

# Multi-Segment Crash Box Energy Absorption Ability Using Computer Simulation

Halman<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Alat Berat, Politeknik Negeri Nunukan, Kalimantan Utara 77482

---

---

## Article Info

### Article history:

Received :  
February 19<sup>th</sup>, 2021

Revised :  
Apr 30<sup>th</sup>, 2021

Accepted  
May 25<sup>th</sup>, 2021

---

## ABSTRACT

Crash box merupakan salah satu komponen keselamatan pasif pada kendaraan khususnya mobil yang didesain untuk mengurangi terjadinya cedera pada pengemudi dan penumpang akibat tabrakan. Pada penelitian ini ditunjukkan untuk mengetahui daya serap energi pada crash box berpenampang lingkaran multi segmen. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental semu, yaitu dengan simulasi melalui komputer menggunakan software berbasis Metode Elemen Hingga (Finite Element Method). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah lokasi sambungan segmen, antara lain : 1/4, 1/3, dan 1/2 dari panjang total crash box. Sedangkan variabel terikat yang dicari antara lain : penyerapan energi, force reaction, dan pola deformasi yang terjadi pada crash box. Crash box akan ditabrak oleh impactor dengan massa 103 kg dan kecepatan 7,67 m/s. Dari hasil simulasi, didapatkan nilai penyerapan energi dan force reaction maksimum terdapat pada crash box pada sambungan 1/2 sebesar 1689,7 J dan 67718 N, diikuti pada sambungan 1/3 dengan nilai 1221,2 J dan 56127 N, dan yang terakhir pada sambungan 1/4 sebesar 1119,8 J dan 55443 N. Dilihat dari pola deformasinya, sambungan pada 1/4 dan 1/3 mengalami buckling sehingga menyebabkan penyerapan energinya rendah dibandingkan crash box pada sambungan 1/2. Disimpulkan bahwa desain crash box berpenampang lingkaran multi segmen yang paling optimal adalah model pada sambungan 1/2 karena mempunyai nilai penyerapan energi tertinggi dari 2 model lainnya dan deformasi yang cenderung lebih stabil.

**Kata kunci:** crash box multi segmen, penyerapan energi, force reaction, simulasi komputer

## ABSTRAK

Crash box is one of the passive safety components in vehicles, especially cars that are designed to reduce the occurrence of injuries to drivers and passengers due to collisions. This study aims to determine the energy absorption of the crash box with a multi-segment circular cross section. The research method used is quasi-experimental, namely by computer simulation using Finite Element Method-based software. The independent variable in this study is the location of the segment connection, including: 1/4, 1/3, and 1/2 of the total length of the crash box. While the dependent variables that are sought include: energy absorption, force reaction, and deformation patterns that occur in the crash box. The crash box will be hit by an impactor with a mass of 103 kg and a speed of 7.67 m/s. From the simulation results, the maximum energy absorption and force reaction values are found in the crash box at connection 1/2 of 1689.7 J and 67718 N, followed by connection 1/3 with values of 1221.2 J and 56127 N, and the last is at 1/4 connection is 1119.8 J and 55443 N. Judging from the deformation pattern, the connection at 1/4 and 1/3 is buckling so that the energy absorption is lower than the crash box at the 1/2 connection. It is concluded that the most optimal design of the crash box with a multi-segment circular cross section is the model at the 1/2 connection because it has the highest energy absorption value of the other 2 models and the deformation tends to be more stable.

**Keywords:** multi-segment crash box, energy absorption, force reaction, computer simulation

Copyright © 2020 Jurnal Teknologi MEDIA PERSPEKTIF  
All rights reserved

---

---

## Corresponding Author:

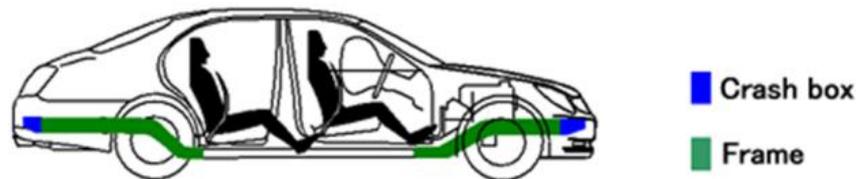
Halman,  
Program Study of Heavy Equipment Engineering  
Politeknik Negeri Nunukan, Kalimantan Utara  
Jl. Ujang Dewa, Ujang Dewa, Nunukan Sel., Kabupaten Nunukan, Kalimantan Utara 77482  
Email: [halmandini66@gmail.com](mailto:halmandini66@gmail.com)

---

---

## 1. PENDAHULUAN

Crash box merupakan salah satu teknologi sistem keselamatan pasif yang akhir-akhir ini banyak diteliti, karena fungsinya adalah untuk menyerap energi kinetik pada saat mobil tersebut mengalami benturan ketika terjadi kecelakaan, baik benturan dari depan maupun dari belakang. Perangkat komponen crash box didesain untuk mengurangi terjadinya gaya yang terjadi ke seluruh struktur kendaraan selama mengalami tabrakan. Karena itu, perangkat crash box di pasang diantara penyangga dan rangka kendaraan, karena fungsinya sebagai komponen yang ditujukan untuk menyerap energi.



Gambar 1. Penempatan Crash Box pada Mobil

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan pada crash box dengan kecepatan tumbukan yang telah ditentukan terjadi adanya perubahan deformasi plastis. Hal ini menunjukkan terjadinya penyerapan energi pada crash box tersebut. Akan tetapi di peroleh fenomena bahwa, makin cepat perubahan deformasi plastis pada crash box, maka sisa kecepatan akibat tumbukan masih tersisa tinggi yang dapat membahayakan rangka utama kendaraan, sehingga keamanan bagi pengemudi maupun penumpang lainnya dianggap masih rendah. Maka dari itu, penelitian lebih lanjut dapat dikembangkan dengan menambahkan segmen pada crash box, dengan tujuan untuk mengurangi fenomena buckling yang terjadi dan dengan harapan batas beban kritis pada crash box semakin besar sehingga menerima beban tumbukan yang lebih tinggi dengan serapan energi yang semakin meningkat.

Kemampuan energi terbesar diantara jenis crash box yang telah diteliti adalah crash box jenis lingkaran (cycle). Maka dari itu, pada penelitian ini akan dilakukan pengujian secara eksperimental semu melalui simulasi komputer menggunakan software berbasis Metode Elemen Hingga (Finite Element Method). Untuk meminimalisir terjadinya buckling dan meningkatkan momen inersia, sehingga penyerapan energi lebih maksimal, karena itu crash box akan dibuat dalam bentuk multi segmen, ditujukan untuk menyerap energi, baik dalam bentuk gesekan maupun dalam bentuk deformasi. Dan pada kedua ujung pipa yang bersambungan (antara segmen 1 dan segmen 2) diberikan chamfer dengan sudut  $\pm 45^\circ$ . Jarak sambungan pipa antara segmen 1 dan segmen 2 divariasikan dalam 3 bentuk model sambungan, yaitu sambungan 1/4, sambungan 1/3 dan sambungan 1/2 dari total panjang kedua segmen yaitu 120 mm dengan tebal dinding pipa crash box  $\pm 1,2$  mm.

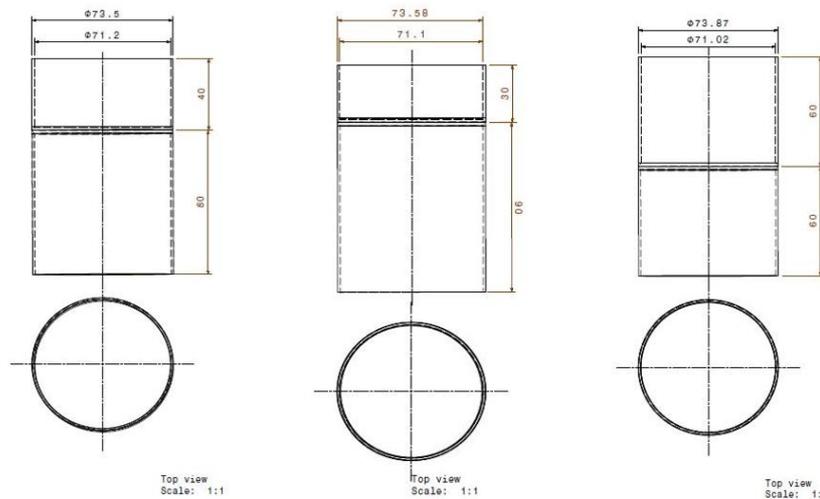
## 2. METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental semu, yaitu dengan simulasi melalui komputer menggunakan software berbasis Metode Elemen Hingga (Finite Element Method) yang bertujuan untuk memprediksi hasil percobaan yang dapat dijadikan referensi untuk melaksanakan eksperimental nyata.

Crash Box yang digunakan dalam penelitian ini adalah crash box multi segmen berpenampang lingkaran dengan variabel penelitian sebagai berikut :

- Variabel bebas

Pada penelitian ini, variabel bebas yang digunakan adalah lokasi sambungan segmen crash box. Digunakan 3 lokasi sambungan : 1/4, 1/3, dan 1/2 dari panjang total crash box. Dengan masing-masing dimensi pada gambar 2.



Gambar 2(a) Sambungan 1/4      Gambar 2(b) Sambungan 1/3      Gambar 2(c) Sambungan 1/2

Variabel terikat : penyerapan energi, force reaction, pola deformasi

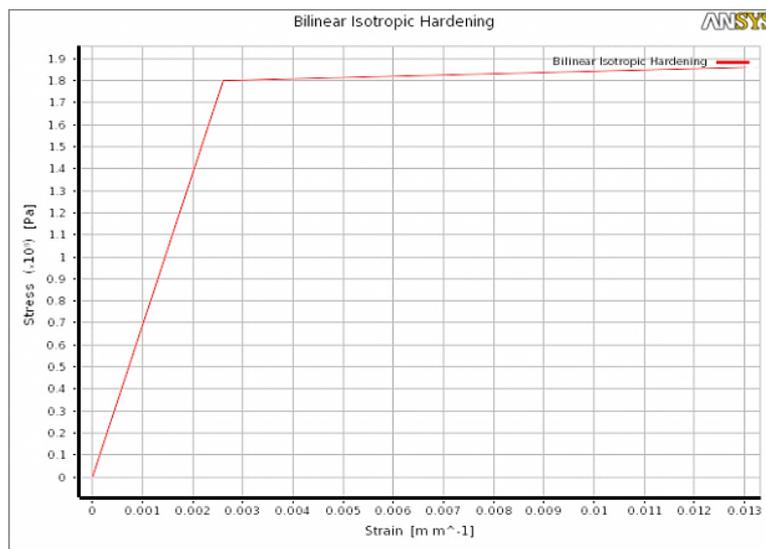
Variabel terkontrol :

- a. Pemodelan material menggunakan Bilinear Isentropic Hardening
- b. Kecepatan Impactor sebesar 7,67 m/s (berdasarkan penelitian Velmurugan, 2009)
- c. Panjang crash box sebesar 120 mm.

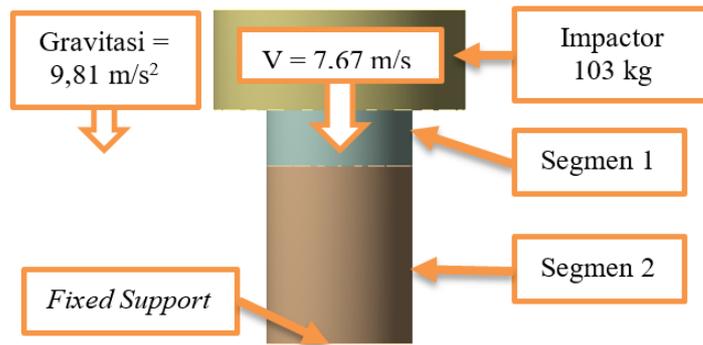
Material crash box menggunakan Al 6063-T5 dengan pemodelan Bilinear Isentropic Hardening. Impactor diasumsikan sebagai rigid body yang menumbuk crash box dengan kecepatan 7,67 m/s selama 0,013 detik. Percepatan gravitasi diatur sebesar 9,81 m/s<sup>2</sup> searah dengan arah kecepatan impactor. Pada bagian bawah crash box diatur sebagai fixed support.

**Tabel 1. Material Properties** dari Al 6063-T5

<i>Properties</i>	<i>Nilai</i>
<i>Density (kg/m<sup>3</sup>)</i>	2700
<i>Young's Modulus (MPa)</i>	69000
<i>Poisson Ratio</i>	0,33
<i>Yield Strength (MPa)</i>	180
<i>Tangent Modulus (MPa)</i>	580

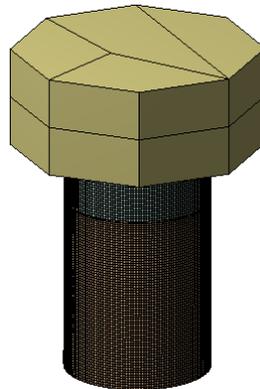


**Gambar 3. Pemodelan Material Bilinear Isentropic Hardening Al 6063-T5**



Gambar 4. Boundary Condition dari Crash Box

Mesh merupakan pembagian objek menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Semakin kecil meshing yang digunakan maka hasil perhitungan akan semakin teliti namun membutuhkan daya komputasi yang besar. Ukuran elemen meshing dalam penelitian ini sebesar 1,3 mm untuk crash box dan 300 mm untuk impactor.

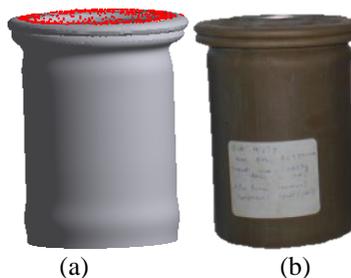


Gambar 5. Hasil Meshing Crash Box

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Verifikasi Penelitian

Verifikasi pada penelitian bertujuan untuk mengetahui bagaimana hasil dari proses simulasi *software* FEA dengan hasil eksperimental yang ditampilkan dengan nilai *error*. Pada gambar 6 menampilkan perbandingan hasil antara simulasi (Fauza, 2015) dengan penelitian eksperimental (Velmurugan, 2009) melalui *Instrumented Drop Mass Setup* pada *Crash Box*. Dengan ukuran dan hasil perbandingan yang ditampilkan pada tabel 2. Pada simulasi maupun eksperimental, beban yang diberikan sebesar 103 kg dengan kecepatan 7,67 m/s.



Gambar 6. Verifikasi melalui (a) *Software FEA* (b) Eksperimental

**Tabel 2.** Data Verifikasi Perbandingan Hasil Simulasi dengan Eksperimental

Variabel	Software FEA	Eksperimental
Diameter	75 mm	75 mm
Panjang	150 mm	150 mm
Tebal	1,6 mm	1,6 mm
Deformasi	37,2002 mm	37,2 mm
Penyerapan Energi	2527,7 J	2395,3 J

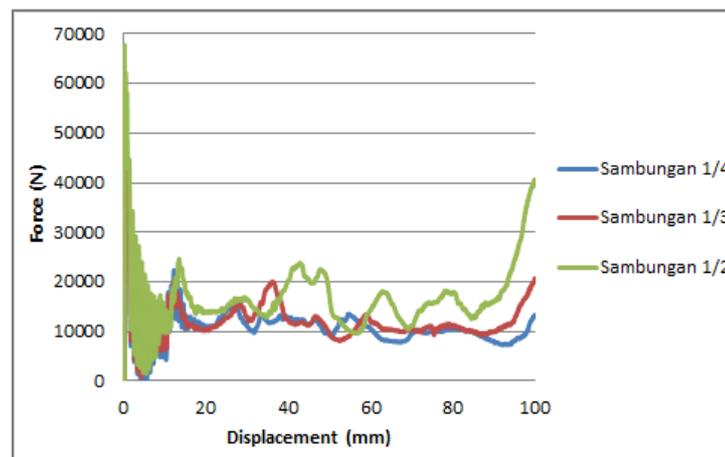
$$\delta_{error} = \left| \frac{37,2002 - 37,2}{37,2002} \right| \cdot 100 \% = 5,376 \cdot 10^{-4} \%$$

$$E_{error} = \left| \frac{2527,7 - 2395,3}{2527,7} \right| \cdot 100 \% = 5,237 \%$$

Dari verifikasi penelitian tersebut, didapatkan nilai *error* yang kecil dari hasil eksperimental, sehingga *software* FEA ini dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut.

### 3.2 Force Reaction

*Force reaction* adalah gaya yang diberikan oleh *crash box* sebagai reaksi untuk menahan tumbukan *impactor*.

**Gambar 7.** Hubungan Gaya dan *Displacement* Semua Model

Gambar 7 menunjukkan hubungan gaya dengan displacement pada setiap model *crash box*. Didapatkan bahwa model sambungan 1/2 mempunyai nilai *force reaction* maksimum tertinggi sebesar 67718 N, diikuti dengan model sambungan 1/3 (56127 N), dan model 1/4 sebesar 55443 N. Hal ini sesuai dengan rumus :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$$

Dimana :

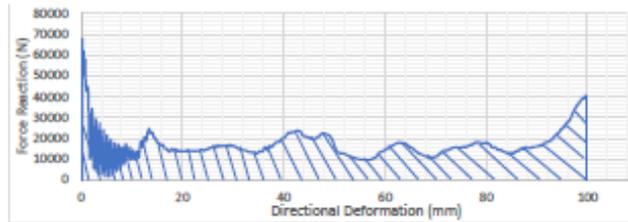
- $P_{cr}$  = Beban Kritis (N)
- $E$  = Modulus Elastisitas (MPa)
- $I$  = Momen Inersia Penampang (m<sup>4</sup>)
- $L$  = Panjang kolom (m)

Persamaan diatas merupakan persamaan untuk mencari beban kritis dari suatu struktur. Beban kritis adalah beban minimal yang dibutuhkan untuk suatu struktur mengalami deformasi. Dari persamaan tersebut, panjang kolom berbanding terbalik dengan beban kritis. Semakin panjang suatu struktur, maka beban kritisnya semakin kecil. Pada *crash box* sambungan 1/2, panjang segmen 1 dan segmen 2 sama, sehingga tidak ada kolom panjang,

menyebabkan beban kritisnya besar. Sedangkan pada sambungan 1/4 dan 1/3 mempunyai panjang segmen yang berbeda, sehingga salah satu segmen menjadi kolom panjang yang menyebabkan beban kritisnya kecil.

### 3.3 Penyerapan Energi

Pada saat *impactor* menghantam *crash box*, energi *impact* dari *impactor* akan dikonversikan menjadi energi regangan yang mengakibatkan perubahan bentuk pada *crash box*. Energi regangan didapatkan melalui luas daerah di bawah kurva pada gambar 8 sebagai usaha yang dilakukan *impactor* sehingga energi regangan diasumsikan hasil konversi energi kinetik dari *impactor*.



Gambar 8 Luas Daerah dibawah Kurva

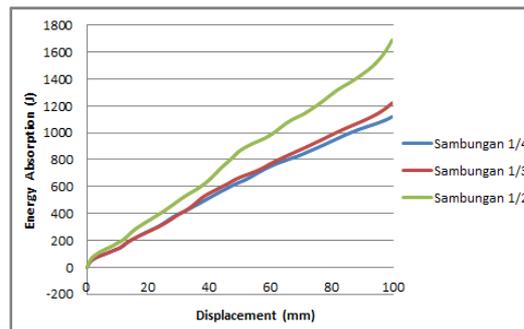
Selain dari luas di bawah kurva, energi regangan juga dapat didapatkan langsung dari simulasi yang ditampilkan pada gambar 9. Gambar tersebut menunjukkan besar energi yang diserap (*energy absorption*) pada setiap model *crash box* pada *displacement* yang sama (99,707 mm). Nilai penyerapan energi terbesar terdapat pada model *crash box* sambungan 1/2 sebesar 1689,7 J, diikuti dengan sambungan 1/3 sebesar 1221,2 J, dan yang terendah sambungan 1/4 sebesar 1119,8 J. Hal ini disebabkan karena pada model sambungan 1/2 mempunyai nilai *force reaction* (beban) tertinggi diantara model lainnya. Hal ini sesuai dengan persamaan :

$$U = W = \int_0^{\delta} P(\delta) d\delta$$

Dimana :

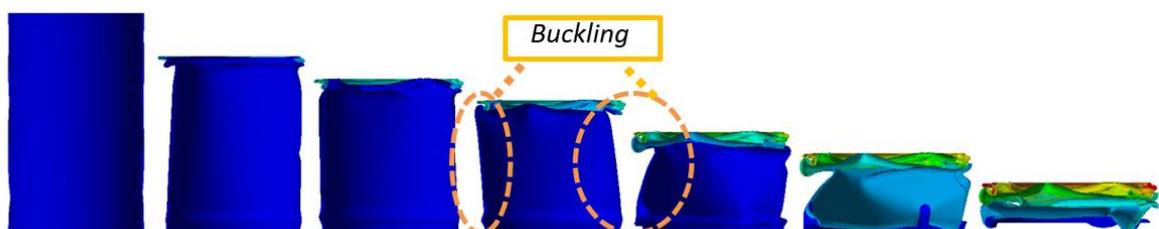
- $U$  = Energi Regangan (J)
- $W$  = Usaha (J)
- $P$  = Beban (N)
- $\delta$  = Perpindahan (m)

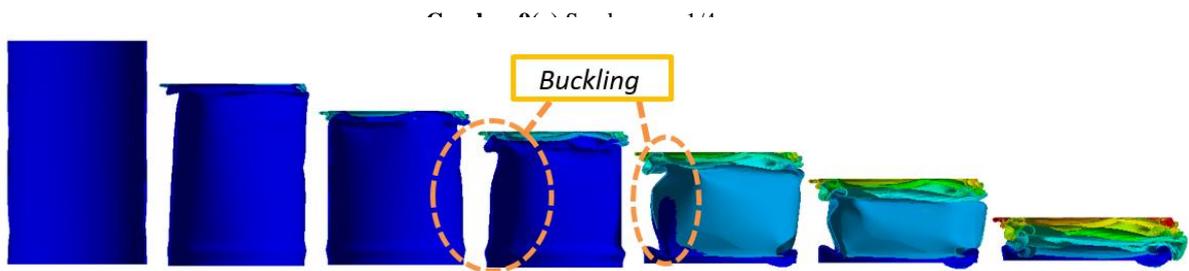
Persamaan diatas merupakan persamaan yang digunakan untuk mencari besarnya energi regangan atau usaha. Dari persamaan tersebut, diketahui bahwa nilai energi berbanding lurus dengan nilai beban sehingga semakin besar nilai beban, maka nilai energinya semakin besar.



Gambar 9. Grafik Hubungan *Energy Absorption* dan *Displacement* Semua Model

### 3.4 Pola Perubahan Deformasi *Crash box*



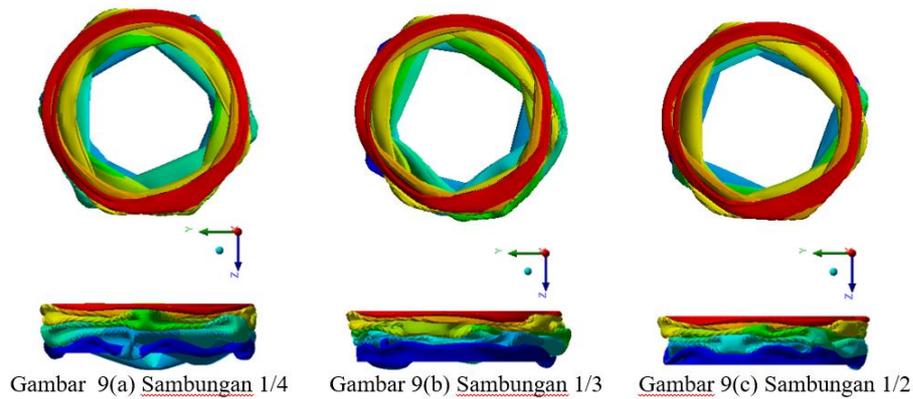


Gambar 9(b) Sambungan 1/3



Gambar 9(c) Sambungan 1/2

#### *Pola Deformasi Saat 0,013 Detik*



Gambar 9 merupakan perubahan deformasi selama *impactor* menghantam *crash box* dari setiap model. Terlihat bahwa pada model sambungan 1/4 dan sambungan 1/3 terjadi *buckling*, sedangkan untuk model sambungan 1/2 deformasinya cenderung stabil. Hal ini menyebabkan energi penyerapan pada model sambungan 1/2 lebih besar daripada model sambungan 1/4 dan sambungan 1/3.

#### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini, didapatkan kesimpulan bahwa desain yang paling optimal adalah *crash box* dengan sambungan 1/2 dari total panjangnya karena mempunyai nilai penyerapan energi terbesar dari kedua model lainnya dan mengalami deformasi yang stabil.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asroni., dkk, "Pengaruh Crash Box berbentuk Tabung 2 segmen terhadap Kemampuan Menyerap Energi Impak dengan Simulasi. Komputer," *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol.5, No.3, Tahun 2017.
- [2] Beer., F.P.dkk., "*Mechanics of Materials 6 th Edition*. New York : Mc Graw-Hill, 2002

- 
- [3] I Putu Ali Putra, “*Mengenal Sistem Keselamatan Pada Mobil*,” Indonesia, 2014
- [4] J. Tanaskovic., dkk, “Experimental Investigations Of The Shrinking – Splitting Tube Collision Energy Absorber,” *Journal Thin – Walled Structures. University of Belgrade, faculty of Mechanical Engineering, kralje, marije 16, belgrade, Serbia*, 2014
- [5] N. Nasir Hussain., dkk. (2016): *Comparative Study of Trigger Configuration for Enhancement of Crashworthiness of Automobile Crash Box Subjected to Axial Impact Loading*. Department of Mechanical Engineering BITS Pilani, Hyderabad Campus, Telangana state.
- [6] Velmurugan., dan Muralikanan, “Energy Absorption Characteristics of Annealed Steel Tubes Of various Cross Sections in Static And Dynamic Loading,” *Latin American Journal Of Solids And Structures*, volume. 6, pp. 385-412, 2009.