

Analisis Numerik Perbandingan Variasi Desain *Aluminium Foam* Pada *Crash Box* Dengan Metode Elemen Hingga

Sahril Afandi Sitompul, Aprilia Sakti K., Ruslan

Program Studi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan,
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma

Komplek Bandara Halim Perdanakusuma, Jakarta 13610, Indonesia

*Corresponding Author : sahrilafandi@universitassuryadarma.ac.id

Abstrak - Seiring penambahan jumlah kendaraan bermotor seperti mobil, kecelakaan terus meningkat. Oleh karena itu, teknologi dibutuhkan untuk mengurangi terjadinya cedera pada penumpang. *Crash box* adalah salah satu teknologi pengaman yang secara luas digunakan saat ini. *Crash box* dipasang antara *bumper* dan *chassis*, dengan proses deformasi (*progressive buckling*) yang bertujuan untuk memberikan perlambatan ketika mobil tabrakan. Sehingga, efek terhadap penumpang menjadi berkurang. Pada Tugas Akhir ini, dilakukan analisis tumbukan kuasi-statis pada tabung persegi berisi *aluminium foam* dan *aluminium foam* tanpa dinding dengan cara numerik. Simulasi numerik menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga, *Abaqus Explicit 3D*. Simulasi dilakukan pada pemodelan dengan panjang sisi 0,055 m tabung luar dan 0,038 m tabung dalam, ketebalan 0,00115 m tabung luar dan 0,001 m tabung dalam dengan 0,18 m. Hasil *output* menunjukkan gaya terhadap waktu dan *displacement* terhadap waktu yang kemudian diolah menjadi harga *mean crushing force* yang berkaitan dengan penyerapan energi. Perbandingan harga *mean crushing force* pada model berupa *aluminium foam* saja sebesar 53,4% dan 80,7% untuk SWFF dan DWFF. Serta model yang paling efektif untuk digunakan pada kendaraan ialah DWFF dengan nilai CFE sebesar 81%.

Kata Kunci : *Progressive buckling*, tabung persegi, tumbukan kuasi-statis, *mean crushing force*, deformasi.

Abstract - According to additional number of vehicle such as car, crash will always be increase. Therefore, technology is need for decrease occupant injury. *Crash box* is one of safety technology which is used widely today. *Crash box* is installed between bumper and chassis, with deformation process (*progressive buckling*) is for giving deceleration when car in crash. In this paper will be done quasi-static crash analysis on square column with aluminium foam filled and aluminium foam without square column by numeric analysis. Numeric simulation used finite element method software, *Abaqus Explicit 3D*. Simulation was done on model with 0.055 m wall outward dan 0.038 m wall inward, thickness 0.00115 m wall outward and 0.001 m wall inward, lenght 0.18 m. Final output indicated force to time and displacement to time and then calculated to get mean crushing force which related to energy absorption. Comparison of mean crushing force for aluminium foam with no square column is 53.4% and 80.7% for SWFF and DWFF. Then, model which effective for energy absorption (CFE) is DWFF with 81%.

Keywords : *Progressive buckling*, square tube, quasi-static axial crushing, *mean crushing force*, deformation

I. PENDAHULUAN

Seiring meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di dunia, Elizabeth Kopits dan Maureen Cropper (2005) memprediksi peningkatan kecelakaan kendaraan bermotor pada tahun 2000 hingga 2020. Berdasarkan hasil prediksi yang diperoleh ialah pada wilayah Asia Selatan (India) mengalami peningkatan kecelakaan sebesar 147%. Hal ini mengindikasikan bahwa angka kematian akibat kecelakaan yang tertinggi terjadi pada wilayah ini.

Kasus kecelakaan yang terjadi di wilayah Asia Selatan tersebut ialah kecelakaan mobil. *Frontal impact* adalah jenis tabrakan yang sering terjadi, sehingga menuntut para ilmuwan untuk mendesain beberapa fitur kendaraan yang berfungsi sebagai pengaman. Fitur keselamatan tersebut diantaranya seperti *airbags*, *bumper*, *crash box*, *seat belts*, dan *ABS (Anti-lock Braking System)*. *Bumper* dan *crash box* berguna untuk melindungi kabin penumpang dari tabrakan arah depan struktur mobil.

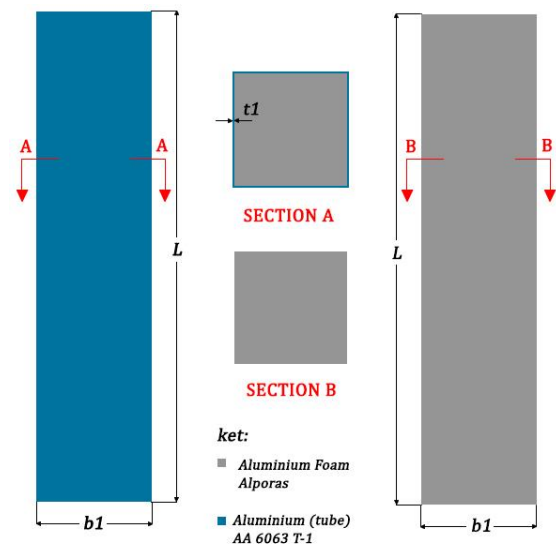
Bumper ialah kunci utama yang terdapat pada struktur mobil. Peran dari *bumper* ini berguna untuk mengurangi dampak tabrakan pada mobil. Prinsip kerja dari sistem ini ialah dengan cara berdeformasi, yang menandakan bahwa energi tabrakan telah diserap. Pada sistem *bumper*, terdapat dua mekanisme struktur yaitu *frontal bar* dan *crushing box*.

Crushing box adalah struktur yang didesain untuk menyerap energi tabrakan menjadi deformasi plastis yang berupa *buckling* dan *wrinkling* khususnya pada tabrakan pada *longitudinal axis*. Oleh sebab itu, penyerapan energi tabrakan dengan kerusakan plastis yang diterima oleh struktur *crushing box* dapat berfungsi maksimal.

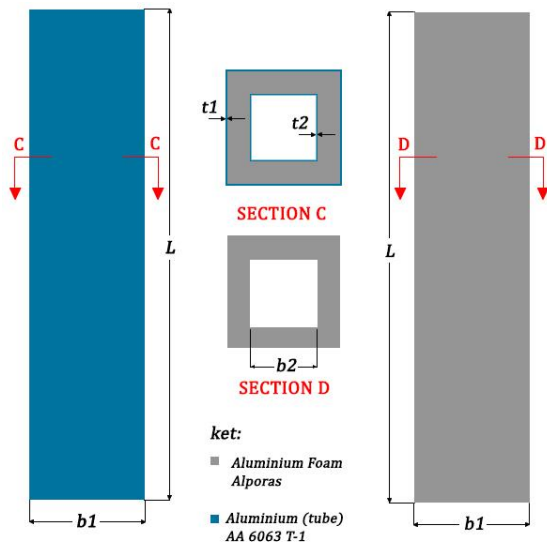
II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, dimulai dengan studi literatur yang bertujuan untuk memahami permasalahan yang akan dihadapi. Kemudian dari studi literatur ini akan diperoleh data-data yang dibutuhkan untuk simulasi permodelan

struktur *crash box* dengan *software numeric* berbasis metode elemen hingga. Pemodelan dibuat dengan panjang 0,18 m, lebar dinding luar 0,055 m x 0,055 m, lebar dinding dalam 0,038 m x 0,038 m, tebal dinding luar 0,00115 m x 0,00115 m, dan tebal dinding dalam 0,001 m x 0,001 m. Terdapat tabung persegi yang diisi dengan *aluminium foam* yang diberi nama *Single Walled Foam-Filled (SWFF)*, dan *Double Walled Foam-Filled (DWFF)*. Pada model lain, disimulasikan untuk memperoleh hasil karakteristik dari *aluminium foam* tanpa tabung persegi yang diberi nama *Full Foam (FF)*, dan *Hollow Foam (HF)*. Setelah itu hasil simulasi dikalkulasi untuk memperoleh efisiensi gaya tabrakan (*Crushing Force Efficiency, CFE*) yang diperoleh dari perbandingan antara gaya tabrakan puncak dengan gaya tabrakan rata-rata.



Gambar 2.1 Geometri SWFF dan FF pada struktur *crash box*



Gambar 2.2 Geometri DWFF dan HF pada struktur *crash box*

Tabel 2.1 Geometri model SWFF dan DWFF

Lebar, b1 (m)	Lebar, b2 (m)	Ketebalan, t1 (m)	Ketebalan, t2 (m)	Massa Tubrukan (kg)	Kecepatan Tubrukan (m/s)
Set 1 (Simulasi Numerik tabung <i>crash box</i> dengan SWFF)					
0,055	-	0,00115	-	75,63	9
Set 2 (Simulasi Numerik Tabung <i>crash box</i> dengan DWFF)					
0,055	0,038	0,00115	0,001	75,63	9

Material property yang digunakan pada pemodelan struktur *crash box* adalah AA 6063-T1 untuk tabung persegi yang berupa *aluminium* berdingding tipis (*thin-walled*), dan *aluminium foam alporas* untuk material pengisi tabung persegi dan tanpa tabung persegi dengan menggunakan model material *crushable foam*, karena model material tersebut dapat mensimulasikan pada karakteristik *aluminium foam* yang tidak akan kembali ke bentuk semula ketika mengalami tumbukan.

Tabel 2.2 Properti AA 6063-T1

AA 6063-T1	
Young's modulus, E (GPa)	73.169.10 ⁹
Tensile stress, σ_y (MPa)	154
Poisson's ratio, ν	0.3
Density, ρ (kg/m ³)	2700

Tabel 2.3 Yield Stress-Plastic Strain

	Yield Stress (Pa)	Plastic Strain
1	84.07x10 ⁶	0.0
2	114.30x10 ⁶	0.01375
3	132.90x10 ⁶	0.0275
4	144.27x10 ⁶	0.04125
5	152.92x10 ⁶	0.055
6	159.05x10 ⁶	0.06875
7	163.44x10 ⁶	0.0825
8	168.90x10 ⁶	0.09625

Tabel 2.4 Properti *Aluminium Foam Alporas*

Alporas	
Density, ρ (kg/m ³)	200
Young's modulus, E (Pa)	0,858x10 ⁹
Poisson's Ratio, ν	0,167
Tensile Strength (Pa)	0,0019x10 ⁹

Kondisi batas pada bagian bawah (*base/support*) yang dibuat tetap sebagai tumpuan. Pemodelan yang dibuat dengan mendefinisikan kontak yang dibuat antara *impactor plate* dengan permukaan tabung persegi, dan permukaan dinding *aluminium* dan *aluminium foam* agar tidak terjadi *overlap* ketika proses pelipatan. Interaksi yang digunakan antara *impactor plate* dengan *crash box* digunakan jenis kontak *general contact (explicit)*.

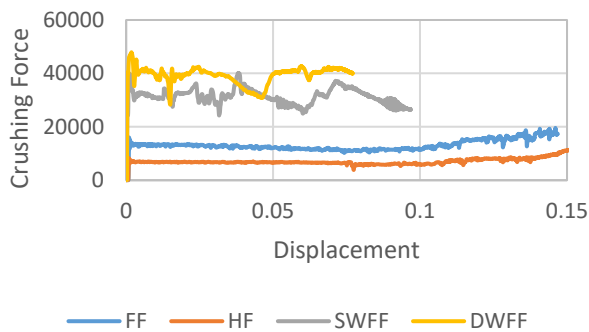
Hasil analisis numerik yang diperoleh berupa gaya tumbuk pada setiap deformasi plastis yang terjadi pada model yang dianalisis. Kemudian hasil pada grafik *instantaneous force-displacement* dibandingkan dengan berbagai geometri pemodelan. Setelah itu dapat diperoleh perbedaan antara setiap model yang dibuat.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

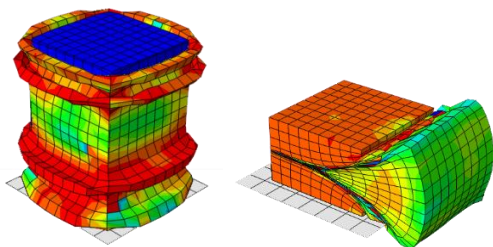
3.1 *Instantaneous Crushing Force*

Hasil yang diperoleh dari simulasi numerik dalam bentuk geometri dan material yang berbeda, serta akan menunjukkan bentuk deformasi yang terjadi pada struktur *crash box*. Selain itu, dapat diperoleh grafik *instantaneous force, mean crushing force-displacement* yang menunjukkan besarnya rata-rata gaya yang diterima per jarak deformasi, dan

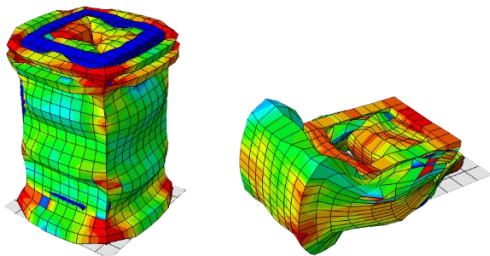
peak force yang merupakan nilai puncak gaya pada saat terjadinya tumbukan melalui mekanisme deformasi plastis.



Gambar 3.1 Perbandingan grafik deformasi tumbukan pada keempat pemodelan



Gambar 3.2 Perbandingan bentuk deformasi SWFF dan FF



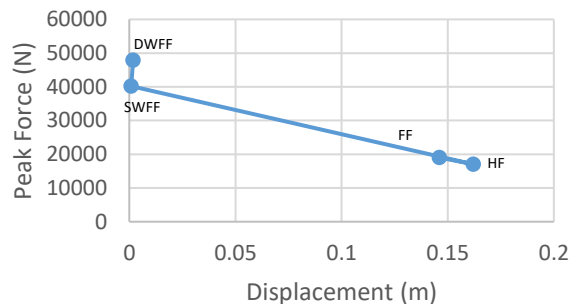
Gambar 3.3 Perbandingan bentuk deformasi DWFF dan HF

Dari Gambar 3.1 sampai Gambar 3.3 menunjukkan grafik *instantaneous force* dan bentuk deformasi pada pemodelan *crash box aluminium foam* dengan tabung persegi dan tanpa tabung persegi. Bentuk deformasi keempat model tidak beraturan, terutama pada *aluminium foam* tanpa tabung persegi. Hal ini dikarenakan *aluminium foam* tidak dilindungi atau dibalut dengan dinding, sehingga arah deformasi menjadi tidak terkontrol. Strukturnya yang berongga menerima gaya dari *impactor* yang rendah pada awalnya. Dan terus meningkat seiring bertambahnya deformasi, karena

semakin pendek *aluminium foam*, maka semakin padat. Gaya puncak *Full Foam* sebesar 19070,20 Newton dan *Hollow Foam* sebesar 17028,60 Newton. Pada *crash box aluminium foam* dengan tabung persegi diperoleh harga gaya puncak sebesar 40170,30 Newton untuk model SWFF dan 47917,20 Newton untuk model DWFF. Dari grafik dapat diinterpretasikan bahwa peran material tabung persegi AA 6063-T1 yang digunakan cukup signifikan, maka gaya puncak yang diperoleh pun semakin besar.

3.2 Peak Force

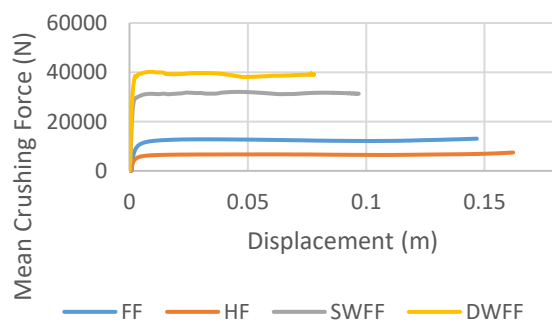
Pada Gambar 3.3 menunjukkan perbedaan bentuk deformasi yang mengakibatkan kenaikan nilai P_{max} pada model *crash box* dengan tabung persegi. Model *crash box* yang memiliki P_{max} tertinggi ialah dengan dinding ganda yang berisi *aluminium foam* (DWFF).



Gambar 3.4 Grafik *peak force*

3.3 Mean Crushing Force

Gaya penghancur rata-rata yang diterima oleh *crash box* berkaitan dengan energi yang diserap. Hal ini ditunjukkan dengan grafik *mean crushing force* terhadap *displacement*.



Gambar 3.5 Grafik *mean crushing force*

Gambar 3.5 menunjukkan grafik *mean crushing force* pada keempat model yang dianalisis. Harga *mean crushing force* yang tertinggi ialah model DWFF sebesar 38802,58 Newton, disusul oleh model SWFF sebesar 31331,43 Newton, kemudian untuk model FF sebesar 12345,39 Newton, dan terendah ialah model HF sebesar 6593,91 Newton. Hal ini menunjukkan bahwa dengan variasi material dan bentuk, dapat menghasilkan harga *mean crushing force* yang berbeda secara signifikan. Terutama pada *aluminium foam* sebagai pengisi dari tabung persegi berdinding tipis.

IV. KESIMPULAN

Setelah melaksanakan simulasi numerik dengan metode elemen hingga, untuk kasus tumbukan kuasi-statik pada *aluminium foam* dengan tabung persegi dapat disimpulkan bahwa nilai *peak force* lebih tinggi ialah model *aluminium foam* dengan tabung persegi yaitu 47917,20 N dan 40170,30 N. Kemudian untuk *aluminium foam* tanpa tabung persegi memiliki nilai *peak force* yang lebih rendah yaitu 19070,20 N dan 17028,60 N. Sedangkan harga *mean crushing force* sebesar 38802,58 N dan 31331,43 N pada *aluminium foam* dengan tabung persegi, lalu 12345,39 N dan 6593,91 N untuk *aluminium foam* tanpa tabung persegi. Hal ini menunjukkan bahwa *aluminium foam* dengan tabung persegi memiliki angka-angka *peak force* dan *mean crushing force* yang lebih besar dengan nilai efisiensi penyerapan energi sebesar 81 % dan 78 % untuk model DWFF dan SWFF.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kopits, Elizabeth and Maureen Cropper. 2005; *Traffic Fatalities and Economic Growth*. Washington DC : *Accident Analysis & Prevention, Vol 37, Pages 169-178*.
- [2] T Frank and K Gruber. *Numerical simulation of frontal impact and offset collisions*. Cray Research Inc., *CRAY Channels* : 2–6, 1992.
- [3] Abramowicz, W dan Wierzbicki. 1983; *On the Crushing Mechanics of Thin Walled Structures*. *Journal of Applied Mechanics, Vol. 50, No. 1983*.
- [4] Gunawan, Annisa, Tatacipta, dan Ichsan. 2013; *Experimental Study of Foam Filled Aluminum Columns under Axial Impact Loading*. Bandung : *Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 20, No. 2 2013*.
- [5] Paul, Clifford, Bahig, Tawfik, Albert, Hikmat, Harold, Jac. 2004; *Vehicle Crashworthiness and Occupant Protection*. Michigan: *American Iron and Steel Institute 2000 Town Center*.
- [6] Annisa, Supemda, Tatacipta, Leonardo, Ichsan. 2012; *Pengaruh Pengisian Aluminium Foam Terhadap Karakteristik Tumbukan Aksial Tabung Segi Empat*, Vol. No. 2012