

## Pengembangan *Impact Energy Absorber* Dengan Pengaturan Jarak *Crash Initiator*

Danardono A.S.<sup>1,a\*</sup>, Mohammad Malawat<sup>2,b</sup>, Jos Istiyanto<sup>3,c</sup>

<sup>1,2,3</sup>Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia Depok, Indonesia

<sup>a</sup>[danardon@eng.ui.ac.id](mailto:danardon@eng.ui.ac.id), <sup>b</sup>[malawat72@gmail.com](mailto:malawat72@gmail.com), <sup>c</sup>[josist@eng.ui.ac.id](mailto:josist@eng.ui.ac.id),

### Abstrak

Energy sekitar  $1,9 \times 10^6$  Joule yang timbul akibat tabrakan kendaraan bus harus dapat dilepas dalam waktu singkat menggunakan penyerap enersi tumbukan (*Impact Energy Absorber/IEA*) yang diletakan pada zona rusak (*crumple zone*) sehingga dampak utama tabrakan terhadap pengemudi dan penumpang yang berada di dalam kabin dapat dikurangi serta menjadi daerah aman dampak (*safety zone*). Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh perkiraan posisi dari penyulut awal lipatan (*crush initiator*) agar IEA memiliki gaya puncak tumbukan yang rendah dan memiliki *crash force efficiency (CFE)*, *energy absorption (EA)*, serta *specific energy absorbtion (SEA)* dengan pendekatan menggunakan metode eksperimental uji jatuh (*droop test*) untuk memperoleh nilai parameter IEA yang riil dan tepat. *Load cell* yang digunakan untuk mengukur gaya (*force*) berkapasitas 88,9 kN pada tinggi beban jatuh sekitar 1,5 m serta dengan muatan beban jatuh sekitar 80 kg. Unit kamera *high speed* berkemampuan 1000 *frame per second* digunakan untuk melihat *progressive buckling* spesimen serta untuk memperoleh *displacement* yang terjadi persatuan waktu. Bahan material IEA terbuat dari baja komersial berbentuk profil selongsong bujur sangkar (*hollow square tube*) dengan *crush initiator* berupa lubang berdiameter 6,5 mm.

Hasil eksperimental menunjukkan bahwa jarak *crush initiator* sekitar 10 mm dari ujung pangkal tumbukan menunjukkan hasil yang lebih baik dengan gaya tumbukan pertama yang rendah yaitu sekitar 34 kN dengan nilai *CFE* sekitar 41%, nilai *EA* sekitar  $0,7 \times 10^3$  Joule atau 66%. Nilai sekitar  $4,1 \times 10^3$  Joule/Kg.

**Kata kunci** : *impact energy absorber, crush initiator*.

### Pendahuluan

Korps Lalu Lintas Kepolisian Republik Indonesia (Korlantas Polri) merilis data kecelakaan bahwa pada tahun 2012 telah terjadi kecelakaan sebanyak 117.949 kejadian dan tahun 2013 sebanyak 100.106 kejadian [1]. Angka kecelakaan ini menunjukkan penurunan sebesar 17,82 %. Walaupun terjadi penurunan, angka ini masih tinggi dan berarti bahwa kecelakaan lalu lintas yang terjadi di jalan terus-menerus terjadi dan tidak bisa dihindari.

Selain isu angka kecelakaan, isu lingkungan hidup akibat gas buang dan isu konservasi energi sebagai sumber energi kendaraan bermotor, juga harus dipertimbangkan, oleh karena itu kecelakaan yang melibatkan kendaraan angkutan masal seperti

halnya bus bertenaga listrik menjadi sangat menarik sebagai objek penelitian ini.

Berkaitan dengan isu tersebut maka Universitas Indonesia dalam beberapa tahun terakhir membuat purwarupa kendaraan listrik. Salah satu purwarupa adalah bus listrik. Gambar 1 menampilkan purwarupa bus listrik buatan Indonesia. Prinsip *safety* bus listrik sebenarnya sama dengan bus konvensional lainnya. Namun secara umum kejadian kecelakaan yang melibatkan bus dapat menimbulkan energi yang sangat besar.

Pelepasan energi yang timbul akibat kejadian tabrakan kendaraan bus dapat mencapai kekuatan sekitar  $1,9 \times 10^6$  Joule. Dampak kerusakan kendaraan akibat pelepasan energi ini seharusnya tidak

membuat cedera fatal pada pengemudi dan penumpang yang berada di dalam kabin (*safety zone*). Untuk mencegah kerusakan fatal pada badan kendaraan, maka dipandang perlu dirancang model *impact energy absorber* yang mempunyai posisi *crash initiator* tertentu serta diletakkan pada zona rusak (*crumple zone*) sehingga dampak tabrakan tidak mengakibatkan cedera fatal terhadap pengemudi maupun penumpang yang berada di dalam kabin (*safety zone*) [3].

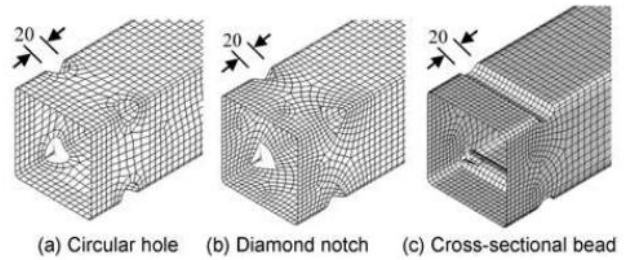


Gambar 1. Bus listrik konversi  
 (sumber: [indonesiaproud.wordpress.com](http://indonesiaproud.wordpress.com))

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan letak posisi *crash initiator* yang terbaik pada rancangan *impact energy absorber*, serta mendapatkan *impact energy absorber* yang memiliki gaya puncak awal (Peak Force) cukup rendah, serta mendapatkan *crash force efficiency (CFE)*, *energy absorption (EA)*, serta *specific energy absorption (SEA)* yang maksimal.

**Teori Dasar**

*Crash initiators* adalah titik terlemah dalam penampang persegi kolom, dan sengaja ditempatkan untuk memicu lipatan lokal dengan maksud mengurangi beban puncak awal dan memastikan penyerapan energi yang signifikan. Terdapat 3 jenis *crash initiators* yang ditempatkan pada sudut kolom persegi yaitu *circular hole*, *diamond notch*, dan *cross section bead* (Gambar 2) [4]. *Crash Initiators Geometric imperfections* diterapkan di sudut-sudut lintas belah kolom persegi.



Gambar 2. Berbagai jenis *crash initiators*

F. Tarlochan et al. (2013) telah melakukan simulasi *finite elemen method* menggunakan ANSYS LS-DYNA memperoleh hasil bahwa hexagonal tube dengan tebal 2 mm dan diisi aluminum foam serta dilengkapi mekanisme pemicu, menunjukkan potensi baik sebagai IEA untuk membantu mengurangi cedera serius pada penumpang kendaraan bermotor [5]. Sementara C. Priem, et al. (2014) telah melakukan uji jatuh terhadap *Carbon/polyamide* dan *glass/polypropylene tubes* dimana nilai SEA mencapai 70% lebih tinggi *carbon/polyamide* [6].

Berikut rumus untuk menghitung karakteristik *impact energy absorber* [5-8]

$$CFE = \frac{F_{avg}}{F_{max}} \dots\dots\dots (1)$$

$$EA = \int_0^{d_{max}} FdS \dots\dots\dots (2)$$

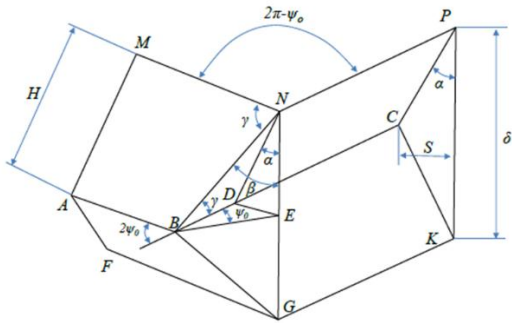
$$SEA = \frac{EA}{m} \dots\dots\dots (3)$$

di mana:

- $F_{max}$  : Gaya maksimum (*the peak force*).
- $F_{avg}$  : Gaya rata-rata (*the average force*).
- $CFE$  : *crash force efficiency parameter*  $\delta$ .
- $\delta_{max}$  : *the maximum consumed length*.
- $EA$  : *the total energy absorbed. In crushing the structure is equal to the area under the load–displacement curve.*
- $SEA$  : *the specific energy absorption.*
- $m$  : *the crushed mass of the component.*

Model teori *basic folding mechanism (BFM)* biasa digunakan untuk menghitung energi yang hilang dengan mekanisme tekukan. Bentuk kerusakan diharapkan konsisten secara geometrik dan kinematic akan terjadi, terdiri dari 4(empat) elemen

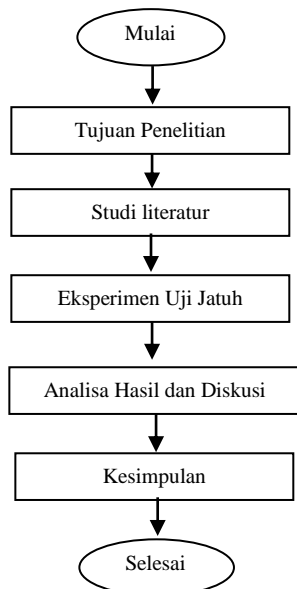
trapezoidal [9], yaitu satu bagian dari dua permukaan horisontal silinder, dua permukaan conical, dan satu permukaan torodial. Sedangkan mekanisme yang berbeda saat penguraian energi adalah deformasi ekstensional permukaan toroidal, tekukan di sekitar engsel horisontal garis AB dan BC, tekukan cenderung sekitar garis engsel NB dan BG (Gambar 3).



Gambar 3. Basic folding mechanism [9]

### Metode Penelitian

**Bagan Alir.** Penelitian ini memiliki alur pemikiran (*flow of thinking*) sebagaimana bagan alur berikut ini:



Gambar 4. Bagan alir penelitian.

Benda uji (spesimen) berupa besi komersial hollow bujur sangkar ukuran 40x40 mm (kenyataan jika diukur didapat hanya 36,5x36,5 mm). Tebal spesimen 0,8 mm. Terdapat 6 model spesimen yaitu *impact*

*energy absorber* tanpa *crush initiator*, dengan *crush initiator* berupa lubang dengan diameter 6,5 mm dan dengan posisi 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, serta 50 mm dari ujung atas. Pada Gambar 5 diperlihatkan model spesimen dengan kode B-501 untuk *impact energy absorber* tanpa *crush initiator*, B-502 untuk *impact energy absorber* dengan posisi *crush initiator* 10 mm, dan seterusnya B-503, B-504, B-505, serta B-506. Pengambilan data dilakukan sebanyak 4 kali yaitu spesimen dengan kode B-2, B-3, B-4, dan B-5, sehingga jumlah total adalah 24 spesimen.



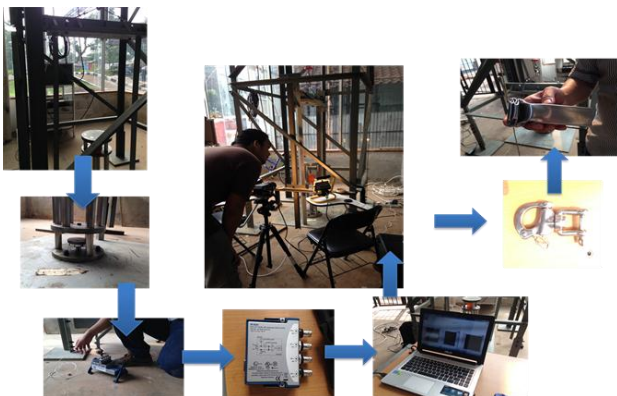
Gambar 5. Spesimen sebelum diuji.

Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimental uji jatuh (*droop test*) untuk memperoleh komponen parameter *impact energy absorber* yang riil dan tepat. *Load cell* yang digunakan untuk mengukur gaya (force) berkapasitas 88,9 kN, dan tinggi beban jatuh hingga menyentuh *rig* adalah sekitar 1,5 m serta kapasitas beban jatuh sekitar 80 kg.



Gambar 6. Menara uji jatuh tinggi 3 m dengan tinggi beban jatuh 1,5 m

Penggunaan unit kamera khusus dengan kemampuan 1000 *frame per second* (*fps*) untuk melihat *progressive buckling* spesimen dan untuk memperoleh *displacement* yang terjadi setiap saat.



Gambar 7. Set up alat uji jatuh dan kamera *high speed*.

**Set up alat uji.** Memastikan bahwa semua alat berfungsi dengan baik. Mulai dari *rig*, *load cell*, konektor, alat transfer data, *software labview* sampai dengan kamera *high speed*. Pengaturan yang baik akan memberikan hasil penelitian yang baik pula.

### Hasil dan Pembahasan

Uji jatuh dilakukan pada Laboratorium Teknologi Mekanik, Gedung *Manufacturing and Material Research Center* lantai 1 Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia Depok. Menara setinggi 3 meter dengan ketinggian jatuh beban 1,5 meter menghasilkan tumbukan dengan kecepatan 5,4 m/s atau setara dengan kecepatan kendaraan 19,4 km/jam sebagaimana kesetimbangan energi kinetik dan potensial. Energi potensial yang timbul akibat tumbukan beban seberat 80 kg adalah sebesar  $1,1 \times 10^3$  Nm.

$$E_k = E_p \dots\dots\dots (4)$$

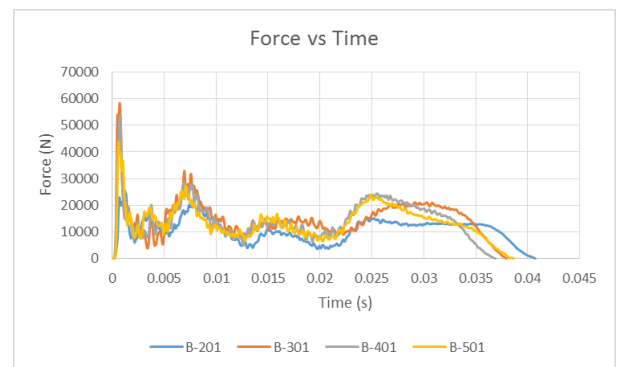
$$V = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots (5)$$

di mana,

g : gaya gravitasi ( $9.8 \text{ m/s}^2$ )

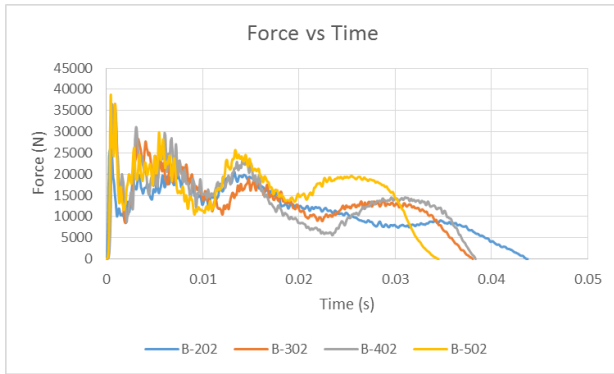
h : tinggi (m)

Energy potensial tersebut akan diserap oleh *impact energy absorber* yang didesain menggunakan *crash initiator* berupa lubang dengan diameter 6,5 mm. Dari uji jatuh yang dilakukan, diperoleh hasil sebagaimana Gambar 8 sampai dengan Gambar 13. Data ini merupakan data awal penelitian,



Gambar 8. Grafik hasil uji untuk spesimen B tanpa *crash initiator*.

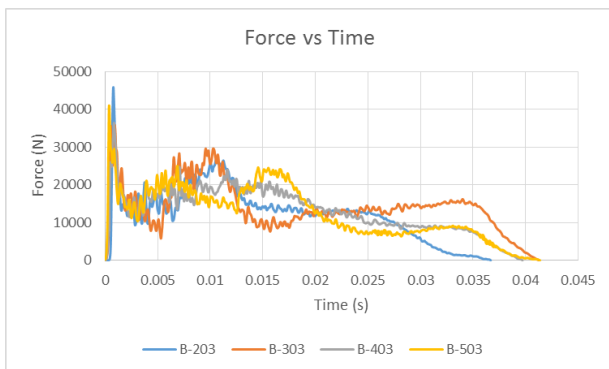
Gambar 8 menunjukkan hasil uji jatuh terhadap desain *impact energy absorber* tanpa menggunakan *crash initiator*. Nilai gaya maksimum yang terjadi mulai dari  $25,4 \times 10^3$  N hingga  $58,3 \times 10^3$  N (lihat Tabel 1). Durasi kejadian tumbukan 37 ms hingga 41 ms.



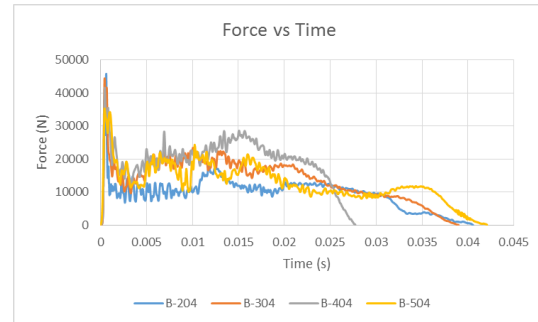
Gambar 9. Grafik hasil uji untuk spesimen B posisi *crash initiator* 10 mm.

Gambar 9 menunjukkan hasil uji jatuh terhadap desain *impact energy absorber* dengan menggunakan *crash initiator* berjarak 10 mm dari ujung atas spesimen. Nilai gaya maksimum yang terjadi mulai dari  $25,6 \times 10^3$  N sampai dengan  $38,7 \times 10^3$  N (lihat Tabel 1). Durasi kejadian tumbukan 38 ms hingga 45 ms.

Gambar 10 menunjukkan hasil uji jatuh terhadap desain *impact energy absorber* dengan menggunakan *crash initiator* berjarak 20 mm dari ujung atas spesimen. Nilai gaya maksimum yang terjadi mulai dari  $35,8 \times 10^3$  N hingga  $45,8 \times 10^3$  N (lihat Tabel 1). Durasi kejadian tumbukan 36 ms hingga 41 ms.



Gambar 10. Grafik hasil uji untuk spesimen B posisi *crash initiator* 20 mm.

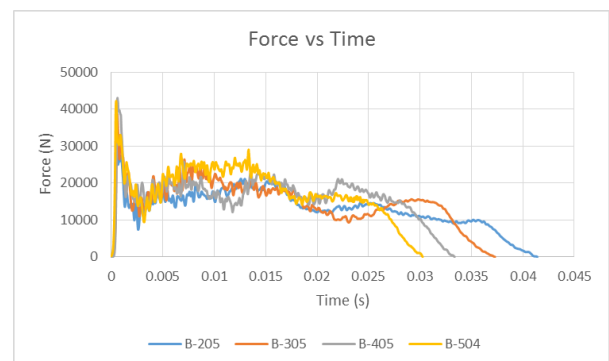


Gambar 11. Grafik hasil uji untuk spesimen B posisi *crash initiator* 30 mm.

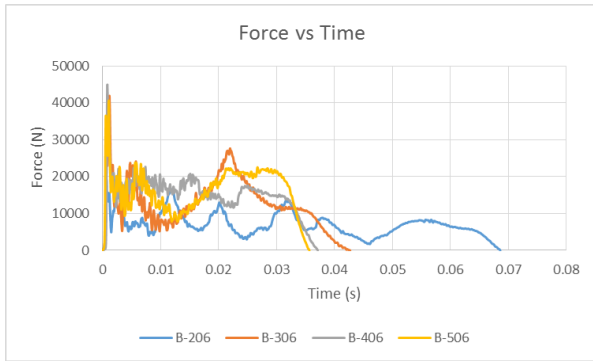
Gambar 11 menunjukkan hasil uji jatuh terhadap desain *impact energy absorber* dengan menggunakan *crash initiator* berjarak 30 mm dari ujung atas spesimen. Nilai gaya maksimum yang terjadi mulai dari  $35,2 \times 10^3$  N sampai dengan  $45,6 \times 10^3$  N (lihat Tabel 1). Durasi kejadian tumbukan 27 ms hingga 42 ms.

Gambar 12 menunjukkan hasil uji jatuh terhadap desain *impact energy absorber* dengan menggunakan *crash initiator* berjarak 40 mm dari ujung atas spesimen. Nilai gaya maksimum yang terjadi mulai dari  $34,3 \times 10^3$  N hingga  $43,0 \times 10^3$  N (lihat Tabel 1). Durasi kejadian tumbukan 30 ms hingga 41 ms.

Gambar 13 menunjukkan hasil uji jatuh terhadap desain *impact energy absorber* dengan menggunakan *crash initiator* berjarak 50 mm dari ujung atas spesimen. Nilai gaya maksimum yang terjadi mulai dari  $28 \times 10^3$  N hingga  $44,9 \times 10^3$  N (lihat Tabel 1). Durasi kejadian tumbukan 36 ms hingga 43 ms



Gambar 12. Grafik hasil uji untuk spesimen B posisi *crash initiator* 40 mm.



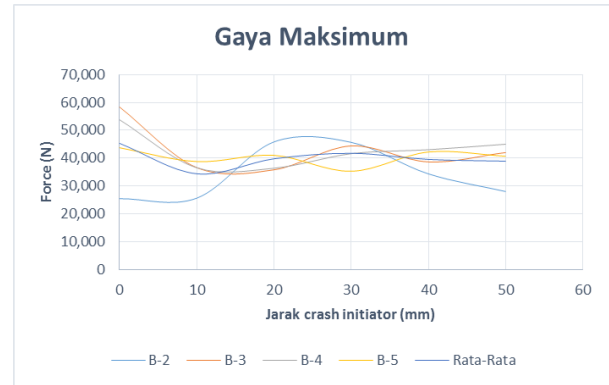
Gambar 13. Grafik hasil uji untuk spesimen B posisi *crash initiator* 50 mm.

Tabel 1. Gaya maksimum spesimen tanpa *crash initiator* dan setiap posisi *crash initiator*.

No.	Kode Spesimen	Gaya Maksimum (N)					
		Tanpa CI	Jarak CI (mm)				
			0	10	20	30	40
1	B-2	25,431	25,628	45,833	45,666	34,332	28,001
2	B-3	58,317	36,576	35,800	44,376	38,635	41,980
3	B-4	53,759	36,529	36,384	41,578	43,013	44,997
4	B-5	43,710	38,766	40,997	35,286	42,188	40,667
	Rata-Rata	45,304	34,375	39,754	41,727	39,542	38,911

keterangan : CI adalah *Crash Initiator*

Tabel 1 merupakan hasil rekapitulasi nilai gaya maksimum dari hasil uji jatuh tersebut. Nilai ini kemudian dihitung rata-rata dan akan diperoleh hasil bahwa gaya maksimum (*peak force*) yang paling rendah adalah  $34,3 \times 10^3$  N yaitu spesimen dengan *crash initiator* berjarak 10 mm dan gaya maksimum yang paling tinggi adalah  $45,3 \times 10^3$  N yaitu spesimen tanpa *crash initiator*. Gambar 14 merupakan grafik dari rekapitulasi gaya maksimum pada Tabel 1. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa spesimen yang memiliki kinerja paling baik dalam hal gaya masimum adalah spesimen dengan *crash initiator* 10 mm. Spesimen tanpa *crash initiator* menunjukkan prestasi yang paling buruk. Ini berarti *crash initiator* bukan saja sebagai pemicu tekukan tetapi dapat memberi kontribusi dalam menurunkan gaya maksimum.



Gambar 14. Gaya puncak yang terjadi pada spesimen tanpa *crash initiator* dan dengan *crash initiator* jarak tertentu.

Setelah memperoleh nilai gaya maksimum dilanjutkan menghitung gaya rata-rata masing-masing spesimen. Dari nilai gaya maksimum dan nilai gaya rata-rata masing-masing desain impact energy absorber akan diperoleh nilai *crash force efficiency (CFE)*. Nilai CFE ini menunjukkan desain mana yang paling efisien sebagai *impact energy absorber*.

Nilai CFE dapat dilihat pada Tabel 2 dan grafik untuk nilai CFE dapat dilihat pada Gambar 15. Berdasarkan nilai pada Tabel 2 bahwa nilai CFE yang paling tinggi adalah pada spesimen dengan *crash initiator* berjarak 10 mm dari ujung atas. Sementara spesimen tanpa *crash initiator* menunjukkan efisiensi yang sangat rendah sebagai *impact energy absorber*.

Berdasarkan data awal dimana diperoleh hubungan gaya dan waktu. Selanjutnya dihitung hubungan waktu dan *displacement* dan setelah itu menghitung hubungan gaya dan *displacement*. Gambar 16 sampai dengan Gambar 21 menunjukkan salah satu contoh hubungan antara gaya dan *displacement* pada spesimen B-5 dan bentuk lipatan yang terjadi sebagaimana gambar spesimen yang terletak di sisi kanan atas grafik.

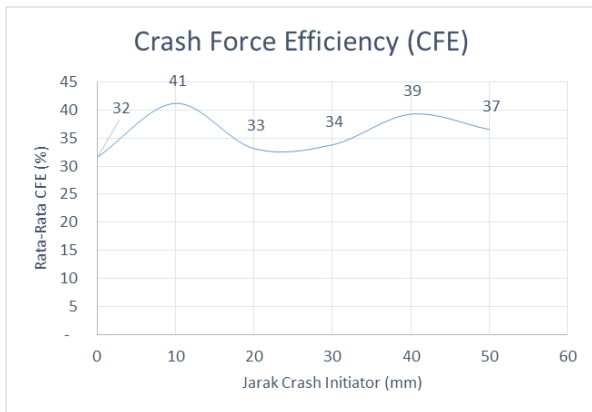
Besaran gaya puncak pertama dimulai pada nilai  $43,7 \times 10^3$  N untuk kode B-501 kemudian menurun dan mencapai titik bawah pada B-502 dengan nilai gaya  $38,7 \times 10^3$  N. Setelah itu, menaik sampai pada B-505 dengan nilai gaya  $42,1 \times 10^3$  N dan menurun di

spesimen kode B-506 dengan nilai gaya  $40,6 \times 10^3$  N.

Tabel 2. Nilai gaya maksimum, gaya rata-rata, dan *crash force efficiency* dari desain *impact energy absorber*.

Jarak CI (mm)	Gaya Maks. (N)	Gaya Rata-Rata (N)	CFE (%)
0	45,304	13,472	32
10	34,375	14,055	41
20	39,754	12,990	33
30	41,727	13,923	34
40	39,542	15,553	39
50	38,911	13,970	37

Keterangan : Tebal Specimen 0.8 mm dan CI : Crash Initiator

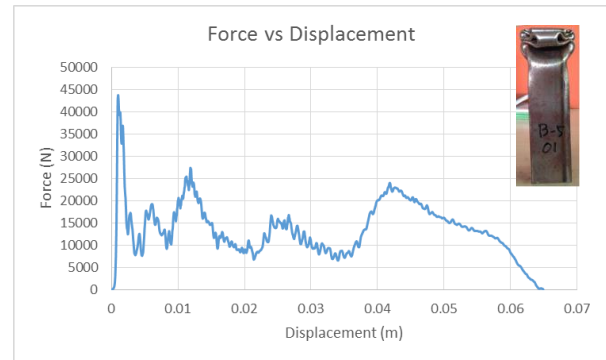


Gambar 15. *Crash force efficiency (CFE)* untuk masing-masing jarak *crash initiator*.

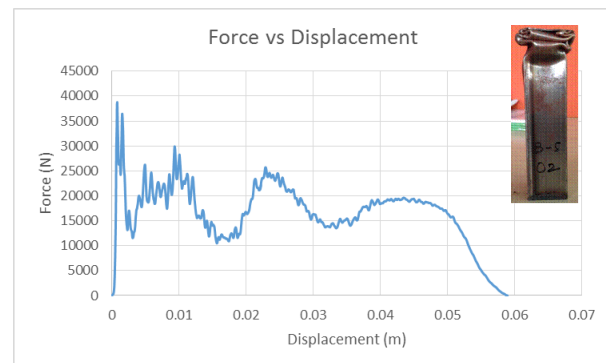
Setelah memperoleh grafik hubungan gaya dan displacement, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *energy absorption* dari desain *impact energy absorber*. *Energy absorption* diperoleh dengan menghitung luas daerah yang berada di bawah kurva. Nilai *energy absorber* dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 22.

Nilai *energy absorption* ini menunjukkan seberapa besar energi potensial yang terjadi sebesar  $1,1 \times 10^3$  Joule mampu diserap oleh *impact energy absorber*. Berdasarkan nilai *energy absorption* maka spesimen dengan *crash initiator* berjarak 50 mm adalah yang menyerap energy paling besar yaitu 843 Joule atau menyerap 71,7% walaupun berbeda 1 Joule dengan spesimen tanpa *crash initiator* yaitu 842 Joule atau 71,5%. Sementara spesimen dengan *crash initiator* berjarak 10

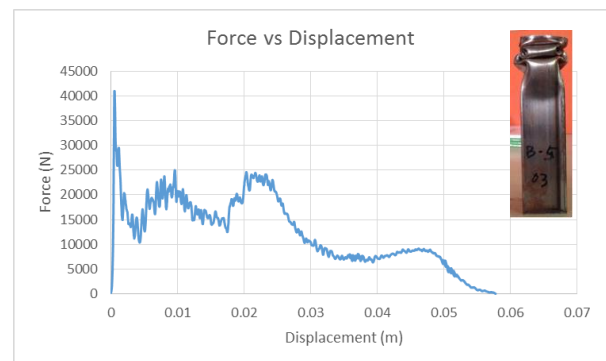
mm mampu menyerap energy sebesar 779 Joule atau 66,2%.



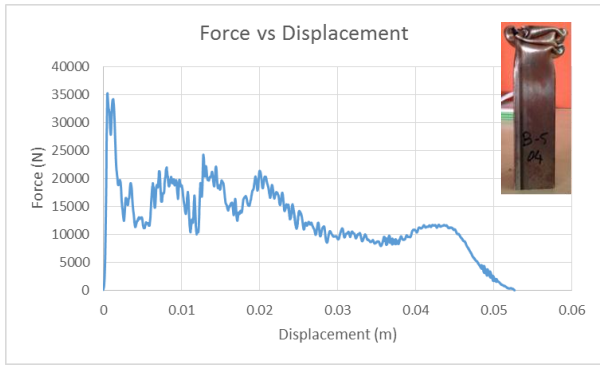
Gambar 16. Grafik dan spesimen B dengan jarak tanpa *crash initiator*.



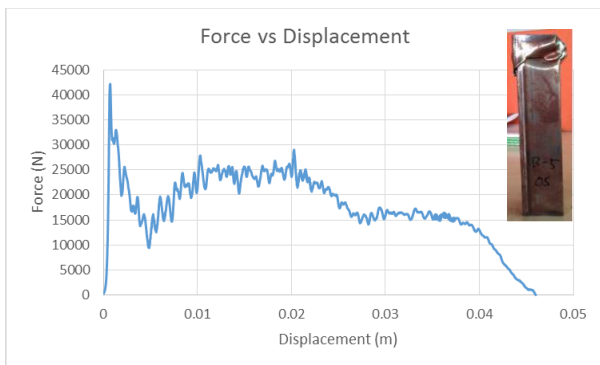
Gambar 17. Grafik dan spesimen B dengan jarak *crash initiator* 10 mm.



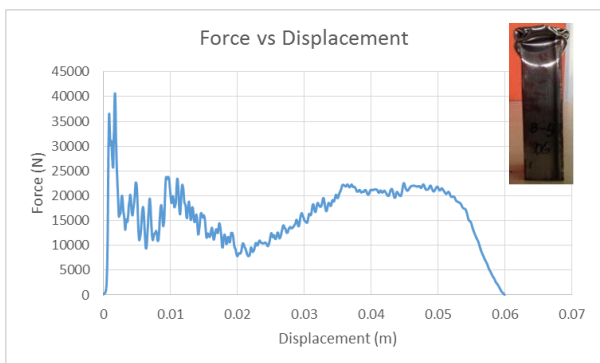
Gambar 18. Grafik dan spesimen B dengan jarak *crash initiator* 20 mm.



Gambar 19. Grafik dan spesimen B dengan jarak *crash initiator* 30 mm.



Gambar 20. Grafik dan spesimen B dengan jarak *crash initiator* 40 mm.



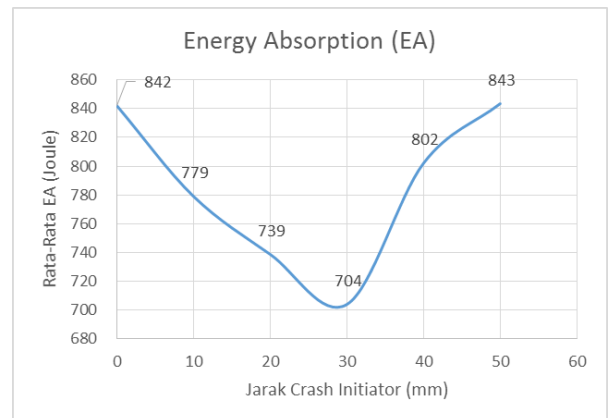
Gambar 21. Grafik dan spesimen B dengan jarak *crash initiator* 50 mm.

Selanjutnya untuk mengetahui seberapa besar energy yang mampu diserap secara khusus atau *specific energy absorption (SEA)* maka perlu dilakukan penimbangan terhadap spesimen. Hasil timbangan dan nilai SEA dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 23.

Berdasarkan nilai *specific energy absorption* maka spesimen dengan *crash initiator* berjarak 50 mm adalah yang memiliki nilai spesifik penyerapan energy paling besar yaitu  $4,4 \times 10^3$  Joule/Kg sedangkan spesimen tanpa *crash initiator* yaitu  $4,3 \times 10^3$  Joule/Kg. Sementara spesimen dengan *crash initiator* berjarak 10 mm mampu memiliki penyerapan energi spesifik sebesar  $4,1 \times 10^3$  Joule/Kg.

Tabel 3. Nilai *energy absorber* dan *specific energy absorber* pada desain *impact energy absorber*.

Jarak CI (mm)	EA (Joule)	Massa (Kg)	SEA (Joule/Kg)
0	842	0.195	4,318
10	779	0.19	4,100
20	739	0.19	3,888
30	704	0.19	3,705
40	802	0.19	4,221
50	843	0.19	4,439

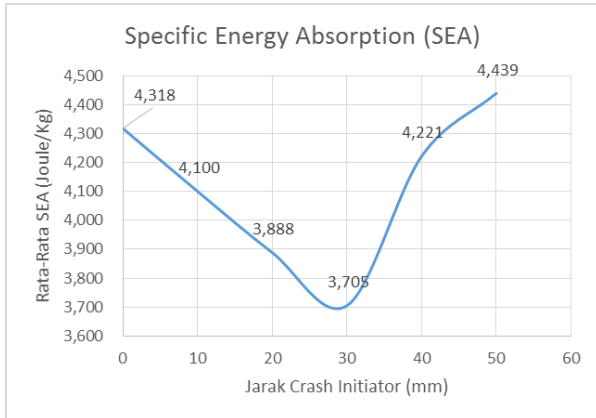


Gambar 22. *Energy Absorption (EA)* yang terjadi pada setiap jarak *crash initiator*.

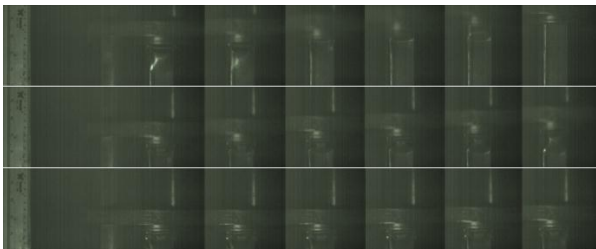
Gambar 24 dan Gambar 25 memperlihatkan bagaimana proses *progressive buckling* terjadi setiap ms. dengan kualitas gambar 1280x512 pixel pada pengambilan gambar 500 frame per second. Terlihat bagaimana tekukan terjadi pada masing-masing desain. Untuk desain *impact energy absorber* tanpa *crash initiator*, tekukan pertama terjadi pada jarak tertentu dari ujung atas, namun pada desain *impact energy absorber* dengan *crash initiator* posisi 5 mm



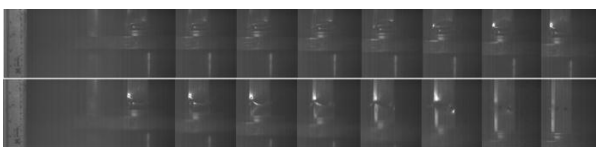
dari ujung atas, tekukan pertama terjadi tepat pada *crash initiator*. Ini membuktikan bahwa *crash initiator* diperlukan dan berguna sebagai pengarah awal dari tekukan.



Gambar 23. *Specific Energy Absorption (SEA)* yang terjadi pada setiap jarak *crash initiator*.



Gambar 24. *Progressive buckling* pada desain *impact energy absorber* tanpa *crash initiator*.



Gambar 25. *Progressive buckling* pada desain *impact energy absorber* dengan *crash initiator* pada posisi 5 mm dari ujung tumbukan

Tekukan pertama terjadi secara bersamaan pada keempat sisi. Dua sisi berhadapan, akan terbentuk tekukan ke luar dan secara bersamaan dua sisi berhadapan lainnya terbentuk tekukan ke dalam. Setelah membentuk tekukan tersebut, tekukan berikut terjadi sebaliknya, dua sisi berhadapan yang tadinya tekuk ke luar, membentuk tekukan ke dalam dan dua sisi berhadapan lain yang

tadinya tekuk ke dalam, membentuk tekukan ke arah luar [9]. Ketika semua tekukan yang terjadi, tidak dapat kembali ke bentuk semula setelah beban tumbukan dilepaskan hal ini menunjuk bahwa proses tekukan merupakan proses plastis.

## Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa diambil dari hasil penelitian ini adalah :

1. Dari hasil eksperimen diperoleh bahwa jarak yang terbaik sebuah *crash initiator* berbentuk lubang dengan diameter 6,5 mm pada baja hollow buatan lokal di Indonesia dengan tebal 0,80 mm sebagai *impact energy absorber* adalah pada jarak 10 mm dari ujung tumbukan.
2. Nilai rata-rata gaya maksimum (peak force) yang terjadi paling rendah pada spesimen *impact energy absorber* dengan jarak *crash initiator* 10 mm adalah  $34,3 \times 10^3$  kN.
3. Nilai *crash force efisiensi* (CFE) yang terjadi pada spesimen *impact energy absorber* dengan jarak *crash initiator* 10 mm adalah 41%.
4. Berdasarkan nilai energy absorption maka spesimen dengan *crash initiator* berjarak 50 mm adalah yang menyerap energy paling besar yaitu 843 Nm atau menyerap 71,7% walaupun berbeda 1 Nm dengan spesimen tanpa *crash initiator* yaitu 842 Nm atau 71,5%. Sementara spesimen dengan *crash initiator* berjarak 10 mm mampu menyerap energy sebesar 779 Nm atau 66,2%.
5. Berdasarkan nilai *specific energy absorption* maka spesimen dengan *crash initiator* berjarak 50 mm adalah yang memiliki nilai spesifik penyerapan energi paling besar yaitu  $4,4 \times 10^3$  Nm/Kg sedangkan spesimen tanpa *crash initiator* yaitu  $4,3 \times 10^3$  Nm/Kg. Sementara spesimen dengan *crash initiator* berjarak 10 mm mampu memiliki penyerapan energi spesifik sebesar  $4,1 \times 10^3$  Nm/Kg.
6. Untuk desain *impact energy absorber* tanpa *crash initiator*, tekukan pertama terjadi

pada jarak tertentu dari ujung atas, namun pada desain *impact energy absorber* dengan *crash initiator* posisi 5 mm dari ujung atas, tekukan pertama terjadi tepat pada *crash initiator*. Ini membuktikan bahwa *crash initiator* berguna sebagai pengarah tekukan.

### Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung oleh pendanaan Hibah Penelitian Pascasarjana Tahun 2015 Direktorat Riset dan Pengabdian pada Masyarakat (DRPM) Universitas Indonesia,

### Referensi

- [1] ....., Data kecelakaan lalu lintas, Korps Lalu Lintas Kepolisian RI, 2014.
- [2] <http://indonesiaproud.wordpress.com> diakses tanggal 23 Mei 2015.
- [3] Suci Hakim, Jos Istiyanto. *Desain Crush Initiators Pada Front Rail Kendaraan Listrik Indonesia*, Tesis, 2015.
- [4] I. Eren, Y. Gur, Z. Aksoy. *Finite Element Analysis Of Collapse Of Front Side Rails With New Types Of Crush Initiators*. Int. Journal of Automotive Technology, 2009; Vol. 10, No. 4, pp. 451–457.
- [5] F. Tarlochan, F. Samer, A.M.S. Hamouda, S. Ramesh, Karam Khalid. *Design of thin wall*

*structures for energy absorption applications: Enhancement of crash-worthiness due to axial and oblique impact forces*. *Thin-Walled Structures* 2013;71; p7–17.

- [6] Cyril Priem, Ramzi Othman, Patrick Rozycki, Damien Guillon. *Experimental investigation of the crash energy absorption of 2.5D-braided thermoplastic composite tubes*. *Composite Structures* 2014; 116; p814–826.
- [7] J. Paz, J. Díaz, L. Romera, M Costas. *Crushing analysis and multi-objective crashworthiness optimization of GFRP honey comb-filled energy absorption devices*. *Finite Elements in Analysis and Design* 2014;91: p30–39.
- [8] B.W. Williams, D.A. Oliveira, C.H.M. Simha, M.J. Worswic, R. Mayer, *Crashworthiness of straight section hydroformed aluminium tubes*. *International Journal of Impact Engineering* 2007;34; p1451–1464.
- [9] Nguyen Chanh Nghia, Tatacipta Dirgantara, Leonardo Gunawan, Ichsan Setya Putra, Ly Hung Anh. *Analytical Prediction Of Square Crash Box Structure With Holes Due To Impact Loading*. Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology Kuala Lumpur, November 25–26, 2013.