

# Pengaruh Panjang Tabung dan Radius *Fillet* Terhadap Faktor Keamanan Tabung Motor Roket *Dextrose* Menggunakan *Ansys Workbench*

Lasinta Ari Nendra Wibawa<sup>1\*</sup>, Unggul Satrio Yudhotomo<sup>2</sup>, Yudi Haryanto<sup>3</sup>, Rahadyan Lingga Laksita<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)  
<sup>1,2,3,4</sup>Jln. Cilauteureun, Cikelet, Garut, 44175, Indonesia  
E-mail: lasinta.ari@lapan.go.id<sup>1</sup>, unggul.satrio@lapan.go.id<sup>2</sup>, yudi.haryanto@lapan.go.id<sup>3</sup>,  
rahadyan.lingga@lapan.go.id<sup>4</sup>

---

## Abstrak

---

### Info Naskah:

Naskah masuk: 15 April 2021  
Direvisi: 17 Agustus 2021  
Diterima: 19 Agustus 2021

Tabung motor roket merupakan komponen utama pada roket *Dextrose*. Makalah ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh panjang tabung dan radius fillet terhadap faktor keamanan tabung motor roket *dextrose* menggunakan *Ansys Workbench*. Tabung roket *Dextrose* menggunakan material Al 6063-T5 dengan diameter luar 32 mm, ketebalan dinding 3 mm, dan tekanan internal 5 MPa. Panjang tabung roket divariasikan 200, 250, 300, dan 350 mm. Radius fillet menggunakan variasi 3, 4, dan 5 mm. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *Ansys Workbench*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa faktor keamanan tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan panjang tabung roket. Faktor keamanan meningkat seiring peningkatan radius fillet.

---

## Abstract

---

### Keywords:

ansys workbench;  
rocket tube length;  
fillet radius;  
dextrose rocket;  
rocket motor tube.

The rocket motor tube is the main component of the *Dextrose* rocket. This paper aims to investigate the effect of tube length and fillet radius on the safety factor of a *dextrose* rocket motor tube using *Ansys Workbench*. The *Dextrose* rocket tube uses Al 6063-T5 material with an outer diameter of 32 mm, a wall thickness of 3 mm, and internal pressure of 5 MPa. The rocket motor tube length is varied by 200, 250, 300, and 350 mm. The fillet radius uses variations of 3, 4, and 5 mm. The analysis was carried out using the finite element method with the help of *Ansys Workbench*. The simulation results show that the safety factor does not have a significant effect on changes in the length of the rocket tube. The safety factor increases as the fillet radius increases.

---

### \*Penulis korespondensi:

Lasinta Ari Nendra Wibawa  
E-mail: lasinta.ari@lapan.go.id

## 1. Pendahuluan

Roket *Dextrose* adalah roket amatir yang menggunakan bahan bakar utama Kalium Nitrat ( $\text{KNO}_3$ )/*Dextrose* untuk menghasilkan gaya dorong. Kalium Nitrat yang merupakan bahan dasar pupuk dan dapat larut dalam air tersebut berfungsi sebagai oksidator. *Dextrose* yang merupakan gabungan antara gula sederhana dan air digunakan sebagai binder bahan bakar (*fuel binder*). Pada umumnya, rasio perbandingan antara Kalium Nitrat dan *Dextrose* adalah 65 persen banding 35 persen (13:7). Bahan bakar roket dari Kalium Nitrat/*Dextrose* (KNDX) ini banyak digunakan untuk penelitian roket amatir mahasiswa di berbagai belahan dunia, selain Kalium Nitrat/*Sucrose* (KNSU) dan Kalium Nitrat/Sorbitol (KNSB) [1]–[6].

Roket *Dextrose* dapat menjadi media pembelajaran tentang teknologi peroketan yang relatif murah selain roket air (*water rocket*). Beberapa kelebihan roket *Dextrose* dibandingkan dengan roket air yaitu kemampuan terbang yang lebih stabil dan jarak jangkauan yang lebih jauh. Bahan bakar Kalium Nitrat ( $\text{KNO}_3$ )/*Dextrose* juga memiliki tingkat risiko ledakan lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan propelan dari bahan HTPB (*Hydroxyl-terminated polybutadiene*).

Tabung motor roket merupakan komponen utama pada roket *Dextrose*. Tabung motor roket berperan penting karena berisi bahan bakar Kalium Nitrat/*Dextrose* yang jika dinyalakan dapat menghasilkan gaya dorong (*thrust*). Dengan demikian, proses perancangan tabung roket harus mempertimbangkan parameter yang paling optimal agar rancangan tabung roket dapat menahan beban di lingkungan kerjanya.

Panjang tabung roket dan radius *fillet* merupakan faktor yang berpengaruh terhadap tegangan *von Mises* maksimum pada silinder yang menggunakan prinsip bejana tekan [7], [8]. Panjang tabung roket juga sangat menentukan berapa banyak bahan bakar yang dibawa oleh roket *Dextrose*. Selain panjang tabung roket dan radius *fillet*, faktor lain seperti ketebalan cap, ketebalan dinding, dan tekanan internal roket juga mempengaruhi nilai tegangan *von Mises* maksimumnya [9]–[11]. Pada penelitian ini, ketebalan dinding, ketebalan cap, dan tekanan internal roket *Dextrose* konstan.

Tabung roket *Dextrose* dirancang menggunakan silinder berdinding tebal (*thick-walled cylinder*) dengan diameter luar 32 mm dan ketebalan dinding 3 mm seperti pada penelitian sebelumnya [12]. Radius *fillet* menggunakan variasi 3, 4, dan 5 mm. Variasi panjang tabung yang digunakan yaitu 200, 250, 300, dan 350 mm. Tekanan internal konstan, yaitu 5 MPa. Aluminium 6063-T5 yang memiliki massa jenis ringan ( $2,85 \text{ g/cm}^3$ ), harga relatif murah, kekuatan medium (*yield strength* 145 MPa dan *tensile strength* 186 MPa), *young modulus* 68,9 MPa, dan mudah ditemukan di pasaran digunakan sebagai material tabung roket [12].

Simulasi tabung roket *Dextrose* dilakukan dengan *Ansys Workbench* menggunakan metode elemen hingga. *Ansys Workbench* adalah salah satu perangkat lunak yang cukup banyak digunakan untuk simulasi tabung motor roket dan pesawat terbang [7]–[13]. Keunggulan *Ansys* antara lain mudah saat diintegrasikan dengan hampir semua *software* perancangan 3 (tiga) Dimensi seperti *SolidWorks*, *Catia*, *Autodesk Inventor*, dan *Creo*.

## 2. Metode

Bejana tekan dibagi menjadi 2 (dua) berdasarkan dimensinya, yaitu berdinding tipis (*thin-walled pressure vessel*) dan berdinding tebal (*thick-walled pressure vessel*). Bejana tekan dengan ketebalan dinding lebih kecil dari  $1/20$  diameter dalamnya dikategorikan sebagai berdinding tipis, sedangkan bejana tekan dengan ketebalan dinding lebih besar dari  $1/20$  diameter dalamnya dikategorikan sebagai berdinding tebal.

Pada penelitian ini, tabung roket memiliki ketebalan dinding 3 mm sehingga dapat dikategorikan sebagai bejana tekan berdinding tebal karena ketebalan dinding lebih tinggi dari  $1/20$  diameter dalamnya, tepatnya  $1/20 \times 26 \text{ mm} = 1,3 \text{ mm}$ . Pada kasus silinder berdinding tebal, tekanan yang terjadi pada dinding silinder tidak terdistribusi merata karena tegangan *hoop* dan tegangan radial nilainya sangat bergantung pada jari-jarinya [14].

Teori Elastisitas merupakan salah satu teori pokok yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan silinder berdinding tebal (*thick-walled cylinder*) yang menghasilkan kondisi tegangan sebagai fungsi kontinyu dari jari-jari di atas dinding bejana tekan [15]. Rasio antara jari-jari dalam dan jari-jari luar ( $r_o/r_i$ ) berpengaruh terhadap tegangan dalam bejana tekan.

Tegangan yang terjadi pada silinder berdinding tebal terjadi pada 3 arah, yaitu *hoop stress*, *longitudinal stress*, dan *radial stress*.

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

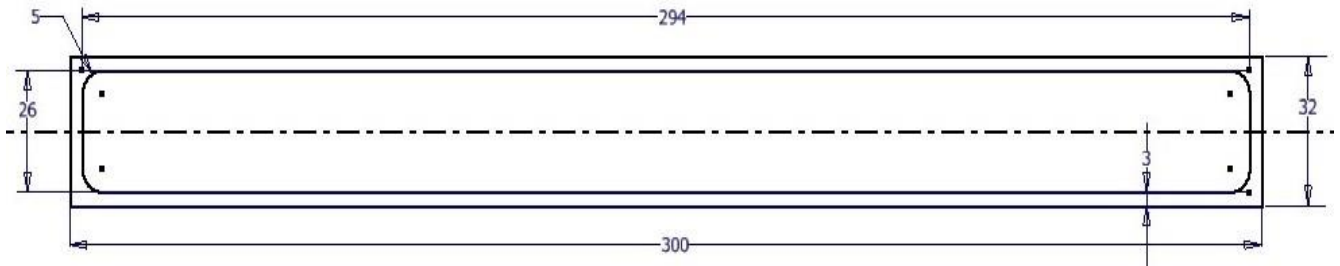
$$(\sigma_l)_{max} = p_i \left( \frac{r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \right) \quad (2)$$

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

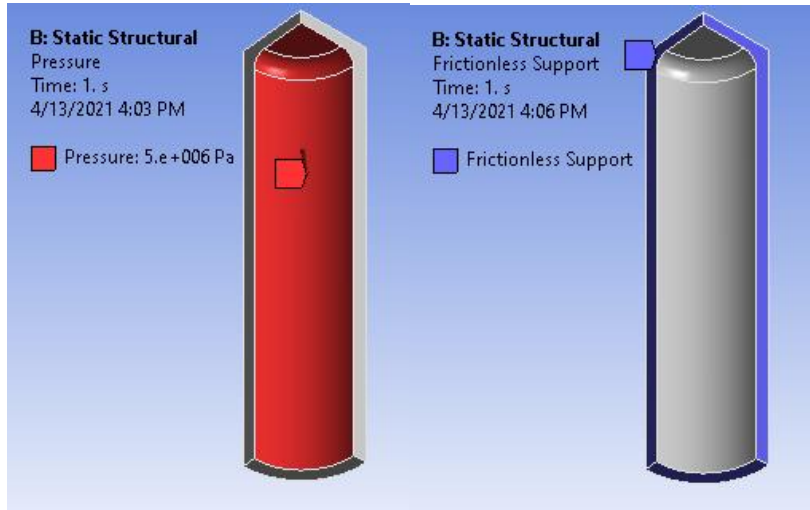
Di mana  $r_i$  = jari-jari dalam silinder (mm),  $r_o$  = jari-jari luar silinder (mm), dan  $p_i$  = tekanan internal (MPa),.

Gambar 1 menunjukkan desain silinder tabung roket *Dextrose*. Tabung roket yang memiliki bentuk silinder dapat dimodelkan dengan setengah bagian atasnya [16]. Simulasi pada penelitian ini cukup menggunakan bagian seperdelapan silinder padat. Hal ini dapat dilakukan karena tekanan yang diberikan pada fluida dalam silinder tertutup maka tekanan tersebut akan diteruskan merata ke semua arah dan sama besar [17]. Pemodelan menggunakan seperdelapan silinder juga dapat menghemat waktu komputasi karena proses *meshing* dapat dilakukan lebih cepat dan akurat.

Gambar 2 menjelaskan kondisi batas untuk analisis tabung motor roket *Dextrose* menggunakan perangkat lunak *Ansys Workbench*. Tabel 1 menunjukkan parameter simulasi menggunakan *Ansys Workbench*. Ukuran elemen yang digunakan dalam simulasi pada penelitian ini diatur seragam, yaitu 1,5 mm. Hal ini mengakibatkan jumlah node dan elemen untuk masing-masing variabel panjang tabung dan radius *fillet* ada perbedaan yang ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 1. Desain tabung roket *Dextrose* dengan diameter luar 32 mm, radius *fillet* 5 mm, ketebalan dinding 3 mm, dan panjang 300 mm.



Gambar 2. Kondisi batas: kondisi pembebanan (kiri) dan jenis *constraint* (kanan).

Tabel 1. Parameter simulasi menggunakan *Ansys Workbench*.

Parameter	Keterangan
Diameter luar	32 mm
Panjang tabung	200, 250, 300, dan 350 mm
Radius <i>fillet</i>	3, 4, dan 5 mm
Ketebalan dinding	3 mm
Tekanan internal	5 MPa
Ukuran elemen	1,5 mm

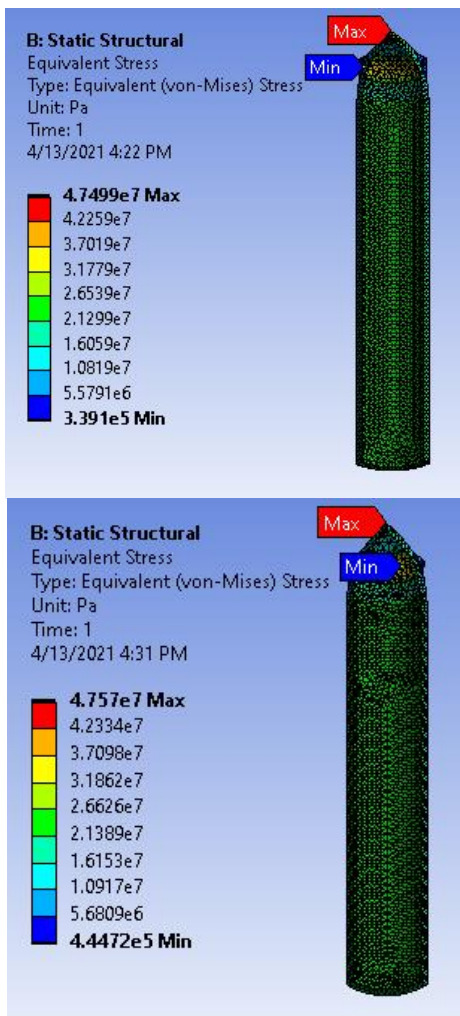
Tabel 2. Jumlah node dan elemen untuk variasi radius *fillet* dan panjang tabung roket *Dextrose*.

Radius <i>fillet</i> (mm)	Panjang tabung (mm)	Jumlah node	Jumlah elemen
3	200	15447	8359
3	250	18257	9856
3	300	23279	12616
3	350	25728	13989
4	200	14832	8018
4	250	17821	9682
4	300	23046	12511
4	350	25278	13727
5	200	14963	8113
5	250	17881	9697
5	300	23348	12651
5	350	25176	13647

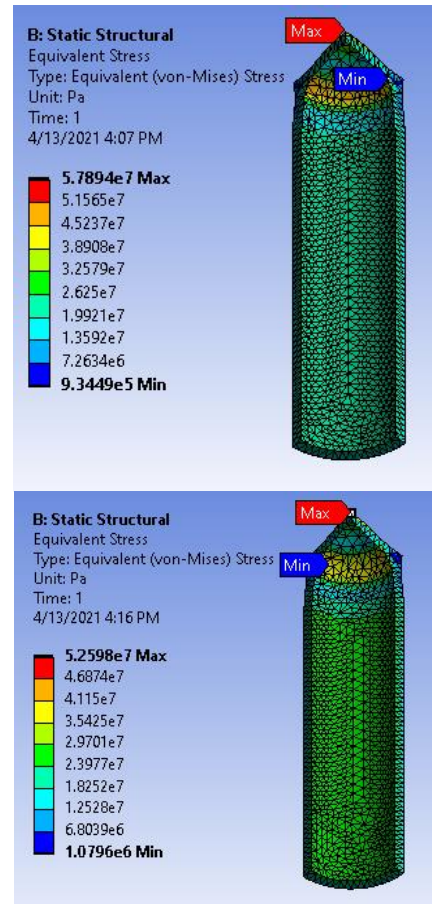
### 3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 3 menggambarkan pengaruh panjang tabung 300 mm (atas) dan 350 mm (bawah) dengan radius *fillet* 5 mm terhadap tegangan *von Mises* tabung roket *Dextrose* yang hasilnya berturut-turut 47,50 MPa dan 47,57 MPa. Hal ini membuktikan bahwa tegangan *von Mises* maksimum tidak mengalami kenaikan signifikan seiring peningkatan panjang tabung roket yang ditunjukkan pada Gambar 5.

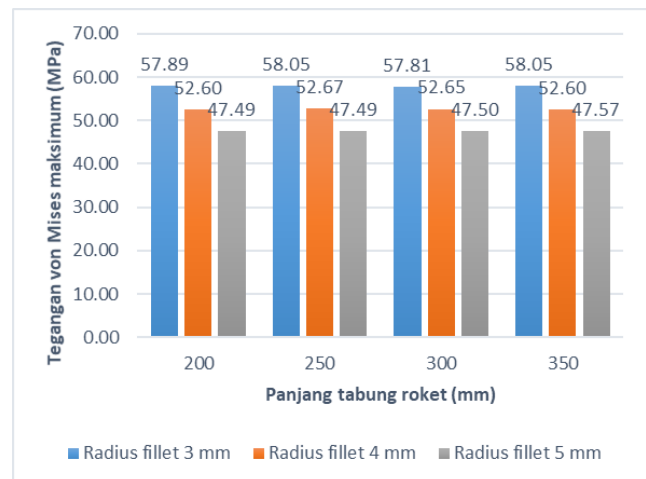
Gambar 4 menggambarkan tegangan *von Mises* untuk panjang tabung roket 200 mm dengan radius *fillet* 3 mm (atas) dan 4 mm (bawah) berturut-turut 57,89 MPa dan 52,60 MPa. Gambar tersebut membuktikan semakin tinggi radius *fillet*, semakin rendah tegangan *von Mises* maksimumnya. Hal ini berarti tegangan *von Mises* maksimum dapat diminimalkan dengan menaikkan nilai radius *fillet*, tanpa menaikkan ketebalan dinding tabung roket [7], [8]. Dengan demikian, menaikkan radius *fillet* dapat mengurangi berat tabung roket dibanding meningkatkan ketebalan tabung roket secara keseluruhan.



Gambar 3. Tegangan *von Mises* untuk radius *fillet* 5 mm dengan panjang tabung 300 mm (atas) dan 350 mm (bawah).



Gambar 4. Tegangan *von Mises* untuk panjang tabung roket 200 mm dengan radius *fillet* 3 mm (atas) dan 4 mm (bawah).



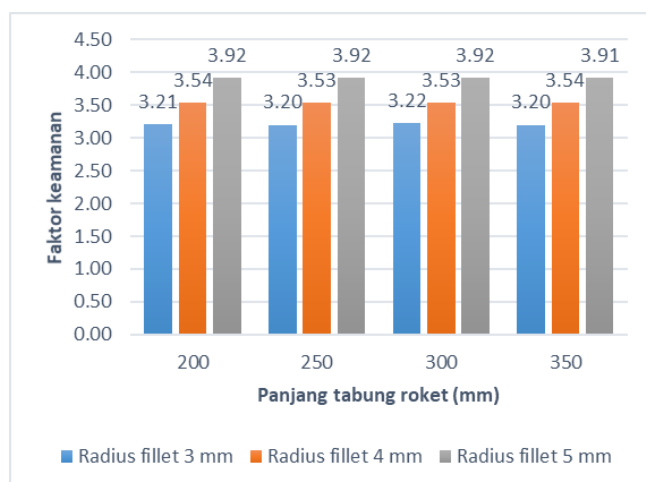
Gambar 5. Pengaruh panjang tabung dan radius *fillet* terhadap tegangan *von Mises* maksimum tabung roket *Dextrose*.

Faktor keamanan merupakan salah satu kriteria yang digunakan untuk memastikan apakah desain dari suatu komponen cukup aman saat diberikan beban sesuai kondisi kerjanya. Faktor keamanan dapat menggunakan salah satu dari batas kekuatan tarik maksimum (*tensile strength*) atau kekuatan luluh (*yield strength*) dari material tergantung sifat komponen. Komponen yang digunakan berulang-ulang menggunakan batas kekuatan luluh material, sedangkan

komponen habis pakai dapat menggunakan kekuatan tarik maksimum. Faktor keamanan pada penelitian ini menggunakan kekuatan tarik maksimum karena tabung roket *Dextrose* merupakan komponen habis pakai [7].

Gambar 6 menunjukkan pengaruh panjang tabung roket dan radius *fillet* terhadap faktor keamanan minimum tabung roket *Dextrose*. Hasil simulasi menunjukkan faktor keamanan tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan panjang tabung roket [8]. Hal ini berbeda dengan perubahan radius *fillet*. Semakin tinggi radius *fillet*, maka semakin tinggi faktor keamanan.

Hasil simulasi elemen hingga menunjukkan untuk semua variasi panjang tabung dan radius *fillet* memiliki faktor keamanan lebih dari 3,00. Kondisi ini berarti tabung roket dapat menahan beban kejut (*impact load*) karena nilai faktor keamanan untuk struktur mampu menahan beban kejut adalah 3,00-4,00 [18].



Gambar 6. Pengaruh panjang tabung dan radius *fillet* terhadap faktor keamanan minimum tabung roket *Dextrose*.

#### 4. Kesimpulan

Hasil simulasi menggunakan *Ansys Workbench* menunjukkan bahwa faktor keamanan tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan panjang tabung roket. Hal ini berbeda dengan perubahan radius *fillet*. Faktor keamanan meningkat seiring peningkatan radius *fillet*.

#### Daftar Pustaka

- [1] B. Huseyin, S. Çoban, and A. Yapıcı, "Designing, Modeling and Simulation of Solid Fuel Rocket ALP-01," *Eur. J. Sci. Technol.*, no. 15, pp. 511–518, 2019.
- [2] D. A. Singh, "Sugar Based Rocket Propulsion System-Making, Analysis & Limitations," *Int. J. Eng. Trends Appl.*, vol. 2, no. 5, pp. 30–37, 2013.
- [3] B. Aliyu, C. Osheku, E. Oyediji, M. Adetoro, A. Okon, and C. Idoko, "Validating a Novel Theoretical Expression for Burn time and Average Thrust in Solid Rocket Motor Design," *Adv. Res.*, vol. 5, no. 4, pp. 1–11, 2015.
- [4] G. O. Adeniyi, I. Nkere, L. M. Adetoro, and O. S. Sholiyi, "Performance Analysis of a Dual-Fuel Sugar Based Solid Rocket Propellant," *Eur. J. Eng. Technol. Res.*, vol. 6, no. 2, pp. 34–41, 2021.
- [5] C. Américo, D. F. Moro, C. H. Marchi, and F. Aguiar, "Development of a Ballistic Evaluation Motor for Knsu Burn Rate Measurements," in *18th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering*, 2020, vol. 2020.
- [6] R. R. Salazar *et al.*, "Design, construction and experimental static testing of a solid rocket motor," *Rev. UIS Ing.*, vol. 20, no. 2, pp. 97–108, 2021.
- [7] L. A. N. Wibawa, "Studi Numerik Pengaruh Radius Fillet dan Ketebalan Cap terhadap Tegangan Von Mises dan Faktor Keamanan Silinder Berdinding Tipis untuk Tabung Motor Roket," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 1, pp. 1–9, 2020.
- [8] L. A. N. Wibawa, K. Diharjo, W. Raharjo, and B. H. Jihad, "The Effect of Fillet Radius and Length of The Thick-Walled Cylinder on Von Mises Stress and Safety Factor for Rocket Motor Case," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2296, no. 1, 2020.
- [9] L. A. N. Wibawa, K. Diharjo, W. W. Raharjo, and B. H. Jihad, "Stress Analysis of Thick-Walled Cylinder for Rocket Motor Case under Internal Pressure," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 70, no. 2, pp. 106–115, 2020.
- [10] L. A. N. Wibawa, K. Diharjo, W. W. Raharjo, and B. H. Jihad, "Pengaruh Ketebalan Cap dan Tekanan Internal terhadap Tegangan Von Mises Silinder Berdinding Tebal untuk Tabung Motor Roket," *Teknik*, vol. 41, no. 2, pp. 111–118, 2020.
- [11] L. A. N. Wibawa, "Numerical Study of The Effect of Wall Thickness and Internal Pressure on Von Mises Stress and Safety Factor of Thin-Walled Cylinder for Rocket Motor Case," *JST (Jurnal Sains dan Teknol.)*, vol. 9, no. 1, pp. 30–38, 2020.
- [12] L. A. N. Wibawa, U. S. Yudhotomo, Y. Haryanto, and A. Kurniawan, "Pengaruh Ketebalan Dinding dan Tekanan Internal terhadap Faktor Keamanan Tabung Motor Roket *Dextrose* Menggunakan Ansys Workbench," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 22, no. 2, pp. 76–84, 2021.
- [13] L. A. N. Wibawa, K. Diharjo, W. W. Raharjo, Z. Arifin, D. Ariawan, and B. H. Jihad, "Effect of Overlap Length and Surface Roughness on Adhesive Joint Strength of Composite Rocket Motor Case (GFRP) and Cap (Al 6061)," *J. Phys. Conf. Ser.*, 2021.
- [14] R. S. Khurmi and J. K. Gupta, *A textbook of machine design*, 14th ed., no. I. New Delhi: Eurasia Publishing House, 2005.
- [15] Q. S. Masikh, M. Tariq, and P. K. Sinha, "Analysis of A Thin and Thick Walled Pressure Vessel for Different Materials," *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 10, pp. 9–19, 2014.
- [16] F. Dadkhah and J. Zecher, *ANSYS Workbench Software Tutorial with Multimedia CD Release 11*. Schroff Development Corporation, 2008.
- [17] K. L. Lawrence, *Ansys Workbench Tutorial Release 14*. Schroff Development Corporation, 2012.
- [18] V. Dobrovolsky and K. Zablonsky, *Machine elements : a textbook*. Moscow: Peace Publisher, 1978.