

# Pengaruh Ketebalan Cap dan Tekanan Internal terhadap Tegangan Von Mises Silinder Berdinding Tebal untuk Tabung Motor Roket

Lasinta Ari Nendra Wibawa<sup>1</sup>, Kuncoro Diharjo<sup>1\*</sup>, Wijang Wisnu Raharjo<sup>1</sup>, Bagus H. Jihad<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret  
Jln. Ir. Sutami No.36 A, Jebres, Surakarta, Indonesia 57126

<sup>2</sup> Pusat Teknologi Roket, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)  
Jln. Raya Lapan No.2, Rumpin, Bogor, Indonesia 16350

## Abstrak

Makalah ini meneliti tegangan von Mises yang terjadi dalam silinder berdinding tebal untuk tabung motor roket karena pengaruh ketebalan cap dan tekanan internal. Dimensi panjang silinder adalah 300 mm dan memiliki diameter luar 122 mm dan ketebalan dinding 8 mm. Ketebalan cap divariasikan 10, 15, 20, dan 25 mm dengan tekanan internal 4, 6, 8, 10, dan 12 MPa. Analisis tegangan menggunakan metode elemen hingga dengan perangkat lunak ANSYS untuk pemilihan tabung motor roket. Perbandingan nilai tegangan hoop dan longitudinal antara perhitungan analitik dan simulasi digunakan untuk proses validasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketika ketebalan cap meningkat, tegangan Von Mises berkurang. Aluminium 6061 dan CFRP memiliki faktor keamanan lebih tinggi dari 1,25 untuk semua ketebalan cap dan variasi tekanan internal. GFRP memiliki faktor keamanan lebih tinggi dari 1,25 untuk semua variasi tekanan internal ketika ketebalan cap 20 dan 25 mm.

**Kata kunci:** metode elemen hingga; bejana tekan; tabung motor roket; analisis tegangan; silinder berdinding tebal

## Abstract

**[Title: The Cap Thickness and Internal Pressure Effect on Von Mises Stress of Thick-Walled Cylinder for Rocket Motor Tube]** The paper investigates the von Mises stresses that occur in a thick-walled cylinder for rocket motor tube due to the influence of cap thickness and internal pressure. The cylinder length dimensions are 300 mm and have an outer diameter of 122 mm and a wall thickness of 8 mm. The cap thickness was varied 10, 15, 20, and 25 mm with an internal pressure of 4, 6, 8, 10, and 12 MPa. Stress analysis using the finite element method with ANSYS software for rocket motor tube selection. Comparing the hoop and longitudinal stress values between analytic calculations and simulation results were used for the validation process. The simulation results showed that as the cylinder cap's thickness increases, then the Von Mises stress decreases. Aluminum 6061 and CFRP have a safety factor higher than 1.25 for all cap thicknesses and internal pressure variations. GFRP has a safety factor higher than 1.25 for all internal pressure variations when the cap thicknesses are 20 and 25 mm.

**Keywords:** finite element method; pressure vessel; rocket motor tube; stress analysis; thick-walled cylinder

## 1. Pendahuluan

Motor roket adalah bagian penting dari roket yang berisi bahan bakar yang digunakan untuk

mendorong roket (Wibawa, 2018a). Motor roket terdiri dari tabung, nosel, cap, isolator, pemantik (*igniter*), dll. Motor roket bekerja menggunakan prinsip seperti bejana tekan karena menyimpan bahan bakar propelan. Secara umum, motor roket bekerja di lingkungan dengan tekanan dan suhu tinggi (Emrich, 2016).

<sup>\*</sup>) Penulis Korespondensi.

E-mail: [kuncorodiharjo@ft.uns.ac.id](mailto:kuncorodiharjo@ft.uns.ac.id)

Desain tabung motor roket tergantung pada tekanan internal dan bahan yang digunakan (Wibawa, dkk., 2020). Tabung motor roket yang bekerja pada tekanan internal tinggi umumnya menggunakan silinder berdinding tebal (*thick-walled cylinder*), sedangkan pada tekanan internal rendah menggunakan silinder berdinding tipis (*thin-walled cylinder*). Material yang memiliki kekuatan tinggi biasanya menggunakan silinder berdinding tipis, sedangkan material yang memiliki kekuatan rendah menggunakan silinder berdinding tebal. Desain tabung motor roket menggunakan silinder berdinding tebal dengan panjang 300 mm dan diameter luar 122 mm untuk menghitung pengaruh ketebalan cap dan tekanan internal terhadap tegangan von Mises. Pada ketebalan dinding 8 mm, ketebalan cap divariasikan 10, 15, 20, dan 25 mm, dan variasi tekanan internal yang digunakan adalah 4, 6, 8, 10, dan 12 MPa.

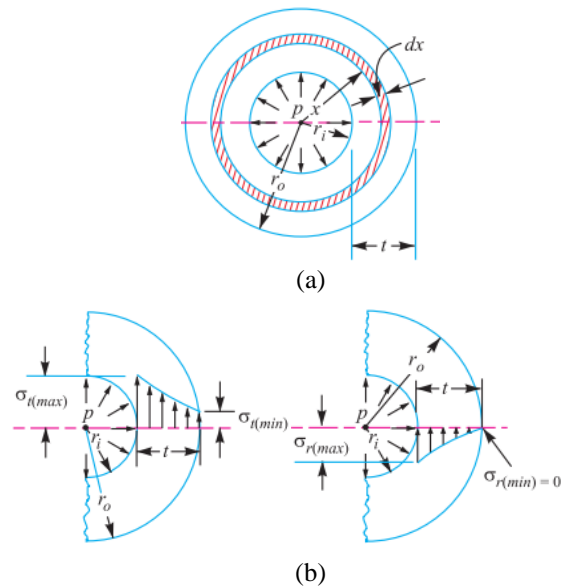
Analisis tegangan menggunakan metode elemen hingga dengan perangkat lunak ANSYS. Metode elemen hingga adalah teknik numerik matematika untuk menghitung kekuatan struktur komponen teknik dengan membagi obyek menjadi bentuk jala (*mesh*) (Wibawa, 2019a; Wibawa, 2019c), suatu elemen yang lebih kecil sehingga kalkulasi dapat diatur dan dijalankan (Wibawa & Himawanto, 2018). Metode elemen hingga bertujuan untuk menentukan struktur atau komponen dapat dengan aman menahan beban yang telah ditentukan (Wibawa, 2019d; Wibawa, 2019b). Metode elemen hingga banyak digunakan untuk mengukur tegangan dan konsentrasi tegangan dalam silinder berdinding tebal dan berdinding tipis (Mohamed, 2018).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memprediksi distribusi tegangan von Mises pada silinder berdinding tebal dengan variasi ketebalan cap dan tekanan internal dan memilih material yang sesuai dengan kasus ini.

**2. Metode Penelitian**

Berdinding tipis dan berdinding tebal adalah klasifikasi bejana tekan berdasarkan dimensinya. Bejana tekan berdinding tipis adalah bejana tekan dengan ketebalan dinding ( $t_w$ ) lebih kecil dari 1/20 diameter internal ( $D_i$ ). Di sisi lain, bejana tekan berdinding tebal adalah bejana tekan dengan ketebalan dinding ( $t_w$ ) lebih besar dari 1/20 diameter internalnya ( $D_i$ ).

Dalam kasus silinder berdinding tebal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (a), tekanan pada bagian dinding tidak dapat diasumsikan terdistribusi secara merata (Khurmi & Gupta, 2005). Tegangan hoop dan radial berkembang dengan mempertimbangkan nilai-nilai yang bergantung pada jari-jari. Gambar 1 (b) (kiri) dan 1 (b) (kanan) menunjukkan distribusi tegangan hoop dan radial pada silinder berdinding tebal.



**Gambar 1.** Distribusi tegangan pada silinder berdinding tebal (Khurmi & Gupta, 2005).

Teori Elastisitas adalah teori utama untuk silinder berdinding tebal, yang menghasilkan kondisi tegangan sebagai fungsi kontinyu dari jari-jari di atas dinding bejana tekan (Masikh, dkk., 2014). Tegangan dalam bejana tekan silinder tergantung pada rasio jari-jari dalam ke jari-jari luar ( $r_o/r_i$ ) dibandingkan ukuran silinder.

Tegangan silinder berdinding tebal akan terjadi dalam tiga arah, yaitu hoop (*circumferential*), longitudinal (*axial*), dan radial. Persamaan tegangan maksimum silinder berdinding tebal pada arah hoop, longitudinal, dan radial terlihat pada Persamaan 1, 2 dan 3.

$$(\sigma_h)_{max} = p_i \left( \frac{r_o^2 + r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \right) \tag{1}$$

$$(\sigma_l)_{max} = p_i \left( \frac{r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \right) \tag{2}$$

$$(\sigma_r)_{max} = -p_i \tag{3}$$

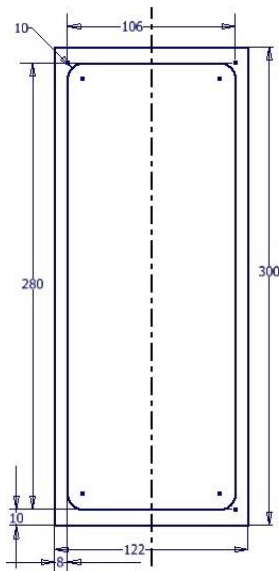
Di mana  $p_i$  adalah tekanan internal (MPa);  $r_i$  adalah jari-jari dalam silinder (mm); dan  $r_o$  adalah jari-jari luar silinder (mm).

Gambar 2 menunjukkan model geometri silinder. Karena silinder menunjukkan simetri pada arah longitudinal (*axial*), maka silinder dapat dimodelkan dengan setengah bagian atasnya (Dadkhal & Zecher, 2008). Penelitian ini menggunakan segmen 90 derajat dari model silinder padat atau seperdelapan silinder (Gambar 3). Hal ini mewakili karena tekanan yang diberikan pada fluida dalam silinder tertutup maka tekanan tersebut akan diteruskan sama besar dan merata ke semua arah (Lawrence, 2012).

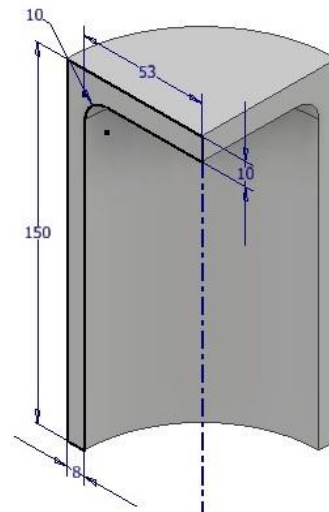
Asumsi berikut dibuat secara teoritis pada silinder berdinding tebal : (1) material silinder homogen dan isotropik; (2) material silinder mematuhi hukum Hooke; (3) bagian silinder tetap rata bahkan setelah diberi tekanan internal; dan (4) semua permukaan silinder akan mengembang atau berkontraksi secara independen.

Kondisi batas metode elemen hingga menggunakan perangkat lunak ANSYS ditunjukkan pada Gambar 4 dan parameter *input* pada Tabel 1.

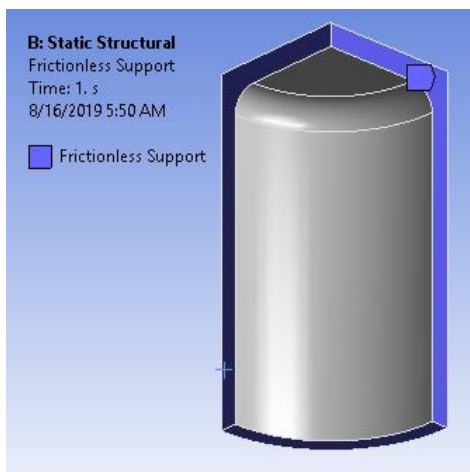
Kriteria untuk material tabung motor roket adalah ringan dan memiliki kekuatan tinggi. Aluminium 6061, *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), dan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) dipilih untuk material tersebut. Sifat mekanik Aluminium 6061, CFRP, dan GFRP ditunjukkan pada Tabel 2. Data sifat mekanik material menggunakan *Autodesk Material Library*.



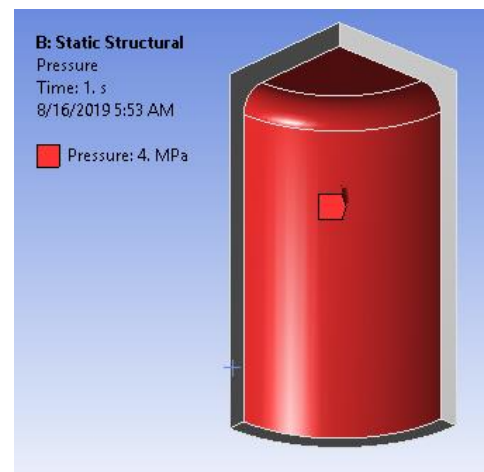
**Gambar 2.** Desain silinder berdinding tebal dengan ketebalan cap 10 mm searah sumbu y dan diameter luar 122 mm searah sumbu x.



**Gambar 3.** Bagian satu per delapan dari silinder dengan ketebalan cap 10 mm.



(a)



(b)

**Gambar 4.** Kondisi batas: jenis *constraint* (a) dan kondisi pembebanan (b)

Tabel 1. Parameter *Input*

Parameter	Notasi	Nilai
Panjang silinder	L	300 mm
Diameter luar silinder	$D_o$	122 mm
Ketebalan dinding	$t_w$	8 mm
Ketebalan cap	$t_c$	10, 15, 20, dan 25 mm
Tekanan internal	$P_i$	4, 6, 8, 10, dan 12 MPa
Ukuran elemen	-	3 mm
Jumlah node	-	25063, 26288, 26527, 25307
Jumlah elemen	-	13962, 14839, 15004, 14208

Tabel 2. Sifat Mekanik Material

Material	Density ( $\text{gr/cm}^3$ )	Young Modulus (GPa)	Tensile Strength (MPa)
Aluminium 6061	2.70	68.9	400
CFRP	1.43	133	577
GFRP	1.75	13.9	194

### 3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 5 menunjukkan pengaruh ketebalan cap 10 mm terhadap tegangan hoop (a) dan longitudinal (b) maksimum dengan tekanan internal 4 MPa. Hasil simulasi menunjukkan peningkatan ketebalan cap tidak begitu berpengaruh terhadap tegangan hoop dan longitudinal maksimum. Kedua tegangan yang dihasilkan tersebut relatif sama (Tabel 3). Hubungan antara tekanan internal dan tegangan hoop dan longitudinal maksimum adalah linear. Jika tekanan internal meningkat dari 4 MPa menjadi 6 MPa, maka tegangan hoop dan longitudinal maksimum meningkat dari 28,64 MPa menjadi 42,96 MPa untuk tegangan hoop maksimum dan 12,32 MPa menjadi 18,48 MPa untuk tegangan longitudinal maksimum. Nilai tegangan menggunakan FEA dan perhitungan analitik tidak berbeda signifikan. Persentase kesalahan antara FEA dan perhitungan analitik kurang dari 1 persen, yaitu 28,61 MPa untuk tegangan hoop maksimum dan 42,84 MPa untuk tegangan longitudinal maksimum.

Tegangan hoop selalu tarik (*tensile*), dan tegangan hoop maksimum selalu terjadi pada jari-jari dalam atau jari-jari luar tergantung pada arah gradien tekanan (Skinner, 2018). Jika silinder berdinding tebal hanya mengalami tekanan eksternal, maka tegangan hoop maksimum terjadi pada jari-jari luar ( $r = r_o$ ). Pada penelitian ini, silinder berdinding tebal hanya mengalami tekanan internal, maka tegangan hoop maksimum terjadi pada jari-jari dalam ( $r = r_i$ ).

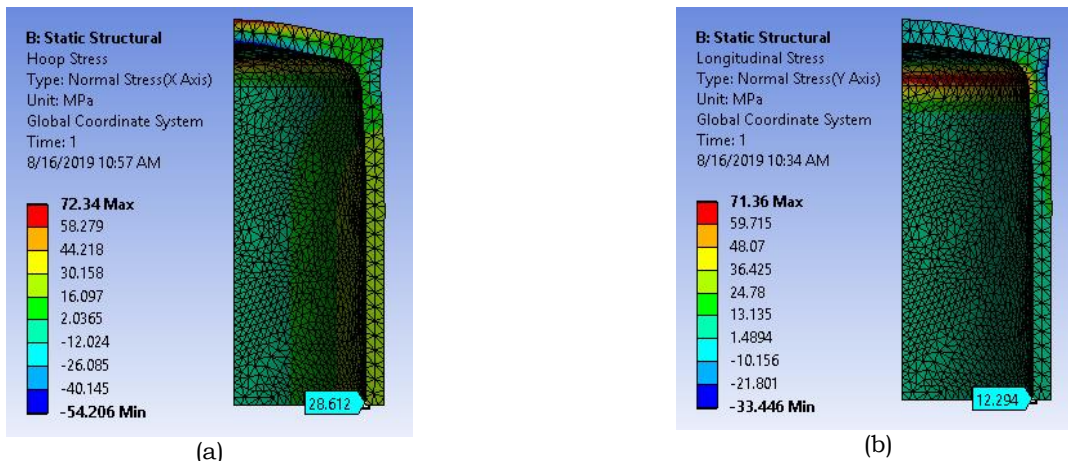
Pada silinder tertutup, tekanan internal bekerja untuk mengembangkan tegangan di sepanjang sumbu

silinder. Tegangan ini disebut tegangan longitudinal dan biasanya lebih kecil dari tegangan hoop. Pada penelitian ini, tegangan hoop lebih tinggi dari tegangan longitudinal. Nilai tegangan longitudinal sekitar 42-43 % dari tegangan hoop.

Pemilihan material merupakan bagian dari proses manufaktur sebuah desain produk. Pemilihan material bertujuan mencari material yang memiliki sifat yang paling sesuai dengan persyaratan yang dibutuhkan dalam proses desain (Wibawa, 2019i).

Aluminium 6061, *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), dan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) mampu menahan tegangan hoop dan longitudinal maksimum. Ketiga material memiliki kekuatan tarik maksimum (*tensile strength*) melebihi dua tegangan maksimum (hoop dan longitudinal). Hal ini berarti material tersebut dapat digunakan sebagai material tabung roket tanpa penutup ujung (cap).

Salah satu teori kegagalan didasarkan pada energi distorsi maksimum, yang dikenal sebagai kriteria von Mises. Tegangan von Mises menjadi faktor penentu apakah material akan mengalami kegagalan atau tidak (Wibawa, 2019f). Tegangan von Mises menghitung kombinasi tegangan pada titik tertentu yang akan menyebabkan kegagalan (Wibawa, 2019e). Dengan kata lain, material akan gagal ketika tegangan von Mises melebihi kekuatan luluh material (Raju, dkk., 2015; Pasha, dkk., 2019). Tegangan von Mises juga dikenal sebagai tegangan ekuivalen (Wibawa, 2019h)



**Gambar 5.** Pengaruh ketebalan cap 10 mm terhadap tegangan hoop (a) dan longitudinal (b) maksimum dengan tekanan internal 4 MPa.

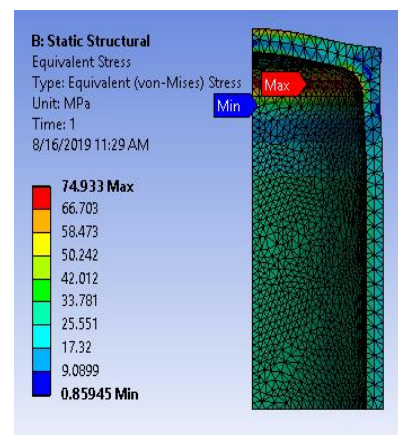
Gambar 6 menunjukkan tegangan von Mises silinder untuk ketebalan cap 10 mm dengan tekanan internal 4 MPa. Hasil simulasi menunjukkan tegangan von Mises maksimum menurun seiring peningkatan ketebalan cap (Tabel 4). Hubungan antara ketebalan cap dan tegangan von Mises maksimum berbanding terbalik. Hal ini berbeda dengan tekanan internal. Semakin besar tekanan internal, maka tegangan von Mises maksimum semakin tinggi (Tabel 4). Hubungan antara tekanan internal dan tegangan von Mises maksimum adalah linier.

Tegangan von Mises maksimum terjadi pada sambungan antara cap dan dinding silinder. Area tersebut merupakan area kritis. Penelitian ini membuktikan tegangan von Mises maksimum dapat dikurangi dengan meningkatkan ketebalan cap, meskipun tanpa menambah ketebalan dinding silinder. Dengan kata lain, metode ini lebih efisien karena material akan lebih ringan dibanding dengan meningkatkan ketebalan silinder secara keseluruhan. Hal ini juga bisa dilakukan dengan menggabungkan material yang berbeda. Misalnya, material tabung terbuat dari GFRP atau CFRP, sedangkan material cap terbuat dari Aluminium 6061.

Faktor keamanan digunakan untuk mengevaluasi keamanan komponen atau struktur meskipun dimensi yang digunakan minimum (Wibawa, 2018b). Faktor keamanan dapat didasarkan pada salah satu batas tegangan tarik maksimum atau tegangan luluh dari material (Wibawa, 2019j). Kekuatan luluh adalah tegangan minimum saat material mulai kehilangan sifat elastisnya, yaitu sifat material untuk kembali ke bentuk semula saat beban atau gaya dihilangkan (Wibawa, 2019g). Kekuatan tarik maksimum adalah tegangan maksimum yang mampu dicapai suatu material sebelum patah. Faktor keamanan pada kekuatan luluh bertujuan untuk mencegah deformasi yang merugikan, sedangkan faktor keamanan pada kekuatan tarik maksimum

bertujuan mencegah keruntuhan. Faktor keamanan kurang dari 1 menunjukkan kegagalan permanen dari sebuah desain (Wibawa & Diharjo, 2019). Pada penelitian ini, faktor keamanan berdasarkan pada kekuatan tarik maksimum (*tensile strength*) karena tabung roket bukan komponen yang digunakan secara berulang-ulang. Hal ini karena sifat tabung roket yang merupakan komponen habis pakai.

Gambar 7 menunjukkan pengaruh ketebalan cap terhadap faktor keamanan menggunakan material yang berbeda dengan variasi tekanan internal. Aluminium 6061 dan CFRP memiliki faktor keamanan lebih tinggi dari 1,25 untuk semua ketebalan cap dan variasi tekanan internal. Sedangkan GFRP memiliki faktor keamanan lebih tinggi dari 1,25 untuk semua variasi tekanan internal ketika ketebalan cap 20 dan 25 mm. Hal ini berarti material tersebut mampu menahan beban statik karena nilai faktor keamanan untuk suatu material mampu menahan beban statik adalah 1,25-2,00 (Dobrovolsky & Zablonsky, 1978).



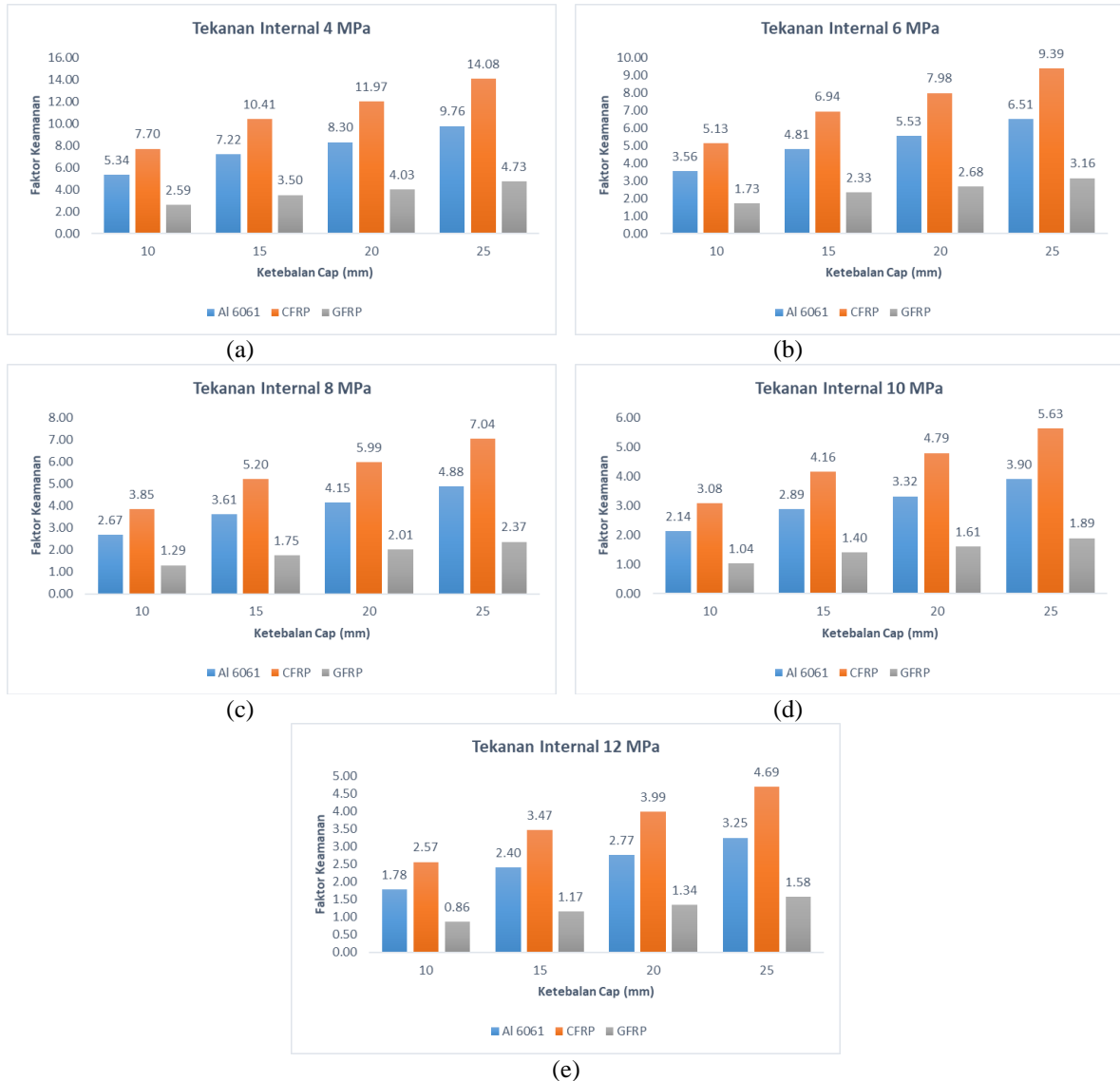
**Gambar 6.** Tegangan von Mises untuk ketebalan cap 10 mm dengan tekanan internal 4 MPa.

Tabel 3. Perbandingan Tegangan Hoop (*Circumferential*) dan Longitudinal (*Axial*) Maksimum antara Perhitungan Analitik dan Simulasi Elemen Hingga

Ketebalan Cap (mm)	Tekanan (MPa)	Perhitungan Analitik		FEA		Persentase Kesalahan	
		Tegangan Hoop (MPa)	Tegangan Axial (MPa)	Tegangan Hoop (MPa)	Tegangan Axial (MPa)	Tegangan Hoop (%)	Tegangan Axial (%)
10	4	28.64	12.32	28.61	12.29	0.10	0.24
15	4	28.64	12.32	28.61	12.30	0.10	0.16
20	4	28.64	12.32	28.61	12.31	0.10	0.08
25	4	28.64	12.32	28.60	12.32	0.14	0.00
10	6	42.96	18.48	42.84	18.44	0.28	0.22
15	6	42.96	18.48	42.91	18.45	0.12	0.16
20	6	42.96	18.48	42.91	18.46	0.12	0.11
25	6	42.96	18.48	42.90	18.48	0.14	0.00
10	8	57.28	24.64	57.22	24.59	0.10	0.20
15	8	57.28	24.64	57.21	24.60	0.12	0.16
20	8	57.28	24.64	57.21	24.61	0.12	0.12
25	8	57.28	24.64	57.20	24.64	0.14	0.00
10	10	71.60	30.80	71.53	30.74	0.10	0.19
15	10	71.60	30.80	71.52	30.75	0.11	0.16
20	10	71.60	30.80	71.53	30.76	0.10	0.13
25	10	71.60	30.80	71.50	30.79	0.14	0.03
10	12	85.92	36.96	85.84	36.88	0.09	0.22
15	12	85.92	36.96	85.82	36.89	0.12	0.19
20	12	85.92	36.96	85.84	36.92	0.09	0.11
25	12	85.92	36.96	85.80	36.95	0.14	0.03

Tabel 4. Tegangan Von Mises Maksimum

Ketebalan Cap (mm)	Tekanan (MPa)	Tegangan von Mises maksimum (MPa)
10	4	74.93
15	4	55.44
20	4	48.19
25	4	40.98
10	6	112.40
15	6	83.16
20	6	72.29
25	6	61.47
10	8	149.87
15	8	110.88
20	8	96.39
25	8	81.97
10	10	187.33
15	10	138.60
20	10	120.48
25	10	102.46
10	12	224.80
15	12	166.33
20	12	144.58
25	12	122.95



Gambar 7. Pengaruh ketebalan cap terhadap faktor keamanan menggunakan material berbeda dengan variasi tekanan internal (a) 4 MPa, (b) 6 MPa, (c) 8 MPa, (d) 10 MPa, dan (e) 12 MPa.

4. Kesimpulan

Hasil simulasi menunjukkan peningkatan ketebalan cap tidak begitu berpengaruh terhadap tegangan hoop dan longitudinal maksimum. Kedua tegangan yang dihasilkan tersebut relatif sama. Proses validasi dilakukan dengan membandingkan hasil analisis elemen hingga dengan perhitungan analitik untuk tegangan hoop dan longitudinal maksimum dengan kondisi batas tetap. Hasil penelitian menunjukkan persentase kesalahan kurang dari 1 persen.

Von Mises dipilih sebagai kriteria kegagalan. Hasil simulasi menunjukkan semakin tinggi ketebalan cap, maka tegangan von Mises maksimum semakin

menurun. Aluminium 6061 dan CFRP memiliki faktor keamanan lebih tinggi dari 1,25 untuk semua ketebalan cap dan variasi tekanan internal. Sedangkan GFRP memiliki faktor keamanan lebih tinggi dari 1,25 untuk semua variasi tekanan internal ketika ketebalan cap 20 dan 25 mm. Hal ini berarti material tersebut mampu menahan beban statik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional Indonesia (LAPAN), khususnya Biro Sumber Daya Manusia, Organisasi, dan Hukum untuk dukungan finansial dari Beasiswa LAPAN.

**Daftar Pustaka**

- Dadkhah, F., & Zecher, J. (2008). *ANSYS Workbench Software Tutorial with Multimedia CD Release 11*. Schroff Development Corporation.
- Dobrovolsky, V., & Zablonsky, K. (1978). *Machine elements : a textbook*. Moscow: Peace Publisher.
- Emrich, W. (2016). Rocket Engine Fundamentals. In *Principles of Nuclear Rocket Propulsion*, 11–20.
- Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). *A textbook of machine design* (14th ed.). New Delhi: Eurasia Publishing House.
- Lawrence, K. L. (2012). *Ansys Workbench Tutorial Release 14*. SDC Publications.
- Masikh, Q. S., Tariq, M., & Sinha, P. K. (2014). Analysis of A Thin and Thick Walled Pressure Vessel for Different Materials. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 5(10), 9–19.
- Mohamed, A. F. (2018). Finite Element Analysis for Stresses in Thin-Walled Pressurized Steel Cylinders. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9(3), 201–204.
- Pasha, S. M., Satish, J. T. V., & Ramakrishna, G. (2019). Design and Analysis of Thick Walled Cylinder With Holes. *International Journal of Scientific Research and Review*, 07(03), 1166–1172.
- Raju, G., Babu, K. H., Siva Nagaraju, N., & Kiran, K. (2015). Design and analysis of Stress on Thick Walled Cylinder with and without Holes. *Journal of Engineering Research and Applications*, 5(1), 75–83.
- Skinner, L. (2018). Snubbing Theory and Calculations. Dalam *Hydraulic Rig Technology and Operations*. Cambridge: Gulf Professional Publishing.
- Wibawa, L. A. N. (2018a). *Merancang Komponen Roket 3D dengan Autodesk Inventor Professional 2017*. Solo: Buku Katta.
- Wibawa, L. A. N. (2018b). *Simulasi Kekuatan Komponen Sarana Pengujian Roket Menggunakan Autodesk Inventor Professional 2017*. Solo: Buku Katta.
- Wibawa, L. A. N. (2019a). Desain dan Analisis Kekuatan Dudukan (Bracket) AC Outdoor Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Crankshaft*, 2(1), 19–24.  
<https://doi.org/10.24176/crankshaft.v2i1.2688>
- Wibawa, L. A. N. (2019b). Desain dan Analisis Kekuatan Rangka Lemari Perkakas di Balai LAPAN Garut Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Machine: Jurnal Teknik Mesin*, 5(2), 45–50.  
<https://doi.org/doi.org/10.33019/jm.v5i2.787>
- Wibawa, L. A. N. (2019c). Desain dan Analisis Kekuatan Rangka Meja Kerja (Workbench) Balai LAPAN Garut Menggunakan Metode Elemen Hingga. *JTM-ITI (Jurnal Teknik Mesin ITI)*, 3(1), 13–17.  
<https://doi.org/10.31543/jtm.v3i1.216>
- Wibawa, L. A. N. (2019d). Desain dan Analisis Kekuatan Rangka Tempat Sampah di Balai LAPAN Garut Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Turbulen: Jurnal Teknik Mesin*, 1(2), 64–68.
- Wibawa, L. A. N. (2019e). Desain dan Analisis Tegangan Alat Pengangkat Roket Kapasitas 10 Ton Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Energi Dan Teknologi Manufaktur (JETM)*, 02(01), 23–26.
- Wibawa, L. A. N. (2019f). Desain dan Analisis Tegangan Crane Hook Model Circular Section Kapasitas 5 Ton Menggunakan Autodesk Inventor 2017. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 10(1), 27–32.  
<https://doi.org/10.24176/simet.v10i1.2669>
- Wibawa, L. A. N. (2019g). Pengaruh Diameter Baut Terhadap Kekuatan Rangka Main Landing Gear Pesawat UAV Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Polimesin*, 17(1), 26–32.  
<https://doi.org/10.30811/jpl.v17i1.828>
- Wibawa, L. A. N. (2019h). Pengaruh Kecepatan Landing Vertikal Terhadap Ketahanan Beban Impak Rangka Landing Gear Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 11(1), 35–42.  
<https://doi.org/10.28989/angkasa.v11i1.434>
- Wibawa, L. A. N. (2019i). Pengaruh Pemilihan Material Terhadap Kekuatan Rangka Main Landing Gear Untuk Pesawat UAV. *Journal Technology and Implementation Bussines*, 2(1), 48–52.
- Wibawa, L. A. N. (2019j). Pengaruh Susunan dan Jumlah Lubang Baut Terhadap Kekuatan Rangka Main Landing Gear Untuk Pesawat UAV. *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 5(1), 46–50.
- Wibawa, L. A. N., & Diharjo, K. (2019). Desain, Pemilihan Material, dan Faktor Keamanan Stasiun Pengisian Gawai Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknologi*, 11(2), 97–102.
- Wibawa, L. A. N., Diharjo, K., Raharjo, W. W., & Jihad, B. H. (2020). Stress Analysis of Thick-Walled Cylinder for Rocket Motor Case under Internal Pressure. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 70(2), 106–115.
- Wibawa, L. A. N., & Himawanto, D. A. (2018). Analisis Ketahanan Beban Dinamis Material Turbin Angin Terhadap Kecepatan Putar Rotor (rpm) Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 9(2), 803–808.  
<https://doi.org/10.24176/simet.v9i2.2343>