

# Response of Thin-walled cylindrical Tubes Subjected to Axial Loading under Dynamic Conditions

Witono Hardi<sup>1</sup>, Amat Umron<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Khairun, Jalan Pertamina, Gambesi, Ternate Selatan  
Kota Ternate, Maluku Utara

E-mail: \*[1witono@unkhair.ac.id](mailto:witono@unkhair.ac.id), [2amatumron@unkhair.ac.id](mailto:amatumron@unkhair.ac.id)

**Abstrak** – Tabung silinder ber dinding tipis telah dipakai secara luas pada struktur penyerap energi impak. Hal ini disebabkan kemampuannya yang menonjol dibandingkan dengan struktur yang lain. Pada penelitian ini dilakukan analisis dengan menggunakan metode elemen hingga untuk mendapatkan respon tabung silinder ber dinding tipis saat mendapatkan beban axial. Pembebanan dilakukan dengan memberikan benturan pada kondisi kecepatan rendah sampai dengan kecepatan tinggi. Specimen dibuat dari aluminum alloy agar tidak terjadi strain hardening sedangkan penumbuk dibuat dari material steel. Hasil dari penelitian menunjukkan terjadi kenaikan gaya reaksi maksimum pada specimen ketika kecepatan tumbukan ditingkatkan. Pada kecepatan rendah, tekukan (wrinkle) terjadi pada satu tempat dan terjadi local buckling di dinding tipis. Sedangkan pada kecepatan tinggi wrinkle terjadi pada seluruh panjang specimen sehingga meningkatkan gaya reaksi maksimum. Pola deformasi pada cross-section specimen tidak mengalami perubahan yaitu tetap axis-symmetric.

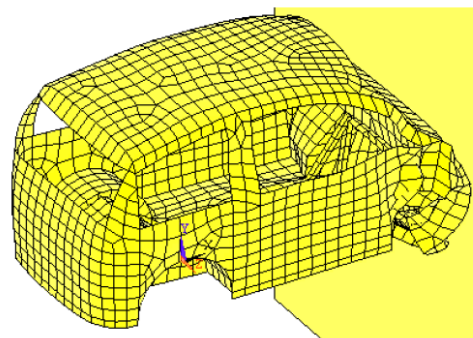
**Kata Kunci** — bukling, gaya reaksi, struktur ber dinding tipis, wrinkle

## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan struktur ber dinding tipis sebagai penyerap energi impak telah dikenal luas dan dipakai pada berbagai bidang [1]. Tabung silinder tipis memiliki keunggulan dalam hal ini melebihi struktur cross section yang lain. Penelitian tentang tabung tipis ini telah dilakukan oleh banyak peneliti sebelumnya [2],[3],[4], termasuk pada komposit aluminum [5]. Perbedaan antara tabung kotak yang lurus dan taper juga telah diteliti dalam hal kemampuan daya serap energi [6]. Tabung yang tanpa tutup dan dengan tutup juga memberikan respon yang berbeda pada saat mendapat tumbukan. Pemberian tutup terbukti mampu meningkatkan kemampuan daya serap energi [7]. Penggunaan metode numerik untuk melakukan uji respon uji statik dan dinamik terbukti mampu mendapatkan hasil yang mirip dengan percobaan yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya [8]. Pemberian rib atau rusuk pada tabung tipis juga terbukti mampu meningkatkan kemampuan energi impak disebabkan mode deformasi yang berubah akibat keberadaan rib itu [9].

Selain permasalahan energi yang bisa diserap pada saat terjadi pembebanan, permasalahan gaya reaksi juga mengalami perbedaan ketika dikenakan kecepatan yang berbeda. Penelitian dengan memberi beban impak kecepatan berbeda dengan jumlah energi sama telah dilakukan dan mendapatkan kesimpulan bahwa semakin tinggi kecepatan semakin besar gaya maksimum saat specimen yielding [10]. Penelitian tentang respon gaya maksimum pada specimen saat dikenakan beban impak sangat penting karena itu menyangkut gaya reaksi yang diterima penumpang atau barang yang akan dilindungi saat terjadi benturan.

Gambar 1. Simulasi Tabrakan dengan ANSYS LS DYNA [11]



Pada penelitian ini dilakukan uji specimen dengan metode elemen hingga dengan memberikan kecepatan berbeda pada sebuah specimen untuk mendapatkan respon berupa gaya reaksi maksimum yang diterima. Energi yang dipakai senantiasa bertambah dengan prinsip energi kinetik yang sangat dipengaruhi oleh kecepatan.

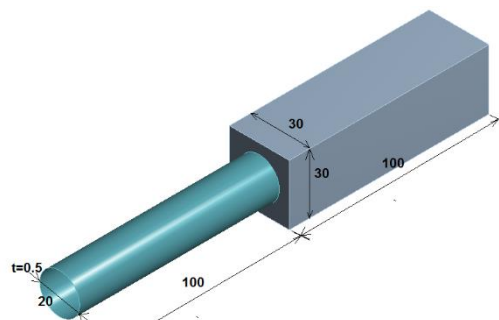
Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah mendapatkan informasi tentang pengaruh kecepatan tumbukan terhadap gaya reaksi maksimum dengan specimen berupa aluminum Alloy.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan analisis numerik menggunakan metode elemen hingga yaitu dengan membuat simulasi uji tabrak pada specimen aluminum alloy yang dengan membuat kondisi pengujian seperti kondisi sesungguhnya

Tabel 1 Properti Material

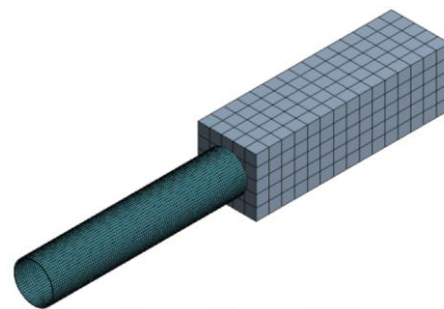
	Impactor	Specimen
Material	Steel	Aluminum Alloy
Density (kg/m <sup>3</sup> )	7880	2770
Poison Ratio	0.33	0.33
Modulus Elasticity (Pa)	2 x 10 <sup>11</sup>	7.1 x 10 <sup>10</sup>
Bulk Modulus (Pa)	-	69608
Shear Modulus (Pa)	-	26692



Gambar 2. Specimen dan Penumbuk

Tabel 2 Dimensi

	Impactor	Specimen
Geometri	Balok	Tabung Tapis tanpa tutup
Diameter (mm)	-	20
Ketebalan (mm)	-	0.5
Panjang (mm)	100	100
Lebar (mm)	30	-
Tinggi (mm)	30	-



Gambar 3. Diskritisasi

Pada satu sisi specimen dipasang fixed support dan massa menumbuk dari sisi yang lain. Energi kinetik dinyatakan sebagai

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots(1)$$

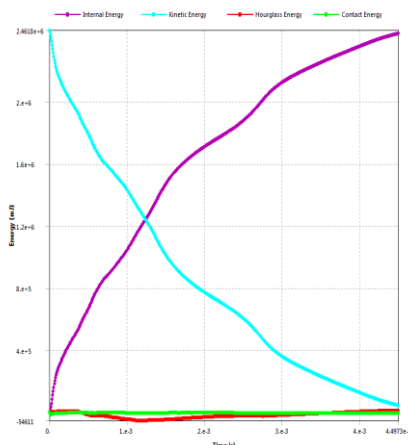
Adapun variasi pembebanan yang diberikan adalah sebagai berikut.

Tabel 3 Pembebanan Dinamik

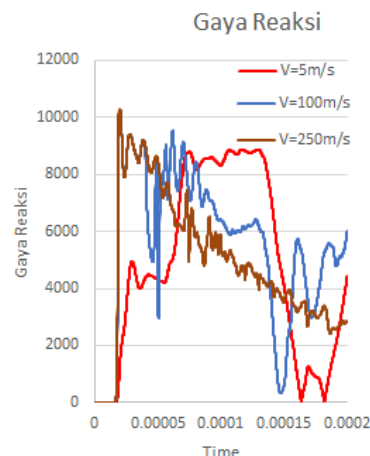
Massa (kg)	Kecepatan (m/s)	Energi (Joule)
0.7065	5	8.83125
0.7065	10	35.325
0.7065	25	220.7813
0.7065	50	883.125
0.7065	100	3532.5
0.7065	150	7948.125
0.7065	200	14130
0.7065	250	22078.13

Setelah pemodelan selesai maka dilakukan diskritisasi atau membagi kontinum menjadi elemen kecil dalam jumlah yang berhingga. Seperti bisa dilihat pada gambar 2.

Setelah pembebanan dilakukan maka energi kinetik dari impactor akan diserap oleh specimen berupa deformasi elastis maupun deformasi plastis yang terjadi. Proses penyerapan energi dapat dilihat seperti gambar 3



Gambar 4. Penyerapan Energi

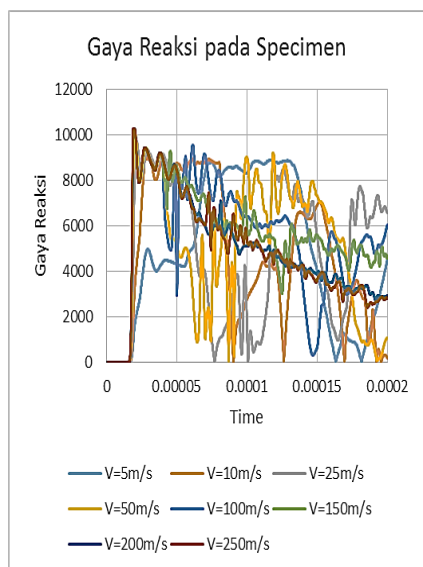


Gambar 6. Gaya Reaksi pada 3 Specimen

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

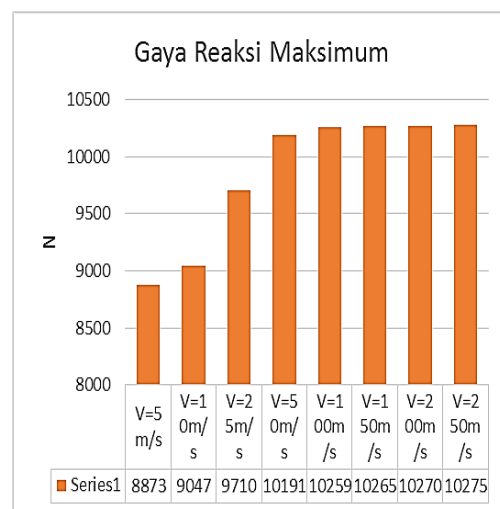
Hasil simulasi dengan perangkat lunak ANSYS Explicit Dynamic menunjukkan time history yang berbeda untuk gaya reaksi pada kecepatan yang berbeda. Gambar 4 menunjukkan gaya reaksi tersebut.

Pada kecepatan 5 m/s terlihat yield terjadi pada gaya yang cukup rendah kemudian pada 10 m/s mulai membesar. Untuk kecepatan 250 m/s terlihat grafik mencapai yielding dan berangsur menurun secara teratur. Jika gaya maksimum pada setiap specimen dibandingkan akan didapatkan gambar seperti berikut.



Gambar 5. Gaya Reaksi pada Specimen

Untuk memperjelas grafik jika diambil secara perwakilan pada kecepatan rendah 5 m/s, 100 m/s dan 250 m/s adalah sebagai berikut.

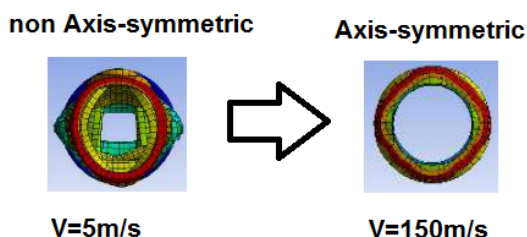


Gambar 7. Gaya Reaksi Maksimum pada semua specimen.

Pada gambar 6 terlihat gaya reaksi maksimum pada kecepatan rendah yaitu 5 m/s dan 10 m/s di bawah 9000N kemudian naik pada kecepatan tumbuk berikutnya. Hasil ini sesuai dengan percobaan dengan menggunakan energi yang sama sebelumnya yang terjadi kenaikan cukup besar pada kondisi kecepatan rendah menuju kecepatan tinggi [10].

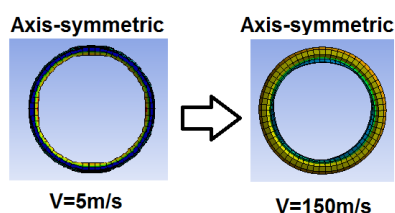
Mode deformasi yang didapatkan pada semua percobaan menunjukkan tidak terjadi perubahan dari axis-symmetric menjadi bentuk lain. Hal ini berbeda

dengan penelitian [10], yang mana terjadi perubahan dari non-axis symmetric menuju axis-symmetric.



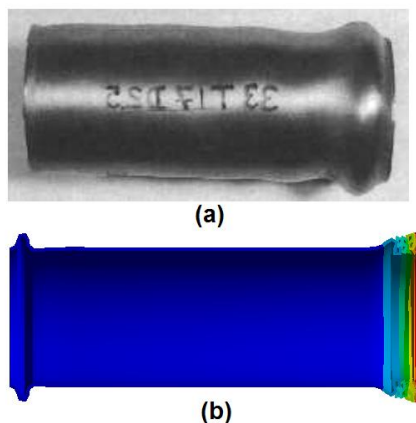
Gambar 8. Perubahan dari non axis-symmetric menuju axis symmetric

Sedangkan pada penelitian ini tidak ada perubahan pola deformasi yang terjadi.



Gambar 9. Pola Deformasi Tetap

Pengaruh strain rate juga meningkatkan gaya reaksi maksimum pada specimen [12], [13].



Gambar 10 (a). Hasil Percobaan Impak pada kecepatan tinggi [12] dan (b) Hasil simulasi dengan ANSYS Explicit Dynamic.

Dari gambar 10 didapatkan fakta bahwa pada kecepatan tinggi deformasi terjadi pada sepanjang silinder secara bersamaan dan dalam waktu yang singkat. Hasil percobaan dan hasil simulasi menunjukkan terjadinya tekukan (wrinkle) secara bersamaan. Hal ini juga meningkatkan gaya reaksi maksimum.

#### 4. SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan tumbuk maka semakin besar pula gaya reaksi. Pada kecepatan 5 m/s didapatkan gaya reaksi maksimum sebesar 8873.1 N dan pada kecepatan 150 m/s sebesar 10275 N. Perubahan sangat berarti pada kecepatan rendah ke kecepatan tinggi dan perubahan pada kecepatan 100 m/s ke atas sudah tidak terlalu signifikan. Strain rate sangat berperan pada gaya reaksi maksimum.

Pola deformasi pada penelitian ini tidak mengalami perubahan, yaitu tetap axis-symmetric pada kecepatan rendah 5 m/s sampai kecepatan tinggi 250 m/s.

Hasil dari penelitian ini merupakan rekomendasi dalam sebuah konstruksi tabung ber dinding tipis sebagai penyerap energi.

#### 5. SARAN

Penelitian ini hanya memakai satu jenis material yaitu aluinium alloy yang tidak mengalami strain hardening, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada material lain.

Dimensi dari specimen sangat mempengaruhi hasil penelitian oleh karena itu perlu dilakukan penelitian pada dimensi dan D/t ratio yang lain.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. A. A. Alghamdi, "Collapsible impact energy absorbers: An overview," *Thin-Walled Struct.*, vol. 39, no. 2, pp. 189–213, 2001.
- [2] Z. Ahmad, "Impact and Energy Absorption of Empty and Foam-filled Conical Tubes," *Proc. COBEM*, no. December, 2009.
- [3] Z. G. Wei, J. L. Yu, and R. C. Batra, "Dynamic buckling of thin cylindrical shells under axial impact," *Int. J. Impact Eng.*, vol. 32, no. 1–4, pp. 575–592, 2006.
- [4] M. Higuchi, Y. Hamaguchi, S. Suzuki, and T. Adachi, "Dynamic Behavior of a Circular Tube Subjected to High Impact Loading," *6th Int. Symp. Adv. Sci. Technol. Exp. Mech.*, pp. 3–5, 2011.
- [5] J. Bouchet, E. Jacquelin, and P. Hamelin, "Static and dynamic behavior of combined composite aluminum tube for automotive applications," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 60, no. 10, pp. 1891–1900, 2000.

- [6] G. Nagel, "(TEZ) Impact and Energy Absorption of Straight and Tapered Rectangular Tubes," no. February, p. 324, 2005.
- [7] A. Ghamarian and M. Tahaye Abadi, "Axial crushing analysis of end-capped circular tubes," *Thin-Walled Struct.*, vol. 49, no. 6, pp. 743–752, 2011.
- [8] D. Al Galib and A. Limam, "Experimental and numerical investigation of static and dynamic axial crushing of circular aluminum tubes," *Thin-Walled Struct.*, vol. 42, no. 8, pp. 1103–1137, 2004.
- [9] T. Adachi, A. Tomiyama, W. Araki, and A. Yamaji, "Energy absorption of a thin-walled cylinder with ribs subjected to axial impact," *Int. J. Impact Eng.*, vol. 35, no. 2, pp. 65–79, 2008.
- [10] W. Hardi, "The effect of impact velocity to the reaction force, the deformation length and the deformation mode on a thin aluminum tube," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1569, no. 4, 2020.
- [11] W. Hardi, *Analisis elemen hingga untuk uji tabrakan mobil dengan ansys ls dyna*. Bandung: Media Sains Indonesia, 2022.
- [12] N. Jones, *Structural Impact*. Cambridge, 1989.
- [13] Guoxing Lu and Tongxi Yu, *Energy absorption of structures and materials*. Cambridge: CRC Press LLC, 2003.