

Pemodelan cerdas desain meja belajar sederhana: Analisis material dengan finite element approach

Ameliyana Rizky Syamara Putri Akhmad Yani¹, Najib Razzaq¹, Muhammad Nawfal Imano¹, Nafidz Aditya Mardawani¹, Bondan Vadika Muprisa¹, Muhammad Alfin Abdurachim Putra¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman

Jl. Raya Mayjen Sungkono No.KM 5, Dusun 2, Blater, Kec. Kalimanah, Kabupaten Purbalingga, Jawa Tengah 53371

Email korespondensi: ameliyana.yani@unsoed.ac.id

Received: 30 September 2025, Reviewed: 7 November 2025, Published: 21 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/573ht734>

Abstrak. Penelitian ini menganalisis kekuatan meja belajar dengan menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA) dan mengeksplorasi variasi material seperti plastik PE very low density, ductile iron, dan kayu Balsa 2. Fokus utama studi ini adalah pada pemodelan tiga dimensi serta simulasi uji beban seberat 3000 N, dengan menggunakan standar fixture fixed geometry. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ductile iron memiliki deformasi terkecil (0.051 mm), sementara kayu Balsa mencatatkan deformasi terbesar kedua (2.070 mm). Namun, analisis Faktor Keamanan (FS) sebesar 1.03 membuktikan bahwa kayu balsa memiliki kekuatan yang memadai dan rasio kekuatan terhadap berat (strength-to-weight ratio) yang superior. Studi ini memberikan wawasan penting dalam pemilihan material optimal untuk desain meja belajar yang tangguh dan tahan lama, menjamin performa maksimal dalam penggunaan sehari-hari.

Kata kunci: Analisis Elemen Hingga, Deformasi Material, Kayu Balsa, Pemilihan Material, Simulasi Beban

Abstract. This study analyzes the strength of study tables using the Finite Element Analysis (FEA) method and explores material variations, including very low-density PE plastic, Ductile iron, and balsa wood. The main focus of this study is on three-dimensional modeling and load-test simulations of 3000 N using a standard fixed-geometry fixture¹⁰. The simulation results show that Ductile iron exhibited the minimum deformation (0.051 mm), while balsa wood recorded the second largest (2.070 mm). However, a Factor of Safety (FS) analysis of 1.03 proves that balsa wood possesses adequate strength and a superior strength-to-weight ratio, making it the optimal choice. This study provides important insights into selecting optimal materials for designing sturdy, durable study tables that deliver maximum performance in everyday use.

Keywords: Finite Element Analysis, Material Deformation, Balsa Wood, Material Selection, Load Simulation

PENDAHULUAN

Meja adalah salah satu perabot yang memiliki peran penting dalam berbagai aktivitas sehari-hari, baik di rumah, kantor, maupun ruang belajar. Fungsinya yang beragam, mulai dari tempat menulis, bekerja, hingga menyimpan barang, menjadikannya esensial di banyak aspek kehidupan. Bagian atas meja memiliki permukaan yang rata lalu disangga dengan kaki, bisa empat, dua, atau bahkan satu kaki, memberikan permukaan yang rata di mana objek dapat ditempatkan, dan dapat digunakan untuk tujuan seperti makan, menulis, bekerja, atau bermain game [1]. Dalam lingkungan akademis, meja belajar menjadi elemen kunci yang mendukung proses belajar-mengajar. Dengan permukaan datar yang disangga oleh kaki penyangga, meja belajar dirancang untuk menopang berbagai peralatan seperti buku, laptop, dan alat tulis. Kekuatan dan kestabilan meja sangat penting untuk memastikan kenyamanan dan efisiensi belajar dalam jangka panjang, terutama ketika digunakan secara intensif.

Penelitian mengenai rangka meja telah dilakukan secara luas guna menilai tingkat keamanan dan kinerja yang sesuai untuk penggunaan meja. Dalam penelitian ini, fokus ditujukan pada desain dan evaluasi kekuatan rangka meja kerja menggunakan metode elemen hingga. Penelitian ini menggunakan variasi beban sebesar 150 kg, 175 kg, 200 kg, dan 225 kg, yang diaplikasikan pada rangka meja. Simulasi hasil menunjukkan bahwa rangka

meja mampu menahan beban hingga 200 kg dengan faktor keamanan sebesar 2,06, mengindikasikan keamanan dan kinerja yang memadai untuk aplikasi meja kerja ini [2]. Penelitian untuk pengujian desain meja telah dilakukan terkait dengan variasi bentuk kaki meja. Penelitian tersebut mendapatkan desain kaki meja ruang tamu yang optimal dengan beban yang diberikan [3].

Pengujian pada rangka meja las berdasarkan desain, simulasi, dan analisis tegangan struktur dilakukan dengan menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA). Kapasitas beban yang diberikan pada pengujian ini dibatasi sebesar 40 kg atau 400 *newton*. Pada hasil simulasi struktur rangka meja las yang diberikan beban sebesar 400 N, ditampilkan nilai deformasi maksimum sebesar 0,05505 mm dan nilai *safety factor* minimum sebesar 6,66. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa desain struktur rangka meja las yang telah dihasilkan sangat aman untuk menahan beban statis ataupun beban kejutan [4]. Permodelan dengan pendekatan beda hingga telah digunakan dalam analisis pemilihan desain pada kursi taman. Pemodelan diterapkan untuk mendapatkan respons desain terhadap beban yang diberikan. Berdasarkan respons dari pemodelan tersebut, terpilihlah desain yang tepat dan sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan [5]. Analisis kekuatan pembebanan frame pada meja las dilakukan dengan sistem numerik menggunakan perangkat lunak berupa Autodesk Inventor Professional 2020. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur rangka meja las dengan material besi ST 37

memiliki tegangan, deformasi, massa, dan faktor keamanan sebesar 20.0755 MPa, 0.0582948 mm, 40 kg [4].

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Finite Element Approach* (FEA) atau metode elemen hingga yang muncul pada tahun 1960. Dalam bidang struktur, FEA telah dikembangkan untuk menyelesaikan persoalan statik, dinamik, linier maupun non linier. FEA adalah bentuk prosedural numerik yang dapat diterima oleh engineer untuk perkiraan nilai ambang batas dengan cara mencari nilai defleksi, tegangan, dan faktor keamanan dari sebuah struktur [6]. Pendekatan *Finite Volume* dapat digunakan dalam pemecahan permasalahan komputasi dinamika fluida. Metode ini dapat digunakan dalam proses desain optimasi suatu turbin air [7] maupun turbin angin [8]. Metode finite element telah digunakan dalam menganalisa alat uji bending pipa. Analisis yang dilakukan dalam penelitian tersebut menilai kriteria keamanan struktur *roller* dan tegangan jenis pipa galvanis [9].

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan pendekatan berupa *Finite Element Approach* (FEA) untuk menguji keandalan dan ketahanan pada meja belajar. Penelitian simulasi kekokohan meja belajar menggunakan metode elemen hingga bertujuan untuk mengevaluasi perbandingan kekuatan terhadap beban dengan memanfaatkan material simulasi, seperti plastik PE *very low density*, *ductile iron*, dan kayu balsa. Melalui analisis FEA, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kekokohan, optimalisasi desain, perbandingan performa material, dan analisis beban dinamis.

METODE

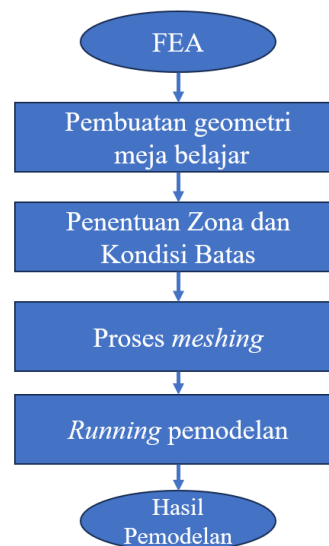
Penelitian ini dilakukan dengan pemodelan tiga dimensi menggunakan perangkat lunak dengan metode *Finite Element Approach* (FEA). Penelitian ini dilakukan pada desain meja belajar dengan variasi material. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga, yaitu SolidWorks Simulation 2023 (atau tuliskan software yang Anda gunakan). Tipe analisis yang digunakan adalah Static Linear Analysis, dengan asumsi material bersifat elastis linier, homogen, dan isotropis.

Parameter simulasi yang digunakan dijabarkan sebagai berikut:

- Jenis elemen: Solid tetrahedral
- Tipe mesh: Curvature-based mesh
- Kerapatan mesh: Fine (elemen kecil untuk meningkatkan presisi)
- Jumlah elemen/nodes: (Dapat ditambahkan sesuai hasil software)
- Boundary condition: Fixed geometry pada keempat kaki meja yang bersentuhan dengan lantai
- Pembebanan: Beban statis sebesar 3000 N, diberikan pada permukaan atas meja secara merata
- Model material: Linear elastic dengan modulus elastisitas, densitas, dan Poisson ratio sesuai spesifikasi pada Tabel 1–3

Pengaturan ini bertujuan memastikan bahwa hasil simulasi deformasi, tegangan, dan regangan dapat menggambarkan respons struktural meja terhadap beban statik secara akurat.

Tahapan penelitian ditunjukkan pada diagram alir Gambar 1. Metodologi yang digunakan adalah modifikasi dari diagram alir pada penelitian [10].

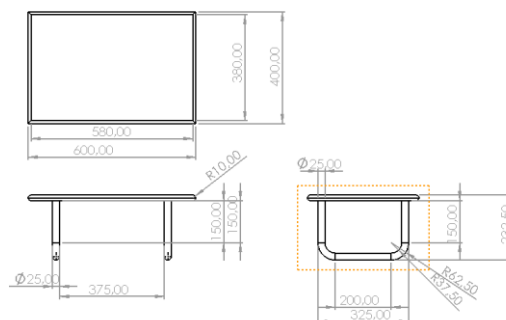


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tahap pertama adalah pembuatan geometri meja belajar. Desain tiga dimensi dari meja belajar ditunjukkan oleh Gambar 2. Dimensi meja belajar ditunjukkan pada Gambar 3. Dimensi meja menggunakan satuan ukuran dalam milimeter (mm). Material yang digunakan pada meja merupakan variasi dari penelitian ini. Di mana variasi material yang digunakan adalah plastik PE *very low density*, *ductile iron*, dan kayu balsa.



Gambar 2. Desain meja belajar tiga dimensi



Gambar 3. Dimensi desain meja belajar

Langkah berikutnya adalah menentukan zona pemodelan. Di mana pemodelan dibagi menjadi dua zona, yaitu *fixtures* dan *external loads*. Keseluruhan skematik pemodelan ditunjukkan oleh Gambar 4a, zona *fixtures* ditunjukkan pada Gambar 4b, dan zona *external loads* ditunjukkan oleh Gambar 4c. Kondisi batas dalam simulasi uji beban meja yaitu berat yang digunakan dalam simulasi uji beban. Berat yang digunakan sebesar 3000 N atau 300 kg. Material yang digunakan yaitu plastik PE *very low density*, *ductile iron*, dan kayu balsa. Spesifikasi dari masing-masing material ditunjukkan oleh Tabel 1 [11], Tabel 2 [12], dan Tabel 3 [13].

Tabel 1. Spesifikasi Material *Plastic PE very low density*

Sifat	Nilai	Satuan
Modulus elastisitas	172.3689323	N/mm ²
Rasio Poisson	0.3	N/A
Modulus Kekakuan		N/mm ²
Kepadatan massa	905.000005	Kg/m ³
Kekuatan Tarik	34.00000012	N/mm ²
Kekuatan Tekanan		N/mm ²
Kekuatan Leleh	6.894757293	N/mm ²
Koefisien Ekspansi Termal		/K
Konduktivitas Termal	0.322	W/(m.K)
Kapasitas Panas	1842	J/(kg.K)
Rasio Redaman Material		N/A

Sumber : Karaagac et al., (2020)

Tabel 2. Spesifikasi material *ductile iron*

Sifat	Nilai	Satuan
Modulus elastisitas	120000	N/mm ²
Rasio Poisson	0.31	N/A
Modulus Kekakuan	77000	N/mm ²
Kepadatan massa	7100	Kg/m ³
Kekuatan Tarik	861.695	N/mm ²
Kekuatan Tekanan		N/mm ²
Kekuatan Leleh	551.485	N/mm ²
Koefisien Ekspansi Termal	1.1e-05	/K
Konduktivitas Termal	75	W/(m.K)
Kapasitas Panas	450	J/(kg.K)
Rasio Redaman Material		N/A

Sumber : Ramadan et al., (2021)

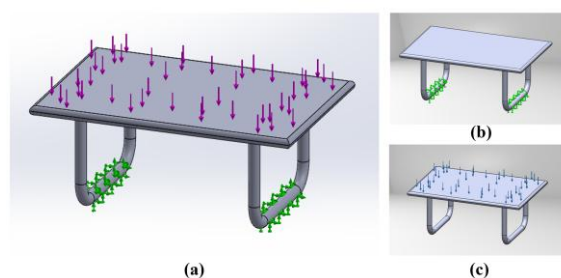
Tahap selanjutnya adalah melakukan pemilihan standar fixture, yaitu fixed geometry, karena meja yang digunakan bersifat tetap atau tidak berubah. Bagian yang dipilih yaitu bagian geometri dari meja yang kontak langsung dengan lantai. Tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 4b. Pada tahap ini dilakukan pemberian beban atau tekanan pada meja. Batas maksimal dari pembebanan yaitu 3000 N atau

300 kg. Pada pembebanan daerah yang diberikan, beban terletak pada daerah atas meja. Pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4c berikut. Langkah selanjutnya adalah melakukan proses meshing.

Tabel 3. Spesifikasi material kayu balsa

Sifat	Nilai	Satuan
Modulus elastisitas	2999.999232	N/mm ²
Rasio Poisson	0.29	N/A
Modulus Kekakuan	299.9999105	N/mm ²
Kepadatan massa	159.989899	Kg/m ³
Kekuatan Tarik		N/mm ²
Kekuatan Tekanan		N/mm ²
Kekuatan Leleh	19.999972	N/mm ²
Koefisien Ekspansi Termal		/K
Konduktivitas Termal	0.05	W/(m.K)
Kapasitas Panas		J/(kg.K)
Rasio Redaman Material		N/A

Sumber : Luo et al., (2022)



Gambar 4. a) Skematik meja gambar, b) *fixtures*, dan c) *external loads*.

Tahapan meshing dilakukan dengan tools yang sudah disediakan, di mana kita hanya mengatur atau memilih meshing dari *coarse* sampai dengan *fine*. Pada simulasi ini dilakukan *meshing* dengan memilih *fine*. Berikut merupakan gambar hasil dari meshing pada meja. Hasil meshing ditunjukkan oleh Gambar 5. Pada proses running, dilakukan setelah semua tahapan sebelumnya telah dilakukan dan dilakukan pengaturan kondisi batas yang telah dijelaskan pada penjelasan *case* pada bagian kondisi batas dan kondisi batas setiap material.



Gambar 5. Hasil dari proses meshing objek meja belajar.

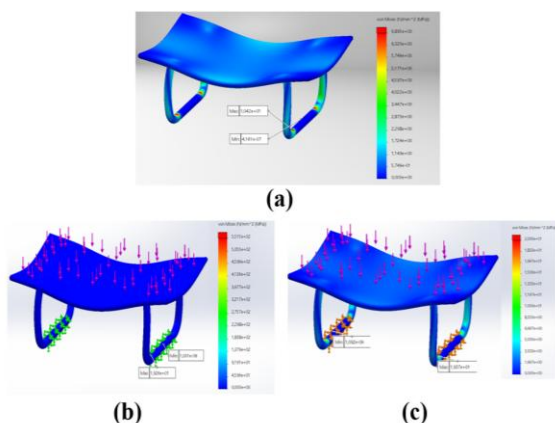
Dalam pemodelan ini, metode penyambungan (joint connection) pada struktur meja belum dimasukkan ke dalam simulasi. Seluruh komponen meja diasumsikan tersambung secara kaku (rigid connection). Asumsi ini dapat menyebabkan hasil deformasi dan distribusi tegangan menjadi berbeda dibandingkan dengan kondisi nyata, karena sambungan seperti baut, bracket, atau wood joinery memiliki kekakuan yang lebih rendah dibandingkan dengan sambungan kaku ideal.

Untuk penelitian lanjutan, dimensi sambungan, jenis pengikat, serta model interaksi antar komponen direkomendasikan untuk dimasukkan agar simulasi mendekati kondisi aktual penggunaan meja belajar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian menggunakan metode FEA telah dilakukan pada objek meja belajar secara tiga dimensi. Penelitian dilakukan dengan variasi material antara lain plastik PE *very low density*, *ductile iron*, dan kayu balsa. Hasil dari simulasi analisis kekuatan meja dengan material plastik PE *very low density* didapat nilai skala deformasi yaitu 3,12698, material *ductile iron* didapat nilai skala deformasi yaitu 1,173,58, dan material kayu Balsa didapat nilai skala deformasi yaitu 28,9854, dilihat dari hasil stress, displacement, dan strain. Nilai-nilai ini merupakan hasil post-processing numerik yang diperoleh langsung dari perangkat lunak simulasi FEA setelah proses running pemodelan.

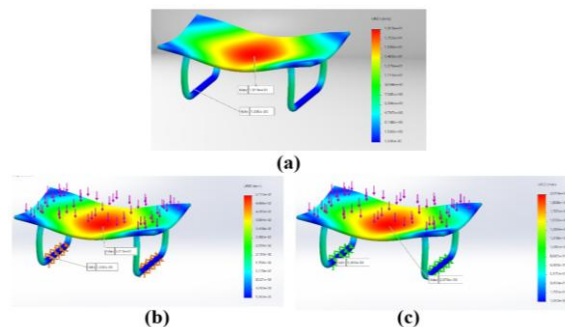
Pengujian pemodelan stres pada ketiga material meja belajar ditunjukkan oleh Gambar 6. Hasil yang didapat dari proses running dengan memasukkan kondisi batas pada material *plastik PE very low density* yaitu didapat nilai maksimal yaitu $1,042 \times 10^1$ MPa dan nilai minimum yaitu $4,161 \times 10^{-7}$ MPa. Pada material *ductile iron* diperoleh nilai maksimal yaitu $1,926 \times 10^1$ MPa dan nilai minimum yaitu $1,001 \times 10^{-6}$ MPa. Pada material kayu balsa, nilai maksimal yaitu $1,937 \times 10^1$ MPa dan nilai minimum yaitu $1,092 \times 10^{-6}$ MPa.



Gambar 6. Hasil simulasi stress dengan material a) plastik PE *very low density*, b) *ductile iron*, dan c) kayu balsa

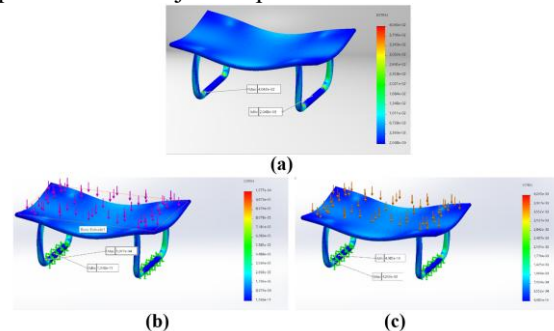
Gambar 7 menunjukkan hasil dari simulasi displacement pada meja belajar. Hasil displacement yang didapat dari proses running dengan memasukkan kondisi batas material *plastik PE very low density* yaitu didapat

nilai maksimal yaitu $1,919 \times 10^1$ mm dan nilai minimum yaitu $1,000 \times 10^{-30}$ mm. Hasil displacement pada material *ductile iron* didapat nilai maksimal yaitu $5,113 \times 10^{-2}$ mm dan nilai minimum yaitu $1,000 \times 10^{-30}$ mm. Proses running dengan material kayu balsa diperoleh nilai maksimal yaitu $2,070 \times 10^0$ mm dan nilai minimum yaitu $1,000 \times 10^{-30}$ mm.



Gambar 7. Hasil simulasi displacement dengan material a) plastik PE *very low density*, b) *ductile iron*, dan c) kayu balsa

Pengujian terakhir adalah simulasi strain pada desain meja terhadap tiga variasi material plastik PE *very low density*, *ductile iron*, dan kayu balsa. Hasil strain yang didapat dari proses running dengan memasukkan material *plastik PE very low density* yaitu didapat nilai maksimal yaitu $4,043 \times 10^{-2}$ dan nilai minimum yaitu $2,048 \times 10^{-9}$. Kemudian pada material *ductile iron* diperoleh nilai *strain* pada nilai maksimal yaitu $1,077 \times 10^{-4}$ dan nilai minimum yaitu $1,248 \times 10^{-11}$. Hasil strain yang didapat dari proses running pada material kayu balsa didapat nilai maksimal yaitu $4,263 \times 10^{-2}$ dan nilai minimum yaitu $4,085 \times 10^{-10}$. Hasil pemodelan ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil simulasi strain dengan material a) plastik PE *very low density*, b) *ductile iron*, dan c) kayu balsa.

Secara teknis, berdasarkan hasil simulasi *displacement* (Gambar 7), material *ductile iron* menunjukkan kekakuan tertinggi dengan deformasi maksimum hanya 0.051 mm. Sementara itu, kayu balsa berdeformasi lebih besar, yaitu 2.070 mm. Nilai deformasi terbesar terjadi pada plastik PE *very low density* 19.19 mm.

Untuk menilai tingkat keamanan struktural, dilakukan perhitungan Faktor Keamanan (*Factor of Safety*) (FS), yaitu rasio antara *Yield Strength* material dan *Maximum Von Mises Stress* yang terjadi pada simulasi [14]. Nilai FS yang lebih besar dari 1 menunjukkan bahwa struktur mampu menahan beban tanpa mengalami deformasi permanen.

$$FS = \frac{\text{Yield Strength (Kekuatan Leleh)}}{\text{Maximum Von Mises Stress (Tegangan Maksimal)}} \quad (1)$$

Pada material plastik PE very low density, dengan Yield Strength 6.89475 N/mm² dan Maximum Stress 3.126e+00 MPa (3.126 N/mm²), didapatkan Faktor Keamanan (FS) sebesar 2.21. Untuk material ductile iron, dengan Yield Strength 551.485 N/mm² dan Maximum Stress 4.705e+00 MPa (4.705 N/mm²), didapatkan Faktor Keamanan (FS) sebesar 117.20.

Sedangkan material kayu Balsa, dengan Yield Strength 19.999 N/mm² dan Maximum Stress 1.937e+01 MPa (19.37 N/mm²), didapatkan Faktor Keamanan (FS) sebesar 1.03. Jika dibandingkan dengan material *ductile iron* yang memiliki FS jauh lebih tinggi, hal ini menunjukkan bahwa material sangat over-designed untuk beban 3000 N. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun kayu Balsa berdeformasi lebih besar (kurang kaku), struktur meja tetap aman secara mekanis karena FS-nya masih di atas 1 [15]. Hal ini penting untuk mendukung pemilihan material.

Meskipun hasil simulasi menunjukkan bahwa ductile iron memiliki tingkat kekakuan yang superior dan mengalami displacement minimum 0.051 mm, material ini memiliki kerapatan massa yang sangat tinggi, 7100 kg/m³, dan biaya yang relatif tinggi. Dalam konteks desain meja belajar sederhana, aspek portabilitas dan efisiensi biaya menjadi pertimbangan penting. Sebaliknya, kayu balsa menawarkan rasio kekuatan terhadap berat (strength-to-weight ratio) yang unggul, didukung oleh kerapatan massa

yang sangat rendah, 159.989 kg/m³. Selain itu, analisis Faktor Keamanan (FS) yang mendekati 1.03 membuktikan bahwa struktur meja dari kayu balsa aman secara mekanis untuk menahan beban statis 3000 N. Oleh karena itu, kayu balsa direkomendasikan sebagai pilihan optimal, karena memenuhi kebutuhan akan struktur yang aman sekaligus ringan dan ekonomis.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai skala deformasi pada material *plastik PE very low density* yaitu 3,12698, sedangkan pada material *ductile iron* yaitu 1,173,58, dan material kayu balsaitu 28.9854. Material kayu balsa memiliki nilai skala deformasi terbesar daripada material plastik PE very low density dan ductile iron, namun memiliki Faktor Keamanan (FS) yang memadai (\$1.03\$) serta rasio kekuatan terhadap berat (strength-to-weight ratio) yang superior. Dengan demikian, kayu balsa merupakan material pilihan optimal untuk desain meja belajar sederhana, dengan mempertimbangkan aspek kekuatan yang memadai dan ringan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Civitas Akademika Universitas Jenderal Soedirman secara umum, dan Fakultas Teknik serta Jurusan Teknik Industri secara khusus, atas dukungan moril pada kegiatan mini riset yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Devi, N. D. S., Pujiraharjo, Y., & Muttaquen, T. Z. 2020. Perancangan Meja Taman Yang Terintegrasi Dengan Bangku Dan Sistem Informasi Sejarah. *Journal of Product Design, School of Creative Industry*, 7(2), 5240.
- [2] Wibawa, L. A. N. 2019. Desain Dan Analisis Kekuatan Rangka Meja Kerja (Workbench) Balai Lapan Garut Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(1):13.
- [3] Hasan, F., Mardawani, N. A., Radiansyah, M. Y. F., & Sarwani, C. R. 2023. Pressure on a Living Room Table: A Design and Simulation Utilizing the Finite Difference Method. *Journal of Industrial and Mechanical Engineering*, 1(1), 43-52.
- [4] Prabowo, W. T., Arifin, F., Herlambang, Y. D., Ramadoni, & Damanik, W. R. H. 2023. Analisis Kekuatan Pembebanan Frame Pada Meja Las. *Jurnal Inovator*, 1(1):21-25.
- [5] Ridho, A. F., Wyatt, S. N., Zatinayara, K., Hanan, M. H., Alquroimia, M. A., & Ridwan. 2023. Three-Dimensional Analysis of Garden Bench Design on Pressure Distribution Using Finite Difference Method Approach. *Journal of Industrial and Mechanical Engineering*, 1(1), 35-42.
- [6] Arifin, F., Azharuddin, Arnoldi, D., Effendi, S., Herlambang, Y. D., Yahya, Fadilah, M.A., & Radjiq, A. 2023. Design Simulation of Upper Arm on Welding Table. *International Journal of Mechanics, Energy Engineering and Applied Science (IJMEAS)*, 1(1):7-11.
- [7] Purwanto, Hermawan, Budiono, & Prabowoputra, D. M. 2022. Simulation Study on Cross Flow Turbine Performance with an Angle of 20° to the Variation of the Number of Blades. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 31-36.
- [8] Prabowoputra, D. M., Krisnawati, M., Nurhidayat, A. R. S., Khosyi, M., Halim, R. F. N., & Zumara, H. 2023. CFD Analysis of The Stage-Ratio Factor on Savonius Wind Turbine Performance to Optimize Clean-Energy Conversion. In *E3S Web of Conferences*, 456, p. 01007.
- [9] Pratama, A. B., & Islahuddin. 2021. Analisis Tegangan Alat Uji Bending Pipa Skala Laboratorium Menggunakan Finite Element Analysis. *Jurnal Teknologi dan Informasi Bisnis*, 3(1):201-205.
- [10] Kešner, A., Chotěborský, R., Linda, M., Hromasová, M., Katinas, E., & Sutanto, H. 2021. 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. *Biosystems Engineering*, 209, 125-138.

- [11] Karaagac, E., Koch, T., & Archodoulaki, V. (2020). The effect of PP contamination in recycled high-density polyethylene (rPE-HD) from post-consumer bottle waste and their compatibilization with olefin block copolymer (OBC). *Waste Management*, 119, 285–294. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.011>
- [12] Luo, L., Lan, Y., Zhang, Q., Deng, J., Zeng, Q., Gao, H., Du, G., & Zhao, W. (2022). Enhanced capacitance of phosphorus, nitrogen, and oxygen tri-doped balsa wood-based porous carbon for supercapacitors. *Journal of Energy Storage*, 58, 106339. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106339>
- [13] Ramadan, M., Hafez, K. M., Alghamdi, A. S., Ayadi, B., & Halim, K. S. A. (2021). Novel approach for using ductile iron as substrate in bimetallic materials for higher interfacial bonding bearings. *International Journal of Metalcasting*, 16(2), 987–1000. <https://doi.org/10.1007/s40962-021-00653-0>
- [14] Menacho-Mendoza, E., Cedamano-Cuenca, R., & Díaz-Suyo, A. (2022). Stress analysis and factor of safety in three dental implant systems by finite element analysis. *The Saudi Dental Journal*, 34(7), 579–584. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2022.08.006>
- [15] Hindroyuwono, R., Marvianto, R. A., Anjani, S. S., Pamungkas, M. B., & Arafat, Y. B. (2025). Stress analysis and safety factors of hand-rail hoppers based on the FEA method. *International Journal of Engineering Continuity*, 3(2), 120–131. <https://doi.org/10.58291/ijec.v3i2.318>