

## **SIMULASI PEMBEBANAN PADA TABUNG TIPIS DARI ALUMINIUM DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

### *LOAD SIMULATION OF ALUMINIUM THIN TUBE BY USING FINITE ELEMENT METHOD*

<sup>1)</sup>Agus Dwi Anggono, <sup>2)</sup> Yusuf Bahtiar

<sup>1,2)</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. Ahmad Yani PO.BOX 1 Pabelan Surakarta 57162  
\*Email: ada126@ums.ac.id

#### **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah elemen dan velocity terhadap tegangan pada proses simulasi buckling bentuk silinder berdinding tipis dengan material aluminium. Simulasi buckling dilakukan dengan jumlah elemen 3388 dan menggunakan velocity yang berbeda beda untuk melihat hasil tegangan dan regangan yang terjadi. Metode penelitian yang digunakan berupa simulasi menggunakan software berbasis metode elemen hingga. Pengujian juga dilakukan dengan parameter yang sama seperti simulasi untuk memvalidasi hasil deformasi pada simulasi. Bentuk benda yang didesain berupa Thin Cylinder dengan diameter 40 mm, tinggi 120 mm dan ketebalan 0.2 mm. Model kedua dengan diameter 100 mm, tinggi 100 mm dan ketebalan 0.5 mm. Pada rangka atau silinder tipis tersebut dilakukan meshing dengan variasi jumlah elemen 2945, 3260, 3388, 4455 dan 4936. Sedangkan velocity digunakan 75mm/s. Variasi berikutnya dengan Velocity 70, 75, 80, 85 dan 90 dan jumlah elemen tetap yaitu 3388. Material yang digunakan adalah Aluminium dengan densiti 2770 kg/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas 7.1E+10 dan Poisson ratio 0.33. Hasil yang diperoleh pada nilai tegangan tertinggi sebagai berikut : Jumlah Elemen 2945 = 1.9402x10<sup>8</sup>Pa, Elemen 3260 = 6.0944x10<sup>8</sup>Pa, Elemen 3388 = 3.8546x10<sup>8</sup>Pa, Elemen 4455 = 1.2405x10<sup>8</sup>Pa, Elemen 4936 = 3.1069x10<sup>8</sup>Pa. Hasil Tegangan dengan beberapa Velocity sebagai berikut ; Velocity 70 = 3.8050x10<sup>8</sup>Pa, Velocity 75 = 3.8456x10<sup>8</sup>Pa, Velocity 80 = 3.2873x10<sup>8</sup>Pa, Velocity 85 = 1.9568x10<sup>8</sup>Pa, Velocity 90 = 2.4904x10<sup>8</sup>Pa. Hasil desformasi pada simulasi mendekati dengan hasil deformasi pada pengujian.

**Kata Kunci** : Buckling, Deformasi, Tegangan dan Metode Elemen Hingga

#### **PENDAHULUAN**

Sebagian besar struktur yang memiliki dimensi tipis dan menerima tegangan tekan akan mengalami masalah instabilitas tekuk atau buckling. Buckling merupakan suatu proses dimana suatu struktur tidak mampu mempertahankan bentuk aslinya, sedemikian rupa sehingga berubah bentuk dalam rangka menemukan keseimbangan baru. Konsekuensi buckling pada dasarnya adalah masalah geometrik dasar, dimana terjadi lendutan besar sehingga akan mengubah bentuk struktur. Fenomena tekuk atau buckling dapat terjadi pada sebuah kolom, lateral buckling balok, dan pelat (Dong, Li, & Wen, 2015).

Buckling merupakan suatu jenis dari kegagalan struktur yang terjadi pada struktur kolom atau yang berbentuk tiang. Hal ini terjadi akibat pembebanan secara aksial pada struktur tersebut, jika suatu tiang yang tipis diberi tekanan maka tiang tersebut akan membengkok dan terdeteksi secara lateral sehingga dapat dikatakan struktur tersebut mengalami Buckling. Dengan bertambahnya beban aksial pada struktur kolom maka defleksi lateral juga akan bertambah dan pada akhirnya kolom akan benar benar terdeformasi plastis.

Peristiwa buckling dapat terjadi pada batang tipis yang mendapatkan tekanan aksial. Batang plat tipis adalah batang yang mempunyai perbandingan panjang dan jari-jari girasi penampang yang besar. Analisis buckling merupakan metode yang digunakan untuk menghitung beban buckling, beban kritis pada struktur yang menjadikan kondisi tidak stabil dan ragam buckling. Demikian juga untuk

mengetahui karakteristik bentuk yang berhubungan dengan respon struktur yang mengalami buckling. Ada dua metode dalam melakukan analisis buckling untuk memprediksi beban buckling, yaitu analisis *nonlinear buckling* dan analisa *eigenvalue linear buckling* (Maraveas, Balokas, & Tsavdaridis, 2015).

Metode analisis instabilitas secara umum ada dua jenis yaitu *bifurcation* (eigenvalue, linear) buckling dan *snap through* (nonlinear) buckling. Pada metode pertama, analisis *bifurcation buckling*, beban kritis buckling dianalisis pada titik bifurkasi dari idealisasi struktur elastic linear dengan penyelesaian masalah nilai eigen (*eigenvalue*). Meskipun analisis pendekatan dengan nilai eigen ini hasilnya tidak pasti akan tetapi karena lebih cepat, maka metode ini digunakan sebagai pendekatan awal. Sedangkan metode kedua, *snap through* (nonlinear) buckling, biasanya lebih akurat dengan metode analisis non linear. Pada analisis non linear *snap through buckling*, struktur dianalisis terhadap beban yang meningkat secara gradual tahap demi tahap sampai beban batas (Maraveas et al., 2015).

Pada penelitian ini, analisis dan simulasi dilakukan dengan menggunakan software ANSYS 15. Desain punch dengan dimensi 100x100x5 mm untuk ukuran tinggi, diameter dan radius tepi. Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah mengetahui fenomena buckling pada model silinder tipis dan mengetahui parameter – parameter analisis pada FEM yang berpengaruh terhadap buckling.

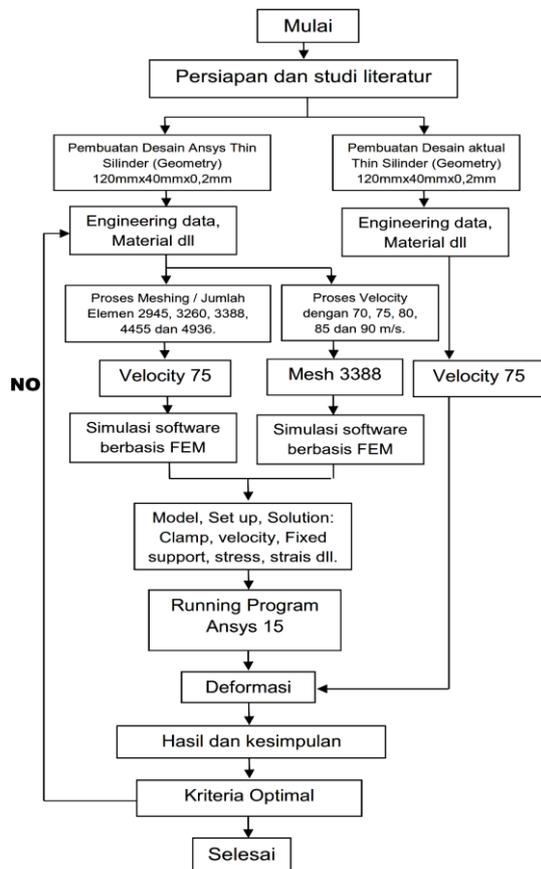
Suatu kontruksi bangunan, terutama pada kontruksi yang terbuat dari beton, baja atau keduanya tidak lepas dari elemen-elemen plat, kolom maupun balok kolom. Masing masing elemen tersebut akan menerima gaya normal, pada umumnya terdapat pada kolom, baik tekan atau normal sehingga terjadi tegangan normal. Akibat gaya normal tersebut terjadi deformasi berupa pemendekan akibat gaya tekan dan bertambah panjang akibat gaya tarik. Jika semua itu masih dalam batas batas yang diijinkan, maka kontruksi tersebut akan stabil (Liu, Zhang, Wang, & Chang, 2015).

Buckling merupakan suatu jenis dari kegagalan struktur yang terjadi pada struktur kolom atau juga berbentuk tiang. Hal ini terjadi akibat pembebanan secara aksial pada struktur tersebut, jika suatu tiang yang tipis diberi tekanan maka tiang tersebut akan membengkok dan terdefleksi secara lateral sehingga dapat dikatakan struktur tersebut mengalami Buckling. Dengan bertambahnya beban aksial pada struktur kolom maka defleksi lateral juga akan bertambah dan pada akhirnya kolom akan benar-benar terdeformasi plastis (Jiang, Landis, & Kyriakides, 2016).

Metode elemen hingga adalah metode yang digunakan untuk memperoleh pendekatan solusi permasalahan nilai batas di dalam rancang bangun teknik. Metode elemen hingga adalah dasar dari perhitungan numerik yang dilakukan oleh bahasa program di perangkat lunak computer. Metode elemen hingga telah terbukti memberikan hasil akurat sebagai salah satu perangkat dalam melakukan analisis perhitungan terhadap beban statik, dinamik, aliran fluida, panas dan pembentukan (A. D. Anggono, Effendi, & Febriantoko, 2017; A. D. Anggono, Siswanto, & Omar, 2011; A. D. Anggono & Riyadi, 2014a, 2014b, A. D. Anggono & Siswanto, 2013, 2014; D. Anggono, Widodo, & Riyadi, 2018; Mustafa, Anggono, & Ahmed, 2015; Rohmmadi, Supriyono, & Anggono, 2017).

## METODE

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1, demikian juga mesin tekan yang digunakan untuk membebani material silinder aluminium tipis. Spesimen silinder aluminium tipis juga dapat dilihat pada Gambar 1. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Ansys. Dimulai dari pemodelan, penentuan kondisi batas, beban, meshing dan melihat hasil simulasi.



**Gambar 1.** Diagram alir, mesin press dan tabung aluminium.

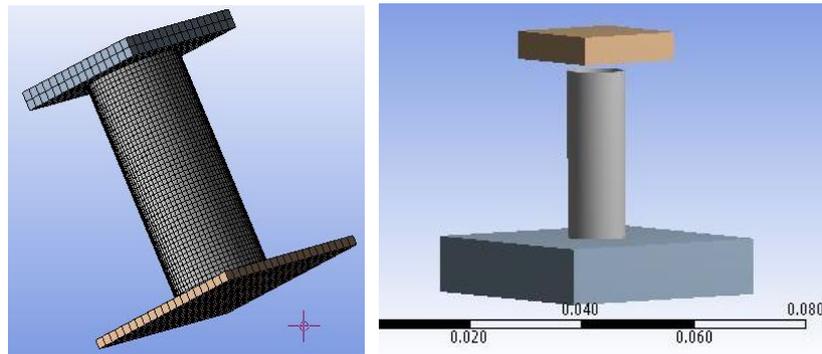
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada simulasi buckling ini langkah yang dilakukan yaitu membuat model silinder dan punch, kemudian melakukan simulasi dengan variasi jumlah elemen, selanjutnya dilakukan studi konvergensi dengan melakukan meshing untuk jumlah elemen yang berbeda beda sampai konvergensi terpenuhi dan metode Velocity pada punch atau penekan. Hasil simulasi dapat dilihat nilai tegangan regangan, deformasi dan buckling yang terjadi.

Punch adalah benda yang berfungsi memberikan pembebanan pada material uji Aluminium dan bersifat rigid. Dengan geometri yang telah ditentukan yaitu (100x100) mm. Silinder yang akan di uji dalam permodelan yang berjenis deformable atau fleksibel berdiameter: 40mm panjang: 120mm dan tebal: 0,2mm. Model silinder diberikan properties material sebagai berikut:

Material : Aluminium  
 Density Material : 2770 kg/m<sup>3</sup>  
 Modulus elastisitas : 7.1E+10  
 Poisson ratio : 0.33

Fixed support, berfungsi menahan beban yang diterima pada material aluminium di bagian bawah. Dengan geometri (80x80) mm<sup>2</sup> dengan ketebalan 10mm.



**Gambar 2.** Hasil pemodelan

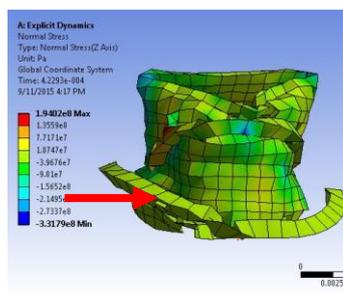
Simulasi dari penelitian dan pengamatan yang dilakukan adalah gerakan *impact* (benturan) pada arah aksial dari masing masing silinder dengan element 2945, 3260, 3388, 4455 dan 4936 dengan bantuan Ansys Workbench 15. Simulasi dilakukan dengan menekan menggunakan beban pada silinder yang *deformable* atau fleksible dengan benda yang *rigid*, dengan bahan *deformable* kerangka dapat diteliti deformasinya dan dengan bahan yang *rigid* tidak akan berubah bentuk saat dilakukan pengujian *impact*.

Besarnya deformasi yang terjadi pada silinder dari hasil simulasi saat dipengaruhi oleh kecepatan dan masa dan energi kinetic yang terjadi dasar dari analisa uji tekan yang dilakukan. Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja, sedangkan kerja adalah gaya dikalikan jarak, dari sini bisa diambil pengertian bahwa gaya yang bekerja adalah gaya luar yang dipengaruhi oleh jarak dan kecepatannya. Sedangkan gaya dalam (*internal work*) akan mempengaruhi besarnya energi dalam yang diterima tabung tipis selama terjadinya benturan. Energi dalam adalah (*internal energy*) dipengaruhi oleh besarnya deformasi yang dialami material, deformasi disini diartikan sebagai perpindahan yang dialami tabung tipis.

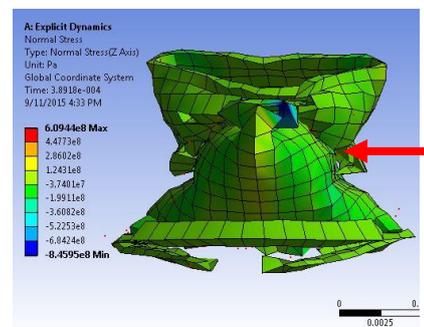
Pada simulasi akan ditunjukkan besarnya gaya *impact* dan tegangan yang terjadi pada silinder, dimana silinder tersebut akan diambil 5 elemen yang mengalami energi kritis. Simulasi benturan atau *impact* dilakukan dengan memberikan *steptime* 1 dan *velocity* pada *punch* atau penekan adalah 75 mm/s. Daerah silinder yang mengalami *buckling* dapat dilihat dan besarnya energi kinetik, energy regangan, tegangan-regangan dan gaya tumbuk (*impact*) yang dialami oleh silinder dapat diketahui dari Gambar yang ditunjukkan oleh *output*.

### Silinder dengan jumlah elemen 2945

Visualisasi tegangan pada *Buckling* dengan jumlah elemen 2945 pada *step buckling*, *frame* ke-1. *Step time* 1 second. Pada *frame* ini menunjukkan visualisasi tegangan tertinggi pada proses *buckling*. Pada gambar 3 ditunjukkan tegangan maksimum  $1.9402 \times 10^8$  Pa.



**Gambar 3.** Visualisasi distribusi tegangan elemen 2945



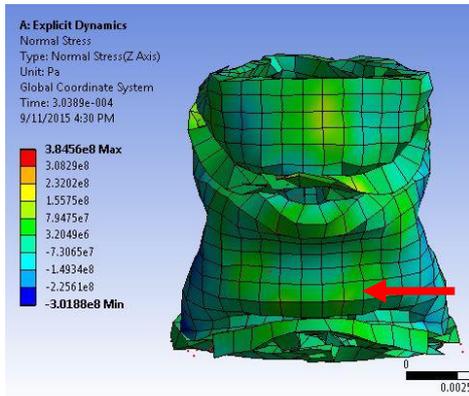
**Gambar 4.** Visualisasi distribusi tegangan elemen 3260

**Silinder dengan jumlah elemen 3260**

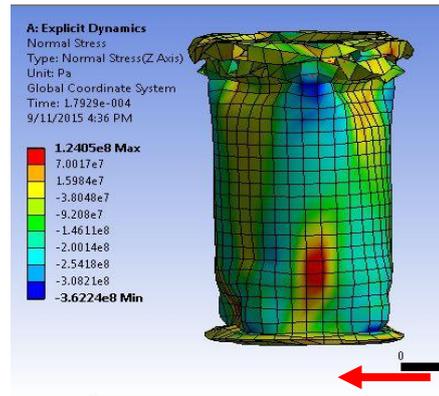
Visualisasi tegangan pada *Buckling* dengan jumlah elemen 3260 pada *step buckling*, *frame* ke-1. *Step time* 1 second. Pada *frame* ini menunjukkan visualisasi tegangan tertinggi pada proses *buckling*. Pada gambar 4 ditunjukkan tegangan maksimum  $6.0944 \times 10^8$  Pa. Ditunjukkan dengan panah warna merah.

**Silinder dengan jumlah elemen 3388**

Visualisasi tegangan pada *Buckling* dengan jumlah elemen 3388 pada *step buckling*, *frame* ke-1. *Step time* 1 second. Pada *frame* ini menunjukkan visualisasi tegangan tertinggi pada proses *buckling*. Pada gambar.5 ditunjukkan tegangan maksimum  $3.8456 \times 10^8$  Pa. Ditunjukkan dengan panah warna merah.



**Gambar 5.** Visualisasi distribusi tegangan elemen 3388



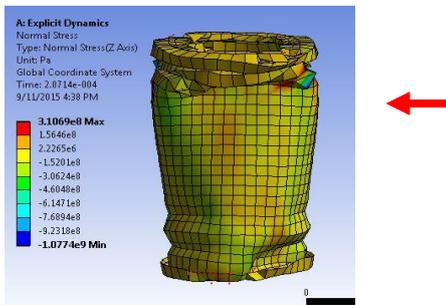
**Gambar 6.** Visualisasi distribusi tegangan elemen 4455

**Silinder dengan jumlah elemen 4455**

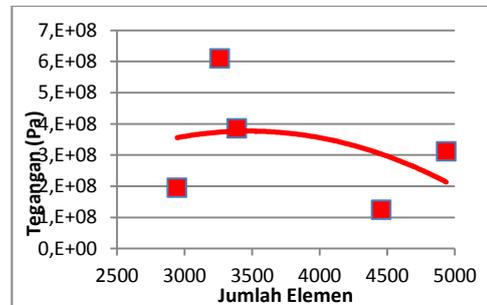
Visualisasi tegangan pada *Buckling* dengan jumlah elemen 4455 pada *step buckling*, *frame* ke-1. *Step time* 1 second. Pada *frame* ini menunjukkan visualisasi tegangan tertinggi pada proses *buckling*. Pada gambar.6 ditunjukkan tegangan maksimum  $1.2405 \times 10^8$  Pa. Ditunjukkan dengan panah warna merah.

**Silinder dengan jumlah elemen 4936**

Visualisasi tegangan pada *Buckling* dengan jumlah elemen 4956 pada *step buckling*, *frame* ke-1. *Step time* 1 second. Pada *frame* ini menunjukkan visualisasi tegangan tertinggi pada proses *buckling*. Pada gambar.7 ditunjukkan tegangan maksimum  $3.1069 \times 10^8$  Pa. Ditunjukkan dengan panah warna merah.

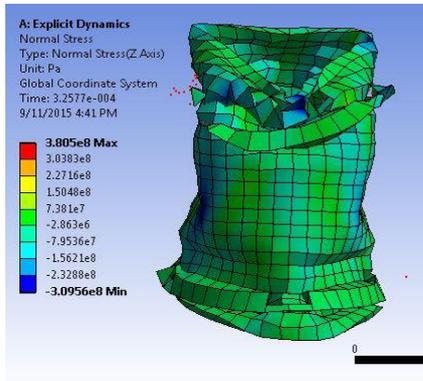


**Gambar 7** Visualisasi distribusi tegangan elemen 4936

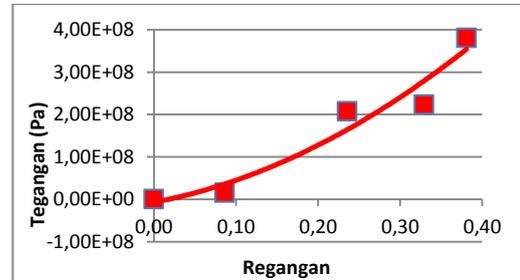


**Gambar 8** Hubungan antara tegangan dengan jumlah elemen

Simulasi *buckling* (tekuk) pada silinder elemen 3388 dengan velocity 70 mm/s mengakibatkan silinder akan mengalami tekukan sehingga mengalami deformasi atau perubahan bentuk. Dari gambar.9 diperoleh nilai tegangan maksimal  $3.805 \times 10^8$  Pa. dan Regangan 0.38093.

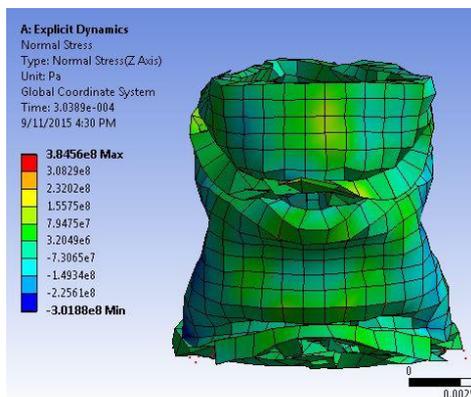


**Gambar 9** Visualisasi distribusi tegangan velocity 70 mm/s

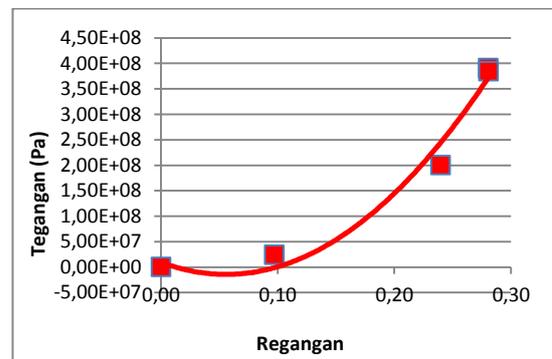


**Gambar 10** hubungan antara tegangan-regangan dengan velocity 70 mm/s

Simulasi *buckling* (tekuk) pada silinder elemen 3388 dengan velocity 75 mm/s mengakibatkan silinder akan mengalami tekukan sehingga mengalami deformasi atau perubahan bentuk. Dari gambar.11 diperoleh nilai tegangan maksimal  $3.8456 \times 10^8$  Pa. dan Regangan 0.51339.

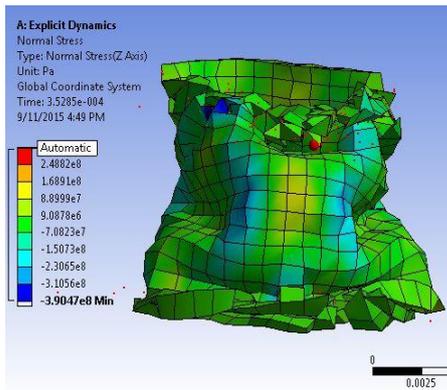


**Gambar 11** Visualisasi distribusi tegangan velocity 75 mm/s

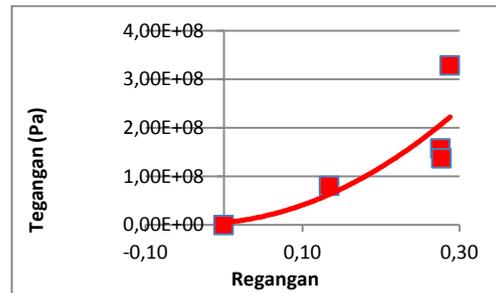


**Gambar 12** hubungan antara tegangan-regangan dengan velocity 75 mm/s

Simulasi *buckling* (tekuk) pada silinder elemen 3388 dengan velocity 80 mm/s mengakibatkan silinder akan mengalami tekukan sehingga mengalami deformasi atau perubahan bentuk. Dari gambar.14 diperoleh nilai tegangan maksimal  $3.2873 \times 10^8$  Pa. dan Regangan 0.28814.

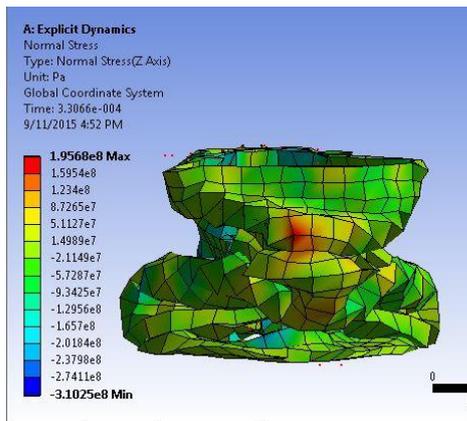


**Gambar 13** Visualisasi distribusi tegangan *velocity* 80 mm/s

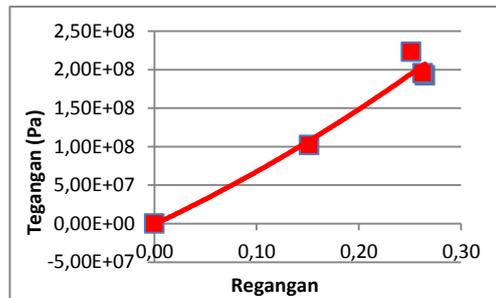


**Gambar 14** hubungan antara tegangan-regangan dengan *velocity* 80 mm/s

Simulasi *buckling* (tekuk) pada silinder elemen 3388 dengan *velocity* 85 mm/s mengakibatkan silinder akan mengalami tekukan sehingga mengalami deformasi atau perubahan bentuk. Dari gambar.14 diperoleh nilai tegangan maksimal  $1.9568 \times 10^8$  Pa. dan Regangan 0.2626.

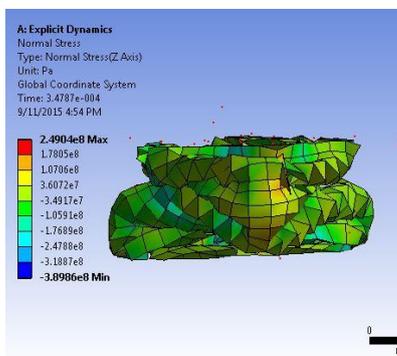


**Gambar 15** Visualisasi distribusi tegangan *velocity* 85 mm/s

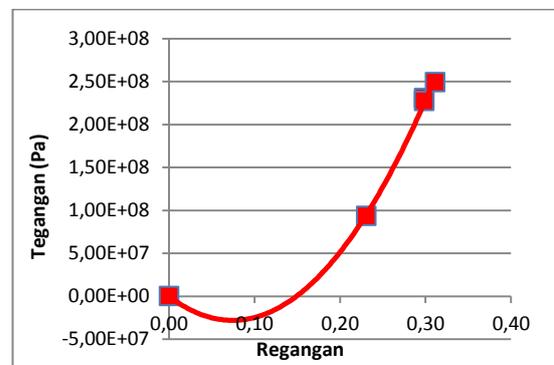


**Gambar 16** hubungan antara tegangan-regangan dengan *velocity* 85 mm/s

Simulasi *buckling* (tekuk) pada silinder elemen 3388 dengan *velocity* 90 mm/s mengakibatkan silinder akan mengalami tekukan sehingga mengalami deformasi atau perubahan bentuk. Dari gambar.15 diperoleh nilai tegangan maksimal  $2.4904 \times 10^8$  Pa. dan Regangan 0.31143.



**Gambar 17** Visualisasi distribusi tegangan *velocity* 90 mm/s



**Gambar 18** hubungan antara tegangan-regangan dengan *velocity* 90 mm/s

Pada simulasi Buckling (tekuk) dengan variasi velocity yang berbeda yaitu 70, 75, 80, 85 dan 90 mm/s dengan jumlah elemen 3388 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi velocity yang diberikan, maka deformasi yang terjadi pada material semakin tinggi. Sehingga silinder yang mula mula lurus berubah menjadi menekuk dan panjang silinder berubah menjadi pendek. Seperti yang ditunjukkan pada gambar.

## KESIMPULAN

Simulasi buckling pada material aluminium tipis berbentuk silinder berhasil dilakukan. Nilai tegangan tertinggi adalah  $6.09 \times 10^8$  Pa dengan kecepatan 75 mmm/s. Hasil pengamatan deformasi simulasi menghasilkan bentuk yang mirip dengan hasil pengujian dengan mesin tekan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggono, A. D., Effendi, M., & Febriantoko, B. W. (2017). Simulasi dan Optimisasi Proses Cup Drawing untuk Mengurangi Cacat Kerut dan Penipisan. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*. Retrieved from <https://publikasiilmiah.ums.ac.id/handle/11617/6762>
- Anggono, A. D., & Riyadi, T. W. B. (2014a). Finite Element Simulation of the Drawability of Tailor-Welded Blank. In *Advances in Mechanical, Materials and Manufacturing Engineering* (Vol. 660, pp. 3–7). Trans Tech Publications. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.660.3>
- Anggono, A. D., & Riyadi, T. W. B. (2014b). Finite Element Simulation of the Drawability of Tailor-Welded Blank. *Applied Mechanics and Materials*, 660, 3–7. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.660.3>
- Anggono, A. D., & Siswanto, W. A. (2013). Simulation of Ironing Process for Earring Reduction in Sheet Metal Forming. *Applied Mechanics and Materials*, 465–466, 91–95. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84891956604&partnerID=tZOtx3y1>
- Anggono, A. D., & Siswanto, W. A. (2014). Finite Element Simulation of Deep Drawing of Steel - Aluminium Tailor - Welded Blanks. In *Proceedings of the 1st International Conference on Engineering Technology and Industrial Application* (pp. 401–404). Retrieved from <https://publikasiilmiah.ums.ac.id/handle/11617/4949>
- Anggono, A. D., Siswanto, W. A., & Omar, B. (2011). Finite Element Simulation for Springback Prediction Compensation. *Proceeding of the International Conference on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 564–569.
- Anggono, D., Widodo, T., & Riyadi, B. (2018). Finite Element Analysis of Truck Frame by Using CATIA, 030029. <http://doi.org/10.1063/1.5042949>
- Dong, S., Li, H., & Wen, Q. (2015). Study on distortional buckling performance of cold-formed thin-walled steel flexural Members with stiffeners in the flange. *Thin-Walled Structures*, 95, 161–169. <http://doi.org/10.1016/j.tws.2015.07.006>
- Jiang, D., Landis, C. M., & Kyriakides, S. (2016). Effects of tension/compression asymmetry on the buckling and recovery of NiTi tubes under axial compression. *International Journal of Solids and Structures*, 100–101, 41–53. <http://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2016.07.003>
- Liu, M., Zhang, L., Wang, P., & Chang, Y. (2015). Experimental investigation on local buckling behaviors of stiffened closed-section thin-walled aluminum alloy columns under compression. *Thin-Walled Structures*, 94, 188–198. <http://doi.org/10.1016/j.tws.2015.04.012>
- Maraveas, C., Balokas, G. A., & Tsavdaridis, K. D. (2015). Numerical evaluation on shell buckling of empty thin-walled steel tanks under wind load according to current American and European design codes. *Thin-Walled Structures*, 95, 152–160. <http://doi.org/10.1016/j.tws.2015.07.007>
- Mustafa, E., Anggono, A. D., & Ahmed, A. A. (2015). FINITE ELEMENT ANALYSIS AND OPTIMIZATION DESIGN OF ALUMINIUM AXIAL FAN BLADE. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(16), 7288–7292. Retrieved from [http://www.arpnjournals.com/jeas/research\\_papers/rp\\_2015/jeas\\_0915\\_2554.pdf](http://www.arpnjournals.com/jeas/research_papers/rp_2015/jeas_0915_2554.pdf)

Rohmmadi, Supriyono, & Anggono, A. D. (2017). Desain dan Analisis Statis Dies Outer Rear Door Mobil Esemka Rajawali 2 Dengan Menggunakan Software CATIA V5. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*. Retrieved from <http://eprints.ums.ac.id/56382/>