

PENGARUH SUDUT *CRUSH INITIATOR* BERBENTUK LUBANG LINGKARAN TERHADAP KRITERIA *CRASHWORTHINESS* PADA TABUNG PERSEGI BERDINDING TIPIS

Jos Istiyanto*, Felix Dionisius

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok,
Depok 16424, Indonesia

*josist@eng.ui.ac.id

Abstrak

Crashworthiness merupakan kemampuan komponen struktural yang berfungsi untuk mengurangi dampak cedera pada penumpang saat terjadi tabrakan pada kendaraan. Komponen struktural yang dipakai pada umumnya mempunyai ketebalan dinding yang tipis yang berfungsi untuk menyerap energi saat tabrakan. Salah satu cara untuk mengurangi dampak cedera adalah penggunaan konsep *crush initiator* yang dipakai pada komponen struktural. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan tabung persegi berdinding tipis sebagai salah satu komponen struktural yang menggunakan *crush initiator* berbentuk lubang lingkaran saat diberikan beban aksial dinamik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kriteria *crashworthiness* dengan variasi sudut *crush initiator* antara titik tengah garis penghubung 2 lubang *initiator* dengan garis tegak lurus terhadap arah beban aksial serta rekomendasi disain terbaik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi numerik dengan bantuan program ESI PAM-Crash dengan permodelan impaktor, spesimen dan *fix support*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh variasi sudut *crush initiator* terhadap kriteria *crashworthiness*. Dari hasil pengaruh tersebut, diketahui pula disain terbaik terdapat pada 0-30° yang dapat dijadikan sebagai salah satu rekomendasi disain.

Kata kunci : *Crashworthiness*, sudut *crush initiator*, PAM-Crash, tabung berdinding tipis

Pendahuluan

Penggunaan komponen struktur berdinding tipis sangat banyak digunakan dalam dunia industri antara lain otomotif, penerbangan, pelayaran dan konstruksi. Beberapa keunggulan komponen tersebut diantaranya sangat banyak tersedia di pasaran, ekonomis dan mampu menyerap energi khususnya sistem keselamatan penumpang saat tabrakan yang dikenal dengan *crashworthiness*.

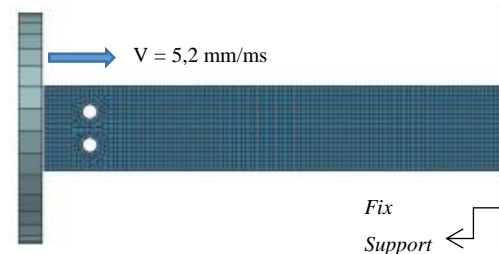
Salah satu cara untuk mengurangi dampak pada penumpang saat terjadi kecelakaan serta meningkatkan kriteria *crashworthiness* dengan penggunaan *crush initiator* pada kompoenn struktural. Abramowicz dan Jones [1] menggunakan *crush initiator* untuk mengetahui proses transisi yang mengakibatkan fenomena *general buckling* ke *progressive buckling*

pada tabung dengan aplikasi *general imperfections*. Browne et al [2] melakukan analisa pengaruh *crush initiator* pada tabung roll *wrapped* komposit pada saat diberikan beban aksial dengan proses *drop test*. Cho et al [3] juga melakukan optimasi desain *frame* depan kendaraan dengan menggunakan *hole-type* dan *dent-type crush initiator* saat diberikan beban aksial. Eren et al [4] melakukan analisa komputasi eksplisit *non-linear* pada disain baru *crush initiator* dengan tipe *rib* pada tabung bujur sangkar berdinding tipis dengan bantuan program ANSYS/LS-DYNA. Zhang et al [5] menambah *buckling initiator* pada *circular tube* untuk mendapatkan hasil beban tumbukan puncak saat diberikan beban aksial. Bagian atas *tube* diberikan *initiator* dengan menghubungkan 3 titik dengan sudut yang sama pada bagian atas

tube. Kemudian Zhang et al [6] juga mempelajari pengaruh *buckling initiator* pada bagian atas *square tube* untuk mendapatkan beban tumbukan puncak dan penyerapan energi selama diberikan beban aksial. Yuen et al [7] [8] mempelajari karakteristik *crashworthiness* dari *square tube* secara eksperimen dan simulasi numerik dengan menggunakan *blast-induced impections* saat diberikan beban aksial. Gumruk et al [9] menggunakan disain *trigger* pada *semi-circular* untuk mendapatkan beban tumbukan puncak dan penyerapan energi. Pengaruh ini dibahas dengan menggunakan metode simulasi LS-DYNA. Rezvani et al [10] juga mempelajari tentang pengaruh kriteria *crashworthiness* dengan variasi *crush initiator* dan massa pada tabung silinder. *Multi-criteria decision analysis* digunakan untuk mencari disain optimal pada tabung silinder. Konsep *crush initiator* diteliti juga oleh Suci Hakimian [11] dimana dengan penggunaan *crush initiator* dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap gaya tumbukan puncak saat mengalami beban aksial secara kuasi statik dan kuasi dinamik. Perwira [12] juga sudah meneliti pengaruh *crush initiator* menggunakan bentuk lingkaran pada tabung bujur sangkar dengan variasi diameter dan posisi dengan metode elemen hingga ANSYS/LS-DYNA. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *crush initiator* jika dilakukan variasi sudut *crush initiator* antara titik tengah dari garis penghubung 2 lubang *initiator* dengan garis tegak lurus pada setiap panel spesimen dengan garis tegak lurus terhadap beban aksial. Dua *initiator* ini akan diterapkan pada setiap panel dari spesimen. Dengan mengetahui pengaruh tersebut, dapat juga diketahui nilai terbaik setiap kriteria *crashworthiness* yang dapat dijadikan rekomendasi disain.

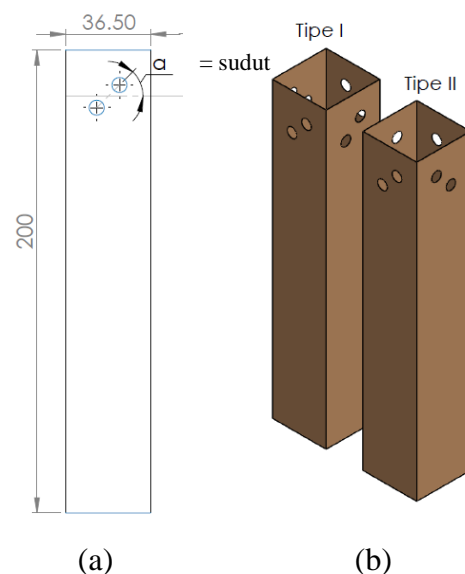
Metode Penelitian

Dalam melakukan penelitian diperlukan beberapa tahapan untuk mendapatkan data atau hasil yang optimal yang berhubungan dengan kriteria *crashworthiness*.



Gambar 12. Model Uji Impak

Penelitian ini menggunakan beberapa parameter untuk mengetahui adanya pengaruh kriteria *crashworthiness* seperti geometri spesimen, sifat material, kondisi awal saat tabrakan. Variasi hanya dilakukan pada sudut *crush initiator* berbentuk 2 lubang lingkaran. Sudut tersebut merupakan nilai antara titik tengah dari garis penghubung 2 *initiator* terhadap garis tegak lurus dari arah beban dinamik. Konsep ini dapat ditunjukkan melalui Gambar 13a.



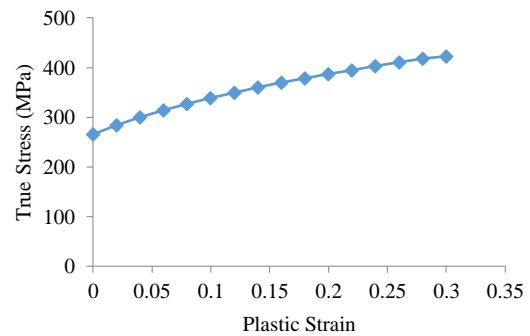
Gambar 13. Variasi sudut spesimen berdasarkan: a) sudut ; b) tipe

Sudut ini juga menghasilkan variasi tipe antara sisi panel spesimen. Tipe 1

mempunyai pola sudut yang sama tiap sisi panel spesimen sedangkan tipe 2 mempunyai bentuk pola berbeda antara 2 sisi *panel* dengan 2 sisi panel lain seperti Gambar 13b.

Spesimen. Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah tabung persegi 36,5 x 36,5 x 200 (mm) dan diberikan *crush initiator* berbentuk lubang lingkaran berdiameter 6,5 mm dan ketebalan dinding 0,8 mm dengan jarak 20 mm dari ujung spesimen dengan variasi sudut 0, 30, 45, 60, 90 seperti pada Gambar 2.

Metode Elemen Hingga. Penelitian ini menggunakan simulasi numerik dengan bantuan program PAM-Crash yang menggunakan metode elemen hingga eksplisit. Permodelan geometri dilakukan dengan bantuan program Solidworks dengan model *surface*. Permodelan elemen menggunakan Visual Mesh dengan tipe *shell element Belytschko-Tsay* dengan ukuran mesh 2 mm pada spesimen (Gambar 12). PAM-Crash digunakan untuk melakukan set-up konsep pengujian. Ketebalan impaktor dan *fix-end* 10 dan 1 mm dan dimodelkan sebagai *rigid body*. Kecepatan awal impaktor 5,2 mm/ms saat awal tabrakan dengan massa 80 kg (Gambar 12). Kontak antara tabung itu sendiri menggunakan tipe 36 dengan jarak kontak sesuai dengan ketebalan spesimen sedangkan antara tabung dengan impaktor dan fix end menggunakan tipe 33 *segment to segment* dengan jarak kontak 1 mm dengan koefisien gesekan 0,74 [13]. Material yang digunakan adalah material lokal dengan properties yang ada pada Gambar 14.



Gambar 14. Properties material

Crashworthiness. Untuk mengevaluasi *crashworthiness* dari tabung ber dinding tipis yang akan diteliti, seperti kriteria kuantitatif antara lain penyerapan energi (EA), penyerapan energi spesifik (SEA), gaya tumbukan maksimum (P_{max}) dan efisiensi gaya tumbukan (CFE). Pada kriteria *crashworthiness*, P_{max} yang paling kecil dan energi spesifik yang paling besar [11] merupakan kriteria yang ingin dicapai dalam penelitian ini. Untuk mencari nilai dari kriteria *crashworthiness* terdapat dalam Pers. 1-4.

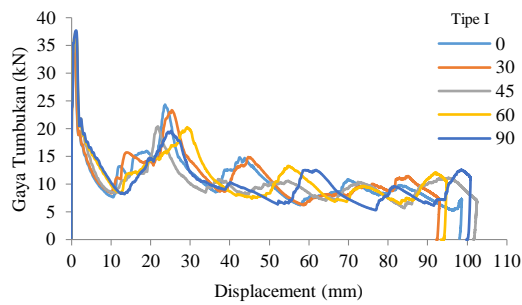
$$EA(\Delta) = \int_0^{\Delta} P(\Delta) \quad (1)$$

$$SEA(\Delta) = \frac{EA(\Delta)}{mass} \quad (2)$$

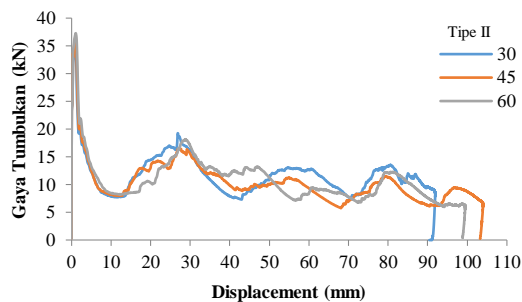
$$P_{mean}(\Delta) = \frac{EA(\Delta)}{d} \quad (3)$$

$$CFE = \frac{P_{mean}(\Delta)}{P_{max}} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana Δ adalah total *crash displacement* dan $P(\Delta)$ adalah gaya tumbukan, mass adalah massa dari suatu spesimen. Indikator CFE merupakan indikator yang menunjukkan keseragaman konsistensi dari suatu beban [14] dimana nilai tertinggi atau maksimal yang diharapkan adalah 100%.



(a)



(b)

Gambar 15. Gaya tumbukan dengan variasi sudut : a) tipe I; b) tipe II

Hasil dan Diskusi

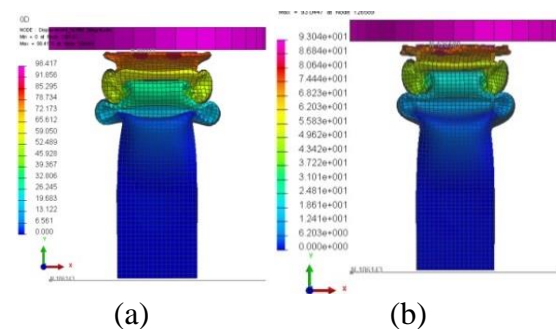
Dalam penelitian *crashworthiness*, komponen struktural dengan penampang tertutup akan menghasilkan model *buckling* dimana mengalami proses transisi dari *general buckling* ke *progressive buckling* [1]. Gambar 5 menunjukkan fenomena *progressive buckling* dimana dari sudut 0° - 30° mengalami lipatan yang teratur sedangkan sudut 30° tipe 2 mengalami lipatan yang tidak teratur. Proses terjadinya fenomena ini, dapat menghasilkan gaya non-linear terhadap *displacement* yang terjadi selama tabrakan dan dianalisa dengan metode simulasi numerik. Dengan menggunakan persamaan 1-4, didapat beberapa kriteria *crashworthiness* yang ditampilkan pada **Error! Not a valid bookmark self-reference..**

Dari hasil yang ada pada Tabel 2, jika dianalisa berdasarkan persentasi kenaikan dan penurunan dengan sudut acuan 0° yang sudah dianalisa oleh Hakiman [11], didapat disain terbaik ada pada sudut 0° - 30° baik dengan sudut tipe I maupun II. Disain

tersebut didapat dengan mempertimbangkan kriteria *crashworthiness* dimana kriteria yang hanya mengalami perubahan signifikan hanya pada CFE dan P_{max} . Ini diakibatkan oleh luas penampang saat tekukan pertama berada di *initiator* yang ditunjukkan pada Gambar 7. Suatu spesimen dengan luas penampang yang kecil dan tegangan normal yang konstan, akan menghasilkan penurunan beban tumbukan. Sedangkan untuk SEA tidak mengalami perubahan signifikan jika dilihat dari Gambar 6.

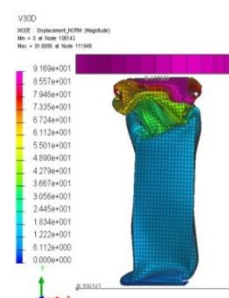
Tabel 2. . Hasil Kriteria *Crashworthiness*

Tipe	Sudut ($^{\circ}$)	P_{max} (kN)	CFE (%)	SEA (J/kg)
I	0	35.870	30.527	5937.344
	30	35.416	32.754	5934.748
	45	37.095	28.467	5946.624
	60	37.479	30.444	5945.499
	90	37.735	28.382	5938.455
II	30	35.738	32.962	5954.121
	45	36.408	28.647	5964.784
	60	37.329	29.093	5940.458



(a)

(b)



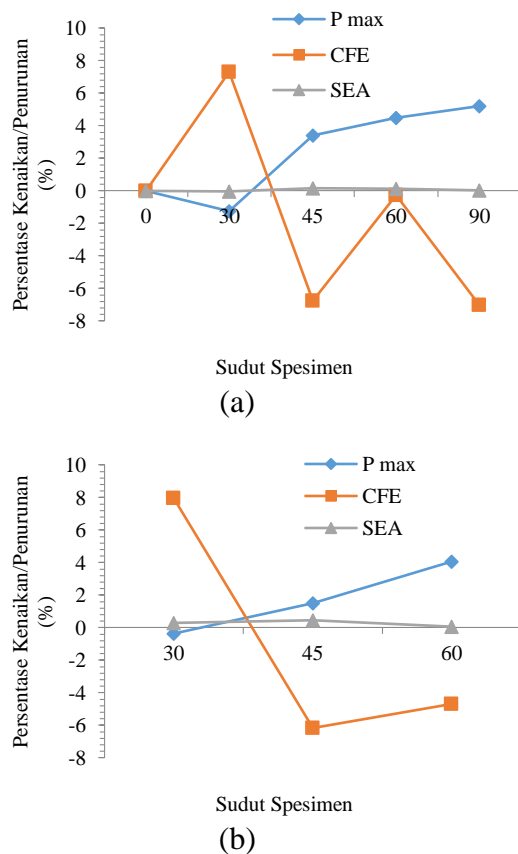
(c)

Gambar 16. Lipatan tabung berdinging tipis dengan sudut: a) 0° ; b) 30° tipe I ; c) 30° tipe II

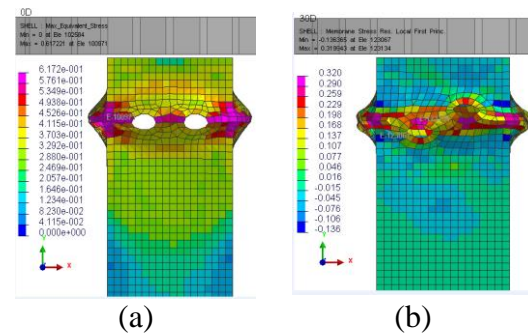
Kesimpulan

Dari hasil penelitian dengan metode simulasi numerik dapat disimpulkan dengan awal bahwa:

1. Adanya pengaruh pada kriteria *crashworthiness* jika *crush initiator* diberikan variasi sudut
2. Disain terbaik yang dapat menjadi rekomendasi dengan mempertimbangkan setiap kriteria *crashworthiness* ada pada sudut *crush initiator* dengan sudut 0^0 - 30^0 baik dengan sudut tipe I maupun II.



Gambar 17. Persentasi Kenaikan/Penurunan Kriteria *Crashworthiness* : a) Tipe I ; b) Tipe II



Gambar 7. Tekukan awal pada sudut : a) 0^0 ; b) 30^0

Referensi Literatur

- [1] W. Abramowicz and N. Jones, "Transition from initial global bending to progressive buckling of tubes loaded statically and dynamically," *International Journal of Impact Engineering*, vol. 19, no. 5-6, pp. 415-437, May-July 1997.
- [2] Alan L. Browne and Nancy L. Johnson, "Dynamic Axial Crush Test of Roll Wrapped Tubes : Plug vs. Non-Plug Crush Initiators," *ASME 2005 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, pp. 317-325, November 2005.
- [3] Yong-Bum Cho, Chul-Ho Bae, Myung-Won Suh, and Hyo-Chol Sin, "A Vehicle Front Fume Crash Design Optimization using Hole-Type and Dent-Type Crush Initiator," *Thin-Walled Structure*, vol. 44, no. 4, pp. 415-428, April 2006.
- [4] I. Eren, Y. Gur, and Z. Aksoy, "Finite Element analysis of Collapse of Front Side Rails with New Types of Crush Initiator," *International Journal of Automotive Technology*, vol. 10, no. 451-457, 2009.
- [5] X. W. Zhang, Q. D. Tian, and T. X. Yu, "Axial Crushing of Circular Tubes with Buckling Initiators," *Thin-Walled Structures*, vol. 47, no. 6-7, pp. 788-797, June-July 2009.

- [6] X. W. Zhang, H. Su, and T. X. Yu, "Energy Absorption of An axially Crushed Square Tube With A Buckling Initiator," *International Journal of Impact Engineering*, vol. 36, no. 3, pp. 402-417, March 2009.
- [7] S. Chung Yuen and G. N. Nurick, "The Crushing Characteristics of Square Tubes with Blast-Induced Imperfections-Part I : Experiments," *Journal of Applied Mechanics*, vol. 76, no. 5, June 2009.
- [8] S. Chung Kim Yuen and G. N. Nurick, "The Crushing Characteristics of Square Tubes With Blast Induced Imperfections-Part II : Numerical Simulations," *Journal of Applied Mechanics*, vol. 76, no. 5, June 2009.
- [9] Recep Gumruk and Sami Karadeniz, "A Numerical Study of The Influence of Bump Type Triggers on THE Axial Crushing of Top Hat Thin-Walled Sections," *Thin-Walled Structures*, vol. 46, no. 10, pp. 1094-1106, October 2008.
- [10] Mohammad Javad Rezvani and Ali Jahan, "Effect of Initiator, Design, and Material on Crashworthiness Performance of Thin-Walled Cylindrical Tubes : A Primary Multi-Criteria analysis in Lightweight Design," *Thin-Walled Structure*, vol. 96, pp. 169-182, November 2015.
- [11] Suci Hakiman, "Desain Crush Initiators Pada Front Rail Mobil Listrik Universitas Indonesia," Universitas Indonesia, Depok, Tesis Magister 2014.
- [12] Muhammad Yudha Perwira, "Optimasi Variasi Posisi dan Diameter Crush Initiators pada Tabung Baja Struktural Tipis Bujur Sangkar Menggunakan ANSYS," Universitas Indonesia, Depok, Skripsi 2015.
- [13] Anonymous. (2016) Kshitij Education India Private Limited. [Online]. <http://www.kshitij-iitjee.com/Forces-of-friction> (diakses 22 Juni 2016)
- [14] Tang Zhiliang, Shutian Liu, and Zonghua Zhang, "Analysis of energy absorption characteristic of cylindrical multi-cell columns," *Thin Walled Structure*, vol. 62, pp. 75-84, Januari 2013.