

Analisa Tegangan dan Deformasi Pada Desain Kursi Menggunakan *Finite Element Method* Dengan Variasi Pembebanan

Didik Sugiono^{1*}, Suprpto², Yopan Rahmad Aldori³, Supardi⁴

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Qomaruddin

²Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Medan

³Program Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area

⁴Program Studi Teknik Mesin, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

¹Jln. Raya Bungah No.1, Kabupaten Gresik, 61152, Indonesia

²Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kabupaten Deli Serdang, 20221, Indonesia

³Jl. H. Agus Salim Siregar, Kenangan Baru, Kabupaten Deli Serdang 20223, Indonesia

⁴Jl. Jl. Semolowaru No.45, Surabaya 60118, Indonesia

E-mail: didik@uqgresik.ac.id¹, suprpto@unimed.ac.id², yopanrahmadaldori@staff.uma.ac.id³, supardi@untag-sby.ac.id⁴

Abstrak

Info Naskah:

Naskah masuk: 9 Juni 2025

Direvisi: 27 Juni 2025

Diterima: 11 Juli 2025

Proses manufaktur merupakan suatu kegiatan pengolahan bahan baku menjadi produk guna meningkatkan nilai tambah. Salah satu produk tersebut adalah furnitur kursi, untuk mengurangi kesalahan dan kegagalan dalam pembuatannya, maka perlu melakukan eksperimen model prototipe terlebih dahulu. Penelitian ini melakukan studi simulasi dan analisis pada desain kursi terhadap tegangan, deformasi dan *safety factor* menggunakan pendekatan metode Finite Element Method dengan bantuan software static structural ANSYS ADPL 18.0 dimana desain kursi berbahan stainless steel 304, aluminium-T6, HCP 30 polymer foam dalam satu struktur kursi dengan simulasi beberapa skenario pembebanan beban statis, kondisi batas, dan distribusi merata pada permukaan kursi. Hasil simulasi menunjukkan distribusi tegangan maksimum (*von mises stres*) tertinggi adalah 3,5 Mpa pada tekanan 175 kg.f, untuk nilai terendah 1,5 Mpa pada tekanan 5 Kg.f dan deformasi (*displacement*) sebesar 0.145×10^{-4} mm terjadi pada tekanan 175 Kg.f, sedangkan nilai deformasi terendah yaitu 0.621×10^{-5} terjadi pada tekanan 75 Kg.f. Hal ini akibat pembebanan semakin meningkat seiring dengan gaya tekanan yang diberikan, akan tetapi masih berada posisi standar minimum *safety factor* untuk beban statis sehingga tidak merusak struktur geometri.

Abstract

Keywords:

simulation;
chair design;
finite element method;
von mises stress;
displacement;
safety factor.

The manufacturing process is an activity of processing raw materials into products to increase added value. One of these products is chair furniture; to reduce errors and failures in its manufacture, it is necessary to do prototype model experiments first. This research conducts a simulation study and analysis of the chair design on stress, deformation and safety factor using the Finite Element Method approach with the help of ANSYS ADPL 18.0 static structural software where the chair design is made of 304 stainless steel, aluminum-T6, HCP 30 polymer foam in one chair structure by simulating several static load loading scenarios, boundary conditions, and even distribution on the surface of the chair. The simulation results show that the highest maximum stress distribution (*von mises stress*) is 3.5 Mpa at a pressure of 175 kg.f, for the lowest value of 1.5 Mpa at a pressure of 5 Kg.f and a deformation (*displacement*) of 0.145×10^{-4} mm occurs at a pressure of 175 Kg.f, while the lowest deformation value of 0.621×10^{-5} occurs at a pressure of 75 Kg.f, This is due to the loading increasing along with the applied pressure force, but still in the minimum safety factor standard position for static loads, so as not to damage the geometric structure.

*Penulis korespondensi:

Didik Sugiono

E-mail: didik@uqgresik.ac.id

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi desain dan manufaktur menciptakan peluang besar dalam menghasilkan produk-produk furnitur yang nyaman, aman dan tahan lama. Produk kursi merupakan elemen furnitur yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari, sehingga desain dan kualitas menjadi perhatian utama dalam industri manufaktur furnitur. Pada fase ini pengembangan produk perlu langkah pengujian dan penyempurnaan dalam menetapkan *design* seperti bentuk, dimensi, dan karakteristik produk sehingga mampu menahan beban pengguna secara terus-menerus [1],[2]. Pengujian ini memerlukan produk sampel atau prototipe sehingga dapat memperkirakan produk dalam satu atau lebih dimensi yang sesuai standar [3],[4]. Dalam proses ini, *designer* memiliki spesifikasi terhadap fungsi penggunaan, ergonomi, dan kekuatan produk yang telah ditetapkan menurut standarnya, kegagalan struktur kursi tidak hanya merugikan secara ekonomis, tetapi juga membahayakan keselamatan pengguna [5],[6].

Para *designer* berusaha merancang dan menciptakan produk dengan menggunakan simulasi *software* perangkat lunak CAE guna mengetahui sifat pembebanan (*loads*), tegangan (*stress*), dan deformasi (*displacement*) [7],[8]. Salah satu metode yang terbukti efektif dalam menganalisis dan mengoptimalkan desain kursi adalah *Finite Element Analysis (FEA)*. FEA adalah teknik numerik yang digunakan untuk memodelkan dan menganalisis perilaku struktur dan komponen dalam berbagai kondisi, dengan membagi struktur menjadi elemen-elemen kecil yang saling terhubung, FEA memungkinkan *designer* untuk mensimulasikan dan memprediksi bagaimana suatu struktur akan merespons berbagai beban, suhu, dan faktor lingkungan lainnya [9],[10],[11].

Dalam konteks desain kursi, FEA dapat digunakan untuk menganalisis distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan dari berbagai desain kursi. Sebagai contoh, penelitian yang dilakukan oleh Saputra dan Romahadi membandingkan dan menganalisis kekuatan desain kursi plastik dengan dan tanpa rusuk penguat menggunakan metode FEA, dimana model rusuk kotak memiliki distribusi tegangan merata dan *safety factor* yang lebih baik [12]. Penelitian yang mengevaluasi kinerja kursi kayu berbahan pohon *pinus Scotch* dan *beech Oriental* menggunakan metode FEM, hasil analisis menunjukkan bahwa kursi memenuhi standar beban desain yang diizinkan pada depan ke belakang, belakang ke depan, dan sandaran [13]. Studi eksperimen yang lain merancang kursi plastik dan menganalisis sifat mekaniknya melalui uji beban tinggi dengan metode FEM, hasil menunjukkan peningkatan ketebalan parameter struktural utama meningkatkan sifat keamanan kursi di bawah berbagai kondisi beban [14]. Sedangkan Studi lain mengeksplorasi desain kursi baja dengan simulasi berbagai skenario menggunakan FEA untuk memastikan bahwa kursi memenuhi standar ergonomis yang ketat, memberikan keselamatan dan kenyamanan pengguna dalam konfigurasi duduk dan meja [15],[16].

Berdasarkan tinjauan penelitian sebelumnya, maka Peneliti melakukan studi pengujian simulasi dan analisis

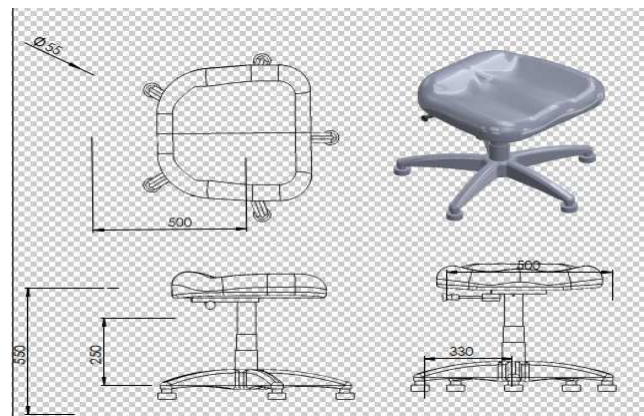
pada desain kursi menggunakan pendekatan metode *Finite Element Method* dengan bantuan pada *software static structural ANSYS ADPL 18.0* dimana desain kursi terbuat dari bahan *stainless steel 304*, aluminium-T6, HCP 30 *polymer foam* dalam satu struktur kursi dengan simulasi beberapa skenario pembebanan beban statis, kondisi batas, dan distribusi merata pada permukaan kursi. Hasil dari studi untuk mengetahui distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan produk sebelum diproduksi, sehingga memberikan rekomendasi desain yang lebih aman dan efisien secara struktural.

2. Metode

Metode penelitian ini terdiri dari perancangan geometri kursi, penentuan parameter material, pembebanan kondisi batas, dan simulasi *finite element method* sebagai proses pengambilan data.

2.1 Perancangan geometri kursi

Desain kursi dirancang dengan menggunakan perangkat lunak *solidworks* yang dimensi disesuaikan *antropometri* pengguna. Kursi terdiri dari dudukan, tiang penyangga, dan lima penyangga kaki sebagai tumpuan tiang. Material digunakan adalah *stainless steel 304* untuk rangka dudukan sampai tiang penyangga, aluminium _T6 untuk kaki penyangga tiang menyatu, sedangkan HCP 30 *polymer foam* sebagai dudukan dalam satu struktur serta dimensi ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Desain geometri kursi

2.2 Penentuan parameter material

Jenis material yang digunakan adalah *stainless steel 304*, aluminium _T6, dan HCP 30 *polymer foam* dengan kondisi karakteristik parameter material yang tertera pada tabel 1, dimana parameter-parameter mekanik ini akan digunakan untuk mendefinisikan perilaku material dalam analisis structural, sehingga dapat menghitung respons struktur terhadap berbagai jenis beban, termasuk beban statis, dinamis, dan termal serta untuk memastikan bahwa semua parameter material di input dengan benar untuk mendapatkan hasil simulasi yang akurat.

Tabel 1. Jenis dan parameter Material

Sifat Mekanik	Jenis Material		
	Stainless steel 304	Alluminium _T6	HCP 30 PolymerFoam
Densitas(g/cc)	8.00	2.81	0.20
Position Ratio	0.29	0.33	0.3
Modulus	193	71.7	0.24
Young's (Gpa)			
Yeild Strength (Mpa)	215	503	3.5
Tensile Strength (Mpa)	505	572	7.10
Shear Modulus (Gpa)	77	26.9	0.085

2.3 Pembebanan dan Kondisi batas

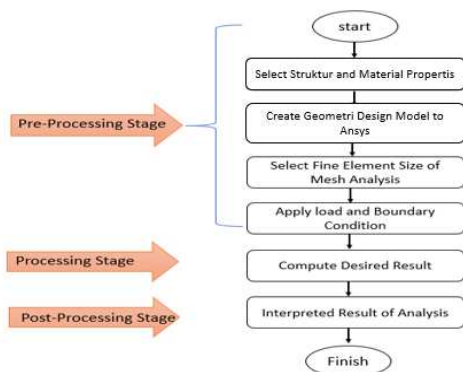
Pembebanan yang digunakan dalam simulasi adalah beban statis merata pada permukaan dudukan dengan variasi pembebanan dan kondisi batas yang mencakup gaya tekanan dan titik tumpuan yang ditunjukkan pada tabel 2. pembebanan yang diterapkan pada struktur dalam simulasi ini, yaitu gaya massa (mass-force) dalam satuan kilogram gaya (kg.f), akan tetapi tekanan yang diterapkan dalam satuan Pascal (Pa). Pembebanan ini penting untuk menganalisis respons struktur terhadap berbagai kondisi operasional.

Tabel 2. Pembebanan yang Digunakan

No	Mass-force (kg.f)	Applied Pressure (Pa)
1	75	3629.63
2	95	4597.531
3	115	5565.432
4	135	6533.333
5	155	7501.235
6	175	8469.136

2.4 Pengambilan data

Pengambilan data menggunakan simulasi dan analisis pada desain kursi menggunakan pendekatan metode *Finite Element Method* dengan bantuan *software static structural ANSYS ADPL 18.0*. Berikut adalah langkah yang harus dilakukan untuk simulasi seperti yang ditunjukkan gambar 2.



Gambar 2. Prosedur toolbar simulasi [17]

Berikut merupakan langkah yang harus dilakukan untuk simulasi:

1) Pre - Processing Stage

Pre-Processing Stage merupakan proses persiapan simulasi guna membuat *element* data prototipe kursi spesifik pada Gambar 3, tujuannya untuk mengoptimalkan desain guna meningkatkan kinerja struktural dan kegunaan.



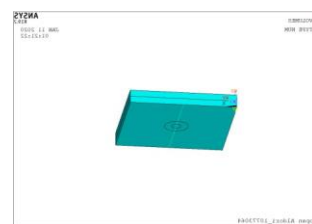
Gambar 3. Desain Kursi Prototipe Simulasi

a) *Select Struktural dan Material Properties*

Selanjutnya membuka *software Ansys APDL 18.0*, dengan prosedur antara lain; Pendefinisian struktur dan material propertis pada *toolbar* untuk menentukan proses model analisa, kondisi material dan memasukkan parameter tiga macam jenis material yang tertera pada tabel 1.

b) *Create Geometri Design Model To ANSYS*

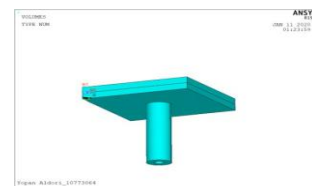
Pembuatan permodelan geometri benda uji dibuat dalam *modeling ANSYS*, pertama membuat bentuk persegi empat, lalu membuat titik kunci dengan membagi garis $N \times Ln$ di tengah area dan di tengah area ditepatkan silinder. Kemudian buat blok untuk membentuk kaki dan roda kursi. Selanjutnya rekatkan volume untuk kesimetrian bentuk geometrinya seperti yang ditunjukkan pada gambar 4a, 4b, 4c, 4d, 4e dan 4f.



Create the key points with divide the Lines $N \times Ln$'s (a)



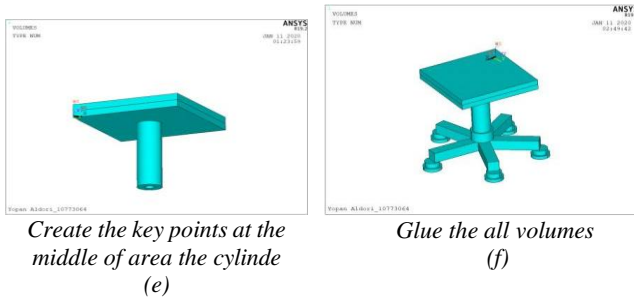
Create The block to built for feet on the chair (b)



Create the key points at the middle of the area (c)



create The feet on the chair (d)



Gambar 4. Desain Model geometri Benda Uji

c) *Select Fine Element Size Of Mesh Analysis*

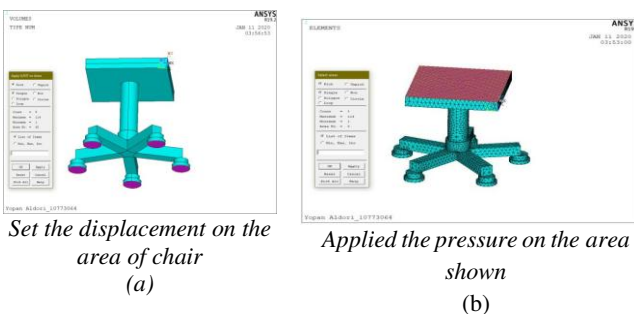
Tipe elemen yang dipilih sesuai dengan model kursi dari segi material dan geometri yaitu *element type solid Quadratic 10-node 187* and dengan memilih *free mesh with using global element size 0.02 mm with Smart mesh* pada *software* untuk membagi struktur menjadi elemen-elemen berhingga yang digunakan untuk perhitungan seperti tampak pada gambar 5. Berikut:



Gambar 5. Meshing Geometri Benda Uji

d) *Apply Load and Boundry Condition*

Penerapan kondisi batas tekanan atau pembebanan dipermukaan dudukan dan tumpuan yang terletak pada kaki kursi, untuk, variasi pembebanan tercantum tabel 2, untuk memperoleh tegangan kursi yang diizinkan kemudian memploting hasil akhir yang ditetapkan seperti pada gambar 6a dan 6b.



Gambar 6. (a)Apply Load and (b)Boundary condition

2) Proprocessing

Tahap kedua *Proprocessing stage* merupakan simulasi numerik (*computing*) dalam *running simulation* pada setiap tahapan yang menggunakan *software ansys*. Menurut Shigley's, secara teori perumusan dan menganalisa geometri struktur material memperhatikan nilai tegangan,

regangan dan deformasi dengan persamaan tegangan didefinisikan sebagai berikut;

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{1}$$

$$\sigma = \frac{mg}{A} \tag{2}$$

$$\sigma' \geq \frac{Sy}{\eta} \tag{3}$$

Keterangan, σ adalah tegangan (N/m^2), F adalah gaya (N), m adalah massa (kg), g adalah gravitasi (m/s^2) A merupakan luas satuan permukaan yang mengalami pembebanan (m^2), serta σ' adalah *tegangan Von Mises*, Sy merupakan *Tensile Yield Strength (MPa)*, dan η adalah *safety Factor* persamaan untuk regangan sebagai berikut;

$$\tag{4}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Dimana, ϵ adalah nilai regangan, ΔL adalah pertambahan panjang (defleksi), dan L adalah Panjang benda mula-mula. Untuk mengetahui nilai *safety factor* menggunakan persamaan sebagai berikut, serta nilai *safety factor* di atas 1.0 (untuk beban Statis *safety factor* antara 1,25 – 2) akan terhindar dari suatu kegagalan struktur.

$$\tag{5}$$

$$\eta \geq \frac{Sy}{\sigma'}$$

Dimana, η adalah *safety Factor* s , Sy merupakan *Tensile Yield Strength (Mpa)*, dan σ' adalah *tegangan Von Mises*. Berdasarkan diskripsi diatas penelitian ini bertujuan menganalisa *Displacement dan Von Misses Stress* dan kegagalan desain setiap pembebanan untuk tahap proses manufakturnya.

3) Post – Processing Stage

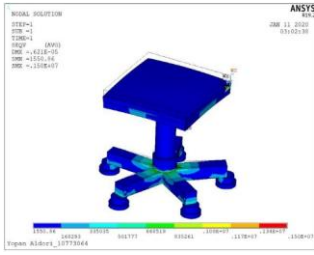
Sedangkan tahap ketiga *post-processing* merupakan hasil perhitungan dan analisa setelah tahap *processing stage* dengan data kualitatif yang menampilkan parameter analisis yaitu; *von misses stress, displacement, dan safety factor* [12][14][17].

3. Hasil dan Pembahasan

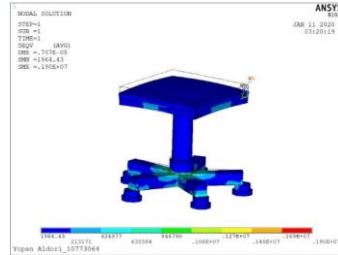
Hasil simulasi menunjukkan beberapa hasil antara lain *von misses stress, pergeseran (displacement)* serta *safety factor* terhadap variasi pembebanan statis pada desain kursi dengan menggambarkan secara keseluruhan tegangan yang terjadi dan bagaimana tegangan itu terdistribusikan [18], data hasil simulasi sebagai berikut;

3.1. Von-Mises Stress

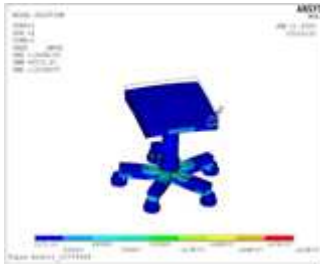
Hasil simulasi pengujian *von mises stress* dari variasi pembebanan dijabarkan dengan gambar 7,8,9,10,11, dan 12 serta pada tabel 3.



Gambar 7. Hasil Von Mises Stress Beban 75 kg.f



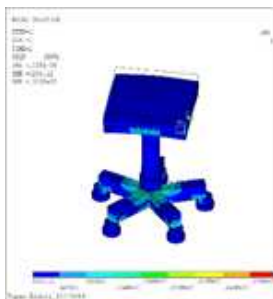
Gambar 8. Hasil Von Mises Stress Beban 95 kg.f



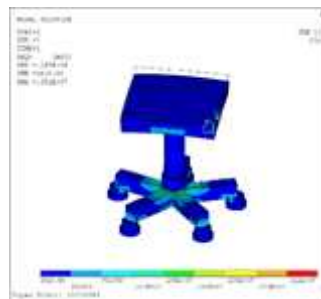
Gambar 9. Hasil Von Mises Stress Beban 115 kg.f



Gambar 10. Hasil Von Mises Stress Beban 135 kg.f



Gambar 11. Hasil Von Mises Stress Beban 155 kg.f

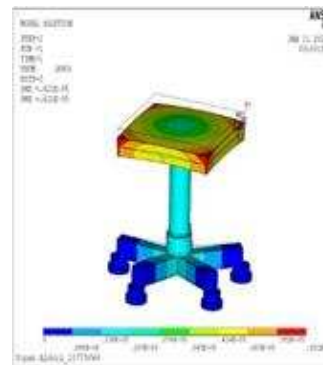


Gambar 12. Hasil Von Mises Stress Beban 175 kg.f

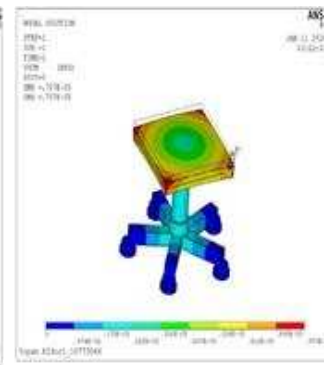
Gambar 13. Grafik Pembebanan vs Von Mises Stress
 Dari hasil analisis metode elemen hingga pada tabel 3 dan gambar 13 secara jelas menunjukkan hasil distribusi tegangan maksimum (*von misses stres*) yang terjadi akibat pembebanan yang diberikan pada desain kursi meningkat dengan bertambahnya gaya tekanan yang diberikan dan nilainya dapat dilihat pada tabel 3 hingga gambar grafik 13. Tegangan sebesar 3,5 MPa terjadi pada gaya tekanan 175 Kg.f, sedangkan nilai tegangan maksimum terendah yaitu 1,5 MPa terjadi pada tekanan 75 Kg.f. Hasil kondisi variasi gaya tekanan pada simulasi pengujian ini masih di bawah batas kekuatan luluh (*yield strength*) sehingga memiliki sifat elastis dan kondisi material tidak terjadi retakan (*crack*) di daerah tiang penyangga dan tumpuan kaki [18],[19].

3.2. Displacemat

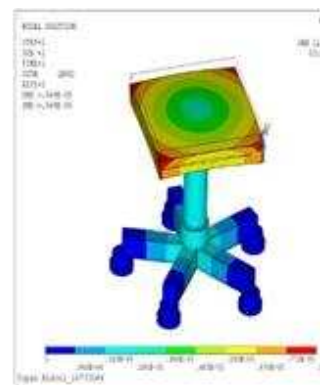
Displacement atau deformasi hasil simulasi dari analisa struktur dengan menggunakan metode elemen hingga ditunjukkan dengan gambar 14,15,16,17,18 dan 19 serta pada tabel 4.



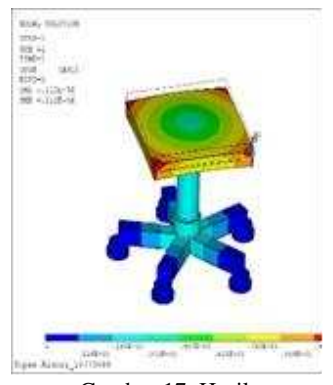
Gambar 14. Hasil Displacement Beban 75 kg.f



Gambar 15. Hasil Displacemat Beban 95 kg.f



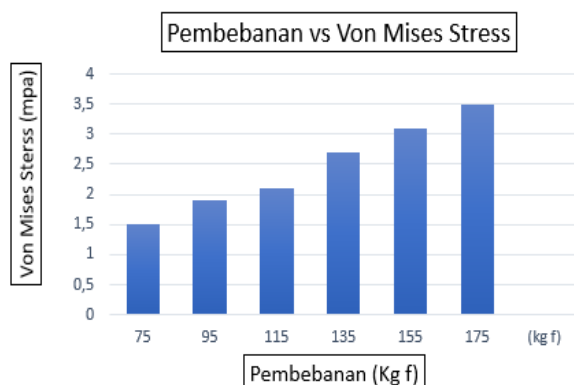
Gambar 16. Hasil Displacement Beban 115 kg.f

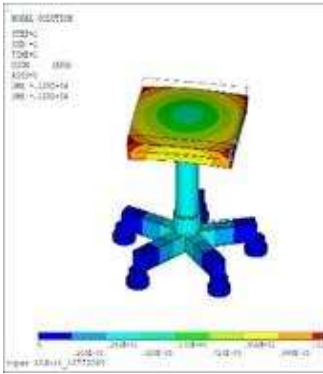


Gambar 17. Hasil Displacement Beban 135 kg.f

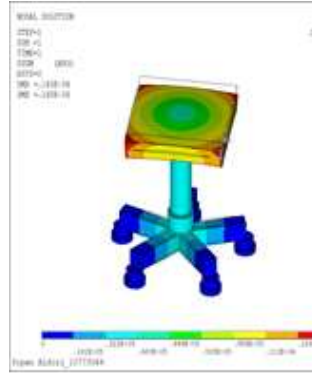
Tabel 3. Hasil simulasi Von Mises Stress

No.	Massa Force (Kg.f)	Applied presure (Pa)	Von Mises Stress (Mpa)
1	75	3629.63	1.5
2	95	4597.531	1.9
3	115	5565.432	2.1
4	135	6533.333	2.7
5	155	7501.235	3.1
6	175	8469.136	3.5





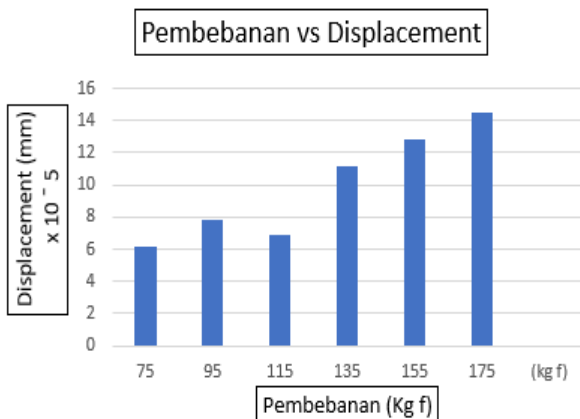
Gambar 18. Hasil displacement Beban 155 kg.f



Gambar 19. Hasil Displacement Beban 175 kg.f

Tabel 4. Hasil simulasi Displacement

No.	Massa Force(Kg.f)	Applied pressure (Pa)	Displacement (mm)
1	75	3629.63	0.621×10^{-5}
2	95	4597.531	0.787×10^{-5}
3	115	5565.432	0.869×10^{-5}
4	135	6533.333	0.112×10^{-4}
5	155	7501.235	0.128×10^{-4}
6	175	8469.136	0.145×10^{-4}



Gambar 20. Pembinaan vs Displacement

Sementara hasil data pergeseran (*displacement*) desain kursi dapat dilihat pada tabel 4 dan gambar 20, hasil simulasi menunjukkan meningkatnya pembebanan yang diterapkan berdampak meningkatnya deformasi yang terjadi pada desain kursi, akan tetapi hasil deformasi bernilai kecil dan masih berada posisi standar minimum *safety factor* untuk jenis beban statis sehingga tidak merusak struktur geometri [12],[14],[17]. Disamping itu nilai deformasi akan dipengaruhi oleh modulus elastisitas material. Jika nilai modulus elastisitas material tinggi akan menyebabkan deformasi yang lebih kecil, sebaliknya nilai modulus elastisitas material rendah akan menyebabkan deformasi yang lebih besar [19],[20]. Dari tabel 4 dan gambar 20 menunjukkan nilai deformasi sebesar 0.145×10^{-4} mm terjadi pada tekanan 175 Kg.f, sedangkan nilai deformasi terendah yaitu 0.621×10^{-5} terjadi pada tekanan 75 Kg.f.

3.3. Safety Factor

Selanjutnya, analisis faktor keamanan dilakukan untuk menentukan kelayakan dan tingkat keamanan rangka kursi. Analisis menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang dihasilkan masih di bawah tegangan luluh dan deformasi pada material masih kecil dalam kondisi elastis sehingga kegagalan struktur tidak akan terjadi. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya dimana *safety factor* dipengaruhi oleh tegangan luluh, jika semakin besar nilai tegangan luluh material maka nilai *safety factor* yang didapat akan semakin besar yang berarti keadaan aman, dan sebaliknya semakin kecil nilai tegangan luluh material maka nilai *safety factor* juga akan semakin kecil yang mengakibatkan kegagalan struktur [19].

4. Kesimpulan

Hasil penelitian yang telah melalui proses analisis *Finite Element method* (FEM) menunjukkan distribusi tegangan maksimum (*von misses stres*) yang terjadi akibat pembebanan pada desain kursi semakin meningkat seiring dengan gaya tekanan yang diberikan. Nilai tegangan maksimum tertinggi adalah 3,5 MPa pada tekanan 175 Kg.f, sedangkan nilai tegangan maksimum terendah adalah 1,5 MPa pada tekanan 75 Kg.f. serta nilai deformasi sebesar 0.145×10^{-4} mm terjadi pada tekanan 175 Kg.f, sedangkan nilai deformasi terendah yaitu 0.621×10^{-5} terjadi pada tekanan 75 Kg.f. Analisis kelayakan dan tingkat keamanan rangka kursi terjaga, disebabkan tegangan maksimum yang dihasilkan masih di bawah tegangan luluh dan deformasi pada material masih kecil dalam kondisi elastis dan masih berada posisi standar minimum *safety factor* untuk jenis beban statis sehingga kegagalan struktur geometri tidak akan terjadi.

Ucapan Terimakasih

Dengan terselesainya penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada *Member of the Precision Engineering Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Chung Yuan Cristian University (CYCU), Taiwan*, dan teman-teman sejawat (dosen) atas dukungan serta bantuannya selama proses pengambilan data.

Daftar Pustaka

- [1] D.Romahadi, N. Ruhyat, and L. B. D. Dorion, "Condensor design analysis with Kays and London surface dimensions," *SINERGI*, vol. 24, pp. 81–86, 2020, doi:10.22441/sinergi.2020.2.001."
- [2] Z. Y. WANG., "Design of Desk and Chair for Middle School Students Based on Ergonomics Packaging Engineering", volume 41(14), pp.188-192, 2020.
- [3] Prasetyo, A. B., Kartinasari A. S., Sigiet H. O., dan Sutrisna, "Desain dan Analisis Pengaruh Variasi Gaya Tekan pada Allen Key menggunakan Metode Finite Element Analysis", *SJME KINEMATIKA*, vol. 7, no. 1, pp. 39-52, 2022.
- [4] Himarosa, R. A., "Design, Frame Analysis and Manufacture of Handcycle Prototype". In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1471, No. 1, p. 012058), 2020. IOP Publishing.
- [5] L. YUAN, P.B. LI., "Research on Ergonomic

- Dimension and User Experience of Desks and Chairs in Colleges”[J]. *Packaging Engineering*, vol.41, no.12, pp150-156, 2020.
- [6] Patel, P., Patel, T., “Ergonomic modification in study bench with validation through RULA method and EEA”. *Int. J. Res. Dev. Technol.* Vol.5 ,no.5, pp112–115, (2016).
- [7] W. XU, D. WEI, Z. H. WU, et al. “Study on Mechanical Testing Methods of Static Load of Rattan Chairs [J]”. *WOOD PROCESSING MACHINERY*, 2008, 19(6), 15-18.
- [8] Angger B.P ,et al., “Desain dan Analisis pengaruh Variasi Gaya Tekan Pada Allen Key Menggunakan Metode Finite Element Analisis”, *SJME KINEMATIKA* Vol.7 No.1, 30 Juni 2022, pp 39-52.
- [9] Hutton, D. V. (2004), “Fundamental Finite Element Analysis. McGraw-Hill”..
- [10] Anggara F., D. Romahadi, A. L. Avicenna, and Y. H. Irawan, “Numerical analysis of the vortex flow effect on the thermal-hydraulic performance of spray dryer,” *SINERGI*, vol. 26, no. 1, pp. 23–30, Feb. 2022, doi: 10.22441/SINERGI.2022.1.004.
- [11] Li, S., & Hu, W. “ Study on Mechanical Strength of Cantilever Handrail Joints for Chair”. *Bioresources*, vol.18, no.1, 2023.
- [12] Saputra, G. J., & Romahadi, D. (2023), “Analisis Komparasi Kekuatan Geometri Desain Rusuk Penguat pada Kursi Plastik menggunakan Computer Aided Engineering”. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol.12, No.1 ,2023. <https://doi.org/10.22441/jtm.v12i1.16503>
- [13] Koua, H., Zhangb, X., Chenc, X., Liud, J., & Diaoe, D., “ The Mechanical Analysis of University Chairs based on Body Pressure Distribution”. *International Core Journal of Engineering*, vol. 8, no.11, pp 84-100, 2022.
- [14] Ceylan, E., Güray, E., & Kasal, A., “ Structural analyses of wooden chairs by finite element method (FEM) and assessment of the cyclic loading performance in comparison with allowable design loads. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 23, 1–16, 2021. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2021000100419>
- [15] Song, L., Yu, M., & Sun, D., “ Structural design and experimental verification of a thin-walled plastic chair based on the finite element method”. *Scientific Reports*,14,22285,2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73499-1>
- [16] Kudus, S. I. A., Xiong, N., Othman, M. M., Nor, M. K. M., & Ariadi, Y., “Finite element analysis of a walkable chair design for surgeons”. In *Proceedings of the 7th International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials (ICE-SEAM 2021)* (pp. 307–313), 2022. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3179-6_57.
- [17] Nitesh Pandey, et al. “Finite Element Analysis of Mechanical Chair”, *Journal of Advanced Research in Mechanical Engineering and Technology* Volume 10, Issue 3&4 - 2023, Pg. No. 18-27.
- [18] [18] Saputra, E. B., Zohari, A., Andriansyah, & Sulisty, W. B., “The Analysis Static of Chassis Robot Arm as Design Modification Induction Melting Furnace Machine Using FEA Method”. *Journal of Renewable Energy and Mechanics*, vol.6, no.02, pp85–98.,2023, <https://doi.org/10.25299/rem.2023.vol6.no02.14344>
- [19] Zakhratul Khaira. “Analisis Statik Pengaruh Variasi Material Rangka kursi Roda Hewan Lipat Menggunakan Metode Elemen Hingga”, *Jurnal Ilmiah Tenologi dan Rekayasa* vol.2, no.1, 2023, doi: <http://dx.doi.org/10.35760/tr.2023.v28i1>.
- [20] Rahmat et al. “Analisis Simulasi Pembebanan Statis terhadap Sambungan Dowel pada Produk Curved Feet Stool”, *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi* Vol. 23No.2, pp179-1892024, <https://doi.org/10.35760/dk.2024.v23i2.11820>