

SKRIPSI

**ANALISIS ELEMEN HINGGA PADA CASH BOX
KENDARAAN TERISI ALUMINIUM FOAM**



OLEH :

**MUSYAFRIADI
D211 16 022**

**JURUSAN MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS
HASANUDDIN MAKASSAR**

2021

SKRIPSI

ANALISIS ELEMEN HINGGA PADA *CRASH BOX* KENDARAAN TERISI
ALUMINIUM *FOAM*

OLEH :

MUSYAFRIADI

D211 16 022

Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL :

ANALISIS ELEMEN HINGGA PADA *CRASH BOX* KENDARAAN TERISI ALUMINIUM *FOAM*

MUSYAFRIADI

D211 16 022

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Hari/tanggal : 18 Agustus 2021

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Fauzan, ST., MT., Ph.D

NIP. 19770103 200801 1 009

Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT.

NIP. 19570914 198703 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT.

NIP. 19720825 200003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : MUSYAFRIADI

NIM : D211 16 022

Program Studi : TEKNIK MESIN

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISIS ELEMEN HINGGA PADA *CRASH BOX* KENDARAAN TERISI
ALUMINIUM FOAM

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 19 Agustus 2021

Yang membuat pernyataan,



Musyafriadi

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya peneliti dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Elemen Hingga Pada *Crash Box* Kendaraan Terisi Aluminium Foam”** ini. Skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Universitas Hasanuddin.

Selama proses pengerjaan skripsi ini, peneliti banyak mendapat dukungan dari banyak pihak. Peneliti ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa memberi limpahan rahmat dan menyertai selama proses pengerjaan skripsi.
2. Kedua orang tua tercinta, Abd.kahir dan Baida, serta saudara(i), Musyafaruddin, Musdalifa yang selalu mendampingi dan mendoakan.
3. Dr. Eng jalaluddin, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Universitas.
4. Fauzan, ST., MT., Ph.D selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan waktu, arahan, dan masukan selama proses pengerjaan skripsi ini.
5. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT., selaku Dosen Pembimbing II atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
6. Dr. Ir. Nasruddin Azis., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan ilmu-ilmu dan nasehat.
7. Dr. Muhammad Syahid, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan ilmu-ilmu dan nasehat.
8. Seluruh dosen dan staf Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya selama penulis menempuh perkuliahan terutama kepada staf Departemen Teknik Mesin Kak suri, Pak Iwan, Dan Pak Mansur.
9. Teman-teman seperjuangan COMPREZZOR 2016 yang telah menjadi saudar selama di bangku perkuliahan.

10. Dan kepada sahabat Centro Real, Teman-teman KKN, Serta seleuruh pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu per satu terimakasih atas bantuan dan doa yang diberikan.

Peneliti sadar bahwa penulisan laporan ini masih belum sempurna. Untuk itu peneliti mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan laporan ini. Semoga laporan ini bermanfaat bagi semua pihak.

Makassar, 16 Juli 2021

Penulis,

MUSYAFRIADI

ABSTRAK

MUSYAFRIADI. *Analisis Elemen Hingga Pada Crash Box Kendaraan Terisi Aluminium Foam (dibimbing oleh FAUZAN, ST., MT., Ph.D, Dan Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT)*

Jumlah kecelakaan lalu lintas kendaraan roda empat di Indonesia meningkat secara signifikan dan mencapai puncak di tahun 2018 sekitar 109.215 dengan jumlah korban meninggal sebanyak 29.472. *Crash box* ialah salah satu pengembangan teknologi keselamatan yang memiliki tingkat *crashworthiness* yang tinggi, yaitu kemampuan untuk menyerap energi benturan dan melindungi penumpang kendaraan pada saat terjadi kecelakaan dengan arah tabrakan dari depan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan tabung berisi *foam* berbahan aluminium pada *crash box* dan pengaruh variasi penampang dalam penggunaan tabung berisi *foam* berbahan aluminium pada *crash box*. Model simulasi yang digunakan yaitu *single walled foam filled* (SWFF), dan *double walled foam filled* (DWFF).

Dari hasil simulasi, model 1 menghasilkan nilai penyerapan energi yang bervariasi yaitu model SWFF dengan nilai 5,978.84 joule, model SWFF1 dengan nilai 3,985.83 joule, model SWFF2 dengan nilai 3,888.68 joule, model SWFF3 dengan nilai 3,029.58 joule, model DWFF dengan nilai 5,764.15 joule, model DWFF1 dengan nilai 5,218.46 joule, model DWFF2 dengan nilai 4,493.72, model DWFF3 dengan nilai 5,102.99. Dengan demikian, konstruksi *crash box* aluminium yang ditambahkan dinding ganda dan aluminium *foam* mampu lebih banyak dalam menyerap energi.

Kata kunci: *Crash box*, *crashworthiness*, aluminium *foam*, penyerapan energi

ABSTRACT

MUSYAFRIADI. Finite Element Analysis of Vehicle Crash Boxes Filled with Aluminum Foam (supervised by **FAUZAN, ST., MT., Ph.D,** and **Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT**)

The number of four-wheeled vehicle traffic accidents in Indonesia increased significantly and reached a peak in 2018 of around 109,215 with a death toll of 29,472. Crash box is one of the safety technology developments that has a high level of crashworthiness, namely the ability to absorb impact energy and protect vehicle occupants at the time of the accident with the direction of the collision from the front.

This study aims to determine the effect of using a tube filled with foam made of aluminum on the crash box and the effect of cross-sectional variations in the use of a tube filled with foam made of aluminum on the crash box. The simulation models used are single walled foam filled (SWFF), and double walled foam filled (DWFF).

From the simulation results, model 1 produces various energy absorption values, namely the SWFF model with a value of 5,978.84 joules, the SWFF1 model with a value of 3,985.83 joules, the SWFF2 model with a value of 3,888.68 joules, the SWFF3 model with a value of 3,029.58 joules, the DWFF model with a value of 5,764.15 joules, the DWFF1 model with a value of 5,218.46 joules, the DWFF2 model with a value of 4,493.72, the DWFF3 model with a value of 5,102.99. Thus, the construction of the aluminum crash box with the addition of double walls and aluminum foam is able to absorb more energy.

Keywords: Crash box, crashworthiness, aluminum foam, energy absorption

DAFTAR ISI

Halaman Sampul.....	i
DAFTAR ISI	viii
BAB I PENDAHULUAN	x
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kendaraan.....	5
2.2 Crash Box.....	5
2.3 Uji Impak	11
2.4 Parameter Crush	12
2.5 Metal Foam	14
2.6 Metode Elemen Hingga	20
2.7 Software ABAQUS	24
BAB 3 METODE PENELITIAN	30
3.1 Waktu dan Tempat.....	30
3.2 Alat dan Bahan	30
3.3 Metode Penelitian	34
3.4 Langkah Pembuatan Model.....	34
BAB IV HASIL PEMBAHASAN.....	55
4.1 Hasil Uji Tarik	55
BAB V PENUTUP.....	72
5.1 Kesimpulan.....	72
5.2 Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	76

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi spesimen uji tarik aluminium	31
Tabel 3.2 Jadwal penelitian	53
Tabel 4.1 Tegangan maksimum Von Moises dari variasi penampang	38
Tabel 4.2 Parameter penyerapan energi pada crash box dengan variasi penampang	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Arah – arah tabrakan pada kendaraan (mobil)	2
Gambar 2.1 Penempatan komponen <i>crush box</i> pada mobil	5
Gambar 2.2 <i>Crush box</i> pada kendaraan	6
Gambar 2.3 <i>Foam</i> rongga tertutup dan <i>foam</i> rongga terbuka	16
Gambar 2.4 Aplikasi <i>aluminium foam</i> pada industri kereta api	20
Gambar 2.5 Tahapan menjalankan program <i>Abaqus CAE</i>	26
Gambar 2.6 Komponen pada windows utama program <i>Abaqus CAE</i>	28
Gambar 3.1 Alat uji tarik	30
Gambar 3.2 Spesimen uji tarik	31
Gambar 3.3 Standar ASTM E86	31
Gambar 3.4 Alat uji tekan	32
Gambar 3.5 <i>Abaqus CAE</i>	32
Gambar 3.6 (a) <i>Single wall foam filled</i> , (b) <i>double wall foam filled</i>	33
Gambar 3.7 Tampilan part pada <i>Abaqus CAE</i>	34
Gambar 3.8 Model variasi penampang, dimensi ukuran serta variasi tumbukan impak	35
Gambar 3.8 Spesifikasi lower plate (kiri) top plate (kanan)	36
Gambar 3.9 Dimensi lengkap top plate	36
Gambar 3.10 Dimensi atas crash box	37
Gambar 3.11 Dimensi bawah crash box	38
Gambar 3.12 Dimensi atas foam	39
Gambar 3.13 Dimensi bawah foam	39
Gambar 3.14 Dimensi lengkap lower plate	40
Gambar 3.15 Part – part yang sudah digabungkan	42
Gambar 3.16 Tampilan global seeds pada <i>Abaqus CAE</i>	42
Gambar 3.17 Tampilan mesh kontrol pada <i>Abaqus CAE</i>	43

Gambar 3.18 Tampilan panel interaction pada Abaqus CAE.....	44
Gambar 3.19 Tampilan extention panel interaction pada Abaqus CAE	45
Gambar 3.20 Tampilan predefined field panel pada Abaqus CAE.....	45
Gambar 3.21 Tampilan panel field output request (stresses) pada AbaqusCAE.	46
Gambar 3.22 Tampilan panel field output request (strain) pada Abaqus CAE ...	47
Gambar 3.23 Tampilan panel field output request (displacement) pada Abaqus CAE	48
Gambar 3.24 Tampilan panel field output request (forces) pada Abaqus CAE ..	48
Gambar 3.25 Tampilan panel field output request (contact) pada Abaqus CAE.	49
Gambar 3.26 Tampilan panel field output request (volume) pada Abaqus CAE.....	49
Gambar 3.27 Tampilan panel history output request (energy) pada Abaqus CAE.....	50
Gambar 3.28 Tampilan panel step pada Abaqus CAE.....	50
Gambar 3.29 Tampilan panel job pada Abaqus CAE	51
Gambar 3.30 Tampilan panel job manager pada Abaqus CAE.....	51
Gambar 3.31 Dimensi crash box honda brio	52
Gambar 3.32 Crash Box honda Brio	52
Gambar 4.1 Kurva hasil uji tarik.....	55
Gambar 4.2 Skematik pembebanan aksial.....	56
Gambar 4.3 Hasil simulasi pembebanan aksial	58
Gambar 4.4 Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi penampang.....	59
Gambar 4.5 Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi SWFF	60
Gambar 4.6 Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi SWFF1.....	60
Gambar 4.7 Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi SWFF 2.....	61

Gambar 4.8 Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi SWFF 3.....	61
Gambar 4.9 Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi DWFF.....	62
Gambar 4.10 Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi DWFF 1.....	62
Gambar 4.11 Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi DWFF 2.....	63
Gambar 4.12 Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi DWFF 3.....	63
Gambar 4.13 Tegangan von mises pada crash box variasi DWFF.....	64
Gambar 4.14 Tegangan maksimum vonmises pada crash box.....	65
Gambar 4.15 Grafik nilai total energi serap yang didapatkan pada crash box dengan variasi bentuk penampang bagian dalam dengan beban aksial.....	67
Gambar 4.16 Grafik nilai gaya rata-rata yang didapatkan pada crash box dengan variasi bentuk tabung bagian dalam dengan beban aksial.....	68
Gambar 4.17 Grafik nilai energi serap spesifik yang didapatkan pada Crash box dengan variasi bentuk penampang bagian dalam dengan beban aksial.....	68
Gambar 4.18 Diagram presentase nilai total energy serap spesifik yang didapatkan pada crash box dengan variasi bentuk penampang bagian dalam dengan beban aksial.....	69
Gambar 4.19 Grafik deformasi perbandingan (a)crash box mild steel (b)crash box aluminium.....	71
Gambar 4.20 Hasil simulasi pembebanan aksial (a) mild steel (b)aluminium....	71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Hasil Uji Tarik.....	76
Lampiran 2. Tabel Waktu – Displacement untuk semua variasi penampang	80
Lampiran 3. Foto Pengujian Tarik dan Tekan.....	83

BAB I PENDAHULUAN

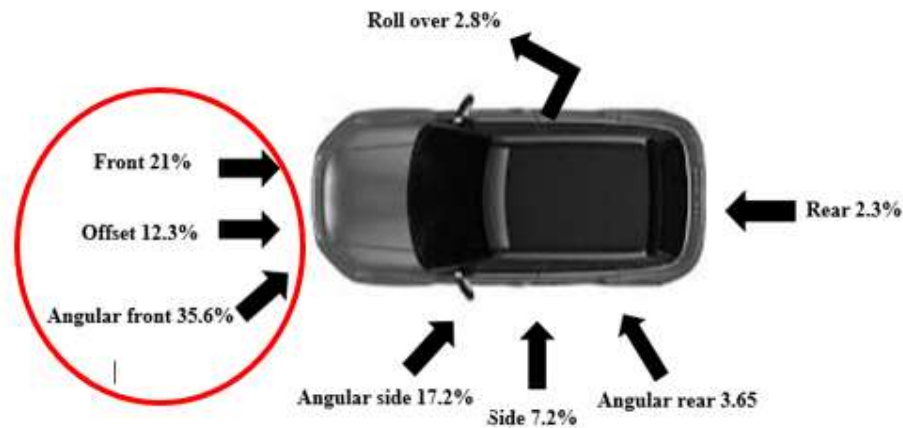
1.1 Latar Belakang

Dengan berkembangnya teknologi, jumlah kendaraan di jalan dari tahun ke tahun semakin meningkat, sistem keamanan pada alat transportasi sangat diperlukan dikarenakan semakin meningkatnya kebutuhan akan kendaraan untuk menunjang mobilitas masyarakat. Salah satu hal yang perlu diperhatikan yaitu kecelakaan lalu lintas terkait dengan sistem keamanan yg ingin dikembangkan. Data kecelakaan lalu lintas yang terjadi pada tahun 2018 mencapai angka 109.215 dengan jumlah korban meninggal sebanyak 29.472. (Badan Pusat Statistik, 2018).

Jumlah korban kecelakaan pada lalu lintas memiliki kecenderungan tabrakan yang berbeda-beda. Kecenderungan tabrakan adalah probabilitas bersyarat dari kendaraan yang terlibat dalam kecelakaan yang diberikan unit paparan. Sementara paparan tabrakan umumnya diperkirakan oleh jarak tempuh. Tingkat bahaya kecelakaan tergantung pada kelayakan dari kendaraan seperti kapasitas pelindung diri dan agresivitas kecelakaan seperti bahaya pada tabrakan kendaraan pada kendaraan yang terlibat dalam kecelakaan yang sama, dengan faktor eksternal lainnya (Huang, 2014).

Tentunya hal ini merupakan sesuatu yang tidak diharapkan sehingga para produsen alat transportasi selalu berpikir keras untuk memberikan solusi terhadap hal tersebut dengan cara menambahkan sistem keamanan pada produknya agar mampu meminimalisasi efek yang ditimbulkan akibat kecelakaan. Dalam perkembangannya sudah banyak sistem keamanan yang diterapkan oleh para produsen kendaraan khususnya kendaraan roda empat, salah satunya yaitu *Crash Box*, perangkat ini merupakan sistem keamanan pasif dan merupakan salah satu bagian dari *crashworthy system* yang digunakan untuk mengurangi tingkat

keparahaan kecelakaan yang dialami penumpang atau bagian kendaraan yang vital seperti mesin akibat frontal crash (Ahmad Z, 2009).



Gambar 1.1 arah-arrah tabrakan pada kendaraan (mobil)

Dari pernyataan gambar diatas dapat disimpulkan bahwa, tabrakan yang sering terjadi pada kecelakaan lalu lintas yaitu tabrakan arah depan. Tabrakan dari arah depan sangatlah fatal di bandingkan dengan tabrakan arah lain, bahkan hal itu yang menjadi penyebab utama kematian karena terjadinya cedera berat pada pengemudi dikarenakan kurangnya perangkat keamanan pada sisi depan kendaraan. (Ali dan Sharir, 2013).

Itulah yang mnejadi alasan utama perusahaan merancang sesuatu sistem yang baru pada kendaraan khususnya roda empat, yang dimana sistem tersebut mampu menyerap energi benturan dan juga mampu melindungi penumpang kendaraan pada saat terjadi kecelakaan. (Xiong dkk, 2015).

Crash Box merupakan salah satu pengembangan teknologi sistem keselamatan pasif yang sudah banyak diteliti. Fungsi dari *Crash Box* ini adalah sebagai perangkat dalam penyerapan energi kinetik pada saat mobil mengalami

benturan atau terjadi kecelakaan, baik itu benturan dari depan maupun benturan dari belakang. Desain dari perangkat komponen *Crash Box* berfungsi untuk mengurangi terjadinya gaya yang terdistribusi ke seluruh body kendaraan selama mengalami benturan atau terjadi tabrakan. Penempatan *Crash Box* yaitu antara bumper dan body utama kendaraan. (I Putu, 2014)

Alumunium foam sangatlah dibutuhkan pada penelitian kali ini, sifatnya yang ringan, kuat dan anti karat ini dapat menjadi solusi untuk mencegah ataupun mengurangi efek yang ditimbulkan akibat kecelakaan lalu lintas.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menganalisis tegangan pada *Crash box* berbahan aluminium berisi foam?
2. Bagaimana perbedaan pengaruh variasi penampang dalam penggunaan aluminium berisi foam pada *Crash Box*?
3. Bagaimana menganalisis perbedaan *crash box* berbahan aluminium dan *mild steel*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Menganalisis tegangan hasil uji impak pada *Crash box* berbahan aluminium berisi foam
2. Menganalisis kemampuan menyerap energi pada *Crash box* berbahan aluminium berisi foam dengan variasi penampang
3. Membandingkan perhitungan energi yang dapat diserap pada *crash box* dengan bahan aluminium dan mild steel

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini, diharapkan dapat memberikan informasi mengenai aplikasi penggunaan aluminium *foam* pada *Crash box* kendaraan mobil terhadap keselamatan pengemudi agar penyerapan energi kinetik ketika benturan atau terjadi kecelakaan lebih maksimal.

BAB II

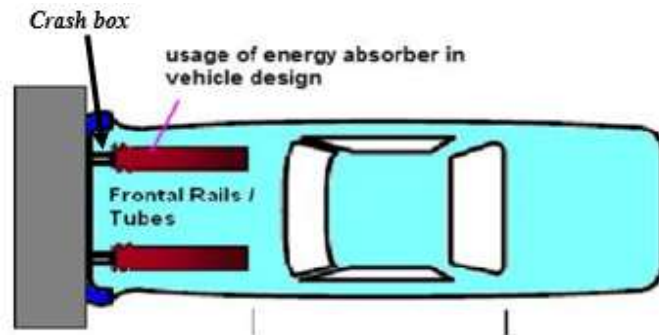
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kendaraan

Mobil adalah alat transportasi dengan roda empat yang digerakkan oleh mesin. Mesin mobil kebanyakan yang sering ditemui di jalan adalah mesin yang menggunakan bahan bakar minyak. Mobil juga dilengkapi alat pengaman untuk melindungi pengemudi ketika mengemudi seperti sabuk pengaman, airbag, bumper, SIPS (*side impact protection system*), *Crash Box* dan lain sebagainya. Beberapa mobil dilengkapi oleh *Crash Box* di bagian depan dan belakang mobil sebagai pelindung ketika kecelakaan lalu lintas dari arah samping.

2.2 Crash Box

Prinsip kerja dari *Crash Box* ini adalah dengan menyerap energi yang tinggi melalui masuknya segmen satu dengan segmen yang lainnya karena adanya gaya gesek. Selanjutnya apabila energi tumbukan masih besar maka dilanjutkan ke tahap deformasi pada *Crash Box* sehingga membentuk beberapa pola deformasi antara lain *Concertina*, *Diamond* dan *Mixed-mode* atau gabungan dari pola *concertina-diamond* (*axisymmetric-diamond*). (Toksoy, 2009)



Gambar 2.1 Penempatan komponen *Crash Box* pada Mobil

Material yang biasa digunakan secara umum dalam pembuatan perangkat *Crash Box* adalah material berjenis aluminium dimana memiliki karakteristik yang ringan, tahan korosi dan memiliki nilai keuletan yang tinggi serta dengan kemampuan permesinan yang bagus. (Wiryosumanto, 1994)

Gambar dibawah ini adalah salah satu contoh *Crash Box* pada kendaraan.



Gambar 2.2 *Crash Box pada Kendaraan*

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan demi mengembangkan perangkat yang dapat mengurangi resiko kecelakaan pada tabrakan, salah satunya pengujian pada perangkat *Crash Box* dimana diberikan tumbukan dengan kecepatan yang telah ditentukan terjadi adanya perubahan deformasi plastis. Dapat disimpulkan bahwa kejadian ini menunjukkan terjadinya penyerapan energi pada *Crash Box* tersebut. Akan tetapi diperoleh fenomena bahwa, semakin cepat perubahan deformasi plastis pada *Crash Box*, maka sisa kecepatan akibat tumbukan masih tersisa cukup banyak yang dapat membahayakan rangka utama kendaraan, sehingga fenomena ini dianggap masih rendah untuk tingkat keamanan pengemudi. (Jatmiko,2014)

Berbagai jenis pengimplementasian tabung aluminium pada *Crash Box*. Diantaranya penggunaan tabung berdinging tunggal atau pun berdinging ganda,

dimana masing-masing diantaranya dapat divariasikan dengan menambahkan logam busa di bagian tengah.

Struktur berdinding tipis dikenal sebagai sesuatu yang menjanjikan dan efisien dalam menyerap energi dari suatu gaya impak pada struktur di bagian rangka dari konsep mobil, struktur kereta dan rangka helikopter (Hayashi, 2005). Terdapat 2 pertimbangan utama yang perlu diperhatikan dalam perancangan bagian struktur untuk menghadirkan fungsi sebagai perangkat yang dapat menyerap energi, yaitu; bagaimana cara mencapai keuletan yang sesuai untuk meredam gaya dari tabrakan, dan bagaimana cara meredam gaya dorongan ekstrim pada interaksi pertama pada tabrakan. Kasus pertama berhubungan dengan kapasitas ketahanan tabrakan pada struktur, sedangkan kasus yang kedua berhubungan dengan tingkat keselamatan terhadap penumpang.

Secara umum, cara paling sederhana untuk meningkatkan ketahanan terhadap tabrakan dengan gaya aksial adalah dengan mengatur ketebalan dinding dari rangka struktur, walaupun ini bukanlah cara terbaik dikarenakan massa dari strukturpun secara otomatis akan menjadi lebih berat pula. Salah satu solusi yang efektif untuk meredam gaya dorongan ekstrim pada interaksi pertama pada tabrakan, biasanya cara menanggulangnya adalah dengan mengimplementasikan struktur dinding yang tipis. Dengan ditemukannya material baru, sebagai alternatif, yang menjadi sebuah modifikasi dari bagian pada struktur dengan menambahkan material yang memiliki densitas yang ringan dapat menjadi solusi dalam meningkatkan ketahanan terhadap tabrakan yang terjadi dengan gaya aksial dan disisi lain material ini ringan sehingga dapat mengefisienkan berat dan mengatasi gaya dorongan ekstrim pada interaksi pertama pada tabrakan. Cara alternatifnya adalah dengan mengisi

Polyurethane Foam untuk memperkuat komponen dinding tipis yang merupakan rekomendasi dari Thornton (P. Thornton, 1980.).

Dengan menggunakan aluminium *foam* sebagai material pengisi diharapkan keuletan dari bagian dinding tipis dapat dioptimalkan tanpa harus meningkatkan berat perangkat secara signifikan. Ketika sebuah struktur dengan dinding tipis yang kemudian diisi penuh dengan aluminium *foam* sebagai inti, maka sebuah interaksi antara material pengisi dan struktur dengan dinding tipis struktur diharapkan akan menghasilkan beberapa karakteristik yang bermanfaat untuk permasalahan pada tabrakan dan sifat pada penyerapan energi, karena secara harfiah penekanan dan lipatan pada material pada kondisi ini selama tabrakan gaya aksial menjadi terbatas.

Dalam beberapa dekade terakhir, aluminium *foam* telah banyak dikembangkan sebagai rekayasa material yang sangat ringan. Material ini memiliki sifat mekanikal yang unik, dimana dapat menahan tegangan deformasi yang besar sementara material ini hanya memiliki tegangan konstan yang kecil. Salah satu aplikasi dari material ini adalah sebagai suatu struktur yang menyerap energi. Pengisian struktur dengan busa berbahan aluminium dapat meningkatkan sifat penyerapan energi dan menstabilkan proses lekukan pada struktur. Sebuah efisiensi yang begitu besar pada berat telah diperoleh dari pengkombinasian antara struktur dengan dinding yang tipis dan diisi dengan aluminium *foam* sebagai inti, seperti yang dipelajari secara perhitungan oleh Santosa et al (S.P. Santosa, 2000). Pada penelitian yang lain, diungkapkan mengenai analisa tentang struktur yang telah diisi dengan logam busa dan diberikan interaksi gaya dorongan aksial. Rata-rata kemampuan menahan gaya tabrakan yang dihasilkan dari struktur yang telah diisi logam busa lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata kemampuan menahan gaya

tabrakan yang dihasilkan dari masing-masing yang hanya logam busa ataupun struktur berdinding tipis saja, yang mana dikondirmasi oleh kavi et al (H. Kavi, 2006.).

Dalam memaksimalkan potensi dari pengimplementasian logam busa sebagai material pengisi yang ringan di bagian inti struktur, sebuah konsep alternatif yang dapat dilakukan yaitu menggandakan bagian struktur dengan dinding yang tersisi logam busa, dimana logam busa ini diletakkan diantara struktur dengan dinding bagian dalam dan struktur dengan dinding bagian luar, solusi ini terbukti dapat meningkatkan efisiensi pada berat dari struktur yang cocok menurut Santosa dan Wierzbicki (S.P. Santosa, 1999), tetapi sejauh ini tidak begitu banyak informasi yang tersedia terkait sifat dari bagian struktur dengan dinding ganda ini yang diberikan tabrakan dengan arah gaya aksial secara umum. Salah satu yang mempublikasikan terkait sifat dari bagian ganda struktur struktur adalah Santosa dan Wierzbicki menggunakan pendekatan analisa elemen hingga dynamic non-linear. Pada publikasinya, tingkat ketahanan terhadap dorongan pada tabrakan dari struktur dengan bagian struktur dengan dinding ganda yang terisi logam busa diantaranya terbukti lebih tinggi secara signifikan, dibandingkan dengan struktur yang hanya dilapisi sebuah dinding yang terisi logam busa yang mana mendapatkan pembebanan yang sama.

Sebuah investigasi pada percobaan dengan pembebanan *quasi-static* mengenai struktur dengan dinding ganda yang terisi dengan logam busa dengan material, dimensi dan bentuk struktur yang berbeda-beda, pernah diteliti oleh Seitzberger et al (M. Seitzberger, 2000). Hasil dari percobaan tersebut menampilkan bahwa struktur dengan dinding ganda yang terisi dengan logam busa

adalah sebuah perangkat yang efisien dalam menyerap energi.

Sebuah investigasi pada percobaan pembebanan *quasi-static* dengan penekanan aksial juga pernah diteliti oleh Zhibin Li, Rong Chen, Fangyun Lu (Zhibin Li, 2018) dimana dengan dua tipe yang berbeda, yaitu struktur bundar dan kotak serta dengan variasi struktur yang terisi *Aluminium Foam*, diantaranya adalah struktur bundar yang terisi logam busa dan tabung kotak yang terisi logam busa, struktur bundar berdinding ganda yang terisi logam busa dan struktur kotak berdinding ganda yang terisi oleh logam busa, dan struktur kotak yang terisi logam busa di bagian sudut. Hasilnya menunjukkan bahwa dimensi dari bagian struktur dengan dinding pada jenis struktur yang berdinding ganda dan terisi oleh logam busa diantaranya, dapat memberikan efek yang sangat signifikan dalam merespon tabrakan.

Pada penelitian Niknejad et al. (A. Niknejad, 2015), mempublikasikan beberapa teori turunan yang tervalidasi dari percobaan yang memprediksi respon terhadap tabrakan dari struktur segi empat yang terisi dengan logam busa (polyurethane) selama pembentukan lipatan awal dibawah pembebanan tabrakan gaya aksial. Analisis tersebut mempertimbangkan efek interaksi antara logam busa dengan dinding bagian dalam dari struktur. Hasilnya menampilkan bahwa terdapat pengaruh dari interaksi untuk sifat tabrakan.

Attia et al. (G. Zheng, 2014), membandingkan sifat penyerapan energi dari struktur tunggal yang terisi logam busa dengan densitas yang berkualitas dan memperhatikan efek dari distribusi densitas untuk kapasitas penyerapan energi yang spesifik. Hasilnya menampilkan bahwa 12% lebih baik dalam kapasitas penyerapan energi yang spesifik oleh struktur tunggal yang terisi logam busa

dengan densitas yang berkualitas dibandingkan dengan penggunaan material dengan densitas biasa dimana diberikan pembebanan yang sama.

2.3 Uji Impak

Uji impak adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (rapid loading). Pada uji impak terjadi proses penyerapan energi yang besar ketika beban menumbuk spesimen. Energi yang diserap material ini dapat dihitung dengan menggunakan prinsip perbedaan energi potensial. Prinsip pengujian impak ini adalah menghitung energi diserap oleh spesimen. Pada saat beban dinaikkan pada ketinggian tertentu, beban memiliki energi potensial maksimum, kemudian saat akan menumbuk spesimen, energi kinetik mencapai maksimum. Energi kinetik maksimum tersebut akan diserap sebagian oleh spesimen. (Yunus M. dkk, 2016)

2.3.1 Crashworthiness

Crashworthiness adalah kemampuan kendaraan untuk menyerap energi benturan dan melindungi penumpang kendaraan pada saat terjadi kecelakaan. Dirancang dengan beberapa sistem pelindung yang bertujuan untuk meningkatkan kelayakan kendaraan. (Xiong dkk, 2015).

Crashworthiness merupakan kemampuan struktur pada kendaraan yang digunakan untuk mengurangi cedera pada penumpang saat terjadi kecelakaan. Crashworthiness mempunyai kriteria antara lain gaya tumbukan puncak (F_{max}), penyerapan energi spesifik (SEA), dan efisiensi gaya tumbukan (CFE). (Dionisius dkk, 2018)

2.4 Parameter Crush

Beberapa indikator kinerja telah dikembangkan untuk mengevaluasi efektivitas komponen perangkat penyerap energi yang diberikan untuk aplikasi crush. *Crash box* mampu dikatakan baik ketika penyerapan energi yang ideal dan mampu mencapai beban maksimum dengan mempertahankan bentuk aslinya. Tujuan untuk merancang perangkat penyerap energi yang efisien adalah untuk memaksimalkan langkahnya, untuk memiliki beban rata-rata yang setara dengan beban puncak, dan untuk memiliki kemampuan penyerapan energi spesifik yang tinggi. Berdasarkan (Pei, Nadiah, Aishah, & Nadiah, 2017), parameter-parameter ini didefinisikan sebagai berikut:

2.4.1 Beban Maksimum (F_{maks})

Beban maksimum adalah beban tertinggi yang diperlukan untuk menyebabkan deformasi dan distorsi permanen yang signifikan pada suatu komponen. Penting untuk parameter *crashworthiness* karena dua alasan. Pertama, selama dampak kecepatan rendah dan energi rendah, diinginkan bahwa tidak ada deformasi permanen terjadi, karena ini akan dianggap kerusakan pada struktur. Kedua, beban puncak seringkali merupakan beban maksimum yang diamati pada langkah berguna perangkat penyerap energi karena memiliki pengaruh langsung pada struktur *Crash box*.

2.4.2 Specific Energy Absorption (SEA)

SEA atau penyerapan energi spesifik menunjukkan energi total yang diserap dalam tumbukan (Total Energy Absorption, TEA), dalam menghancurkan struktur sama dengan area di bawah kurva perpindahan beban. Dimana, (Tarlochan, 2007)

$$TEA = \int_0 F \cdot \delta \quad (1)$$

Oleh karena itu, penyerapan energi spesifik didefinisikan sebagai energi yang diserap persatuan massa material seperti yang diberikan dalam persamaan 2.

$$SEA = \frac{TEA}{m} \quad (2)$$

Keterangan:

TEA : Total energy serap (Joule) F : Energi serap (N)

δ : Jarak tempuh tekan (mm)

SEA : Energi serap spesifik (kJ/kg)

m : Berat tabung (kg)

2.4.3 Average Crush Load

Average crush load juga dikenal sebagai beban rata-rata. Mean crush load (F_{mean}) didefinisikan sebagai energi yang diserap dibagi dengan jarak tempuh (ΔL). (Johnson, 1977)

$$F_{mean} = \frac{TEA}{\Delta L} \quad (3)$$

Ini adalah rasio energi yang diserap pada jarak tekan pada tabung yang diuji secara ditekan.

Keterangan:

F_{mean} : Gaya rata-rata (kN)

TEA : Total energy serap (Joule)

ΔL : Jarak tempuh tekan (mm)

2.4.4 *Crush Force Efficiency (CFE)*

Rata-rata dan beban puncak adalah parameter penting yang harus ditentukan karena berkaitan langsung dengan perlambatan yang akan dialami oleh penghuni dalam kendaraan. Cara terbaik untuk mengukur ini adalah dengan menentukan rasio antara beban rata-rata dengan beban puncak. Dan rasio ini adalah efisiensi gaya tekan. Dalam penyerapan energi yang ideal ialah yang memiliki nilai *crush force efficiency* (CFE) sama atau hampir sama dengan 100% (Vinayagar & Senthil Kumar, 2017).

$$CFE = \frac{F_{mean}}{F_{peak}} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

CFE : Gaya tekan efisiensi (%)

F_{mean} : Gaya rata-rata (kN)

F_{maks} : Gaya maksimum (kN)

2.5 Metal Foam

Istilah foam tidak selalu benar digunakan dan karena itu perlu didefinisikan. semua penyebaran dari satu tahap ke tahap yang lain (dimana setiap fasa berada disalah satu dari tiga bagian), foam yang seragam menyebar dari fasa gas menjadi salah satu dari bentuk cair atau padat. Inklusi gas tunggal dipisahkan dari satu dengan yang lain oleh bagian cair atau padat secara berturut-turut. Dengan demikian sel seluruhnya tertutup oleh cairan atau padat dan tidak saling

berhubungan. Istilah foam digunakan untuk penyebaran yang membuang gas dalam cairan. Morfologi foam tersebut dapat dipertahankan dengan membiarkan pengerasan cairan, sehingga memperoleh apa yang disebut foam padat.

Pemodelan sifat bahan berpori yang sangat bergantung pada karakterisasi struktur material karena metal foam memiliki susunan yang kompleks dan mikro. Porositas didefinisikan sebagai presentase ruang kosong dalam padatan (Ashby, 2000).

Logam berpori atau metal foam merupakan suatu rekayasa material yang memiliki struktur berongga pada material logam dengan fraksi volume antara 75% - 95%. Metal foam memiliki kombinasi unik dari beberapa sifat yang tidak dapat diperoleh melalui logam konvensional, seperti kepadatan rendah, kekuatan tinggi, kemampuan untuk menyerap energi dan konduktivitas termal yang rendah.

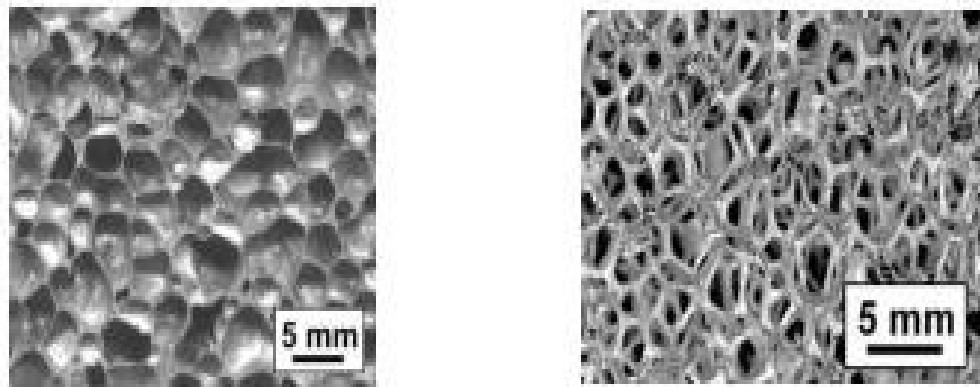
2.5.1 Aluminium *Foam*

Pembuatan aluminium *foam* pertama kali dilakukan oleh Benjamin Sosnick pada tahun 1943. Dia mencoba mendispersikan gas ke dalam aluminium padat dengan bantuan unsur merkuri (Hg) menggunakan bejana bertekanan tinggi. Dengan bantuan tekanan tinggi, penguapan Hg terjadi bersamaan saat temperatur leleh aluminium sehingga menyebabkan pembentukan *foam* (busa). (Shaik, 2010)

Aluminium *foam* material ini memiliki daya serap energi yang tinggi dengan berat jenis rendah dan sangat baik sehingga material ini telah diterapkan dalam industri otomotif (akustik dan peredam getaran), industri kedirgantaraan sebagai komponen struktural di turbin, dalam industri angkatan laut sebagai peredam getaran frekuensi rendah, dan di industri konstruksi sebagai hambatan suara dalam terowongan dan sebagai bahan pelindung kebakaran dan sistem perlindungan struktur terhadap ledakan.

Berdasarkan bentuk rongganya, *metallic foam* dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu:

1. *Foam* rongga tertutup (*closed cell*), yaitu rongga-rongga yang terbentuk terisolasi dan antar rongga tidak saling berhubungan.
2. *Foam* rongga terbuka (*open cell*), yaitu rongga-rongga yang terbentuk saling berhubungan dan kontinu.



Gambar 2.3 *Foam* rongga tertutup dan *foam* rongga terbuka

Aluminium *Foam* sering digunakan sebagai bahan pengisi dalam struktur ringan yang mengalami benturan dan dampak kecepatan tinggi atau sebagai alat isolasi termal atau akustik. *Foam* rongga tertutup, khususnya busa Al-alloy, menunjukkan tegangan konstan dimana dapat menyerap tingkat energi yang lebih tinggi daripada Aluminium padat. *foam* ini menunjukkan tekanan respon elastis selama pemberian dampak. Sebagian besar energi yang diserap tidak dapat diubah menjadi energi deformasi plastik, sehingga menjadi keuntungan lain dari aluminium *foam* (Degischer, 2002).

Perilaku *crashworthiness* yang dimiliki oleh aluminium *foam* memiliki kepentingan mendasar dalam desain keselamatan kendaraan karena keruntuhan plastik mereka adalah mekanisme yang digunakan untuk menghilangkan energi

kinetik kendaraan dengan cara yang dapat dikendalikan. Mekanisme keruntuhan plastik harus dapat diandalkan dan evolusinya selama arah yang menyebabkan penyerap energi berubah bentuk sebagai kombinasi dari kedua modus keruntuhan lentur aksial dan global. Mode ini umumnya tidak stabil dengan pengurangan terkait kapasitas penyerapan energi dari struktur tubular. Kehadiran bahan busa dalam struktur ini tampaknya meningkatkan stabilitas dari dampak tabrakan (Li, 2012).

Sektor industri telah banyak menggunakan logam busa ini karena kebutuhan dan ditunjang beberapa faktor seperti tersedianya biaya manufaktur dan lingkungan yang cocok.

Prediksi di masa mendatang akan mengalami krisis bahan bakar, berbagai industri yang memproduksi kendaraan penumpang mengembangkan penemuan guna meningkatkan efisiensi bahan bakar yang tidak mengesampingkan keselamatan penumpang dan salah satu yang sedang trend sekarang ini yakni penggunaan material konstruksi yang sangat ringan yang mengacu pada penggunaan aluminium *foam* metode elemen hingga.

Susatio (2004) menyatakan bahwa metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis. Tipe masalah teknis dan matematika yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisis struktur dan kelompok masalah non-struktur. Masalah analisis struktur, meliputi analisis tegangan, buckling, dan analisis getaran. Sedangkan masalah non- struktur antara lain adalah perpindahan panas dan massa, mekanika fluida, serta distribusi dari potensial listrik

Menurut Purba dan Tarigan (2012), persoalan yang menyangkut geometri

yang rumit terhadap struktur yang kompleks, pada umumnya sulit dipecahkan melalui matematika analisis. Formulasi dari metode elemen hingga dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini. Akibat adanya beban pada balok, akan mengakibatkan lendutan. Permasalahan ini dapat ditinjau dan diselesaikan dengan menghitungnya secara elemen hingga. Konsep yang mendasari metode elemen hingga menurut Bargess, Lesmana, dan Tallar (2009) adalah prinsip discretization. Discretization atau diskritisasi adalah membagi sesuatu menjadi bentuk yang lebih kecil dan penyatuan secara keseluruhan yang dapat menstimulir keadaan tersebut secara menyeluruh.

Katili (2008) menyebutkan bahwa struktur diskrit terbentuk dari gabungan elemen yang perilakunya diharapkan mewakili perilaku struktur kontinu. Perilaku masing-masing elemen digambarkan dengan fungsi pendekatan yang mewakili peralihan dan tegangan yang akhirnya dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan matrik.

2.5.2 Aplikasi Aluminium *Foam*

Sektor industri telah banyak menggunakan metal *foam* ini karena kebutuhan dan ditunjang beberapa faktor seperti tersedianya biaya manufaktur dan lingkunganyang cocok.

Prediksi di masa mendatang akan mengalami krisis bahan bakar, berbagai industri yang memproduksi kendaraan penumpang mengembangkan penemuan guna meningkatkan efisiensi bahan bakar yang tidak mengesampingkan keselamatan penumpang dan salah satu yang sedang trend sekarang ini yakni penggunaan material konstruksi yang sangat ringan yang mengacu pada penggunaan metal *foam*.

2.5.3 Bidang Otomotif

Penggunaan aluminium *foam* dalam dunia otomotif termasuk tinggi dengan tujuan untuk mengurangi berat kendaraan. Pemilihan material dalam penggunaan pada dunia otomotif juga adalah salah satu aspek penting. Tingkat keamanan mobil dipegaruhi oleh pemilihan material dan desain mobil. Penggunaan aluminium *foam* pada mobil dapat mengoptimalkann tiga aspek utama yang berkaitan dengan keamanan kendaraan, yaitu penyerapan energi ketika terjadi tabrakan, berat konstruksi, dan isolasi termal. Selain itu peran penggunaan aluminium *foam* pada kendaraan juga dapat meredam suara.

Contoh aplikasi material aluminium *foam* pada dunia otomotif yaitu pada bagian penutup bagasi, kap mesin, dan sebagai material pengisi pada tabung penyambung bumper mobil depan dan belakang serta sebagai *crush box* serta *framemobil* seperti pada Gambar 6. Bagian penutup kap mobil dan kap mesin yang berbahan aluminium *foam* dimaksudkan untuk mengoptimalkan berat dari konstruksi dan stabilitas. Dan *crush box* pada mobil yang berbahan aluminium *foam* dimaksudkan untuk mengoptimalkan penyerapan energi pada saat terjaditabrakan.

2.5.4 Industri Kereta

Penggunaan material aluminium *foam* pada kereta seperti pada Gambar 2.4 dapat memberikan keuntungan karena dapat memenuhi kebutuhan akan bahan yang ringan tetapi kuat sehingga berat angkut dapat ditingkatkan. Penggunaan material ringan ini masih sangat jarang karena kondisi ini tidak bisa dibandingkan dengan penggunaan material aluminium *foam* pada mobil yang secara lebih mudahdidapatkan, dimana memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam

pembuatan bahan. *Spare part* mobil berbahan aluminium *foam* yang diproduksi secara massal memiliki standar yang telah ditentukan dan harga yang lebih murah.



Gambar 2.4 Aplikasi aluminium *foam* pada industri kere

foam dimaksudkan untuk mengoptimalkan penyerapan energi pada saat terjaditabrakan.

2.6 Metode Elemen Hingga

Susatio (2004) menyatakan bahwa metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis. Tipe masalah teknis dan matematika yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisis struktur dan kelompok masalah non-struktur. Masalah analisis struktur, meliputi analisis tegangan, buckling, dan analisis getaran. Sedangkan masalah non-struktur antara lain adalah perpindahan panas dan massa, mekanika fluida, serta distribusi dari potensial listrik. Menurut Purba dan Tarigan (2012), persoalan yang menyangkut geometri yang rumit terhadap struktur yang kompleks, pada umumnya sulit dipecahkan melalui matematika analisis. Formulasi dari metode elemen hingga dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini. Akibat adanya beban pada balok, akan mengakibatkan lendutan. Permasalahan ini dapat ditinjau dan

diselesaikan dengan menghitungnya secara elemen hingga. Konsep yang mendasari metode elemen hingga menurut Bargess dkk (2009) adalah prinsip discretization. Discretization atau diskritisasi adalah membagi sesuatu menjadi bentuk yang lebih kecil dan penyatuan secara keseluruhan yang dapat menstimulir keadaan tersebut secara menyeluruh.

Katili (2008) menyebutkan bahwa struktur diskrit terbentuk dari gabungan elemen yang perilakunya diharapkan mewakili perilaku struktur kontinu. Perilaku tiap elemen digambarkan dengan fungsi pendekatan yang mewakili peralihan dan tegangan yang akhirnya dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan matrik.

2.6.1 Istilah dalam Metode Elemen Hingga

Beberapa istilah-istilah yang digunakan dalam analisis struktur yang digunakan dalam metode elemen hingga yang dijelaskan oleh Katili (2008) adalah sebagai berikut.

1. Beban

Beban adalah semua gaya yang menimbulkan tegangan dan regangan dalam suatu struktur. Beban nodal (BN) adalah beban terpusat yang langsung bekerja pada nodal. Beban nodal ekuivalen (BNE) adalah beban terpusat atau beban merata yang bekerja di antara nodal dan ditransmisikan menjadi beban nodal.

2. Gaya Nodal Struktur

Gaya nodal struktur adalah resultan atau hasil penggabungan beban nodal atau reaksi perletakan. Gaya tersebut akan didistribusikan ke seluruh elemen struktur dan menimbulkan gaya internal geser, aksial, momen torsi, dan momen lentur sampai akhirnya disalurkan ke perletakan. Gaya nodal struktur juga berperan dalam menjaga keseimbangan struktur bebas (free- body structure) bila

perletakkan dilepas.

3. Gaya Nodal Elemen

Gaya nodal elemen adalah gaya yang muncul pada nodal elemen dengan peran untuk menjaga keseimbangan elemen bila elemen dilepas dari struktur sebagai free-body. Gaya nodal elemen ini akan menghilang bila elemen-elemen dirangkai menjadi satu kesatuan dengan struktur dan bergabung menjadi gaya nodal struktur.

4. Peralihan Nodal

Peralihan nodal adalah terjadinya perpindahan derajat kebebasan nodal pada elemen struktur yang dapat berupa rotasi atau translasi dalam arah horisontal maupun vertikal akibat pembebanan.

5. Nodal Struktur

Nodal struktur adalah titik pertemuan elemen-elemen yang merupakan acuan dalam merangkai elemen-elemen pembentuk struktur. Pada nodal struktur gaya nodal struktur dan derajat kebebasan struktur didefinisikan untuk kemudian dibentuk relasi persamaan kekakuan struktur.

6. Nodal Elemen

Nodal elemen adalah titik-titik pada elemen dimana gaya nodal elemen dan derajat kebebasan elemen didefinisikan untuk kemudian dibentuk suatu persamaan kekakuan elemen.

7. Elemen Struktur

Elemen struktur adalah komponen-komponen pembentuk struktur yang dibatasi oleh minimal dua nodal.

Tujuan utama analisis dengan metode elemen hingga adalah untuk memperoleh nilai pendekatan (bukan eksak) tegangan dan peralihan pada suatu struktur. Karena pendekatan berdasarkan fungsi peralihan merupakan teknik yang seringkali dipakai, maka langkah-langkah berikut ini dapat digunakan sebagai pedoman bila menggunakan pendekatan berdasarkan asumsi tersebut:

1. Bagilah kontinum menjadi sejumlah elemen (Sub-region) yang berhingga dengan geometri yang sederhana (segitiga, segiempat, dan lain sebagainya).
2. Pada titik-titik pada elemen yang diperlakukan sebagai titik nodal, dimana syarat keseimbangan dan kompatibilitas dipenuhi.
3. Asumsikan fungsi peralihan pada setiap elemen sedemikian rupa sehingga peralihan pada setiap titik sembarangan dipengaruhi oleh nilai-nilai titik nodalnya.
4. Pada setiap elemen khusus yang dipilih tadi harus memenuhi syarat hubungan regangan peralihannya dan hubungan tegangan-regangannya.
5. Tentukan kekakuan dan beban titik nodal ekuivalen untuk setiap elemen dengan menggunakan prinsip usaha atau energi.
6. Turunkan persamaan keseimbangan ini untuk mencari peralihan titik nodal.
7. Selesaikan persamaan keseimbangan ini untuk mencari peralihan titik nodal.
8. Hitung tegangan pada titik tertentu pada elemen tadi.
9. Tentukan reaksi perletakan pada titik nodal yang tertahan bila diperlukan.

Beberapa kelebihan dalam penggunaan metode elemen hingga menurut Susatio (2004), antara lain adalah:

1. Benda dengan bentuk yang tidak teratur dapat dengan mudah dianalisis.

2. Tidak terdapat kesulitan dalam menganalisis beban pada suatu struktur.
3. Pemodelan dari suatu benda dengan komposisi materi yang berlainan dapat dilakukan karena tinjauan yang dilakukan secara individu untuk setiap elemen.
4. Dapat menangani berbagai macam syarat batas dalam jumlah yang tak terbatas.
5. Variasi dalam ukuran elemen memungkinkan untuk memperoleh detail analisis yang diinginkan.

Adapun dasar dari metode elemen hingga adalah membagi benda kerja menjadi elemen-elemen kecil yang jumlahnya berhingga sehingga dapat menghitung reaksi akibat beban pada kondisi batas yang diberikan. Dari elemen- elemen tersebut dapat disusun persamaan-persamaan matriks yang biasa diselesaikan secara numerik dan hasilnya menjadi jawaban dari kondisi beban yang diberikan pada benda kerja tersebut. Metode elemen hingga (MEH) dapat mengubah suatu masalah yang memiliki jumlah derajat kebebasan tidak berhingga menjadi suatu masalah dengan jumlah derajat kebebasan tertentu sehingga proses pemecahannya lebih sederhana. Metode ini merupakan metode computer oriented yang harus dilengkapi dengan program-program komputer digital yang tepat dalam penelitian ini penulis menggunakan program ABAQUS untuk perhitungan numerik

2.7 Software ABAQUS

Software ABAQUS adalah paket program simulasi rekayasa yang kuat, didasarkan pada metode elemen hingga, yang dapat memecahkan masalah mulai dari analisis linier relative sederhana sampai simulasi nonlinier yang paling menantang. Program ABAQUS berisi perpustakaan yang luas dari unsur-unsur yang dapat memodelkan hampir semua geometri apapun. Program ini memiliki

daftar yang sangat luas dari model material yang dapat mensimulasikan perilaku sebagian besar bahan rekayasa, termasuk logam, karet, polimer, komposit, beton bertulang, busa yang lentur dan kuat, dan bahan geoteknik seperti tanah dan batuan.

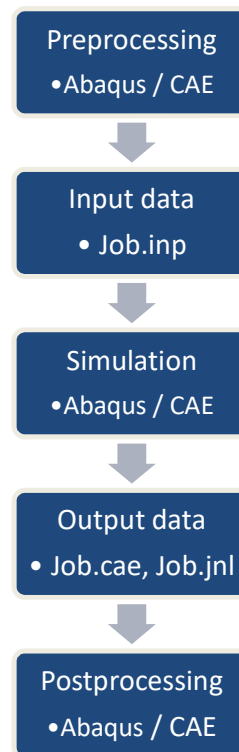
Abaqus menawarkan berbagai kemampuan untuk simulasi aplikasi linier dan nonlinier. Permasalahan dengan beberapa komponen dimodelkan dengan mengaitkan geometri masing-masing komponen dengan model bahan yang sesuai dan menentukan interaksi komponen. Dalam analisis nonlinier, Abaqus otomatis memilih penambahan beban yang tepat dan toleransi konvergensi dan terus menyesuaikan mereka selama analisis untuk memastikan bahwa solusi yang akurat dan efisiensi diperoleh. (Simulia Corp, 2011)

Ada beberapa perangkat lunak umum di pasaran saat ini digunakan untuk simulasi dinamis kendaraan. ABAQUS adalah salah satu dari beberapa perangkat lunak besar kode FE di pasaran saat ini untuk memecahkan masalah dalam multiphysics, yang termasuk cairan, termal, mekanik, kopling listrik dan sebagainya. Dassault menjelaskan, terdapat tiga rangkaian produk inti dari ABAQUS yaitu:

1. ABAQUS / Standard adalah pemecah tujuan umum yang menggunakan skema integrasi implisit tradisional untuk menyelesaikan analisis elemen terbatas.
2. ABAQUS / Eksplisit menggunakan skema integrasi eksplisit untuk menyelesaikan analisis dinamis transien nonlinier yang sangat tinggi.
3. ABAQUS / CAE menyediakan lingkungan pemodelan terpadu (preprocessing) dan visualisasi (pasca-pemrosesan) untuk produk analisis.

2.7.1 Tahapan Menjalankan Program ABAQUS

Dalam ABAQUS “Getting Strateed with ABAQUS, Interactive Edition”, dijelaskan bahwa untuk menganalisis sampai selesai dengan program ABAQUS biasanya melalui tiga tahap yang berbeda yaitu proses awal, simulasi dan proses akhir. Kemudian dari ketiga tahap tersebut dihubungkan sehingga menjadi seperti Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Tahapan menjalankan program ABAQUS

a. Proses Awal (*Preprocessing*)

Pada bagian ini kita mulai menentukan model awal yang akan dilakukan analisis. Pemodelan part dilakukan dalam software ABAQUS dengan memasukkan geometri yang telah kita ketahui sebelumnya. Dalam menggambarkan model, kita bisa menentukan koordinat sistem yang akan

dibuat. Sebelum dilakauan simulasi kita harus memeriksa semua keyword dan parameter yang digunakan sehingga tidak terjadi kesalahan. Selain itu urutan dalam memasukkan data harus kita perhatikan dengan benar.

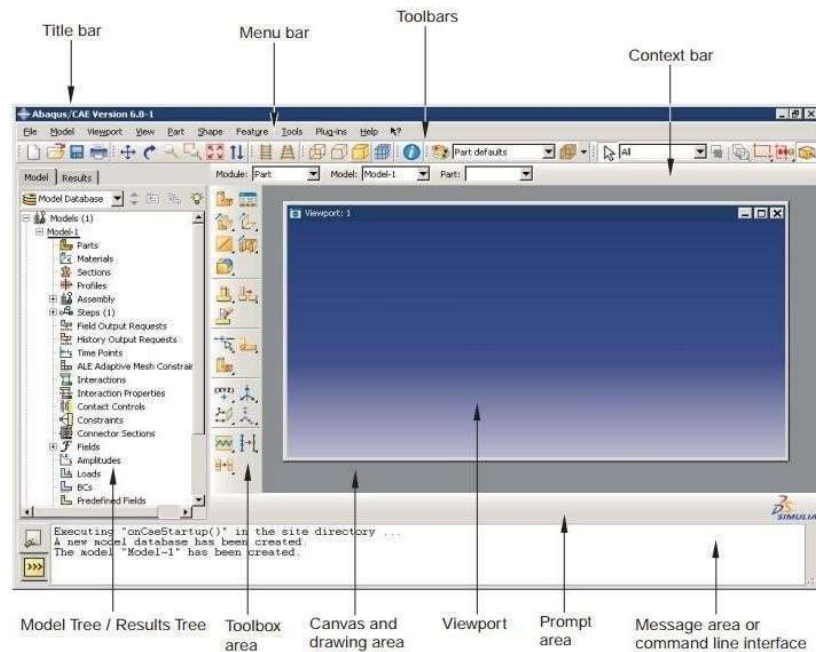
b. Simulasi (Simulation)

Simulasi yang biasanya dijalankan sebagai pengantar proses adalah tahap dimana program ABAQUS memulai proses untuk melakukan pemecahan masalah numerik yang diidentifikasi dalam model. Sebagai contoh, keluaran dari stress analisis termasuk perpindahan dan tekanan yang disimpan dalam berkas biner untuk proses akhir.

c. Proses Akhir (Post Processing)

Pada proses akhir kita dapat mengambil kesimpulan dari hasil simulasi yang sudah selesai pada perpindahan, gaya atau variable lainnya yang sudah di dilakukan perhitungan. Hasil akhir biasanya dibuat dalam suatu laporan atau sebuah catatan.

2.7.2 Komponen pada Windows Utama ABAQUS



Gambar 2.7 *Komponen pada windows utama program ABAQUS*

(Sumber : ABAQUS handout)

a. Title Bar

Title bar menunjukkan versi dalam ABAQUS kita melakukan sedang kita gunakan dan juga menunjukkan judul dari file yang kita buat atau kita gunakan.

b. Menu Bar

Menu bar berisi semua menu yang tersedia, menu ini memberikan akses ke semua fungsi dalam produk.

c. Toolbars Tools

Toolbars Tools ini memberikan akses cepat yang tersedia pada menu.

d. Context Bar

Dalam konteks bar memungkinkan kita untuk berpindah antar modul serta mengambil bagian yang sudah ada ketika membuat geometri model.

e. Model Tree / Result Tree

Model Tree menyediakan grafik sebagai Review dari model objek dari masing-masing bagian, material, langkah, pembebanan. Results Tree memberikan grafik dari output data base dan Spesifik data hasil plot x-y.

f. Toolbox Area

Toolbox area ini Memungkin akses cepat ke banyak fungsi modul yang tersedia.

g. Canvas and Drawing Area

Canvas and drawing area adalah tempat atau lokasi untuk area gambar.

h. Viewport

Viewport adalah jendela di area gambar di mana ABAQUS menampilkan model yang telah dibuat.

i. Prompt Area

Prompt area berfungsi untuk menampilkan petunjuk atau panduan yang telah kita lakukan pada software ABAQUS.

j. Message Area or Command Line Interface

Pada bagian ini ABAQUS akan memunculkan informasi dan peringatan yang terjadi jika ada informasi atau kesalahan.