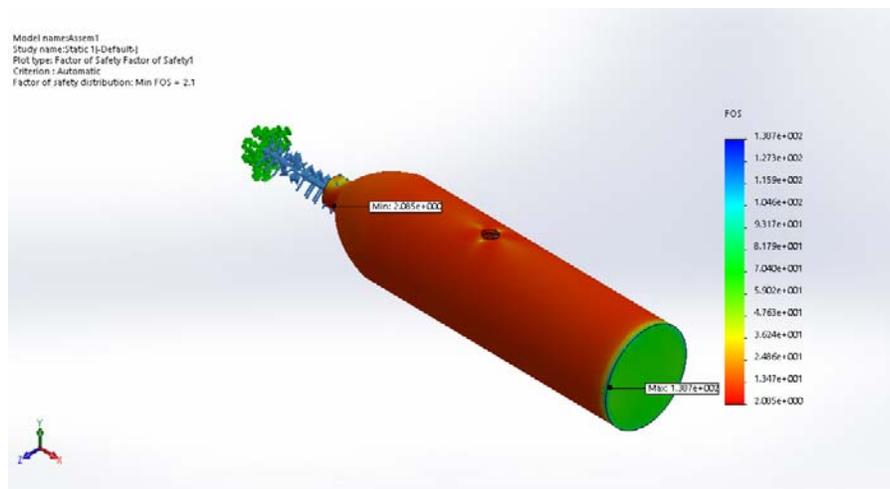


Gambar 5.3 Proses Mesh



Gambar 5.4 Proses Stress Analisis

Gambar 5.4 menunjukkan hasil Analisa tegangan pada tabung dan solenoid valve. Dari gambar tersebut terlihat bahwa tegangan terbesar terjadi pada lubang pengisian udara yang besarnya kurang lebih 5 MPa. Sedangkan faktor keamanan (safety faktor) ditunjukkan pada **Gambar 5.5**. Dari **Gambar 5.5** terlihat bahwa faktor keamanan terkecil terjadi pada tempat pengisian udara yang besarnya 2.01. Sedangkan di tempat lain termasuk di katup solenoid faktor keamanan masih lebih besar. Hal ini berarti bahwa tabung udara bertekanan bisa digunakan karena mampu menampung udara bertekanan 50 bar.

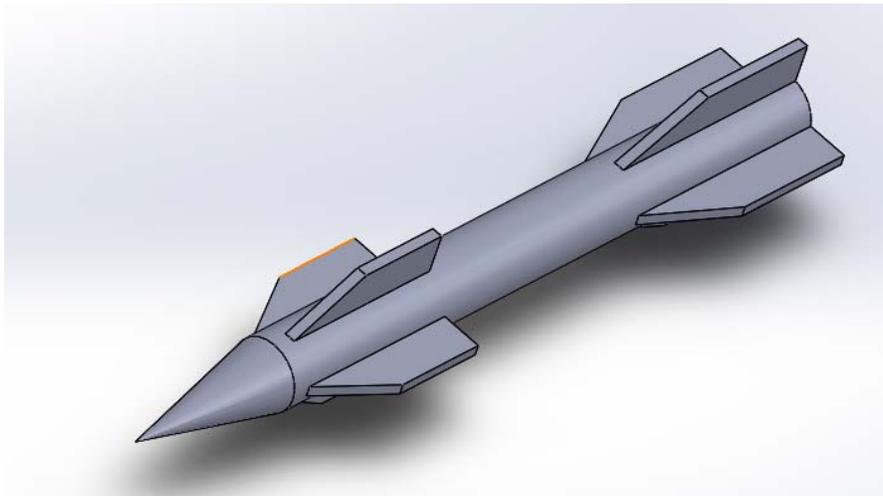


Gambar 5.5 Proses Safety Factor

Mekanisme dari *piston* dan *rod* karena ini digunakan untuk mendorong peluru yang akan dilontarkan dengan hasil dari daya dorong yang dihasilkan oleh udara

bertekanan maka mereka membutuhkan mekanisme ini supaya peluru bisa melontar. Karena sistem piston ini bisa dikatakan tekanan yang cukup tinggi didalamnya dipasang seal untuk mengurangi gesekan yang terjadi pada piston, seal yang digunakan menggunakan seal pressure vessel supaya bisa menahan tekanan tinggi udara tersebut. Piston mempunyai diameter 32.5 mm dan rod mempunyai diameter 29 mm.

Peluru merupakan parameter sebagai perangkat yang paling utama untuk menembus sasaran. Dibutuhkan bentuk dan berat yang optimal. Berdasarkan perhitungan menggunakan optimasi gerak maka dapat disimpulkan bahwa peluru tersebut harus mempunyai berat minimum 1000 gram. Peluru ini memiliki dimensi diameter dari penompang lingkaran belakang sebesar 28 mm dan mempunyai 4 sirip untuk mempertimbangkan gaya gravitasi yang terjadi. Bentuk peluru secara 3 dimensi dapat dilihat pada **Gambar 5.6**.



Gambar 5.6 Peluru

5.4 Proses Pembuatan

Pada proses pembuatan pelontar peluru menggunakan sistem pneumatik, dilakukan perencanaan proses terlebih dahulu agar proses yang dilakukan dapat efisien dari segi waktu, bahan, maupun uang, sehingga hasil yang diinginkan pun sesuai dengan yang diharapkan. Berikut tabel yang menunjukkan urutan perencanaan

proses dalam pembuatan pelontar peluru menggunakan sistem pneumatik.

Tabel 5.1 Proses Pengerjaan

NO	Proses>Nama Part	Alat dan alat bantu	Parameter	Keterangan
1	Modifikasi Tabung APAR	<ul style="list-style-type: none"> Mesin bubut (pembuatan drat dalam menggunakan pahat drat dalam Mesin <i>Drilling</i> (pembuatan lubang pada tabung) Proses Pengelasan <i>socket</i> ke Tabung APAR 	<ul style="list-style-type: none"> Kecepatan putaran proses bubut 85 rpm Pahat HSS 18mm Kecepatan putaran proses <i>drilling</i> 182 rpm Pengelasan Aluminium 	<ul style="list-style-type: none"> Bahan yang digunakan untuk sistem input udara ke tabung menggunakan <i>socket</i> dengan bahan duralium
2	Pembuatan sambungan	<ul style="list-style-type: none"> Mesin bubut (membuat 5 sambungan dengan 	<ul style="list-style-type: none"> Kecepatan putaran 	<ul style="list-style-type: none"> Bahan yang digunakan

	(<i>flange</i>) (5 buah)	ukuran diameter 90mm dan 110 mm tebal 10 mm dan membuat lubang untuk pipa dengan ukuran 36mm dan 32 mm. membuat dudukan <i>seal</i> dengan ukuran 25,4 mm dan pembuatan kampuh untuk proses pengelasan pipa ke sambungan)	proses bubut 220 rpm <ul style="list-style-type: none"> • Pahat karbid dan HSS • Kecepatan putaran proses <i>drilling</i> 182 rpm dengan ukuran 10 mm 	untuk sambungan menggunakan lembaran baja
--	----------------------------	---	--	---

		pengikat antar sambungan)		
3	Pemotongan pipa baja dan poros pejal as untuk rod piston	<ul style="list-style-type: none"> Mesin gerinda tangan 	<ul style="list-style-type: none"> Kecepatan putaran 11000 rpm 	<ul style="list-style-type: none"> Pipa baja diameter 36 mm dan 32 mm, ketebalan 1,5 mm Panjang pipa baja <i>seamless</i> menjadi 450 mm dan pipa baja tahan karat menjadi 350 mm Panjang poros pejal as untuk

				rod piston menjadi 500 mm
4	Pemotongan poros pejal as baja tahan karat untuk peluru	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin gerinda tangan 	<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan putaran 11000 rpm 	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan bahan yang sama dengan rod piston
5	Pembuatan piston	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin bubut (pembuatan piston dan membuat alur untuk penempatan O ring) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan putaran proses bubut 220 rpm 	<ul style="list-style-type: none"> • Diameter piston 32,5 mm • Diameter alur 30 mm
6	Proses pengelasan pipa	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin las SMAW • Elektroda diameter 2,6 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Arus 50 – 70 A 	<ul style="list-style-type: none"> • Pipa baja diameter 36 mm dan

				<p>32 mm. ketebalan 1,5 mm</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pengelasan dari <i>fitting</i> ke sambungan (flange)
7	<p>Proses pemotongan besi hollow 4x4</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin gerinda tangan 	<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan putaran 11000 rpm 	<ul style="list-style-type: none"> • Besi hollow 4x4. Ketebalan 1,5 mm
8	<p>Proses pengelasan besi hollow</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin las SMAW • Elektroda diameter 2,6 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Arus 50 – 70 A 	<ul style="list-style-type: none"> • Besi hollow 4x4. Ketebalan 1,5 mm

➤ **Pembuatan Tabung**

Pada proses ini tabung tekanan tinggi yang tersedia disiapkan untuk proses *drilling* menggunakan mesin *drilling*.



Gambar 5.7 Proses *Drilling*

Proses *drilling* pada tabung menggunakan pahat HSS diameter 28mm untuk proses input udara masuk melalui *socket* yang digunakan.



Gambar 5.8 Proses Pembuatan *Socket* ke Tabung



Gambar 5.9 Hasil Pengelasan *Socket* ke Tabung

Pada proses pengelasan ini menggunakan las *acytilen* dengan kawat las dengan bahan alumunium dikarenakan bahan dasar tabung tersebut alumunium.

Proses pembuatan sambungan (*flange*)

Pembuatan flange ditunjukkan pada **Gambar 5.10**.



Gambar 5.10 Bahan Dasar dari Sambungan (*flange*)

Sambungan (*flange*) menggunakan bahan dasar lempengan baja, sambungan ini digunakan untuk menyatukan antara pipa-pipa dan inventer untuk ke *solenoid valve* dan pipa. Proses pengeboran ditunjukkan pada **Gambar 5.11** sampai **Gambar 5.14**.



Gambar 5.11 Proses *drilling* pada Sambungan

Pada proses *drilling* pada sambungan menggunakan pahat HSS dengan diameter 36mm dan 32mm untuk menyambungkan pipa-pipa yang akan digunakan.



Gambar 5.12 Proses Pembubutan pada Sambungan

Pada proses pembubutan pada sambungan ini berfungsi untuk menyambungkan komponen seperti pipa, inventer dengan cara di las.



Gambar 5.13 Pembuatan Dudukan *Seal* pada Sambungan

Setelah selesai proses pembubutan pada sambungan, lalu sambungan tersebut di beri lubang pada setiap sambungan nya untuk baut yang menjadi pengikat antar sambungan. Proses *drilling* pada sambungan menggunakan mesin *drilling* dengan menggunakan pahat dengan diameter 10mm untuk baut yang akan digunakan.



Gambar 5.14 Proses *Drilling* pada Sambungan

Proses pemotongan pipa-pipa baja dengan ukuran yang sudah di tentukan. Pipa baja *seamless* dengan panjang 450 mm dan pipa baja tahan karat 350 mm. dan pemotongan poros as pejal untuk *rod piston* dengan panjang 500 mm. *Connecting Road* ditunjukkan pada **Gambar 5.15**.



Gambar 5.15 Hasil Pemotongan Poros as Pejal untuk *Rod Piston*

Proses pembubutan pada piston dengan diameter 32,5 mm disesuaikan dengan diameter dalam pipa dikarenakan piston tersebut akan bekerja pada diameter dalam pipa sebagai lintasan piston dan rod nya. Lalu alur yang dibuat pada piston tersebut berguna sebagai penahan gesekan secara langsung antara permukaan diameter dalam pipa dan piston nya.



Gambar 5.16 Piston yang Telah Dibuat

Setelah semua komponen dibuat kemudian di susun menjadi sebuah pelontar peluru seperti terlihat pada **Gambar 5.17** berikut ini.



Gambar 5.17 Pelontar Peluru Penuematik Hasil Pembuatan

5.5 Pengujian

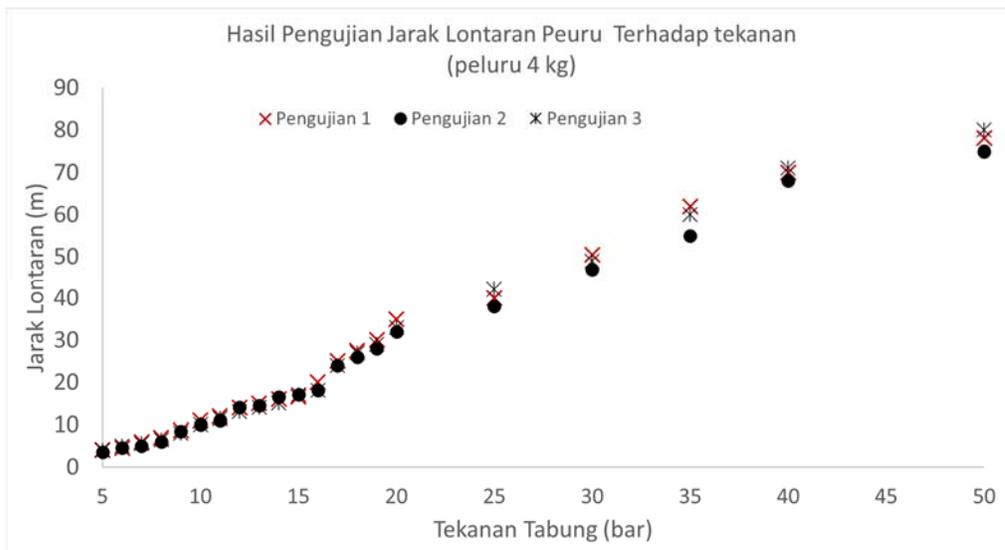
Pengujian dilakukan dalam 2 tahapan yaitu pengujian di lapangan untuk mengetahui atau menentukan jarak tembakan atau lontaran terhadap variasi tekanan dan pengujian di lapangan Bersama sama dengan kendaraan listrik untuk mengetahui daya dobrak atau tekanan lontaran atau tembakan peluru.

- Pengujian 1: Pengujian di lapangan untuk mengetahui jarak lontaran peluru terhadap tekanan udara. Alat ukur yang digunakan adalah pengukur tekanan udara dan meteran untuk mengukur jarak lontaran peluru. Peluru yang digunakan bervariasi berdasarkan massa (berat) yaitu peluru 4 kg, 3 kg dan 1 kg. Pengujian dilakukan selama 3 hari yaitu tanggal 22, 23 dan 24 Oktober 2020.

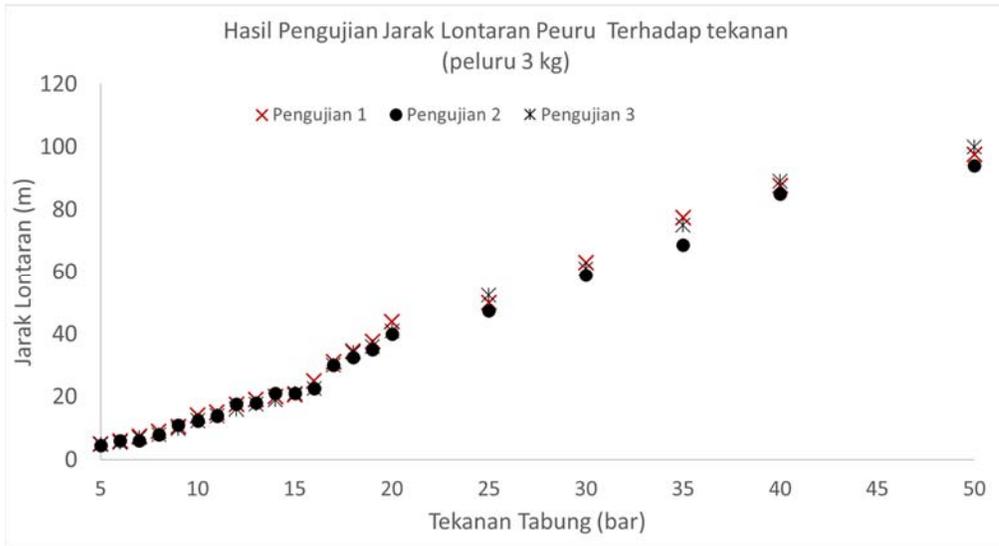


Gambar 5.18 Foto Pengujian

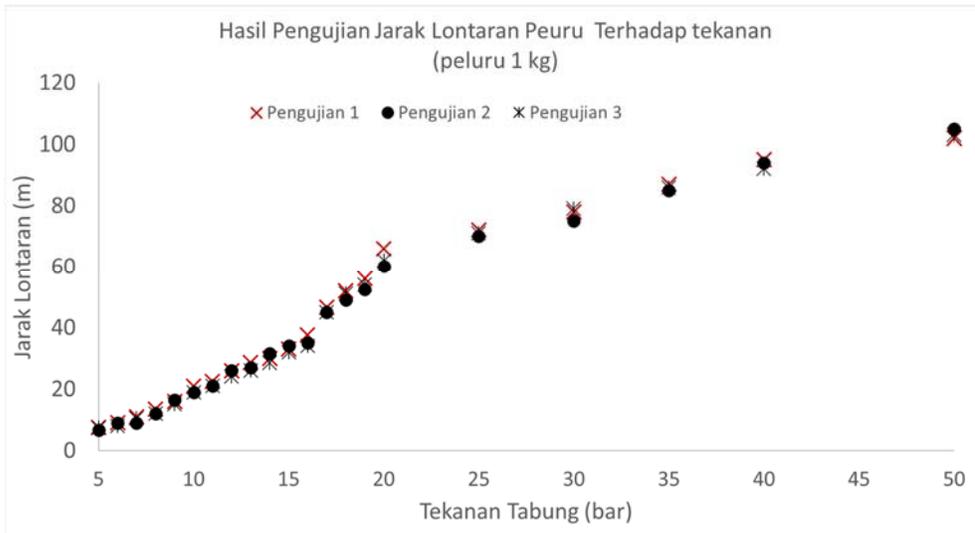
Hasil pengujian ditunjukkan pada **Gambar 5.19** sampai dengan **Gambar 5.21** berikut ini:



Gambar 5.19 Hasil Pengujian Jarak Lontaran Peluru terhadap Tekanan untuk Peluru 4 kg



Gambar 5.20 Hasil Pengujian Jarak Lontaran Peluru terhadap Tekanan untuk Peluru 3 kg



Gambar 5.21 Hasil Pengujian Jarak Lontaran Peluru terhadap Tekanan untuk Peluru 1 kg

Dari grafik pengujian terlihat bahwa jarak lontaran peluru dipengaruhi oleh tekanan udara yang ada dalam tabung. Semakin tinggi tekanan semakin jauh jarak lontaran peluru. Selain itu itu massa peluru juga mempengaruhi jarak lontaran. Peluru yang massa nya lebih besar cenderung sulit dilontarkan sehingga jarak lontarannya semakin pendek.

DAFTAR PUSTAKA

- Mobilkeren.id. 2014. *Informasi Lengkap Tentang Mobil Listrik: Cara Kerja, Bahan Bakar, Kelebihan dan Kekurangan*. [Online] Mei 26, 2018 [Cited: September 27, 2019.] <<http://www.mobilkeren.id/2018/05/informasi-lengkap-tentang-mobil-listrik.html>>
- [hidayah](#), Taufiq. *Apa Kelebihan Solidworks*. [Online] [Cited: September 30, 2019.] <<https://taufiqdrafting13.blogspot.com/2017/11/apa-sih-kelebihan-solid-works.html>>
- MenHub RI. 2015. *Tata Cara Penetapan Batas Kecepatan*. Biro Komunikasi dan Informasi. Jakarta.
- Hendrawan, Muh Alfatih, dkk. 2018. *Perancangan chassis Mobil Listrik Prototype “Ababil” dan Simulasi Pembebanan Statik dengan Menggunakan Solidworks Premium 2016*. STIKES PKU Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Fadila, Ary, Bustami Syam. 2013. *Analisis Simulasi Struktur Chassis Mobil Mesin Usu Berbahan Besi Struktur Terhadap Beban Statik Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Ansys 14.5*. *Jurnal USU*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Sudjatmiko, Suryo. *Mengenal Crumple Zone, Struktur Penyelamat Nyawa Penumpang*. [Online] Maret 17, 2019. [Cited: Februari 26, 2020.] <<https://otodriver.com/berita/2019/mengenal-crumple-zone-struktur-penyelamat-nyawa-penumpang-menbgjjgang>>
- Moon Hyung-il, dkk. 2012. *Crumple zone design for pedestrian protection using impact analysis*. *Department of Mechanical and Biomedical Engineering*. Kangwon National University, Chuncheon-si, 200-701, Korea.

- Ramli, Dhamara. 2018. *Tegangan Normal dan Tegangan Geser Pada Konstruksi*. Teknik Sipil Universitas Negeri Malang. Malang.
- Hendra, Jiko. 2014. *Konstruksi Mesin*. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Katolik Widya Karya.
- Kristyadi, Tarsisius, dkk. 2017. Stress Analysis of a Cross over Electric Car Chassis. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. Institut Teknologi Nasional. Bandung.
- Wikipedia. *Faktor keamanan*. [Online] Februari 14, 2020. [Cited: Februari 26,2020.] <https://en.wikipedia.org/wiki/Factor_of_safety>
- Wikipedia. *Deflection (engineering)*. [Online] 18 January 2020. [Cited: Februari 26, 2020.] <[https://en.wikipedia.org/wiki/Deflection_\(engineering\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Deflection_(engineering))>
- Prayuda, Hakas, dkk. 2018. *Analisis Tegangan Regangan dan Defleksi pada Sambungan Balok-Kolom Beton Bertulang Menggunakan Beban Statik*. Media Komunikasi Teknik Sipil. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Rudy. *Mengetahui sifat mekanik material dengan uji Tarik*. [Online] Maret 28, 2010 [Cited: Februari 27, 2020.] <<https://rudydwi.wordpress.com/2010/03/28/mengetahui-sifat-mekanik-material-dengan-uji-tarik/>>
- Jokosisworo, Sarjito. 2018. *Pengaruh Normalizing Dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (Holding Time) Terhadap Sifat Mekanik Baja ST 46*. Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Kampus Undip Tembalang, Semarang.

- Sari, Kartika, Rahmat Santoto. 2010. *Analisis Korelasi Kondisi Pembuatan Film Tipis Polipropilen (Pp) Dan Sifat-Sifat Mekaniknya Dengan Metode Uji Tarik*. Program Studi Fisika Jurusan MIPA FST Universitas Jenderal Soedirman. LIPI Bandung.
- Budisusila, Eka & Khosyi'in, Muhammad. (2018). *Tinjauan Pengembangan Mobil Listrik Menuju Teknologi Autonomous Vehicle*.
- Gun, Gun Maulana. 2017. *Pembelajaran Dasar Algoritma Dan Pemrograman Menggunakan El-Goritma Berbasis Web*. 1Teknik Elektromekanik, Program Studi Teknik Mesin Dan Manufaktur. Politeknik Manufaktur Negeri. Bandung.
- Zulhendra. 2015. *Analisis Tingkat Kecelakaan Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Propinsi Sta Km 190-240 (Simpang Kumu-Kepenuhan)*. Program Studi Teknik Sipil. Universitas Pasir Pengaraian. Rokan Hulu.
- Margaretha, Yuliana. *Perbedaan antara Beban Dinamik dan Beban Statik*. [Online] Januari 25, 2015 [Cited: Mei 21, 2020.] < <https://yulianamargareta.wordpress.com/2012/01/25/perbedaan-antara-beban-dinamik-dan-beban-statik/> >
- Darmawan, Agus. 2016. *Analisis Uji Tabrak Bodi Mobil Esemka Dengan Metode Elemen Hingga*. Teknik Mesin. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Hasmawiyah, Unggul Wahyono dan Darsikin. (2011). *Pemahaman Konsep Hubungan antara Arah Gaya, Kecepatan dan Percepatan dalam Satu Dimensi pada Mahasiswa Calon Guru Fisika FKIP Universitas Tadulako*. Prodi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Tadulako, Volume 1 Nomor 3. 7 lembar.
- E-jurnal. 2013. *Pengertian Gaya*. [Online] November 26, 2013 [Cited: Mei 28, 2020.] < <https://www.e-jurnal.com/2013/11/pengertian-gaya.html> >

Salimin, Samhuddin, Ismail Adha. 2018. *Perancangan dan Analisa Simulasi Pembebanan Chassis Sepeda Wisata Untuk Dua Penumpang Menggunakan Software Autodesk Inventor 2017*. Teknik Mesin. Universitas Halu Oleo.

Douglas C. Giancoli, *Physics – Principles with Application*, Pearson Education, Inc.
Ramadhan, Moldy. *Pengertian AutoCAD Beserta Sejarah, Fungsi dan Kegunaannya Dalam Kehidupan Arsitek*. [Online] Desember 13, 2017 [Cited: Mei 30, 2020.] < <https://www.asdar.id/pengertian-autocad-beserta-sejarah-fungsi-dan-kegunaannya-dalam-kehidupan-arsitek/> >

Dwi, Risma Atmajayani. 2018. *Implementasi Penggunaan Aplikasi AutoCAD dalam Meningkatkan Kompetensi Dasar Menggambar teknik bagi Masyarakat*. Universitas Nahdlatul Ulama. Blitar.

NHTSA. 2015. *Live Saved by Vehicle Safety Technologies and Associated Federal Motor Vehicle Safety Standards, 1960 to 2012*. U.S Department of Transportation.

Prof (Dr.) Nataraj K.R. 2014. *Proceeding of International Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (ICEECS 2014) & International Conference on Mechanical and Industrial Engineering (ICMIE 2014)*. Department of Computer Science and Engineering. C.V Raman College of Engineering. Bhubaneswar, Odisha.

Karger-Kocsis, Jozsef & Mousa, Ahmad & Major, Zoltan & Békési, Nándor. (2008). *Dry friction and sliding wear of EPDM rubbers against steel as a function of carbon black content*. *Wear*. 264. 359-367. 10.1016/j.wear.2007.03.021.

Nudehi, Shahin, John Steffen. (2018). *Analysis of Machine Elements Using Solidworks Simulation 2018*. SDC Publication. US America.

Raoufi, Cyrus. (2019). *Applied Finite Element Analysis SolidWorks Simulation 2019*.
British Columbia Institute of Technology. Canada.

L. Khasyytillah, Yennita, and M. Irianti, "*Pengembangan Lembar Kerja Siswa Higher Order Thinking Skills (HOTS) Pada Materi Momentum, Impuls, dan Tumbukan SMA Kelas XI/Semester 1,*" *Jurnal Online Mahasiswa FKIP*, Vol. 3 No. 2, 2016.