

Jurnal Teknologi Rekayasa, Material & Balistik

DOI:

“Desain Tabung Bertekanan Pada SLT(Senjata Lawan Tank) Latih Dengan *System Pneumatic* Menggunakan Material Aluminium 7075-T6 Berbasis *Finite Element Method(FEM)*”

Inas Fadiyah 1 ^{a*}, Richard Costantin Mangililo 2 ^{a*}, Prijo Poedjianto 3 ^{a*}, Muhammad Lalu Syaifullah 3 ^{a*}, Maryono 4 ^{a*}, Muhammad Iman Hidayat 5 ^{a*} dan Mantan Darmawan 6 ^{a*}

^aAfiliasi 1, Prodi Kimia Jurusan Kimia Universitas Brawijaya, Kota Malang 65141, Indonesia

Afiliasi 2, Kesatrian Politeknik Angkatann Darat, Batu, 65324, Indonesia

Afiliasi 3, Kesatrian Politeknik Angkatann Darat, Batu, 65324, Indonesia

Afiliasi 4, Kesatrian Politeknik Angkatann Darat, Batu, 65324, Indonesia

Afiliasi 5, Kesatrian Politeknik Angkatann Darat, Batu, 65324, Indonesia

Afiliasi 6, Kesatrian Politeknik Angkatann Darat, Batu, 65324, Indonesia

*Corresponding Author: inasfaaa@student.ub.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis tabung bertekanan pada Senjata Lawan Tank (SLT) latih berbasis sistem pneumatik menggunakan material Aluminium 7075-T6 dan metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM). Material Aluminium 7075-T6 dipilih karena memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi serta ketahanan korosi yang baik. Simulasi numerik dilakukan menggunakan ANSYS Workbench Static Structural dengan pembebanan tekanan internal sebesar 2,5 MPa (25 bar). Tiga variasi ketebalan dinding tabung, yaitu 3 mm, 5 mm, dan 7 mm, dianalisis menggunakan ukuran mesh 5 mm yang terdiri atas 6.027 elemen dan 12.207 node. Parameter yang dievaluasi meliputi deformasi total, tegangan ekuivalen von Mises, faktor keamanan, dan massa tabung. Hasil simulasi menunjukkan bahwa seluruh model mampu menahan tekanan kerja yang diberikan dengan tegangan maksimum yang masih berada jauh di bawah kekuatan luluh Aluminium 7075-T6. Nilai faktor keamanan minimum sebesar 15 menunjukkan bahwa seluruh konfigurasi memenuhi persyaratan keamanan struktural. Di antara ketiga model yang dianalisis, ketebalan 3 mm menghasilkan massa paling rendah yaitu 0,62653 kg dengan kinerja struktural yang tetap aman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Aluminium 7075-T6 berpotensi digunakan sebagai material tabung bertekanan pada sistem pneumatik SLT latih dan ketebalan 3 mm merupakan desain yang paling efisien berdasarkan aspek kekuatan dan massa.

Kata kunci: Tabung Bertekanan; Senjata Lawan Tank; Sistem Pneumatik; Aluminium 7075-T6; Metode Elemen Hingga; Analisis Struktur.

ABSTRACT

This study aims to design and analyze a pressure tube for a pneumatic training anti-tank weapon (SLT) using Aluminum 7075-T6 and the Finite Element Method (FEM). Aluminum 7075-T6 was selected due to its high strength-to-weight ratio and good corrosion resistance. Numerical simulations were performed using ANSYS Workbench Static Structural under an internal pressure of 2.5 MPa (25 bar). Three pressure tube models with wall thicknesses of 3 mm, 5 mm, and 7 mm were evaluated using a 5 mm mesh consisting of 6,027 elements and 12,207 nodes. The analysis focused on total deformation, equivalent von Mises stress, safety factor, and structural mass. The results showed that all models were able to withstand the applied pressure with maximum stresses significantly below the yield strength of Aluminum 7075-T6. A minimum safety factor of 15 was obtained for all configurations, indicating adequate structural integrity. Among the evaluated models, the 3 mm wall thickness provided the lowest mass of 0.62653 kg while maintaining safe operating conditions. These findings demonstrate that Aluminum 7075-T6 is a suitable material for pneumatic SLT pressure tubes and that the 3 mm configuration offers the most efficient design in terms of structural performance and weight.

.Keywords: Pressure Tubes; Tank-Fighting Weapons; Pneumatic System; Aluminum 7075-T6; Finite Element Method; structural analysis; Defense Technology

Pendahuluan

Di era pertahanan saat ini, senjata lawan tank atau SLT memang jadi kunci utama saat berhadapan dengan tank-tank musuh berlapis baja tebal. SLT latih dirancang untuk memberikan simulasi pelatihan yang realistis tanpa menggunakan amunisi sebenarnya sehingga dapat meningkatkan keselamatan serta menekan biaya operasional pelatihan. Yang paling vital di sini, tabung bertekanan. Fungsinya menyimpan udara bertekanan tinggi di sistem pneumatik, lalu dilepas mendadak untuk simulasi ledakan tembakan asli.

Masalahnya, material tabung ini menentukan segalanya, apakah aman atau malah meledak. Makanya pilih Aluminium 7075-T6. Paduan Aluminium 7075-T6 memiliki kekuatan tarik lebih dari 500 MPa dan kekuatan luluh lebih dari 400 MPa sehingga banyak digunakan pada aplikasi yang memerlukan rasio kekuatan terhadap

berat yang tinggi [1], [2]. Tahan karat juga, cocok buat pesawat tempur atau alat pertahanan [4]. Ringan pula (hanya 2,77 g/cm³), pas buat senjata yang butuh kekuatan maksimal tapi bobot minimal.

FEM alias Finite Element Method sudah jadi senjata andalan insinyur struktur, termasuk analisis tabung tekan [3], [5], [6]. Bisa lihat jelas di mana tekanan terkonsentrasi, berapa deformasinya [5]. Simulasi ini akurat, hemat waktu, dan jauh lebih murah daripada bikin prototipe dulu.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada desain dan analisis tabung bertekanan SLT latih berbasis sistem pneumatik menggunakan material Aluminium 7075-T6 dengan pendekatan Finite Element Method (FEM). Penelitian ini mengevaluasi tiga variasi ketebalan dinding tabung, yaitu 3 mm, 5 mm, dan 7 mm, berdasarkan parameter deformasi, tegangan von Mises, faktor keamanan, dan massa tabung untuk menentukan desain yang paling efisien.

Bahan Dan Metode

Desain Model Geometri

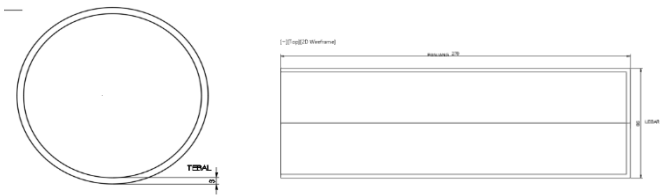
Geometri tabung SLT latih dirancang menggunakan perangkat lunak CAD (*Computer-Aided Design*), bentuk silinder dengan panjang dan diameter luar disesuaikan sama desain SLT yang udah ada. Tiga model utama dengan ukuran beda-beda, dirangkum di Tabel 1.

Tabel 1. Model Tabung Bertekanan SLT Latih

No	Model	P(mm)	L(mm)	Tb(mm)
1	Model 1	270	94	3
2	Model 2	270	90	5
3	Model 3	270	86	7

Ketebalan dinding divariasikan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap deformasi, distribusi tegangan, faktor keamanan, dan massa total tabung ke deformasi, tekanan, safety factor, sama berat tabung totalnya.

Gambar 1 nunjuki ketiga model tabungnya.



Gambar. 1. Desain 3 Model Tabung Bertekanan SLT Latih

Sifat material Aluminium 7075-T6

Materialnya pakai Aluminium 7075-T6, paduan aluminium kuat banget yang biasa dipake buat pesawat, mobil balap, sama alat pertahanan. Data sifatnya saya ambil dari database ANSYS sama literatur: densitas $2,77 \times 10^{-6}$ kg/mm³, modulus elastisitas 70 GPa, Poisson 0,33, yield strength 434 MPa, tensile ultimate 572 MPa.

Ringkasannya ada di Tabel 2.

Tabel 2. Properti material Aluminium 7075-T6 yang digunakan dalam simulasi

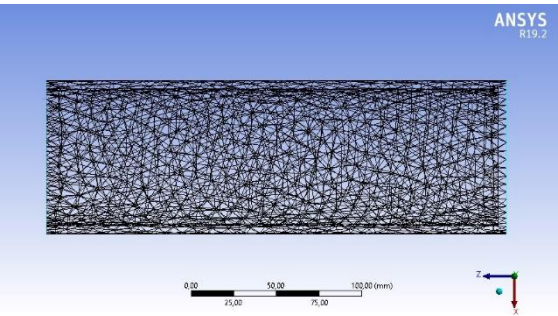
No	Properties	Metric
1	Bahan	Aluminium T6 324
2	Densitas	2,77e-006 kg mm ⁻³
3	Kekuatan Yield	434 Mpa
4	Modulus	70294 Mpa
5	Poissons Ratio	0.33
6	Kekuatan Ultimate	572 Mpa

Pemodelan FEM dan kondisi batas

Simulasi numeriknya pakai modul Static Structural di ANSYS Workbench. Geometri tabung saya impor ke FEM, terus meshing pake elemen 5 mm, hasilnya 6027 elemen, 12207 node. Ukuran mesh tersebut dianggap memadai untuk merepresentasikan distribusi tegangan dan deformasi pada daerah kritis tabung dan deformasi di titik-titik kritis tabung. Kondisi batas yang diterapkan berupa fixed support pada kedua ujung tabung, simulasi kondisi tabung yang kepetot kuat sama rangka pneumatik. Di area ini semua gerakan

translasi dan rotasi dikunci rapat, makanya jadi spot paling rawan stress concentration gara-gara deformasinya dibatasi.

Hasil *Meshing* ditampilkan pada gambar 2.



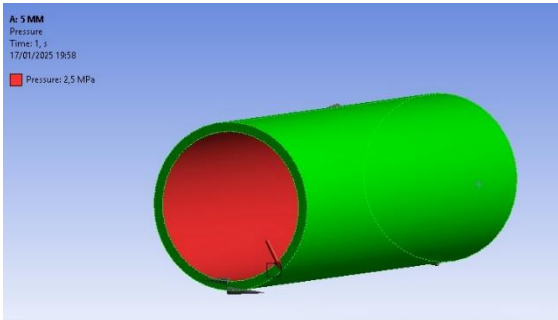
Gambar. 2. Hasil *Meshing* Tabung Bertekanan Dengan Ukuran Elemen 5 mm

Pembebanan dan parameter evaluasi

Pembebanan utama berupa tekanan internal seragam sebesar 2,5 MPa yang diterapkan pada permukaan dalam tabung untuk mensimulasikan kondisi operasi sistem pneumatic SLT latih. Nilai ini ekuivalen dengan sekitar 25 bar dan sebanding dengan tekanan kerja umum pada bejana tekan kecil sehingga relevan untuk dianalisis dengan pendekatan *FEM*.

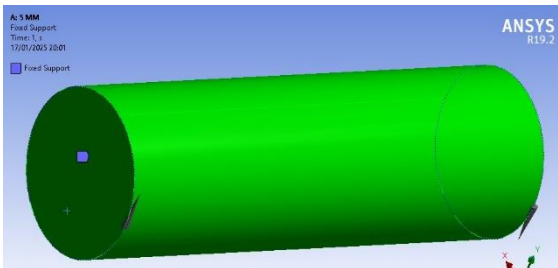
Parameter utama yang dievaluasi dari hasil simulasi meliputi: deformasi total maksimum tabung, tegangan ekuivalen von Mises maksimum dan distribusinya, faktor keamanan (*Safety Factor*) terhadap kekuatan luluh material, dan massa total tabung untuk masing-masing ketebalan dinding.

Penerapan tekanan internal ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar. 3. Penerapan tekanan internal 2,5 MPa pada permukaan dalam tabung

Kondisi tumpuan tetap (*fixed support*) terlihat pada Gambar 4.



Gambar. 4. Kondisi batas *fixed support* pada kedua ujung tabung

Hasil

Deformasi total

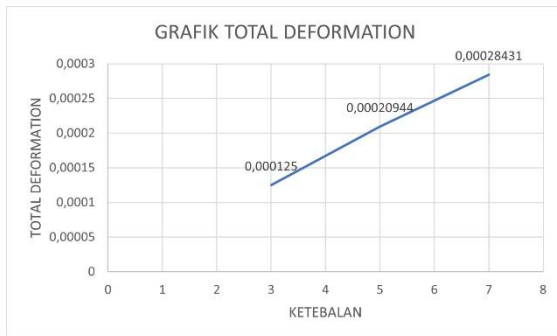
Hasil simulasi nunjuki deformasi paling gede ada di tengah tabung, sementara di fixed support ujung tabung hampir nol sama sekali. Model 3 mm deformasinya cuma 0,000125 mm, yang 5 mm 0,00020944 mm, sedangkan 7 mm 0,00028431 mm.

Ringkasannya ada di Tabel 3.

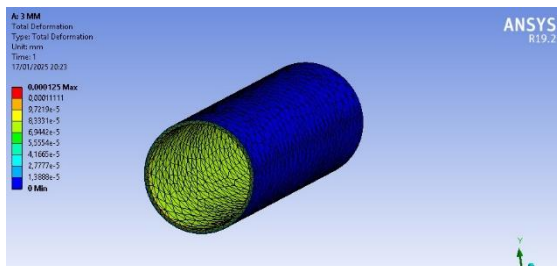
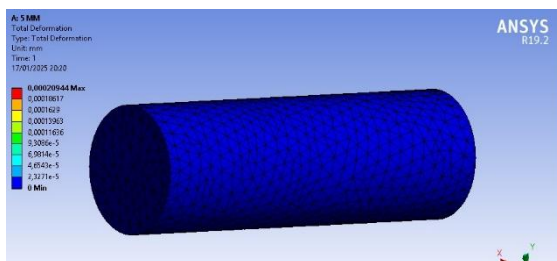
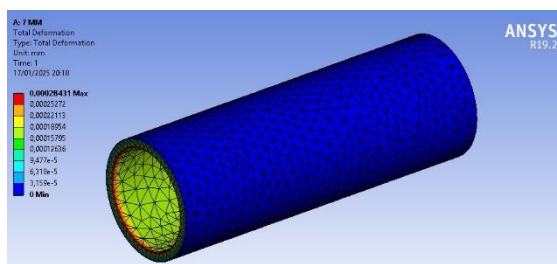
Tabel 3. Deformasi total tabung untuk variasi ketebalan dinding

No	Ketebalan	Deformasi Total (mm)
1	3	0,000125
2	5	0,00020944
3	7	0,00028431

Semakin tebal dindingnya, deformasinya makin kecil, lihat di Gambar 5.

**Gambar. 5.** Efek ketebalan dinding ke deformasi tabung

Kontur deformasi 3 mm di Gambar 6, 5 mm Gambar 7, 7 mm Gambar 8.

**Gambar. 6.** Total deformasi tabung ketebalan 3 mm**Gambar. 7.** Total deformasi tabung ketebalan 5 mm**Gambar. 8.** Total deformasi tabung ketebalan 7 mm

Tegangan ekuivalen von Mises

Tegangan von Mises maksimum di model 3 mm: 2,5677 MPa (minimum $7,8858 \times 10^{-6}$ MPa). Model 5 mm capai 2,743 MPa, 7 mm

2,7216 MPa, minimumnya agak lebih tinggi dari 3 mm. Puncak tegangannya ada di sekitar fixed support, spot konsentrasi tertinggi. Data max-min lengkap di Tabel 4.

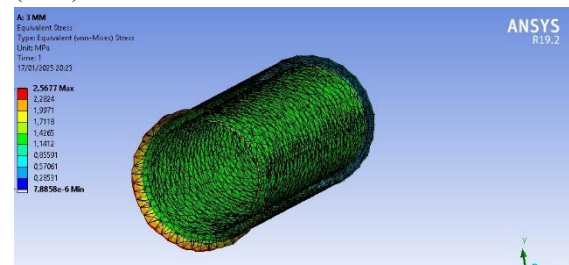
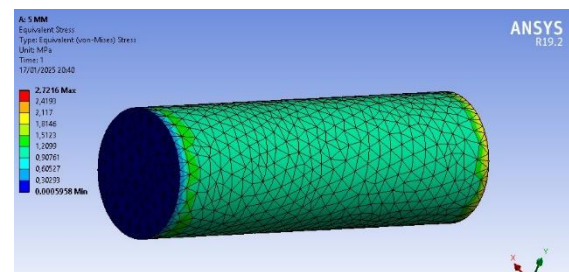
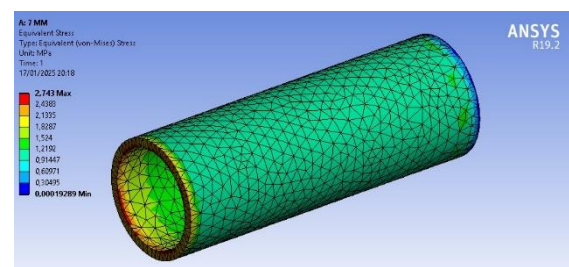
Tabel 4. Tegangan ekuivalen von Mises untuk variasi ketebalan

No	Ketebalan	Equivalent Stress(max)	Equivalent Stress(min)
1	3	2,5677	$7,8858 \times 10^{-6}$
2	5	2,743	0,00019289
3	7	2,7216	0,0005958

Tegangan von Mises vs ketebalan dinding ada di Gambar 9.

**Gambar. 9.** Tegangan ekuivalen max per ketebalan

Kontur von Mises: Gambar 9 (3mm), Gambar 10 (5mm), Gambar 11 (7mm).

**Gambar. 9.** Tegangan ekuivalen von Mises untuk ketebalan 3 mm**Gambar. 10.** Tegangan ekuivalen von Mises untuk ketebalan 5 mm**Gambar. 11.** Tegangan ekuivalen von Mises untuk ketebalan 7 mm

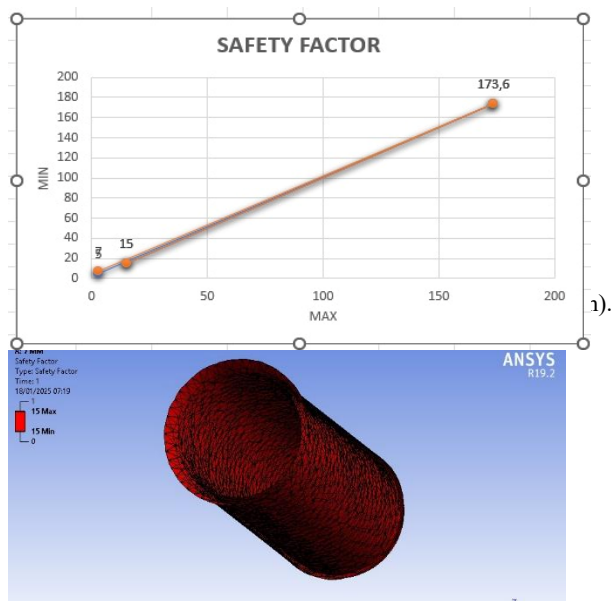
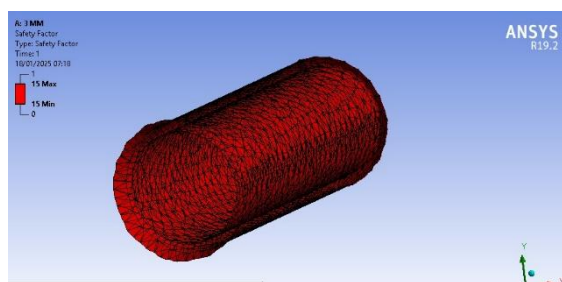
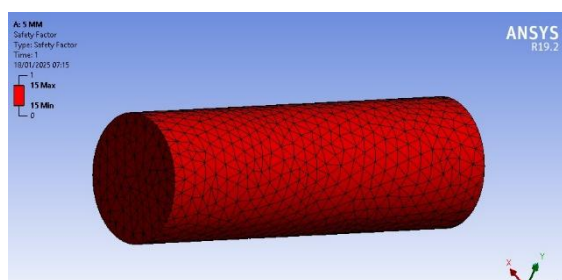
Faktor keamanan

Software hitung safety factor: max 173,6, min 15 buat semua ketebalan. Bedanya cuma dikit di sepanjang tabung. Min 15 artinya stress kerja masih jauh banget dari yield strength Al 7075-T6.

Tabel 5. Faktor keamanan tabung bertekanan untuk variasi ketebalan

No	Ketebalan	Safety Factor (max)	Safety Factor (min)
1	3	173,6	15
2	5	173,6	15
3	7	173,6	15

Tren nilai factor keamanan terhadap ketebalan dinding ditunjukkan pada Gambar 12.

**Gambar. 13.** Safety factor distribusi ketebalan 3 mm**Gambar. 14.** Safety Factor untuk ketebalan 5 mm**Gambar. 15.** Safety Factor untuk ketebalan 7 mm

Massa tabung

Makin tebal dindingnya, berat tabungnya makin nambah, sesuai volume materialnya. Model 3 mm cuma 0,6 kg (paling ringan), 5 mm lebih berat, 7 mm paling gede

Perbandingan massa tiap ketebalan ada di Tabel 6.

Tabel 6. Massa tabung bertekanan untuk tiap variasi ketebalan

No	Ketebalan	Massa(Kg)
1	3	0,62653
2	5	1,0678
3	7	1,5278

Pembahasan

Hasil simulasi FEM menunjukkan ketiga model tabung bertekanan memenuhi kriteria keamanan struktural untuk operasi pada tekanan maksimum 25 bar (2,5 MPa). Pola deformasi yang terpusat di tengah tabung selaras dengan hasil analisis FEM pada bejana tekan silindris lainnya, . Tegangan ekuivalen von Mises maksimum sekitar 2,5–2,7 MPa berada jauh di bawah kapasitas material Aluminium 7075–T6. Faktor keamanan minimum 15 melampaui standar desain bejana tekan yang umum digunakan .

Model dengan ketebalan 3 mm menunjukkan kinerja superior pada aspek deformasi total (0,000125 mm), mengindikasikan geometri silinder dengan diameter luar 94 mm memberikan kekakuan struktural optimal terhadap tekanan internal. Fenomena ini konsisten dengan teori mekanika bahan yang menyatakan hubungan antara rasio diameter terhadap ketebalan (D/t ratio) dengan kekakuan radial struktur silinder.

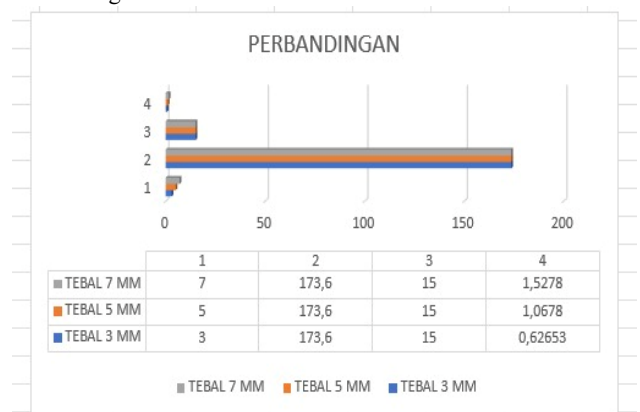
Dari perspektif distribusi tegangan, konsentrasi tegangan maksimum pada zona fixed support merupakan karakteristik tipikal struktur dengan penahan tetap, sesuai dengan prinsip Saint-Venant. Nilai tegangan yang konsisten antar model (2,5–2,7 MPa) membuktikan bahwa tekanan internal 2,5 MPa tidak menghasilkan gradien tegangan signifikan pada variasi ketebalan yang dievaluasi. Nilai faktor keamanan minimum sebesar 15 menunjukkan bahwa tegangan kerja yang terjadi masih jauh di bawah kekuatan luluh material sehingga memberikan margin keamanan yang memadai terhadap variasi beban operasi.

Model dengan ketebalan 3 mm memiliki massa paling rendah dibandingkan model lainnya sehingga lebih menguntungkan dari aspek efisiensi material dan mobilitas sistem. Kurang 41,3% dari 5 mm, 59% dari 7 mm. Pengurangan massa signifikan ini berdampak langsung pada mobilitas sistem SLT latihan, memfasilitasi handling personel serta meningkatkan efisiensi logistik tanpa mengorbankan integritas struktural.

Pemilihan model ketebalan 3 mm sebagai desain optimum didasarkan pada evaluasi multi-kriteria yang mempertimbangkan keamanan struktural, efisiensi massa, dan kompleksitas manufaktur. Model ini memenuhi seluruh persyaratan teknis dengan margin keamanan memadai, sekaligus meminimalkan konsumsi material dan biaya produksi.

Implementasi desain tabung bertekanan ini pada sistem SLT latihan pneumatik Poltekad dimaksudkan untuk efektivitas pelatihan militer melalui simulasi tembakan yang realistis dengan keselamatan yang tinggi. Aluminium 7075-T6 tahan karat, awet di berbagai cuaca, jarang servis, umur panjang.

Perbandingan ketebalan ada di Gambar 16.

**Gambar. 16.** Hasil Perbandingan seluruh ketebalan

Kesimpulan

Analisis FEM menunjukkan bahwa seluruh variasi ketebalan tabung (3 mm, 5 mm, dan 7 mm) mampu menahan tekanan internal sebesar

2,5 MPa dengan tegangan maksimum yang masih berada jauh di bawah kekuatan luluh Aluminium 7075-T6. Nilai faktor keamanan minimum sebesar 15 menunjukkan bahwa seluruh model memenuhi persyaratan keamanan struktural. Berdasarkan evaluasi deformasi, tegangan, faktor keamanan, dan massa tabung, model dengan ketebalan 3 mm merupakan desain yang paling efisien karena memiliki massa terendah sebesar 0,62653 kg dengan kinerja struktural yang tetap aman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Aluminium 7075-T6 berpotensi digunakan sebagai material tabung bertekanan pada sistem pneumatik SLT latih.

CRedit Authorship Contribution Statement

Richard Costantin Mangililo: Konseptualisasi, Metodologi, Perangkat lunak (ANSYS), Validasi, Analisis data, Investigasi, Penulisan draft asli dan Visualisasi.

Prijo Poedjianto: Sumber daya serta Pengawasan

Maryono: Pengawasan dan Administrasi.

Muhammad Lalu Syaifullah: Review & editing.

Muhammad Iman Hidayat: Review & editing.

Mantan Darmawan: Review & editing.

Deklarasi Konflik Kepentingan

Penulis: Tidak ada konflik finansial/pribadi yang pengaruhi hasil penelitian ini.

Pendanaan

Penelitian ini tidak menerima pendanaan dari lembaga pemerintah, swasta, maupun institusi lainnya..

Pernyataan Penggunaan AI Generatif

Penulis pakai Perplexity AI buat struktur tulisan, parafrase, cari referensi. Konten sudah diedit sesuai kebutuhan, penulis tanggung jawab penuh.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan seluruh pihak yang telah memberikan dukungan selama pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] M. Tiryakioğlu et al., "On the correlation of mechanical and physical properties of 7075-T6 Al alloy, Mater. Sci. Eng. A, vol. 406, no. 1-2, pp. 115–123, Aug. 2005.
- [2] S. K. Panigrahi, R. Jayaganthan, and V. Chawla, "Evaluation of tensile strength and elastic modulus of 7075-T6 aluminum alloy

processed by cryorolling," J. Alloys Compd., vol. 530, pp. 25–35, Jul. 2012.

[3] M. Hadi, "Stress Analysis in Vessels Using Finite Element Method," BINA, vol. 15, no. 2, pp. 45–56, 2025.

[4] A. Derouiche et al., "Characterization and Corrosion resistance study of aeronautical aluminum 2024-T4 and 7075-T6 alloys," Moroc. J. Chem., vol. 9, no. 4, pp. 762–775, 2021.

[5] M. A. Chizari et al., "Optimizing structural integrity of a pressure vessel via finite element analysis," [Jurnal TBD], 2024.

[6] S. K. Sharma et al., "Finite Element Analysis of the Pressure Vessels with Various Geometries," *Int. J. Sci. Res. Manag.*, vol. 12, no. 9, pp. 1234–1245, Sep. 2024.

[7] M. A. Chizari et al., "Failure strength of 7075-T6 aluminium alloy: integrating digital image and finite element analysis for static uniaxial and biaxial load scenarios," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 168, pp. 108–125, Nov. 2024.