

# Crash Analysis Of Double Foam Filled Circular Tube Under Axial Impact Using Finite Element Method

Ilyas Renreng<sup>1</sup>, Fauzan Djamaluddin<sup>2\*</sup>, Thomas Tjandinegara<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin – Gowa

\*Corresponding author: fauzanman\_77@yahoo.com

**Abstract.** Fuel consumption and safety are currently key aspects in automobile design. The foam-filled thin-walled aluminium tube represents a potentially effective material for use in the automotive industry, due to its energy absorption capability and light weight. The double structures are impacted by a rigid wall simulating quasi-static and dynamic loadings. Different configurations of structures, such as empty and foam filled double tube are identified for their crashworthiness performance indicators. The thin-walled tubes were made from aluminium alloy A6063 T6 and aluminium foam. The crashworthiness parameters under consideration are the peak crushing force, energy absorption and specific energy absorption. The comparison is carried out by finite element analysis of the impact crashworthiness characteristics in tubes under static and dynamic loads.

**Abstrak.** Konsumsi bahan bakar dan keselamatan saat ini merupakan aspek kunci dalam desain mobil. Tabung aluminium ber dinding tipis berisi foam merupakan bahan yang berpotensi efektif untuk digunakan dalam industri otomotif, karena kemampuan penyerapan energinya dan bobotnya yang ringan. Struktur ganda dipengaruhi oleh dinding kaku yang disimulasikan pembebanan kuasi-statis dan dinamis. Konfigurasi struktur yang berbeda, seperti tabung kosong dan diisi foam diidentifikasi untuk indikator kinerja *crashworthiness*. Tabung ber dinding tipis terbuat dari paduan aluminium A6063 T6 dan *foam* aluminium. Parameter *crashworthiness* yang dipertimbangkan adalah kekuatan penghancur puncak, penyerapan energi dan penyerapan energi spesifik. Perbandingan dilakukan oleh analisis elemen hingga dari karakteristik tabrakan dampak dalam tabung di bawah beban statis dan dinamis.

**Keywords:** Crashworthiness, Circular tube, Foam, Aksial impact,

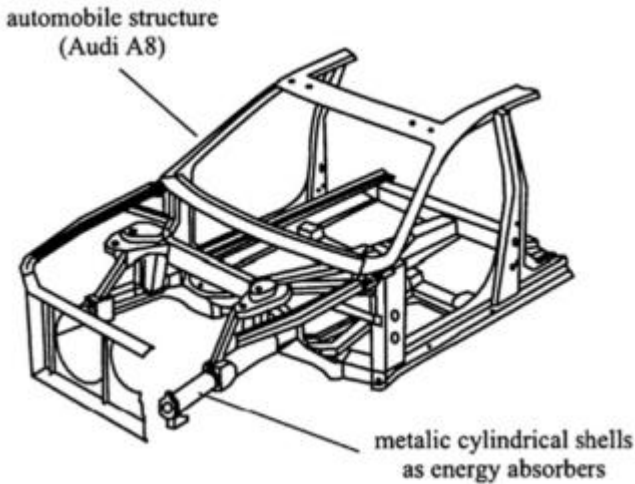
© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

## Pendahuluan

Dari sudut pandang keselamatan penumpang pada kereta cepat maka komponen penyerap tenaga akibat tabrakan sangat penting [1,2] dan dalam beberapa dekade ini penyerapan energi berupa lipatan pada tabung berbahan logam dianggap sebagai mekanisme yang sangat baik [3]. Crashworthiness sebagai parameter untuk mengukur kemampuan suatu struktur seperti tubular yang berfungsi mencegah atau mengurangi cedera penumpang kendaraan akibat tabrakan [4]. Struktur ini telah diaplikasikan secara luas dalam desain transportasi disebabkan sifat yaitu kekuatan tinggi, biaya rendah, kekakuan yang baik, dan daya serap energi yang tinggi [5]. Dari pernyataan diatas maka perlu dipelajari karakteristik kemampuan menyerap tenaga dari tabung bulat dengan tes impak secara aksial. Sebagai tambahan, target aplikasi masa depan digunakan pada otomotif sebagai komponen keselamatan dari tabrakan [5] seperti yang terlihat pada gambar 1. Impak secara dinamis pada struktur berupa tabung ber dinding tipis telah dipelajari

selama dekade-dekade sebelumnya [6-9]. Untuk material yang digunakan berupa material ringan yaitu aluminium karena memiliki kelebihan mengurangi berat kendaraan dibandingkan material konvensional yaitu baja [6].

Tekuk progresif, inversi, dan pemisahan tabung b dariulat, sebelumnya telah dibahas [3]. Ini menunjukkan mode deformasi tabung di bawah kompresi aksial. Penyerapan energi dari struktur tabung yang berbeda, seperti geometri bulat dan persegi, dipelajari oleh Alghamdi et al. [4]. Bahan-bahan seluler, terutama foam menghasilkan peningkatan volume dan berat yang terbatas, memperbaiki kemampuan menyerap tenaga tabung-tabung ber dinding tipis [6-11]. Seitzberger et al. [12, 13] dan Nurick dkk. [14] mempelajari kemampuan penyerapan energi tabung bulat ganda yang kosong dan diisi foam menggunakan. Di bawah kondisi aksial dan lentur menggunakan pengujian eksperimental dan numerik, tabung ganda diselidiki oleh Guo et al. [15-18].



Gambar 1. Struktur otomotif dan komponen penyerap energi saat tabrakan/impak.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik tabung bulat terhadap beban impact dinamis secara aksial dan untuk mengetahui efek dari variasi penampang. Hasil yang diperoleh ini dapat menjadi informasi awal untuk peneliti atau designer untuk merencanakan struktur keselamatan untuk kendaraan khususnya kereta berkecepatan tinggi.

### Metodologi Penelitian

#### a. Parameter *Crashworthiness*

Ada beberapa parameter untuk menentukan kemampuan penyerapan energi pada struktur yaitu total penyerapan energi, penyerapan energi spesifik dan efisiensi total dari penyerapan energi seperti terlihat pada gambar 2. Total energi yang diserap,  $E$  pada struktur yang hancur berada pada daerah dibawah kurva gaya hancur – perpindahan yaitu,

$$E = \int_0^d F ds \quad \dots (1)$$

dimana  $F$  adalah gaya hancur dengan fungsi perpindahan hancur. Sedangkan SEA menunjukkan energi yang diserap ( $E$ ) per satuan massa ( $M$ ) dari struktur sebagai berikut :

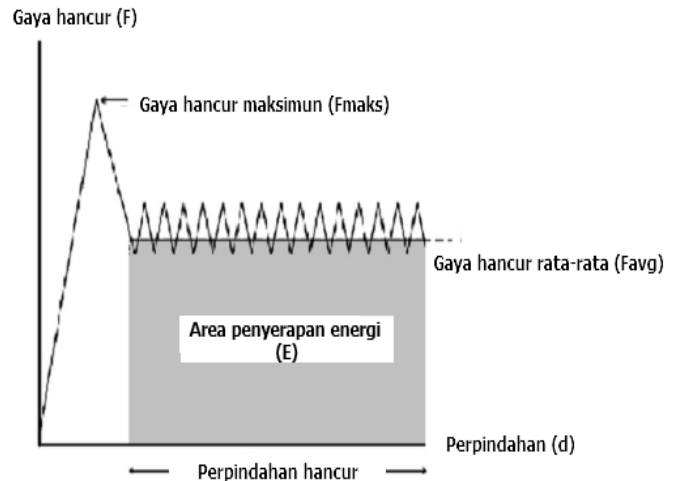
$$SEA = \frac{E}{M} \quad \dots (2)$$

Sedangkan gaya hancur rata-rata adalah salah satu parameter untuk mengukur respon kemampuan daya serap struktur dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_{avg} = \frac{E}{d} \quad \dots (3)$$

Efisiensi gaya hancur dapat ditentukan sebagai rasio dari gaya hancur rata-rata per gaya hancur maksimum atau dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$CFE = \frac{F_{maks}}{F_{avg}} \quad \dots (4)$$



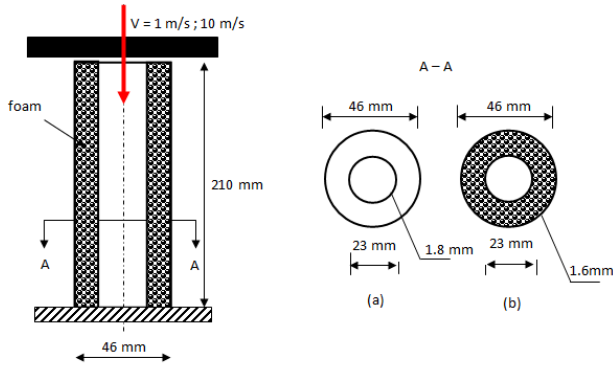
Gambar 2. Kurva gaya hancur dan perpindahan [10]

#### Geometri tabung bulat

Geometri tabung bulat dapat dilihat pada table 1 dengan perbedaan variable penampang. Struktur ganda kosong dan diisi foam dianalisis untuk solusi numerik. Panjang ( $l$ ) dari model tabung ganda diisi foam aluminium adalah 250 mm, diameter dinding luar dan dalam adalah,  $2b_o = 23$  mm dan  $b_i = 46$  mm, masing-masing dan ketebalan dinding luar dan dalam keduanya, untuk dan  $t_i = 1,8$  mm, masing-masing (Gambar. 2).

#### Model Elemen Hingga

Gambar 3 merupakan skema tabung bulat dibawah beban impact dinamik secara aksial yang diasumsikan sebagai komponen penyerap tenaga pada kereta cepat. Komponen ini diletakkan pada bagian depan atau moncong dari kereta. Spesimen penelitian ini disesuaikan dengan ASTM E208 dengan panjang 100mm.



Gambar 3. Skema impak dinamik dari tabung bulat

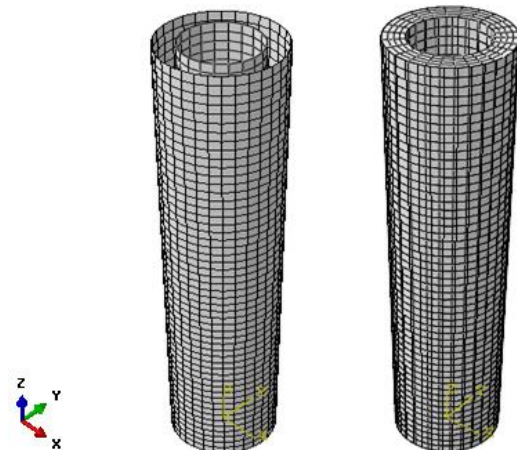
TABEL 2. Sifat Mekanik dari Aluminium paduan AA6060 T4

Berat jenis ( $\text{kg/m}^3$ )	2700
Modulus Young (GPa)	60.2
Poisson rasio	0.3
Tegangan awal (MPa)	184.4
Tegangan maksimum (MPa)	215.5

Menurut penelitian eksperimental sebelumnya [28], tabung silinder ganda memiliki daya serap energi yang jauh lebih tinggi dan kapasitas pembawa beban yang lebih stabil dalam kondisi lentur daripada tabung tunggal berisi foam tradisional. Demikian pula, tes eksperimental menyimpulkan bahwa jika mengalami pembebanan serong, tabung ganda melingkar memiliki penyerapan energi yang lebih besar [20]. Untuk alasan-alasan ini tabung berdinding ganda bulat tipis dimodifikasi dalam upaya untuk membandingkannya dengan model yang sudah ditentukan oleh peneliti lain.

Nilai rata-rata sifat mekanis pengisi foam aluminium sel tertutup diterapkan, dengan densitas nominal  $\rho_f = 0,45 \text{ g/cm}^3$ , modulus Young  $E = 625 \text{ MPa}$ , kekuatan kompresi  $\sigma_c = 9,77 \text{ MPa}$ , dan tegangan plateau  $\sigma_p = 8,12 \text{ MPa}$  [20,28]. Hasil eksperimen diperoleh dengan foam yang dihasilkan oleh pengolahan keadaan cair, menggunakan TiH<sub>2</sub> sebagai agen berbuih. Spesimen tabung bulat yang digunakan dalam uji kompresi uniaksial memiliki diameter dan tinggi 50 mm dan 60 mm. Dalam penelitian ini, kode perangkat lunak elemen hingga eksplisit digunakan untuk mengeksplorasi solusi numerik untuk tabung bulat ganda di bawah kondisi pemuatan quasi-statis dan dinamis. Pemodelan struktur menggunakan aturan aliran terkait elastis-plastik dan pengerasan regangan isotropik [28] dalam pengembangan model foam yang dapat dihancurkan awal. Dalam analisis elemen hingga tegangan sebenarnya versus hubungan regangan

plastik dimasukkan ke dalam pengkodean perangkat lunak FE.

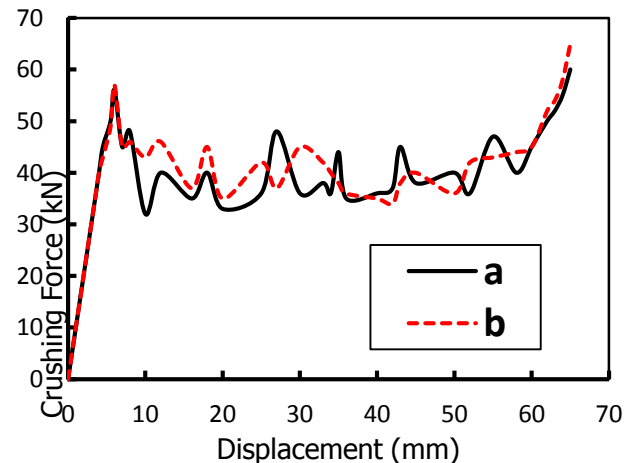


Gambar 4. Pemodelan tabung bulat

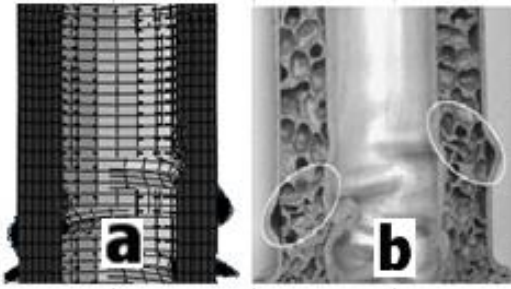
### Hasil dan Pembahasan

#### Bentuk deformasi

Konfigurasi dari dua deformasi optimal pada 30 ms ditunjukkan pada Gambar 7. Perhatikan bahwa dua desain tabung melingkar ganda mengembangkan beberapa pola lipat yang stabil. Dari sini dapat dilihat bahwa tabung berisi foam melingkar ganda memiliki ketahanan yang lebih besar daripada struktur kosong dalam waktu deformasi yang sama. Modus deformasi diwakili oleh gaya penghancur versus perpindahan, diplot pada Gambar 8. Gaya penghancur maksimum pada tabung berisi foam di bawah pembebanan dinamis adalah 74,32 kN dan pemuatan kuasi-statis 43,43 kN. Demikian pula, untuk struktur kosong gaya penghancuran maksimum di bawah beban dinamis dan kuasi-statis masing-masing adalah 45,54 kN dan 38,46 kN.

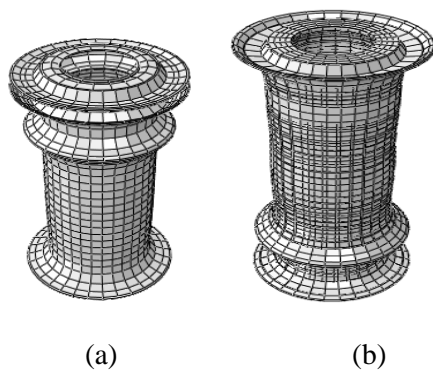


Gambar. 5. Crushing force vs. displacement: (a) FE, and (b) experimental solution [20]

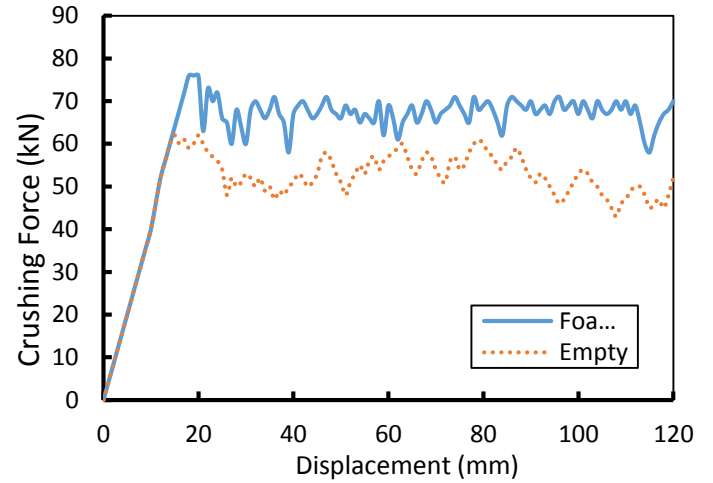


Gambar 6. Deformation pattern: (a) FE, and (b) experimental solution [20]

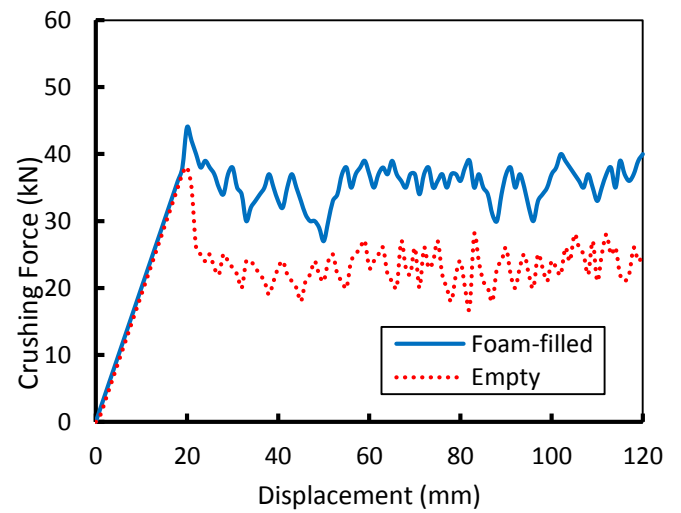
Ini membuktikan bahwa tabung berisi foam memiliki kemampuan lebih untuk menyerap energi daripada tabung kosong, karena interaksi gesekan antara dinding tabung bagian dalam dan luar dan pengisi foam, seperti yang dilaporkan dalam literatur [25]. Selain itu, nilai-nilai di bawah beban kuasi-statis kondisi lebih rendah dari nilai-nilai di bawah kondisi beban dinamis, menunjukkan efek dari dampak berbeda sesuai dengan karakteristik struktur. Penyerapan energi dan kemampuan penyerapan energi spesifik dari kedua tabung menunjukkan tabung ganda berisi foam lebih efektif daripada tabung kosong di bawah beban dinamis dan kuasi-statis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Selain itu, ketika membandingkan kecepatan, itu ditemukan bahwa EA dan SEA dari tabung ganda berisi foam meningkat sekitar 49,43% dibandingkan dengan tabung kosong, pada kecepatan benturan dinding kaku 10 m / s. EA dari tabung ganda kosong meningkat lebih dari 46,43% di bawah pengaruh dinamis, dibandingkan dengan dampak kuasi-statis.



Gambar 7. Deformation mode of double circular tubes: (a) empty, and (b) foam-filled tube

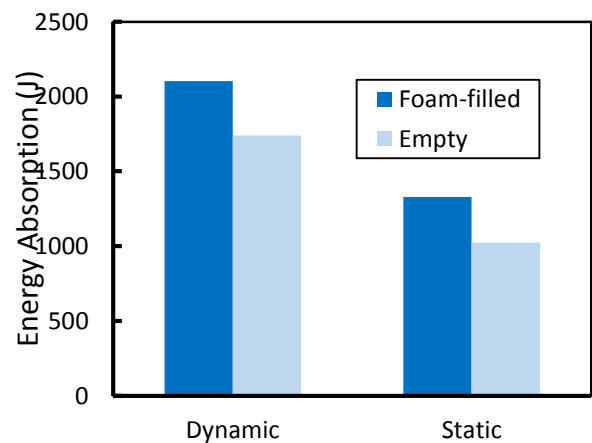


(a)

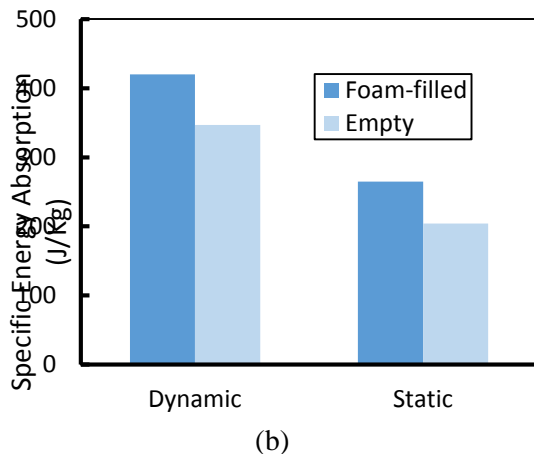


(b)

Gambar. 8. Crushing force vs. displacement: (a) dynamic impact, and (b) quasi-static impact



(a)



Gambar. 9. (a) Energy absorption, and (b) specific energy absorption, of structures under quasi-static and dynamic impacts

## Kesimpulan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi penampang geometri dan kecepatan impaktor pada respon dinamis dan karakteristik penyerapan energi tabung bulat berdinding tipis menggunakan simulasi elemen hingga. Hasilnya menunjukkan bahwa penyerapan energi meningkat secara signifikan sebagai akibat ketebalan dinding tabung dan kecepatan impaktor sedangkan diameter tidak memberikan pengaruh yang signifikan untuk beban aksil dinamis. Terakhir, penelitian ini dapat memberikan informasi awal untuk pengembangan dan desain komponen keselamatan pada kereta berkecepatan tinggi sehingga akan meminimalisir kematian atau cedera berat pada penumpang akibat dari tabrakan.

## Referensi

[1] Yamazaki K, Han J. Maximization of the crushing energy absorption of cylindrical shells. *Advances in Engineering Software* 2000;31(6):425–34.

[2] Ferrer B, Ivorra S, Segovia E, Irlas R. Tridimensional modelization of the impact of a vehicle against a metallic parking column at a low speed. *Engineering Structures*, in press, corrected proof, available online 31 March 2010.

[3] Marzbanrad J, Mehdikhanlo M, Saedi Pour A. An energy absorption comparison of square, circular and elliptic steel and aluminum tubes under impact loading. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 2010;33:159–66.

[4] Abdollahpour A, Marzbanrad J. Crashworthiness study of axial impact in cylindrical aluminum tubes. *Journal of Mechanical Engineering* 2010;61(1): 1–17.

[5] Hosseinipour SJ, Daneshi GH. Experimental studies on thin-walled grooved tubes under axial compression. *Experimental Mechanics* 2004;44:101–8.

[6] Zarei HR, Kroger M. Multiobjective crashworthiness optimization of circular aluminum tubes. *Thin-Walled Structures* 2006;44:301–8.

[7] Al Galib D, Limam A. Experimental and numerical investigation of static and dynamic axial crushing of circular aluminum tubes. *Thin-Walled Structures* 2004;42(8):1103–37.

[8] Marzbanrad J, Abdollahpour A, Mashadi B. Effects of triggering of circular aluminum tubes on crashworthiness. *International Journal of Crashworthiness* 2009;14(6):591–9.

[9] Xu X, Ma J, Lim CW, Chu H. Dynamic local and global buckling of cylindrical shells under axial impact. *Engineering Structures* 2009;31(5):1132–40.

[10] Tarlochan F, Samerb F, Hamoudac AMS, Rameshd S, Karam K. Design of thin wall structures for energy absorption applications: enhancement of crash-worthiness due to axial and oblique impact forces. *Thin Walled Struct* 2013;71:7–17.

[11] Marzbanrad J, Ebrahimi MR. Multi-objective optimization of aluminum hollow tubes for vehicle crash energy absorption using a genetic algorithm and neural networks. *Thin-Walled Structures* 2011;49:1605-1615

[12] Mantena PR, Mann R. Impact and dynamic response of high-density structural foams used as filler inside circular steel tube. *Compos Struct* 2003;61(4): 291–302.