

Optimasi Desain Bi-Hexagonal Crash box dengan Model Uji Frontal dan Oblique

Moch. Agus Choiron^{a,1}, Erwin Sulisty^b, Nafisah Arina Hidayati^b

^aDepartemen Teknik Mesin Universitas Brawijaya, Malang, 65145

¹agus_choiron@ub.ac.id

ABSTRACT

The crash box design was developed to improve absorption performance energy resulting from vehicle collisions. The aim of this study is to obtain optimization design of a bi-hexagonal crash box reinforced with a support structure. Response Surface Methodology (RSM) with Box-Behnken Design (BBD) experimental design was used to optimize bi-hexagonal crash box design. The design parameters used are the length of the support structure, the hexagonal diameter of the inner crash box, and the hexagonal wall thickness of inner crash box and the hexagonal wall thickness of outer crash box with each parameter consist of 3 levels. Frontal and oblique load models are applied to the crash box. The SEA value in the frontal test (SEA = 61.393 kJ/kg) is 3 times greater than the SEA value on the oblique test (SEA = 20.086 kJ/kg). The connecting structure functions as resistance to the rate of deformation (folding) and is suitable for holding frontal load direction.

Keywords: Optimization, Bi-hexagonal crash box, Response Surface Method, Frontal load, Oblique load.

Received 2 September 2024; Presented 2 Oktober 2024; Publication 20 Januari 2025

DOI: 10.71452/590896

PENDAHULUAN

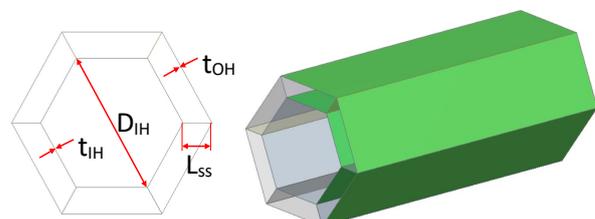
Crash box merupakan sistem keamanan pasif yang digunakan untuk mengurangi dampak dari kecelakaan yang dialami penumpang atau bagian kendaraan yang penting akibat terjadinya tabrakan. Saat terjadi tabrakan, crash box yang dipasang diantara bumper dan chassis akan terdorong dan terdeformasi. Crash box menyerap energi akibat tabrakan dengan cara terdeformasi, agar menurunkan resiko cedera penumpang. Berdasarkan data kasus kecelakaan lalu lintas menunjukkan bahwa tabrakan dari arah depan (*frontal crash*) paling sering terjadi, yaitu sekitar 64,1% dibandingkan tabrakan arah samping, *oblique*, dan terguling [1]. Riset desain crash box dilakukan dengan memvariasikan bentuk penampang yang berbeda dengan hasil penampang dengan bentuk circular lebih baik dalam kemampuannya menyerap energi [2].

Pola deformasi berupa folding yang terjadi juga lebih banyak dibandingkan dengan bentuk penampang square dan rectangular. Riset selanjutnya pada desain square multi-cell crash box dengan memvariasikan jumlah dan ukuran selnya, dimana semakin banyak jumlah sel akan meningkatkan pula energy absorption pada crash box [3]. Riset lain pada multi-cell crash box yang terdiri dari dua kolom lurus dengan ekstensi bentuk penampang yang sama, menunjukkan bahwa crash box dengan bentuk penampang lingkaran, heksagonal, persegi, segitiga menghasilkan penyerapan energi yang lebih baik dalam urutan kemampuan crashworthiness [4]. Kemampuan crash box menerima beban impact diperkuat oleh struktur

penghubung. Hal ini dikarenakan adanya interaksi antara inner dan outer crash box yang menguntungkan dalam terjadinya deformasi lipat yang stabil selama benturan [5]. Setelah karakteristik penyerapan energi dan mekanisme deformasi diketahui maka riset dapat dilanjutkan untuk mendapatkan optimasi desain dari crash box. Riset desain crash box dengan model beban arah oblique memberikan penurunan penyerapan energy sekitar 54% [6-8]. Pada penelitian ini, dilakukan optimasi desain pada bi-hexagonal crash box yang terdiri dari dua kolom yaitu bagian outer dan bagian inner crash box dan yang diperkuat dengan struktur penyangga dengan model beban arah frontal dan oblique.

METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah uji frontal dan *oblique* dengan simulasi komputer menggunakan software ANSYS versi 19.2. Penelitian dilakukan di Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem (SPRS) Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Geometri dari *bi-hexagonal crash box* pada penelitian ini ditampilkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Geometri *bi-hexagonal crash box*

Parameter desain pada penelitian ini yaitu panjang struktur penyangga (jarak *inner crash box* dan *outer crash box*), diameter hexagonal *inner crash box*, ketebalan dinding hexagonal *inner crash box* dan ketebalan dinding hexagonal *outer crash box*. Optimasi desain Bi-Hexagonal *crash box* dilakukan dengan penentuan parameter simulasi menggunakan *Respon Surface Method* (RSM) dengan desain eksperimen *Box-Behnken Design* (BBD). Dari tiap parameter tersebut terdiri dari tiga level seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Desain

Variabel	Level 1	Level 2	Level 3
Panjang struktur penyangga (L _{ss})	5 mm	6 mm	7 mm
Diameter hexagonal <i>inner crash box</i> (D _{IH})	20 mm	22 mm	24 mm
Ketebalan dinding hexagonal <i>inner crash box</i> (t _{IH})	1,4 mm	1,8 mm	2,2 mm
Ketebalan dinding hexagonal <i>outer crash box</i> (t _{oH})	1,4 mm	1,8 mm	2,2 mm

Observasi hasil dari penelitian ini yaitu nilai dari penyerapan energi dan pola deformasi sebagai kriteria dalam penentuan optimasi desain *crash box* berdasarkan model uji frontal dan oblique.

Untuk asumsi yang digunakan adalah.

- Pemodelan material diasumsikan dengan *Bilinear Isotropic Hardening*.
- massa *Impactor* 600 kg.
- Panjang dari *crash box* sebesar 120 mm.

Material yang digunakan untuk *crash box* adalah *Aluminium AA6061* berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Na Qiu tahun 2015 (Tabel 2).

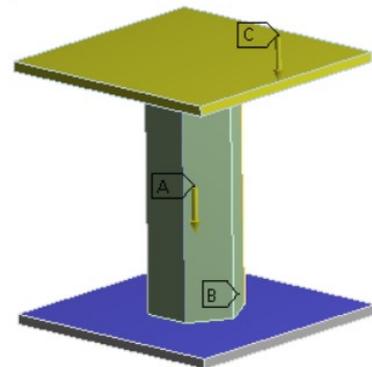
Tabel 2. Material Properties Aluminium AA6061 [5]

Material Properties	Value
Massa Jenis (kg/m ³)	2700
Poisson's Ratio	0,33
Young's Modulus (GPa)	68
Yield Stress (MPa)	71
Ultimate Stress (MPa)	130,7

Pemodelan dalam penelitian *bi-hexagonal crash box* menggunakan *software ANSYS 2003 R2*. Desain *crash box* dan *impactor* dimodelkan dengan menggunakan *ANSYS Design Modeler*. *Impactor*

diletakkan tepat menempel pada bagian permukaan atas *crash box* dalam posisi tegak lurus *crash box*, sedangkan pada bagian permukaan bawah *crash box* diberi *fix support*. *Impactor* bergerak ke arah bawah dengan kecepatan 15 m/s. *Impactor* bergerak menabrak *crash box* sepanjang 2/3 dari total panjang *crash box*. Percepatan gravitasi sebesar 9,8 m/s² diaplikasikan pada arah ke bawah (Gambar 2).

- A Standard Earth Gravity: 9.8066 m/s²
- B Fixed Support
- C Velocity



Gambar 2. Pemodelan pada bi-hexagonal crash box

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan *Box-Behnken Design* maka jumlah model yang diperlukan untuk diuji adalah sebanyak 25 variasi model. Dengan Optimasi menggunakan *Response Surface Methodology* didapatkan kondisi optimum *bi-hexagonal crash box* dengan 3 kandidat optimum desain (Tabel 3 dan Tabel 4).

Tabel 3. Kandidat optimum dari Bi-Hexagonal *crash box* pada uji frontal

Parameter	Kandidat 1	Kandidat 2	Kandidat 3
L _{ss} (mm)	7	6	7
D _{IH} (mm)	20	20	22
t _{IH} (mm)	1,4	1,4	1,4
t _{oH} (mm)	1,4	1,4	1,4
Massa (kg)	0,112	0,112	0,123
EA (kJ)	6,876	6,275	6,876
SEA (kJ/kg)	61,393	56,245	55,954

Ketiga kandidat dihasilkan dari kaidah *Multi-Objective* berupa penyerapan energi spesifik maksimum dan berat minimum dari *crash box*. Dari

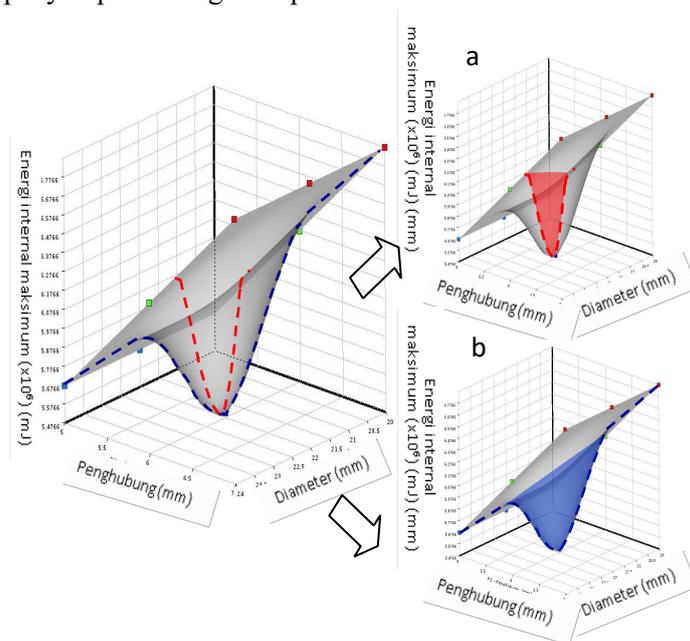
ketiga kandidat tersebut, pada uji frontal dipilih kandidat 1 yang mempunyai parameter desain $L_{SS} = 7$ mm, $D_{IH} = 20$ mm, $t_{IH} = 1.4$ mm, dan $t_{OH} = 1.4$ mm. Kandidat tersebut dipilih karena mempunyai nilai penyerapan energi spesifik yang tertinggi sebesar 61.393 kJ/kg dimana semua titik kandidat memiliki berat yang hampir sama dengan diameter hexagonal dalam lebih kecil. Pada uji oblique, dipilih kandidat 1 dengan parameter desain $L_{SS} = 5$ mm, $D_{IH} = 20$ mm, $t_{IH} = 2.2$ mm, dan $t_{OH} = 1.4$ mm. Nilai penyerapan energi spesifik yang tertinggi sebesar 20,086 kJ/kg.

Table 4. Kandidat optimum dari Bi-Hexagonal *crash box* pada uji oblique

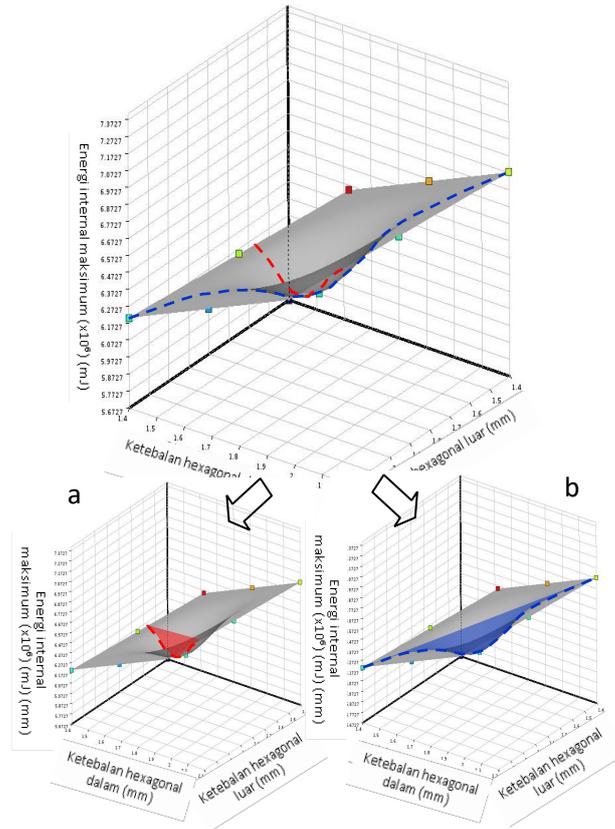
Parameter	Kandidat 1	Kandidat 2	Kandidat 3
L_{SS} (mm)	5	5	5
D_{IH} (mm)	20	22	24
t_{IH} (mm)	2,2	2,2	2,2
t_{OH} (mm)	1,4	1,4	1,4
Massa (kg)	0,170	0,170	0,170
EA (kJ)	3,415	3,411	3,409
SEA (kJ/kg)	20,086	20,062	20,054

diketahui bahwa fungsi penyerapan energi tertinggi berbentuk fungsi geometri contong berujung bulat (3D parabolic model) terbalik. Range nilai SEA tinggi antara x sampai x dengan dua buah variasi parameter yaitu panjang struktur penyangga (L_{SS}) dan diameter hexagonal *inner crash box* (D_{IH}). Pada range nilai SEA lebih landai antara y sampai y pada pengaruh variasi ketebalan *crash box*. Jika diamati pengaruh masing-masing parameter geometri *crash box* terhadap nilai SEA maka akan terbentuk fungsi parabola 2D terbalik dengan kemiringan sudut 3 ruang dalam arah positif. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan SEA sejalan peningkatan nilai masing-masing parameter geometri *crashbox*, tetapi akan mengalami penurunan sampai nilai minimum pada gabungan nilai parameter geometri tertentu dan selanjutnya akan meningkat kembali. Gambar 3 dan Gambar 4 memperlihatkan grafik *response surface* 3D berupa pengaruh parameter desain terhadap SEA dengan titik acuan pada kondisi optimum *crash box*. Garis putus-putus menunjukkan fungsi parabolik dari pengaruh satu parameter geometri *crash box* terhadap nilai SEA. Area di bawah kurva merupakan rentang nilai SEA dari tiap variasi parameter geometri *crashbox*, antara lain L_{SS} , D_{IH} , t_{OH} dan t_{IH} .

Diperoleh hubungan beberapa parameter geometri terhadap nilai penyerapan energi. Dapat

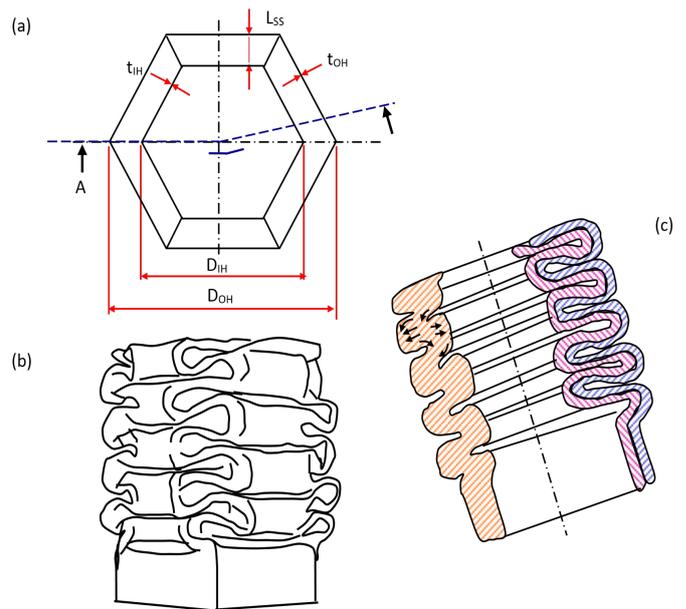


Gambar 3. (a) fungsi parabolik pengaruh struktur penyangga terhadap SEA dan (b) fungsi parabolik pengaruh diameter dalam terhadap SEA



Gambar 4 (a) fungsi parabolic pengaruh struktur penyangga terhadap SEA dan (b) fungsi parabolik pengaruh diameter dalam terhadap SEA

Dengan diameter hexagonal *outer crashbox* merupakan penjumlahan diameter *inner crashbox* ditambah dengan panjang struktur penyangga beserta ketebalan material tiap dinding *crashbox* (Gambar 5a) maka nilai optimum SEA diperoleh pada hexagonal dengan diameter luar sebesar 39.6 mm untuk pengujian frontal dan sebesar 37.2 mm untuk pengujian oblique, dimana keduanya berada pada nilai tengah dari total variasi parameter yang ada tetapi mempunyai berat *crash box* yang rendah. Nilai SEA yang jauh lebih rendah yaitu sepertiga pada pembebanan oblique disebabkan karena struktur bi-hexagonal *crash box* tidak dapat melakukan *folding* secara sempurna dan merata (simetri) dan rigiditas yang lebih rendah. Ketika terjadi pembebanan, maka dinding *crashbox* hexagonal baik bagian dalam maupun luar akan mulai mengalami buckling ke arah luar dan dalam, serta akan berproses lebih lanjut secara sempurna sehingga terbentuk lipatan (*folding*) (Gambar 5b). Disini *folding* yang terjadi mempunyai panjang sisi lipatan yang lebih besar pada dinding heksagonal tunggal dibanding dengan dinding heksagonal berpenyangga (Gambar 5c).



Gambar 5. Ilustrasi deformasi Bi-Hexagonal *crashbox* akibat beban arah frontal; (a) Penampang original *crash box* tampak atas, (b) *folding* yang terjadi, (c) perbandingan irisan penampang bentuk *folding* sisi bi-hexagonal berpenyangga dengan sisi hexagonal tunggal. Panah berlawanan arah menunjukkan tahanan struktur penyangga terhadap deformasi.

Pada struktur kolom, bentuk heksagonal merupakan geometri yang paling stabil terhadap defleksi

(*buckling*) saat mendapat pembebanan arah vertikal. Sehingga, dengan penambahan struktur penyangga, maka struktur ini akan menghambat laju deformasi (*folding*) pada dinding *crash box* akibat pembebanan impak baik dari arah frontal maupun oblique. Struktur penyangga akan menambah inersia dari dinding *crash box*. Selain itu penempatannya pada tiap sudut heksagonal maka menjadi pengunci atau meningkatkan tahanan untuk proses deformasi terjadi lebih lanjut. Jika proses pembebanan atau tabrakan memaksa untuk berlanjut, maka diperlukan energi yang besar agar *crash box* bisa berdeformasi. Karena itu dengan penambahan struktur penyangga akan menghasilkan SEA yang cenderung lebih tinggi daripada bi-hexagonal *crash box* tanpa penyangga.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Optimasi Bi-Hexagonal *crash box* dengan RSM menggunakan *Box-Behnken Design* (BBD) dilakukan pada parameter desain panjang struktur penyangga (L_{SS}), diameter dalam heksagonal (D_{IH}), ketebalan dinding heksagonal dalam (t_{IH}), dan ketebalan dinding heksagonal luar (t_{OH}) dari bihexagonal *crash box*. Nilai SEA optimum untuk pengujian frontal yaitu $L_{SS} = 7$ mm, $D_{IH} = 20$ mm, $t_{IH} = 1.4$ mm, dan $t_{OH} = 1.4$ mm dengan SEA sebesar 61,393 kJ/kg. Pada pengujian oblique terjadi pada $L_{SS} = 5$ mm, $D_{IH} = 20$ mm, $t_{IH} = 2.2$ mm, dan $t_{OH} = 1.4$ mm dengan SEA sebesar 20,086 kJ/kg.
2. Penambahan struktur penghubung berperan sebagai penghambat terhadap laju *folding* akibat meningkatnya inersia dari geometri *crashbox*. *Folding* yang terjadi menjadi lebih pendek daripada dinding hexagonal tanpa penghubung karena dibutuhkan energi besar untuk memungkinkan terjadinya deformasi sehingga dihasilkan SEA yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim laboratorium SPRS Teknik Mesin UB dan pendanaan hibah penelitian BPPM Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kokkula, Satyanarayana. 2016. *Bumper Beam Longitudinal System Subjected to Offset Impact Loading*. Thesis. Norway: Trondheim
- [2] Velmurugan, R. and R. Muralikannan. 2009. *Energy Absorption Characteristics of Annealed Steel Tubes of Various Cross Section in Static and Dynamic Loading*. Latin American Journal of Solid and Structures, V. 6, p. 385-412.
- [3] Jianguang Fang, Yunkai Gao, Guangyong Sun, Na Qiu, Qing Li, *On design of multicell tubes under axial and oblique impact loads*, Thin-Walled Structures, Volume 95, 2015, Pages 115-126
- [4] S. Pirmohammad, S. Esmaili Marzdashti, *Crushing Behavior of New Designed Multi-Cell Members Subjected To Axial and Oblique Quasi-Static Loads*, Thin Walled Structures, Volume 108, 2016, Pages 291-304
- [5] Na Qiu, Yunkai Gao, Jianguang Fang, Zhaoxuan Feng, Guangyong Sun, Qing Li, *Crashworthiness Analysis and Design of Multi-Cell Hexagonal Columns Under Multiple Loading Cases*, Finite Elements in Analysis and Design, Volume 104, 2015, Pages 89-101.
- [6] Sami E. Alkhatib, Faris Tarlochan, Ahmed Hashem, Sadok Sassi, *Collapse behavior of thin-walled corrugated tapered tubes under oblique impact*, Thin-Walled Structures, Volume 122, 2018, Pages 510-528
- [7] Choiron, M. A. (2020). Characteristics of deformation pattern and energy absorption in honeycomb filler *crash box* due to frontal load and oblique load test. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(7 (104), 6–11
- [8] Toksoy, A.K. 2009. *Optimization of The Axial Crushing Behavior of Closed-Cell Aluminum Foam Filled Welded 1050 Al Square-Cross Section Crash boxes*. Thesis. Izmir Institute of Technology