



Available online at www.jurnal.untidar.ac.id

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

Journal homepage: <http://jurnal.untidar.ac.id/index.php/mechanical/index>



Pengaruh Jumlah Ulir dan Variasi Beban terhadap Kekuatan Sambungan Cap dan Tabung Roket Dextrose Menggunakan Metode Elemen Hingga

Lasinta Ari Nendra Wibawa^{a,*}, Adi Farmasiantoro^b, Abdillah Hasan^c, Diyat Muhdiyati^a, Iyus Rusyana^a, Yopie Kristiyana^a, Unggul Satrio Yudhotomo^a

^aBalai Uji Teknologi dan Pengamatan Antariksa dan Atmosfer Garut, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Jln. Cilauteureun Cikelet, Garut 44177, Indonesia

^bPusat Teknologi Satelit, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Jln. Cagak Satelit No. 8 Km 0,4 Rancabungur, Bogor 16310, Indonesia

^cPerhimpunan Roket Amatir Indonesia (PERISAI), Perumahan Bukit Pertanian, Jln. Cendana Raya No. 37 Tirtajaya Sukmajaya, Depok, Indonesia

*Correspondence email: lasinta.ari@lapan.go.id

Keyword:

ansys workbench

finite element method

dextrose rocket

thread joint

square thread

ABSTRACT

This study aims to examine the effect of the number of threads and load variations on the strength of the connection between the cap and tube of the Dextrose rocket using the finite element method. The rocket cap and tube use Al 6063-T5. The thread used is the type of square thread with variations in the number of threads 5 and 6 pieces. The loading was varied 4, 5, 6, and 7 kN. Finite element analysis was carried out with the help of Ansys Workbench software. Static stress simulation results show the greater the loading, the higher the maximum von Mises stress. The maximum von Mises stress decreases as the number of threads increases. Square threaded joints with variations in the number of threads 5 and 6 can withstand a static load of up to 6 kN because they have a safety factor of more than 1.25.

Kata Kunci:

ansys workbench

metode elemen hingga

roket dextrose

sambungan ulir

ulir persegi

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh jumlah ulir dan variasi beban terhadap kekuatan sambungan cap dan tabung roket Dextrose menggunakan metode elemen hingga. Cap dan tabung roket menggunakan Al 6063-T5. Ulir yang digunakan yaitu jenis ulir persegi dengan variasi jumlah ulir 5 dan 6 buah. Pembebanan divariasikan 4, 5, 6, dan 7 kN. Analisis elemen hingga dilakukan dengan bantuan software Ansys Workbench. Hasil simulasi tegangan statis menunjukkan semakin besar pembebanan, maka semakin tinggi tegangan von Mises maksimum. Tegangan von Mises maksimum menurun seiring peningkatan jumlah ulir. Sambungan ulir persegi dengan variasi jumlah ulir 5 dan 6 dapat menahan beban statis hingga 6 kN karena memiliki faktor keamanan lebih dari 1,25.

PENDAHULUAN

Roket Dextrose merupakan salah satu jenis roket amatir yang menggunakan bahan bakar Kalium Nitrat dan Dextrose dengan rasio atau perbandingan 65 persen dibanding 35 persen [1], [2]. Roket Dextrose sering digunakan dalam riset mahasiswa di beberapa perguruan tinggi di dunia [3]–[8].

Roket Dextrose terdiri dari beberapa bagian seperti halnya roket pada umumnya, yaitu hidung roket (*nose cone*), tutup (*cap*), muatan (*payload*), motor roket, tabung roket, pemantik (*igniter*), bahan bakar (*fuel*), dan nosel. Motor roket merupakan bagian penting dari roket Dextrose yang menentukan besarnya gaya dorong (*thrust*) dari roket tersebut.

Motor roket adalah bagian yang sangat penting dari roket, dan sering gagal pada sambungannya. Kegagalan dapat terjadi pada sambungan antara tabung roket dengan tutup atau nosel. Sambungan adalah lokasi di mana tegangan terkonsentrasi karena tekanan internal dari pembakaran bahan bakar roket. Analisis tegangan statis penelitian sebelumnya dari motor roket menunjukkan bahwa tegangan von Mises maksimum selalu terjadi pada sambungan [1], [2], [9]–[11].

Beberapa penelitian pendahuluan dari roket Dextrose telah membahas tabung roket dengan diameter 32 mm yang diasumsikan dengan prinsip bejana tekan [1], [2]. Penelitian tersebut menggunakan variasi ketebalan dinding, ketebalan cap, *radius fillet*, panjang tabung, dan tekanan internal. Namun, penelitian yang membahas tentang penyambungan tabung roket dengan komponen lain seperti cap dan nosel masih sedikit. Padahal titik kritis tegangan von Mises maksimum terjadi pada sambungan. Oleh karena itu, penelitian tentang pengaruh variasi beban dan jenis ulir terhadap kekuatan sambungan tutup dan tabung roket penting untuk dilakukan.

Sambungan ulir sering digunakan untuk menyambung silinder dan pipa, terutama yang berdiameter tidak terlalu besar. Sambungan juga digunakan untuk menghubungkan tabung roket ke tutup dan tabung roket ke nosel. Penyambungan dua komponen dengan menggunakan sambungan ulir perlu diperhatikan dengan cermat untuk menghindari kegagalan yang tidak diinginkan. Ada beberapa jenis ulir, yang masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda. Pemilihan ulir dan jumlah ulir sangat bergantung pada karakteristik penggunaannya. Oleh karena itu, penelitian tentang pengaruh jumlah ulir dan variasi beban perlu dilakukan untuk menghasilkan desain sambungan yang sesuai dengan yang diharapkan. Selain itu, kekuatan sambungan sangat menentukan hasil uji hidrostatik tabung roket.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh jumlah ulir dan variasi beban terhadap kekuatan sambungan antara cap dan tabung roket Dextrose menggunakan metode elemen hingga. Jenis ulir yang digunakan yaitu ulir persegi (*square thread*) dengan jumlah ulir 5 dan 6 buah. Beban sambungan

ulir divariasikan 4, 5, 6, dan 7 kN. Bahan cap dan tabung roket adalah Al 6063-T5 seperti pada penelitian sebelumnya [1], [2]. Cap bertindak sebagai ulir eksternal (*male thread*), sedangkan tabung roket bertindak sebagai ulir internal (*female thread*). Dalam beberapa penelitian, cap bertindak sebagai *pin thread*, sedangkan tabung roket bertindak sebagai *box thread*. [12]–[19].

Analisis sambungan ulir dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Ansys Workbench. Ansys merupakan software tipe CAE yang banyak digunakan untuk analisis di bidang penerbangan dan antariksa, termasuk teknologi roket [20], [21], [30]–[35], [22]–[29]. Ansys sering digunakan untuk mensimulasikan model komputer dari komponen mesin untuk menganalisis kekuatan dalam menahan beban di lingkungan kerjanya.

METODE

Bahan yang digunakan untuk cap and tabung roket adalah Al 6063-T5. Keunggulannya antara lain kekuatan luluh sedang, sifat mampu bentuk yang baik, tahan korosi, dan massa jenis ringan. Tabel 1 menunjukkan sifat mekanik Al 6063-T5.

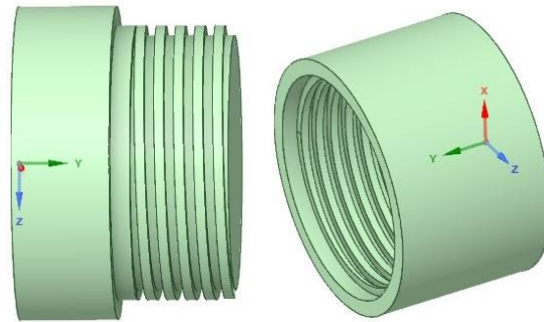
Tabel 1. Sifat mekanik Al 6063-T5.

| Parameter | Keterangan |
|------------------|------------------------|
| Material | Al 6063-T5 |
| Density | 2,85 g/cm ³ |
| Yield strength | 145 MPa |
| Tensile strength | 186 MPa |
| Young modulus | 68,9 GPa |
| Poisson's ratio | 0,33 |

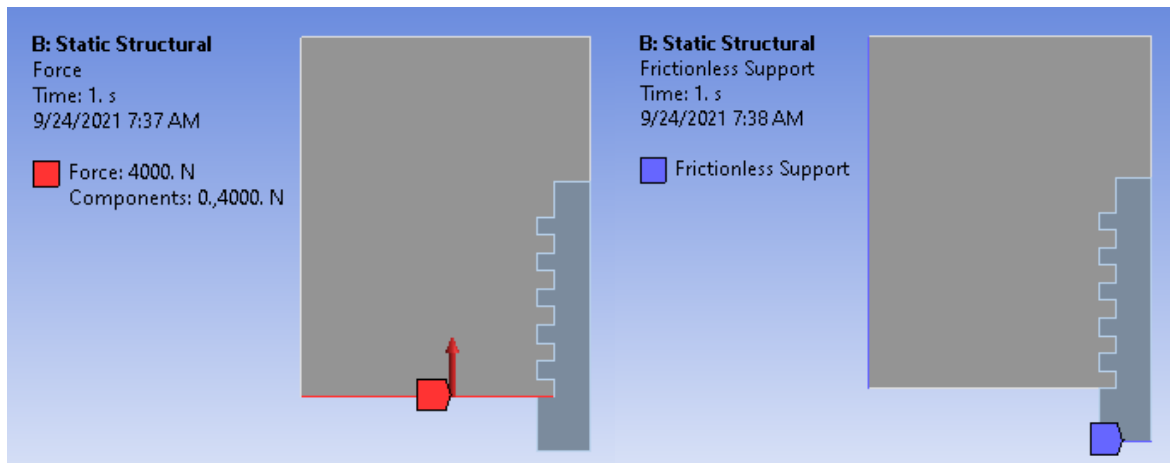
Simulasi sambungan ulir antara cap dan tabung roket dimodelkan menggunakan sumbu simetris 2D. Model 2D *axisymmetric* memiliki keunggulan khusus yaitu menghemat waktu komputasi karena membutuhkan elemen yang lebih sedikit dibandingkan model 3D sehingga proses *meshing* lebih cepat. Selain itu, kesalahan *konvergensi* akan berkurang sehingga akan diperoleh hasil yang sangat akurat. Model ini juga menawarkan solusi lengkap dibandingkan solusi dalam model 3D yang hanya terlihat di permukaan.

Gambar 1 mengilustrasikan cap dan tabung roket dalam bentuk 3 dimensi (3D) yang merupakan obyek yang akan disambung. Simulasi model menggunakan sumbu simetri 2D. Cap roket memiliki diameter luar 32 mm dan panjang 20 mm. Tabung roket memiliki diameter luar 32 mm, diameter dalam 29 mm, dan panjang 17 mm.

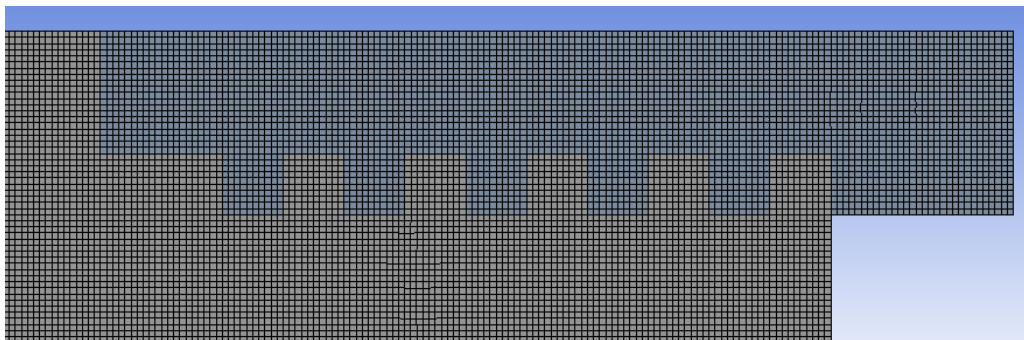
Kondisi batas berupa arah pembebanan dan *frictionless support* ditunjukkan pada Gambar 2. Tabel 2 menjelaskan detail parameter analisis elemen hingga menggunakan Ansys. Koefisien gesekan cap (Al 6063-T5) dan tabung roket (Al 6061-T5) diasumsikan 0,3.



Gambar 1. Geometri cap (kiri) dan tabung roket (kanan).



Gambar 2. Kondisi batas: arah pembebanan (kiri) dan *frictionless support* (kanan) dan dari sambungan ulir persegi.



Gambar 3. Proses *meshing* sambungan ulir persegi.

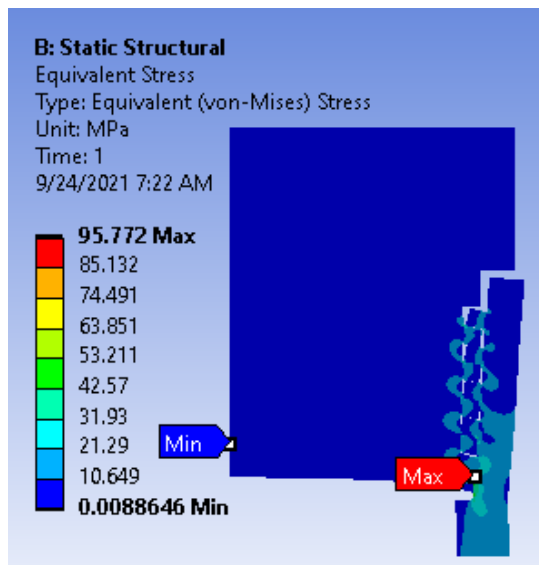
Tabel 2. Parameter ulir persegi menggunakan Ansys Workbench

| Parameter | Ulir persegi (<i>square thread</i>) |
|-----------------------|---------------------------------------|
| Ukuran <i>pitch</i> | 2 mm |
| Diameter mayor | 28 mm |
| Diameter minor | 26 mm |
| Diameter <i>pitch</i> | 27 mm |
| Variasi jumlah ulir | 5 dan 6 ulir |
| Variasi beban | 4, 5, 6, dan 7 kN |
| Ukuran elemen | 0,1 mm |
| Jumlah node | 99982 |
| Jumlah elemen | 32900 |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi tegangan von Mises maksimum pada sambungan ulir persegi dengan variasi beban 4 kN dan jumlah ulir 5 buah yaitu 95,77 MPa (Gambar 4). Nilai tegangan von Mises tersebut masih berada di bawah kekuatan luluh material Al 6063-T5, yaitu 145 MPa. Hal ini berarti komponen masih aman saat pembebanan dan komponen dapat kembali ke bentuk semula karena masih di bawah kekuatan luluhnya (*yield strength*).

Tegangan von Mises maksimum meningkat seiring dengan peningkatan beban (Tabel 3). Hal ini berarti peningkatan beban berbanding lurus dengan peningkatan tegangan von Mises maksimum. Namun, tegangan von Mises maksimum berbanding terbalik dengan jumlah ulir. Semakin banyak jumlah ulir, tegangan von Mises maksimum semakin menurun (Tabel 3). Tegangan von Mises maksimum terjadi pada ulir pertama baik pada saat jumlah ulir 5 maupun jumlah ulir 6.

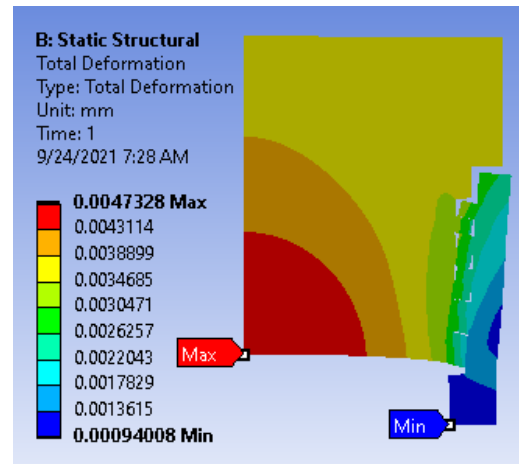


Gambar 4. Tegangan von Mises sambungan ulir persegi dengan variasi jumlah ulir 5 buah dan beban 4 kN.

Tabel 3. Pengaruh variasi jumlah ulir dan beban terhadap tegangan von Mises maksimum sambungan ulir persegi.

| Jumlah ulir | Beban (kN) | Tegangan von Mises maksimum (MPa) |
|-------------|------------|-----------------------------------|
| 5 | 4 | 95,77 |
| 5 | 5 | 119,72 |
| 5 | 6 | 143,66 |
| 5 | 7 | 167,60 |
| 6 | 4 | 91,18 |
| 6 | 5 | 113,97 |
| 6 | 6 | 136,77 |
| 6 | 7 | 159,56 |

Gambar 5 menunjukkan deformasi maksimum pada sambungan ulir persegi dengan variasi beban 4 kN dan jumlah ulir 5 buah yaitu 0,0047 mm. Deformasi maksimum berbanding lurus dengan peningkatan beban dan berbanding terbalik dengan jumlah ulir (Tabel 4).

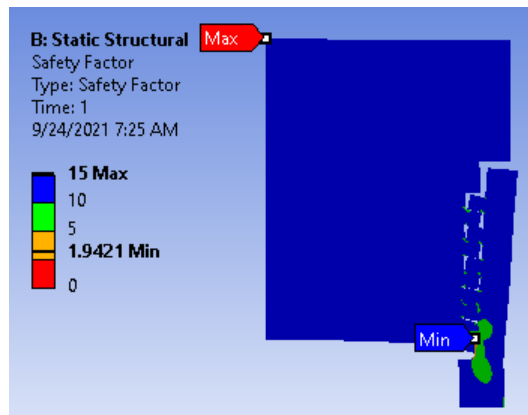


Gambar 5. Deformasi sambungan ulir persegi dengan variasi jumlah ulir 5 buah dan beban 4 kN.

Tabel 4. Pengaruh variasi jumlah ulir dan beban terhadap deformasi maksimum sambungan ulir persegi.

| Jumlah ulir | Beban (kN) | Deformasi maksimum (mm) |
|-------------|------------|-------------------------|
| 5 | 4 | 0,0047 |
| 5 | 5 | 0,0059 |
| 5 | 6 | 0,0071 |
| 5 | 7 | 0,0083 |
| 6 | 4 | 0,0044 |
| 6 | 5 | 0,0055 |
| 6 | 6 | 0,0066 |
| 6 | 7 | 0,0077 |

Gambar 6 menjelaskan defaktor keamanan rami minimum pada sambungan ulir persegi dengan variasi beban 4 kN dan jumlah ulir 5 buah yaitu 1,94. Faktor keamanan pada simulasi ini berdasarkan kekuatan tarik maksimum karena komponen roket bersifat habis pakai dan tidak digunakan berulang-ulang [36]. Faktor keamanan menurun dengan bertambahnya beban dan berbanding terbalik dengan kenaikan jumlah ulir (Tabel 3). Faktor keamanan adalah rasio kekuatan Tarik maksimum material terhadap tegangan von Mises maksimum. Oleh karena itu, faktor keamanan berbanding terbalik dengan tegangan von Mises maksimum. Semakin tinggi tegangan von Mises maksimum, semakin rendah faktor keamanan struktur atau komponen tersebut.



Gambar 6. Faktor keamanan sambungan ulir persegi dengan variasi jumlah ulir 5 buah dan beban 4 kN.

Tabel 5. Pengaruh variasi jumlah ulir dan beban terhadap faktor keamanan minimum sambungan ulir persegi.

| Jumlah ulir | Beban (kN) | Faktor keamanan |
|-------------|------------|-----------------|
| 5 | 4 | 1,94 |
| 5 | 5 | 1,55 |
| 5 | 6 | 1,29 |
| 5 | 7 | 1,11 |
| 6 | 4 | 2,04 |
| 6 | 5 | 1,63 |
| 6 | 6 | 1,36 |
| 6 | 7 | 1,17 |

Hasil simulasi tegangan statis menunjukkan bahwa sambungan ulir persegi mampu menahan beban statis hingga 6 kN baik untuk jumlah ulir 5 maupun jumlah ulir 6 karena memiliki faktor keamanan lebih dari 1,25 (Tabel 3). Faktor keamanan minimum untuk suatu komponen dapat menahan beban statis adalah 1,25-2,00 [37].

SIMPULAN

Hasil simulasi tegangan statis menunjukkan semakin besar pembebanan, maka semakin tinggi tegangan von Mises maksimum. Tegangan von Mises maksimum menurun seiring peningkatan jumlah ulir. Sambungan ulir persegi dengan variasi jumlah ulir 5 dan 6 dapat menahan beban statis hingga 6 kN karena memiliki faktor keamanan lebih dari 1,25.

DAFTAR PUSTAKA

[1] 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.

[2] L. A. N. Wibawa, U. S. Yudhotomo, Y. Haryanto, and R. L. Laksita, "Pengaruh

Panjang Tabung dan Radius Fillet Terhadap Faktor Keamanan Tabung Motor Roket Dextrose Menggunakan Ansys Workbench," *Infotekmesin*, vol. 12, no. 2, pp. 110–114, 2021.

[3] 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.

[4] D. A. Singh, "Sugar Based Rocket Propulsion System- Making, Analysis & Limitations," *Int. J. Eng. Trends Appl.*, vol. 2, no. 5, pp. 30–37, 2013.

[5] B. Aliyu, C. Osheku, E. Oyedeji, 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[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. 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.

[11] 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.

[12] Y. Wang, C. Qian, L. Kong, Q. Zhou, and J. Gong, "Design optimization for the thin-walled joint thread of a coring tool used for deep boreholes," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 8, 2020.

[13] Y. Wang, B. Xia, Z. Wang, and C. Chai, "Model of a new joint thread for a drilling tool and its stress analysis used in a slim

- borehole,” *Mech. Sci.*, vol. 7, no. 2, pp. 189–200, 2016.
- [14] C. Shi, L. Tan, X. Zhu, K. Chen, and F. Cheng, “Fracture Failure analysis and research on Solid expandable tubular with joint thread,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 129, no. July, p. 105658, 2021.
- [15] J. Zheng and J. Yang, “Random fatigue analysis of drill-pipe threaded connection,” *Int. J. Mater. Struct. Integr.*, vol. 10, no. 1, pp. 34–51, 2016.
- [16] R. R. Porcaro, L. C. Cândido, V. B. Trindade, G. L. De Faria, and L. B. Godefroid, “Evaluation of standard API casing connections and parametric API Buttress improvement by finite element analysis,” *Mater. Res.*, vol. 20, no. 1, pp. 130–137, 2017.
- [17] S. Xu, C. Wang, S. Wang, L. Zhang, X. Li, and H. Zhang, “Experimental study of mechanical properties and residual stresses of expandable tubulars with a thread joint,” *Thin-Walled Struct.*, vol. 115, no. February, pp. 247–254, 2017.
- [18] L. Dong, X. Zhu, and D. Yang, “Study on mechanical behaviors of double shoulder drill pipe joint thread,” *Petroleum*, vol. 5, no. 1, pp. 102–112, 2019.
- [19] A. R. Shahani and S. M. H. Sharifi, “Contact stress analysis and calculation of stress concentration factors at the tool joint of a drill pipe,” *Mater. Des.*, vol. 30, no. 9, pp. 3615–3621, 2009.
- [20] V. Ramanjaneyulu, V. Balakrishna Murthy, R. Chandra Mohan, and C. Naga Raju, “Analysis of Composite Rocket Motor Case using Finite Element Method,” *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 2, pp. 4920–4929, 2018.
- [21] Z. Wang, Q. Han, D. H. Nash, H. Fan, and L. Xia, “Thermal buckling of cylindrical shell with temperature-dependent material properties: Conventional theoretical solution and new numerical method,” *Mech. Res. Commun.*, vol. 92, pp. 74–80, 2018.
- [22] A. K. Asraff, S. Sunil, R. Muthukumar, and T. J. Ramanathan, “Stress analysis & life prediction of a cryogenic rocket engine thrust chamber considering low cycle fatigue, creep and thermal ratchetting,” *Trans. Indian Inst. Met.*, vol. 63, no. 2–3, pp. 601–606, 2010.
- [23] R. Harikrishnan and B. R. Lokavarapu, “Design and analysis of rocket nozzle,” *Mater. Today Proc.*, vol. 38, pp. 3365–3371, 2020.
- [24] L. A. N. Wibawa, “Effect of Fillet Radius of UAV Main Landing Gear on Static Stress and Fatigue Life using Finite Element Method,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1811, no. 1, 2021.
- [25] A. K. Asraff, R. Aparna, D. Kumaresan, and R. Muthukumar, “Comparison of creep properties of four copper alloys and creep based stress analysis of a rocket engine combustion chamber,” *Procedia Eng.*, vol. 55, pp. 45–50, 2013.
- [26] M. A. Degtyarev and K. V. Avramov, “Numerical Simulation of the Stress-Strain State of the Rocket Retention Module,” *Strength Mater.*, vol. 51, no. 5, pp. 707–714, 2019.
- [27] B. Ropia, H. K. Shekhar, and D. G. Thakur, “Study of Initial Pressure Rise in Multi Grain Solid Propellant Rocket Motor,” *Propellants, Explos. Pyrotech.*, vol. 45, no. 5, pp. 741–750, 2020.
- [28] P. Sai Teja, B. Sudhakar, A. D. Dhass, R. Krishna, and M. Sreenivasan, “Numerical and experimental analysis of hydroxyl-terminated poly-butadiene solid rocket motor by using ANSYS,” *Mater. Today Proc.*, vol. 33, pp. 308–314, 2020.
- [29] L. A. N. Wibawa, “Effect of Bolt Hole Size on Static Stress and Fatigue Life of UAV Main Landing Gear Using Numerical Simulation,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1811, no. 1, 2021.
- [30] A. Eswara Kumar, K. Somanadha Sastry, K. Manideep, and M. Priyanka, “Dynamic Analysis of Flex Seal of Solid Rocket Motor Nozzle,” *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 2, pp. 1590–1597, 2017.
- [31] X. Guo, J. T. Zhang, M. Zhang, L. S. Liu, P. C. Zhai, and Q. J. Zhang, “Effects of liner properties on the stress and strain along liner/propellant interface in solid rocket motor,” *Aerosp. Sci. Technol.*, vol. 58, pp. 594–600, 2016.
- [32] A. K. Asraff, S. Sheela, A. Paul, A. Mathew, and S. Savithri, “Cyclic Stress Analysis of a Rocket Engine Thrust Chamber Using Chaboche, Voce and Creep Constitutive Models,” *Trans. Indian Inst. Met.*, vol. 69, no. 2, pp. 495–500, 2016.
- [33] L. A. N. Wibawa and Tuswan, “Lightweight Optimization Design of Thin-Walled Cylindrical Rocket Motor Tube Using FEA,” *AIP Conf. Proc.*, 2022.
- [34] A. Eswara Kumar, V. Balakrishna Murthy, and R. Chandra Mohan, “Effect of Shim Percentage on Non-Linear Static Behavior of Flex Seal of Rocket Nozzle,” *Mater. Today Proc.*, vol. 2, no. 4–5, pp. 1427–1434, 2015.
- [35] A. Eswara Kumar, V. Balakrishna Murthy, R. Chandra Mohan, and D. Prakash, “Study of Non-Linear Static Behavior of Flex Seal of Rocket Nozzle by Varying Number of Shims,” *Mater. Today Proc.*, vol. 2, no. 4–5, pp. 1613–1621, 2015.
- [36] 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.

- [37] V. Dobrovolsky and K. Zablonsky, *Machine elements: a textbook*. Moscow: Peace Publisher, 1978.