ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR ARM CHAIR PRODUKSI INDUSTRI FURNITUR MENGGUNAKAN METODE FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA)

Wahyu Widiyanto [1], Agung Ari Purwanto [1], Soleh Muhamad [1], Nurmadina [1], Dhian Juwita [1]

[1] Program Studi Teknik Produksi Furnitur, Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu

Jl. Wanamarta No. 20 KIK Kendal, 51371

wahyu.widiyanto@poltek-furnitur.ac.id [1]

Abstrak

Analisis kekuatan struktural merupakan aspek penting dalam pengembangan produk furnitur, khususnya pada arm chair yang menerima pembebanan statis selama penggunaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja struktural arm chair berbahan kayu jati menggunakan metode *finite element analysis* (FEA). Material dimodelkan secara ortotropik untuk merepresentasikan perilaku anisotropik kayu secara lebih realistis. Pembebanan mengacu pada standar EN 12520, yaitu 1300 N pada dudukan dan 450 N pada sandaran. Validasi numerik dilakukan melalui uji konvergensi mesh untuk memastikan independensi hasil terhadap ukuran elemen. Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada kisaran ±5 MPa dan terlokalisasi pada area sambungan struktur. Deformasi maksimum tercatat sebesar ±1,51 mm, sedangkan faktor keamanan minimum berada pada rentang 6,09–6,35. Seluruh parameter menunjukkan deviasi di bawah 5% pada uji konvergensi mesh, yang menandakan hasil simulasi telah stabil dan reliabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur kursi berada dalam kondisi aman terhadap pembebanan yang diberikan. Selain itu, distribusi tegangan yang relatif rendah pada sebagian besar komponen mengindikasikan adanya potensi optimasi desain untuk meningkatkan efisiensi material tanpa mengurangi tingkat keamanan struktur.

Kata kunci : FEA, *arm chair*, kayu jati, analisis struktur.

Abstract

Structural strength analysis is a critical aspect in furniture product development, particularly for armchairs subjected to static loading during use. This study aims to evaluate the structural performance of a teak wood armchair using the Finite Element Analysis (FEA) method. The material was modeled as orthotropic to accurately represent the anisotropic behavior of wood. The loading conditions were defined based on the EN 12520, applying 1300 N on the seat and 450 N on the backrest. Numerical validation was conducted through mesh convergence analysis to ensure solution independence from element size. The results indicate that the maximum stress is approximately 5 MPa, primarily concentrated at the joint regions. The maximum displacement is about 1.51 mm, while the minimum safety factor ranges from 6.09 to 6.35. All parameters exhibit deviations below 5% in the mesh convergence test, confirming the stability and reliability of the simulation results.These findings demonstrate that the chair structure is structurally safe under the applied loading conditions. Moreover, the relatively low stress distribution across most components suggests potential design optimization to improve material efficiency without compromising structural safety.

Key words : *FEA, arm chair, teak wood, structure analysis.*

PENDAHULUAN

Proses Perkembangan industri furnitur menuntut produk yang tidak hanya unggul secara estetika dan ergonomi, tetapi juga memenuhi aspek kekuatan dan keamanan struktural. *Arm chair*, sebagai salah satu produk furnitur utama, menerima pembebanan kompleks terutama pada area dudukan dan sandaran tangan sehingga memerlukan evaluasi rekayasa desain yang memadai. *Arm chair* produk dari CV Riverina merupakan produk furnitur lokal berkualitas yang diekspor ke Amerika, namun hingga saat ini belum dilakukan analisis numerik secara komprehensif terhadap kekuatan strukturnya pada kondisi pembebanan statis. Oleh karena itu, diperlukan kajian analitis untuk mengevaluasi performa struktural kursi sebagai dasar pengembangan desain yang aman dan andal.

Evaluasi kekuatan struktural secara konvensional membutuhkan pengujian fisik yang memerlukan waktu, biaya, dan sumber daya yang besar. Sebagai alternatif, *finite element analysis* (FEA) hadir sebagai pendekatan simulatif yang

efektif dan efisien dalam menganalisis tegangan, deformasi, dan distribusi beban pada produk [1]. FEA memungkinkan identifikasi titik kritis pada struktur kursi sebelum diproduksi massal, sehingga potensi kegagalan dapat diminimalkan di tahap awal desain [2].

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pendekatan FEA sangat efektif dalam mengevaluasi produk furnitur. Misalnya, Hitka dkk (2022) mengevaluasi pengaruh peningkatan massa tubuh pengguna terhadap pembebanan struktural pada elemen kursi kayu menggunakan *software* ANSYS. Model 3D yang dibangun memperhitungkan sifat ortotropik dari material kayu [3]. Demikian pula, studi oleh Rahmat et al. (2024) menegaskan pentingnya pemilihan sambungan dan konfigurasi struktur dalam mendistribusikan tegangan secara merata [4].

Penelitian ini menekankan pentingnya simulasi pembebanan untuk mengevaluasi kemampuan struktur *arm chair* dalam menahan beban pengguna serta mengidentifikasi potensi titik lemah sebelum produksi. Metode *finite element analysis* (FEA) digunakan karena telah terbukti efektif dalam berbagai penelitian sebelumnya untuk menganalisis perilaku struktural furnitur kayu, baik pada aspek distribusi tegangan, deformasi, sambungan mortise and tenon, maupun optimasi desain.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa metode *finite element analysis* (FEA) efektif dalam menganalisis kekuatan dan perilaku struktural furnitur. Smardzewski (2008) membuktikan bahwa jenis kayu dan modulus elastisitas perekat berpengaruh signifikan terhadap distribusi tegangan dan deformasi pada sambungan mortise and tenon [5], sementara Tankut dkk. (2014) menegaskan kemampuan FEA dalam merepresentasikan karakteristik mekanis kayu sebagai material ortotropik pada kondisi pembebanan realistis [6]. Pendekatan serupa juga diterapkan oleh Al Hakim (2020) pada kursi plastik, yang menunjukkan bahwa FEA tidak hanya berguna untuk evaluasi kekuatan, tetapi juga untuk optimasi desain dan efisiensi material [7]. Secara eksperimental, Ceylan dkk. (2021) menemukan bahwa tipe sambungan dan arah pembebanan sangat memengaruhi kekakuan dan ketahanan struktur furnitur kayu [8]. Meskipun berbagai penelitian telah menerapkan FEA untuk menganalisis struktur furnitur, sebagian besar studi berfokus pada model eksperimen laboratorium atau furnitur berbahan komposit dan plastik. Kajian yang secara khusus mengevaluasi *arm chair* berbahan kayu jati dengan konfigurasi sambungan mortise-and-tenon pada produk industri furnitur lokal masih sangat terbatas. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang menganalisis performa struktural produk furnitur industri menggunakan pendekatan simulasi numerik untuk memperoleh gambaran distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan struktur.

Kayu jati (*Tectona grandis*) banyak digunakan pada furnitur struktural karena memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, stabilitas dimensi yang baik, serta ketahanan terhadap degradasi biologis. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kayu jati memiliki nilai modulus elastisitas dan modulus patah yang tinggi, serta kekuatan tekan dan geser sejajar serat yang memadai untuk menahan beban lentur pada struktur furnitur [9]; [10]. Selain itu, stabilitas dimensional kayu jati yang baik menjadikannya material yang sesuai untuk aplikasi *arm chair* dan penting untuk dimodelkan secara akurat dalam simulasi numerik berbasis *finite element analysis*.

Sambungan mortise-and-tenon merupakan teknik konstruksi yang umum digunakan pada furnitur kayu seperti *arm chair* karena kemampuannya dalam menahan beban dan menjaga kestabilan struktur jangka panjang. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pendekatan *finite element analysis* (FEA) efektif dalam memodelkan perilaku mekanis sambungan ini, termasuk pengaruh ketebalan garis lem, koefisien gesekan, dan dimensi tenon terhadap kapasitas lentur dan kekakuan sambungan. Hu dkk. (2019) dan Hu & Liu (2020) membuktikan bahwa hasil simulasi FEA memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap data eksperimen, dengan rasio validitas di atas 85 %, sehingga metode ini dapat diandalkan untuk memprediksi kekuatan dan kinerja struktural sambungan mortise-and-tenon [11]; [12]. Temuan tersebut memperkuat relevansi penggunaan FEA dalam analisis sambungan kursi kayu sebagai bagian kritis dari struktur yang menerima beban lentur dan tarik selama penggunaan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan struktural *arm chair* berbahan kayu jati produksi industri furnitur menggunakan metode *finite element analysis* (FEA). Analisis difokuskan pada evaluasi distribusi tegangan, deformasi maksimum, serta faktor keamanan struktur kursi pada kondisi pembebanan statis yang merepresentasikan beban pengguna. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar rekayasa dalam evaluasi desain furnitur serta menjadi referensi dalam pengembangan produk kursi yang lebih aman, andal, dan efisien secara struktural.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya menerapkan FEA secara konvensional, penelitian ini mengintegrasikan tiga aspek utama untuk meningkatkan kualitas analisis. Pertama, penggunaan model material ortotropik

berbasis arah serat untuk merepresentasikan perilaku anisotropik kayu jati secara lebih realistis. Kedua, penerapan validasi numerik melalui uji konvergensi mesh guna memastikan keandalan dan stabilitas hasil simulasi. Ketiga, penggunaan kondisi pembebanan yang mengacu pada standar internasional EN 12520 sehingga meningkatkan validitas pendekatan yang digunakan.

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis rekayasa dengan memanfaatkan simulasi numerik menggunakan metode *finite element analysis* (FEA). Metode ini digunakan untuk mengevaluasi kekuatan struktural *arm chair* melalui analisis distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan akibat pembebanan statis. Pendekatan FEA dipilih karena mampu memprediksi perilaku mekanik struktur secara numerik sebelum dilakukan pengujian fisik. Dengan metode ini, distribusi tegangan pada setiap bagian struktur kursi dapat dianalisis secara detail sehingga area kritis yang berpotensi mengalami kegagalan dapat diidentifikasi sejak tahap desain.

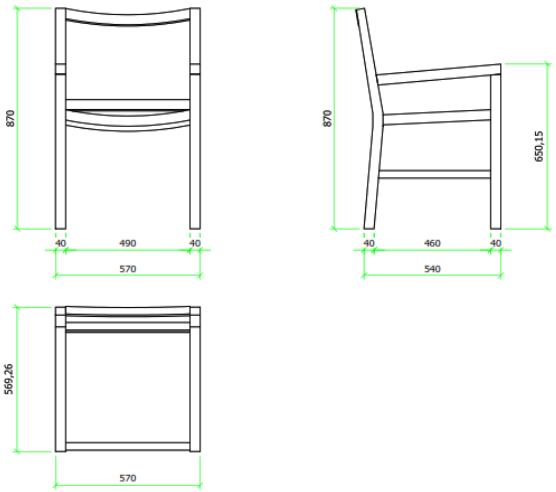
Objek Penelitian

Objek penelitian dalam studi ini adalah *arm chair* berbahan kayu jati produksi CV Riverina, yang merupakan salah satu produk furnitur yang diproduksi untuk pasar ekspor. Kursi ini memiliki struktur utama yang terdiri dari komponen dudukan, sandaran, kaki depan, kaki belakang, dan sandaran tangan.



Gambar 1 *Arm chair* [13]

Konstruksi kursi menggunakan sistem sambungan mortise and tenon yang umum digunakan pada furnitur kayu karena memiliki kekuatan mekanik yang baik dalam menahan beban lentur dan gaya tarik pada struktur kursi.



Gambar 2 Model Arm Chair

Model kursi direkonstruksi dalam bentuk model tiga dimensi (3D) menggunakan perangkat lunak CAD berdasarkan dimensi aktual produk untuk keperluan simulasi numerik.

Properti Material

Material utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu jati (Tectona grandis). Dalam simulasi elemen hingga, material kayu dimodelkan dengan memasukkan parameter sifat mekanik yang meliputi:

Tabel 1. Properti Material kayu jati (*Tectona grandis*) untuk simulasi FEA [14]

Parameter	Nilai	Satuan
Density	636	kg/m³
Young's Modulus X (Longitudinal)	11,515	Mpa
Young's Modulus Y (Radial)	1,200	Mpa
Young's Modulus Z (Tangential)	800	Mpa
Poisson's Ratio XY	0.01	-
Poisson's Ratio YZ	0.35	-
Poisson's Ratio ZX	0.02	-
Shear Modulus XY	903	Mpa
Shear Modulus YZ	3,000	Mpa
Shear Modulus ZX	703	Mpa
Bending Strength (MOR)	118	Mpa
Compression Parallel to Grain	41	Mpa
Compression Perpendicular to Grain	11.5	Mpa
Shear Parallel to Grain	8.8	Mpa
Tensile Strength (axial)	118	Mpa
Tensile Strength (perpendicular)	4.1	MPa

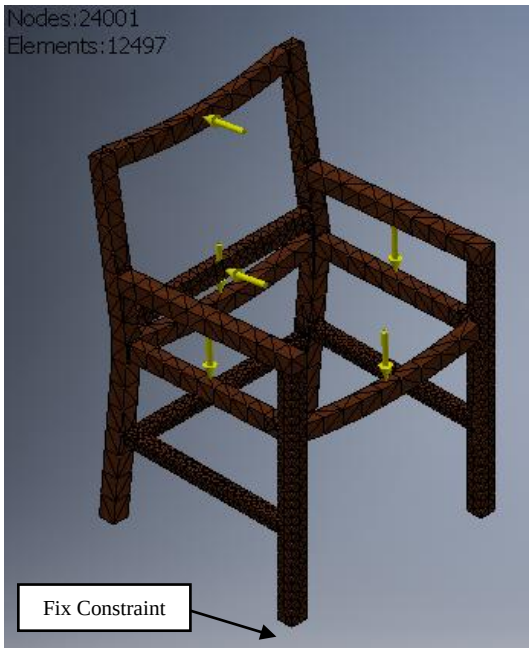
Pemodelan material ortotropik ini memungkinkan simulasi untuk menangkap perilaku mekanik kayu yang anisotropik, sehingga hasil analisis tegangan dan deformasi menjadi lebih

representatif dibandingkan dengan pendekatan material isotropik.

Variasi Pemodelan Elemen Hingga

Simulasi struktural dilakukan menggunakan metode *finite element analysis* (FEA) dengan bantuan perangkat lunak Autodesk Inventor Professional. Model geometri kursi dibagi menjadi elemen-elemen kecil melaluin proses meshing untuk mempermudah perhitungan numerik pada struktur yang kompleks.

Uji konvergensi mesh dilakukan untuk memastikan bahwa hasil simulasi tidak bergantung pada ukuran mesh yang digunakan. Variasi mesh dibuat dengan mengubah parameter average element size, sedangkan parameter lainnya seperti minimum element size, grading factor, dan maximum turn angle dijaga konstan untuk menjaga konsistensi kondisi simulasi.



Gambar 3 Pemodelan dan Mesh

Nilai tegangan maksimum diamati pada setiap variasi mesh untuk mengevaluasi kestabilan hasil. Rincian variasi mesh yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Variasi Mesh dan Jumlah Elelmen

Variasi Mesh	Average Element Size	Jumlah Elemen	Jumlah Node
Mesh Kasar	0.050	12,176	23,728
Mesh Sedang	0.037	19,231	36,194
Mesh Halus	0.020	26,174	47,875

Hasil menunjukkan bahwa jumlah elemen meningkat secara signifikan seiring dengan pengecilan average element size. Hal ini menunjukkan bahwa perangkat lunak melakukan penyesuaian mesh secara adaptif terhadap kompleksitas geometri model.

Evaluasi konvergensi dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan maksimum pada setiap variasi mesh. Apabila perbedaan nilai tegangan antar variasi mesh berada di bawah ambang batas 5%, maka hasil simulasi dapat dianggap telah mencapai kondisi independensi mesh (*mesh independence*).

Kondisi Batas dan Pembebanan

Untuk mensimulasikan kondisi penggunaan kursi, beberapa kondisi batas diterapkan pada model simulasi. Seperti diperlihatkan pada gambar 3, bagian kaki kursi yang bersentuhan dengan permukaan lantai diberikan kondisi *fixed constraint*, yang merepresentasikan posisi kursi saat digunakan oleh pengguna.

Pembebanan dalam penelitian ini tidak ditentukan secara asumtif, melainkan mengacu pada standar internasional EN 12520 yang mengatur persyaratan kekuatan dan ketahanan furnitur tempat duduk untuk penggunaan domestik.

Berdasarkan standar tersebut, pembebanan statis diberikan pada dua area utama, yaitu:

- Beban vertikal pada dudukan sebesar 1300 N
- Beban horizontal pada sandaran sebesar 450 N

Pembebanan ini diterapkan secara simultan untuk mensimulasikan kondisi penggunaan aktual yang lebih realistis.

Sambungan menggunakan lem (*adhesive bonding*) secara mekanis berfungsi sebagai penghubung struktural yang mampu mentransfer tegangan geser dan normal antar komponen. Dalam analisis elemen hingga (FEA), kondisi ini direpresentasikan sebagai *bonded contact*, di mana tidak terjadi pemisahan maupun pergeseran relatif antar permukaan yang terhubung. Pendekatan ini sesuai dengan karakteristik *adhesively bonded joints* yang bekerja sebagai sistem kontinu selama tidak terjadi kegagalan material [15]; [16].

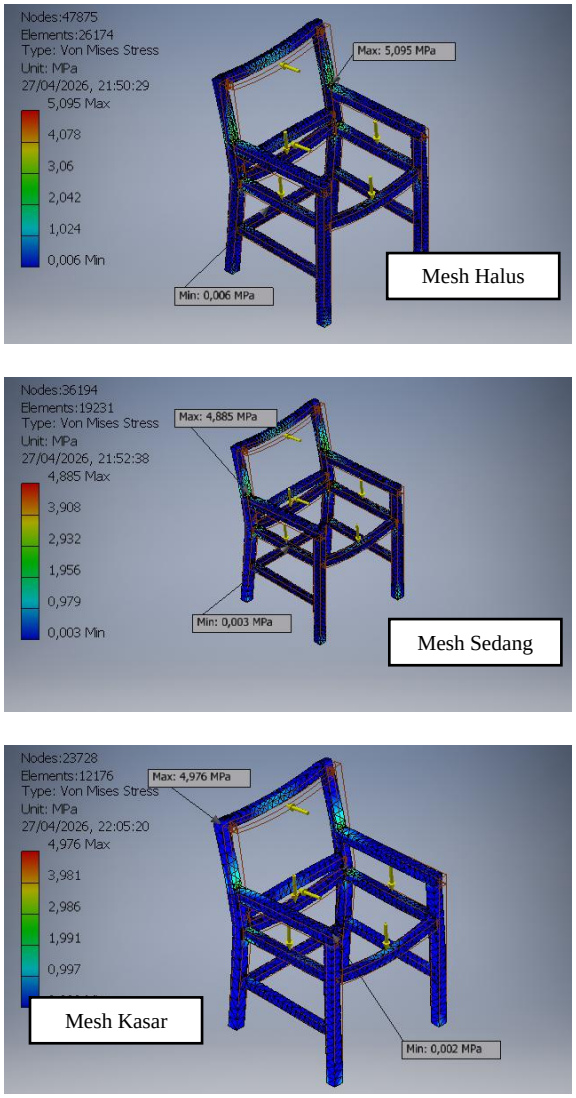
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Distribusi Tegangan dan Konvergensi Mesh

Hasil simulasi menunjukkan distribusi tegangan pada seluruh struktur kursi akibat pembebanan statis yang mengacu pada standar EN 12520, yaitu beban sebesar 1300 N pada dudukan dan 450 N pada sandaran. Analisis tegangan

dilakukan menggunakan kriteria *von Mises stress*, yang umum digunakan dalam analisis struktural untuk mengevaluasi potensi kegagalan material akibat kombinasi tegangan multiaksial.

Untuk memastikan keandalan hasil simulasi, analisis dilakukan dengan tiga variasi tingkat mesh, yaitu mesh halus, mesh sedang, dan mesh kasar (Gambar 4). Variasi ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh ukuran elemen terhadap distribusi tegangan yang dihasilkan.



Gambar 4 Distribusi Tegangan

Berdasarkan hasil simulasi, nilai tegangan maksimum (*maximum von Mises stress*) yang terjadi pada struktur kursi berada pada kisaran ±5 MPa. Tegangan maksimum tersebut terlokalisasi pada sambungan antara bagian sandaran badan dan sandaran lengan pada rangka kursi. Area ini merupakan komponen struktural kritis yang berfungsi sebagai jalur utama transfer beban dari permukaan dudukan menuju sandaran, sehingga mengalami konsentrasi tegangan yang relatif lebih tinggi dibandingkan bagian struktur lainnya.

Selain itu, pola distribusi tegangan yang dihasilkan pada ketiga variasi mesh menunjukkan kecenderungan yang konsisten. Tegangan tinggi terkonsentrasi pada area sambungan dan rangka utama, sedangkan bagian lain seperti kaki dan sandaran mengalami tegangan yang lebih rendah. Konsistensi ini mengindikasikan bahwa model memiliki stabilitas yang baik dalam memprediksi lokasi konsentrasi tegangan.

Untuk memverifikasi bahwa hasil simulasi tidak dipengaruhi oleh ukuran mesh, dilakukan uji konvergensi mesh (*mesh convergence*). Variasi mesh dilakukan dengan mengubah parameter average element size menjadi tiga tingkat, yaitu mesh kasar, sedang, dan halus, sementara parameter lainnya dijaga konstan. Hasil uji konvergensi mesh disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Uji Konvergensi Mesh

Variasi Mesh	Jumlah Elemen	Jumlah Node	Tegangan Maksimum (MPa)
Kasar	12.176	23.728	4,976
Sedang	19.231	36.194	4,885
Halus	26.174	47.875	5,095

Perhitungan konvergensi (%)

- Kasar – sedang :

$$\frac{4.885-4.976}{4.976} \times 100\% = -1.83\% \quad \text{.....(1)}$$

- Sedang – halus :

$$\frac{5095-4.885}{4.885} \times 100\% = 4.30\% \quad \text{.....(2)}$$

- Kasar – halus :

$$\frac{5.095-4.976}{4.976} \times 100\% = 2.39\% \quad \text{.....(3)}$$

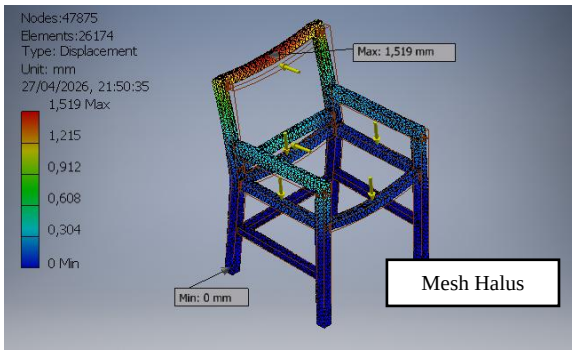
Perubahan nilai tegangan maksimum dari mesh kasar ke mesh sedang sebesar 1,83%, sedangkan dari mesh sedang ke mesh halus sebesar 4,30%. Sementara itu, selisih antara mesh kasar dan mesh halus sebesar 2,39%. Seluruh nilai perubahan tersebut berada di bawah ambang batas 5%, yang menunjukkan bahwa hasil simulasi telah mencapai kondisi konvergen.

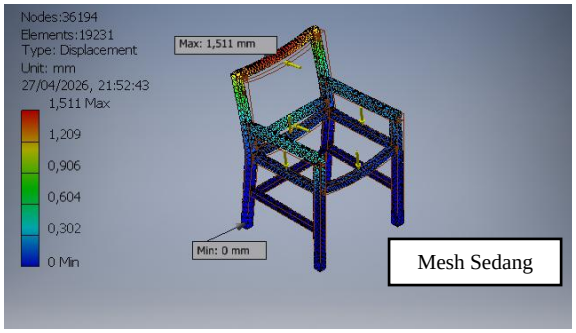
Meskipun terdapat fluktuasi kecil pada nilai tegangan maksimum, tren hasil menunjukkan bahwa nilai tegangan telah stabil dan tidak mengalami perubahan signifikan seiring dengan peningkatan jumlah elemen. Hal ini mengindikasikan bahwa model telah memenuhi kriteria independensi mesh (mesh independence), sehingga hasil simulasi dapat dianggap akurat dan tidak dipengaruhi secara signifikan oleh ukuran mesh.

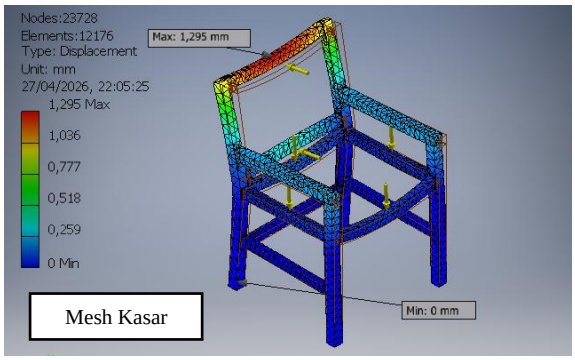
Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa konsentrasi tegangan pada struktur furnitur kayu umumnya terjadi pada area sambungan dan rangka dudukan, karena bagian tersebut berperan sebagai jalur utama transfer beban dari pengguna menuju elemen penopang kursi. Studi Matwiej (2025) menunjukkan bahwa analisis Finite Element pada rangka furnitur kayu secara konsisten mengidentifikasi area sambungan sebagai lokasi kritis distribusi tegangan dan deformasi [17]. Selain itu, penelitian terkini pada struktur kursi kayu juga menunjukkan bahwa tegangan maksimum cenderung terlokalisasi pada daerah sambungan, khususnya pada elemen yang berfungsi sebagai penghubung antar komponen structural [18].

Analisis Deformasi dan Konvergensi Mesh

Selain analisis distribusi tegangan, evaluasi kinerja struktural kursi juga dilakukan melalui analisis deformasi total (*total deformation*) akibat pembebanan statis. Parameter ini penting untuk menilai tingkat kekakuan (*stiffness*) struktur serta kenyamanan dan keamanan penggunaan produk furnitur. Pembebanan yang digunakan mengacu pada standar EN 12520, yaitu beban sebesar 1300 N pada dudukan dan 450 N pada sandaran.







Gambar 5 Deformasi Struktur

Hasil simulasi menunjukkan bahwa deformasi maksimum terjadi pada bagian sandaran atas kursi, khususnya pada elemen rangka sandaran yang tidak memiliki penopang langsung. Kondisi ini konsisten secara mekanis, dimana bagian tersebut mengalami momen lentur terbesar akibat kombinasi beban dari dudukan dan sandaran. Sementara itu, bagian kaki dan rangka bawah menunjukkan deformasi yang relatif kecil karena berfungsi sebagai tumpuan utama dengan kekakuan yang lebih tinggi.

Untuk memastikan keandalan hasil deformasi, dilakukan uji konvergensi mesh dengan tiga variasi jumlah elemen, yaitu mesh kasar, sedang, dan halus, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.

Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh nilai deformasi maksimum sebagai berikut:

- Mesh kasar (12.176 elemen): 1,295 mm
- Mesh sedang (19.231 elemen): 1,511 mm
- Mesh halus (26.174 elemen): 1,519 mm

Hasil ini menunjukkan bahwa deformasi maksimum meningkat seiring dengan peningkatan jumlah elemen, yang mengindikasikan bahwa mesh yang lebih halus mampu menangkap respons deformasi struktur secara lebih akurat, terutama pada area dengan gradien tegangan tinggi.

Hasil uji konvergensi menunjukkan bahwa selisih deformasi antara mesh sedang dan mesh halus hanya sebesar 0,53%, sedangkan perbedaan antara mesh kasar dengan mesh lainnya cukup signifikan (>16%). Hal ini mengindikasikan bahwa mesh kasar belum mampu merepresentasikan respons deformasi secara akurat, sementara mesh sedang sudah cukup mendekati kondisi konvergen.

Analisis *Safety factor* dan Konvergensi Mesh

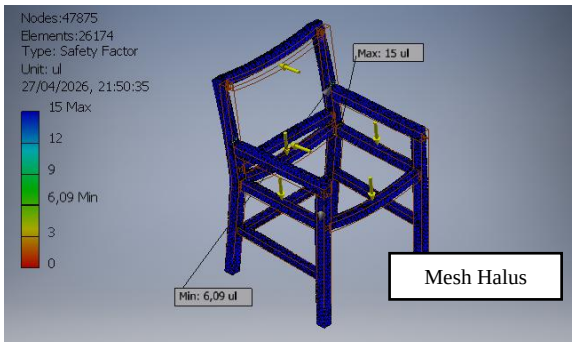
Selain distribusi tegangan, evaluasi kinerja struktur juga dilakukan menggunakan parameter *safety factor* (SF) untuk menilai tingkat keamanan struktur terhadap potensi kegagalan. Nilai *safety factor* diperoleh berdasarkan perbandingan antara kekuatan material dengan tegangan kerja (*von Mises stress*) yang terjadi pada struktur.

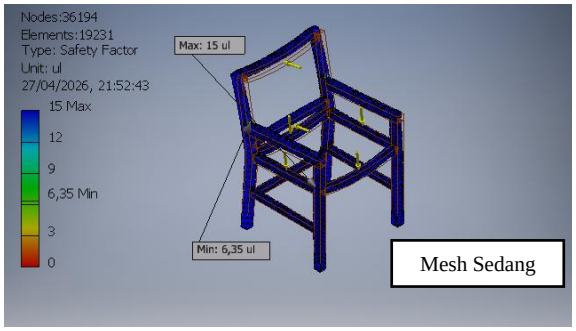
Nilai *safety factor* minimum yang diperoleh pada masing-masing variasi mesh adalah sebagai berikut:

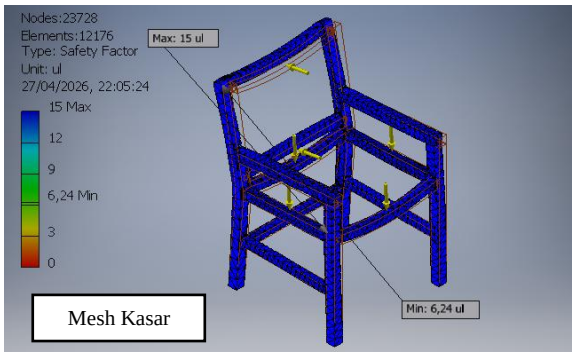
- Mesh kasar: SF_min = 6,24
- Mesh sedang: SF_min = 6,35
- Mesh halus: SF_min = 6,09

Nilai *safety factor* minimum tersebut terlokalisasi pada area yang sama dengan tegangan maksimum, yaitu pada sambungan antara sandaran badan dan sandaran lengan. Hal ini menunjukkan konsistensi antara hasil analisis tegangan dan *safety factor*, di mana daerah dengan konsentrasi tegangan tertinggi secara langsung menjadi lokasi kritis terhadap potensi kegagalan struktur.

Pola distribusi *safety factor* pada ketiga variasi mesh juga menunjukkan kecenderungan yang serupa dengan distribusi tegangan. Nilai *safety factor* rendah terkonsentrasi pada area sambungan dan rangka utama, sedangkan bagian lain seperti kaki dan sandaran memiliki nilai *safety factor* yang tinggi. Konsistensi ini mengindikasikan bahwa model memiliki stabilitas yang baik dalam memprediksi tingkat keamanan struktur.







Gambar 6 *Safety factor*

Untuk memastikan bahwa hasil *safety factor* tidak dipengaruhi oleh ukuran mesh, dilakukan evaluasi konvergensi dengan membandingkan nilai minimum *safety factor* pada setiap variasi mesh. Selisih antara mesh halus dan sedang sebesar ±4,3%, sedangkan antara mesh halus dan kasar sebesar ±2,5%. Nilai deviasi ini relatif kecil dan masih berada dalam batas toleransi (<5%), sehingga menunjukkan bahwa hasil telah mencapai kondisi *mesh convergence*.

Mesh halus menghasilkan nilai *safety factor* minimum yang paling rendah, yang menunjukkan bahwa mesh dengan kerapatan lebih tinggi mampu menangkap konsentrasi tegangan secara lebih akurat. Hal ini sejalan dengan hasil analisis distribusi tegangan sebelumnya, di mana peningkatan jumlah elemen memberikan representasi gradien tegangan yang lebih detail, khususnya pada area sambungan.

Secara keseluruhan, nilai *safety factor* minimum yang berada pada rentang 6,09–6,35 menunjukkan bahwa struktur memiliki tingkat keamanan yang tinggi terhadap pembebanan yang diberikan. Nilai ini jauh di atas batas minimum (SF = 1), sehingga struktur dapat dinyatakan aman.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menganalisis kekuatan struktural *arm chair* berbahan kayu jati menggunakan metode *finite element analysis* (FEA) dengan mempertimbangkan sifat ortotropik material dan pembebanan berbasis standar EN 12520. Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan maksimum berada pada kisaran ±5 MPa dan terlokalisasi pada area sambungan antara sandaran dan rangka utama, yang berfungsi sebagai jalur utama transfer beban.

Nilai deformasi maksimum sebesar ±1,51 mm menunjukkan bahwa struktur memiliki kekakuan yang memadai, sedangkan faktor keamanan minimum yang berada pada rentang 6,09–6,35 mengindikasikan bahwa struktur berada dalam kondisi aman terhadap pembebanan yang diberikan. Hasil uji konvergensi mesh menunjukkan bahwa

seluruh parameter (tegangan, deformasi, dan faktor keamanan) telah memenuhi kriteria independensi mesh dengan deviasi di bawah 5%, sehingga hasil simulasi dapat dinyatakan akurat dan reliabel.

Distribusi tegangan menunjukkan bahwa sebagian besar komponen struktur mengalami tegangan yang relatif rendah, khususnya pada bagian kaki dan sandaran. Hal ini mengindikasikan adanya potensi overdesign, sehingga optimasi dimensi pada area tersebut dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan material tanpa mengurangi tingkat keamanan struktur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada CV Riverina atas dukungan dan kerja sama yang telah diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini, khususnya dalam penyediaan data, objek penelitian, serta informasi teknis terkait produk kursi *arm chair* yang dianalisis. Dukungan tersebut sangat membantu dalam proses analisis dan penyusunan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] B. Rahmat, T. R. Fitrianto, Y. N. Ulfia and G. Prakoso, "ANALISIS SIMULASI PEMBEBANAN STATIS TERHADAP SAMBUNGAN DOWEL PADA PRODUK CURVED FEET STOOL," *Jurnal Ilmiah Desain dan Konstruksi*, vol. 23, no. 2, pp. 179-189, 2024.

[2] E. Ceylan, E. Guray and A. Kasal, "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*, vol. 23, no. 19, pp. 1-16, 2021.

[3] I. Miranda, V. Sousa and H. Pereira, "Wood properties of teak (Tectona grandis) from a mature unmanaged stand in East Timor," *Journal of Wood Science*, vol. 57, pp. 171-178, 2011.

[4] J. Smardzewski, "Effect Of Wood Species And Glue Type On Contact Stresses In A Mortise And Tenon Joint," *Mechanical Engineering Science*, pp. 1-7, 2008.

[5] L. Matwiej, K. Wiaderek, W. Jarecki, D. Orlikowski and M. Wieruszewski, "Modelling Upholstered Furniture Frames Using the Finite Element Method," *Applied Sciences*, vol. 15, no. 2, pp. 1-17, 2025.

[6] L. V. de Souza, J. E. C. da Silva, T. L. B. Azevedo, A. R. P. Mascarenhas, L. A. U. Arias, B. L. C. Pereira and A. C. Oliveira, "Wood Quality of Young Tectona grandis L. f. Trees and Its Relationship with Genetic Material and Planting Site in Mato Grosso, Brazil," *Forest*, pp. 1-18, 2024.

[7] M. Hitka, M. Nad, M. Gejdos, P. Joscak, A. Jurek and Z. Balazova, "The effect of body mass on designing the structural elements of wooden chairs," *BioResources*, vol. 17, no. 2, pp. 3378-3397, 2022.

[8] M. S. Mazloomi, W. He and D. P. Evans, "Finite Element Modelling of the Effect of Adhesive Z-Connections on the Swelling of a Laminated Wood Composite," *Journal of Composites Science*, vol. 7, no. 442, pp. 1-14, 2023.

[9] MatWeb, LLC;, "Material Property Data Sheet," MatWeb, n.d.. [Online]. Available: https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=47a0eaf6bcd64e2f8f6425c872479b6d. [Accessed 27 April 2026].

[10] N. Tankut, A. N. Tankut and M. Zor, "Finite Element Analysis of Wood Materials," *Drvna industrija*, vol. 65, no. 2, pp. 159-171, 2014.

[11] R. C. Hibbeler, Mechanics of Materials, Pearson, 2016.

[12] R. Merdan, "Finite Element Analysis of the Structural Performance of a Specific Wooden-stool Type and Style," *Journal of Materials Science Research and Reviews*, vol. 8, no. 2, pp. 286-294, 2025.

[13] S. Dahlan and R. A. N. Al Hakim, "Optimasi Desain Kursi Menggunakan Metode Elemen Hingga," *ROTASI*, vol. 20, no. 3, pp. 160-164, 2020.

[14] S. Moaveni, Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS, New Jersey: Prentice Hall, 1999.

[15] The Big Kitchen, "Chairs: 2 x Mylor Dining Chairs with Arms, Black & Teak," [Online]. Available: https://www.thebigkitchen.co.uk/product/chairs-2-x-mylor-dining-chairs-with-arms-black-teak/.

[16] W. Hu and H. Guan, "A fnite element model of semi-rigid mortise-and-tenon joint considering glue line and friction coefcient," *Journal od Wood Science*, vol. 65, no. 14, pp. 1-9, 2019.

[17] W. Hu and N. Liu, "Numerical and Optimal Study on Bending Moment Capacity and Stiffness of Mortise-and-Tenon Joint for Wood Products," *Forest*, pp. 1-12, 2020.

[18] X. He, "A review of finite element analysis of adhesively bonded joints," *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 31, no. 4, pp. 248-264, 2011.