

# ANALISIS POLA DEFORMASI DAN PENYERAPAN ENERGI DENGAN VARIASI RASIO PELETAKAN DAN SUDUT *INITIAL FOLD* PADA *CRASH BOX* MENGGUNAKAN METODE *OBLIQUE CRASH TEST*

**Happy H K, Moch. Agus Choiron, Anindito Purnowidodo**  
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya  
Jalan M.T. Haryono no. 167, Malang 65145, Indonesia  
happyhanifahk@gmail.com

## Abstrak

*Crash box* adalah salah satu sistem keselamatan pasif yang banyak dikembangkan oleh para peneliti di seluruh dunia. Fungsi dari *crash box* sendiri adalah untuk melindungi penumpang kendaraan roda 4 jika terjadi tabrakan pada badan mobil. Pada paper ini akan dijelaskan analisis deformasi dan penyerapan energi yang akan dialami oleh *crash box* dengan adanya *initial fold* pada geometri *crash box* serta membuat kemiringan sudut dari *initial fold* tersebut dengan besar sudutnya adalah 90°, 60°, dan 45°. Material *crash box* adalah *mild steel*. Pengujian akan ditinjau dari *Oblique crash test*. Penelitian dilakukan menggunakan software simulasi yang berbasis *Finite Elemen Method* (FEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola deformasi yang dialami *crash box* kebanyakan bertipe *buckling* dan pola aksial. Dapat disimpulkan dari hasil simulasi bahwa *crash box* dengan *initial fold* 1:1 dengan sudut 90° adalah model yang memiliki nilai penyerapan energi tertinggi.

Keywords: *Crash box*, Penyerapan Energi, *oblique test*, *Initial fold*, pola deformasi, *thin walled structure*.

## Pendahuluan

Diperlukan sistem keselamatan demi melindungi penumpang, salah satunya adalah pemasangan *crash box*. *Crash box* adalah tabung dengan bahan dasar logam ber dinding tipis yang dipasang dengan tujuan mengurangi efek keparahan kecelakaan ke penumpang dengan menyerap energi *impact & kinetik* kendaraan yang mengalami deformasi permanen/plastis saat bertumbukan. Beberapa kelebihan dari *crash box* adalah perangkat ini relatif murah secara ekonomi dan memiliki efisiensi tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk memperhatikan bentuk deformasi, efek, dan penyerapan energi yang terjadi dengan simulasi *oblique crash test* pada dimensi *crash box* yang terdapat *initial fold* dengan harapan *crash box* membentuk perilaku deformasi dan menyerap energi yang optimal. Karena pada kejadian di lapangan sangat memungkinkan jika tabrakan terjadi dengan arah *oblique load*.

## Metode

Penelitian ini menggunakan software berbasis *Finite Element Method* (FEM) yaitu ANSYS versi 14.5 Variabel Bebas adalah besar sudut dan rasio peletakan *initial fold*. terdapat 3 variasi besar sudut yaitu 90°, 60°, dan 45°. Dan 3 variasi peletakan *initial fold* yaitu 1:2, 1:1 dan 2:1 perbandingan diukur dari dimensi tinggi *crash box*.

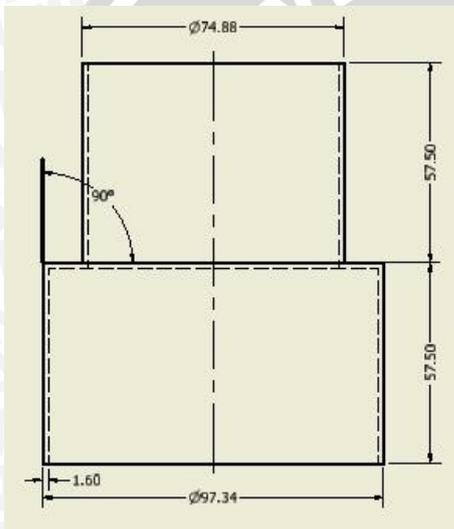
Tabel 1 variasi pemodelan

Model Ke-N	Sudut <i>Initial fold</i> (°)	Rasio Peletakan <i>initial fold</i> (x:y)
1	90	1 : 2
2	90	1 : 1
3	90	2 : 1
4	60	1 : 2
5	60	1 : 1
6	60	2 : 1
7	45	1 : 2
8	45	1 : 1
9	45	2 : 1

variabel terikat adalah pola deformasi dan penyerapan energi pada *crash box* akibat uji *oblique crash Test*. Sedangkan variabel terkontrolnya adalah kecepatan *impactor* 15,6 m/s. Ketebalan *crash box* 1,6 mm. sudut kemiringan *impactor* 30° dari sumbu Y, dengan material *crash box* adalah *mild steel* dan material dari *impactor structural steel*, hal ini berlaku pada seluruh pemodelan.

**Material dan Aspek Penelitian**

*Initial fold* adalah lipatan yang didesain pada geometri *crash box* demi terjaminnya terjadi proses deformasi ketika *crash box* menyerap energi.

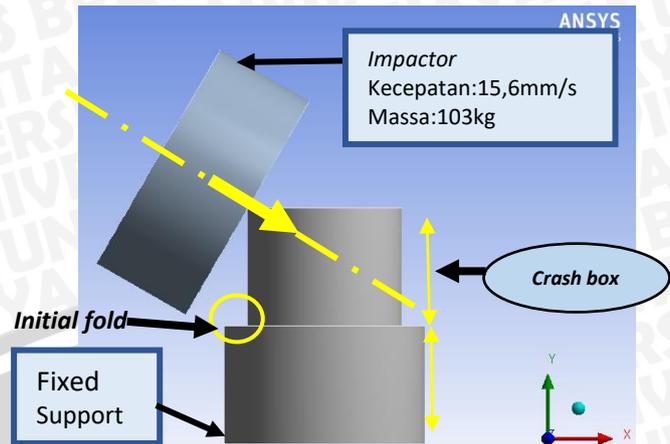


Gambar 1 Dimensi *crash box* variasi peletakan *initial fold* 1:1 dan sudut 90° (variasi ke-8)

Tabel 2 *Mechanical properties crash box*

Material	<i>crash box</i>
Modulus Young / E (Mpa)	2,05 x 10 <sup>5</sup>
Poisson's Ratio / ν	2,9 x 10 <sup>-1</sup>
Density / ρ(kg/m <sup>3</sup> )	8,077 x 10 <sup>3</sup>
Yield Strength / σ <sub>y</sub> (Mpa)	2,6694 x 10 <sup>2</sup>
Tangent modulus / σ <sub>T</sub> (Mpa)	2,6667 x 10 <sup>3</sup>

*Meshing* pada badan *crash box* ditentukan sebesar 1,3 mm.



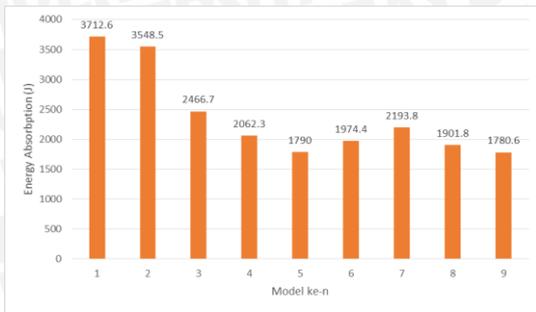
Gambar 2 komponen penelitian

*Impactor* ditentukan sebagai *rigid* pada *section* geometri yang artinya objek *impactor* tidak akan terdeformasi. Sedangkan *crash box* ditentukan sebagai fleksible yang artinya akan terjadi deformasi pada *body crash box*. Koneksi antar komponen pada pemodelan antara *impactor* dan *crash box* ditentukan sebagai *frictionless* yang dapat dikatakan bahwa kedua object tersebut adalah benda yang berbeda.

**Pembahasan**

Tabel 3 Data hasil Simulasi *initial fold crash box* pada seluruh variasi

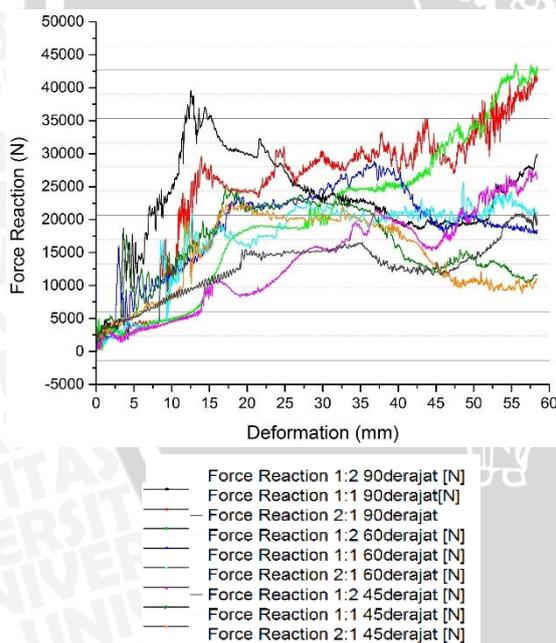
Sudut	<i>Crash box</i>	Model ke-n	Displacement (mm)	Ea (J)
90°	1:2	1	58.441	3712.6
	1:1	2	58.441	3548.5
	2:1	3	58.441	2466.7
60°	1:2	4	58.441	2062.3
	1:1	5	58.441	1790
	2:1	6	58.441	1974.4
45°	1:2	7	58.441	2193.8
	1:1	8	58.441	1901.8
	2:1	9	58.441	1780.6



Gambar 3 Grafik nilai energi penyerapan terhadap variasi model

nilai energi yang terbesar terdapat pada *crash box* dengan variasi sudut 90°. nilai energi yang dijelaskan dipengaruhi semakin tajam sudut *initial fold* maka nilai energi akan semakin besar. gaya pertahanan yang dihasilkan oleh *fixed support* membuat *crash box* menyerap banyak energi pada saat tabrakan

### Penyerapan Energi



Gambar 4 Hubungan deformasi dengan force reaction

kemampuan menyerap energi dari *body crash box* dapat dilihat pada gambar 4. profil *crash box* dengan sudut *initial fold* 90° dengan *initial fold* 1:2 menunjukkan *force reaction* yang tertinggi. Sedangkan nilai deformasi terendah dicapai oleh model dengan

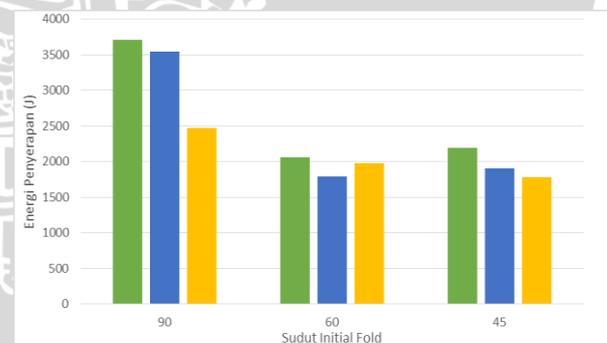
sudut 60° dengan perbandingan *initial fold* 1:1. Grafik diatas adalah hasil data keseluruhan variasi yang menunjukkan nilai *force reaction* dengan nilai Deformasi yang dialami *crash box*. Dari nilai *force reaction* dan nilai deformasi yang ditunjukkan grafik didapat hubungan gaya reaksi dan perpindahan gaya. Pada saat *crash test* dilakukan akan terjadi transfer gaya dari *impactor* ke *crash box* dan gaya tersebut akan diserap oleh *body crash box* menjadi bentuk deformasi yang dialami *crash box*. Untuk menginvestigasi efek dari profil *crash box* pada penyerapan energi berdasarkan pembebanan secara *oblique*. dengan rumus :

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

Dengan :

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

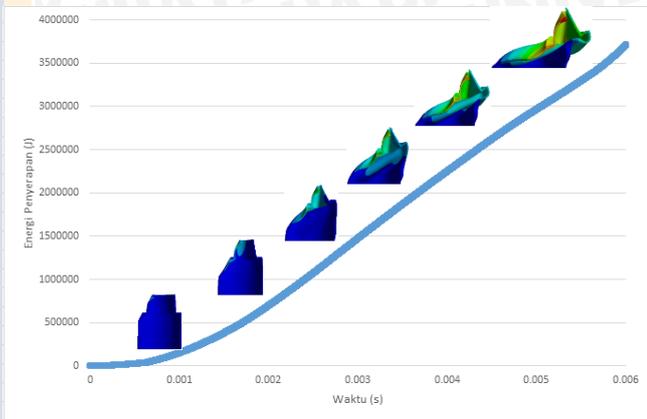
### Hubungan Sudut *initial fold* Terhadap Penyerapan Energi



Gambar 5 hubungan antara penyerapan energi dengan sudut *initial fold*

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa masing-masing variasi memiliki karakteristik yang berbeda. Semakin tajam sudut *initial fold* maka nilai penyerapan energinya semakin besar. Namun nilai penyerapan energi ini juga dipengaruhi oleh perbandingan rasio peletakan *initial fold* itu sendiri.

**Hubungan waktu pembebanan terhadap pola deformasi dan energi penyerapan.**



Gambar 6 Grafik waktu pembebanan terhadap pola deformasi dan energi penyerapan pada model ke-1.

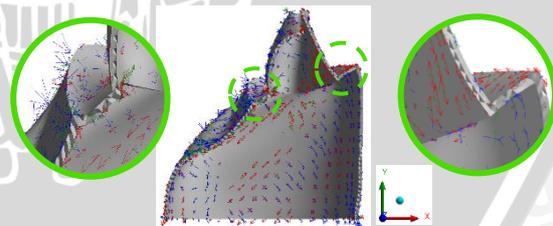
Gambar 10 menunjukkan proses energi penyerapan terhadap waktu pada saat terjadi tumbukan yang dialami model ke-1. Semakin meningkat waktu pembebanannya maka energi yang diserap juga meningkat. Puncak tertinggi ditunjukkan oleh pola deformasi keseluruhan yang dialami *crash box* selama jangka waktu 0,006 detik. Selain itu, pada waktu 0,01 detik kurva mulai membentuk garis lengkung dengan adanya lekukan yang lebih tajam. hal ini menandakan gaya yang dibutuhkan untuk melakukan *folding* pada saat terjadi tumbukan dengan tumpuan sangat besar

Mode deformasi lebih dominan berupa *bending collapse mode*. pada pengujian *oblique* dapat dilihat pada deformasi *body crash box* didominasi oleh pola deformasi *buckling*. Dilihat dengan adanya lekukan masif pada *body crash box*, dan disertai dengan beberapa pola deformasi campuran. Ini disebabkan arah pembebanan yang miring sebesar 60°.

Tabel 4 Tipe deformasi yang dialami *crash box*

Tipe Deformasi	Gambar
Deflection	
- Bending - Buckling	
Folding	

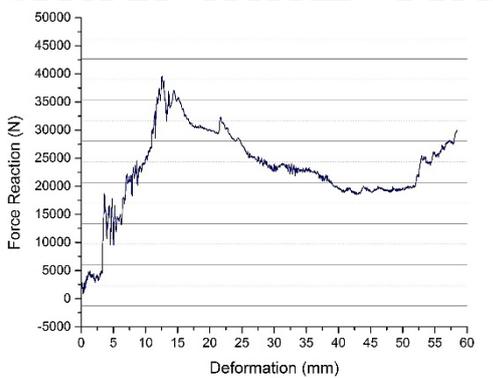
Terlihat pada gambar pola deformasi yang dialami oleh keseluruhan model *crash box* banyak terjadi *folding* pada salah satu sisi *crash box* akibat dari pembebanan *oblique*. Sedangkan bagian yang langsung ditumbuk oleh *impactor* pada waktu awal akan mengalami lendutan sesuai arah penumbukan



Gambar 7 *Vector principle stress* deformasi ke-58.441

Deformasi pada *body crash box* juga dapat dianalisa dengan meneliti *vector principle stress*. Dilihat pada kedua sisi *initial fold crash box* vektor pada sisi kiri *crash box* memiliki lebih banyak tanda panah yang mendeformasi ke semua sumbu. Berbeda dengan *initial fold* pada sisi kanan yang menunjukkan vektor yang

lebih stabil dan baru terlihat deformasi yang nyata pada saat deformasi mencapai 58.441 mm. hal ini membuktikan bahwa deformasi *crash box* terjadi secara campuran.

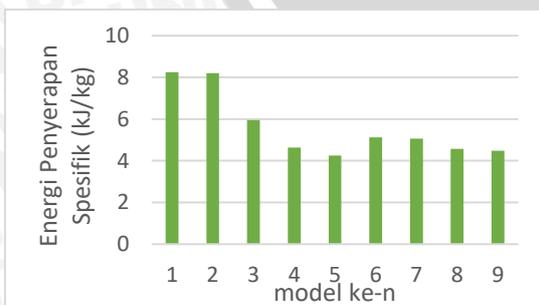


Gambar 8 Kurva *force - deformation* dengan pola deformasi pada model 1

Pada saat *impactor* menumbuk *crash box* secara *oblique* gaya yang diserap ditunjukkan *pattern* pada grafik. Panjang deformasi awal nilainya masih rendah karena bagian awal yang terdeformasi adalah segmen pertama di bagian atas *crash box*. lalu deformasi berlanjut semakin meningkat dan nilai energi yang diserap *crash box* semakin banyak.

### Specific Energy absorption (SEA)

Penyerapan energi spesifik adalah nilai yang menyatakan energi yang diserap *crash box* per satuan massanya. *Specific energy absorption* berfungsi untuk mengetahui tingkatan efektifitas penyerapan energi dengan penambahan *initial fold* pada dimensi *crash box*.



Gambar 9 Grafik hubungan variasi model terhadap nilai penyerapan energi spesifik

Tabel 5 Penyerapan energi spesifik

Crash Box		Massa (kg)	Energi Spesifik (kJ/kg)
Model	Sudut		
1	90°	0,44985	8,252973
2		0,43273	8,2002263
3		0,41489	5,945431
4	60°	0,44572	4,626896
5		0,42149	4,246839
6		0,38502	5,128045
7	45°	0,43283	5,0685503
8		0,41522	4,580223
9		0,39787	4,475331

*Crash box* sudut *initial fold* 90° dengan rasio peletakan 1:2 menunjukkan nilai 8,252973 kJ/kg merupakan energi spesifik yang tertinggi. Terlihat pula dengan perbandingan sudut *initial fold* yang lainnya model dengan sudut *initial fold* 90° yang memiliki nilai spesifik energi tertinggi.

### Kesimpulan

Berdasarkan analisis pembahasan dari penelitian yang dilakukan maka diperoleh kesimpulan

1. Variasi besar sudut *initial fold* dan peletakannya mengakibatkan pola deformasi yang beragam dan menunjukkan nilai penyerapan energi yang beragam pada *crash box*.
2. Penyerapan Energi tertinggi dialami oleh *crash box* model ke-1 yaitu *crash box* dengan rasio peletakan *initial fold* 1:2 sudut 90° dengan nilai 3712.6 J.
3. pola deformasi yang dialami *crash box* dengan *oblique crash test* kebanyakan bertipe *buckling* dan pola *axial*.

**Daftar Pustaka**

- [1] Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia. 2015. *Domestic Auto Market & Exim By Category 2015*. Indonesia : GAIKINDO
- [2] Korps Lalu Lintas Kepolisian Negara Republik Indonesia. 2015. *Statistik Laka*. Indonesia : KORLANTAS POLRI
- [3] Sohn, S. M., Kim, B. J., Park, K. S., dan Moon, Y. H. 2007. *Evaluation of the crash energi absorption of hidroformed bumper stays*. *Journal of Materials Processing Technology* 187-188 (2007) 283-286.
- [4] Fauza, Ilman. 2015. Analisis Pola Deformasi dan Energi Penyerapan Pada *initial fold Crash box* Menggunakan Metode *Frontal Crash test*. Malang : Jurnal Rekayasa Mesin.
- [5] Asroni. 2014. Pengaruh *Crash box* Berbentuk Tabung 2 Segmen Terhadap Kemampuan Menyerap Energi Impak dengan Simulasi Komputer. Malang : Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 5, No. 3, 201 – 207.
- [6] Bardi, F. C. dan Kyriakides, S. (2006). *Plastic buckling of circular tubes under axial compression-part I: Experiments*. *International Journal of Mechanical Sciences*. 48(8), 830-841.
- [8] Kumar, Siva A., Himabindu, G., Raman, M. Sankar, dan Reddy, K. V. K. 2014. *Experimental Investigations with Crush Box Simulation for Different Segment Car Using LS-DYNA*. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 670 – 676.
- [9] Talib, Najmi Yahya. 2013. Analisis Penyerapan Energi dan Deformasi *Crash box* dengan Variasi Diameter dan Panjang pada Uji *Dropped Weight Impact*. Malang : Jurnal Rekayasa Mesin.
- [10] Tarlochan, F., F, Samer. 2013. *Design of Thin Wall Structures for Energi Absorption Applications : Design for Crash Injuries Mitigation Using Magnesium Alloy*. *International Journal of Research in Engineering and Technology* ,Vol. : 02 Issue : 07.
- [11] Velmurugan, R., Muralikannan, R. 2009. *Energi Absorption Characteristic of Annealed Steel Tubes of Various Cross Sections in Static and Dynamic Loading*. *Latin American Joournal of Solid Structures* 6 (2009) 385 – 412.
- [12] Yanjie, L., Lin, D., Yongsheng, Y. 2008. *Computer Simulations and Experimental Study of Crash box of Automobile in Low Speed Collision*. *International Conference on Experimental Mechanics*, Vol. 7375, 737562.