

BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari ketiga skenario pengujian yang diterapkan, Skenario 2 (simulasi terpisah dengan gaya reaksi dari FEA) dipilih sebagai metodologi yang paling representatif untuk analisis selanjutnya. Pemilihan ini berdasarkan enam keunggulan terukur. Pertama, *displacement* lokal tiap komponen (Bawah 0,030 mm, Tengah 0,476 mm, Atas 2,248 mm) langsung dapat dievaluasi per material, berbanding *displacement* absolut Skenario 1 yang 200 kali lebih besar di komponen Bawah dan 12 kali lebih besar di komponen Tengah. Kedua, konsistensi dengan Skenario 3 terkonfirmasi di bawah ambang 5% pada ketiga parameter struktural: selisih Von Mises 1,56%, *Displacement* 4,83%, dan *Factor of Safety* 1,79%. Ketiga, geometri kompleks seperti rongga internal dan lubang baut terakomodasi tanpa penyederhanaan, berbanding Skenario 3 yang hanya valid untuk geometri ideal dengan deviasi gaya reaksi mencapai 29,24% di T1 komponen Bawah, mengecil ke 3,96% di T3, dan 0,00% di komponen Atas. Keempat, kontrol *mesh* 20:1 per komponen menghasilkan akurasi lebih tinggi dari *global mesh* Skenario 1. Kelima, waktu komputasi 54 detik (Bawah 26s, Tengah 12s, Atas 16s) dengan *memory usage* 25.939K berbanding 19 menit 17 detik dan 55.728K pada Skenario 1: 21,4 kali lebih cepat, memori 53,4% lebih kecil. Keenam, keluaran simulasi mencerminkan respons lokal sehingga langsung dapat dievaluasi tanpa pascapemrosesan. Ketiga skenario valid, namun Skenario 2 paling sesuai untuk desain multi-komponen.
2. Berdasarkan analisis perbandingan performa empat material uji menggunakan metode AHP-TOPSIS dengan Skenario 2 sebagai basis simulasi, AISI 1020 ditetapkan sebagai material terbaik untuk ketiga komponen *footstep*. Pembobotan kriteria melalui AHP menghasilkan urutan prioritas, Factor of Safety (46,58%), *Displacement* (27,71%), Von Mises stress (16,10%), dan Cost (9,60%), dengan Consistency

Ratio 1,15% yang mengindikasikan tingkat konsistensi yang sangat baik. Hasil TOPSIS menunjukkan AISI 1020 memiliki Closeness Coefficient tertinggi secara konsisten pada ketiga komponen dengan rata-rata 0,991. Keunggulan AISI 1020 didorong oleh kombinasi nilai Factor of Safety tertinggi di semua komponen dengan harga material terendah sebesar \$0,54/kg, menjadikannya pilihan yang paling seimbang antara performa struktural dan efisiensi ekonomis.

3. Evaluasi kekuatan struktur desain *footstep* adjustable menggunakan material AISI 1020 menunjukkan bahwa desain orisinal tidak sepenuhnya memenuhi persyaratan kekuatan struktural. Komponen Bawah dan Tengah secara teknis aman namun mengalami over design dengan *FoS* masing-masing 13,12 dan 4,215, sementara komponen Atas dinyatakan tidak aman dengan *FoS* 0,28 dan tegangan Von Mises 1.257 MPa yang melebihi yield strength material sebesar 3,6 kali. Setelah dilakukan optimasi geometri pada ketiga komponen, seluruh komponen mencapai status optimal dengan *FoS* seragam 1,9 dan memenuhi seluruh kriteria kelayakan struktural yang ditetapkan berdasarkan standar pembebanan BS EN 14183:2003. Optimasi juga menghasilkan reduksi massa total sebesar 31,8% dari 6,03 kg menjadi 4,11 kg, dengan rincian komponen Bawah turun 42,4%, komponen Tengah turun 34,8%, dan komponen Atas turun 9,0%.

V.2 Saran

Berdasarkan hasil dan temuan penelitian, saran yang dapat dikemukakan adalah sebagai berikut:

1. Desain *footstep* adjustable hasil optimasi direkomendasikan untuk menggantikan desain orisinal pada truck refueller, karena telah memenuhi seluruh persyaratan kekuatan struktural berdasarkan standar BS EN 14183:2003 dengan Factor of Safety minimum 1,9 pada seluruh komponen sekaligus menghasilkan reduksi massa total 31,8%.
2. Material AISI 1020 disarankan sebagai material konstruksi berdasarkan hasil AHP-TOPSIS yang menunjukkan performa struktural terbaik dengan *FoS* tertinggi pada seluruh komponen, sekaligus lebih ekonomis dibandingkan alternatif lainnya.

3. Hasil penelitian dapat menjadi acuan teknis bagi operator atau perusahaan pengguna truck refueller dalam pengadaan maupun modifikasi footstep, khususnya sebagai dasar pertimbangan kekuatan struktural yang melengkapi aspek ergonomi dari penelitian sebelumnya.
4. Validasi eksperimental fisik mengacu pada standar BS EN 14183:2003 perlu dilakukan untuk mengkalibrasi dan mengonfirmasi hasil simulasi FEA, sehingga keandalan metodologi simulasi numerik yang digunakan dapat diperkuat.
5. Penelitian lanjutan disarankan mengembangkan analisis fatigue, analisis dinamis, dan modal analysis untuk mengevaluasi ketahanan struktur terhadap pembebanan siklik dan beban dinamis seperti getaran kendaraan, mengingat penelitian ini hanya mencakup analisis statik.
6. Penelitian serupa dengan konfigurasi multi-komponen disarankan mengadopsi Skenario 2 sebagai metodologi simulasi atau melakukan penelitian lanjutan dengan membandingkan hasil menggunakan salah satu dari dua skenario lainnya.
7. Pengembangan lebih lanjut melalui pemilihan skenario optimal yang dalam penelitian ini dilakukan secara kualitatif terstruktur dapat diformalkan menggunakan Fuzzy AHP-TOPSIS sehingga keputusan dihasilkan dari skor agregat yang terukur.
8. Proses variabel pemilihan material optimal dengan menambahkan massa jenis sebagai kriteria tambahan, serta mengeksplorasi metode multikriteria lain seperti VIKOR atau ELECTRE.
9. Proses pemilihan material dapat dikembangkan dengan memperluas kandidat material berbasis kategori — aluminium paduan (Al 6061-T6, Al 7075-T6), baja karbon (AISI 1020, AISI 1045), baja tahan karat (AISI 304, AISI 316) dan sebagainya, mengingat penelitian ini belum sepenuhnya menggunakan representasi antarkelas material.
10. Eksplorasi material komposit atau paduan ringan dapat dilakukan sebagai alternatif untuk mengoptimalkan rasio kekuatan terhadap massa apabila diperlukan reduksi bobot yang lebih signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., & Santosa, B. (2019). Analisis Kekuatan Konstruksi Graving Dock Gate Menggunakan Metode Elemen Hingga. *KAPAL*, 16(2), 2301–9069. <https://doi.org/10.14710/kapal.v16i2.19157>
- Accio. (2025, September 16). AISI 1020 steel price per kg. Accio.com.
- Akhyar, Tamlicha, A., Farhan, A., Azwinur, Syukran, Fadhilah, T. A., Firsia, T., & Ghazilla, R. A. R. (2022). Evaluation of Welding Distortion and Hardness in the A36 Steel Plate Joints Using Different Cooling Media. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/su14031405>
- Altalmas, T. M., Ahmad, S., Aula, A., Akmeliawati, R., & Sidek, S. N. (2013). Mechanical design and simulation of two-wheeled wheelchair using solidworks. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 53(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/53/1/012042>
- AluminumSheet.net. (2025). Aluminium 6061 T6 Price Per Kg. <https://www.aluminumsheet.net/aluminium-6061-t6-price-per-kg>.
- Alweendo, S. T., Morita, M., Hasegawa, K., & Motoda, S. (2021). Fatigue properties of hot-dip galvanized AISI 1020 normalized steel in tension–compression and tension–tension loading. *Materials*, 14(23). <https://doi.org/10.3390/ma14237480>
- Ananda, D. N., Hanifi, R., & Santosa, A. (2021). Perancangan dan Analisis Tegangan pada Desain Footrest Sepeda Motor Menggunakan Autodesk Inventor. *JURNAL Teknik Mesin*, 14(1), 1–5. <https://doi.org/10.30630/jtm.14.1.479>
- Anh, N. T., Quynh, N. X., & Tung, T. T. (2024). Study on Topology Optimization Design for Additive Manufacturing. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 14(3), 14437–14441. <https://doi.org/10.48084/etasr.7220>
- Ardjuna, B., Setiyana, B., & Haryanto, I. (2024). OPTIMASI DESAIN SWINGARM TIPE MONOSHOCK DUA LENGAN DENGAN SOFTWARE SOLIDWORKS. Dalam *Jurnal Teknik Mesin S-1 (Vol. 12, Nomor 2)*.
- Arhumah, Z., & Pham, X. T. (2024). Microstructure and Thermal Mechanical Behavior of Arc-Welded Aluminum Alloy 6061-T6. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/jmmp8030110>

- Arkan, M. I., & Ulkhaq, M. M. (2025). PENAMBAHAN FOOTSTEP TRUK REFUELLER GUNA MENGHINDARI AWAK MOBIL TANGKI (AMT) DARI FATIGUE DAN KECELAKAAN KERJA. *Industrial Engineering Online Journal*, 4(1), 1–6. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/ieoj/article/view/49002>
- Arum, A., Anjani, R. D., & Ujiburrahman. (2025). Analisis Statik Footrest Sepeda Motor terhadap Variasi Desain dan Kondisi Pembebanan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal of Mechanical and Electrical Teknologi*, 4(2), 68–76. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.70609/metrotech.v4i2.6952>
- Audrey, R. E., Setyarini, P. H., Sugiarto, S., & Sholikin, A. (2025). EXPERIMENTAL STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION RATE OF LOW CARBON STEEL AISI 1020 RESULTING FROM LOW PRESSURE GAS CARBURIZING. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications*, 6(2), 220–235. <https://doi.org/10.21776/mechta.2025.006.02.6>
- Aziz, A. (2025). THE EFFECT OF HOLDING TIME VARIATIONS IN THE AUSTENITIZATION AND SPHEROIDIZING ANNEALING PROCESSES ON THE MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF 304 STAINLESS STEEL THIN FOIL. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(2), 895–900. <https://doi.org/10.21776/jrm.v16i2.2132>
- Bassey, M. O., Ohwokevw, J. U., & Ikpe, A. E. (2024). Thermal analysis of AISI 1020 low carbon steel plate agglutinated by gas tungsten arc welding technique: a computational study of weld dilution using finite element method. *Journal of Engineering and Applied Science*, 71(1). <https://doi.org/10.1186/s44147-024-00375-0>
- (BS EN 14183:2003) Step Stools, Legislation BS EN 14183:2003, British Standard, European Standard 1 (2003).
- Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2010). *Numerical Methods for Engineers*. McGraw-Hill Higher Education.
- Choi, N. C., & Lee, S. H. (2015). Discomfort evaluation of truck ingress/egress motions based on biomechanical analysis. *Sensors (Switzerland)*, 15(6), 13568–13590. <https://doi.org/10.3390/s150613568>
- Dassault Systèmes. (2022). *SOLIDWORKS Simulation help: Mesh quality checks*. https://help.solidworks.com/2022/english/SolidWorks/cworks/c_mesh_quality_checks.htm

- Dewi, M., Alhamidi, A. A., & Fitrullah, M. (2016). Studi mikrostruktur dan sifat mekanik Aluminium 6061 melalui proses canai dingin dan aging. *Jurnal Furnace*, 2. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.62870/jf.v2i1.1686>
- Fahmi, M., & Hafli, T. M. (2019). SIMULASI NUMERIK PERUBAHAN MORFOLOGI PANTAI AKIBAT KONSTRUKSI JETTY PADA MUARA LAMBADA LHOK ACEH BESAR MENGGUNAKAN SOFTWARE DELFT3D. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, 8(2). <https://doi.org/DOI:10.24815/jts.v8i2.13905>
- Fariz, N., Line, F. P. K., Amarta, Z., Hutasoit, N., & Amalia, D. (2023). Analysis Of Stress And Deformation In Parametric Furniture Using The Finite Element Method. *E3S Web of Conferences*, 465. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346502032>
- Fethallah, A., & Deghboudj, S. (2022). A Three-Node Triangular Constant Strain Element for Evaluation of Stress Concentration Factor of a Rectangular Thin Plate under Tension Load. *Revue des Composites et des Materiaux Avances*, 32(5), 229–235. <https://doi.org/10.18280/rcma.320503>
- Hardianto Siahaan, I., Yudha Prawira, G., & Jonoadji, N. (2022). Automatic Footstep Design and The use of LDR Sensors in Vehicles. *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 8(1), 7–13. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.36055/fwl.v0i0.14404>
- Hasan, M. (2016). Analysis of Mechanical Behavior and Microstructural Characteristics Change of ASTM A-36 Steel Applying Various Heat Treatment. *Journal of Material Science & Engineering*, 05(02). <https://doi.org/10.4172/2169-0022.1000227>
- Hibbeler, R. C. (2018). *Mechanics Of Material in SI Units 10th Edition*. Dalam *Science* (Vol. 41, Nomor 1066).
- Hong, T., Ding, F., Chen, F., Zhang, H., Zeng, Q., & Wang, J. (2023). Mechanical Properties of 6061 Aluminum Alloy under Cyclic Tensile Loading. *Crystals*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/cryst13081171>
- Hotma, L., Majid, N. C., Marsalyna, Hendrawan, J., Kinasih, N. A., Febriansyah, D. J., Novariawan, B., Alfin, M. R., Putri, I. S., Afif, M. T., Fadjrin, B. N., & Purnomo, E. D. (2024). MESH CONVERGENCE TEST BY USING FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA) IN SHAFT LOADING OF 2 KW INDUCTION MOTOR. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(3), 1271–1280. <https://doi.org/10.21776/jrm.v15i3.1516>

- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications A State-of-the-Art Survey. Springer Berlin Heidelberg. <https://books.google.co.id/books?id=4Z67QgAACAAJ>
- Hyun, S. H., & Ryew, C. C. (2017). A comparison of ground reaction force components according to the foothold heights in 16-t truck during downward step. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 13(6), 722–727. <https://doi.org/10.12965/jer.1735092.546>
- Juarez, J. C. V., Hernández, R. G., Almaraz, G. M. D., Gómez, E. C., & López, J. J. V. (2020). Effect of pre and post weld heat treatment on the mechanical properties of friction stir welded AA6061-T6 joint. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 17(2), 7882–7889. <https://doi.org/10.15282/ijame.17.2.2020.07.0588>
- Karim, A., Azmy, I., Khoiriah, S. Q., & Bintoro, C. (2022). MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF PACK CARBURIZED AISI 1020 STEEL USING Na_2CO_3 AND CaCO_3 CATALYST. *Journal Renewable Energy & Mechanics (REM)*, 05(02). [https://doi.org/10.25299/rem.2022.vol5\(02\).9965](https://doi.org/10.25299/rem.2022.vol5(02).9965)
- Karohika, I. M. G., Prasetyo, J. T., Parwata, I. M., Antara, I. N. G., & Budiarsa, I. N. (2024). Topology Optimization of Motorbike Footsteps Using Finite Element Method. *Engineering Innovations*, 11, 19–27. <https://doi.org/10.4028/p-8eh-myy>
- Lubis, A., Hadi, K. A., Akmal, J., & Badaruddin, M. (2025). Pemilihan Material Pelat Pemecah Aliran Batubara Berdasarkan Analisis Umur Kelelahan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Polimesin*, 23(2). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30811/jpl.v23i2.5407>
- Mehta, V., Potdar, P., & Joshi, A. (2025). Hybrid AHP-TOPSIS approach for selecting optimal aluminium matrix in casting of metal matrix composites. *OPSEARCH*. <https://doi.org/10.1007/s12597-025-01079-6>
- Midwest Steel. (2025). ASTM A36 Steel Price per Ton: A Comprehensive Guide. <https://midweststeelsupply.org/article/astm-a36-steel-price-per-ton/>.
- Mott, R. L. ., Vavrek, E. M. ., & Wang, Jyhwen. (2018). Machine elements in mechanical design. Pearson.
- Nafa Bangunmas, K., Setya Novanto, H., Rido Utomo, R., Arie Saputra, D., Solikin, M., & Yudianto, A. (2022). Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA) Optimasi struktur footstep belakang sepeda motor menggunakan

- finite element method. Prosiding Semnas SINTA FT Unila, 5. <https://doi.org/https://doi.org/10.23960/prosidingsinta.v5i.101>
- Nur Ain Azrin Abdullah, N., Hanif Baharuddin, M., Umairah Abd Aziz, A., Afikah Zainal Abidin, N., Hong Seng, G., Rafiq Abdul Kadir, M., & Hanif Ramlee, M. (2025). Mesh Convergence Study of Three-Dimensional Femoral Bone and Stem Models: A Finite Element Method. Dalam Journal of Medical Devices Technology (Vol. 4, Nomor 1). <https://doi.org/https://doi.org/10.11113/jmeditec.v4.70>
- Partheniadis, I., Terzi, V., & Nikolakakis, I. (2022). Finite Element Analysis and Modeling in Pharmaceutical Tableting. Dalam Pharmaceutics (Vol. 14, Nomor 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14030673>
- Patnaik, P. K., Swain, P. T. R., Mishra, S. K., Purohit, A., & Biswas, S. (2020). Composite material selection for structural applications based on AHP-MOORA approach. Materials Today: Proceedings, 33, 5659–5663. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.063>
- Potdar, C., Pise, A., Dubey, A., & Jadhav, S. (2016). STATIC FINITE ELEMENT ANALYSIS AND VALIDATION OF N1 TYPE VEHICLE CHASSIS MEMBERS FOR BENDING PERFORMANCE. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, 4, 61–64.
- Prabowo, F. B. H., Ash-Shiddieqy, R. H., Winarto, Husodo, N., Mursid, M., & Saputro, B. A. (2022). Optimation Front Upright Racing Car Using Finite Element Analysis. The Journal of Engineering, 8(1), 2807–5064. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.12962%2Fj23378557.v8i1.a10785>
- Pratama Puja Kusuma, T., Vidia Lestari, P., & Waluyo, R. (2025). Sistem Pendukung Keputusan dengan AHP-TOPSIS untuk Rekomendasi Konsentrasi Program Studi. JUSTIN (Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi), 13(4), 431–438. <https://doi.org/10.26418/justin.v13i4.91424>
- Preedawiphat, P., Mahayotsanun, N., Sa-ngoen, K., Noipitak, M., Tuengsook, P., Sucharitpawatskul, S., & Dohda, K. (2020). Mechanical investigations of astm a36 welded steels with stainless steel cladding. Coatings, 10(9). <https://doi.org/10.3390/coatings10090844>
- Puspitasari, W. D., Fajar Fitriyana, D., Anis, S., Bahatmaka, A., Purna Irawan, A., Siregar, J. P., Cionita, T., & Manalu, J. (2024). Efek Sandblasting terhadap Karakterisasi Pelapisan Coating 95MXC pada Stainless Steel 304

- Menggunakan Metode TWAS (Twin Wire Arc Spray). Dalam Jurnal Rekayasa Mesin (Vol. 19, Nomor 1). <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>
- Rafana Mugandy, H., Amrullah, A., & Mahmud, R. (2025). Innovative Structural Evaluation of a Dual-Function Cane for Elderly Mobility: A Finite Element Analysis Approach Using SolidWorks. *Journal of Mechanical Engineering, Science, and Innovation (JMESI)*, 5(1), 2776–3536. <https://doi.org/10.31284/j.jmesi.2025.v5i1.7649>
- Rahman, A. G., Yohana, E., & Tauviquirrahman, M. (2021). PERANCANGAN DAN ANALISIS TEGANGAN STRUKTUR FLUIDIZED BED DRYER DENGAN TIPE HORIZONTAL FRAME MENGGUNAKAN METODE SIMULASI NUMERIK. Dalam *Jurnal Teknik Mesin S-1* (Vol. 9, Nomor 2).
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation* (First Edition). McGraw-Hill.
- Safriwardy, F., Rizki, M. N., Masrullita, M., & Daniel, M. (2023). Analysis of the influence of temperature and hold time in the solid carburization process on the hardness and microstructure of AISI 1020 and 1045 using Oil Cooling. *International Journal for Educational and Vocational Studies*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.29103/ijevs.v5i1.12486>
- Santana, C., Reyes-Osorio, L., Orona-Hinojos, J., Huerta, L., Rios, A., & Zambrano-Robledo, P. (2024). Numerical Study of Reinforced Aluminum Composites for Steering Knuckles in Last-Mile Electric Vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/wevj15030109>
- Saputro, B. H., & Sukma Drastiawati, N. (2023). PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN PADA PROSES PENGELASAN SMAW UNTUK MATERIAL BAJA ASTM A36 TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, DAN STRUKTUR MIKRO. *Jurnal Teknik Mesin Unesa*, 12(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.26740/jtm.v12n01.p21-28>
- Sharma, V., Zivic, F., Adamovic, D., Ljusic, P., Kotorcevic, N., Slavkovic, V., & Grujovic, N. (2023). Multi-Criteria Decision Making Methods for Selection of Lightweight Material for Railway Vehicles. *Materials*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/ma16010368>
- Sholeh, M., I Gusti Ngurah Bagus, C., Sari, E. N., Wahid, M. A., & Fiveriati, A. (2024). NUMERICAL ANALYSIS OF STATIC STRUCTURE ON THE FLOOR FRAME OF THE MEDIUM BUS. *Jurnal Keselamatan Transportasi Jalan*

- (Indonesian Journal of Road Safety), 11(1), LAYOUTING.
<https://doi.org/10.46447/ktj.v11i1.586>
- SS Alloy Steel. (2025, November 5). Stainless Steel Sheet Price: Complete 2025 Market Analysis and Buyer's Guide. SS Alloy Steel.
- Sulistyo, F. Y., Nugroho, A., & Bakhri, S. (2019). 3D Modelling and Static Structural Analysis of Bottom Reflector Experimental Power Reactor (RDE) using Solidworks Software. *Journal of Physics: Conference Series*, 1198(2).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1198/2/022077>
- Tang, T., Wang, L., Zhu, M., Zhang, H., Dong, J., Yue, W., & Xia, H. (2024). Topology Optimization: A Review for Structural Designs Under Statics Problems. *Dalam Materials* (Vol. 17, Nomor 23). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ma17235970>
- Teguh Prasetyo, J., Made Gatot Karohika, I., & Made Parwata, I. (2024a). Analisis Pengaruh Bahan Terhadap Faktor Keamanan Footstep Sepeda Motor Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Ilmiah TEKNIK DESAIN MEKANIKA*, 13(1), 66–71. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/mekanika/article/view/113634>
- Teguh Prasetyo, J., Made Gatot Karohika, I., & Made Parwata, I. (2024b). Analisis Pengaruh Bahan Terhadap Faktor Keamanan Footstep Sepeda Motor Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Dalam Jurnal Ilmiah TEKNIK DESAIN MEKANIKA* (Vol. 13, Nomor 1).
- Toma Bane Karash, E., & Takey Elias Kassim, M. (2024). The Microstructure and Mechanical Properties of the Aluminum Alloy (AA 6061 T6) under the Effect of Friction Stir Processing. *Dalam Recent Advancements in Aluminum Alloys*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.109590>
- Tong, Z., Shen, C., Fang, J., Ding, M., & Tao, H. (2024). Research on the Application of Structural Topology Optimisation in the High-Precision Design of a Press Machine Frame. *Processes*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/pr12010226>
- Trebor Manufacturing. (n.d.). (t.t.). TRNL7 Aluminum Truck Frame Foot Step. .
<https://www.trebormanufacturing.com/products/truck-steps-and-ladders/truck-frame-foot-step/trnl7/>.
- Trisanto, D. A., Mulyadi, S., Kustanto, Muh. N., Triono, A., & Hardiatama, I. (2023). Analisis optimasi topologi desain support bracket pada steering main

- shaft mobil TITEN EV-2. Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 12(1).
<https://doi.org/10.24127/trb.v12i1.2388>
- Trovato, M., Perquiti, F., & Cicconi, P. (2023). Topological Optimization for the Redesigning of Components in Additive Manufacturing: The Case Study of the Connecting Rod †. Engineering Proceedings, 56(1).
<https://doi.org/10.3390/ASEC2023-16638>
- Venriza, O., & Al Fayyadh, M. D. (2022). Studi Utilitas Refueller terhadap Kualitas Avtur dalam Operasi Penyaluran di Depot Penyaluran Pesawat Udara (DPPU) XYZ PT ABC. JIIP (Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan), 5(8).
<https://doi.org/https://doi.org/10.54371/jiip.v5i8.827>
- Venriza, O., Sari, A. L., & Pratama, I. L. (2022). EFFECT PENGGUNAAN REFUELLER TERHADAP KUALITAS PADA PENJUALAN AVTUR DENGAN SIMULASI PRO-MODEL DI DPPU ADISUTJIPTO. Jurnal Ekonomi Efektif, 5(1).
<https://doi.org/10.32493/JEE.v5i1.23953>
- Wang, K., Wang, Z., Deng, J., Feng, Y., & Li, Q. (2022). Study on the Evaluation of Emergency Management Capacity of Resilient Communities by the AHP-TOPSIS Method. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(23). <https://doi.org/10.3390/ijerph192316201>
- Yani, A., Muslim, K., & Khamid, N. (2025). ANALISIS KOROSI BAJA ASTM A 36 PENGARUH ASAM SULFAT DENGAN VARIASI WAKTU PERENDAMAN DI LINGKUNGAN LAUT. Jurnal Teknik Sipil Pertahanan, 12.
<https://doi.org/10.63824/jptsp.v12i1.262>
- Yudo, H., Setiawan, A., Mursid, O., & Iqbal, M. (2022). Torsional strength analysis of universal joint's ZP-11A due to yokes modification and materials. Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology, 13(2), 179–188.
<https://doi.org/10.14203/j.mev.2022.v13.179-188>
- Yusup, E. M., Azahari, H., Saiful, S., Mansor, F., Mat, M. N. H., & Jabbar, B. A. (2024). A Mesh Convergence Study for 2D Axisymmetric Pipe Wall Thickness. Journal of Advanced Research in Micro and Nano Engineering, 23(1), 77–90.
<https://doi.org/10.37934/armne.23.1.7790>