



Studi Numerik Pengaruh Variasi Pembebanan Troli Pengangkut Barang di Laboratorium Manufaktur ITNY Terhadap Analisis Struktur Menggunakan Metode Elemen Hingga

Angger Bagus Prasetyo^{1,*}, Kartinasari Ayuhikmatin Sekarjati², Iman Pradana A. Assagaf³,
Ikbal Rizky Putra⁴

¹Jurusan Teknik Mesin S-1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta,
Jl. Babarsari Caturtunggal Depok Sleman Yogyakarta, 55281

²Jurusan Taknologi Industri, Program Pendidikan Vokasi, Institut Sains & Teknologi AKPRIND
Yogyakarta, Jl. Kalisahak No 28, Klitren, Gondokusuman Yogyakarta , 55222

³Jurusan Teknik Manufaktur Industri Agro, Politeknik ATI Makassar, Jl. Sunu No 220, Kec. Tallo
Kota Makassar, 90221

⁴Jurusan Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan, Jl. Parangtritis Sewon,
Bantul Yogyakarta, 55187

*E-mail koresponden
anggerbprasetyo@gmail.com

Diterima: 01 12 2022

Direvisi: 09 12 2022

Disetujui: 25 01 2023

ABSTRAK

Aktivitas pemindahan barang secara manual sering kita jumpai diberbagai tempat kerja. Pada penggunaan troli barang ini, banyak karyawan yang mengalami keluhan seperti sakit punggung, keseleo pada punggung bagian bawah, bahu dan tungkai sehingga mengakibatkan cedera dan kehilangan produktivitas. Penelitian ini bertujuan merancang ulang rangka troli pengangkut barang Laboratorium Manufaktur ITNY menggunakan material aluminium 6061 guna meminimalisir permasalahan dalam hal perawatan dan pengecatan ulang yang dilakukan secara teratur dan berkala. Metode yang digunakan adalah finite element method, dengan variasi pembebanan 10000N, 20000N, 30000N, 40000N, 50000N, 60000N, 70000N, 80000N dan 90000N. Hasil simulasi troli menunjukkan bahwa terjadi kenaikan nilai von mises stress maximum terjadi pada pembebanan 50000N ke 60000N sebesar 81,43 MPa. Kenaikan deformasi yang paling signifikan terjadi pada pembebanan 50000N ke 60000N sebesar 2,8527mm. Penurunan nilai angka keamanan yang paling signifikan terjadi pada simulasi pembebanan dari 10000N ke 20000N sebesar 3,806. Desain troli yang diusulkan dengan material bahan aluminium 6061 dapat menahan beban hingga 30000N.

Kata kunci: Troli, Aluminium 6061, Finite Element Method.

ABSTRACT

In many workplaces, we frequently see people manually transporting products. Many workers who use this trolley complain about back pain, lower back sprains, shoulders, and leg injuries, which leads to accidents and lost productivity. The goal of this study is to redesign the aluminum 6061 material frame of the ITNY Manufacturing Laboratory goods transport trolley in order to reduce issues with the regular and periodic maintenance and repainting. The loading ranges are 10000N, 20000N, 30000N, 40000N, 50000N, 60000N, 70000N, 80000N, and 90000N. The approach is the finite element method. According to the trolley simulation findings, the maximum von Mises stress value increases from 81.43 MPa at 50000N to 60000N loading. The largest increase in deformation occurred at a loading difference of 2.8527mm between 50000N and 60000N. The loading simulation from 10000N to 20000N, which had a safety factor value of 3.806, saw the biggest drop. The trolley's proposed design, made of 6061 aluminum, is capable of withstanding loads up to 30000 N.

Keywords: Trolley, Aluminum 6061, Finite Element Method.

PENDAHULUAN

Aktivitas pemindahan barang secara manual sering kita jumpai diberbagai tempat kerja. Biaya yang harus dikeluarkan untuk material handling sekitar 20-25% dari total tenaga kerja dari proses memiliki porsi yang signifikan dari total biaya produksi [1]. Menurut *Occupational Safety and Helath Administration* (OSHA) pemindahan barang secara manual disebut *Manual Material Handling* [2]. *Material handling* diartikan sebagai ilmu seni yang meliputi suatu aktivitas yang meliputi mengangkat, mendorong, memutar, membawa dan menahan [2]. Menurut *Occupational Helath and Safety Commisions* (OHSC) batas normal pengangkutan yang diizinkan tanpa alat bantu sebesar 34-40 kg, apabila melebihi batas angkat yang diizinkan maka harus menggunakan alat bantu [3]. Untuk mengurangi efek kelelahan, cedera yang ditimbulkan [4], dan agar pengangkutan secara efektif dan efisien, dibutuhkan alat bantu pekerja dalam mengangkat, mendorong, menarik dan memindahkan barang dari tempat ke tempat lain [5] seperti troli. Berbagai jenis troli yang beredar dikalangan industri sesuai dengan kegunaannya masing-masing, seperti *platform hand trolley*, *tilting forklift trolley*, *folding trolley*, *canvas wheel barrow trolley*, *gas cylinder trolley*, *platform hand trolley*, *single wheeled wheelbarrow trolley* and *sck trolley*. Pada penelitian ini jenis troli yang digunakan adalah *platform hand trolley*. Troli ini berfungsi membawa beban dipermukaan bidang datar [6] dan tidak dapat digunakan untuk bergerak di tangga.

Pada penggunaan troli barang ini, banyak karyawan yang mengalami keluhan seperti sakit punggung, keseleo pada punggung bagian bawah, bahu dan tungkai sehingga mengakibatkan cedera dan kehilangan produktivitas [5] karena harus mengarahkan troli barang dan tidak ada pegangan untuk mendorong troli . Jika permasalahan tersebut tidak segera diatasi maka akan berdampak bagi keselamatan para pekerja, laboran, dan mobilisasi. Saat ini, rangka troli di Laboratorium Manufaktur ITNY masih menggunakan material *mild steel*. Material *mild steel* memiliki masa jenis yang mencapai $7,85 \text{ g/m}^3$ sedangkan material aluminium 6061 memiliki masa jenis sebesar $2,66 \text{ g/m}^3$ membuat kontruksi menjadi berat secara keseluruhan [7]. Hal ini juga perlu diperhitungkan mengingat kapasitas angkat troli barang juga dipengaruhi berat dari kontruksi itu sendiri. Pemilihan material yang lebih ringan tentunya perlu dilakukan agar mobilisasi lebih efektif.

Sebelum tahap proses manufaktur, pemilihan material menjadi bagian terpenting dari proses manufaktur. Desain mesin dengan menggunakan perkembangan teknologi modern dapat mengurangi biaya yang signifikan [8]. Optimasi desain sangat diperlukan untuk meminimalisir kesalahan dalam proses manufaktur, dan meningkatkan masa pakai, sehingga mengurangi waktu idle [9]. Metode *Fenite Element Analysis* (FEA) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menganalisis tegangan dan parameter lainnya [10]. *Fenite Element Analysis* (FEA) memiliki kelebihan diantaranya untuk mengoptimalkan desain, melakukan perhitungan secara teoritis, memprediksi kekuatan sebuah material [11], [12] dan meverifikasi gaya pembebanan dengan analisis regresi [13]. Pemilihan material bertujuan untuk mencari material yang mempunyai sifat dengan persyaratan yang dibutuhkan dalam proses desain [14]. Material aluminium 6061 dipilih untuk pembuatan rangka troli dengan kapasitas maksimalnya 0.5 ton. Keunggulan material ini memiliki kekuatan luluh yang tinggi, masa jenisnya ringan, tahan korosi dan sering digunakan dalam bidang kontruksi [7], [15].

Penelitian ini bertujuan merancang ulang rangka troli pengangkut barang Laboratorium Manufaktur ITNY menggunakan material aluminium 6061 guna meminimalisir permasalahan dalam hal perawatan dan pengecatan ulang yang dilakukan secara teratur dan berkala. Selain itu, dengan menggunakan material dapat diaplikasikan dalam bidang kontruksi yang membutuhkan kekuatan tinggi misalnya pada jembatan [16].

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, troli yang diusulkan menerapkan ergonomi desain dalam proses pembuatannya, hal ini dilakukan untuk mengedepankan aspek kenyamanan, keselamatan, flesibilitas, dan kemudahan pengguna troli dalam melakukan mobilisasi dalam bekerja, khususnya dalam hal mendorong dan menarik. Desain troli ini, dilengkapi sistem pengatur pegangan agar pengguna secara leluasa bebas mengatur dan beradaptasi dengan ukuran tubuhnya masing-masing seperti yang terlihat pada Gambar 1 (a). Pada penelitian sebelumnya, konfigurasi

pegangan misalnya ketinggian pegangan mempengaruhi efisiensi kekuatan mendorong seseorang dan mengurangi intensitas aktivitas otot dalam melakukan tugas [17], [18], Tahapan awal yakni pembuatan desain troli menggunakan *software CAD* dan disimpan dalam bentuk format **iges*, supaya memudahkan *software ANSYS* membaca desainnya [19].

Fenite Element Analysis (FEA)

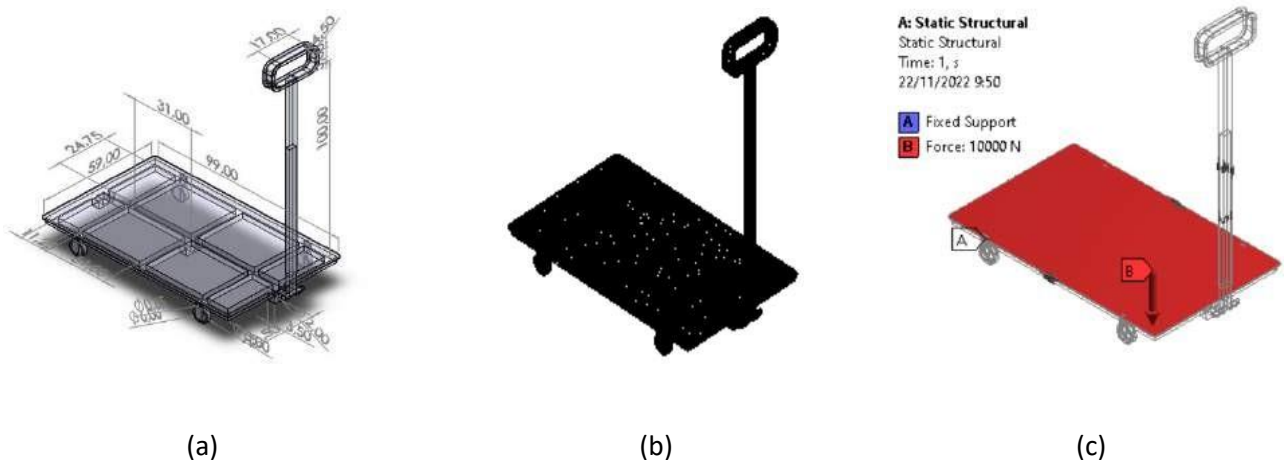
Pada saat ini, berbagai fenomena dalam dunia science dan engineering dapat dideskripsikan dengan formualasi persamaan diferensial menggunakan kontinuum mekanik [20]. Penyelesaian persamaan diferensial parsial, umumnya sulit diperoleh solusi analitisnya, hal ini disebabkan oleh kompleksitas sifat material, kondisi batas, dan juga bentuk struktur itu sendiri [21]. Solusi yang mungkin untuk permasalahan yang demikian adalah dengan menggunakan analisa numerik menggunakan metode elemen hingga. Metode elemen hingga menerjemahkan pemasalahan persamaan diferensial parsial menjadi persamaan aljabar linier dengan mengadopsi metode numerik untuk mendapatkan solusi pendekatan [22] Ada beberapa permasalahan yang dapat diselesaikan oleh metode elemen hingga diantaranya adalah permasalahan phisis.

Bahan mata pisau penyanggulma yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan material structure steel yang memiliki sifat properti pada Tabel 1. Material aluminium 6061 dipilih karena meminimalisir permasalahan dalam hal perawatan dan pengecetan ulang yang dilakukan secara teratur dan berkala. Data pada tabel tersebut akan di dimasukkan kedalam *software ANSYS Workbench* untuk dilakukan analisis.

Tabel 1. Sifat mekanik troli

| No. | Sifat | Nilai |
|-----|---------------------------------|------------------------|
| 1 | <i>Young's Modulus</i> | 2×10^5 Mpa |
| 2 | <i>Poisson's Ratio</i> | 0.31 |
| 3 | <i>Density</i> | 7750 kg/mm^3 |
| 4 | <i>Tensile Yield Strength</i> | 320 Mpa |
| 5 | <i>Tensile Ultimate Stenqth</i> | 400 Mpa |

Pemodelan menggunakan *Fenite Element Analysis (FEA)* dipengaruhi oleh pembagian domain atau meshing [23]. *Mesh* merupakan salah satu proses yang memiliki kerumitan yang kompleks dalam sebuah simulasi [24]. Hasil mesh akan berpengaruh terhadap konvergensi simulasi [25]. Kesalahan dalam pembuatan *meshing* akan berakibat fatal yakni bisa terjadi eror dan gagal simulasi [26], apabila terjadi maka harus mengulang pembuatan mesh. Semakin kecil *mesh*-nya maka akan mendapatkan hasil yang lebih akurat, namun akan berdampak terhadap proses simulasinya semakin lama [27]. Pada penelitian ini menggunakan *tetrahedral mesh*. Penggunaan *tetrahedral mesh* karena lebih baik untuk simulasi distribusi tegangan [19], dan banyak digunakan simulasi CFD pada geometri yang tidak beraturan [28] seperti yang terlihat pada Gambar 1 (b), (c).

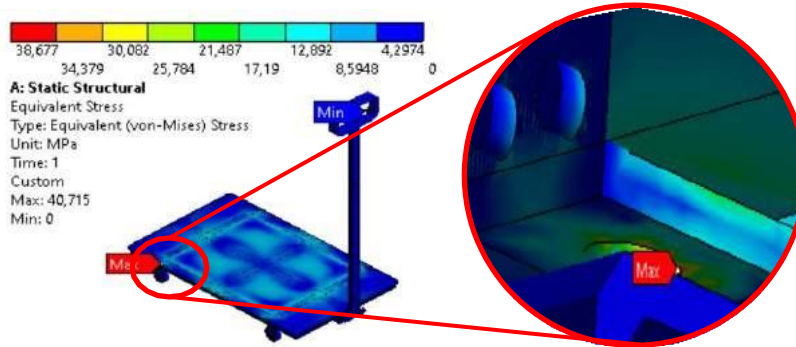


Gambar 1. Pemodelan troli, (a) esain troli tangan ergonomi (b) *mesh tetrahedral*, (c) *initial condition*

HASIL DAN PEMBAHASAN

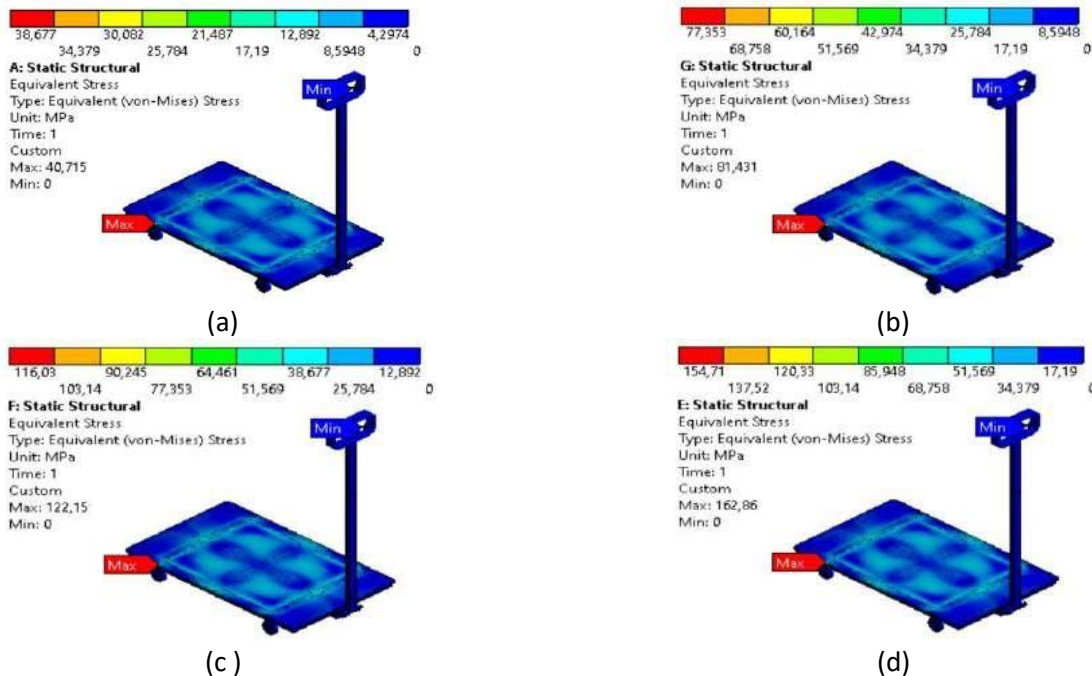
Von Mises Stress

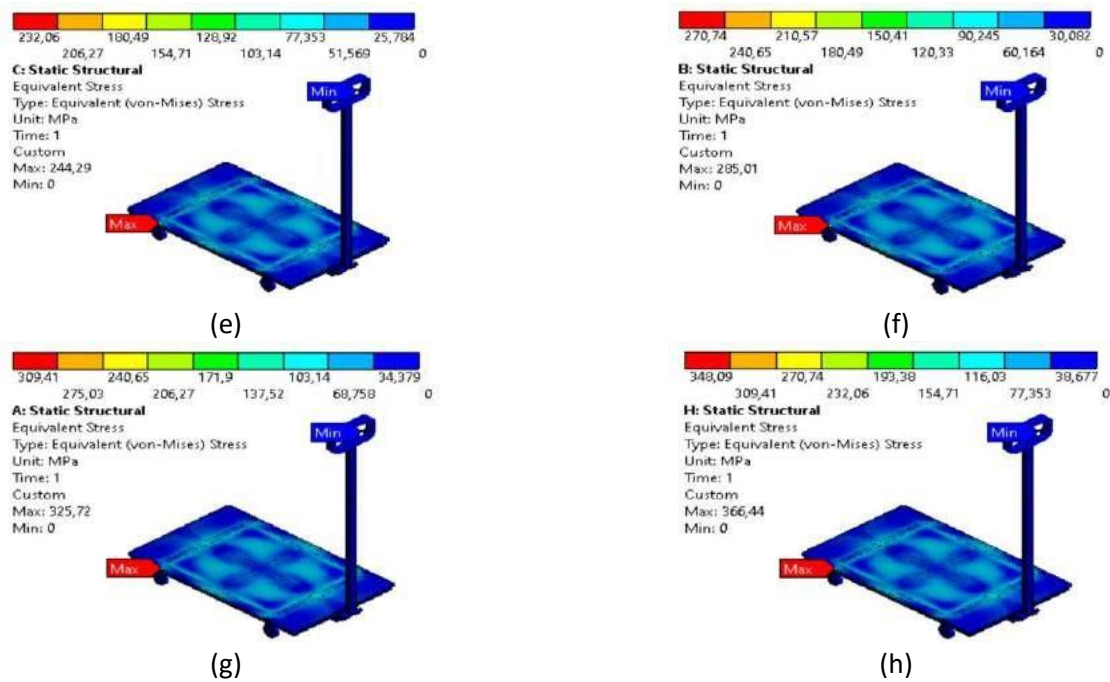
Von mises stress merupakan penentu sebuah material itu aman atau tidaknya ketika digunakan, atau bahkan terjadi kegagalan saat proses penggunaannya [29]. *Von mises* bisa gagal apabila nilai tegangan *von mises*-nya lebih tinggi dari kekuatan materialnya [30]. Proses analisis dari software ANSYS Workbench variasi beban 10000N, 20000N, 30000N, 40000N, 50000N, 60000N, 70000N, 80000N dan 90000N dimaksudkan untuk mengetahui distribusi *von mises stress* pada saat dioperasikan. Hasil simulasi pemodelan troli menunjukkan tidak terjadi perubahan distribusi kontur pada bagian papan troli, kemudian nilai *maximum* nya teretak pada bagian kaki troli sebagaimana yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbesaran nilai von mises stress maximum pada masing-masing variasi pembebanan

Hasil analisis simulasi pemodelan troli terlihat pada Gambar 3. Nilai *von mises stress maximum* pada simulasi pemodelan troli dengan variasi 10000N, 20000N, 30000N, 40000N, 50000N, 60000N, 70000N, 80000N dan 90000N secara berturut-turut sekitar 40,715 MPa; 81,431 MPa; 122,15 MPa, 162,86 MPa, 244,29 MPa, 285,01 MPa, 325,72 MPa, dan 366,44 MPa. Kenaikan nilai *von mises stress maximum* terjadi pada pembebanan 50000N ke 60000N sebesar 81,43 MPa. Nilai *von mises stress maximum* akan terus meningkat seiring dengan naiknya pembebanan yang diberikan, hal tersebut dikarenakan penentuan tegangan akan berbanding lurus dengan besaran gaya yang diterima oleh suatu benda [30].

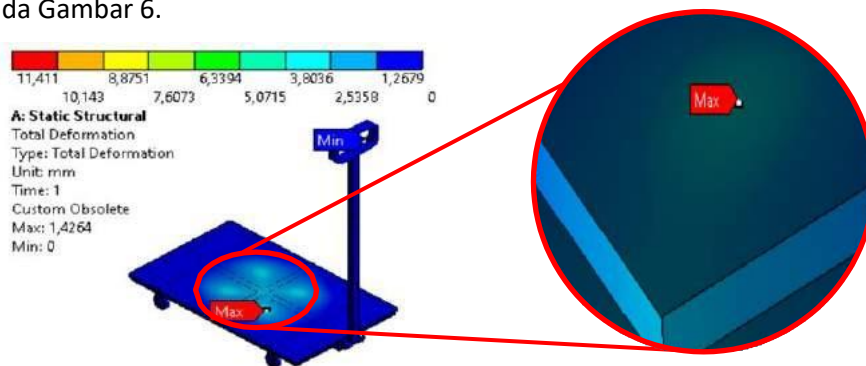




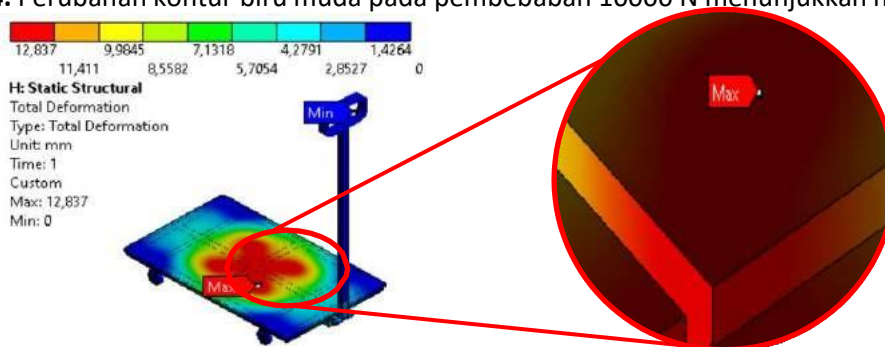
Gambar 3. Von mises stress pemodelan troli pada beban (a) 10000N, (b) 20000N, (c) 30000N, (d) 40000N, (d) 50000N, (e) 60000N, (f) 70000N, (g) 90000N

Deformasi

Hasil simulasi pemodelan troli menggunakan ANSYS menunjukkan terjadi perubahan kontur berwarna biru muda bagian tengah papan troli pada pembebanan 10000N, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Kemudian pada pembebanan 20000N, 30000N, 40000N, 50000N, 60000N, 70000N, 80000N dan 90000N kontur pada bagian tengah papan troli berwarna merah, seperti yang terlihat pada Gambar 5, kontur berwarna merah artinya pada daerah tersebut mengalami deformasi yang paling tinggi. Secara keseluruhan perubahan kontur papan troli ditunjukkan pada Gambar 6.

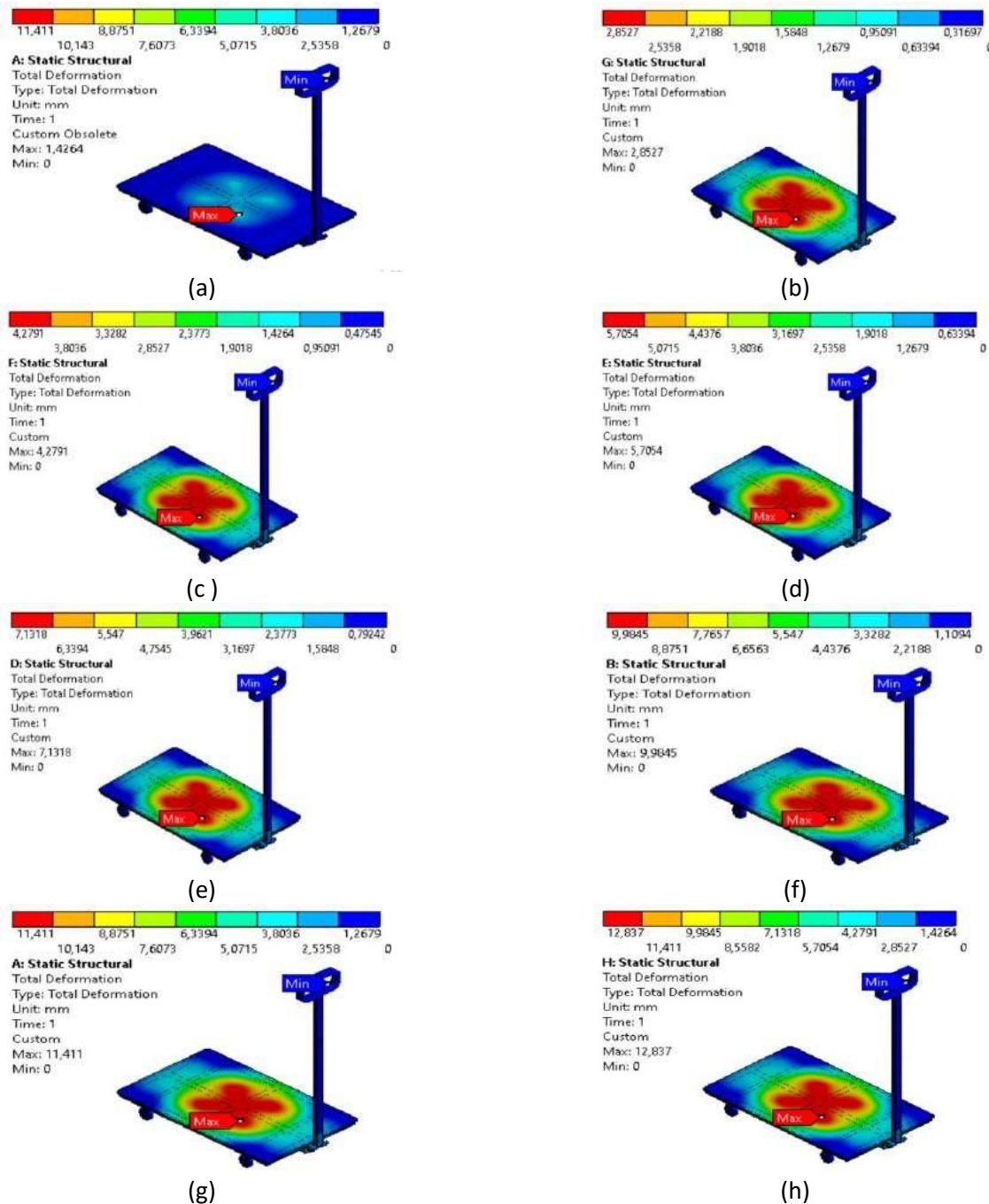


Gambar 4. Perubahan kontur biru muda pada pembebanan 10000 N menunjukkan nilai deformasi yang tinggi



Gambar 5. Perubahan kontur merah pada pembebanan 20000N, 30000N, 40000N, 50000N, 60000N, 70000N, 80000N dan 90000N menunjukkan nilai deformasi yang tinggi

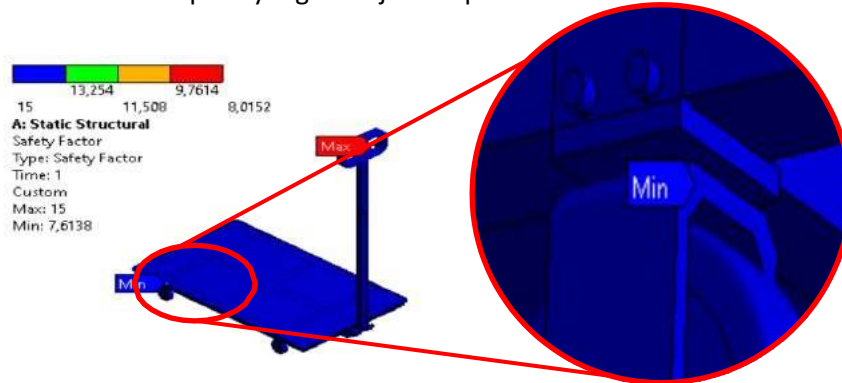
Indikator yang sangat penting untuk menentukan sebuah material itu kuat dan tidaknya menahan beban dapat dilihat pada nilai deformasi. Pada penelitian sebelumnya menyatakan bahwa nilai deformasi semakin kecil, maka kekuatan dari suatu material tersebut semakin besar [31]. Deformasi bisa terjadi apabila sebuah benda diberikan gaya atau sebuah beban [31]. Hasil simulasi pemodelan troli terlihat pada Gambar 6. Secara umum, Nilai deformasi maximum pada simulasi torli dengan variasi pembebanan 10000N, 20000N, 30000N, 40000N, 50000N, 60000N, 70000N, 80000N dan 90000N secara berturut-turut sebesar 1,4264 mm, 2,8527mm, 4,2791mm, 5,7054mm, 7,1318mm, 9,9845mm, 11,411 mm dan 12,837mm. Kenaikan deformasi yang paling signifikan terjadi pada pembebanan 50000N ke 60000N sebesar 2,8527mm. Hal tersebut membuktikan bahwa semakin kecil deformasinya, maka semakin kuat material tersebut [31]. Hasil simulasi menunjukkan bahwa, ketika komponen diberi beban yang tinggi, tidak menimbulkan deformasi yang besar. Apabila komponen tidak dapat menahan beban yang diberikan maka komponen tersebut akan rusak [32].



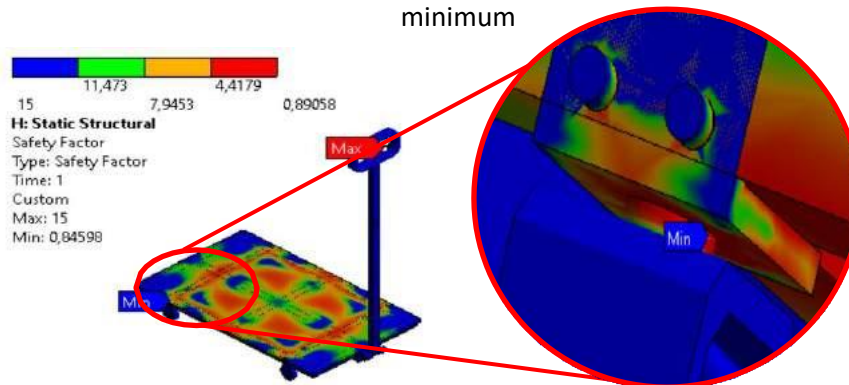
Gambar 6. Total deformasi pemodelan troli pada beban (a) 10000N, (b) 20000N, (c) 30000N, (d) 40000N, (d) 50000N, (e) 60000N, (f) 70000N, (g) 90000N

Safety Factor

Hasil simulasi pemodelan menggunakan ANSYS menunjukkan bagian papan troli berwarna biru pada pembebanan 10000N hingga 20000N, artinya dengan pembebanan yang diberikan troli nilai angka keamanan aman sebagaimana yang terlihat pada Gambar 7. Kemudian pada pembebanan 30000N hingga 90000N terjadi perubahan kontur warna mulanya berwarna biru kehijauan menjadi warna kemerahan, artinya daerah tersebut menunjukkan bagian kritis yang akan mengalami kerusakan jika diberi beban yang melebihi kekuatan yang dimiliki oleh troli tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

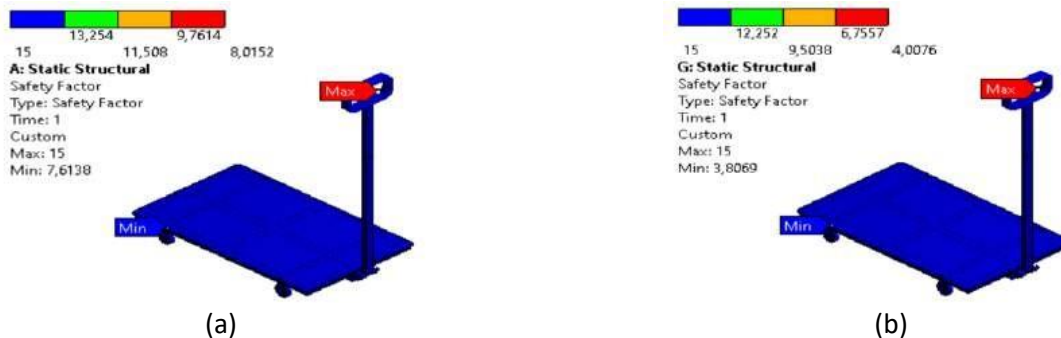


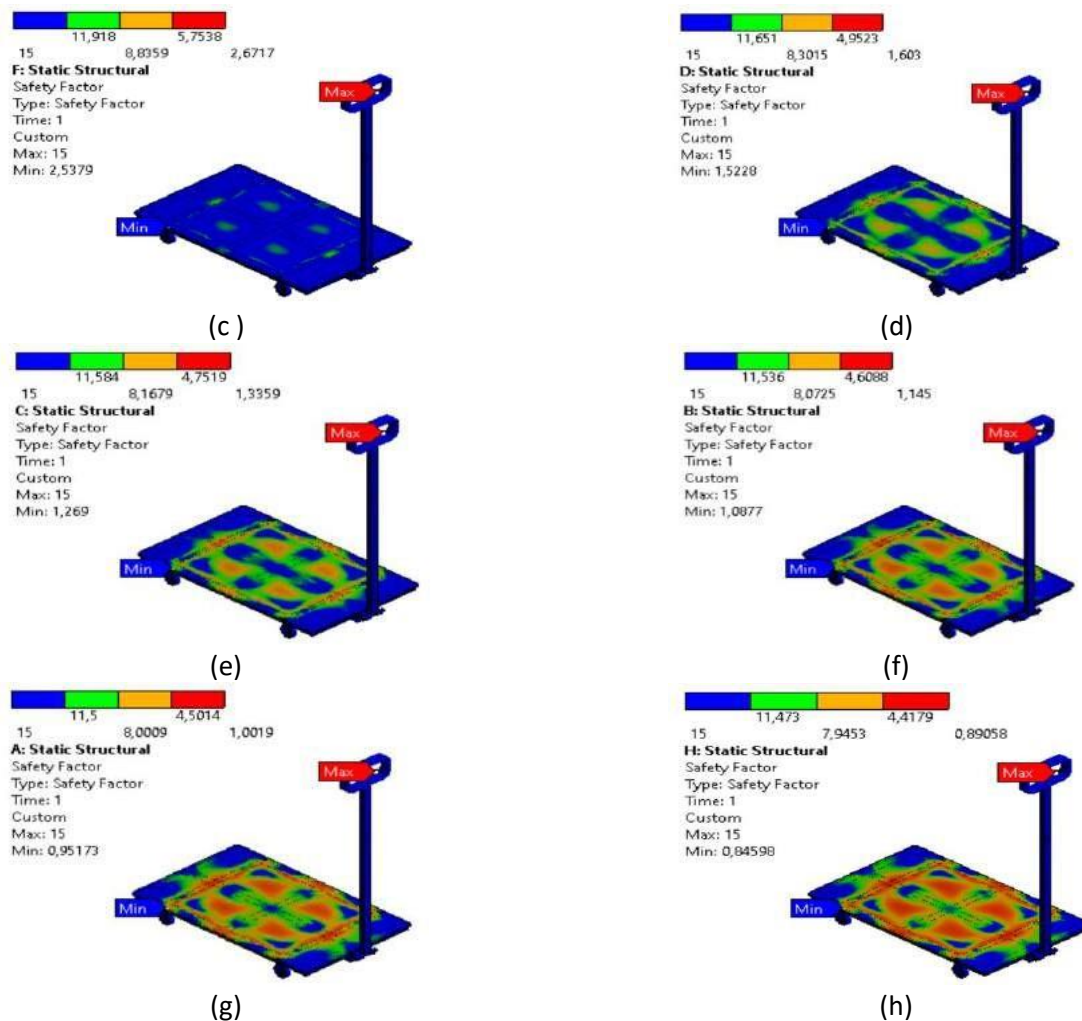
Gambar 7. Perubahan kontur biru muda pada pembebanan 10000 N menunjukkan nilai angka keamanan minimum



Gambar 8. Perubahan kontur merah pada pembebanan 20000N, 30000N, 40000N, 50000N, 60000N, 70000N, 80000N dan 90000N menunjukkan nilai angka keamanan

Menurut penelitian sebelumnya, Indikator sebuah desain itu aman digunakan yakni adalah nilai minimum dari *safety factor*-nya [9]. Nilai *safety factor* dapat diketahui dengan cara melakukan pengujian tegangan pada pemodelan suatu objek [33]. Hasil simulasi pemodelan troli menunjukkan nilai angka keamanan pada pembebanan 10000N hingga 90000N secara berturut-turut sebesar 7,6138, 3,8089, 2,5379, 1,5228, 1,289, 1,8077, 0,95173 dan 0,84598 artinya nilai keamanan troli mengalami penurunan seiring dengan naiknya pembebanan yang diberikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Penurunan angka keamanan yang paling signifikan terjadi pada pembebanan dari 10000N ke 20000N sebesar 3,806, sedangkan pembebanan 30000N hingga 90000N, nilai keamanannya dibawah dari angka keamanan yang dipersyaratkan sebuah desain sebesar 2-3 [34], artinya troli berbahan aluminium 6061 hanya dapat menahan beban hingga 30000N.





Gambar 9. Safety factor pemodelan troli pada beban (a) 10000N, (b) 20000N, (c) 30000N, (d) 40000N, (d) 50000N, (e) 60000N, (f) 70000N, (g) 90000N

KESIMPULAN

Berdasarkan data simulasi pemodelan troli menggunakan metode *Finite Element Analysis* dengan bantuan perangkat lunak ANSYS dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai von mises stress maximum pada simulasi pemodelan troli dengan variasi 10000N, 20000N, 30000N, 40000N, 50000N, 60000N, 70000N, 80000N dan 90000N secara berturut-turut sekitar 40,715 MPa; 81,431 MPa; 122, 15 MPa, 162, 86 Mpa, 244,29 MPa, 285,01 MPa, 325, 72 MPa, dan 366,44 MPa. Kenaikan nilai von mises stress maximum terjadi pada pembebanan 50000N ke 60000N sebesar 81,43 MPa.
2. Nilai deformasi maximum pada simulasi torli dengan variasi pembebanan 10000N, 20000N, 30000N, 40000N, 50000N, 60000N, 70000N, 80000N dan 90000N secara berturut-turut sebesar 1,4264 mm, 2,8527mm, 4,2791mm, 5,7054mm, 7,1318mm, 9,9845mm, 11,411 mm dan 12,837mm. Kenaikan deformasi yang paling signifikan terjadi pada pembebanan 50000N ke 60000N sebesar 2,8527mm.
3. Nilai angka keamanan pada pembebanan 10000N hingga 90000N secara berturut-turut sebesar 7,6138, 3,8089, 2,5379, 1,5228, 1,289, 1,8077, 0,95173 dan 0,84598. Penurunan angka keamanan yang paling signifikan terjadi pada pembebanan dari 10000N ke 20000N sebesar 3,806.
4. Simulasi desain troli dengan variasi pembebanan yang diusulkan, menyatakan bahwa troli dengan material aluminium 6061 dapat menahan beban hingga 30000N dengan nilai angka keamanan 2,5379.

UCAPAN TERIMA KASIH (Jika ada)

Kami sampaikan terimakasih kepada semua pihak yang sudah membantu dalam menyusun artikel ini, sehingga artikel ini dapat diselesaikan dengan baik. Tidak lupa saya ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pimpinan Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Deshpande, A. A. Karekar, T. Patil, S. Shahapurkar, and P. Hubalikar, "Design and Fabrication of Efficient Material Transport Equipment," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 6, pp. 2075–2081, 2017, [Online]. Available: <https://irjet.net/archives/V4/i6/IRJET-V4I6394.pdf>.
- [2] M. Apple, James, *Material Handling System Design*. New York: Jhon Willey & Sons, Inc., 1976.
- [3] B. P. Bernard, *Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors : A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back Edited*, vol. 39, no. 8. DHHS (NIOSH), 1977.
- [4] M. J. J. Gumasing, A. C. Villapando, and K. C. Pernia, "An ergonomic design of wheelchair bed transfer for post stroke patients," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, no. June, pp. 275–279, 2019, doi: 10.1145/3335550.3339900.
- [5] Q. M. Esteban, J. M. Villareal, K. Yoo, E. S. S. Magon, and M. J. J. Gumasing, "An ergonomic design of six-wheeled trolley for transportation of a 100-kg weight load," *Proc. Int. Conf. Ind. Eng. Oper. Manag.*, vol. 5, no. August, pp. 87–93, 2020.
- [6] S. D. ; Z. S. R. Shiwarakar, S. S. ; Pairag, "Design and Fabrication of Easy Handling Trolley," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 05, no. 05, pp. 1690–1694, 2018, [Online]. Available: <https://www.irjet.net/archives/V5/i5/IRJET-V5I5321.pdf>.
- [7] C. Koulochieris, D. and Vossou, "Tanks Transporting Flammable Liquids," *J. Comput. Sci. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 1–22, 2020, doi: <http://dx.doi.org/10.3390/computation8020033>.
- [8] A. B. Prasetyo, K. A. Sekarjati, and S. Haryo, "Design And Analysis of The Effect of Variation Of compression Force on Allen Key Using Finite Element Analysis Method," *SJME Kinemat.*, vol. 7, no. 1, pp. 39–52, 2022, doi: 10.20527/sjmekinematika.v7i.
- [9] A. B. Prasetyo, K. A. Sekarjati, and I. P. A. Assagaf, Sutrisna, "Analisis Frekuensi Natural Velg Ring 16 Menggunakan Finite Element Method," in *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVII Tahun 2022 (ReTII)*, 2022, vol. 2022, no. November 2021, pp. 354–359.
- [10] S. Lu, H. Jin, M. He, and Z. Xu, "Analysis system of power tiller's general machine components based on VB and ANSYS," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1237, no. 4, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1237/4/042054.
- [11] Q. Lai, Q. Yu, and J. Dong, "Dynamic analysis of rotary tiller gearbox based on EDEM, ADAMS and ANSYS," *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 36, no. 2, pp. 1153–1160, 2019, doi: 10.3233/JIFS-169889.
- [12] A. Kešner, R. Chotěborský, M. Linda, M. Hromasová, E. Katinas, and H. Sutanto, "Stress distribution on a soil tillage machine frame segment with a chisel shank simulated using discrete element and finite element methods and validate by experiment," *Biosyst. Eng.*, vol. 209, pp. 125–138, 2021, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2021.06.012.
- [13] H. Azimi-Nejadian, S. H. Karparvarfard, M. Naderi-Boldaji, and H. Rahmanian-Koushkaki, "Combined finite element and statistical models for predicting force components on a cylindrical mouldboard plough," *Biosyst. Eng.*, vol. 186, pp. 168–181, 2019, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2019.07.007.
- [14] A. B. Prasetyo and K. A. Sekarjati, "Analisis Struktur Desain Pisau Pengupas Tempurung Kelapa," in *Seminar Nasional Riset & Inovasi Teknologi*, 2022, pp. 417–423.
- [15] A. Suresh *et al.*, "An advanced spider-like rocker-bogie suspension system for mars exploration rovers," *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 447, no. March 2018, pp. 423–447, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-31293-4_34.
- [16] S. S. T. K, S. A. Menon, and A. V. Vidyapeetham, "Comparative Study of TRUSS Bridges under Static Conditions," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 12, pp. 0–6, 2018, doi: 10.13140/RG.2.2.27552.53764.
- [17] A. Y. Chow and C. R. Dickerson, "Determinants and magnitudes of manual force strengths and joint moments during two-handed standing maximal horizontal pushing and pulling," *Ergonomics*, vol. 59, no. 4, pp. 534–544, 2016, doi: 10.1080/00140139.2015.1075605.
- [18] B. Wollesen *et al.*, "Development and Testing of an Ergonomic Handle and Wheel Design for Industrial Transport Carts," *Env. Heal. Saf.*, vol. 1, no. 2, p. 9, 2017, [Online]. Available: www.imedpub.com.
- [19] A. B. Prasetyo, F. Fauzun, A. A. Azmi, and R. I. Yaqin, "Studi Numerik Kontur Pola Aliran Fluida Pendinginan Pada Mold Injeksi Molding," *Infotekmesin*, vol. 12, no. 1, pp. 104–109, 2021, doi: 10.35970/infotekmesin.v12i1.493.
- [20] A. B. Prasetyo *et al.*, "Finite Element Analysis (FEA) of blade weed design using Ansys workbench," *Sinergi*, vol. 26, no. 3, p. 371, 2022, doi: 10.22441/sinergi.2022.3.012.
- [21] A. B. Prasetyo and K. A. Sekarjati, "Desain dan Analisis Frekuensi Natural Rangka Mesin Penyang Gulma Menggunakan Metode Finite Element Analysis Design and Analysis of Natural Frequency Weed Weeding Machine

- Frames Using the Finite Element Analysis Method," *J. Ris. Sains dan Teknol.*, vol. 6, no. 2, pp. 181–187, 2022, doi: 10.30595/jrst.v6i2.14428.
- [22] S. Y. Tadeuz Stolarski, Y. Nakasone, *Engineering Analysis with ANSYS Software*, 1th ed. London: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2006.
- [23] M. M. Doustdar and H. Kazemi, "Effects of fixed and dynamic mesh methods on simulation of stepped planing craft," *J. Ocean Eng. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 33–48, 2019, doi: 10.1016/j.joes.2018.12.005.
- [24] A. B. Prasetyo, F. Fauzun, A. A. Azmi, and S. H. Yaqin, Rizqi Ilmal, Pranoto, "ANALISIS KESERAGAMAN PENDINGINAN PRODUK PLASTIK INJEKSI MOLDING DENGAN VARIASI SISTEM PENDINGIN," *J. Penelit. Saintek*, vol. 25, no. 2, pp. 173–183, 2020, doi: 10.21831/jps.v25i2.34574.
- [25] M. Sosnowski, J. Krzywanski, and R. Scurek, "A fuzzy logic approach for the reduction of mesh-induced error in CFD analysis: A case study of an impinging jet," *Entropy*, vol. 21, no. 11, 2019, doi: 10.3390/e21111047.
- [26] A. B. Prasetyo, A. A. Azmi, D. S. Pamuji, and R. Yaqin, "Pengaruh Perbedaan Mesh Terstruktur dan Mesh Tidak Terstruktur Pada Simulasi Sistem Pendinginan Mold Injeksi Produk Plastik," *Pros. Nas. Rekayasa Teknol. Ind. dan Inf. XIV Tahun 2019*, vol. 2019, no. November, pp. 400–406, 2019.
- [27] A. B. Prasetyo and F. Fauzun, "Numerical study of effect of cooling channel configuration and size on the product cooling effectiveness in the plastic injection molding," *MATEC Web Conf.*, vol. 197, pp. 8–11, 2018, doi: 10.1051/mateconf/201819708019.
- [28] H. Chen, X. Zhou, Z. Feng, and S. J. Cao, "Application of polyhedral meshing strategy in indoor environment simulation: Model accuracy and computing time," *Indoor Built Environ.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–13, 2021, doi: 10.1177/1420326X211027620.
- [29] R. G. Karmankar, "Analysis of Von- Mises-Stress for Interference Fit and Pull- Out States By Using Finite Element Method," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 11, pp. 1367–1374, 2017, doi: 10.13140/RG.2.2.26447.79520.
- [30] S. H. Pranoto and M. Mahardika, "Design and finite element analysis of micro punch CNC machine modeling for medical devices," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1941, no. March, 2018, doi: 10.1063/1.5028079.
- [31] J. L. H. Richard W. Hertzberg, Richard P. Vinci, *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials*, 5th ed. Wiley, 2012.
- [32] J. Pratama and M. Mahardika, "Finite element analysis to determine the stress distribution, displacement and safety factor on a microplate for the fractured jaw case," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1941, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1063/1.5028080.
- [33] X. Wang, Q. Shi, W. Fan, R. Wang, and L. Wang, "Comparison of the reliability-based and safety factor methods for structural design," *Appl. Math. Model.*, vol. 72, pp. 68–84, 2019, doi: 10.1016/j.apm.2019.03.018.
- [34] K. Z. V. Dobrovolsky, *Machine Elements : a textbook*. Moscow: Peace, 1973.