

## TABUNG ALUMINUM TIPIS SEBAGAI STRUKTUR PENYERAP ENERGI BENTURAN

*Witono Hardi*

*Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Khairun  
witonohardiunkhair@gmail.com*

### ABSTRACT

*The number of deaths from car accidents is an issue of great concern recently. The main cause of death is the incident of collisions on passengers during a collision between vehicles. One of the effort to reduce the risk by installing a structure that can absorb the impact energy. A lot of research has been done on the use of thin-walled structures as energy impact absorber. In this study the thin tube aluminum alloy is used as the structure of energy absorber. A thin tube of 20 mm in diameter with a thickness of 0.5 mm and 1 mm is subjected to a drop test with varying load heights. The kinetic energy absorbed by the structure and the maximum deformation occurred is calculated the energy efficiency absorbed per unit length. Drop test is conducted by using ANSYS WORKBENCH 18.2 student version which software is based on finite element method. The dropweight is modeled by a stainless steel cube 7.8 kg of weight The altitude varies 1 m, 2 m and 3 m. . From the results of this simulation it is found that energy per crush length sequentially are 5317.662 J/m, 6024.821 J/m and 6246.636 J/m at height 1m, 2m and 3 m the thickness is 1 mm. The thickness of 0.5 mm are 2377.077 J/m, 3023.196 J/m and 3538.99 J/m*

**Keywords:** *energy absorbed, thin aluminum tube, aluminum alloy, finite element method*

### ABSTRAK

Banyaknya kematian akibat kecelakaan mobil merupakan isu yang sangat diperhatikan akhir-akhir ini. Penyebab utama dari kematian itu adalah terjadinya benturan pada penumpang saat terjadi tabrakan antar kendaraan. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan mengurangi resiko dengan memasang struktur penyerap energi benturan.

Telah dilakukan banyak penelitian tentang penggunaan struktur berdinding tipis sebagai penyerap energi benturan. Pada penelitian ini digunakan aluminum Alloy berbentuk tabung tipis sebagai struktur penyerap energi.

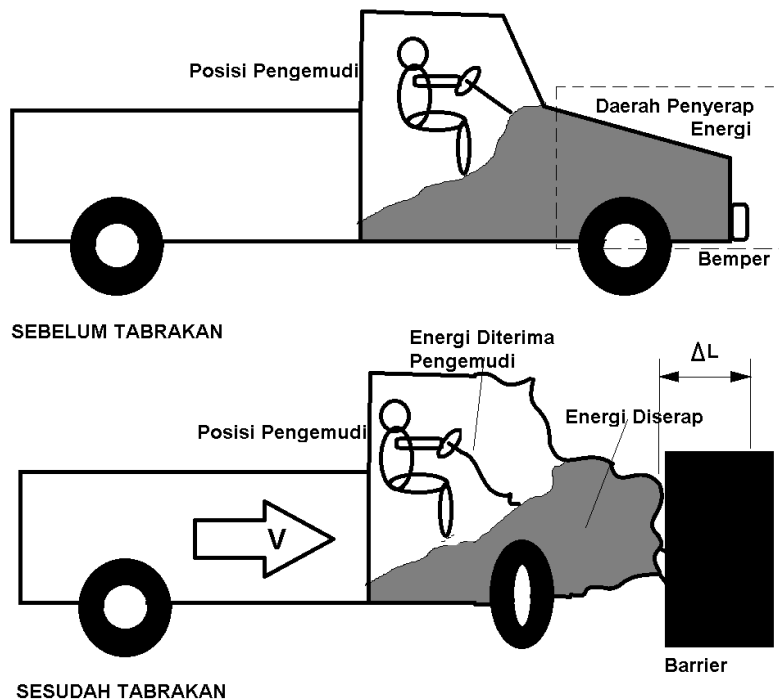
Tabung tipis berdiameter 20 mm dengan ketebalan 0.5 mm dan 1 mm dikenakan drop test dengan ketinggian beban bervariasi. Energi kinetik yang diserap oleh struktur dan deformasi maksimum yang terjadi dihitung efisiensi energi terserap per unit panjang.

Drop test dilakukan dengan menggunakan simulasi ANSYS WORKBENCH 18.2 versi student yang merupakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga. Beban dimodelkan dengan kubus baja dengan berat 7.8 kg. Ketinggian bervariasi yaitu 1 m, 2 m dan 3 m. Dari hasil simulasi ini didapatkan bahwa jumlah energi per satuan panjang berturut turut adalah 5317.662 J/m, 6024.821 J/m dan 6246.636 J/m pada ketinggian 1,2 dan 3 m serta ketebalan 1 mm. Untuk yang ketebalan 0.5 mm adalah 2377.077 J/m, 3023.196 J/m dan 3538.99 J/m

**Kata Kunci:** energi diserap, Tabung aluminum tipis, aluminum alloy, metode elemen hingga

### PENDAHULUAN

Keselamatan penumpang merupakan hal yang menjadi prioritas utama dalam berkendara di jaman sekarang. Angka kematian akibat kecelakaan kendaraan bermotor dari tahun ke tahun semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi mesin kendaraan yang memungkinkan kecepatan semakin meningkat. Salah satu hal yang banyak menyebabkan kematian pada saat terjadi kecelakaan kendaraan bermotor adalah adanya benturan penumpang dengan mobil akibat tabrakan yang sangat keras dan berakibat fatal bagi para penumpang.



Gambar 1. Tabrakan pada kendaraan

Sebuah tabrakan seperti gambar 1 akan menghasilkan energi yang sangat besar. Energi ini sebagian diserap bagian depan kendaraan dan sebagian akan diterima oleh pengemudi. Apabila body kendaraan terlalu kaku sehingga hanya sebagian kecil energi benturan yang diserap oleh body maka sebagian besar dari energi benturan ini akan diterima oleh pengemudi. Dan akibatnya tentu sangat fatal dan bisa menyebabkan kematian.

Dengan semakin maju perkembangan teknologi otomotif maka pada saat ini telah diciptakan berbagai fasilitas yang akan bisa meningkatkan keselamatan manusia pada saat menggunakan berkendara.

Saat ini telah diciptakan mobil pintar atau *smart car*, yang mana gabungan dari berbagai fitur yang ada yaitu *smart steering*, *smart engine*, *smart parking*, *smart structure* dan juga *smart material*. Masing masing bagian memberikan kontribusi bagi kenyamanan dan keselamatan dari manusia pemakainya.

Pada penelitian ini, dirancang salah satu bagian yang diharapkan bisa memberi kontribusi pada *smart structure* yaitu struktur yang mampu menyerap energi

impact akibat benturan. Penelitian difokuskan pada tabung aluminum tipis dalam peranannya pada struktur penyerap energi.

### TINJAUAN PUSTAKA

Penyerapan energi pada kasus tabrakan pada kendaraan harus mengacu pada keadaan bahwa energi yang diserap itu harus bersifat tidak mampu balik (irreversible), karena energi yang balik akan memberikan kerugian pada keselamatan penumpang (Lu 2003). Oleh karena itu struktur penyerap energi harus berdeformasi plastis.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan analisa tentang struktur rangka mobil kota M-ITS 4WS tetapi hanya menghitung deformasi rangka sesuai standard FMVSS (Hardi, 2006).

Penelitian dengan menggunakan bentuk yang bervariasi telah dilakukan dan didapat kesimpulan bahwa luasan dinding yang paling besar akan memberi kemampuan menyerap energi yang paling besar (Jatmiko Awali 2015). Hal ini disebabkan bagian yang berdeformasi plastis lebih besar.

Untuk menambah kemampuan menyerap energi tabung tipis sering diisi dengan pengisi *foam*, *rubber* atau material lain. Penelitian tentang pengaruh pengisian foam pada tabung konikal dengan arah pembebanan berbeda terbukti mempengaruhi kemampuan daya serap energi (Zaini 2009). Tetapi Zaini menggunakan baja konikal untuk specimennya.

Pada riset ini digunakan material aluminum yang tidak mengalami pengerasan regang setelah melewati titik luluh. Dilakukan variasi pada ketebalan dinding dan kecepatan tumbuk.

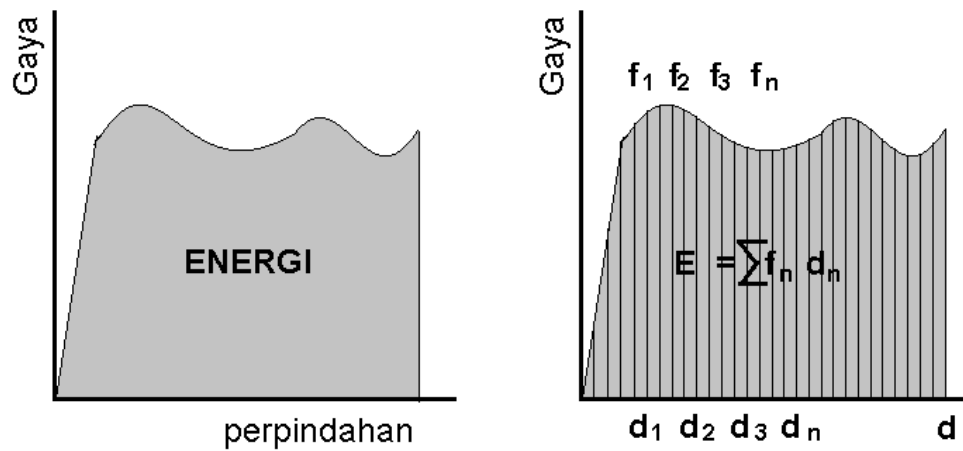
### ENERGI BENTURAN

Energi benturan ini didapatkan dari energi kinetik kendaraan saat menabrak kendaraan lain atau barrier. Dirumuskan sebagai.

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

Yang mana  $m$  merupakan massa kendaraan beserta isinya dan  $v$  adalah kecepatan sesaat sebelum membentur barrier.

Energi kinetik ini sebagian akan diserap oleh material body kendaraan pada saat material mengalami deformasi Energi yang diserap dinyatakan sebagai hasil kali gaya dan perpindahan.. Bisa digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2. Energi sebagai hasil kali gaya dan perpindahan

Pada gambar 2 ditunjukkan bahwa gaya yang bekerja pada struktur tergantung oleh waktu sehingga pada setiap saat selalalu berubah. Total energi yang diserap oleh sistem adalah hasil kali gaya dan perpindahan pada interval waktu tersebut. Bisa dinyatakan dalam

$$E_i = f_1 d_1 + f_2 d_2 + \dots + f_n d_n$$
$$E_i = \sum_{i=1}^n f_i d_i \quad (2)$$

Sedangkan energi total yang didapat dari benturan didistribusikan menjadi energi yang terserap dan energi yang diterima penumpang.

$$E_{TOTAL} = E_{DITERUSKAN} + E_i \quad (3)$$

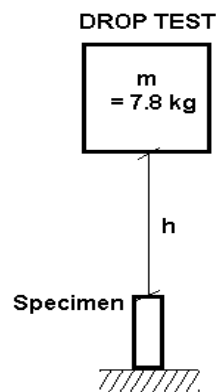
Pada kasus silinder berdinding tipis yang mendapat beban kejut berupa benturan, maka setelah melewati titik luluh, dinding tabung akan menekuk (wrinkle). Tekukan ini akan terus berlanjut sehingga terdapat variasi gaya yang bekerja sebagai fungsi waktu. Untuk berbagai keperluan tertentu seringkali fluktuasi gaya itu tidak diperhitungkan justru menggunakan gaya rata-rata ( $P_m$ ) dari semua gaya yang terjadi selama proses (Jones dkk 1989)

#### METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan membuat pemodelan menggunakan *software ANSYS WORKBENCH Explicit Dynamic versi Student* yang merupakan *software* resmi berlisensi. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan material *aluminum*

*alloy* dan penumbuk dari baja. Penggunaan *aluminum alloy* dengan pertimbangan bahwa aluminum merupakan material yang tidak mengalami strain hardening.

*Aluminum Alloy* dengan material properti sebagai berikut density  $2500 \text{ kg/m}^3$  dan modulus young 68 Gpa, poisson ratio 0.32. Dilakukan pemodelan dengan menggunakan *design-modeller* yang merupakan fasilitas di dalam ANSYS. Dibuat tabung dengan diameter 20 mm ketebalan 1 mm. Material properti dimasukkan ke dalam pemodelan. *Impactor* dibuat dari baja *stainles-steel* dengan density  $7850 \text{ kg/m}^3$  dengan bentuk kubus ukuran rusuk 100 mm. Sehingga berat impactor adalah 7.8 kg.



Gambar 3. Drop Test

Dilakukan diskritisasi atau meshing pada kedua benda. *Meshing* dilakukan seteliti mungkin dengan memperhatikan kemampuan komputer dan juga tingkat ketelitian yang diinginkan. Semakin banyak elemen semakin teliti tetapi semakin lama waktu proses dan membutuhkan komputer spesifikasi yang cukup.

Ada dua jenis elemen yang dipakai pada proses ini, yaitu *solid* dan *shell*. Elemen solid diaplikasikan pada komponen penumbuk dan elemen shell diaplikasikan di specimen. Dinding tipis specimen memungkinkan penggunaan elemen shell memenuhi syarat dalam simulasi.

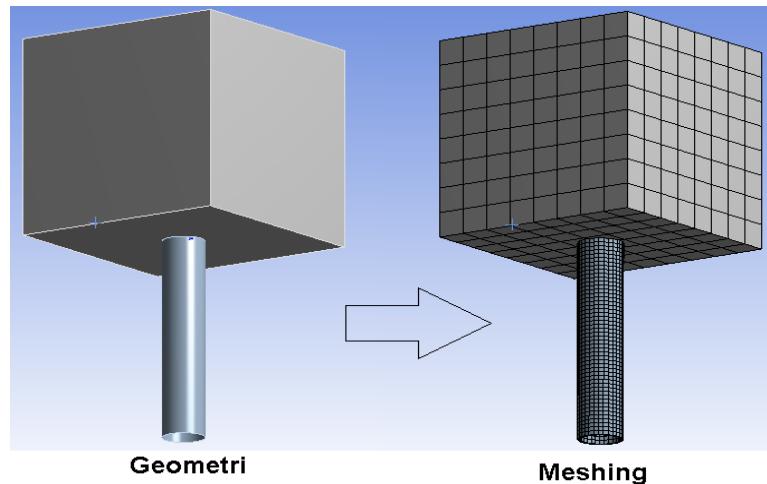
Agar proses menjadi lancar dan cepat, ukuran solid pada penumbuk dibuat besar. Hal ini tidak menjadi masalah karena penumbuk bukan komponen yang akan diselidiki. Sedangkan pada specimen, meshing dilakukan dengan ukuran lebih kecil dan lebih teliti. Tidak ditentukan berapa ukuran pasti tetapi dengan metode membagi komponen menjadi berapa elemen dengan mempertimbangkan faktor komputer yang digunakan.

Untuk mempercepat proses simulasi maka impactor diletakkan tepat di depan silinder aluminum. Kecepatan diatur sesuai dengan ketinggian *drop test* yang diinginkan. Dengan rumus :

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (4)$$

Yang mana  $g$  adalah percepatan gravitasi  $9.8 \text{ m/s}^2$  dan  $h$  adalah ketinggian impactor maka dapat ditentukan kecepatan pada setiap ketinggian yaitu mulai dari

1 m ( $v = 4.43$  m/s), 2m ( $v = 6.26$ m/s), dan 3 m ( $v = 7.67$ m/s). Ketebalan specimen dibuat bervariasi yaitu 0.5 mm dan 1 mm.



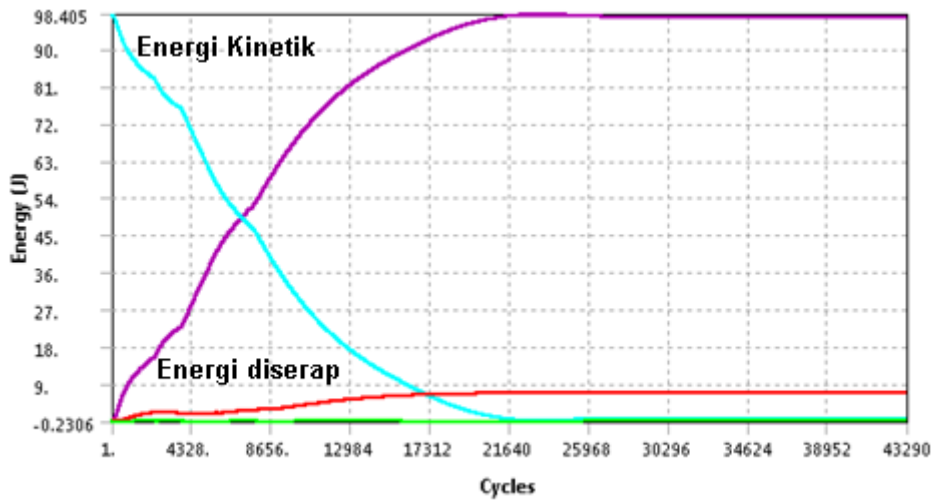
Gambar 4. Pemodelan Geometri dan Meshing

Pada ujung bawah specimen terdapat *fixed support* yang merupakan tumpuan jepit. Kontak antara impactor dengan ujung specimen didefinisikan sebagai *frictionless contact* untuk menetralkan energi kontak yang mungkin terjadi.

Data data simulasi dicatat sebagai total deformasi, *time history*, tegangan, regangan dan energi yang diserap oleh specimen.

#### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

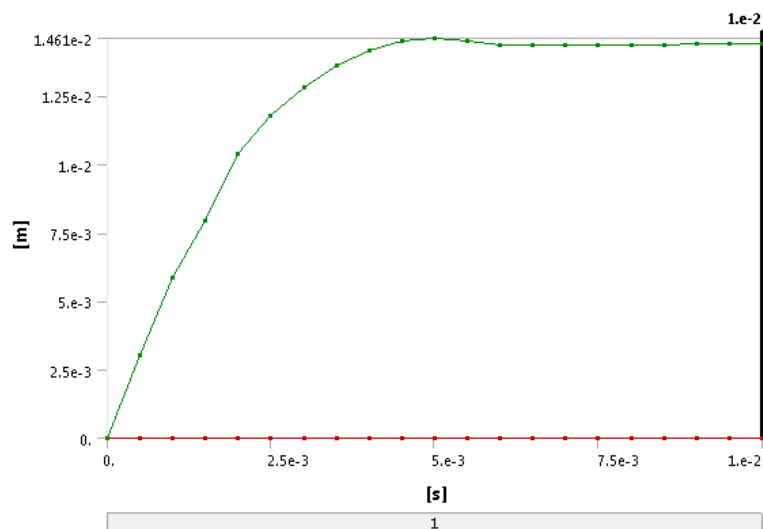
Pada saat impactor menabrak benda kerja, terjadi perpindahan energi dari energi kinetik impactor, sebagaimana persamaan (1) menjadi energi dalam material. Energi dalam didefinisikan sebagai energi yang terserap oleh sistem. Energi yang terserap ini dialokasikan sebagai deformasi pada material, baik deformasi elastis maupun plastis.



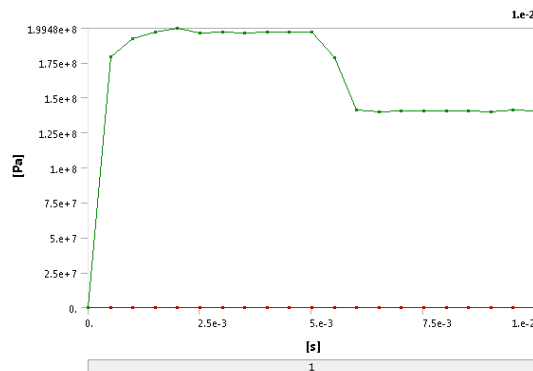
Gambar 5. Energi Kinetik dan Energi Diserap

Dengan menganggap impactor sebagai rigid body maka energi dalam yang terjadi hanyalah energi pada specimen akibat adanya deformasi. Pada gambar 6 merupakan grafik terjadinya proses penyerapan energi saat terjadi tabrakan antara impactor dan specimen.

Mula mula energi kinetik dalam kondisi penuh yaitu 98.405 J. Sesaat setelah kontak dengan specimen, energi diserap oleh aluminum dan mulai terjadi deformasi, dimulai dengan elastis sampai dengan plastis. Kira kira pada cycles ke 21640 seluruh energi kinetik telah diserap oleh specimen dan proses tubrukan berakhir. Specimen akan kembali ke bentuk semula pada daerah elastis sedangkan untuk yang plastis tetap.



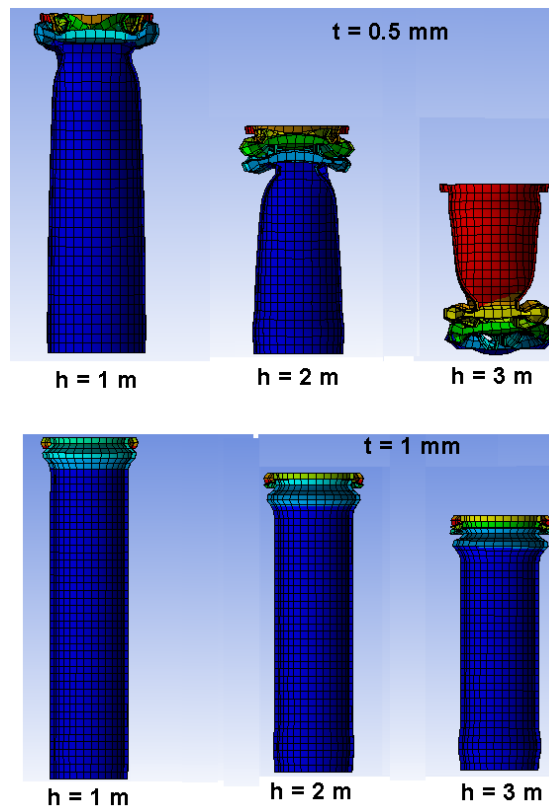
Gambar 6. Deformation History



Gambar 7. Stress History (Von Misses)

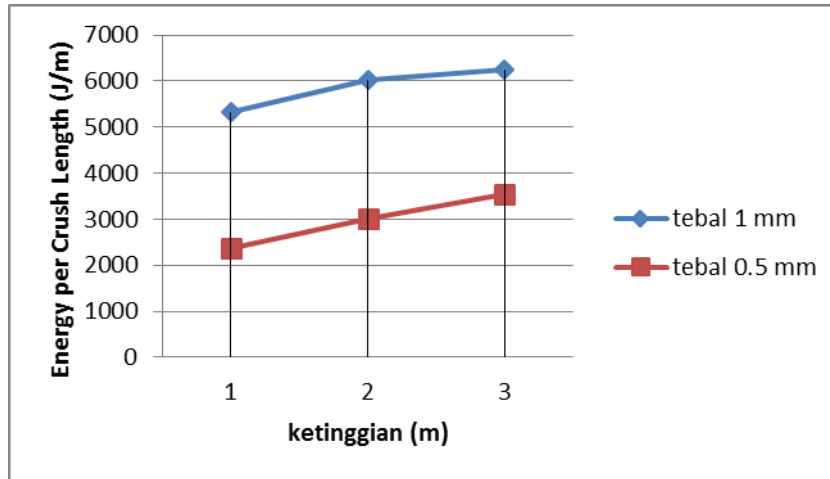
Gambar 7 menunjukkan Deformasi sebagai fungsi waktu. Ini adalah perubahan panjang setiap saat pada saat terjadi tubrukan. Gambar ini merupakan tubrukan pada ketinggian impactor 1 m dengan ketebalan dinding specimen 1 mm. besarnya deformasi tiap selang waktu tidak linier tetapi mengikuti kondisi yang ada pada percobaan yaitu proses deformasi elastis dan plastis. Pada batas proporsional deformasi relatif linier, setelah itu menjadi tidak linier.

Tegangan yang terjadi tiap selang waktu dimulai dengan tegangan kritis pertama sebelum terjadi *yield*. Setelah *yield* terjadi pada specimen terjadi *wrinkle* akibat adanya *progresive buckling* pada dinding aluminum.





Gambar 8. Kondisi Specimen setelah Impact (tebal 0.5 mm dan 1 mm)



Gambar 9. Energy per crush length

Energi yang diserap per panjang deformasi (energy per crush length) didefinisikan sebagai banyaknya energi maksimum yang diserap setiap panjang maksimum dari deformasi. Berturut turut adalah 5317.662 J/m, 6024.821 J/m dan 6246.636 J/m pada ketinggian 1,2 dan 3 m serta ketebalan 1 mm. Untuk yang ketebalan 0.5 mm adalah 2377.077J/m, 3023.196J/m dan 3538.99 J/m

## KESIMPULAN

Pada specimen dengan dimensi dan bahan yang sama ternyata memiliki karakteristik yang berbeda pada saat terkena pembebanan yang berbeda. Dari simulasi didapatkan bahwa semakin besar kecepatan maka gaya rerata semakin besar. Energi yang diserap per unit panjang juga semakin besar. Demikian juga dengan ketebalan, pada ketebalan 1 mm jumlah energy diserap per satuan panjang lebih besar, bentuk dari tekukan adalah simetris dibandingkan yang asimetris pada ketebalan 0.5 mm. Namun demikian perlu dipikirkan juga berapa panjang maksimum dari struktur yang akan dikorbankan untuk menyerap energi agar tercapai keselamatan bagi para penumpang.

Langkah selanjutnya yang harus menjadi pertimbangan oleh desainer kendaraan adalah pemilihan material yang bisa menyerap energi saat terjadi tabrakan sekaligus memberi kekuatan dalam penggunaan sehari hari. Karena seringkali material memiliki sifat yang berkebalikan antara kekuatan, ketangguhan dan kemampuan menyerap energi tabrakan.

## DAFTAR PUSTAKA

Norman Jones, *Structural Impact*, The University of Liverpool, Published by Cambridge University Press, 1989

Witono Hardi, *Analisa Collision Pada Chasis Kendaraan Kota M-Its 4ws*, tesis  
S2 ITS 2006

Zaini Ahmad, *Impact of Energy Absorption of Empty and Foam-Filled Conical  
Tube*, Queensland university of Technology, 2009

Guoxing Lu and Tongxi Yu *Energy absorption of structures and  
materials* First published 2003, Woodhead Publishing Ltd and CRC Press  
LLC © 2003, Woodhead Publishing Limited

Awali, Jatmiko, Choiron, Moh Agus, Yuda Surya Irawan., 2015, “*Pengaruh  
Variasi Geometri Crashbox 2 Segmen Terhadap Kemampuan Menyerap  
Energi Impak Dengan Simulasi Komputer*”, Jurnal Rekasaya Mesin,  
ISSN 2477-6041 Vol. 5, No.21, 2014 p.113-118