

Analisis Numerik Efek Diskontinuitas Tumbukan Kecepatan Rendah

Bismil Rabeta*, Sahril Afandi Sitompul

Program Studi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan,
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma
Komplek Bandara Halim Perdanakusuma, Jakarta 13610, Indonesia
*Corresponding Author : bismilrabeta@universitassuryadarma.ac.id

Abstrak - Aplikasi tabung berdinding tipis telah banyak digunakan pada pembuatan rancangan teknologi otomotif sebagai penyerap energi ketika terjadi tabrakan. Komponen tersebut salah satunya adalah *crushing box* pada mobil. *Crushing box* ini berfungsi menyerap energi tumbukan akibat tabrakan melalui proses deformasi (*progressive buckling*). *Crushing box* digunakan sebagai penyerap energi dan secara umum strukturnya berupa tabung berdinding tipis. Pada desain *crushing box*, tabung dapat diberi diskontinuitas berupa lubang sirkular sehingga diharapkan proses deformasi dapat dimulai di sekitar lubang tersebut untuk memberikan perlambatan yang berada pada tingkat aman terhadap tubuh penumpang ketika terjadi tabrakan. Pada Tugas Akhir ini, akan dilakukan analisis tumbukan kuasi-statik dilakukan dengan cara numerik. Simulasi numerik menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga, *Abaqus Explicit 3D*. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan rasio lubang pada tabung *crushing box* menjadi rasio D/b 0.0, 0.2, 0.3, dan 0.5. Hasil *output* berupa deformasi tegangan dan regangan sebagai acuan dalam membandingkan efek diskontinuitas lubang berbentuk lingkaran dan elips terhadap harga *peak force*.

Kata kunci: *Crushing box*, *peak force*, tumbukan kuasi-statik, *progressive buckling*, deformasi.

Abstract - Applications of thin-walled hollow structure has been widely used in design configuration of automotive technology as energy absorbers when the collision occurred. One of the automotive engineering developments is *crushing box*. *Crushing box* works by absorbing the impact energy of collision through deformation process (*progressive buckling*). In design of *crushing box*, the hollow tube can be given a circular hole discontinuity (imperfection) so that the process can change around the hole to provide a deceleration that occurs at a safe level to the passenger body. In this research, a quasi-static axial crushing analysis will be conducted by numerical method. Numerical simulation were performed by finite element method software, *Abaqus Explicit 3D*. The experiment is done by varying the circular hole of the *crushing box* into a D/b ratio of 0.0, 0.2, 0.3, and 0.5. The output results shown the stress and strain deformations as reference in the discontinuities of circular and elliptical forms to peak force value.

Keywords : *Crushing box*, *peak force*, quasi-static axial crushing, *progressive buckling*, deformation.

I. PENDAHULUAN

Tingginya peningkatan jumlah kendaraan bermotor terjadi setiap tahun sehingga memicu kepadatan lalu lintas dan tingkat kecelakaan. Oleh sebab itu, jumlah korban jiwa meningkat tiap tahunnya. Berdasarkan hasil prediksi TFEC (*Traffic Fatalities and Economic Growth*), pada tahun 2000 hingga 2020, Asia Selatan diperkirakan tercatat sebagai pemilik angka kematian tertinggi akibat kecelakaan, dengan peningkatan sebesar 144% terutama di negara-negara yang memiliki pendapatan tinggi (WHO 2004).

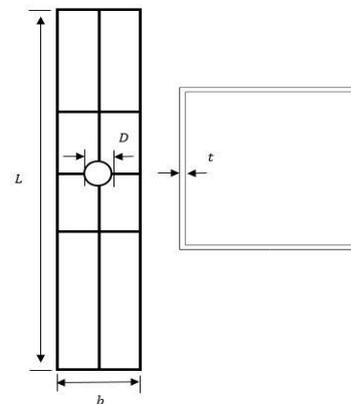
Variasi tingkat kecelekaan tertinggi pada negara yang memiliki pendapatan perkapita tinggi adalah kecelakaan kendaraan roda empat atau mobil. Untuk melindungi penumpang yang berada di dalam mobil, saat ini banyak fitur keselamatan baru seperti *airbags*, *bumper*, *crush box*, *seat belts*, dan *ABS brakes*. *Bumper* dan *crush box* berguna untuk melindungi kabin penumpang dari tabrakan arah depan struktur mobil.

Bumper merupakan salah satu kunci utama pada suatu struktur mobil, dimana *bumper* memiliki peran penting untuk mengurangi dampak tabrakan mobil. Sistem ini bekerja melalui menyerap energi akibat tabrakan dengan cara berdeformasi. Pada umumnya, terdapat dua mekanisme sistem *bumper* kendaraan, yaitu *frontal bar* dan *crushing box*.

Crushing box adalah struktur yang didesain untuk menyerap energi tumbukan menjadi deformasi plastis berupa *wrinkling* dan *buckling* terutama pada kasus tumbukan longitudinal. Oleh karena itu, diharapkan seluruh energi tumbukan dapat diserap menjadi kerusakan plastis pada struktur *crushing box*.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur untuk memahami permasalahan yang akan dihadapi. Dari studi literatur akan didapatkan data-data masukan untuk penelitian. Setelah data-data penelitian didapatkan selanjutnya melakukan simulasi pemodelan struktur *crush box* pada *software* numeric berbasis metode elemen hingga. Simulasi dilakukan dengan membuat model tabung persegi dengan ukuran panjang 0.18 m, lebar 0.038 m, ketebalan 0.00115 m. Tabung persegi diberi dua lubang dengan bentuk dan rasio yang berbeda dan ditempatkan di titik tengah tabung pada dinding yang berlawanan.



Gambar 2.1 Geometri struktur *crush box*

Tabel 2.1 Geometri simulasi tabung persegi untuk set 1 dan 2

Lebar, b (m)	Ketebalan, t (m)	D/b	Jumlah Lubang	Kecepatan Tubrukan (m/s)	Massa Tubrukan (kg)
Set 1 (Simulasi numerical tabung <i>crush box</i> dengan lubang lingkaran)					
0.038	0.00115	0	2	4.3684	45.5
		0.2		4.3812	
		0.3		4.3602	
		0.5		4.4024	
Set 2 (Simulasi numerical tabung <i>crush box</i> dengan lubang elips)					
0.038	0.00115	0.2	2	4.3812	45.5
		0.3		4.3602	
		0.5		4.4024	

Material yang digunakan pada proses simulasi kali ini adalah material AA 6063-T1 untuk model *crush box* yang berupa tabung aluminium ber dinding tipis.

Tabel 2.2 Properti dari AA 6063-T1

AA 6063-T1	
Young's modulus, E (GPa)	73.169.10 ⁹
Tensile stress, σ_t (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

Kondisi batas fix diberikan pada elemen paling bawah model tabung yang mewakili fungsi penyangga (*support*). Untuk memodelkan tumbukan yang terjadi, kondisi kontak didefinisikan antara *impactor plate* dengan permukaan *crush box* ketika terjadi proses lipatan. Untuk interaksi antara *impactor plate* dengan *crush box* digunakan jenis kontak *general contact (explicit)*.

Hasil analisis metode elemen hingga berupa informasi gaya tumbuk untuk setiap deformasi aksial yang terjadi pada tabung (grafik *instantaneous force-displacement*). Dengan membandingkan kurva-kurva tersebut untuk berbagai geometri tabung, pengaruh lubang pada dinding tabung dapat dianalisis.

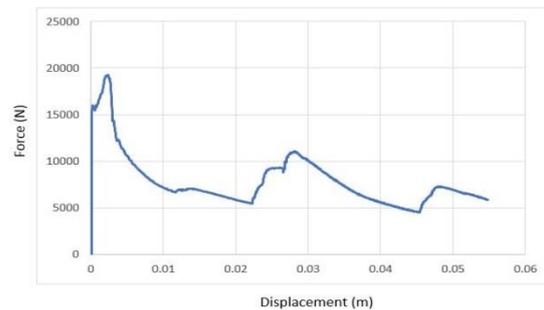
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 *Instantaneous Crushing Force*

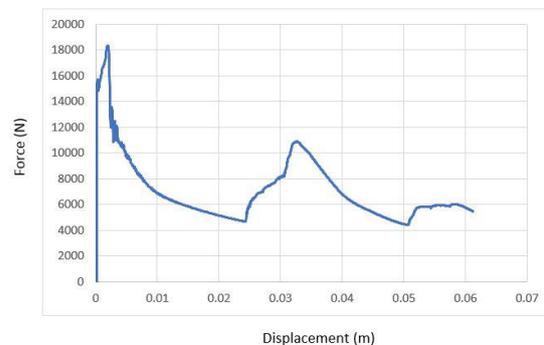
Hasil simulasi numerik diperoleh dalam bentuk geometri dan material yang sama, serta akan menunjukkan bentuk deformasi yang

terjadi pada struktur *crush box*. Selain itu, dapat diperoleh grafik *instantaneous force, peak force* yang merupakan nilai puncak gaya pada saat terjadinya tumbukan melalui mekanisme deformasi plastis.

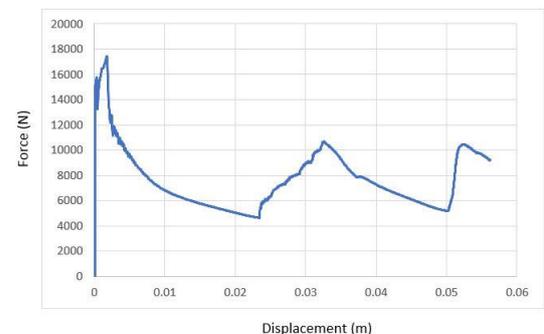
Simulasi tumbukan yang terjadi pada *crush box* menggunakan variasi rasio pada *hole imperfection* yaitu rasio D/b dari 0.0, 0.2, 0.3, dan 0.5. Hasil eksperimen berupa diagram data *crushing force vs crushing length (force vs displacement)*.



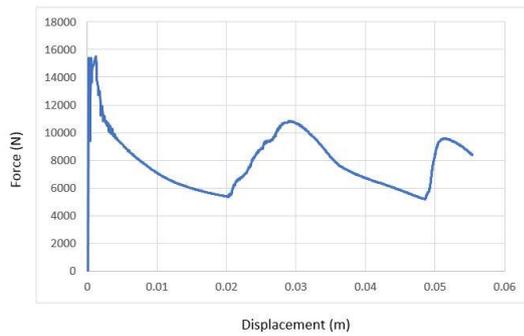
Gambar 3.1 Mode deformasi dan grafik *crushing force* dengan D/b=0.0



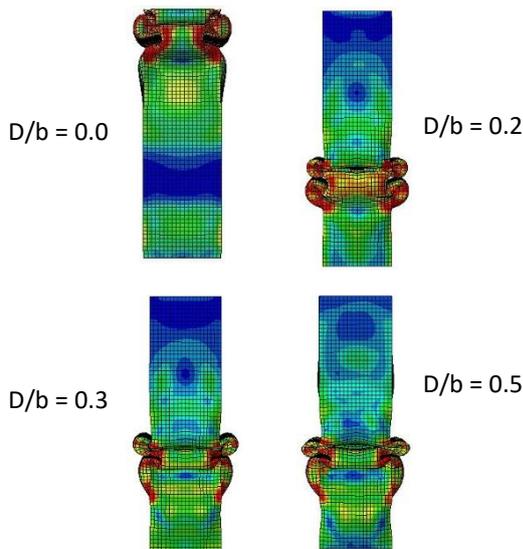
Gambar 3.2 Mode deformasi dan grafik *crushing force* dengan D/b=0.2



Gambar 3.3 Mode deformasi dan grafik *crushing force* dengan D/b=0.3

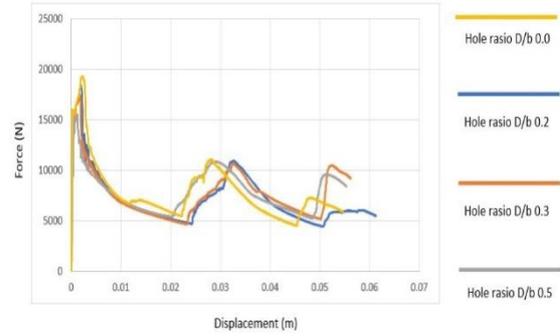


Gambar 3.4 Mode deformasi dan grafik *crushing force* dengan $D/b=0.3$



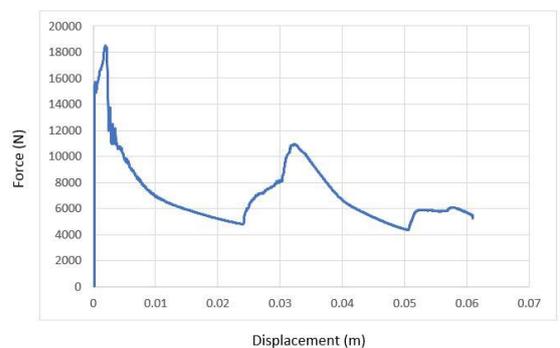
Gambar 3.5 Mode deformasi $D/b=0.0, 0.2, 0.3, 0.5$

Dari gambar 3.1 hingga gambar 3.5 grafik *crushing force* dan mode deformasi dengan lubang berbentuk lingkaran dapat ditunjukkan bahwa deformasi yang terjadi tidaklah sama antara tabung *crush box* yang berbeda rasio D/b . Pada saat rasio $D/b = 0.0$ gaya puncak mencapai 19280 Newton, saat rasio $D/b = 0.2$ gaya puncak mencapai 18343 Newton, rasio $D/b = 0.3$ gaya puncak berada pada 17422 Newton, dan saat rasio $D/b = 0.5$ gaya puncak berada pada 15494 Newton. Semakin besar rasio D/b semakin kecil pula gaya puncak yang dihasilkan.

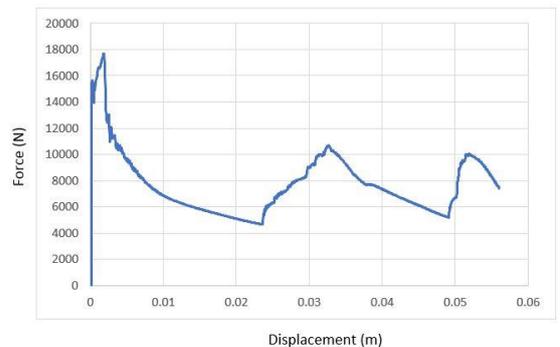


Gambar 3.6 Perbandingan grafik deformasi tumbukan pada tabung *crush box* dengan lubang lingkaran rasio $D/b = 0.0, 0.2, 0.3$, dan 0.5 .

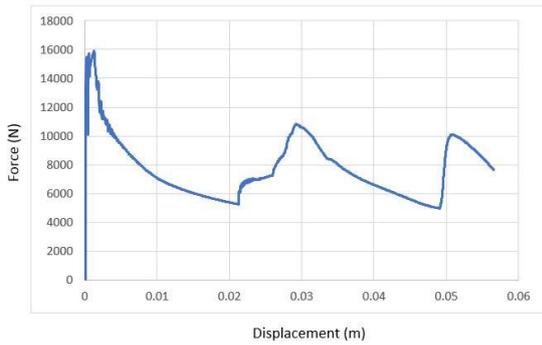
Selanjutnya dilakukan simulasi numerik pada tabung *crush box* namun bentuk lubang diubah menjadi elips untuk membandingkan seberapa besar perbedaan gaya puncak yang terjadi antara tabung *crush box* yang memiliki lubang berbentuk lingkaran dengan tabung *crush box* yang memiliki lubang berbentuk elips. Rasio D/b yang digunakan pada tabung *crush box* berlubang elips tetap sama yaitu rasio $D/b = 0.2, 0.3$, dan 0.5 .



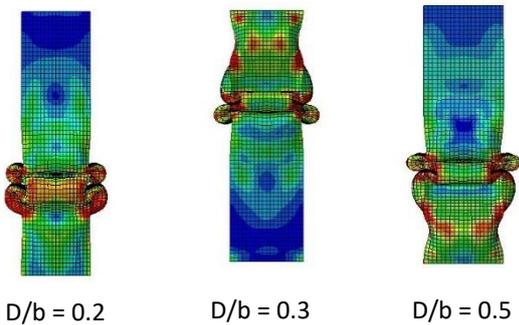
Gambar 3.7 Mode deformasi dan grafik *crushing force* (elips) dengan $D/b=0.2$



Gambar 3.8 Mode deformasi dan grafik *crushing force* (elips) dengan $D/b=0.3$

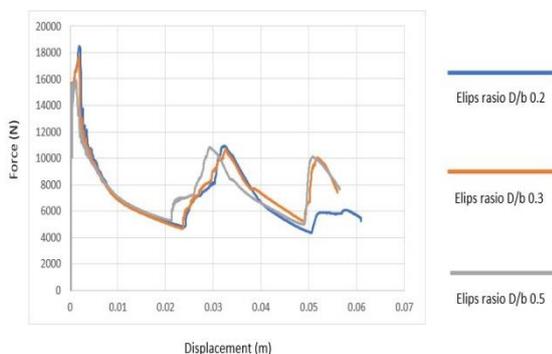


Gambar 3.9 Mode deformasi dan grafik *crushing force* (elips) dengan $D/b=0.5$



Gambar 3.10 Mode deformasi $D/b=0.0, 0.2, 0.3, 0.5$

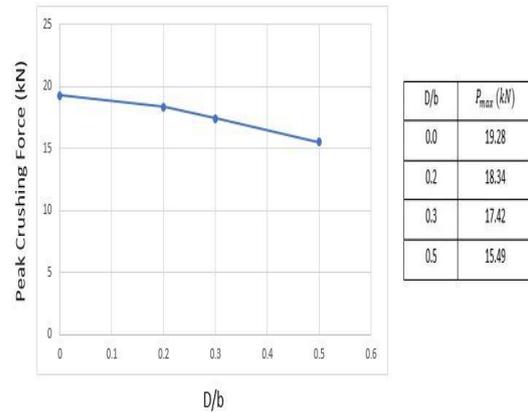
Dari gambar 3.7 hingga gambar 3.10 dapat ditunjukkan bahwa deformasi yang terjadi tidaklah sama antara tabung *crush box* yang berbeda rasio D/b . Pada saat rasio $D/b = 0.2$ gaya puncak mencapai 18476 Newton, rasio $D/b = 0.3$ gaya puncak berada pada 17686 Newton, dan saat rasio $D/b = 0.5$ gaya puncak berada pada 15925 Newton. Semakin besar rasio D/b semakin kecil pula gaya puncak yang dihasilkan.



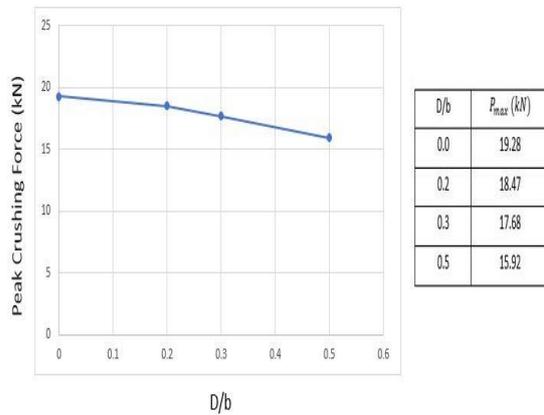
Gambar 3.11 Perbandingan grafik deformasi tumbukan pada tabung *crush box* dengan lubang elips rasio $D/b = 0.2, 0.3, \text{ dan } 0.5$.

3.2 Peak Force

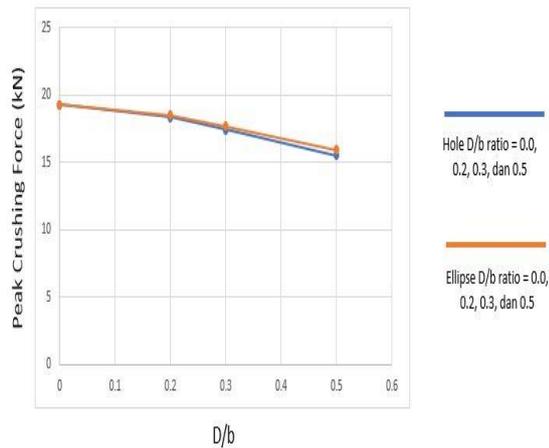
Gambar 3.5 dan gambar 3.10 menunjukkan bahwa perbedaan bentuk lubang serta adanya variasi rasio pada tabung mengakibatkan penurunan harga P_{max} . Tabung dengan lubang berbentuk elips memiliki harga P_{max} tertinggi.



Gambar 3.12 Grafik P_{max} variasi rasio D/b pada tabung *crush box* dengan lubang berbentuk lingkaran.



Gambar 3.13 Grafik P_{max} variasi rasio D/b pada tabung *crush box* dengan lubang berbentuk elips.



Gambar 3.14 Grafik P_{max} variasi rasio D/b pada tabung *crush box* dengan lubang berbentuk lingkaran dan elips.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi elemen hingga untuk kasus tumbukan pada tabung berpenampang bujur sangkar, dapat disimpulkan bahwa ditentukan harga *crushing force* antara tabung *crush box* dengan lubang berbentuk lingkaran dan elips. Dimana tabung *crush box* dengan lubang berbentuk lingkaran memiliki harga *crushing force* yang lebih rendah yaitu 18343 N, 17422 N, dan 15494 N. Sedangkan pada tabung *crush box* dengan lubang berbentuk elips memiliki harga *crushing force* lebih besar yaitu 18476 N, 17686 N, dan 15925 N.

Penambahan efek diskontinuitas pada tabung berupa lubang berbentuk lingkaran dan elips memberikan pengaruh yang cukup besar pada nilai *peak force*. Pada tabung tanpa lubang dengan tabung yang memiliki lubang berbentuk lingkaran terjadi penurunan harga *peak force* sebesar 4.87%-19.66%. Sedangkan pada tabung tanpa lubang dengan tabung yang memiliki lubang berbentuk elips penurunan harga *peak force* sebesar 4.20%-17.43%.

Penggunaan tabung *crush box* tanpa lubang memiliki hasil *peak force*

tertinggi dibandingkan dengan tabung *crush box* yang memiliki lubang berbentuk lingkaran maupun elips.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] World Health Organization; *World report on road traffic injury prevention*; 2004
- [2] World Health Organization; *Global Status Report On Road Safety*; 2009
- [3] Frank, T. dan Gruber, K. (1992): *Numerical Simulation of Frontal Impact and Offset Collision*; Cray Researc Inc., CRAY Channels:2-6,1992
- [4] Langseth, M. (2003): *Crashworthiness of light-weight automotive structures*;2001-2006; In Norlight Conference
- [5] Tarigopula, V., Langseth, M., Hopperstad, O.S. dan Clausen, A.H. (2006): *AxialCrushing of Thin-Walled High Strenght Steel Sections*, Int. Journal of Impact Engineering 32, pp. 847-882
- [6] Jones, N. (1989): *Structural Impact*. Cambridge University Press