

## Performace Prediction of Steel Square Tube with Crush Initiators as An Impact Energy Absorber using Numerical Methods

Mohammad Malawat<sup>1,\*</sup>, Danardono A. Sumarsono<sup>2</sup>, Jamasri<sup>3</sup>, Gatot Prayogo<sup>2</sup>, Jos Istiyanto<sup>2</sup>, Sugeng Supriyadi<sup>2</sup>, Adi Winarta<sup>1</sup>, dan Felix Dionisius<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Doktorat Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia - Depok

<sup>2</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia - Depok

<sup>3</sup>Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

<sup>4</sup>Politeknik Negeri Indramayu - Indramayu

\*Corresponding author: m.malawat72@gmail.com

**Abstract.** Several ways can be used to predict the performance of impact energy absorbers (IEA). Starting from predictions used experimental drop tests analysis, predictions used theoretical analysis, up to predictions used numerical analysis. This study aims to predict the IEA that will be used on electric buses using numerical methods and Pam Crash 2013 software. The model was drawn using solidwork software then the images are exported to the Pam Crash 2013 software for numerical prediction. For Analysis, the specimen model used the SHELL type part with material type 103 - elastic plastic iterative hill. While the impactor used the SHELL type with material type 100 - null shell material. Number of nodes was 8,570 nodes. The number of elements was 8,534 elements. The strain rate used with thin SHELL was the equation of the Cooper-Symond model. Propertis material was steel. The type of contact used contact type 33 on both ends of the collision and contact type 36 for the entire specimen. The load used 4 structured loading, the weight was not derived from the structure such as the weight of the impactor, the initial speed of the impactor, the distance of the boundary conditions on the impactor and the specimen holder. The auxiliary data includes the value of plastic strains and true stress. The results of numerical analysis using finite element method and the Pam Crash software saw that IEA was best using a steel square shell with a wall thickness of 0.6 mm, using a crush initiators at a position of 10 mm. The results of this analysis are the same as the results of the analysis based on experiments drop test.

**Abstrak.** Beberapa cara dapat digunakan untuk memprediksi kinerja penyerap energy tumbukan (PET). Mulai dari prediksi menggunakan analisa eksperimen uji jatuh, prediksi menggunakan analisa teori, sampai dengan prediksi menggunakan analisa numerik. Pada penelitian ini memiliki tujuan untuk memprediksi kinerja PET yang akan digunakan pada bus listrik menggunakan metode numerik dengan bantuan perangkat lunak Pam Crash 2013. Model digambar menggunakan perangkat lunak solidwork, kemudian gambar tersebut diekspor ke perangkat lunak Pam Crash 2013 untuk diabalisa numerik. Analisa model material spesimen menggunakan tipe bagian SHELL dengan material tipe 103 yaitu elastis plastis iterative hill. Sementara impactor menggunakan tipe bagian SHELL dengan tipe material 100 yaitu null material shell. Jumlah node 8.570 node. Jumlah elemen 8.534 elemen. Strain rate yang digunakan dengan SHELL tipis adalah persamaan model Cooper-Symond. Propertis material adalah baja. Jenis kontak yang digunakan adalah tipe kontak 33 pada kedua ujung tumbukan dan tipe kontak 36 untuk keseluruhan spesimen. Pembebanan menggunakan 4 pembebanan terstruktur yaitu berat yang bukan berasal dari struktur seperti berat impactor, kecepatan awal impactor, jarak kondisi batas pada impactor dan dudukan spesimen. Pada data tambahan dimasukkan nilai plastic strain dan true stress. Hasil analisa numerik menggunakan metode elemen hingga dan diolah datanya menggunakan aplikasi Pam Crash menunjukkan bahwa PET yang terbaik menggunakan baja selongsong bujur sangkar dengan tebal dinding 0,6 mm menggunakan pemicu hancur pada posisi 10 mm. Hasil analisa ini sama dengan hasil analisa berdasarkan eksperimen uji jatuh.

**Keywords:** Penyerap energy tumbukan, pemicu hancur, gaya puncak, penyerapan energy.

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

### Pendahuluan

Baru-baru ini, para peneliti telah mempelajari bahan ringan lainnya itudapat digunakan terutama karena masalah lingkungan. Mengurangi berat badan dapat menurunkan konsumsi bahan bakar

danemisi kendaraan dan saat ini menjadi prioritas utama di industri otomotif. Baja ringan terutama digunakan dalam desain dan konstruksi komponen struktural dalam kendaraan itudapat mengalami peristiwa tabrakan dinamis [1]. Sehingga baja ringa

pada kesempatan ini digunakan sebagai penyerap energy tumbukan.

Menurut Krauss dan Laananen (1994) dalam Eren, I., Gur, Y., dan Aksoy, Z. (2009), pemicu hancur 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(tiga) jenis pemicu hancur yang ditempatkan pada sudut kolom persegi [2].

Tarlochan, F., Samer, F., Hamouda, A. M. S., Ramesh, S., dan Khalid, K. (2013). Selongsong heksagonal dengan tebal 2 mm dan diisi aluminum foam serta dilengkapi mekanisme pemicu menunjukkan potensi baik sebagai PET untuk membantu mengurangi luka serius pada penumpang kendaraan bermotor [3]. Model yang digunakan adalah baja selongsong bujur sangkar ber dinding tipis serta pemicu hancur berupa lubang untuk mudah dalam proses pembuatan.

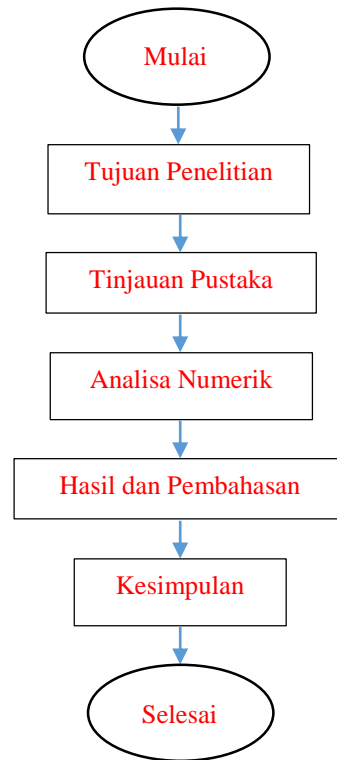
Pada penelitian ini memiliki tujuan untuk memprediksi kinerja penyerap energy tumbukan yang akan digunakan pada bus listrik menggunakan metode numerik dengan bantuan perangkat lunak Pam Crash 2013.

### Metode Penelitian

Metode ini menggunakan perangkat lunak Pam Crash 2013 versi mahasiswa milik Tim Mobil Listrik Nasional (Molinas) Universitas Indonesia. Spesimen pada mulanya digambar menggunakan perangkat lunak Solid work. Hasil gambar kemudian diekspor ke aplikasi Pam crash untuk dibuatkan model sebagaimana Gambar 2. Jumlah model tergantung seberapa banyak komponen yang akan kita modelkan. Model kemudian diinput data sesuai dengan data teknis dan keadaan yang dimodelkan. Sehingga hasil model mendekati hasil eksperimen yang diperoleh.



Gambar 1. Tampilan 3D spesimen



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Penelitian ini mengikuti bagan alir sebagaimana Gambar 2. Dimulai dengan menetapkan tujuan penelitian kemudian melakukan tinjauan pustaka untuk mendapatkan model, sebagai data dukung, dan membantu analisa. Setelah itu, analisa numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak Pam Crash 2013 menggunakan data-data sebagaimana Tabel 1. Hasil analisa kemudian dibahas dan seterusnya diambil kesimpulan.

Analisa model material spesimen menggunakan tipe bagian SHELL dengan material tipe 103 yaitu elastis plastis iterative hill. Sementara impaktor menggunakan tipe bagian SHELL dengan tipe material 100 yaitu null material shell. Jumlah node 8.570 node. Jumlah elemen 8.534 elemen. Strain rate yang digunakan dengan SHELL tipis adalah persamaan model Cooper-Symond. Propertis material adalah baja sebagaimana Tabel 1.

Jenis kontak yang digunakan adalah tipe kontak 33 pada kedua ujung tumbukan dan tipe kontak 36 untuk keseluruhan spesimen. Konstrain menggunakan 2 bodi kaku yaitu pada impaktor dan dudukan spesimen. Pembebanan menggunakan 4 pembebanan terstruktur yaitu berat yang bukan berasal dari struktur seperti berat impaktor, kecepatan awal impaktor, jarak kondisi batas pada impaktor dan dudukan spesimen sebagaimana Tabel 1 [4]. Pada data tambahan dimasukkan nilai *plastic strain* dan *true stress* sebagaimana Tabel 2.

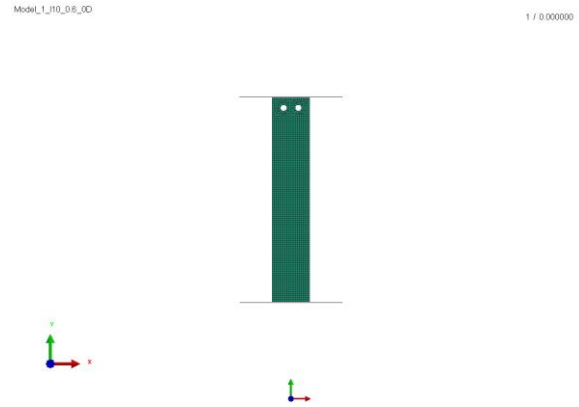
**Tabel 1.** Permodelan Pam Crash 2013

Permodelan Meshing	
Flat wire frame	Automesh surface
Permodelan crash	
Crash (spesimen)	Material; structural; element type shell
Type: 103 – elastic plastic iterative hill	NU (poison ratio): 0.3
ISTRAT:	1 – cooper Symonds
Crash (Impactor)	Material; structural; element type shell
Type: 100 – Null	NU (poison ratio): 0.3
Crash (contact – 1)	Type: 36 – self impact; Friction: 0.6
Crash (contact – 2)	Type: 33 – Node symmetric; Friction: 0.6
Crash (constrain: Rigid body)	Type: 0 – Rigid body regular
Crash (loads)	Nonstructural (NS) mesh; Mass: 80 kg
Crash (loads)	Initial velocity: 5.4 m/s

**Tabel 2.** Regangan plastic dan tegangan sebenarnya

No.	Plastic strain (mm)	True stress (GPa)
1	0	0,272989074
2	0,020161161	0,292819979
3	0,060483742	0,318933403
4	0,120967613	0,352148803
5	0,201612774	0,39328564
6	0,302419226	0,443163371
7	0,403225677	0,489162331
8	0,504032129	0,533449532

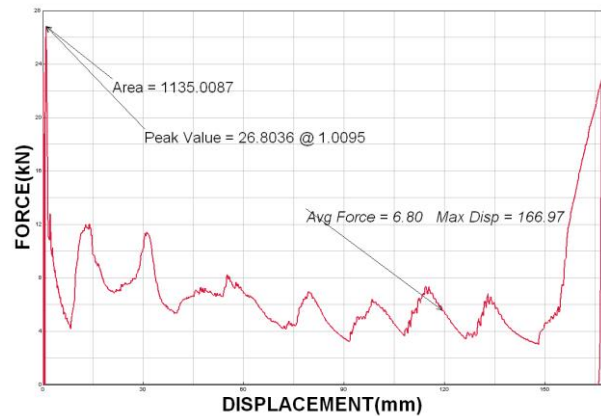
Gambar 3 adalah salah satu posisi specimen yang digunakan untuk analisa numerik Pam Crash. Posisi beban jatuh dari atas dengan kecepatan 5,4 m/s untuk memodelkan eksperimen uji jatuh yang dilakukan pada Laboratorium Teknologi Mekanik pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.



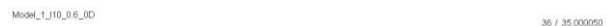
**Gambar 3.** Spesimen dengan posisi pemacu hancur 10 mm

**Hasil dan Pembahasan**

Dari hasil analisa numerik menggunakan perangkat lunak Pam Crash dengan beberapa hasil berupa grafik sebagaimana Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.

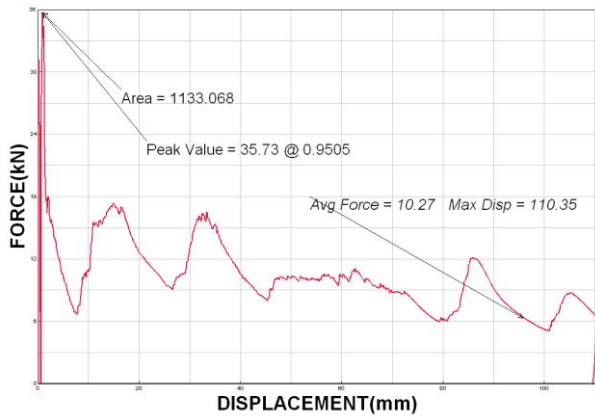


(a)



(b)

**Gambar 4.** Grafik gaya puncak dan jarak rusak untuk tebal dinding 0,6 mm dengan posisi pemacu hancur (PPH) 10 mm (a) serta specimen (b)



(a)

Model\_1\_I10\_06\_0D

55 / 54.000134

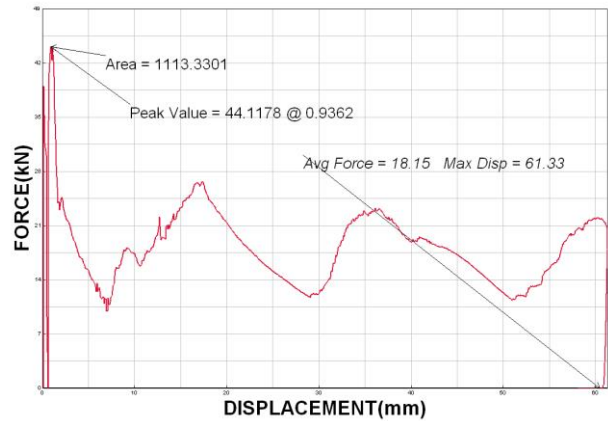


(b)

**Gambar 5.** Grafik gaya puncak dan jarak rusak untuk tebal dinding 0,8 mmdengan PPH 10 mm (a) serta spesimen (b)

Pada awalnya spesimen diberikan pembebanan. Gaya tersebut merambat hingga mencapai titik kritis spesimen di mana diberikan lubang pemicu hancur. Gaya akan terpusat pada titik kritis dan terjadi deformasi lokal berupa lipatan sebagai akibat respon dari regangan yang terus terjadi. Lipatan yang terjadi pada daerah regangan lokal. Pada pembebanan tersebut akan terlihat banyak atau sedikit lipatan. Makin sedikit lipatan yang terjadi maka makin sedikit pula energi yang mampu diserap sehingga sedikit lipatan menjadi kriteria kegagalan spesimen. Spesimen dengan material yang tebal akan dikeluarkan dari model. Model yang tipis yang tetap bertahan sebagai model. Kemudian dari model yang diberi pembebanan akan diperoleh tegangan rusak berupa penyerapan energi dan daerah regangan berupa efisiensi gaya tabrak. Bagi spesimen dengan penyerapan energi yang paling kecil dan efisiensi gaya tabrak yang rendah maka dinyatakan gagal. Sehingga dari hasil tersebut dapat diketahui prediksi kinerja spesimen

tersebut [5]. Nilai gaya puncak menunjukkan kesamaan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menggunakan eksperimen uji jatuh dengan tebal 0,8 mm [6].



(a)

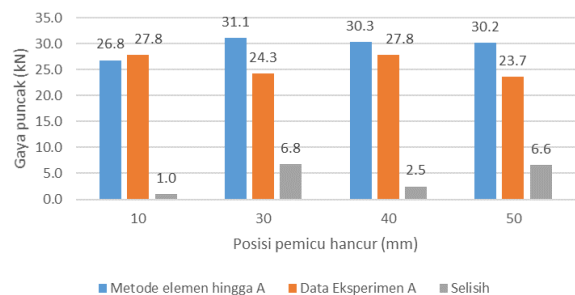
Model\_1\_I10\_06\_0D

36 / 35.000130

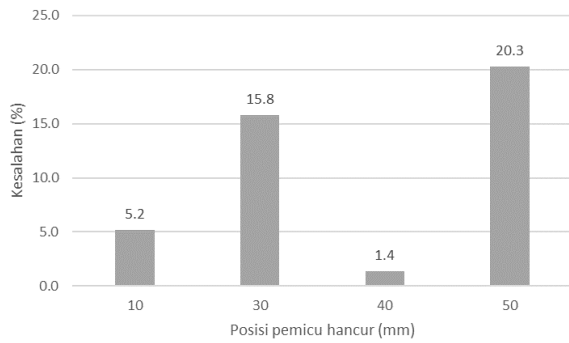


(b)

**Gambar 6.** Grafik gaya puncak dan jarak rusak untuk tebal dinding 1,0 mmdengan PPH10 mm (a) serta specimen (b)



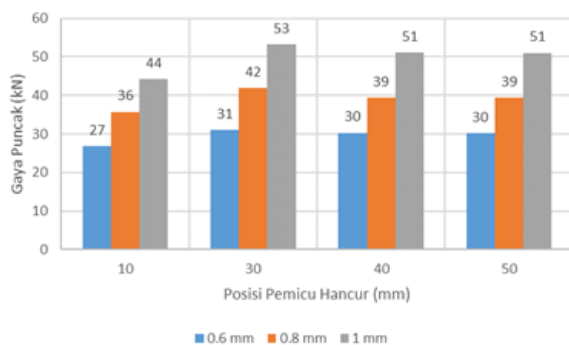
**Gambar 7.** Selisih antara hasil eksperimen uji jatuh dan hasil analisa numerik menggunakan Pam Crash



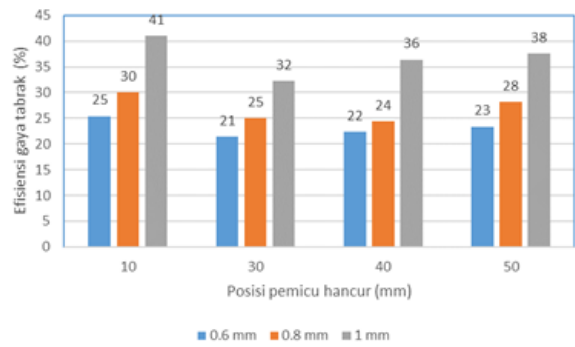
**Gambar 8.** Nilai kesalahan antara analisa eksperimen uji jatuh dan analisa numerik menggunakan Pam Crash

Validasi dilakukan terhadap gaya puncak yang dihitung berdasarkan analisa numerik menggunakan metode elemen hingga menggunakan hasil eksperimen uji jatuh [7]. Validasi dilakukan untuk melihat perbedaan hasil perhitungan gaya puncak masing-masing posisi pemicu hancur analisa numerik terhadap hasil eksperimen. Dari hasil validasi menunjukkan bahwa hasil analisa numerik mempunyai selisih kesalahan yang kecil dibandingkan hasil eksperimen. Nilai kedua analisa memiliki selisih kesalahan terkecil pada hasil analisa pada posisi pemicu hancur 20 mm dengan nilai 0,92% dan yang paling besar selisih kesalahan adalah hasil analisa pada posisi hancur 50 mm dengan nilai 20,29%.

Setelah dilakukan validasi dilanjutkan dengan melakukan analisa numerik dengan menggunakan metode elemen hingga terhadap komponen PET untuk material baja dengan kekuatan luluh 26 kgf atau 255 MPa memiliki ketebalan mulai dari 0,6 mm, 0,8 mm, dan 1 mm dan jarak pemicu hancur berbeda-beda pula. Hasil analisa numerik dapat dilihat pada Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11.



**Gambar 9.** Grafik hubungan gaya puncak, tebal, dan posisi pemicu hancur



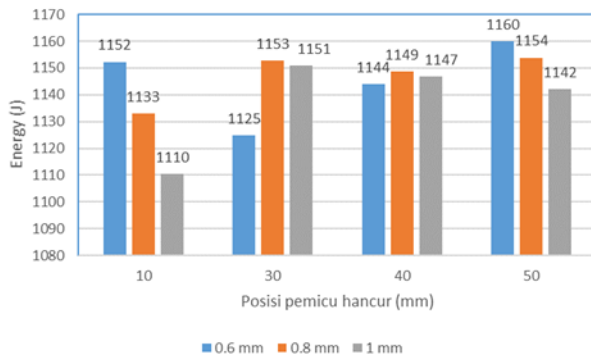
**Gambar 10.** Grafik hubungan EGT, tebal, dan posisi pemicu hancur

Gambar 9. menampilkan hubungan antara tebal dinding selongsong, jarak pemicu hancur terhadap kinerja gaya puncak dari baja selongsong bujur sangkar berdinding tipis. Gambar tersebut menunjukkan bahwa nilai gaya puncak yang paling rendah untuk berbagai tebal dinding selongsong terjadi pada posisi pemicu hancur 10 mm. Nilai gaya puncak pada posisi pemicu hancur 10 mm adalah 27 kN, 36 kN, dan 44 kN. Nilai gaya puncak tersebut cenderung meningkat seiring dengan kenaikan jarak posisi pemicu hancur pada baja selongsong bujur sangkar berdinding tipis.

Gambar 10. menunjukkan hubungan antara tebal dinding selongsong, jarak pemicu hancur terhadap efisiensi gaya tabrak dari baja selongsong bujur sangkar berdinding tipis. Gambar tersebut menunjukkan bahwa baja selongsong yang memiliki efisiensi gaya tabrakan yang paling tinggi pada posisi pemicu hancur 10 mm. Nilai ini menunjukkan bahwa kinerja PET yang terbaik pada posisi tersebut.

Berdasarkan hasil analisa numerik gaya puncak dan EGT tersebut dapat kita ketahui bahwa posisi pemicu hancur yang paling baik adalah posisi 10 mm. Selanjutnya dari hasil analisa numerik membandingkan di antara ketiga tebal dinding selongsong bujur sangkar yang memiliki kinerja yang paling baik. Kinerja PET yang paling baik adalah yang memiliki gaya puncak yang paling rendah. Semakin rendah gaya puncak, semakin baik PET tersebut dan sebaliknya. Pada posisi pemicu hancur 10 mm nilai gaya puncak yang paling rendah terjadi pada tebal dinding baja selongsong 0,6 mm dengan nilai 27 kN. Sementara untuk tebal dinding 0,8 mm dan 1 mm masing-masing memiliki gaya puncak 36 kN dan 44 kN.





**Gambar 11.** Grafik hubungan penyerapan energi, tebal, dan posisi pemicu hancur

Dasar pertimbangan lain adalah memperhatikan energi yang diserap oleh PET. Gambar 11. menunjukkan bagaimana penyerapan energy yang terjadi pada PET dengan berbagai tebal dinding baja selongsong dan posisi pemicu hancur. Merujuk pada hasil analisa numerik sebelumnya bahwa PET yang terbaik adalah PET dengan posisi pemicu hancur 10 mm. kemudian analisa mengkerucut pada pemilihan PET yang terbaik untuk tebal dinding baja selongsong. Jika memperhatikan nilai penyerapan energi maka hamper semua menunjukkan kinerja penyerapan energi di atas 1.100 J. Namun perhatian pasti tertuju pada PET dengan posisi pemicu hancur 10 mm. Di antara ketiga tebal dinding baj selongsong yang memiliki kinerja penyerapan energi yang paling tinggi adalah baja selongsong bujur sangkar tebal dinding 0,6 mm dengan nilai kinerja penyerapan energ adalah 1.152 J. Untuk tebal 0,8 mm dan 1 mm memiliki kinerja penyerapan energi masing-masing 1.133 J dan 1.110 J.

Dari penjelasan di atas, hasil analisa numerik menggunakan metode elemen hingga dan diolah datanya menggunakan aplikasi Pam Crash menunjukkan bahwa PET yang terbaik menggunakan baja selongsong bujur sangkar dengan tebal dinding 0,6 mm menggunakan pemicu hancur pada posisi 10 mm. Hasil analisa ini sama dengan hasil analisa berdasarkan optimasi hasil eksperimen uji jatuh menggunakan metode respon permukaan [8].

## Kesimpulan

Hasil analisa numerik menggunakan metode elemen hingga dan diolah datanya menggunakan aplikasi Pam Crash menunjukkan bahwa PET yang terbaik menggunakan baja selongsong bujur sangkar dengan tebal dinding 0,6 mm menggunakan pemicu hancur pada posisi 10 mm. Hasil analisa ini sama dengan hasil analisa berdasarkan eksperimen uji jatuh.

## Penghargaan

Ucapan terima kasih Penulis sampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian pada Masyarakat (DRPM) Universitas Indonesia atas pemberian Hibah Penelitian Pascasarjana Tahun 2015 sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.

## Referensi

- [1] Williams, B. W., Oliveira, D. A., Simha, C. H. M., Worswic, M. J., dan Mayer, R. (2007). Crashworthiness of Straight Section Hydroformed Aluminium Tubes. *International Journal of Impact Engineering*, 34, 1451–1464
- [2] Eren, I., Gur, Y., dan Aksoy, Z., 2009. Finite Element Analysis of Collapse of Front Side Rails with New Types of Crush Initiators. *International Journal of Automotive Technology*, vol. 10, no. 4, 451–457.
- [3] Tarlochan, F., Samer, F., Hamouda, A. M. S., Ramesh, S., dan Khalid, K., 2013. Design of Thin Wall Structures for Energy Absorption Applications: Enhancement of Crashworthiness Due to Axial and Oblique Impact Forces. *International Journal of Thin-Walled Structures*; 71, 7–17.
- [4] Dionisius, F., dan Istiyanto, J. (2016). Optimasi Kriteria Crashworthiness Terhadap Multi-Variabel pada Kolom Berongga Berpenampang Persegi Berdinding Tipis. Tesis.
- [5] Cairns, D. S. and Lagace, P. A., 11 April 1992. A Consistent Engineering Methodology for the Treatment of Impact in Composite Materials, *Journal of Reinforce Plastics and Composites*, Vol. II, p 395-412.
- [6] Sumarsono, D. A., Istiyanto, J., dan Malawat, M. (2015, Oktober 7-8) Pengembangan Impact Energy Absorber Dengan Pengaturan Jarak Crash Initiator. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) XIV*, Banjarmasin.
- [7] Malawat, M., Istiyanto, J., dan Sumarsono, D. A. (2017). Effect of wall thickness and crush initiators position under experimental drop test on square tubes. *Applied Mechanics and Material*, 865, 612-618.
- [8] Malawat, M., dan Sumarsono, D. A., (2017, July 24-27). Optimization of Impact Energy Absorber Parameters for Automobile Crush Box Using Response Surface Method, Paper presented at Quality in Research, Bali.