

Pengaruh Variasi Desain *Crash Box* Pola Origami terhadap Kemampuan Penyerapan Energi

Imam Kusyairi¹, Moch. Agus Choiron², Anindito Purnowidodo²

¹ Alumni Pasca Sarjana Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang
Jl. MT Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: kusyairi1408@gmail.com

ABSTRACT

This study developed crash box design on origami patterns. These typically have got the dents which serve as pre-folding. Therefore, the collapses modes are predictable and stable. The geometry variation of crash box comprises four factors, i.e. basin length (c), distance between the basins (b), thickness (t) and number of segments (M). Meanwhile, the design of optimal variations utilized L9 Taguchi and deformas pattern analysis. The method of this study used software finite and the element of crash box modelling consists of three components, e.g. impactor, crashbox, and fixed support. The material used is AA7003-T7 modelling as the bilinear isotropic hardening. Model loading was conveyed 64 km/h on the impactor. The research shows that the response of quality characteristics of energy absorption is the larger the better. The energy absorption respectively covered 1) thickness (t), 2) segment (M), 3) distance between basins (b), and 4) basin length (c). Whereas, the highest energy absorption of the crash box occupied by the origami pattern no. 3 with $c = 9$ mm, $b = 60$ mm, $t = 2$ mm and $M = 6$, reaching 7,247,826 J. In fact, the deformation behavior of the model no. 3 tends to have a symmetrical deformation without buckling.

Keywords: *Crash box, origami, energy absorbed, deformation*

PENDAHULUAN

Pendekatan desain umum untuk meningkatkan kualitas *crashworthiness* adalah dengan memasang perangkat penyerap energi, yang bisa menyerap energi kinetik selama terjadi tabrakan. Tabung logam ber dinding tipis yang berbentuk tabung lingkaran atau persegi, telah banyak digunakan untuk tujuan tersebut. Pada *automobil* perangkat tersebut dikenal sebagai *crash box*. *Crash box* terpasang antara bumper dan struktur utama kendaraan yang berfungsi untuk menyerap energi saat terjadi tabrakan.

Penelitian tentang *crash box* telah banyak dilakukan. Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Singace dan I-sobky (1997) dan Hossaini dan Daneshi (2003) pada *crash box* pola tabung melingkar [1][2], dan oleh Lee-et all (1999) pada *crash box* pola tabung persegi [3]. Kim, Lee dan Yoo (2008) melakukan penelitian mengenai desain bentuk penampang *crash box* berbentuk

persegi panjang, segi enam, dan segi delapan. Diperoleh hasil *crash box* dengan bentuk penampang persegi panjang mempunyai kemampuan menyerap energi sebesar 55,4% [4]. Adachi, Tomiyama, A., Araki, W., dan Yamaji (2008) menggunakan ruas-ruas *circumferential* untuk mengurangi panjang gelombang longitudinal tabung melingkar dan diperoleh peningkatan rata-rata penyerapan energi sebanyak 30% [5].

Trend saat ini penelitian tentang *crash box* mengarah kepada pengembangan *crash box* dengan pola origami, sebagaimana yang telah dilakukan oleh Ma J dan You Z (2012) Hasil penelitian menunjukkan bahwa *crash box* pola origami menunjukkan ciri-ciri remukan (*collapse*) yang dapat diprediksi dan stabil, dengan penyerapan energi yang meningkat mencapai 92,1% dalam kasus yang optimal (*optimum case*). Pada penelitian ini menggunakan kecepatan 15 km/jam [6].

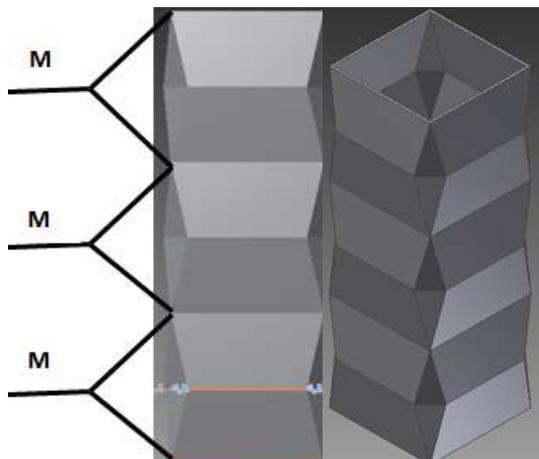
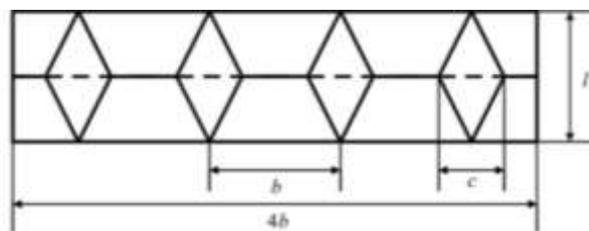
Dari latar belakang inilah diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi bentuk *crash box* pola origami dengan metode taguchi pada pengujian 64 km/jam untuk memperoleh kemampuan penyerapan energi yang lebih baik pada saat terjadi kecelakaan.

METODE PENELITIAN

Crash box yang digunakan pada penelitian ini adalah *crash box* pola origami dengan penampang persegi, bentuk dapat dilihat pada gambar 1. Pada penelitian ini menggunakan metode *taguchi orthogonal array* L9 (3^4) yang mempunyai kombinasi 4 faktor dengan masing – masing faktor memiliki 3 level sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1

Tabel 1 Orthogonal array L9 (3^4)

No	C	b	t	M/l	
1	9	40	0,8	3	40
2	9	50	1	5	24
3	9	60	2	6	20
4	10	40	1	6	20
5	10	50	2	3	40
6	10	60	0,8	5	24
7	11	40	2	5	24
8	11	50	0,8	6	20
9	11	60	1	3	40



Gambar 2 Modul dan Segmen *crash box* pola origami

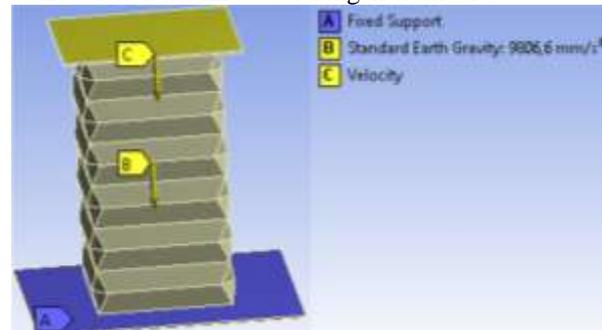
Dengan :

- c : Panjang cekungan (c)
- b : lebar antar cekungan (b)
- t : tebal (t)
- M : jumlah cekungan/segmen (satuan)
- l : panjang sisi (mm)

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium AA7003-T7, dimana merupakan jenis material yang baru digunakan pada penelitian ini, sifat mekanis pada material adalah:

Density (kg/m ³)	: 2771
Poisson's Ratio	: 0.33
Young Modulus (GPa)	: 71
Yield Strength (MPa)	: 247
UTS (MPa)	: 291
Tangent Modulus (GPa)	: 0.5

Material ini sendiri dimodelkan sebagai *bilinier isotropic hardening* Permodelan dimana material mengalami deformasi elastis dilanjutkan dengan deformasi plastis. Penambahan pembebanan akan menimbulkan peningkatan deformasi pada material. Analisa pemodelan *crash box* ini menggunakan software berbasis elemen hingga. Pada bagian *impactor* dan *fixed* dianggap sebagai *rigid body*, sedangkan *crash box* diasumsikan sebagai deformable. Pemodelan dibuat dengan 3 dimensi, dimana perpindahan *impactor* searah sumbu Y kondisi ini sesuai dengan Gambar 3.

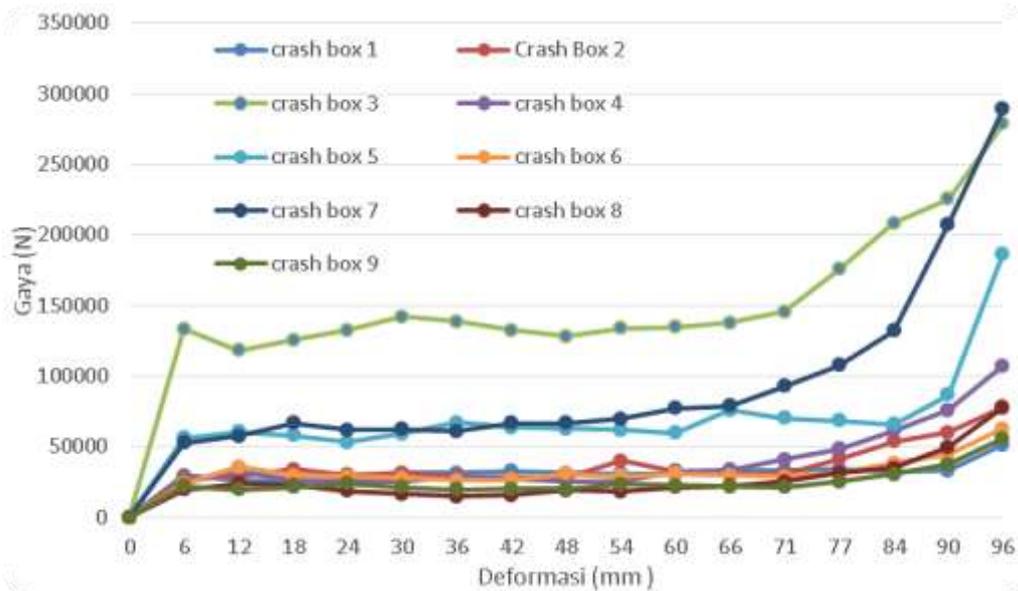


Gambar 2. Model pengujian *crash box*

Model pengujian pada penelitian ini adalah *quasi-static testing* yaitu dengan pergerakan impactor yang bergerak searah sumbu -Y dengan kecepatan 64 km/jam[7], pergerakan akan menghasilkan perubahan deformasi plastis, perubahan inilah yang nantinya akan didata sebagai penyerapan energi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Energi Yang Diserap



Gambar 3 Gaya Reaksi Pada Crash Box

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan diperoleh data diantaranya adalah gaya reaksi dan nilai penyerapan energi, gaya reaksi merupakan kondisi ketika *crash box* memberikan gaya ketika menerima beban impact untuk mencegah terjadinya deformasi. Seiring dengan bertambahnya beban impact yang melebihi batas kritis, maka akan terjadi perubahan deformasi.

Gambaran ini dapat dijelaskan melalui data gaya reaksi dengan perpindahan pada impactor, saat terjadi tumbukan pada gambar 3.

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

Dengan :

- U= Energi regangan (J)
- W= Usaha (J)
- P= Beban (N)
- δ = Perpindahan (m)

Rumus diatas merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya energi regangan atau energi yang diserap oleh *crash box* saat terjadi deformasi, besarnya energi regangan sendiri adalah luasan dibawah grafik gaya dan deformasi pada gambar 4

Pada grafik gaya reaksi yang terjadi pada *crash box*, dapat dianalisa luasan dibawah kurva sebagai usaha yang dilakukan oleh impactor. Maka energi regangan dapat diasumsikan hasil konversi seluruh energi kinetik yang terjadi, maka dari perhitungan luas area dibawah grafik gaya reaksi dengan menggunakan software Inventor dengan menggunakan faktor skala, faktor sekala didapatkan dari perbandingan luas grafik sebenarnya dengan *software inventor*.

Berdasarkan perhitungan luas daerah dibawah grafik didapatkan energi yang diserap oleh masing-masing *crash box* yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Energi yang diserap pada setiap variasi diameter dan panjang *crash box*.

No	Nama	Energi (J)
1	Crash box 1	1215.864
2	Crash box 2	1854.383
3	Crash box 3	7247.826
4	Crash box 4	1872.232
5	Crash box 5	3229.346
6	Crash box 6	1545.439
7	Crash box 7	4329.352
8	Crash box 8	1264.587
9	Crash box 9	1516.320

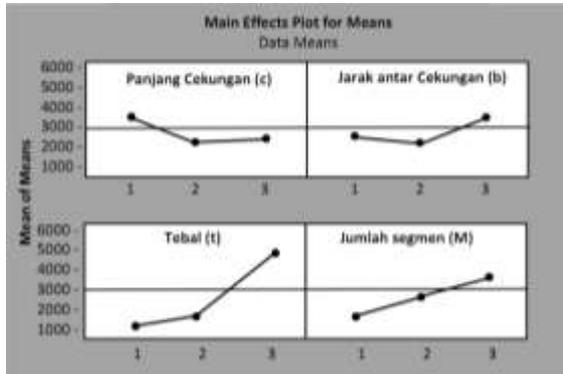
Pada uji coba simulasi *crash box* pola origami didapatkan hasil sesuai gambar grafik 3, dari data diatas diperoleh data penyerapan energi tertinggi sampai terendah, penyerapan energi tertinggi di capai oleh *crash box* pola 3, 7 dan 5 dan penyerapan energi terendah pada *crash box* pola 1.

Analisis Taguchi

Pada Gambar 4 terlihat karakteristik kualitas respon kemampuan penyerapan energi adalah "larger the better" maka level faktor yang memiliki rata-rata semakin bertambah besar yang dipilih sebagai level yang optimal. Berdasarkan data Gambar 4 juga bisa dianalisa dari keempat faktor yang paling mempengaruhi kemampuan penyerapan energi adalah, tebal (t), jumlah segmen (M/l), jarak antar cekungan (b) dan panjang cekungan (c).

Hal ini bisa disimpulkan semakin tebal *crash box* maka kemampuan penyerapan energi akan semakin

bagus, dan faktor yang berpengaruh juga adalah jumlah segmen, hal ini berarti pola *pre-folded* origami dapat memaksimalkan mode collaps yang optimal sehingga dapat meningkatkan kemampuan penyerapan energi.



Gambar 4 Analisa Taguchi

Deformasi Pada Crash box

Pada Gambar 5 terdapat tampilan perbedaan antara *crash box* origami 3 segmen, 5 segmen dan 6 segmen, terlihat origami 3 segmen dan 5 segmen terjadi *buckling* karena pembebanan yang diterima oleh origami terlalu besar dan melebihi beban kritis maksimum, namun terlihat pada origami 6 segmen mempunyai deformasi *concertina* mode.

Pada Gambar 6 terlihat *mode collaps* yang terjadi pada *crash box* pola origami, terlihat bahwa terjadi *buckling* pada *crash box* 1, 4, 5, 6 dan 7. Dan terjadi mode collpas yang sesuai pada *crash box* 2, 3, 8, dan 9. Pada *crash box* 1 sedikit terjadi ketidak simetrisan pada segmen nomor 2 dikarenakan *crash box* pola origami 1 mempunyai momen inertiya yang kecil dan luas penampang yang kecil yang berdampak pada penyerapan energi yang tidak optimal, namun masih mampu menahan beban impact. Dan jika dilihat dari pengamatan visual dari arah atas deformasi masih stabil. Pada *crash box* yang mempunyai segmen (M) 3 mempunyai mode *collapse* yang belum sempurna, hal ini terlihat pada *crash box* pola origami 1 dan 5, terdapat pergeseran pada segmen 2 karena ketidak mampuan menahan beban impact, namun tetap simetris jika dilihat dari pandangan atas. Hal ini berbeda pada *crash box* pola origami nomor 9, yang mempunyai pola deformasi yang sempurna. Hal ini terjadi karena pada *crash box* pola origami nomor 9 mempunyai kesesuaian geometri dengan momen inertiya dan luas penampang.

Pada *crash box* segmen (M) 5 mempunyai *collapse* yang bervariasi, gambar 6 (b), (f) dan (g). pada gambar 6 (b) terlihat bahwa *crash box* mempunyai mode *collapse* *concertina* mode. Pada gambar 6 (f) *crash box* terlihat terjadi *buckling*, hal ini terjadi dikarenakan jumlah segmen yang banyak namun tidak diimbangi dengan momen

inertiya dan luas penampang yang besar, begitu juga pada gambar 6 (g).

Pada *crash box* segmen (M) 6 Pada gambar 6 (c) (d) dan (h) terlihat sebagian besar *crash box* bermode *concertina*. Pada gambar 6 (d) dengan pengamatan visual, terjadi *buckling*, namun terjadi mode deformasi yang tidak berurutan, hal ini dikarenakan momen inertiya dan luas penampang yang kecil. Dan pada gambar 6 (c) dan (h) terlihat *crash box collapse* dengan mode *concertina* dan deformasi terjadi secara berurutan.

Tabel 3 Perilaku deformasi

Model	c	b	t	M	Pola
1	9	40	0,8	3	D
2	9	50	1	5	C
3	9	60	2	6	C
4	10	40	1	6	D
5	10	50	2	3	D
6	10	60	0,8	5	D
7	11	40	2	5	D
8	11	50	0,8	6	C
9	11	60	1	3	C

Dari hasil pengamatan visual pada *crash box* pola origami dengan pengujian *high speed impact* dapat disimpulkan bahwa deformasi yang terbesar terjadi pada *crash box* pola origami adalah *concertina mode* sebesar 44% dan sebesar 56 % mengalami deformasi *diamond mode*.

Hal diatas bisa disimpulkan bahwa pola *pre-folded* origami dapat memaksimalkan mode collaps yang optimal sehingga dapat meningkatkan kemampuan penyerapan energi. Hal ini terjadi pada *crash box* pola origami nomor 2, 3, 8, dan 9 terjadi *mode collapse* yang simetri dan dapat diprediksi. Namun pada *crash box* pola origami juga harus mempunyai kesesuaian geometri agar pola *pre-folded* bisa bekerja secara maksimal.

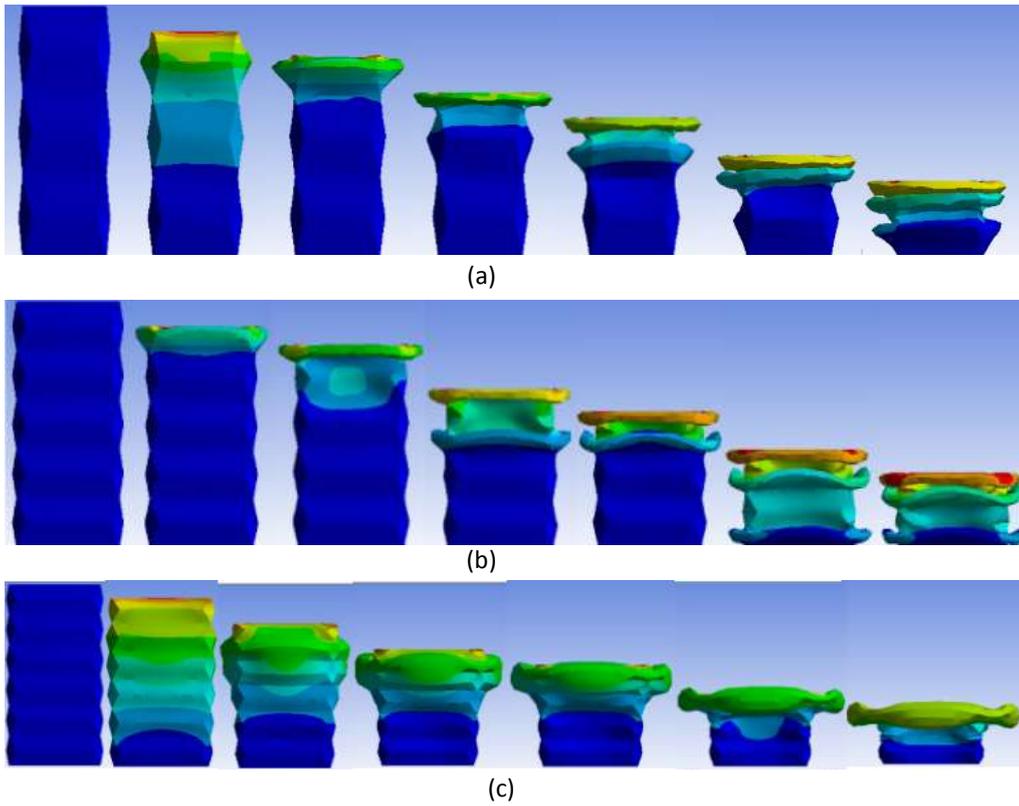
Pengaruh momen inertiya

Agar *crash box* mampu terdeformasi plastis atau terbentuk lipatan lebih besar pada dindingnya maka harus memiliki momen inertiya yang besar dan secara linier beban kritis nya juga makin besar, hal ini sesuai dengan persamaan beban kritis:

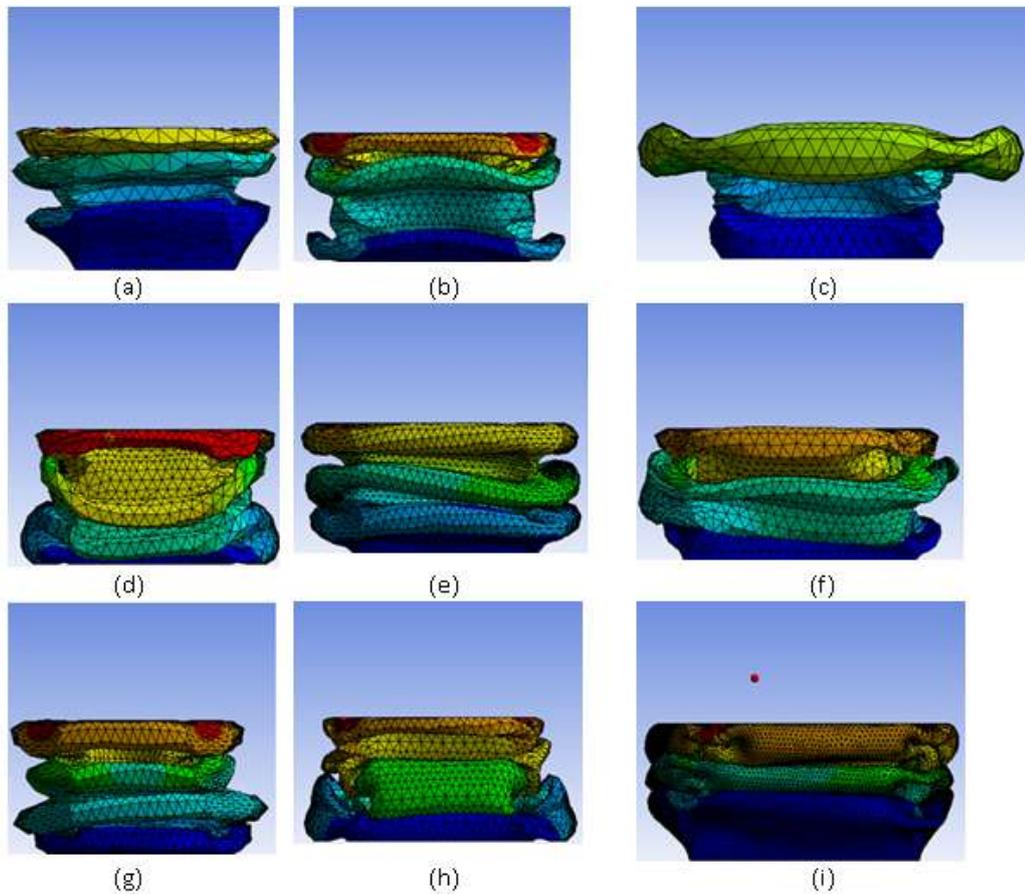
$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$$

Dengan :

- P_{cr} = Beban kritis (N)
- E = Modulus Elastisitas (Pa)
- I = Momen inersia penampang (m^4)
- L = Panjang kolom (m)

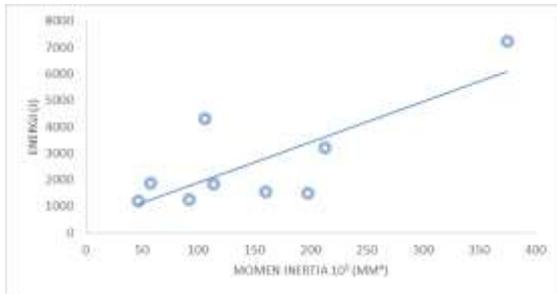


Gambar 5 Perubahan deformasi *crash box* pola origami (a) 3 segmen, (b) 5 segmen,



Gambar 6 konfigurasi deformasi 0,00402 s pada (a) Crash box 1 (b) Crash box 2 (c) Crash box 3 (d) Crash box 4 (e) Crash box 5 (f) Crash box 6 (g) Crash box 7 (h) Crash box 8 (i) Crash box 9

Pada rumus diatas beban kritis (P_{cr}) berbanding lurus dengan inersia luasan dan modulus elastisitas bahan serta berbanding terbalik dengan panjang. Pada gambar 8 grafik hubungan deformasi dengan gaya kontak *crash box* pola origami.

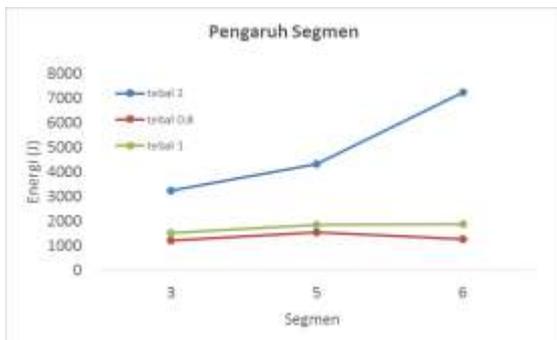


Gambar 7 Pengaruh Momen Inertia

Dari Gambar 7 terlihat bahwa trend penambahan penyerapan energi semakin meningkat dengan bertambah besarnya momen inerti.

Pengaruh Segmen

Segmen pada *crash box* pola origami sangat berpengaruh terhadap penyerapan energi dan *mode collaps*, pada gambar 8 terlihat dengan jelas bahwa pengaruh segmen terhadap *crash box* pola origami terlihat. Dari gambar 8 variabel tetapnya adalah t (tebal) yang terdiri dari 0,8 mm, 1 mm dan 2 mm.



Gambar 8 Pengaruh segmen

Dapat disimpulkan bahwa semakin banyak segmen maka penyerapan energi akan semakin optimal, namun hal ini harus diimbangi dengan momen inersia yang besar agar tidak terjadi *buckling*.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat diperoleh kesimpulan :

1. Karakteristik kualitas respon kemampuan penyerapan energi dengan metode taguchi adalah "*larger the better*", hal ini berarti level faktor yang memiliki rata-rata nilai bertambah besar dipilih sebagai level yang optimal. Juga bisa dilihat dari urutan keempat faktor yang paling mempengaruhi kemampuan penyerapan energi adalah, tebal

(t), jumlah segmen (M/l), jarak antar cekungan (b) dan panjang cekungan (c).

2. Yang memenuhi kriteria optimal pada penelitian ini adalah *crash box* pola origami nomor 3, yang mempunyai 6 segmen dan momen inerti terbesar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Singace, A.A., and El-Sobky, H., 1997, "Behaviour of Axially Crushed Corrugated Tubes," *Int. J. Mech. Sci.*, 39(3), pp. 249–268.
- [2] Hosseinipour, S.J., and Daneshi, G.H., 2003, "Energy Absorption and Mean Crushing Load of Thin-Walled Grooved Tubes Under Axial Compression," *Thin-Walled Struct.*, 41(1), pp. 31–46.
- [3] Lee, S., Hahn, C., Rhee, M., and Oh, J.-E., 1999, "Effect of Triggering on the Energy Absorption Capacity of Axially Compressed Aluminum Tubes," *Mater. Des.*, 20(1), pp. 31–40.
- [4] Kim, Lee dan Yoo. 2008. Design of The Cross Section Shape of An Aluminum Crash Box for Crashworthiness Enhancement of a Car. Korea.
- [5] Adachi, T., Tomiyama, A., Araki, W., and Yamaji, A. 2008. *Energy Absorption of a Thin-Walled Cylinder With Ribs Subjected to Axial Impact*. *Int. J. Impact Eng.*, 35(2), pp. 65–79.
- [6] Zhang, X., dan You, Z., 2014. *Energy Absorption of Thin-Walled Square Tubes With a Prefolded Origami Pattern—Part I: Geometry and Numerical Simulation*. *Journal of Applied Mechanics* Vol. 81.
- [7] Hobbs C. Adrian., McDonough, Paul J. 1998. *Development Of The European New Car Assessment Programme (Euro Ncap)*. Transport Research Laboratory, Paper Number 9%SI 1-10-06, United Kingdom.