



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM184835

ANALISA UJI TABRAK TYPE 40 PADA CHASSIS GO-KART MENGGUNAKAN EXPLICIT DYNAMICS

Rahadian Akmal Wildanum
NRP. 02111440000188

Dosen Pembimbing
Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT.
NIP. 196807061999031004

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020



TUGAS AKHIR - TM184835

ANALISIA UJI TABRAK TYPE 40 PADA CHASSIS GO-KART MENGGUNAKAN EXPLICIT DYNAMICS

Rahadian Akmal Wildanum
NRP. 02111440000188

Dosen Pembimbing
Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT.
NIP. 196807061999031004

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020



FINAL PROJECT - TM184835

CRASH TEST ANALYSIS WITH TYPE 40 ON KART CHASSIS USING EXPLICIT DYNAMICS

Rahadian Akmal Wildanum
NRP. 02111440000188

Advisor
Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT.
NIP. 196807061999031004

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEM ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020

ANALISA UJI TABRAK TYPE 40 PADA CHASSIS GO-KART MENGGUNAKAN EXPLICIT DYNAMICS

TUGAS AKHIR

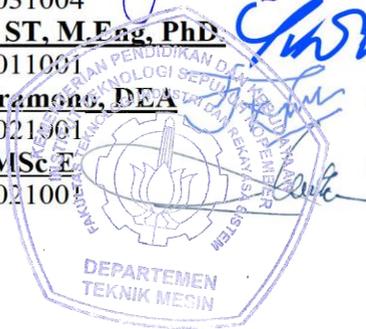
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Rahadian Akmal Wildanum
NRP. 02111440000188

Disetujui oleh:

1. **Ir. Julendra B. Ariatedja, MT.** (Pembimbing)
NIP. 196807061999031004
2. **Achmad Syaifudin, ST, M.Eng, PhD.** (Penguji 1)
NIP. 197909262005011001
3. **Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA** (Penguji 2)
NIP. 196508101991021001
4. **Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E** (Penguji 3)
NIP. 196511031990021001



**SURABAYA
AGUSTUS 2020**

ANALISA UJI TABRAK TYPE 40 PADA CHASSIS GO-KART MENGGUNAKAN EXPLICIT DYNAMICS

Nama Mahasiswa : Rahadian Akmal Wildanum
NRP : 02111440000188
Departemen : Teknik Mesin/FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Julendra B. Ariatedja, MT

ABSTRAK

Go-kart adalah varian dari kendaraan roda empat atap terbuka sederhana dan kecil untuk olahraga motor. Perlombaan Go-kart biasanya dianggap sebagai batu loncatan untuk olahraga motor yang lebih tinggi atau bahkan ke jenjang karir professional. Saat go-kart berada di lintasan balap, kendaraan ini diharuskan memiliki akselerasi dan kecepatan yang tinggi. Lintasan untuk perlombaan go-kart tidak hanya lintasan yang lurus, melainkan terdapat beberapa belokan dari sudut belok yang tumpul hingga tajam.

Torsional rigidity pada chassis go-kart sangatlah penting, karena go-kart dituntut lincah saat berbelok dengan ketiadaan differential gear dan sistem suspensi dalam chassis go-kart. Maka dari itu diharapkan chassis yang akan digunakan harus cukup fleksibel untuk meningkatkan kemampuan berbeloknya. Selain itu, go-kart merupakan kendaraan yang terbuka untuk pengendaranya, dibutuhkan chassis yang dapat menjamin keamanan pengendaranya saat terjadi benturan. Bentuk deformasi yang terjadi ketika terjadi benturan tidak boleh melukai pengendaranya. Maka dari itu pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan bentuk dan nilai deformasi saat terjadi benturan.

Pengujian dilakukan dengan simulasi menggunakan software ANSYS Workbench 18. Pengujian ini bertujuan

untuk mengetahui pengaruh bentuk elemen terhadap hasil pengujian. Pada pengujian ini hanya membandingkan 2 bentuk element saja, yaitu solid element dan surface element. Pengujian impact dilakukan untuk mengetahui keamanan chassis tersebut akibat beban impact. Pengujian dilakukan sebanyak 2 kali untuk impact yaitu, frontal impact test dan offset impact test. Hasil dari simulasi tersebut berupa, deformasi dan maximum stress yang nantinya akan menjelaskan kekakuan dari go-kart tersebut, lalu juga akan didapatkan bentuk dan nilai deformasi chassis tersebut dari 2 uji impact yaitu frontal impact dan offset impact.

Kata kunci : Chassis Go-Kart, Impact, Frontal Impact, Offset Impact, Rigid Barrier, Finite Element Method, 3D Modelling.

CRASH TEST ANALYSIS WITH TYPE 40 ON KART CHASSIS USING EXPLICIT DYNAMICS

Student Name : Rahadian Akmal Wildanum
NRP : 02111440000188
Department : Mechanical Engineering/FTI-ITS
Academic Supervisor : Ir. Julendra B. Ariatedja, MT

ABSTRACT

Go-karts are variants of simple and small open-roof four-wheeled vehicles for motor sports. Go-Kart races are usually considered a stepping stone to higher motor sports or even to a professional career level. When the go-kart is on the racetrack, this vehicle is required to have high acceleration and speed. The track for the go-kart race is not only a straight track, but there are a number of turns from the angle of the blunt to sharp turns.

Torsional rigidity in the go-kart chassis is very important, because the go-kart is demanded to be agile when turning in the absence of differential gear and suspension systems in the go-kart chassis. Therefore it is expected that the chassis to be used must be flexible enough to improve its turning capability. In addition, the go-kart is a vehicle that is open to the rider, a chassis is needed that can ensure the safety of the rider when a collision occurs. The form of deformation that occurs when a collision occurs cannot hurt the rider. Therefore this test aims to obtain the form and value of the deformation during a collision.

Testing is done by simulation using ANSYS Workbench 18 software. This test aims to determine the effect

of element shape on test results. In this test only compare two forms of elements, namely solid elements and surface elements. Impact testing is carried out to determine the chassis security due to impact loads. Tests carried out 2 times for impact namely, frontal impact test and offset impact test. The results of the simulation are torsional rigidity, which will later explain the rigidity of the kart, then the form and the value of the chassis deformation will also be obtained from two impact tests namely frontal impact and offset impact.

Keyword : Go-kart, Chassis Go-Kart, Impact, Frontal Impact, Offset Impact, Rigid Barrier, Stationary Rigid Wall, Finite Element Method, 3D Modelling.

KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sebesar-besarnya penulis panjatkan atas kehadiran dan rahmat Allah SWT yang telah melimpahkan kasih, pertolongan dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul : **“Analisa Uji Tabrak Type 40 Pada Chassis Go-Kart Menggunakan Explicit Dynamics”**.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana Teknik S-1 di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam kesempatan ini, secara khusus penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan segala anugerah dan ridho kepada penulis hingga di tahap ini. Rasulullah Muhammad SAW yang telah menjadi panutan hidup bagi seluruh makhluk di semesta alam.
2. Bapak Nugrahadi Djazaul Mukhsinin dan Ibu Raden Roro Sri Wilujeng, Bapak dan Ibu yang selalu sayang, sabar, mendidik dan selalu mendukung penulis agar dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Julendra B. Ariatedja, MT. Selaku dosen pembimbing yang begitu luar biasa sabar membimbing penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
4. Ibu Dinny Harnanyy, ST. MT dan Bapak Dr. Bambang Sudarmanta, ST. MT. selaku dosen wali penulis yang telah memberikan bimbingan selama masa perkuliahan.
5. Bapak Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E., Bapak Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA., Bapak Achmad Syaifudin, ST, M.Eng, PhD., Selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan saran untuk menyempurnakan penulisan tugas akhir ini.
6. Seluruh Dosen dan Karyawan Teknik Mesin ITS.

7. Devi Martiningtyas Ayu Anugrah, yang selalu menemani, menyemangati dan membantu perkuliahan hingga penulis bisa menyelesaikannya hingga tuntas.
8. Angkatan penulis, M-57 yang Uber Alles.
9. Zharfan Fathurrahman, Hafiz Yogastyawan dan Rafi Rasyad yang selalu membantu dan menemani selama waktu maba. Terima kasih juga atas kemenangan-kemenangan mudah di FIFA 14 sampai FIFA 19.
10. Zharfan Fathurrahman, Muhammad Thoriq Aziz, Randi Perdana, Antonius Hadi, Arsha Dwiparizka dan Wied Kukuh Prasetyo yang sudah menemani dan selalu mendengarkan omongan penulis yang kadang suka melewati batas nalar manusia normal.
11. Teman-teman kos E-57 yang sudah menemani dan menyemangati penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
12. Teman-teman fungsio HMM ITS 2016/2017 yang telah membantu penulis untuk berkembang di kampus Teknik Mesin.
13. Insitut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Almamater tercinta, semoga semakin banyak prestasi yang ditorehkan.
14. Semua Ilmuwan yang sudah melakukan penelitian sehingga membantu dan mempermudah penulis untuk menggali ilmu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya.

Surabaya, 21 Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II	7
2.1 Go-kart	7
2.2 Chassis Go-kart	8
2.3 Finite Element Method.....	9
2.3.1 Finite Element Method pada Software ANSYS 11	
2.3.2 Solid Element	11
2.3.3 Surface/Shell Element	13
2.4 Explicit Dynamics	14
2.4.1 Analisa FEM Explicit	15
2.4.2 Waktu Penggunaan FEM Explicit	15
2.5 Material pada <i>Chassis Go-kart</i>	15
2.6 Regulasi <i>Go-kart</i> oleh CIK-FIA.....	17
2.7 Mekanika pada <i>Chassis Go-kart</i>	17
2.7.1 Beban Statis pada Chassis Go-kart	17
2.7.2 Torsional Rigidity pada Chassis Go-kart 19	
2.8 Uji Impact / Uji Tabrak Pada Chassis Kendaraan.....	21
2.8.1 Head Injury Criterion	25
2.8.2 Crashworthiness	26

2.8.3	Initial Speed	27
2.8.4	Deformasi	29
2.8.5	Uji Impact Chassis Kendaraan Dengan Type 40	30
2.9	Antropometri Manusia	31
2.10	Penelitian Terdahulu.....	32
BAB III	.....	41
3.1	<i>Flowchart</i> Tugas Akhir	41
3.2	Studi Literatur dan Pengumpulan Data	42
3.3	Uji komparasi modal struktur dengan 2 tipe <i>element</i>	42
3.4	Pemodelan Chassis Go-kart.....	46
3.5	Pengubahan Bentuk Element.....	47
3.6	Perhitungan Massa	48
3.6.1	Perhitungan Titik Berat	48
3.6.2	Perhitungan Beban Vertikal Massa Kendaraan	51
3.6.3	Perhitungan Beban Torsional	52
3.7	Meshing dan Uji Konvergensi.....	53
3.8	Simulasi.....	54
BAB IV	.....	55
4.1	Boundary Condition Pada <i>Torsional Rigidity</i>	55
4.2	Hasil Uji Konvergensi	57
4.3	Bounday Condition Pada Simulasi Impact.....	59
4.4.1	Front Impact	60
4.5	Hasil Pengujian Impact	62
4.5.1	Hasil Pengujian Front Impact	62
4.5.2	Hasil Pengujian Offset Impact	64
4.6	Energy Pada Pengujian Impact.....	66
BAB V	.....	69
5.1	Kesimpulan.....	69
5.2	Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	.....	71
BIODATA PENULIS	.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pelopor Go-kart, Art Ingels dan Lou Borelli, <i>British Historic Kart Club</i> , 2018.....	7
Gambar 2. 2 Beberapa model frame Go-kart di pasaran.	9
Gambar 2. 3 Pemodelan FEM pada kunci sepeda.	10
Gambar 2. 4 Jenis element dalam Finite Element Method..	11
Gambar 2. 5 Salah satu contoh Solid Element dalam pengujian kali ini.	12
Gambar 2. 6 Salah satu contoh Shell Element dalam pengujian kali ini.	14
Gambar 2. 7 Sirkuit Go-kart International Circuit Park Genk, Belgia.	17
Gambar 2. 8 Beban statis pada chassis Go-kart.	18
Gambar 2. 9 Pemodelan dudukan mesin dan pengemudi....	18
Gambar 2. 10 Free body diagram pada chassis Go-kart.....	19
Gambar 2. 11 Pengujian Torsional Rigidity pada Chassis Go-kart	20
Gambar 2. 12 Frontal Impact dengan Finite Element Method	22
Gambar 2. 13 Rear Impact dengan Finite Element Method	23
Gambar 2. 14 Lateral Impact dengan Finite Element Method	24
Gambar 2. 15 Offset Impact dengan Finite Element Method	25
Gambar 2. 16 Chassis Formula SAE dengan Impact Attenuator.....	27
Gambar 2. 17 Finite Element Method dari struktur mobil balap yang menggunakan Impact Attenuator	27
Gambar 2. 18 Titik berat organ.	31
Gambar 2. 19 Letak titik berat manusia pada chassis Sapuangin Speed.	32

Gambar 2. 20 Hasil pengujian dengan menggunakan metode FMVSS no 208 dan EURONCAP.....	33
Gambar 2. 21 Contoh pengujian chassis pada pembebanan torsional.....	35
Gambar 2. 22 Setup eksperimen Solazzi & Matteazzi.	36
Gambar 2. 23 Pembebanan pada eksperimen Solazzi & Matteazi.....	36
Gambar 2. 24 Bentuk deformasi dari front impact.....	37
Gambar 2. 25 Bentuk deformasi dari rear impact.	37
Gambar 2. 26 Bentuk pengujian dari front impact.	38
Gambar 2. 27 Bentuk pengujian dari rear impact.....	39
Gambar 2. 28 Bentuk pengujian dari side impact.	39
Gambar 3. 1 Flowchart tugas akhir.	41
Gambar 3. 2 Geometri pada proses komparasi dalam bentuk surface.	43
Gambar 3. 3 Geometri pada proses komparasi dalam bentuk solid.	44
Gambar 3. 4 Von-mises stress menggunakan bentuk element surface.	44
Gambar 3. 5 von-mises stress menggunakan bentuk element solid.	45
Gambar 3. 6 Deformasi total menggunakan bentuk element surface.	45
Gambar 3. 7 Deformasi total menggunakan bentuk element solid.	46
Gambar 3. 8 Penampang chassis.	47
Gambar 3. 9 Hasil pemodelan chassis.....	47
Gambar 3. 10 Letak titik berat tangki.....	49
Gambar 3. 11 Letak titik berat engine.....	49
Gambar 3. 12 Letak titik berat drivetrain.....	50
Gambar 3. 13 Perhitungan Beban Torsional pada Chassis Go-kart.	53
Gambar 3. 14 Tahapan simulasi dalam software ANSYS. .	54

Gambar 4. 1 Beban dan support pada chassis.	55
Gambar 4. 2 Hasil Konvergensi menggunakan Surface Element.....	58
Gambar 4. 3 Letak point mass pada komponen chassis.	60
Gambar 4. 4 Boundary condition front impact.....	60
Gambar 4. 5 Boundary condition offset impact.	61
Gambar 4. 6 Bentuk deformasi dari front impact.....	62
Gambar 4. 7 Letak deformation probe pada saat simulasi. .	62
Gambar 4. 8 Tegangan maksimal pada chassis go-kart.	63
Gambar 4. 9 Bentuk setelah pengujian offset impact.	64
Gambar 4. 10 Bentuk sebelum pengujian offset impact.....	64
Gambar 4. 11 Tegangan maksimal dari pengujian offset impact.....	65
Gambar 4. 12 Grafik energi pada pengujian front impact dengan metode surface element.	66
Gambar 4. 13 Grafik energi pada pengujian front impact dengan metode surface element.	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Property material AISI 4130 (ASM, 2018).....	16
Tabel 2. 2 Titik Berat Manusia pada Sapuanjin dalam mm32	
Tabel 3. 1 Koordinat Titik Berat Komponen.	51
Tabel 3. 2 Beban Vertikal Massa Kendaraan.	52
Tabel 4. 1 Rincian berat dan gaya pada chassis Go-kart.	56
Tabel 4. 2 Rincian beban yang akan diberikan.....	56
Tabel 4. 3 Hasil uji konvergensi pengujian torsional rigidity menggunakan Surface Element.	57
Tabel 4. 4 Koordinat titik berat komponen.	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Go-kart adalah varian dari kendaraan roda empat atap terbuka sederhana dan kecil untuk olahraga motor. Perlombaan *Go-kart* biasanya dianggap sebagai batu loncatan untuk olahraga motor yang lebih tinggi atau bahkan ke jenjang karir profesional. *Go-kart* sendiri pertama kali dibuat oleh Art Ingels pada sekitar tahun 1950 di California, Amerika Serikat. Dalam waktu yang singkat kendaraan ini langsung populer dan menyebar sampai ke wilayah Eropa. *Go-kart* dapat dikendarai oleh anak-anak maupun orang dewasa. Inilah yang membuat *Go-kart* dikenal dan diminati banyak orang, selain harga yang lebih murah bila dibandingkan dengan olahraga motor sport lainnya. Olahraga *Go-kart* sendiri pertama kali diperkenalkan di Indonesia pada tahun 1967 oleh Hengky Iriawan. Gagasan pembuatan mesin *Go-kart* sendiri berasal dari beberapa mahasiswa ITB (Institut Teknologi Bandung) Jurusan Mesin saat itu (Ikatan Motor Indonesia, 2018).

Go-kart merupakan kendaraan yang banyak diaplikasikan dalam lintasan balap. Saat *go-kart* sedang berlomba di lintasan balap, *go-kart* dituntut mampu berakselerasi tinggi dan melaju kencang. Selain cepat dalam lintasan lurus, *go-kart* perlu juga lincah saat berbelok. Kelincahan ini merupakan hal penting dikarenakan karakteristik lintasan *go-kart* yang memiliki banyak belokan di dalamnya. Sehingga *chassis go-kart* perlu didesain untuk dapat lincah saat sedang perlombaan.

Chassis merupakan komponen kendaraan yang fungsi utamanya adalah sebagai rangka penguat konstruksi *body* kendaraan agar mampu menahan beban kendaraan dan beban *impact* saat terjadi tabrakan sehingga dapat melindungi

penumpang (Sutantra & Sampurno, 2010). Selain didesain kuat untuk menahan beban kendaraan, *chassis* juga harus didesain cukup fleksibel terhadap kekakuan torsional sehingga memungkinkan terjadinya *jacking*. Selain itu, fleksibilitas ini juga

dimaksudkan sebagai sistem suspensi yang tidak ditemukan pada *go-kart*. Kekuatan *chassis* juga merupakan hal penting yang perlu diperhatikan saat mendesain *go-kart*.

Seiring berjalannya waktu, faktor keamanan dan analisa desain dari *Go-kart* ini dapat kita lakukan dalam sebuah analisa dengan menggunakan *Finite Element Method*.

Finite element method (FEM) atau biasanya disebut *Finite Element Analysis* (FEA), adalah prosedur numeris yang digunakan untuk menyelesaikan suatu masalah dengan cara membagi objek analisa menjadi bagian – bagian kecil yang disebut *discretizing*. Bagian – bagian ini disebut elemen, yang terdiri dari titik – titik sudut (disebut nodal, atau node). Seperti analisa tegangan pada struktur, frekuensi pribadi dan mode *shape*-nya, perpindahan panas, elektromagnetis, dan aliran fluida (Moaveni,1999). Metode ini digunakan untuk membantu menyelesaikan masalah – masalah teknik yang ada, dimana masalah – masalah tersebut tidak bisa diselesaikan dengan metode biasa. Saat ini sudah banyak *software* berbasis elemen hingga untuk menyelesaikan permasalahan, seperti Solidworks, Ansys, Abaqus (CATIA). Dalam pengujian ini, penulis menggunakan *software* ANSYS *Workbench* dalam membantu proses pengujian.

Diogo (2014) pernah meneliti tentang tabrakan frontal pada *chassis* mobil menggunakan FEA *non-linear*. Dua situasi pada *frontal crash* yang dievaluasi: *impact* pada *rigid barrier* dan *impact* dengan 40% ODB (*offset Defomable Barrier*). Simulasi pada peneltiain ini hanya menganggap beban statis pada *bumper* dan kesimpulannya tidak mencerminkan apa yang

akan terjadi selama *impact* dengan beban dinamik. Hasil akhir dari pengujian ini adalah jumlah energy yang hilang dan *Head*

Injury Criterion yang didapatkan dari simulasi uji tabrak. Simulasi dilakukan dengan menggunakan ANSYS. ODB dan *rigid wall* dimodelkan berupa *solid element*, sedangkan *chassis* dimodelkan berupa *shell element* di *Finite Element Model*.

1.2 Rumusan Masalah

Go-kart merupakan olahraga yang memerlukan kecepatan. Tentu banyak sekali hal yang mempengaruhi kecepatan *Go-kart* antara lain desain *Go-kart*, mesin, pembuatan *chassis* dan aksesoris seperti *wing*, *front bumper* dan *rear bumper*. Namun, olahraga *Go-kart* tidak pernah lepas dari tabrakan. Dalam analisa kekuatan *chassis*, perlu dilakukan simulasi dengan menggunakan metode *impact*. Penulis memperkirakan, analisa *impact* membutuhkan proses komputasi yang cukup besar dan memakan waktu yang lama. Penulis mencoba menggunakan *surface element* untuk menyederhanakan bentuk dari *chassis* yang di uji serta mengurangi beban komputasi pada simulai. Sebelum itu, penulis ingin membandingkan kedua hasil dari permodelan *solid element* dan *surface element* dalam bentuk yang sederhana.

Hipotesa awal pada penelitian ini adalah:

1. Analisa kekakuan dari *chassis* yang menggunakan 2 bentuk *element* yaitu *solid element* dan *surface element*. Berdasarkan teori, nilai kekakuan akan bertambah tergantung dari jenis material dan ukuran *geometry*.
2. Bentuk dari *solid element* dan *surface element* menunjukkan hasil yang sama saat melakukan uji tabrak pada *chassis go-kart* yang menggunakan metode *Explicit Dynamic*.
3. *Chassis analysis* berupa *frontal impact* dan *offset impact* terhadap *go-kart* menggunakan metode Euroncap dan FMVSS.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini yang perlu diperhatikan adalah:

1. *Massa* bagian-bagian kendaraan yang terlibat dalam perhitungan:
 - a) *Chassis* : 16.5 Kg
 - b) *Drivetrain* : 6 Kg
 - c) *Engine* + knalpot : 39.2 Kg
 - d) Tangki : 5.4 Kg

- e) Roda dan *Velg* : 6 Kg
- f) Pengendara : 70 Kg
- 2. Massa selain *Chassis*, seperti *engine*, tangki bahan bakar, *drivetrain*, roda dan pengendara, diabaikan karena dianggap kecil dan untuk menyederhanakan analisa dan perhitungan.
- 3. Pengujian ini hanya meneliti bagian depan *chassis* dari *Go-kart*.
- 4. Pengujian ini menggunakan *Finite Element Method* dengan bentuk element *Solid Element* dan *Surface Element*.
- 5. *Go-kart* yang digunakan adalah *go-kart* yang sesuai regulasi Ikatan Motor Indonesia yaitu tidak memiliki sistem *differential* dan sistem suspensi.
- 6. *Chassis* berupa *unibody*.
- 7. Material yang digunakan adalah AISI 4130 Chromemolly.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan untuk:

- 1. Mengetahui hasil *impact* dari 2 jenis *element*.
- 2. Mengetahui hasil *crashworthiness* dalam pengujian *impact* pada *chassis* dengan *solid element* dan *surface element*.
- 3. Mengetahui hasil perbandingan analisa antara *chassis* yang menggunakan uji *frontal impact* dan *offset impact* dengan menggunakan metode Euroncap dan FMVSS pada variasi kecepatan 60 km/h.

1.5 Manfaat

Dalam penelitian tugas akhir ini, terdapat beberapa manfaat yang bisa diambil antara lain sebagai berikut:

- 1. Hasil penelitian pada tugas akhir ini dapat memberikan pengetahuan mengenai penggunaan metode *solid element* dan *surface element* dalam berbagai analisa yang dilakukan dengan menggunakan *Finite Element Method*.
- 2. Hasil dari penelitian ini bisa digunakan untuk referensi bagi industri *Go-kart* dalam negeri untuk membuat sebuah *Go-*

kart yang mempunyai performa yang bagus dan tetap aman saat terjadi tabrakan.

3. Hasil dari penelitian ini bisa digunakan untuk membantu mahasiswa agar lebih memahami konsep pengembangan dan perancangan kendaraan *Go-kart*.
4. Hasil dari penelitian ini bisa digunakan khususnya oleh mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember untuk mengembangkan penelitian yang lebih jauh tentang *Go-kart*.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Go-kart

Teknologi *Go-kart* telah dikembangkan sejak ditemukannya roda pada peradaban manusia. Tapi, teknologi ini belum digunakan dalam kegiatan balapan selama 300 tahun di Amerika. *Go-kart* pertama kali ditemukan di California, USA pada sekitar tahun 1956 oleh Art Ingels dan Lou Borelli menggunakan mesin penggerak 100 cc dan *frame* baja. Kemudian, balap *Go-kart* mulai berkembang dengan semakin tingginya popularitas *Go-kart* yang makin merambah di luar Amerika Serikat. Pada sekitar tahun 1959-1960, *Go-kart* saat itu mulai dikenal dan populer di Inggris. Dengan jangka waktu yang cukup lama sejak ditemukannya, *Go-kart* telah digunakan baik untuk tujuan hiburan maupun olahraga otomotif. (Chow, 2001)



Gambar 2. 1 Pelopor Go-kart, Art Ingels dan Lou Borelli,
British Historic Kart Club, 2018

Menurut International Karting Commission – Federation International Automobile (CIK-FIA), *Go-kart* dapat didefinisikan sebagai kendaraan darat dengan 4 roda yang bersentuhan dengan

tanah. Di mana dua diantaranya mengontrol *steering* sedangkan dua sisanya berguna untuk mentransmisikan daya. Komponen utama dari *Go-kart* adalah *chassis* (terdiri dari *frame* yang terbuat dari susunan baja yang dibengkokkan dan dilas) dengan sebuah mesin penggerak, empat roda, dan ban yang melekat pada *chassis* tersebut. (Chow, 2001).

Go-kart sendiri memiliki berbagai jenis. Beberapa diantaranya adalah *gravity kart*, *Go-kart* untuk rekreasi, dan *super kart*. Pertama ialah *gravity kart*, yakni *kart* tanpa motor yang dapat melaju dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Biasanya balapan diadakan pada jalan miring pada daerah-daerah berdataran tinggi. Yang kedua ialah *kart* untuk rekreasi. *Kart* ini banyak dijumpai di wahana rekreasi untuk disewakan, lintasan yang disediakan bisa didalam ruangan (*indoor*) ataupun diluar ruangan (*outdoor*). *Kart* jenis ini biasanya memiliki kecepatan yang tidak terlalu tinggi. Dan yang ketiga ialah *super kart*, jenis *kart* ini memiliki kecepatan yang sangat tinggi. Biasanya memiliki bentuk *body* yang aerodinamis sehingga mampu mengurangi dan memanfaatkan *drag force* udara, selain itu *super kart* juga memiliki kemampuan berbelok yang handal.

2.2 Chassis Go-kart

Komponen *chassis (frame)* kendaraan adalah komponen utama pada kendaraan yang fungsi utamanya adalah sebagai rangka penguat konstruksi bodi kendaraan agar mampu menahan beban kendaraan dan beban *impact* saat terjadi tabrakan sehingga dapat melindungi penumpang (Sutantra & Sampurno, 2010). Konstruksi *frame* biasanya dibuat dengan *beam* baja yang digabungkan dengan las ataupun keeling. Rangka tersebut akan menopang mesin, transmisi, poros belakang (jika penggerak roda belakang) dan semua komponen untuk sistem suspensi. (Chow, 2001)

Frame Go-kart sendiri terbuat dari beam baja yang dibengkokkan dan dilas menjadi satu dengan desain tertentu. Aspek yang paling penting dalam frame sebuah *Go-kart* adalah fleksibilitasnya, dan aspek ini sangat krusial dalam keadaan berbelok di dalam sebuah balap. Fleksibilitas dari frame tersebut bisa didapatkan dari pemilihan material, seperti *Chrome-moly* ataupun dengan membuat desain yang layak. (Chow, 2001). Fleksibilitas dalam *frame Go-kart* inilah yang nantinya berfungsi sebagai pengganti system suspensi dalam *Go-kart*. *Frame* tersebut akan membantu para pengemudinya untuk berbelok dengan menggunakan efek *jacking*, yaitu terangkatnya roda belakang *Go-kart* bagian dalam untuk mempermudah mekanisme berbelok.



Gambar 2. 2 Beberapa model frame Go-kart di pasaran.

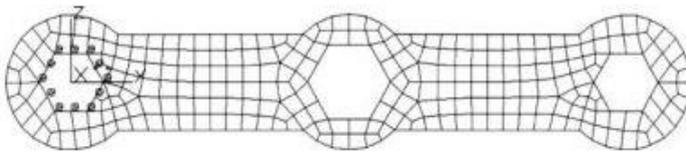
2.3 Finite Element Method

Finite Element Method (FEM) atau biasanya disebut *Finite Element Analysis* (FEA), adalah prosedur numeris yang dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa (*engineering*), seperti analisa tegangan pada struktur, frekuensi pribadi dan mode *shape*-nya, perpindahan panas, elektromagnetis, dan aliran fluida (Moaveni,1999).

Penyelesaian dengan metode matematika analitis akan membutuhkan persamaan diferensial yang lebih terperinci pada setiap detail geometri. Metode matematika analitis akan lebih

menguras pikiran dan waktu yang lebih lama dalam melakukan analisis terhadap suatu geometri khusus yang rumit. Begitu juga pada penyelesaian masalah dengan metode eksperimental. Pada geometri yang besar akan banyak menghabiskan biaya dan waktu dalam menganalisis suatu tinjauan. Maka dari itu, digunakan metode elemen hingga sebagai pendekatan penyelesaian masalah engineering yang dapat dipertanggung-jawabkan kehandalan dan keakuratannya untuk menghemat biaya dan waktu dalam proses analisis.

Metode ini digunakan pada masalah-masalah rekayasa dimana *exact solution/analytical solution* tidak dapat menyelesaikannya. Inti dari FEM adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*.



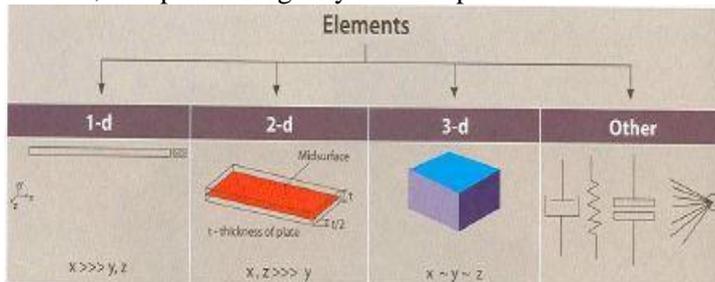
Gambar 2. 3 Pemodelan FEM pada kunci sepeda.

Dalam prosesnya, FEM membagi suatu struktur menjadi elemen-elemen yang disambungkan pada node-node seperti pada gambar di atas. Proses ini menghasilkan beberapa persamaan aljabar simultan yang akan diselesaikan menggunakan interpolasi polinomial. Secara sederhana beberapa persamaan aljabar tersebut dapat disimbolkan dengan matriks $\mathbf{K} \cdot \mathbf{D} = \mathbf{R}$, dimana \mathbf{D} adalah matriks vector dari nilai yang tidak diketahui, \mathbf{R} adalah matriks

vector dari beban yang diberikan, dan K adalah matriks dari konstanta yang diketahui. Dalam analisa tegangan, K disebut sebagai “matriks kekakuan” (Cook, 1995).

2.3.1 *Finite Element Method* pada Software ANSYS

Terdapat beberapa *software* yang bisa melakukan analisa menggunakan *Finite Element Method*, salah satunya adalah ANSYS. Di dalam *software* ANSYS, terdapat beberapa metode yang bisa dilakukan untuk pengujian ini. Salah satu metodenya adalah dengan memilih jenis elemen dari *meshing* yang akan diimplementasikan pada benda uji. Setidaknya ada 3 metode yang bisa digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada, yaitu dengan menggunakan *solid element*, *surface element*, dan *beam element*. Pengujian kali ini akan difokuskan kepada *surface element*, dan perbandingannya terhadap *solid element*.

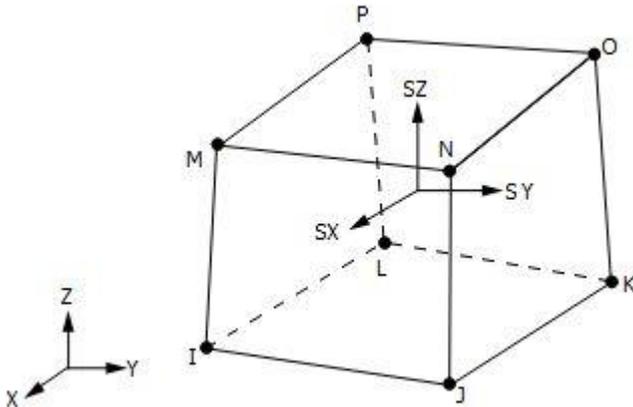


Gambar 2. 4 Jenis element dalam Finite Element Method

2.3.2 *Solid Element*

Metode analisa ini yang paling biasa digunakan dalam penelitian-penelitian terdahulu. *Solid element* menggunakan semua dimensi yang ada pada benda uji tersebut (3 dimensi), yang mana adalah jenis elemen yang paling umum digunakan untuk melakukan analisa tegangan. Secara umum, analisis struktur menggunakan elemen 3 dimensi adalah yang paling kuat dan paling penting untuk mengetahui tentang rancangan teknik benda tersebut (Chen, 2015). Jenis element ini merepresentasikan bentuk

asli daripada benda tersebut, metode ini adalah metode yang paling akurat untuk melakukan analisis tegangan-regangan pada *beam*. Ditinjau dari jumlah element dan nodanya, *solid element* mempunyai jumlah *element* dan noda yang lebih banyak daripada metode lainnya. Maka dari itu simulasi *solid element* ini lebih memakan waktu yang banyak daripada metode lainnya.



Gambar 2. 5 Salah satu contoh Solid Element dalam pengujian kali ini.

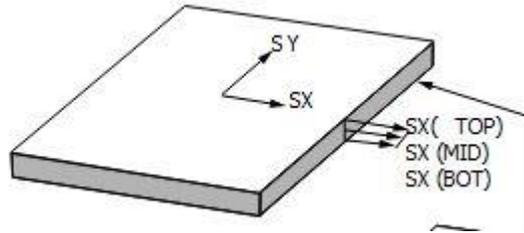
Pada gambar 2.3.2 di atas merupakan salah satu contoh *solid element* yang digunakan dalam pengujian kali ini. Elemen tersebut bernama SOLID185. Elemen solid memiliki 3 *degrees of freedom* (DOF) pada setiap node. Terdiri dari translasi ke arah sumbu x, y, dan z. Elemen ini dapat digunakan untuk analisis struktur pada kaskus 3 dimensi. Elemen ini mempunyai *plasticity*, *hyperelasticity*, *stress stiffening*, *creep*, *large deflection*, dan *large strain capabilities*. SOLID185 mempunyai berbagai bentuk seperti prisma, tetrahedral dan piramid. Pembebanan kepada elemen akan diterjemahkan dalam *nodal loading*. Tetapi tekanan boleh di *input* sebagai *surface loads* pada tiap permukaan dari elemen tersebut. Tegangan bekerja terhadap sumbu x, y dan z.

2.3.3 Surface/Shell Element

Metode analisa ini meninjau dari lapisan tengah benda uji. Pada dasarnya metode ini menggunakan analisa 2 dimensi dan menggunakan bantuan *software* untuk melengkapi ketidakhadiran dimensi yang ke-3 yaitu ketebalan. Ketebalan harus dimasukan sendiri oleh penggunanya ke dalam *software*. Setelah itu ketebalan yang sudah dimasukan oleh penggunanya dibagi menjadi sisi bagian atas dan sisi bagian bawah. Untuk merepresentasikan geometri benda secara benar, maka *meshing* pada metode ini harus dilakukan di lapisan tengah (*mid surface*)(Gokhale,2008). *Surface/Shell Element* ini cukup efektif untuk merepresentasikan hasil pengujian. Jumlah node dan elemen pada metode ini lebih sedikit dari solid elemen. Hal ini berpengaruh kepada waktu pengujian yang lebih singkat dari solid elemen. *Surface/ Shell element* adalah penyederhanaan secara matematis dari solid element. (Kuusisto, 2017). Aplikasi dari jenis element ini ada pada *sheet metal*, komponen plastik, dan berbagai macam komponen yang ratio ketebalannya < 1 . Maka dari itu, pada kenyataannya *shell element* tidak bisa bekerja maksimal pada benda kerja yang tebal . (Zardadkhan, 2012)

Gambar 2.3.3 merupakan satu contoh elemen yang dipakai dalam pengujian kali ini. Elemen tersebut bernama SHELL181. Elemen ini merupakan elemen *surface* dengan 6 DOF di setiap node. Terdiri dari translasi terhadap sumbu x,y,z , dan rotasi terhadap sumbu x,y,z . Ketebalan merupakan salah satu input dari elemen ini. Terdapat 3 letak ketebalan yang bisa diinput, yaitu *top*, *midsu*, dan *bottom*. Elemen ini dapat digunakan untuk analisis struktur pada permasalahan 3 dimensi. Pembebanan kepada elemen akan diterjemahkan dalam *nodal loading*. Tetapi tekanan boleh di *input* sebagai *surface loads* pada tiap permukaan dari elemen tersebut. Tegangan pada *surface element* hanya bekerja pada 2 sumbu saja, yaitu sumbu X dan sumbu Y.

2.4



Gambar 2. 6 Salah satu contoh Shell Element dalam pengujian kali ini.

Explicit Dynamics

Explicit Dynamics merupakan sub program *analysis systems* ANSYS yang berfungsi untuk mengkaji analisis *transient explicit dynamics* yang dapat menampilkan simulasi variasi dalam bidang-bidang rekayasa, termasuk kelakuan pemodelan dinamik nonlinear dari benda-benda solid, fluida, gas dan interaksi yang berkaitan. Sub program ANSYS *explicit dynamics* dapat membantu kita untuk melakukan visualisasi fisik dalam kurun waktu singkat terhadap pemodelan atau produk yang kita buat yang memiliki kasus nonlinear tinggi dan gaya transien dinamik sehingga dapat memaksimalkan desain atau produk yang sudah kita buat.

Program analisis elemen hingga ANSYS *explicit dynamics* mempunyai fitur analisis yang dapat membantu perancang untuk mengembangkan dan mengkaji dalam hal-hal, seperti:

1. Durasi singkat, kompleks atau interaksi perubahan struktur.
2. Analisa Quasi-static.
3. Benturan kecepatan tinggi dan *hypervelocity*.
4. Beban berat dalam sebuah deformasi material yang luas.
5. Kegagalan material.
6. Kegagalan material fragmentasi.
7. Penetrasi mekanik.
8. Benturan celah keruntuhan (*hypervelocity*).
9. Desain alat-alat olahraga.

10. Proses manufaktur dengan reaksi nonlinear plastis.

2.4.1 Analisa FEM *Explicit*

Analisa *explicit* bertujuan untuk menyelesaikan percepatan. Setelah akselerasi dihitung pada langkah ke- n , kecepatan pada langkah $n + \frac{1}{2}$ dan perpindahan pada langkah $n + 1$ dihitung. Dalam perhitungan ini, skema ini tidak stabil tanpa syarat dan dengan demikian langkah waktu yang lebih kecil diperlukan. Untuk lebih tepatnya, langkah waktu analisa FEM *explicit* harus kurang dari langkah waktu *Courant* (waktu yang diambil oleh gelombang suara untuk melakukan perjalanan melintasi elemen).

2.4.2 Waktu Penggunaan FEM *Explicit*

Analisa eksplisit menawarkan solusi yang lebih cepat dalam peristiwa keseimbangan dinamis atau sebaliknya. Dimana jumlah semua gaya sama dengan massa dikali dengan percepatan. Metode eksplisit harus digunakan ketika laju regangan dibagi dengan kecepatan masing – masing lebih dari 10 unit/detik atau 10 m/s. Peristiwa ini dapat dicontohkan dengan skenario ekstrem seperti tabrakan pada mobil, peluru yang ditembakkan atau bahkan dampak meteor. Dalam kasus ini, model material tidak hanya perlu memperhitungkan variasi tegangan dengan regangan, tetapi juga tingkat regangannya. Pada skala ini, tingkat regangan mempunyai kontribusi yang sangat penting.

2.5 Material pada *Chassis Go-kart*

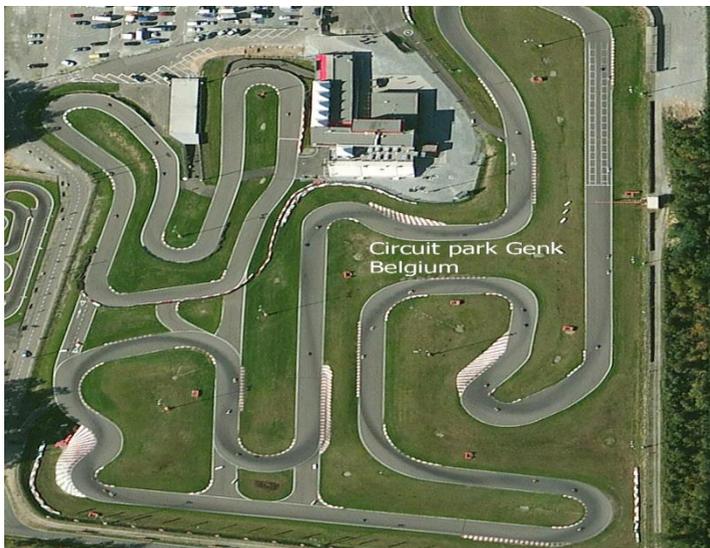
Fleksibilitas dari frame tersebut bisa didapatkan dari pemilihan material, seperti *Chrome-moly* ataupun dengan membuat desain yang layak. (Chow, 2001). Material yang digunakan *Chrome-molly (chromolly)* khususnya AISI 4130 dianggap memiliki sifat yang baik dan biasa digunakan untuk pembuatan *chassis Go-kart racing*.

Tabel 2. 1 Property material AISI 4130 *chrome-moly* (ASM, 2018)

Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in ³	
Mechanical Properties			
Hardness, Brinell	197	197	
Hardness, Knoop	219	219	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Rockwell B	92	92	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Rockwell C	13	13	Converted from Brinell hardness. Value below normal HRC range, for comparison purposes only.
Hardness, Vickers	207	207	Converted from Brinell hardness.
Tensile Strength, Ultimate	670 MPa	97200 psi	
Tensile Strength, Yield	435 MPa	63100 psi	
Elongation at Break	25.5 %	25.5 %	in 50 mm
Reduction of Area	60 %	60 %	
Modulus of Elasticity	205 GPa	29700 ksi	Typical for steel
Bulk Modulus	140 GPa	20300 ksi	Typical for steel
Poisson's Ratio	0.29	0.29	Calculated
Izod Impact	87 J	64.2 ft-lb	
Machinability	70 %	70 %	annealed and cold drawn. Based on 100% machinability for AISI 1212 steel.
Shear Modulus	80 GPa	11600 ksi	Typical for steel

2.6 Regulasi *Go-kart* oleh CIK-FIA

Mengacu pada regulasi yang ada, kecepatan maksimum pada *Go-kart* ditentukan sebesar 45 km/h. Regulasi juga mengatur mengenai dimensi sirkuit *Go-kart*. Di dalam regulasi ditunjukkan lintasan sirkuit harus memiliki panjang minimum 900 m dan lebar minimum 8 m. Untuk kejuaraan terbuka atau terbuka/terbatas (*zone*) minimum panjang lintasan harus 1200 m dan lebar 9 m (sesuai ketentuan CIK-FIA). Sirkuit *Go-kart* diharuskan untuk memiliki ukuran radius belok minimum 15 feet atau sekitar 4,6 m. (Ikatan Motor Indonesia, 2018)



2.7 Mekanika pada *Chassis Go-kart*

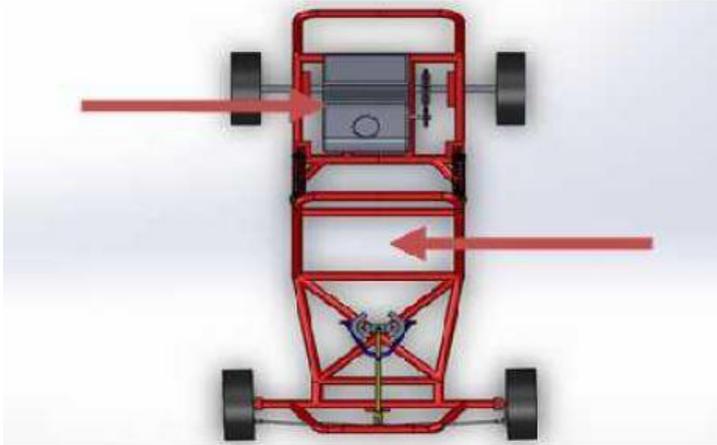
Gambar 2. 7 Sirkuit *Go-kart* International Circuit Park Genk, Belgia.

(Kartingenk.be, 2017)

2.7.1 Beban Statis pada *Chassis Go-kart*

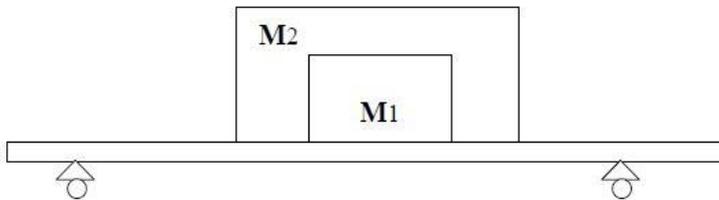
Analisa terhadap beban statis yang bekerja pada *Go-kart* adalah untuk mengetahui kekuatan *frame Go-kart* terhadap

pembebanan statis yang diterima. Untuk pendiskripsian beban–beban statis yang ditanggung oleh *Go-kart*, maka beban statis hanya meliputi berat dari mesin dan berat pengemudi.



Gambar 2. 8 Beban statis pada chassis *Go-kart*.

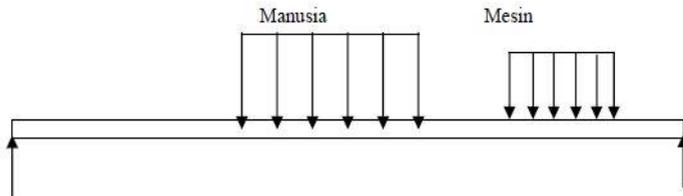
Dari gambar 2.8 maka dapat digambarkan pemodelan yang sederhana untuk konstruksi tersebut seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2. 9 Pemodelan dudukan mesin dan pengemudi.

Ket :

1. M 1 : Mesin
2. M 2 : Pengemudi



Gambar 2. 10 Free body diagram pada chassis Go-kart.

Sebuah gambar massa M1 engine, gambar massa M2 adalah pengemudi. Gaya-gaya yang diberikan oleh M1, M2, kepada rangka dimodelkan sebagai gaya-gaya yang terdistribusi secara merata sepanjang garis kontak antara masa dengan rangka karena perbandingan antara panjang garis kontak dengan panjang garis yang dikenai gaya - gaya tersebut tidak terlalu kecil maka pemodelan gaya - gayanya dapat dilihat pada gambar 2.10.

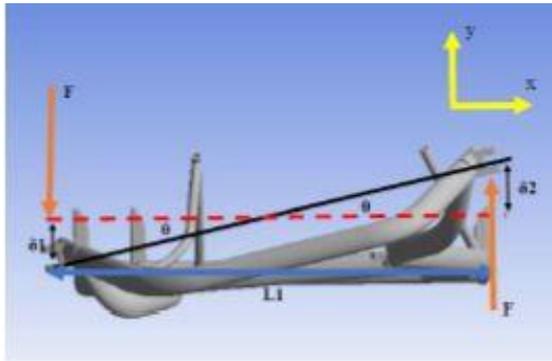
2.7.2 Torsional Rigidity pada Chassis Go-kart

Salah satu hal penting pada chassis adalah nilai kekakuan *chassis* tersebut. Besarnya nilai kekakuan ini dapat dicari dengan menggunakan *torsional rigidity*. *Torsional rigidity* dapat dihitung dengan menggunakan memberikan momen torsi pada chassis. Pada penelitian kali ini pengujian torsional rigidity disimulasikan menggunakan metode elemen hingga. Pada analisa kali ini, beban diberikan pada dua sisi yang berlawanan pada bagian tumpuan roda depan chassis yang membentuk momen kopel. Sementara pada bagian tumpuan roda belakang chassis digunakan fix support. Pengujian tersebut akan menghasilkan nilai torsi dan sudut punter yang mana nantinya dapat diubah menjadi nilai torsional rigidity (Zaqqi, 2015).

Besarnya torsi (T) dan sudut puntir (θ) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$T = P \times (L1 + L2) = (F1 + F2) \times L1 \quad (2.1)$$

$$\theta = \arcsin\left(\frac{|\delta1| + |\delta2|}{L1}\right) \quad (2.2)$$



Gambar 2. 11 Pengujian Torsional Rigidity pada Chassis Go-kart

Keterangan :

P = gaya yang diberikan pada chassis (N)

$F1$ = gaya reaksi 1 (N)

$F2$ = gaya reaksi 2 (N)

$L1$ = jarak antara dua gaya (m)

$L2$ = jarak lengan gaya di luar kendaraan (m)

θ = sudut puntir (degree)

$\delta1$ = displacement pada sisi kiri (m)

$\delta2$ = displacement pada sisi kanan (m)

Sehingga didapatkan nilai kekakuan *chassis* yang dirumuskan sebagai berikut :

$$K = T/\theta \quad (2.3)$$

Menurut Biancolini dalam penelitiannya merekomendasikan bahwa untuk memiliki kinerja yang baik, nilai kekakuan dari chassis *Go-kart* haruslah berkisar antara 165 ~ 169 (N.m/deg) (Biancolini, et al., 2002). Sehingga chassis *Go-kart* yang nantinya akan diteliti diharapkan dapat memenuhi rekomendasi tersebut.

2.8 Uji Impact / Uji Tabrak Pada Chassis Kendaraan

Dalam dunia otomotif uji tabrak biasa dilakukan untuk mengetahui dan memastikan keamanan suatu kendaraan. Pengujian ini dilakukan untuk menganalisa kerusakan akibat tabrakan dalam kecepatan tertentu. Tingkat keamanan suatu kendaraan ditentukan oleh kemampuan struktur suatu *chassis* untuk melindungi penggunanya jika terjadi benturan. Pada umumnya uji tabrak kendaraan dilakukan oleh 2 kendaraan yang ditabrakan atau sebuah kendaraan yang ditabrakan ke suatu hambatan yang telah dibuat. (Radu, 2015) Beberapa hal yang diperhatikan dalam uji tabrak ini adalah deformasi, tegangan, dan regangan dari suatu material tersebut.

Full car analysis memberikan informasi terbaik tentang perilaku *crashworthiness* pada struktur otomotif, khususnya pada sebagian besar suku cadang yang dihubungkan secara sesukanya dalam kendaraan yang dirakit dan ketika bagian struktural berinteraksi dengan bagian sekitarnya selama *impact*. Namun, karena keterbatasan dalam sumber daya komputer dan sejumlah besar data yang muncul saat dilakukan *full car analysis*, penelitian pada komponen – komponen harus di uji secara paralel.

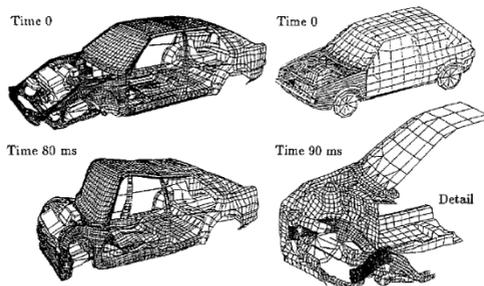
Full car analysis dibagi menjadi 4:

1. *Frontal impact* adalah tubrukan pada bagian depan kendaraan dan dianalisa dengan menggunakan *Finite Element Method*. Kerapatan pada *mesh* biasanya menurun dari depan ke belakang sesuai dengan jumlah deformasi yang diharapkan. Balok / gelagar memanjang disambung dengan sejumlah besar elemen karena harus menyerap

sebagian besar energi dengan melipat dikarenakan adanya perubahan deformasi.

Blok mesin dapat dimodelkan dalam bentuk *solid* atau *surface*. Fasilitas yang terakhir pada pemodelan lebih sederhana dan mengandung lebih sedikit variabel, tetapi sifat inersia dan mekanik harus disesuaikan. *Meshes* biasanya mengandung sekitar 5000 : 12000 *elements*. Ini memungkinkan representasi yang baik dari jumlah keseluruhan seperti gaya benturan atau percepatan pada penumpang dan distribusi penyerapan *energy*.

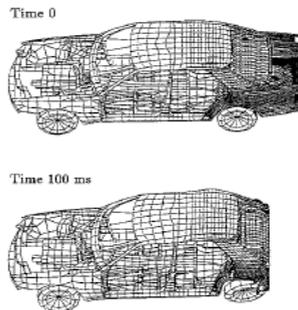
Kualitas simulasi yang baik ditunjukkan dengan perbandingan dengan hasil eksperimen. Sementara jumlah seperti itu sangat cocok untuk bahan evaluasi konstruksi pada umumnya. Untuk mencapai hasil yang diinginkan, atau sebanding dengan model statis dan deformasi yang besar, *meshes* dengan jumlah *elements* 100000 : 500000 akan diperlukan.



Gambar 2. 12 Frontal Impact dengan Finite Element Method

2. *Rear impact* adalah tubrukan pada bagian belakang kendaraan dan dianalisa dengan menggunakan *Finite Element Method*. Model *rear impact* yang pada gambar dibawah menunjukkan perlunya memasukkan

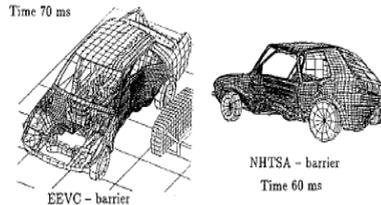
rincian, seperti roda cadangan dalam analisis ini karena pengaruhnya terhadap perilaku pengangkutan beban tidak dapat diabaikan. Kendaraan ini berisi 18050 *sheels* dan 122 *beam elements* dan dijelaskan secara rinci. *Rigid barrier* yang bergerak mensimulasikan tabrakan pada mobil dengan massa 1814 kg terhadap kendaraan yang melaju dengan kecepatan 50 km / jam. Deformasi yang terjadi setelah 100 ms pada bagian belakang kendaraan dan gambar di bawah menjelaskan tentang tingkat deformasi dalam struktur.



Gambar 2. 13 Rear Impact dengan Finite Element Method

3. *Lateral impact* adalah tubrukan pada bagian samping kendaraan dan dianalisa dengan menggunakan *Finite Element Method*. *Lateral impact* sangat penting untuk keselamatan penumpang. Berbagai jenis *load* dimungkinkan: *rigid barriers (iso-barrier)* atau *barrier* dengan lapisan yang dapat dideformasi seperti bahan busa. *Impact* yang miring juga dipertimbangkan (*NHTSA-barrier*), yang mana efek gesekan harus diperhitungkan. Bentuk deformasi dari model Mercedes Benz ini menunjukkan bahwa ada 15907 *shell*, 144 *beam elements* untuk *impact* dengan *barrier* model EEVC ($v = 45$ km/jam, 142 *shell* dan 495 *solids*). Mobil VW pada gambar

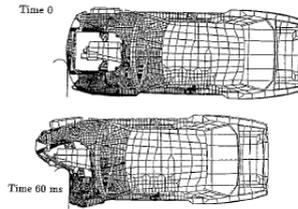
mengandung 22484 *shell elements* (+ beberapa *solids*) dan dipengaruhi oleh *barrier* jenis NHTSA yang dapat dideformasi.



Gambar 2. 14 Lateral Impact dengan Finite Element Method

4. *Offset crash* adalah tubrukan pada 40% bagian depan kendaraan yang menggunakan *rigid barrier* sebagai objeknya dan dianalisa dengan menggunakan *Finite Element Method*. *Offset crash* sangat berbahaya dari aspek keselamatan penumpang, karena hanya sebagian dari *frontal-assembly* yang bertindak untuk menyerap energi pada saat *crash*. Baru-baru ini dibahas secara luas di depan umum yang menyatakan tentang kelemahan kendaraan terhadap jenis *load*. Namun, hal ini sudah dikenal di industri otomotif dan telah diteliti secara eksperimental untuk beberapa waktu.

Pada kendaraan ini terdapat hingga 200000 *shell* dan 140 *beam elements*. Kabin penumpang pada kendaraan ini jelas hamper tidak terpengaruh dan karena adanya *part* yang lunak dengan deformasi besar, *impact* ini berlangsung hingga 100 ms dan membutuhkan waktu CPU bekerja selama 15 jam pada CRAY Y-MP 4/216. Bentuk deformasi antara analisis dan eksperimen percobaan ditemukan. (K. Schweizerhof, L. Nilsson and J.O Hallquist, 1992).



Gambar 2. 15 Offset Impact dengan Finite Element Method

2.8.1 Head Injury Criterion

Head Injury Criterion adalah ukuran kemungkinan cedera kepala yang timbul dari suatu benturan. HIC dapat digunakan untuk menilai keselamatan yang terkait dengan kendaraan, alat pelindung diri dan peralatan olahraga. perhitungan dalam ilmu kedokteran yang terjadi pada kepala penumpang yang terbentur saat terjadi *impact*. Biasanya, variabel diturunkan dari pengukuran akselerometer yang dipasang di pusat massa kepala *dummy* saat uji tabrak.

Dalam uji tabrakkan keselamatan mobil, digunakan *mannequin* atau dikenal sebagai alat test antropomorfik yang diletakkan di kursi pengemudi atau penumpang. Untuk mencari angka HIC dari beberapa mobil pada beberapa jenis tabrakan, kepala *dummy* dilengkapi dengan perangkatan yang disebut *accelerometer* yang digunakan untuk mengukur dan merekam kejadian saat terjadi saat *crash*.

$$\text{HIC} = \max [(t_2 - t_1) \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right)^n] \quad (2.4)$$

Keterangan:

□ t = Waktu interval dari $t_2 - t_1$

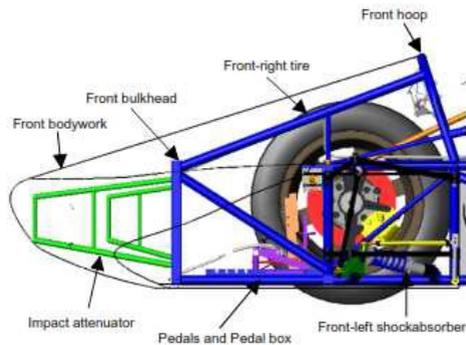
$n = 2.5$

2.8.2 Crashworthiness

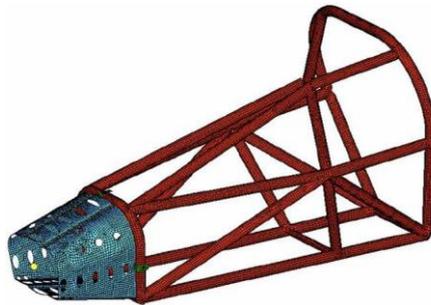
Crashworthiness adalah kemampuan struktur untuk melindungi penumpang selama *impact*. Biasanya dilakukan ketika menyelidiki keselamatan pesawat dan kendaraan. Bergantung pada sifat dan kendaraan yang terlibat, kriteria yang berbeda digunakan untuk menentukan layak tidaknya suatu struktur. *Crashworthiness* dinilai secara retrospektif dengan analisis risiko cedera dalam kecelakaan dunia nyata.

Berbeda dengan kekakuan torsional, uji tabrakan membutuhkan penyerapan energi secara bertahap untuk mengurangi kekuatan puncak dan akselerasi yang dilewatkan ke pengemudi. Ini menyatakan bahwa, kekakuan yang lebih rendah lebih diinginkan agar energi lebih mudah diserap saat *impact*. *Chassis* yang cukup kaku sangat penting dalam perancangan dan dapat menahan beban puntir serta menyerap energy *impact*. *Attenuator* adalah bagian penting dari kendaraan dan merupakan struktur terpenting dari perlombaan mobil karena bertindak sebagai penghalang keamanan antara pengemudi dan permukaan yang terkena *impact*. *Attenuator* dirancang untuk menyerap energi kinetik kendaraan dalam bentuk bahkan deformasi guna menjaga *force level* tetap rendah. Jika deformasi terjadi secara tidak merata, maka pengemudi mungkin akan mengalami cedera.

Penyerapan energi biasanya terjadi dengan cara tabrakan pada kendaraan atau dengan cara menghancurkan struktur secara ekstensif. *Impact attenuator* menyediakan jalur beban untuk beban transversal dan vertikal dalam hal *off-centered* dan *off-axis*. Karakteristik khusus pada *crashworthiness* dari *attenuator* adalah energi yang diserap dan terkonsentrasi pada zona sempit. *Impact attenuator* dipasang pada bagian depan *chassis*. Desain dari *impact attenuator* harus terbuat dari material yang ringan, dimana kondisi ini nantinya akan berkontribusi dalam percepatan dan penghematan bahan bakar kendaraan. *Attenuator* umumnya terbuat dari aluminium, komposit karbon, kevlar atau kombinasi dari bahan-bahan ini karena memberikan perlindungan yang maksimal kepada pengemudi.



Gambar 2. 16 Chassis Formula SAE dengan Impact Attenuator



Gambar 2. 17 Finite Element Method dari struktur mobil balap yang menggunakan Impact Attenuator

2.8.3 Initial Speed

Semua mobil mengalami efek depan dan samping selama pengujian berlangsung. Pengujian ini dilakukan dengan berbagai metode, yang meliputi:

1. *Frontal impact* pada kendaraan uji dilakukan dengan cara menabrakkan bagian depan mobil dengan kecepatan sebesar

64 kph, dimana pengujian ini dilakukan untuk menilai performa mobil dalam kecelakaan parah.

2. *Side impact* pada kendaraan uji dilakukan dengan cara menabrakkan bagian samping mobil dengan kecepatan sebesar 50 kph.

Crash test diatas sudah dilakukan oleh *Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS)* dan *Insurance Institute for Highway Safety (IIHS)*.

Persyaratan pada *frontal impact test (FMVSS)*:

- a) Mobil uji ditabrakkan pada *fixed barrier* dengan kecepatan 48kph.
- b) Menggunakan *dummy* dengan regulasi HIC < 1000, dada G < 6, *femur load* < 10KN.
- c) Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji kinerja sistem penahan penumpang (sabuk pengaman, kantung udara, dll.)

Persyaratan pada *frontal impact test (IIHS)*:

- a) Mobil uji ditabrakkan pada *deformable barrier* dengan menggunakan metode 40% *offset* dengan kecepatan 64kph.
- b) Menggunakan *dummy* yang diletakkan di kursi pengemudi.
- c) Mengevaluasi performa structural kendaraan.

Persyaratan pada *side impact test (FMVSS)*:

- a) Mobil uji ditabrakkan pada bagian samping dengan kecepatan 54kph.
- b) *Impact* atau massa 1367.6 kg.
- c) Menggunakan *dummy* yang diletakkan pada *seats* bagian belakang dan depan.
- d) *Pelvic acceleration* < 130g.

Persyaratan pada *side impact test (IIHS)*:

- a) Mobil uji ditabrakkan pada bagian samping dengan kecepatan 48kph.
- b) *Impact* atau *massa* 1500 kg.
- c) *Impactor* berupa bagian depan dari mobil *Ford F150*.
- d) Tujuan dari pengujian ini adalah untuk merepresentasikan jenis tabrakan yang ditimbulkan dan seberapa bahaya untuk penumpang. (T. Ananda Babu, D. Vijay Praveen, Dr.M.Venkateswarao, 2012)

2.8.4 Deformasi

Deformasi atau perubahan bentuk terjadi apabila bahan dikenai gaya. Selama proses deformasi berlangsung bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja. Sebesar apapun gaya yang bekerja pada bahan, bahan akan mengalami perubahan bentuk dan dimensi. Perubahan bentuk secara fisik pada benda dibagi menjadi dua, yaitu deformasi plastis dan deformasi elastis. Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini bahan telah mengalami *deformasi* total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*) yang selanjutnya benda akan mengalami putus pada kekuatan patah, (Singer, 1995). Hubungan tegangan-regangan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\frac{P}{A}}{\frac{\delta}{L}} \quad (2.5)$$

Sehingga deformasi (δ) bisa didapatkan dari rumus :

$$\delta = \frac{P \times L}{A \times E} \quad (2.6)$$

Keterangan :

- P = Beban (N)
- L = Panjang awal (mm)
- E = Modulus elastisitas (N/m²)
- δ = Deformasi

σ = Tegangan (Mpa)

ε = Regangan

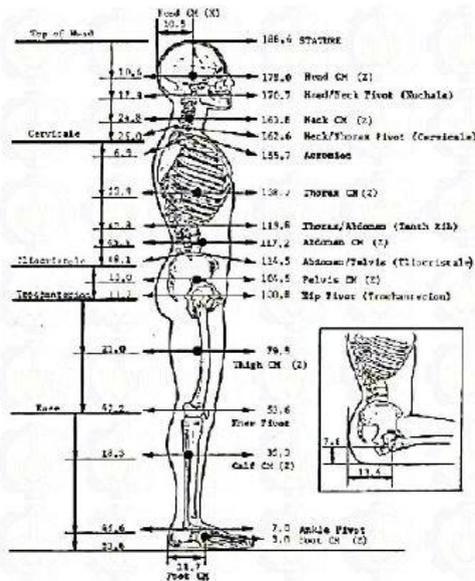
Pada awal pembebanan akan terjadi deformasi elastis sampai pada kondisi tertentu bahan akan mengalami deformasi plastis. Pada awal pembebanan bahan di bawah kekuatan luluh bahan akan kembali ke bentuk semula, hal ini dikarenakan sifat elastis bahan. Peningkatan beban melebihi kekuatan luluh (*yield point*) yang dimiliki plat akan mengakibatkan aliran deformasi plastis sehingga plat tidak akan kembali ke bentuk semula.

2.8.5 Uji Impact Chassis Kendaraan Dengan Type 40

Uji tabrak ini dilakukan pada *frame* mobil FORD F150 menggunakan FEA non-linear (*Finite Element Analysis*) dengan 2 kondisi.

2.9 Antropometri Manusia

Beban pengendara memiliki peranan yang penting dalam analisa beban pada chassis. Karena itu perlu diperhatikan persebaran ukuran dan titik berat pada tubuh manusia. Berikut merupakan beberapa standar antropometri pada 95th persentil manusia.

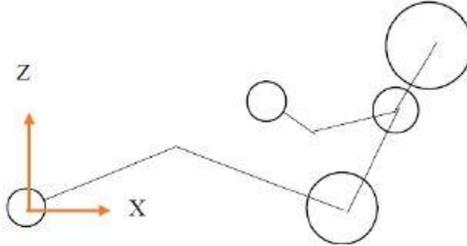


Gambar 2. 18 Titik berat organ.

Muhammad Fadlil Adhim dalam penelitiannya telah mengidentifikasi titik berat manusia pada 95th percentile male saat sedang dalam kondisi mengemudi kendaraan Sapuangin Speed (Adhim, 2014). Karena posisi pengendara antara Sapuangin Speed dan *Go-kart* tidak berbeda jauh maka titik berat pengendara ini dapat dipakai dalam analisa *Go-kart*. Hasil dari perhitungan titik berat pengendara tersebut dapat dilihat dibawah ini:

Tabel 2. 2 Titik Berat Manusia pada Sapuanjin Speed dalam mm

X	Y	Z
772.05 mm	0 (simetris)	173.09

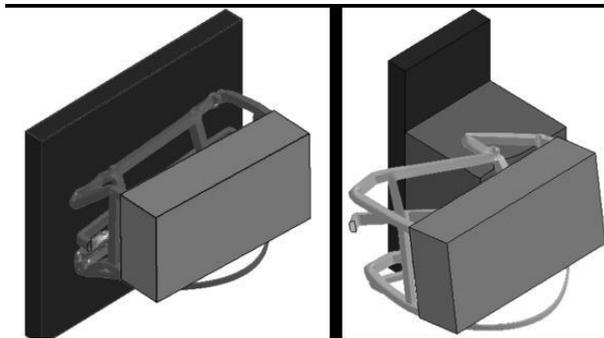


Gambar 2. 19 Letak titik berat manusia pada chassis Sapuanjin Speed.

2.10 Penelitian Terdahulu

Diogo Montalvão pada tahun 2014 melakukan penelitian yang berjudul *Computational Analysis of a Car Chassis Frame under a Frontal Collision*. Analisa *chassis frame* tersebut dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga dengan jenis *element: surface*. Pada penelitian ini, Diogo menggunakan mobil Ford F150 dan menggunakan 3 metode percobaan yaitu FMVSS no.208, the 96/79/EC dan Euroncap. Beberapa hasil menyatakan tentang *energy* yang hilang saat terjadi *impact*, waktu akselerasi dan HIC (Head Injury Criterion). Pada penelitian ini, Diogo menggunakan CATIA V5 untuk membuat model CAD, *pre-processing* menggunakan ANSYS Workbench, hasil dari solusinya menggunakan LS-Dyna solver pada ANSYS Mechanical APDL dan *post-processing* hasilnya menggunakan LS-PrePost.

Hasil dari *Impact test* dibagi menjadi 3 protokol untuk ketebalan frame 3/16". Pada hasil test FMVSS didapatkan E1, E2 dan Ed sebesar 1.48×10^5 J, 1.30×10^5 J dan 99.1%. Untuk hasil dari HIC (Head Injury Criterion) nya sebesar 486 dan akselari maksimum sebesar 79.8 g. Pada hasil test 96/79/EC didapatkan nilai dari E1, E2 dan Ed nya sebesar 2.01×10^5 , 5.61×10^5 dan 97.2%. Hasil dari HIC dan akselerasi maksimumnya adalah 102 dan 21.5 g. Pada hasil test EURONCAP didapatkan juga hasil E1, E2 dan Ed sebesar 2.63×10^5 , 1.02×10^5 dan 99.6%. Dan untuk hasil dari HIC dan akselerasi maksimumnya adalah 150 dan 26.4 g.

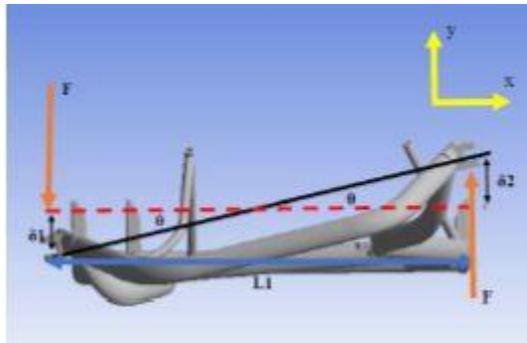


Gambar 2. 20 Hasil pengujian dengan menggunakan metode FMVSS no 208 dan EURONCAP.

Wibisana pada tahun tahun 2018 melakukan penelitian dalam tugas akhirnya yang berjudul *Analisis Torsional Rigidity, Efek Jacking, dan Kekuatan Chassis Go-kart akibat Beban Belok*. Analisa *chassis* tersebut dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga dengan jenis element *solid*. Di mana tiga model *chassis Go-kart* diberikan pembebanan torsional dan juga pembebanan belok. Pada pembebanan torsional, *chassis* diberikan beban torsional sehingga menghasilkan besar *torsional rigidity* yang menggambarkan nilai kekakuan *chassis* tersebut. Kemudian, simulasi pembebanan belok digunakan untuk mengetahui *jacking* dan karakter kekuatan dari *chassis* tersebut. Selain itu, beban

pengereman yang terjadi saat berbelok juga dianalisa efeknya pada *jacking* dan kekuatan *chassis*.

Hasil memperlihatkan bahwa *chassis* tony kart merupakan *chassis* yang paling fleksibel daripada *chassis* lainnya dengan torsional rigidity 188,6 Nm/deg, dan *chassis* birell merupakan *chassis* yang paling kaku dengan torsional rigidity 277,7 Nm/deg. Dan *chassis* arrow berada di tengah dengan torsional rigidity 243,75 Nm/deg. Setelah diteliti diketahui bahwa semakin fleksibel *chassis* akan mempermudah terjadinya efek *jacking* pada kendaraan. Kemudian, kekuatan *chassis* yang paling baik dimiliki oleh *Go-kart* dengan tipe *chassis* arrow. Sementara itu, beban pengereman dengan jarak pengereman 3 meter dan perlambatan $20,8 \text{ m/s}^2$ saat berbelok didapatkan membuat *Go-kart* lebih mudah mengalami *jacking* (rata-rata kenaikan *jacking* 67 %). Namun, beban ini dapat membuat tegangan maksimal yang diterima bertambah (rata-rata kenaikan tegangan maksimal 21 %).



Gambar 2. 21 Contoh pengujian chassis pada pembebanan torsional.

Pada tahun 2012 Solazzi dan Matteazzi melakukan eksperimen khusus mengenai kekakuan *chassis Go-kart*. Pada eksperimennya Solazzi dan Matteazzi mencari nilai kekakuan *Go-kart* dengan memberikan variasi pemilihan material, seperti aluminium, titanium, dan bahan komposit. Selain itu Solazzi dan Matteazzi juga memvariasikan letak *cross member* dari *Go-kart* tersebut dan juga memvariasikan lebar *chassis Go-kart*. Nilai kekakuan didapatkan dari memberi tumpuan tetap di bagian belakang *Go-kart*, dan memberikan gaya dengan menggunakan pemberat di bagian depan sebelah kanan dan kiri.

Dikondisikan *Go-kart* dipuntir ke bagian kanan dan kiri untuk mendapatkan nilai kekakuan *Go-kart* tersebut. Hasil didapatkan untuk *chassis Go-kart* tanpa variasi dengan berat sebesar 12,98 kg didapatkan besar kekakuan sebesar 175 Nm/deg. *Horizontal member* yang diberikan memberikan kenaikan yang signifikan pada *handling Go-kart* tersebut. Tetapi meningkatkan lebar dari *chassis* tersebut lebih berdampak secara signifikan terhadap kekakuan *Go-kart* daripada harus menambahkan *cross-member* tambahan pada *chassis* tersebut, karena jika ditambahkan berat dari *Go-kart* pastinya akan dikorbankan.



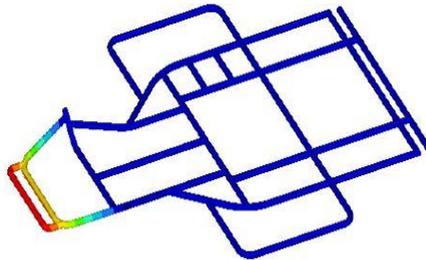
Gambar 2. 22 Setup eksperimen Solazzi & Matteazi.



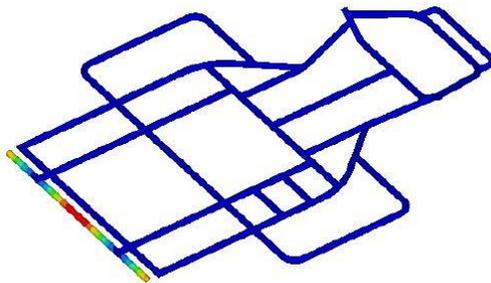
Gambar 2. 23 Pembebanan pada eksperimen Solazzi & Matteazi.

Pattanshetti pada tahun 2016 melakukan pengujian *impact* terhadap *chassis Go-kart* yang ia rancang. Pengujian ini dilakukan dengan membenturkan *chassis Go-kart* tersebut pada kecepatan 22.2 km/h ke *stationary rigid body*. Pengujian ini terdiri dari 3 bagian yaitu, *front impact test*, *rear impact test*, dan *rear impact test*. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan material *Go-kart* yang baik dan aman untuk perancangan, kemudian untuk menguji apakah konstruksi tersebut aman untuk pengendara atau tidak, dan yang terakhir untuk menentukan *maximum stress concentration area*. Pengujian ini dilakukan menggunakan *finite element method*

dengan bentuk elemen solid dibantu dengan *software* ANSYS Workbench. Setelah pengujian dilakukan didapatkan bahwa *Go-kart* tersebut aman jika terjadi benturan dengan kecepatan maksimal yaitu 22.2 km/h. Bentuk deformasi dari *chassis* tersebut tidak dapat melukai pengemudinya. Kemudian ditinjau dari *stress analysis* yang dilakukan, didapatkan material tersebut cukup kuat dan tidak mengalami kerusakan saat uji *impact*. Baik *front impact*, *rear impact*, ataupun *side impact*.



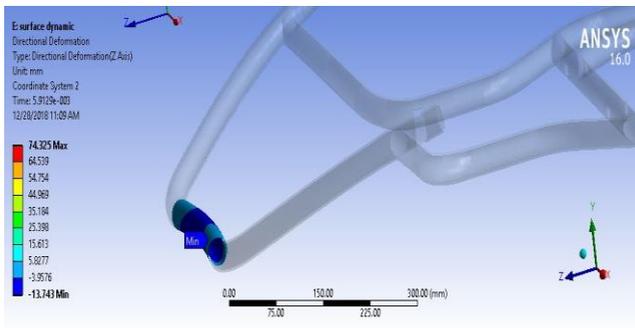
Gambar 2. 25 Bentuk deformasi dari front impact.



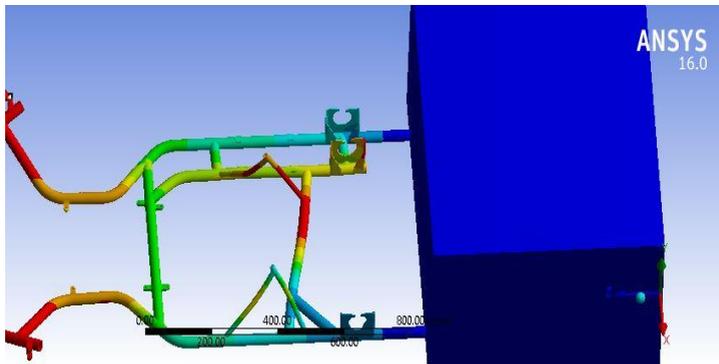
Gambar 2. 24 Bentuk deformasi dari rear impact.

Benedictus pada tahun 2019 melakukan pengujian *impact* terhadap *chassis go-kart* berjenis *Tonykart*. Pengujian ini dilakukan dengan menabrakkan bagian *chassis tonykart* tersebut pada kecepatan 45 km/h ke *stationary rigid wall*. Pengujian ini terdiri dari 3 bagian yaitu, *front impact test*, *side impact test* dan

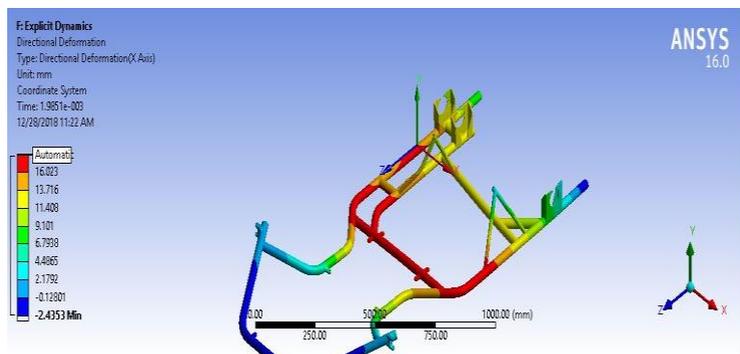
rear impact test. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan konstruksti tersebut aman untuk pengendara atau tidak. Pengujian ini dilakukan menggunakan *finite element method* dengan bentuk elemen *solid* dan *surface* dibantu dengan *software* ANSYS Workbench. Setelah pengujian dilakukan didapatkan bahwa *go-kart* tersebut aman jika terjadi benturan dengan kecepatan sebesar 45 km/h. Bentuk deformasi dari *chassis* tersebut tidak melukai pengemudinya. Kemudian ditinjau dari *stress analysis* yang dilakukan, didapatkan hasil material tersebut cukup kuat dan tidak mengalami kerusakan saat uji *impact*.



Gambar 2. 26 Bentuk pengujian dari *front impact*.



Gambar 2. 27 Bentuk pengujian dari *rear impact*.



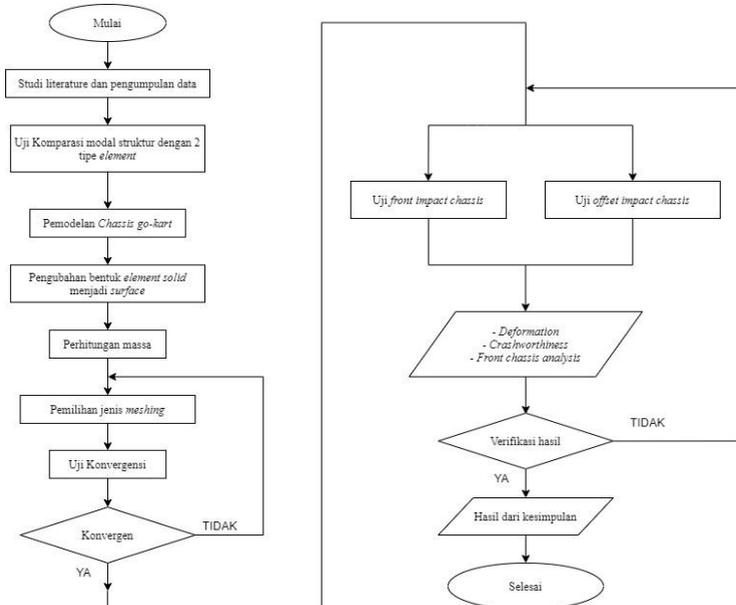
Gambar 2. 28 Bentuk pengujian dari *side impact*.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 *Flowchart* Tugas Akhir

Dalam melakukan pengerjaan tugas akhir ini, diperlukan langkah – langkah yang terstruktur untuk memastikan bahwa semua alur pengerjaan tugas akhir ini telah dilaksanakan dan bisa mendapatkan hasil yang maksimal. Berikut ini adalah *Flowchart* tugas akhir:



Gambar 3. 1 *Flowchart* tugas akhir.

Dalam mengerjakan suatu penelitian perlu adanya langkah-langkah, *Flowchart* di atas menjelaskan tentang urutan-

urutan dalam mengerjakan suatu penelitian. Pengujian ini diawali dengan melakukan studi literature dan pengumpulan data teknis yang berhubungan dengan penelitian tersebut. Lalu setelah itu dilakukan pemodelan *chassis go-kart* yang akan diuji. Kemudian akan dilakukan pengubahan bentuk *element solid* menjadi *surface*. Kemudian dilakukan perhitungan massa pada *go-kart* untuk menentukan letak titik berat. Dilanjutkan dengan pemilihan jenis *meshing* yang kemudian dilakukan uji konvergensi. Setelah konvergen, kemudian dilanjutkan ke tahap simulasi dengan menggunakan *software ANSYS*. Hasil simulasi kemudian divalidasi dan diverifikasi, kemudian dilakukan analisa uji *front impact chassis* dan uji *offset impact chassis* untuk mendapatkan nilai yang diinginkan dari penelitian ini.

3.2 Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Studi literatur pada penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan dan mengumpulkan data-data yang diperlukan untuk menunjang selesainya tugas akhir ini. Studi literature ini dilakukan dengan cara membaca penelitian sebelumnya, jurnal, serta media internet. Ada beberapa teori yang digunakan, salah satunya teori mengenai *finite element method*, teori mengenai dinamika kendaraan, teori mengenai uji *impact*.

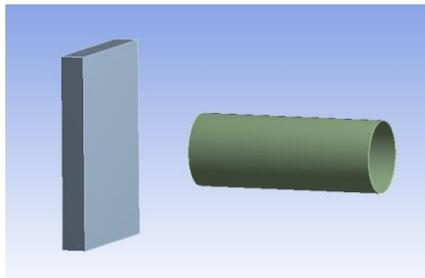
Untuk menunjang selesainya penelitian ini, perlu dibutuhkan beberapa data yang akan di *input* dalam pengujiannya. Data-data tersebut berupa data material dari *chassis*, dimensi dari *chassis go-kart*, dan spesifikai dari *go-kart* itu sendiri. Data-data ini bisa didapatkan dari beberapa buku dan media internet.

3.3 Uji komparasi modal struktur dengan 2 tipe *element*

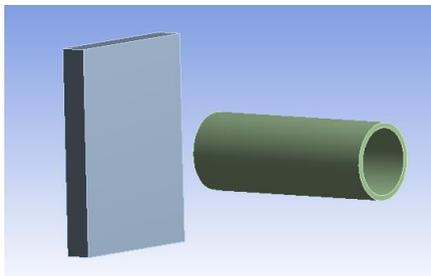
Proses ini dilakukan dengan maksud untuk membandingkan hasil yang didapatkan dengan menggunakan bentuk elemen *surface* dengan elemen *solid*. Proses komparasi ini dilakukan dengan menggunakan simulasi pada model pipa sederhana yang ditubrukkan pada *rigid wall* yang dimana

merupakan media dari *chassis go-kart* untuk melakukan *crash test*. Simulasi ini menggunakan *software* ANSYS Workbench 18.

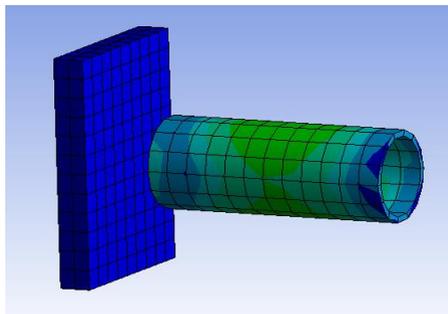
Pada proses simulasi baik dengan menggunakan bentuk elemen *surface* maupun *solid*, proses dimulai dari membuat geometri menggunakan *software* SOLIDWORKS, kemudian memasukan geometri kedalam *Design Modeler* dan menambahkan sebuah *rigid wall* sebagai media *crash test* pada *software* ANSYS dan kemudian dilanjutkan dengan proses *meshing*. Pada pengujian kali ini digunakan *meshing*. *Fixed support* sudah ditentukan dan pipa diberi kecepatan sebesar 16.667 m/s yang kemudian ditabrakkan pada *rigid wall*. Setelah itu diambil *von mises stress* dan nilai deformasi pada benda tersebut untuk nantinya dibandingkan.



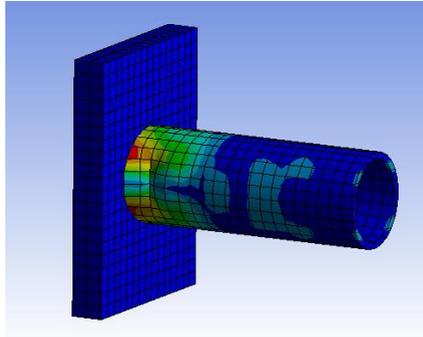
Gambar 3. 2 Geometri pada proses komparasi dalam bentuk *surface*.



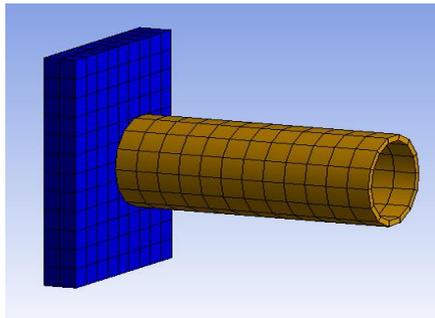
Gambar 3. 4 Geometri pada proses komparasi dalam bentuk *solid*.



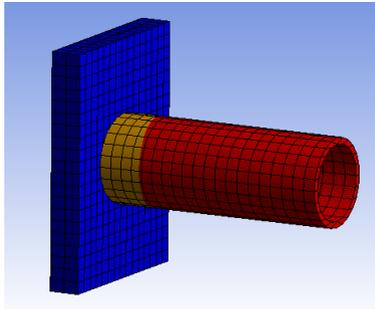
Gambar 3. 3 *Von-mises stress* menggunakan bentuk *element surface*.



Gambar 3. 6 *von-mises stress* menggunakan bentuk *element solid*.



Gambar 3. 5 Deformasi total menggunakan bentuk *element surface*.

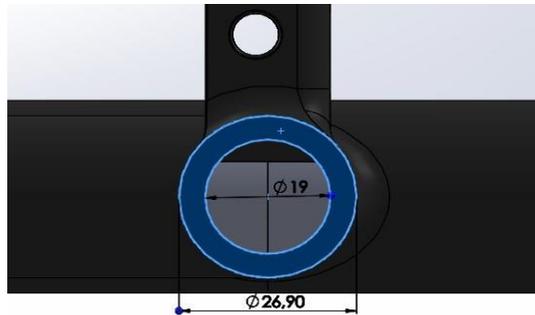


Gambar 3. 7 Deformasi total menggunakan bentuk *element solid*.

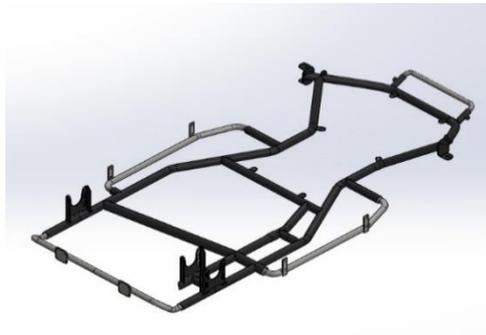
3.4 Pemodelan Chassis Go-kart

Pemodelan ini merupakan proses pembuatan *chassis go-kart* dalam bentuk 3D dimana proses ini menggunakan *software Solidworks 2016*. Proses pemodelan *chassis* ini merupakan proses yang terpenting, karena pemodelan yang tepat akan memberikan hasil yang sesuai dengan kondisi sebenarnya.

Prosesnya dimulai dengan mengukur *chassis go-kart*, kemudian dimensi *chassis* dijadikan sebagai acuan untuk membuat sketsa. Kemudian dilanjutkan dengan menggambarkan *chassis* dalam *software Solidworks 2016* yang digunakan.



Gambar 3. 9 Penampang *chassis*.



Gambar 3. 8 Hasil pemodelan *chassis*.

3.5 Perubahan Bentuk Element

Pengujian kali ini dilakukan dengan menggunakan *chassis* dengan 2 metode berupa *solid element* dan *surface element*. Setelah dilakukan simulasi pada *chassis* yang menggunakan metode *solid element*, akan dilakukan juga pada *chassis* yang sama dengan menggunakan metode *surface element*. Perubahan bentuk *solid element* menjadi *surface element* atau bentuk 2D ini diawali dengan desain 3D yang sudah dibuat dengan *software* Solidwork

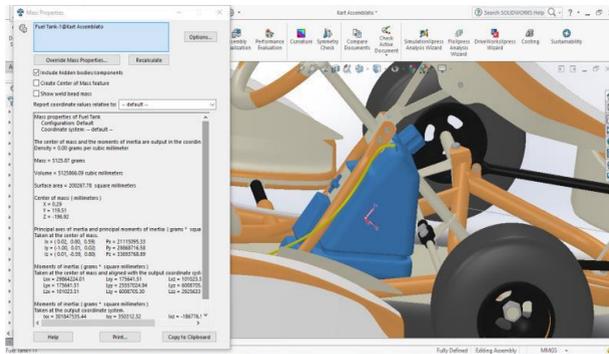
2016 ke *software* ANSYS Workbench 18. Perubahan bentuk elemen ini dilakukan dengan menggunakan fitur Design Modeler di dalam *software* ANSYS dengan menggunakan metode *surface from faces* dari geometri 3D yang sudah ada dengan cara memilih bagian yang ingin diubah secara satu persatu. Langkah berikutnya adalah men-*supress* bentuk 3D dari *chassis* tersebut menjadi bentuk 2D. Setelah selesai, bentuk elemen *surface* tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *software* ANSYS pada fitur Mechanical yang kemudian akan dilakukan simulasi. Di dalam fitur ini kita sudah bisa memasukkan data – data berupa ketebalan dan spesifikasi lain dari *chassis* tersebut.

3.6 Perhitungan Massa

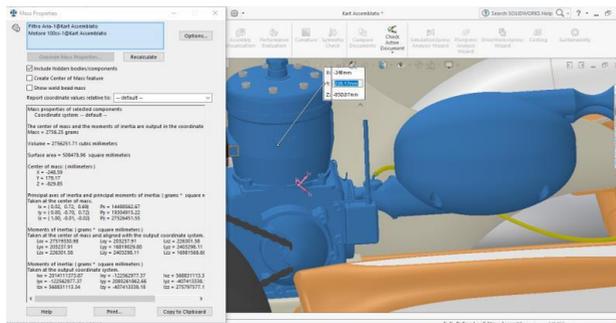
3.6.1 Perhitungan Titik Berat

Sebelum menghitung titik berat kendaraan, titik berat tiap komponen dari kendaraan perlu diketahui. Titik berat tiap komponen yang dipakai pada penelitian kali ini didapatkan dari model 3D *go-kart* tipe *tony kart* dengan *engine rotax* yang dibuat oleh Arian Shamil (Shamil & Marchirato, 2003). Dari 3D model tersebut didapatkan letak titik berat dari komponen mesin, tangki, dan juga drive train seperti dibawah ini.

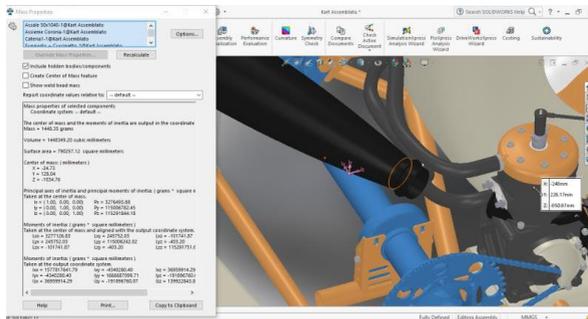
Setelah mendapatkan letak titik berat dari tiap komponen, koordinat titik berat tersebut diubah ke dalam koordinat titik berat di model *chassis* yang sudah dibuat. Di mana menghasilkan letak titik berat untuk tiap komponen. Kemudian data titik berat tersebut digunakan untuk melakukan perhitungan titik berat total kendaraan dengan menggabungkannya dengan data berat tiap komponen dari *chassis* itu sendiri.



Gambar 3. 11 Letak titik berat tangki



Gambar 3. 10 Letak titik berat engine



Gambar 3. 12 Letak titik berat drivetrain

Setelah mendapatkan letak titik berat dari tiap komponen, koordinat titik berat tersebut diubah ke dalam koordinat titik berat di model *chassis* yang sudah dibuat. Koordinat titik berat ini menghasilkan letak titik berat untuk tiap komponen. Kemudian data titik berat tersebut digunakan untuk melakukan perhitungan titik berat total kendaraan dengan menggabungkannya dengan data berat tiap komponen kendaraan.

Tabel 3. 1 Koordinat Titik Berat Komponen.

Koordinat Titik Berat Komponen				
Komponen	Massa (Kg)	X Global	Y Global	Z Global
Mesin	39.2	-588	123.02	425
Pengendara	70	-311	192.89	765
Drivetrain	6	-338.7	90.47	210
Tangki	5.4	-319	90.5	1059
Chassis	16.5	-338	17.5	717

Sehingga didapatkan titik berat *chassis* sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\bar{x} &= -403,5 \text{ mm} \\ \bar{y} &= 143 \text{ mm} \\ \bar{z} &= 637,87 \text{ mm}\end{aligned}$$

3.6.2 Perhitungan Beban Vertikal Massa Kendaraan

Beban vertikal pada kendaraan dipengaruhi oleh massa – massa yang ditopang *chassis* maupun massa *chassis* itu sendiri. Dimana besarnya beban ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$W = m \cdot g$$

Dimana dengan asumsi dengan asumsi besar percepatan gravitasi yaitu $9,8 \text{ m/s}^2$, maka besarnya beban vertical ini dapat ditabelkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. 2 Beban Vertikal Massa Kendaraan.

Komponen	Massa (Kg)	Gaya(N)
Mesin	39.2	384.16
Pengendara	70	686
Drivetrain	6	58.8
Tangki	5.4	52.92
Chassis	16.5	161.7
Ban & velg	6	58.8

3.6.3 Perhitungan Beban Torsional

Pengujian beban torsional ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekakuan dari *chassis*. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban torsi yang merupakan hasil dari momen kopel pada *chassis* yang sebesar:

$$T=(F) \times L1$$

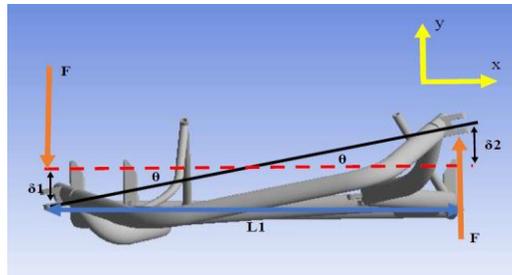
Kemudian pengujian tersebut akan menghasilkan deformasi yang akan diubah menjadi sudut punter dengan persamaan berikut.

Chassis pada pembebanan torsional

$$\theta = \arcsin\left(\frac{|\delta1|+|\delta2|}{L1}\right)$$

Sehingga dapat dicari besar *torsional rigidity* (K) dari *chassis* tersebut, maka

$$K=T/\theta$$



Gambar 3. 13 Perhitungan Beban *Torsional* pada *Chassis Go-kart*.

3.7 Meshing dan Uji Konvergensi

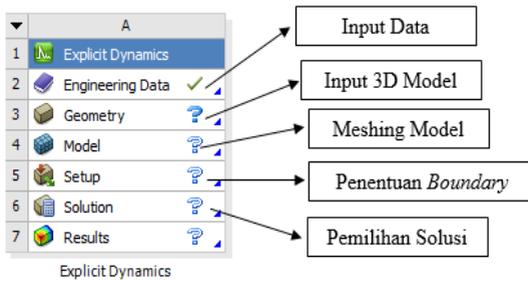
Tahap *meshing* ini termasuk dalam proses utama dalam metode elemen hingga. Tahap *meshing* ini dilakukan dengan membagi geometri dari *chassis* menjadi elemen – elemen hingga yang jumlahnya terbatas. Jumlah elemen yang dibagi berhubungan dengan ukuran elemen yang dibagi. Semakin kecil ukuran *meshing*, maka semakin banyak juga jumlahnya, dengan begitu nilai yang di dapat dari hasil *meshing* ini semakin akurat. Namun, jumlah elemen yang digunakan dalam simulasi sudah pasti mempengaruhi waktu yang dibutuhkan dalam proses simulasi. Semakin banyak elemen yang terbagi dalam suatu geometri, semakin banyak waktu yang dibutuhkan dalam proses simulasi. Maka dari itu, dibutuhkan uji konvergensi agar didapatkan hasil yang telah merepresentasikan kondisi yang sesungguhnya dengan jumlah elemen yang tepat. Sehingga proses simulasi tidak banyak memakan waktu lama.

Uji konvergensi merupakan suatu proses untuk menguji kualitas dari sebuah *meshing* baik dari pemilihan jenis *mesh* maupun dari ukuran *mesh* telah memiliki kualitas yang baik. Dalam uji konvergensi ini diharapkan hasil dari proses *meshing* memberikan hasil yang konvergen. Robert David Cook pada bukunya mengatakan, suatu proses *meshing* dari model permasalahan bisa

dianggap konvergen jika perbedaan hasil uji tes konvergensi sebesar kurang lebih 5% (Cook, 1995).

3.8 Simulasi

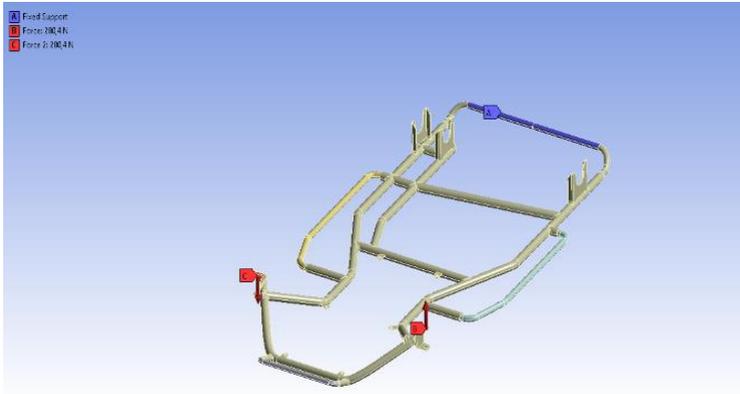
Simulasi pada penelitian kali ini akan menggunakan *software* ANSYS Workbench R18. Langkah pertama pada simulasi ini adalah dengan memasukkan data material di *Engineering Data*. Kemudian memodelkan dan mendiskritisasi model tersebut. Proses simulasi dilanjutkan dengan memberikan beban yang akan diterima pada *go-kart*. Pada proses simulasi ini dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu penentuan *boundary condition*, pemberian beban pada model *chassis*, dan menentukan *solution* yang ingin didapatkan dari hasil simulasi.



Gambar 3. 14 Tahapan simulasi dalam *software* ANSYS.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Boundary Condition Pada *Torsional Rigidity*



Gambar 4. 1 Beban dan support pada *chassis*.

Berikut ini merupakan kondisi pengujian *torsional rigidity* pada *chassis go-kart* dengan menerapkan beberapa *boundary condition*. Dimana pada simulasi ini, *chassis go-kart* akan diberikan tumpuan berupa tumpuan tetap pada bagian belakang *chassis* dengan menggunakan metode *fix support*. Beban yang bekerja akan diberikan pada bagian depan *chassis* sebesar F.

Simulasi akan dilakukan dua kali dengan arah puntir yang berlawanan, dimana beban yang diberikan di bagian kanan dan kiri *chassis* adalah sama tetapi dengan arah yang berlawanan. Besarnya F divariasikan mulai dari 0,2 – 1,0 x berat kendaraan sendiri. Berikut adalah rincian berat dari *chassis*:

Tabel 4. 1 Rincian berat dan gaya pada *chassis Go-kart*.

Nama Beban	Massa (Kg)	Gaya (N)
Engine	39.2	384.5
Tangki	5.4	52.8
Drivetrain	6	58.86
Pengendara	70	686
Ban & velg	6	58.86
<i>Chassis</i>	16.5	161.7

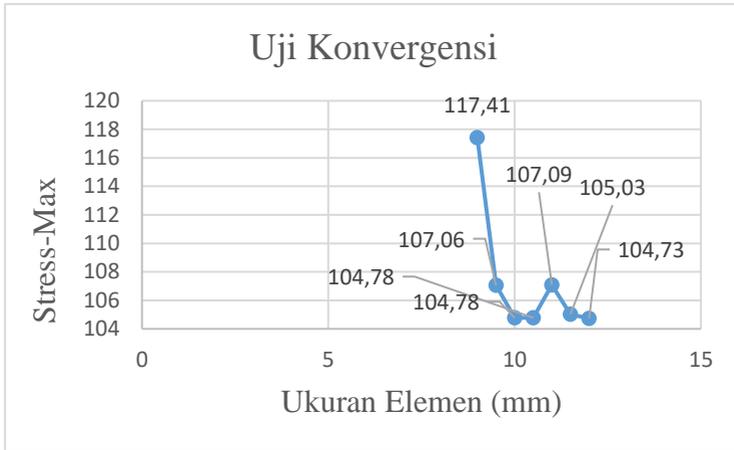
Tabel 4. 2 Rincian beban yang akan diberikan.

Variasi Pembebanan	Gaya
0.2 W	280.4 N
0.4 W	560.8 N
0.6 W	841.2 N
0.8 W	1121.6 N
1.0 W	1402 N

4.2 Hasil Uji Konvergensi

Tabel 4. 3 Hasil uji konvergensi menggunakan pengujian *torsional rigidity* menggunakan *Surface Element*.

Ukuran elemen (mm)	Jumlah Node	Jumlah elemen	Defor masi Y min	Defor masi Y max	Element Quality	Stress Max	Perbedaan Stres (%)
12	6060	12019	-1.869	2.027	0.920	104.73	-
11.5	6595	13088	-1.911	2.070	0.926	105.03	0.28
11	7302	17210	-1.952	2.025	0.931	107.09	3.8
10.5	8050	15983	-1.896	1.982	0.935	104.78	2.2
10	8717	17314	-1.953	2.022	0.940	104.78	-
9.5	9569	18999	-1.954	1.984	0.942	107.06	2.1
9	10699	21255	-1.911	1.966	0.945	117.41	8.8



Gambar 4. 2 Hasil Konvergensi menggunakan *Surface Element*

Tabel dan grafik di atas merupakan hasil uji konvergensi dari *Torsional Rigidity*. Uji konvergensi ini dilakukan dengan menggunakan pembeban sebesar 0.4 W atau sebesar 560.8 N. Pada uji konvergensi ini didapatkan hasil berupa deformasi yang terjadi pada sumbu Y dan tegangan maksimal.

Variabel yang dirubah dari pengujian ini adalah ukuran elemen, dimana nilai-nilai yang didapatkan akan dihitung kembali untuk mencari perbedaan antar variabelnya. Jika sudah di bawah 5%, maka model ini dianggap sudah konvergen.

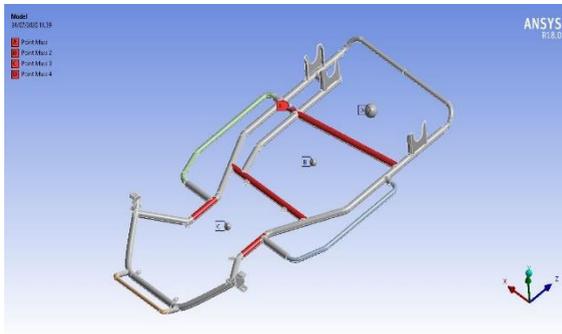
Nilai deformasi Y akan berubah seiring penambahan elemen. Kemudian pada grafik tegangan juga berubah seiring perubahan pada jumlah elemen. Berdasarkan tabel uji konvergensi di atas, penulis memilih menggunakan ukuran 10.5 mm karena ukuran tersebut merupakan yang paling kecil perbedaan nilai *stress* di bawah 5%.

4.3 Bouday Condition Pada Simulasi Impact

Simulasi *impact* akan dilakukan sebanyak 2 kali, *front impact* dan *offset impact*. *End time* pada setiap simulasi dinamis diatur pada 0,05 detik dengan *cycle* sebanyak 300000 *cycles*. Diharapkan pada saat 0,05 setelah kondisi awal, *go-kart* sudah menabrak *stationary rigid wall* secara sempurna. Pada simulasi *impact* ini tumpuan diletakkan pada *stationary rigid wall* untuk uji *front impact* dan *offset impact*. Beban kendaraan seperti mesin, pengendara, tangki, dan *drivetrain* juga dimasukkan sesuai dengan titik berat masing-masing komponen.dengan koordinat titik berat sebagai berikut:

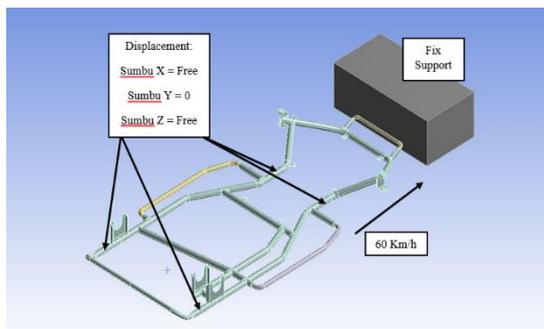
Tabel 4. 4 Koordinat titik berat komponen.

Koordinat Titik Berat Komponen				
Komponen	Massa (Kg)	X Global	Y Global	Z Global
Mesin	39.2	-588	123.02	425
Pengendara	70	-311	192.89	765
Drivetrain	6	-338.7	90.47	210
Tangki	5.4	-319	90.5	1059
Chassis	16.5	-338	17.5	717



Gambar 4. 3 Letak *point mass* pada komponen *chassis*.

4.4.1 Front Impact

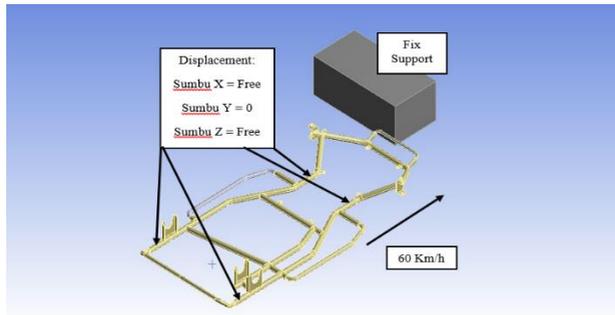


Gambar 4. 4 *Boundary condition front impact*.

Simulasi *front impact* ini akan menetapkan *stationary rigid wall* sebagai *fixed support* di bagian depan *chassis* tersebut. *Displacement* pada *go-kart* diatur untuk bergerak bebas pada koordinat X dan Z saja. Setelah itu diberikan kecepatan sebesar 60km/h dan *standard gravity* sebesar 9.81 m/s^2 ke arah sumbu jarak

antara *chassis* dan *stationary rigid wall* sejauh 0,5 mm. Adanya jarak ini bertujuan agar waktu *end time* pada simulasi *front impact* tidak terlalu besar. *End time* yang besar akan mempengaruhi durasi dari simulasi yang dilakukan.

4.4.2 Offset Impact

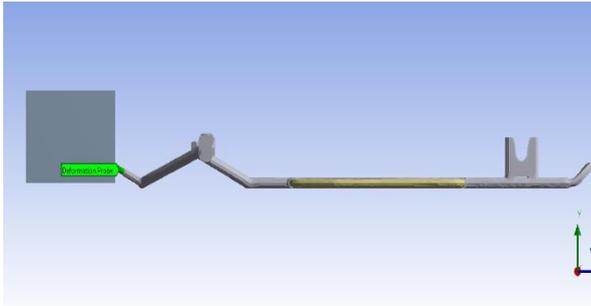


Gambar 4. 5 *Boundary condition offset impact.*

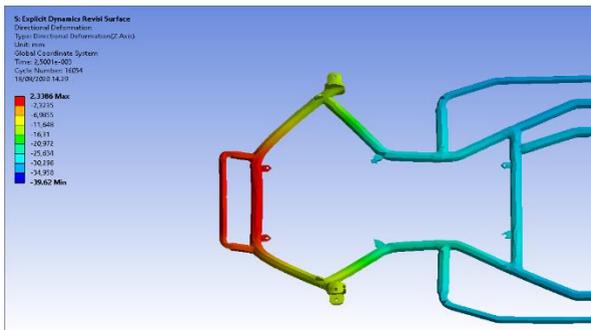
Simulasi *offset impact* ini hampir sama dengan simulasi *front impact*, dimana *stationary rigid wall* ditetapkan sebagai *fixed support*. Nilai dari *displacement*, kecepatan dan *standard gravity* sama persis dengan simulasi *front impact*. Hanya saja yang membedakan keduanya adalah posisi *chassis* yang akan ditabrakkan pada *stationary rigid wall* sebesar 40% dari bagian depan *chassis go-kart*.

4.5 Hasil Pengujian Impact

4.5.1 Hasil Pengujian Front Impact



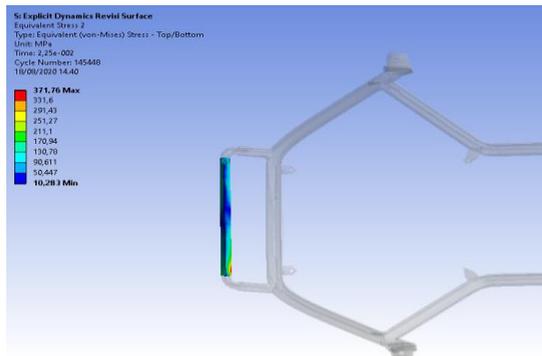
Gambar 4. 7 Letak *deformation probe* pada saat simulasi.



Gambar 4. 6 Bentuk deformasi dari *front impact*.

Simulasi pada pengujian *front impact* menghasilkan nilai deformasi dan bentuk deformasi yang bisa terlihat seperti gambar di atas. Gambar 4.6 menunjukkan kondisi dimana belum adanya tabrakan sehingga nilai deformasinya adalah 0. Gambar 4.7 menunjukkan kondisi dimana *chassis go-kart* sudah melakukan pengujian *front impact*. Pengujian *front impact* ini dilakukan menggunakan *software* simulasi ANSYS dengan *explicit dynamics*

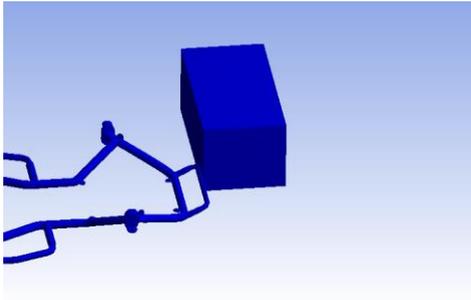
menggunakan metode *deformation probe* yang diletakkan di bagian paling depan dari *chassis go-kart*. Hasil yang di dapatkan dari pengujian *front impact* ini adalah nilai deformasi maksimal sebesar 39,62 mm, dimana bagian paling depan dari *chassis* tersebut mengalami deformasi terhadap sumbu Z sebesar 39,62 mm ke arah yang berlawanan dari *stationary rigid wall*. Angka ini masih tergolong pada kategori yang aman karena posisi pedal gas dan rem, tempat bersandarnya kaki *driver* berada di jarak 82,5 mm dari bagian depan kendaraan tersebut. Hasil dari simulasi *front impact* menunjukkan bahwa bentuk deformasi ketika terjadi tabrakan dari bagian depan dengan kecepatan 60 km/h masih bisa dikatakan aman untuk *driver*.



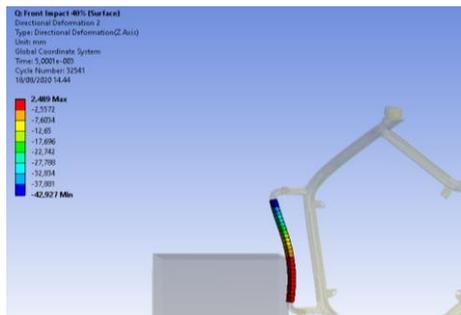
Gambar 4. 8 Tegangan maksimal pada *chassis go-kart*.

Pada gambar 4.8 menunjukkan letak tegangan maksimal yang terjadi pada *chassis go-kart* setelah dilakukan pengujian *front impact*. Terlihat bahwa tegangan maksimal yang terjadi pada *chassis* terletak pada bagian *bumper* depan. Hal ini dikarenakan bagian depan *chassis* ini menabrak *stationary rigid wall* terlebih dahulu, sehingga menimbulkan konsentrasi tegangan di daerah tersebut.

4.5.2 Hasil Pengujian Offset Impact



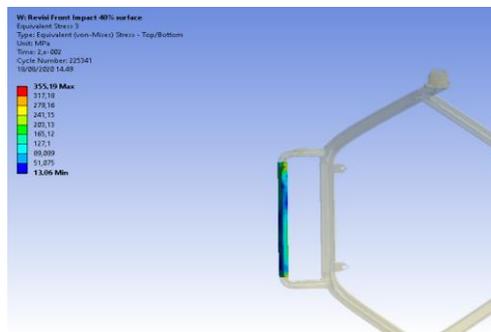
Gambar 4. 10 Bentuk sebelum pengujian *offset impact*.



Gambar 4. 9 Bentuk setelah pengujian *offset impact*.

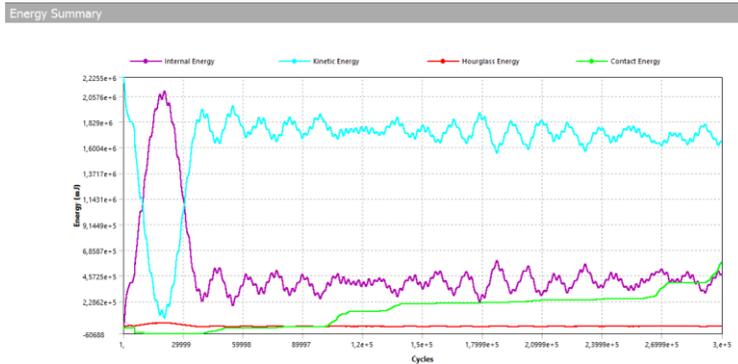
Pengujian *offset impact* ini menghasilkan nilai deformasi dan bentuk deformasi yang bisa dilihat pada gambar 4.10. Pengujian *offset impact* ini juga menggunakan *software* simulasi ANSYS dengan menggunakan metode *deformation probe* yang diletakkan di bagian paling depan dari *chassis* dengan kecepatan 60 km/h ke arah sumbu Z. Nilai deformasi yang dihasilkan pada pengujian *offset impact* ini menunjukkan angka 42,927 mm. Angka ini masih tergolong aman karena nilai deformasi yang diizinkan adalah 82,5 mm. Maka dari itu, bentuk dan nilai deformasi yang dihasilkan tidak akan berdampak pada *driver go-kart*.

Pengujian *offset impact* ini juga memberikan informasi tentang letak dan besarnya tegangan maksimal yang terjadi setelah dilakukan pengujian. Pada gambar 4.11 di atas, letak tegangan maksimal yang terjadi berada pada bagian depan *chassis*. Hal ini terjadi karena bagian tersebut merupakan bagian yang pertama kali menabrak *stationary rigid wall*, dan juga karena terdapat *velocity* sebesar 60 km/h yang menghasilkan tekanan pada bagian *bumper* depan *chassis*.



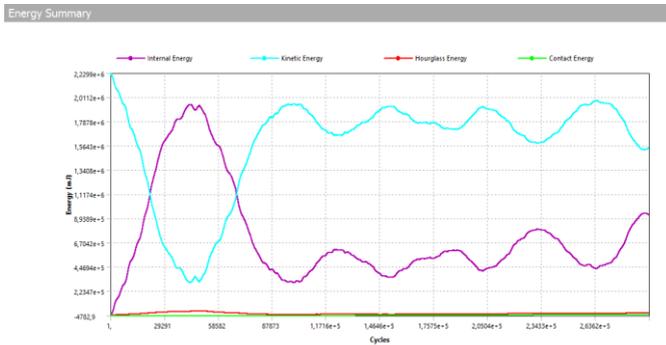
Gambar 4. 11 Tegangan maksimal dari pengujian *offset impact*.

4.6 Energy Pada Pengujian Impact



Gambar 4. 12 Grafik energi pada pengujian *front impact* dengan metode *surface element*.

Grafik pada gambar 4.12 adalah merupakan hasil pengujian *front impact* menggunakan metode *surface element* dimana terlihat *internal energy* pada *chassis go-kart* naik pada saat terjadi tabrakan, lalu kemudian turun ketika *go-kart* memantul dari *stationary rigid wall*. Sementara bentuk grafik dari *kinetic energy* pada *chassis go-kart* berkebalikan dengan *internal energy* yang terjadi. Pada saat *go-kart* mengalami tabrakan, *go-kart* kehilangan kecepatannya, sehingga energi kinetik pada *chassis* berkurang. Grafik energi kinetik kemudian naik kembali ketika *chassis* telah menabrak *stationary rigid wall* dan memantul balik ke arah yang berlawanan. Kecepatan awal *go-kart* pada saat akan berbenturan sebesar 60 km/h. Kecepatan *go-kart* berkurang sesudah menabrak *stationary rigid wall* menjadi 28,5 km/h untuk sesaat dan kemudian kecepatan perlahan-lahan turun menjadi 0 km/h.



Gambar 4. 13 Grafik energi pada pengujian *front impact* dengan metode *surface element*.

Grafik pada gambar 4.13 adalah merupakan hasil pengujian *offset impact* menggunakan metode *surface element* dimana terlihat *internal energy* dan *kinetic energy* yang dihasilkan juga memiliki pola yang hampir sama dengan pengujian *front impact* yang menggunakan metode *surface element*. Kecepatan yang digunakan dalam pengujian ini sama dengan kecepatan pada pengujian *front impact* yaitu 60 km/h dengan objek tabrak berupa *stationary rigid wall*. Kecepatan *go-kart* kemudian berkurang menjadi 23 km/h untuk sesaat dan kemudian kecepatan perlahan-lahan turun menjadi 0 km/h.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisa hasil simulasi pada *chassis go-kart* yang telah diteliti, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian yang menggunakan metode *surface element*, dengan ketelitian dan kehati-hatian yang bagus maka akan didapatkan hasil dan akurasi yang tidak jauh berbeda dengan pengujian yang menggunakan *solid element*. Hal ini dibuktikan dengan nilai deformasi dari masing-masing pengujian *front impact* yang menggunakan metode *surface element* dan *solid element* sebesar 39,62 mm dan 37,61 mm. Lalu pada pengujian *offset impact* yang menggunakan metode *surface element* dan *solid element* sebesar 41,10 mm dan 39,99 mm. Lalu didapatkan hasil *stress* pada *front impact* sebesar 371,76 MPa dan 355,19 MPa pada pengujian *offset impact*. Ini menunjukkan bahwa penggunaan *surface element* dapat digunakan pada permasalahan semacam ini.
2. Dengan adanya penelitian yang sudah dilakukan, bisa disimpulkan bahwa penggunaan metode *surface element* ini sangat membantu dalam mencari hasil yang diinginkan karena selain hasil yang tidak jauh berbeda dengan penggunaan metode *solid element*, waktu yang dibutuhkan juga jauh lebih cepat.

5.2 Saran

Setelah dilakukan pengujian, terdapat beberapa saran yang diberikan oleh penulis. Dengan harapan saran yang diberikan dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya, dimana tuliskan sebagai berikut:

1. Sebaiknya model dari *chassis go-kart* ini dimodelkan dengan menggunakan bantuan 3D *scanner* agar hasil lebih detail dan mengurangi kesalahan dalam

perhitungan pada bagian-bagian tertentu dari *chassis go-kart* yang akan digunakan.

2. Model geometri yang ada harus dibuat serapi mungkin, terutama pada bagian sambungan-sambungan *chassis*, dikarenakan terdapat *error* yang tinggi saat mengubah geometri dari *solid* menjadi *surface*.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang uji tabrak pada *chassis go-kart* dengan pemodelan yang sebenarnya. Tidak hanya uji tabrak di *chassis* saja, tetapi diperlukan komponen-komponen *go-kart* secara lengkap untuk mengetahui hasil yang sama dengan kondisi sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Babu, T., Praveen, D., & Venkateswarao, M. (2012). Crash analysis of car chassis frame using finite element method. **International Journal of Engineering Research & Technology, 1(8), 1-8.**
- Bagaskoro, Benedictus Bayu, and Julendra Bambang Ariatedja. "Analisis Torsional Rigidity dan Uji Tabrak pada Chassis Go-kart Tonykart menggunakan Finite Element Method." **Jurnal Teknik ITS 8.1 (2019): E94-E99.**
- Dynamic Crash Tests and Performance Criteria for the Australian Concession Go-Karts Standard. **In 25th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) National Highway Traffic Safety Administration.**
- Grzebieta, R., Rechnitzer, G., Simmons, K., Hicks, D., Dal Nevo, R., & Sherry, D. (2017). **Development of Proposed Dynamic Crash Test and Performance Criteria for the Australian Concession Go-karts Standard.**
- Kloppenborg, N., Amenson, T., Wernik, J., & Wiechel, J. (2018). Low-Speed Go-Kart Crash Tests and a Comparison to Activities of Daily Living. **ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part B: Mechanical Engineering, 4(4).**
- Liang, C. C., Yu, C. H., & Wu, C. C. (2007). A study on torsional stiffness of the competition go-kart frame. **WIT Transactions on the Built Environment, 91, 189-198.**
- Mahatme, C., Lande, P., Nagpure, S., Pawar, A., & Kharabe, N. (2019). **Design and Analysis of Go-Kart Chassis for Front, Side and Rear Impact.**

- Montalvão, D., & Moore, M. (2014). Computational analysis of a car chassis frame under a frontal collision. **International Journal of Engineering Research & Technology**, 3(2), 39-43.
- Saini, N. K., Rana, R., Hassan, M. N., & Goswami, K. (2019). Design and Impact Analysis of Go-kart Chassis. **International Journal of Applied Engineering Research**, 14(9), 46-52.
- Schweizerhof, K., Nilsson, L., & Hallquist, J. O. (1992). Crashworthiness analysis in the automotive industry. **International Journal of Computer Applications in Technology**, 5(2), 134-156.
- Wibisana, Yulian Dwi Satria, and Julendra Bambang Ariatedja. "Analisis torsional rigidity, efek jacking, dan kekuatan chassis go-kart akibat beban belok." **Jurnal Teknik ITS 7.2 (2019): E99-E103.**

BIODATA PENULIS



Rahadian Akmal Wildanum lahir di Surabaya, 10 November 1995, merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Nugrahadi Djazaul Mukhsinin dan Raden Roro Sri Wilujeng. Riwayat pendidikan penulis diawali di TK Semen Gresik, kemudian melanjutkan pendidikan di SD Muhammadiyah GKB Gresik (2002-2008), lalu di SMP Negeri 1 Gresik (2008-2011). Pada tahun 2011-2014, penulis menempuh pendidikan di SMA Negeri 1 Gresik. Penulis melanjutkan pendidikan S-1 di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis aktif dalam kegiatan akademis dan kemahasiswaan kampus. Penulis menjadi Kepala Biro Minat dan Bakat Himpunan Mahasiswa Mesin ITS. Penulis juga diamanahi menjadi Koordinator Laboratorium Mekanika Benda Padat. Penulis berharap tugas akhir ini dapat menjadi kebermanfaatan bagi banyak orang.

Untuk informasi, saran dan kepentingan sehubungan dengan penelitian, penulis dapat dihubungi melalui:

Email : rahadianwildanum@gmail.com