

ANALISIS SIMULASI PEMBEBANAN STATIS TERHADAP SAMBUNGAN DOWEL PADA PRODUK CURVED FEET STOOL

STATIC LOAD SIMULATION ANALYSIS ON DOWEL JOINTS IN CURVED FEET STOOL PRODUCTS

¹Bahtiar Rahmat, ²Taufik Ramadhan Fitrianto, ³Yessi Nasia Ulfia dan ⁴Galih Prakoso
. ¹Program Studi Teknik Produksi Furnitur, Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu,
bahtiar.rahmat@poltek-furnitur.ac.id

²Program Studi Teknik Produksi Furnitur, Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu,
taufik.fitrianto@poltek-furnitur.ac.id

³Program Studi Manajemen Bisnis Industri Furnitur, Politeknik Industri Furnitur dan
Pengolahan Kayu, yessi.ulfia@poltek-furnitur.ac.id

⁴Departemen Teknik Industri, King Saud University, 445109312@student.ksu.edu.sa

Abstrak

Kontribusi dengan persentase 80% terhadap produk ekspor mebel, furnitur menjadi industri dengan potensi pasar yang besar. Namun demikian, sambungan pada produk furnitur merupakan bagian yang perlu diperhatikan, karena pada bagian ini sangat rentan terjadi patahan atau kerusakan. Pengujian produk prototipe perlu sumber daya dan waktu lebih, sehingga dikembangkan metode pendekatan untuk memperoleh data hasil pengujian kekuatan produk tanpa membuat prototipe atau lebih dikenal dengan metode analisis elemen hingga (FEA). Penelitian ini bertujuan untuk menguji kekuatan sambungan dari sebuah stool yang dipasangkan pasak kayu dengan ukuran $\varnothing 8$, $\varnothing 10$ & $\varnothing 12$ mm sebagai konstruksinya. Hasil simulasi pembebanan statis menunjukkan jika aplikasi pasak kayu $\varnothing 12$ mm mampu menahan beban 60kgf lebih baik dibandingkan dengan pasak kayu $\varnothing 8$ dan $\varnothing 10$ mm. Tegangan von mises maksimum sebesar 23,14 MPa masih jauh dibawah nilai tegangan luluh material. Selain itu pergeseran dan regangan maksimal hanya senilai 0,562 mm dan 0,0011 secara berurutan.

Kata kunci: faktor keamanan, produk, simulasi, tegangan.

Abstract

With an 80% contribution to furniture export products, the furniture industry has significant market potential. However, joints in furniture products are critical areas to consider, as they are prone to breakage or damage. Prototype product testing requires more resources and time, leading to the development of methods to obtain product strength test data without making prototypes, commonly known as Finite Element Analysis (FEA). This study aims to test the strength of the joints of a stool constructed with wooden dowels of $\varnothing 8$, $\varnothing 10$, and $\varnothing 12$ mm in diameter. The static load simulation results show that the application of $\varnothing 12$ mm wooden dowels can withstand a load of 60 kgf better than $\varnothing 8$ and $\varnothing 10$ mm dowels. The maximum von Mises stress of 23.14 MPa is still well below the material's yield stress. Additionally, the maximum displacement and strain are only 0.562 mm and 0.0011, respectively.

Keywords: factor of safety, product, simulation, stress.

PENDAHULUAN

Furnitur merupakan salah satu industri yang memiliki potensi yang besar dan menjanjikan. Pada tahun 2021 jumlah ekspor produk furnitur di Indonesia mengalami kenaikan sebesar 33% dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Nilai ini menunjukkan potensi pasar yang besar bagi industri furnitur di Indonesia (Limanseto, 2023). Produk furnitur dengan bahan dasar kayu menyumbang hampir 80% dari total produksi produk furnitur, dimana sisanya dibuat dengan bahan dasar lain seperti rotan, bambo, logam dan plastik (Kementerian Perindustrian, 2015).

Sambungan pada produk furnitur secara umum merupakan bagian yang rentan mengalami kerusakan, sehingga bagian ini perlu dibuat dengan sangat teliti dan cermat agar produk yang dihasilkan berfungsi secara baik serta reliabel (Tankut, & Tankut, 2011). Pada praktisnya, suatu produk furnitur akan menerima beban yang kompleks, sehingga hal ini akan berpotensi menimbulkan kerusakan terutama pada bagian sambungan atau konstruksi (Cai, & Wang, 1993). Selain pemilihan jenis atau metode sambungan yang tepat, penentuan posisi sambungan atau konstruksi dari produk furnitur juga merupakan hal yang tidak kalah penting. Pengujian yang telah dilakukan oleh (Rahmat et al., 2023) menunjukkan hasil jika penggeseran posisi pen dan lubang lebih jauh dari kepala kayu mampu meningkatkan kekuatan dari produk mebel. Hal ini selain meminimalisir perbaikan pada gambar desain produk, juga lebih mengurangi usaha yang diperlukan untuk meningkatkan kekuatan dari produk. Kekuatan bahan konstruksi kayu telah diuji oleh banyak peneliti dan memadai untuk keperluan praktis (Bardak et al., 2017). Terdapat juga banyak laporan teknis mengenai kapasitas menahan beban dan kekuatan sambungan furnitur (Purwanto et al., 2024) (Rahmat et al., 2024). Telah dilaporkan bahwa faktor penting pertama adalah jenis

sambungan sudut dari elemen-elemen dan kekuatan adhesi sambungan sudut pada kekuatan furnitur ketika diuji sesuai dengan gaya dan beban standar untuk ketahanan furnitur (Tas, 2010). Namun, pengujian metode eksperimen memerlukan waktu, tenaga serta biaya yang tidak sedikit sehingga pengembangan metode baru untuk pengujian produk banyak dikembangkan salah satunya adalah metode analisis elemen hingga (FEM).

Metode analisis elemen hingga (FEM) adalah teknik numerik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah dengan cara membagi struktur kompleks menjadi elemen-elemen yang lebih kecil, kemudian akumulasi nilai secara menyeluruh dibuat untuk memperoleh solusi secara komperhensif. Saat ini FEM telah berkembang ke berbagai bidang seperti mekanika fluida, perpindahan panas, dan elektromagnetis (Yang, 2023). Secara umum, prosedur semacam ini memerlukan prosedur analitis dan teori struktural untuk menentukan besaran dan distribusi gaya yang bekerja di dalam furnitur serta pergeseran yang menyertai pada sambungan dan komponen (Tankut, & Tankut, 2011).

Berdasarkan uraian di atas, pengujian kekuatan sambungan menggunakan metode FEM (analisis elemen hingga) produk *curved feet stool* yang diberikan beberapa ukuran pasak kayu (dowel) untuk sambungan komponennya sehingga akan diketahui berapa ukuran dowel yang optimal agar produk *curved feet stool* tetap aman saat digunakan.

METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini tahap simulasi untuk memperoleh tegangan akibat pembebanan statis akan dijelaskan mulai dari pembuatan model, pemilihan jenis material produk *curved feet stool*, penentuan kondisi batas (*boundary condition*), pembebanan, penentuan ukuran *mesh* hingga tahap eksekusi dari simulasi *static loading*. Hasil pengujian simulasi berupa tegangan *von misses* akan dianalisa untuk memperoleh ukuran dari pasak kayu

(dowel) yang paling tepat. Untuk perangkat lunak yang digunakan dalam pembuatan desain hingga simulasi uji pembebanan statik produk ini adalah Solidworks 2018.

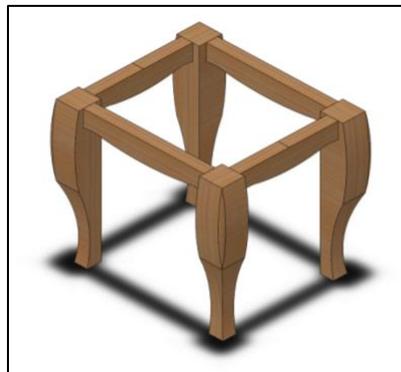
Desain *Curved feet stool*

Penelitian ini terlebih dahulu dimulai dengan membuat komponen dasar dari produk *curved feet stool*, dimana ukuran dari produk ini berdasarkan dari ukuran asli dari produk *curved feet stool*. Untuk komponen kursi ini sendiri secara total terdiri dari 8 komponen; antara lain; 2 buah ambang depan, 2 buah ambang samping, serta 4 buah kaki kursi. \Lalu ada 16 komponen pasak kayu (dowel) yang tersemat pada masing-masing kaki kursi sebanyak 4 buah. Komponen dari produk *curved feet stool* yang sudah dibuat, kemudian dirakit menjadi sebuah produk utuh dari *curved feet stool*. Produk ini memiliki dimensi keseluruhan panjang x lebar x tinggi sebesar 540 mm x 400 mm x 335 mm.

Pemilihan Material dan Penentuan Kondisi Batas Pengujian Produk *Curved feet stool*

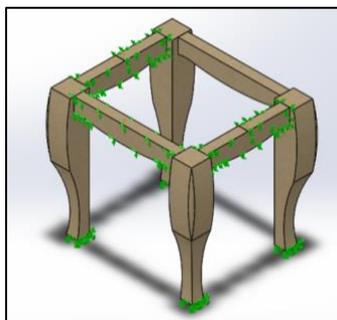
Material yang dipilih pada produk *curved feet stool* adalah kayu pinus (*pinus palustris*) dimana material ini adalah material yang digunakan pada produk *curved feet stool* yang sesungguhnya. Kondisi batas yang diatur pada pengujian kali ini adalah kontak antar komponen diatur menjadi *global contact-no penetration*.

Hal ini dipilih agar jika masing-masing komponen menerima beban luar, akan diteruskan pada komponen lain yang berinteraksi. Kemudian pada bagian dasar dari empat kaki kursi diatur menjadi *fixed geometry*, dimana seolah-olah kaki tersebut diletakkan diatas sebuah lantai. Ditambahkan juga fiksasi dengan referensi *front plane* dan *right plane* agar memungkinkan translasi pergerakan komponen saat diberikan pembebanan.



Gambar 1. Desain Produk *Curved Feet Stool*

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024.



Gambar 2. Penentuan *Boundary Condition* Produk *Curved Feet Stool*

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024.

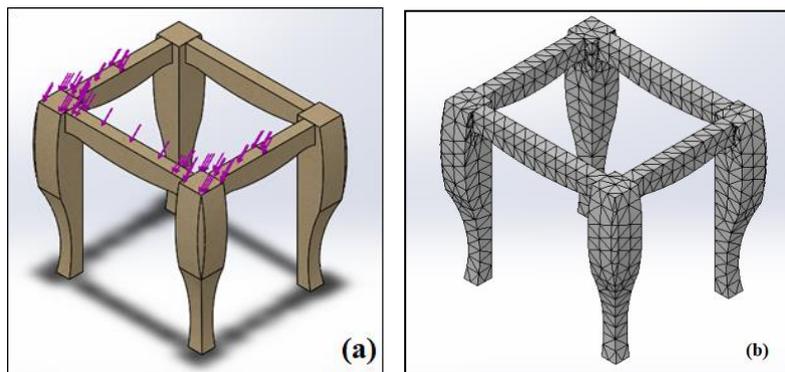
Penentuan Pembebanan (*External Load*) & *Meshing* Produk *Curved feet stool*

Pembebanan luar dengan arah kebawah serta kemiringan sudut besaran gaya sebesar 45° menggambarkan beban yang diderita oleh kursi saat digunakan untuk duduk dan pengguna seolah-olah sedang menggerakkan kursi tersebut maju-mundur. \

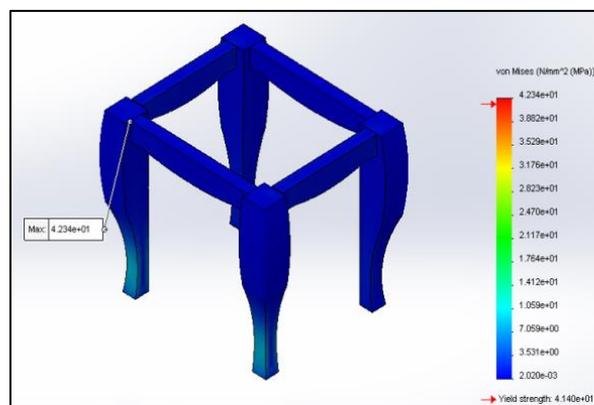
Besar gaya yang diaplikasikan adalah 60 kgf dan diaplikasikan pada separuh dari permukaan kursi, hal ini karena saat bergerak, besarnya gaya terkonsentrasi pada salah satu sisi dari kursi. Selanjutnya untuk *meshing* yang digunakan adalah *standart mesh*, dengan ukuran 28,886 mm serta toleransi *mesh* sebesar 1,444 mm. Hasil dari produk yang telah berhasil melalui tahap *meshing* ditunjukkan pada gambar 3 (b).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi pembebanan dengan metode elemen hingga (FEM) adalah berupa tegangan *von misses*, regangan (*strain*), pergeseran (*displacement*) serta *safety factor*. Tegangan *von misses* adalah tegangan hasil pembagian antara tegangan utama dengan tegangan geser, sehingga tegangan ini bisa lebih menggambarkan secara keseluruhan tegangan yang terjadi pada suatu benda dibandingkan dengan tegangan yang lain (Saputra et al., 2023). Tegangan *von misses* digunakan sebagai parameter untuk menganalisa unjuk kerja dari konstruksi pasak kayu (dowel) yang diterapkan pada produk *curved feet stool*. Gambar 4 menunjukkan distribusi tegangan *von misses* yang terjadi pada produk *curved feet stool* yang dipasang dowel dengan Ø8 mm.



Gambar 3. Penentuan *External Load* Produk, (b) *Meshing* Produk *Curved Feet Stool*
Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024.



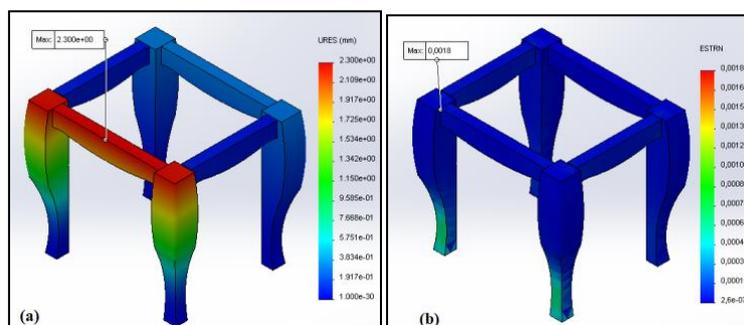
Gambar 4. Distribusi Tegangan *Von Misses* pada *Stool* dengan Dowel Ø8mm.
Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024.

Gambar 4 secara jelas menunjukkan tegangan maksimum yang terjadi pada produk. Tegangan sebesar 42,34 MPa terjadi pada bagian pasak kayu (dowel), dimana pasak kayu (dowel) yang digunakan memiliki kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 41,4 MPa. Tegangan luluh merupakan suatu kondisi dimana material yang diberikan beban tertentu, kemudian beban tersebut dihilangkan, hingga material sudah memasuki fase plastis (bentuk dan ukuran dari material tidak kembali pada kondisi semula) (Callister, 2007).

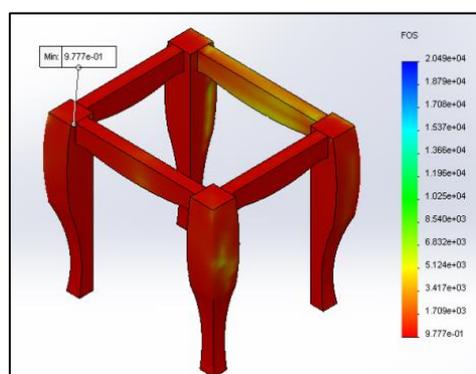
Tegangan yang terjadi pada produk sudah melampaui kekuatan luluh dari material, hal ini bermakna jika pada bagian pasak kayu (dowel) tidak mampu menahan gaya sebesar 60 kgf, dimana pada posisi ini kemungkinan besar tidak hanya retakan (*crack*) namun sudah terjadi patahan pada pasak kayu (Tuhkanen et al., 2018). Simulasi pembebanan statis pada konstruksi dowel Ø8 mm menunjukkan hasil regangan (*strain*) sebesar 0,0018, sedangkan

pada pergeseran memperoleh hasil sebesar 2,30 mm pada kaki depan *stool*. Nilai regangan dan pergeseran yang besar menunjukkan jika terjadi pergerakan yang berarti pada komponen produk (Rescalvo et al., 2024). Hal ini disebabkan oleh pasak kayu (dowel) yang patah, sehingga terjadi pergeseran antar komponen dengan jarak yang cukup besar. Gambar 5 menunjukkan hasil regangan dan pergeseran setelah uji pembebanan statik.

Pengujian kekuatan *stool* dengan konstruksi pasak kayu (dowel) 8 mm juga menunjukkan angka faktor keamanan (*safety factor*) yang kecil yakni 0,97 dimana seharusnya nilai dari *safety factor* lebih dari 1 (Abidin et al., 2015). Nilai faktor keamanan yang kecil ini mengindikasikan jika *stool* tidak aman digunakan meskipun hanya diberikan beban sebesar 60 kgf. Gambar 6 lebih jelas menunjukkan plot faktor keamanan produk *curved feet stool* dengan sambungan pasak kayu (dowel) Ø8 mm.



Gambar 5. (a) Pola Pergeseran dan (b) Pola Regangan pada *Stool* dengan Dowel Ø8 mm.
Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024.

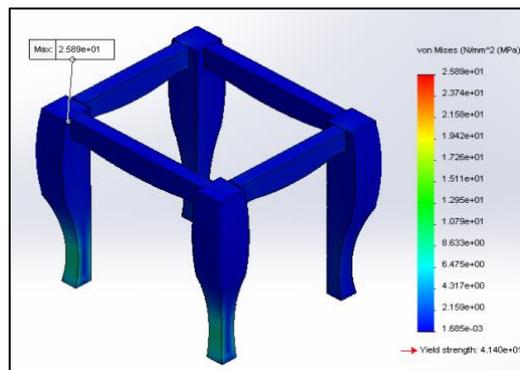


Gambar 6. Hasil Plot Faktor Keamanan *Stool* dengan Pasak Kayu Ø8 mm.
Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024.

Percobaan simulasi pembebanan kedua dengan penggantian ukuran diameter pasak kayu (dowel) menjadi 10 mm pada produk *curved feet stool*. Nampak pada gambar 7 pola distribusi tegangan *von misses* pada produk *curved feet stool*. Tegangan maksimum sebesar 25,89 MPa terjadi pada pasak kayu (dowel) yang tersemat pada komponen ambang depan. Tegangan maksimum yang terjadi jauh dibawah nilai kekuatan luluh (*yield strength*) dari pasak kayu (dowel) yang terbuat dari kayu pinus yakni sebesar 41,4 MPa (Yerlikaya, 2012). Hal ini bermakna jika penggunaan pasak kayu (dowel) dengan Ø10 mm dinilai cukup aman untuk diaplikasikan pada produk *curved feet stool*.

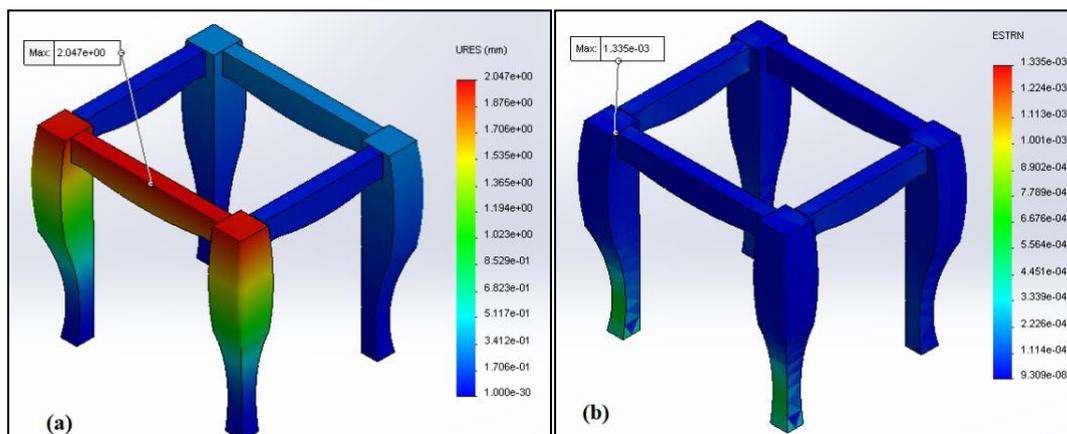
Percobaan kedua juga menunjukkan nilai dari regangan yang lebih kecil yakni sebesar

0,0013 pada bagian kaki depan *stool*. Nilai regangan yang lebih kecil juga membuktikan jika pasak kayu (dowel) Ø10 mm mampu menahan gaya luar lebih baik dibandingkan dengan pasak kayu (dowel) Ø8 mm (Kuşkun et al., 2021). Parameter ketiga yakni pergeseran, dimana pada percobaan simulasi pembebanan kedua ini terjadi *displacement* sebesar 2,047 mm. nilai pergeseran yang lebih kecil diperoleh pada pasak kayu (dowel) Ø10 mm. Namun nilai pergeseran yang dirasa masih besar ini dirasa masih menjadi perhatian, sehingga penggunaan pasak kayu (dowel) dengan Ø10 mm dirasa masih belum aman (Lam et al., 2016). Gambar 8 menunjukkan hasil regangan dan pergeseran setelah uji pembebanan statik pada produk *stool* yang dipasang konstruksi dowel Ø10 mm.



Gambar 7. Pola Distribusi Tegangan Von Mises pada Stool dengan Dowel Ø10 mm.

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024.

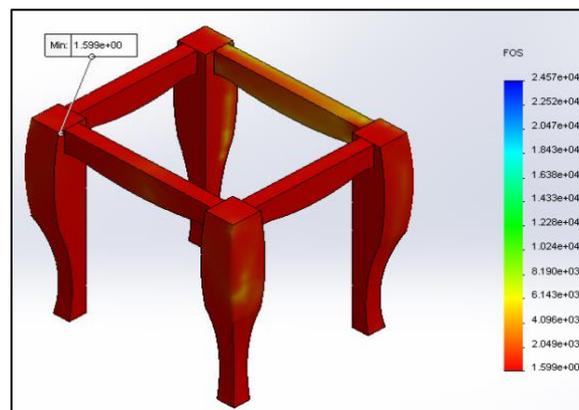


Gambar 8. (a) Pola Pergeseran dan (b) Pola Regangan pada Stool dengan Dowel Ø10 mm.

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024.

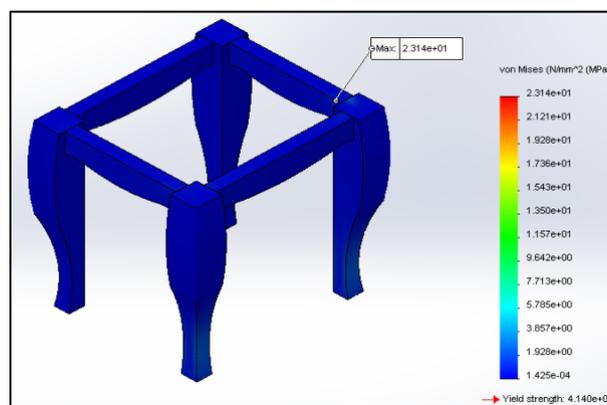
Pengujian kekuatan *stool* dengan konstruksi pasak kayu (dowel) 10 mm juga menunjukkan angka faktor keamanan (*safety factor*) yang baik yakni 1,59 dimana nilai dari *safety factor* pengujian kedua ini lebih dari 1 (Abidin et al., 2015). Nilai faktor keamanan yang lebih dari 1 ini mengindikasikan jika *stool* yang dipasang konstruksi pasak kayu (dowel) Ø10 mm masih layak digunakan saat diberikan beban maksimum sebesar 60 kgf meskipun mengalami pergeseran komponen dengan nilai yang besar. Gambar 9 secara jelas menunjukkan plot faktor keamanan (FOS) pada produk *stool* dengan pasak kayu Ø10 mm. Simulasi pengujian pembebanan statis dengan dua buah pasak kayu (dowel) dengan diameter yang berbeda telah dilakukan.

Namun masih belum menunjukkan hasil yang aman, sehingga pengujian ketiga dengan menggunakan pasak kayu (dowel) dengan Ø12 mm dilakukan. Pengujian dilakukan dengan menerapkan material, kondisi batas, besar dan arah pembebanan yang sama dengan dua pengujian sebelumnya. Ukuran dari *mesh* pun dibuat sama agar mendapatkan hasil yang konsisten. Gambar 10 menunjukkan besarnya pola distribusi tegangan *von mises* pada produk *curved feet stool*. Nampak jika tegangan *von mises* maksimal sebesar 23,14 MPa juga terjadi pada sambungan pasak kayu (dowel). Secara keseluruhan, distribusi tegangan yang masih dirasa jauh dari nilai tegangan luluh material terjadi pada komponen kaki dan ambang kursi.



Gambar 9. Hasil Plot Faktor Keamanan *Stool* dengan Pasak Kayu Ø10 mm.

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024.

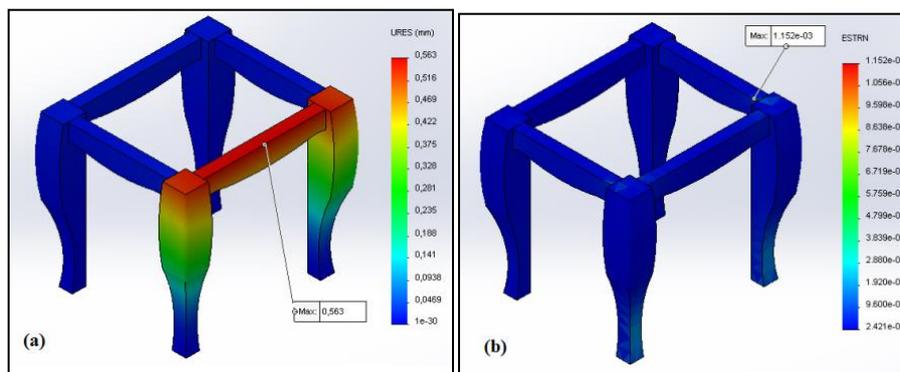


Gambar 10. Pola Distribusi Tegangan *Von Mises* pada *Stool* dengan Dowel Ø12 mm.

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024.

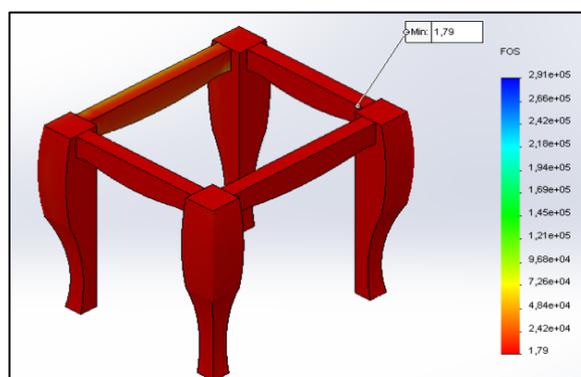
Hal ini jelas kembali mengkonfirmasi jika pada produk furnitur, konstruksi merupakan titik terlemah yang perlu mendapatkan perhatian lebih (Tankut., & Tankut., 2011). Pengujian ketiga yakni pada produk *curved feet stool* yang dipasangkan pasak kayu (dowel) Ø12 mm menunjukkan pola pergeseran dan regangan dengan nilai yang cukup baik. Nilai maksimum pergeseran sebesar 0,562 mm terjadi pada kursi dengan konstruksi pasak kayu (dowel) Ø12 mm (Fu et al., 2024). Nilai pergeseran yang rendah menunjukkan jika aplikasi jenis dan ukuran konstruksi yang tepat, akan menghasilkan produk yang lebih kuat dan kokoh (Hu et al., 2023). Nilai pergeseran pada pengujian ketiga ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan nilai pergeseran pada pengujian pertama dan kedua dengan selisih sebesar 75,55% dan 72,54% secara berurut-urut.

Pola regangan pada pengujian ketiga, dimana pasak kayu (dowel) Ø12 mm disematkan pada produk *curved feet stool* juga berhasil mencatatkan nilai yang lebih baik dibandingkan dengan nilai regangan pada pengujian pertama dan kedua. Regangan sebesar 0,0011 merupakan nilai regangan yang terkecil dibanding dengan dua pengujian pembebanan statis sebelumnya. Nilai regangan yang lebih kecil bermakna jika konstruksi yang dipasang mampu menahan gaya luar lebih baik (Hao et al., 2020). Aplikasi pasak kayu (dowel) dengan diameter yang lebih besar berbanding lurus dengan luas penampang dowel yang lebih besar. Luas penampang ini yang memberikan dampak yang signifikan terhadap kemampuan konstruksi untuk menahan gaya luar lebih baik, sehingga lebih minimal terjadinya regangan (Fabbri et al., 2022).



Gambar 11. (a) Pola Pergeseran dan (b) Pola Regangan pada *Stool* dengan Dowel Ø12 mm.

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024.



Gambar 12. Hasil Plot Faktor Keamanan *Stool* dengan Pasak Kayu Ø12 mm.

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024.

Tabel 1. Hasil Pengujian Pembebanan Statik Produk *Curved Feet Stool*

Dowel size (mm)	Mesh size (mm)	Von misses (MPa)	Strain	Displacement (mm)	Factor of Safety (FOS)
8	28,886 ± 1,44	42,34	0,0018	2,300	0,97
10	28,886 ± 1,44	25,89	0,0013	2,047	1,59
12	28,886 ± 1,44	23,14	0,0011	0,562	1,78

Yield strength: 41,4 MPa.

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2024.

Pengujian faktor keamanan juga dilakukan pada skema pengujian ketiga. Nilai dari *Factor of Safety* (FOS) yang paling baik diperoleh pada pengujian ketiga yakni sebesar 1,78 (Hassan et al., 2014). Nilai faktor keamanan lebih dari 1 ini menandakan jika *stool* yang dipasang konstruksi pasak kayu (dowel) Ø12 mm aman jika dipakai saat diberikan beban 60 Kgf pada arah diagonal, serta aplikasi pasak kayu (dowel) Ø12 mm menghasilkan nilai regangan dan *displacement* yang terbaik.

Penggunaan pasak kayu (dowel) Ø12 mm pada produk *curved feet stool* mampu menunjukkan pola distribusi gaya luar yang paling baik dibandingkan dengan aplikasi pasak kayu (dowel) dengan diameter yang lebih kecil (Fabbri et al., 2022). Tabel 1 menunjukkan data lengkap hasil pengujian pembebanan statis produk *curved feet stool* yang dipasang konstruksi pasak kayu (dowel) dengan ukuran Ø8, Ø10 dan Ø12mm.

SIMPULAN

Berdasarkan data hasil dari simulasi pembebanan statis dan analisis data, diperoleh kesimpulan jika penggunaan pasak kayu (dowel) dengan Ø12 mm direkomendasikan untuk digunakan sebagai sambungan (konstruksi) pada produk *curved feet stool*. Hal ini berdasarkan dari nilai tegangan maksimum (*von misses stress*), pergeseran, regangan dengan nilai yang paling minimal, serta angka faktor keamanan (*Factor of Safety*) yang paling baik dibandingkan dengan dua pasak kayu

(dowel) dengan ukuran Ø8 mm maupun Ø10 mm.

Faktor keamanan menjadi pertimbangan utama suatu produk layak digunakan atau tidak, namun seiring dengan perkembangan zaman, kemudahan aplikasi dan pemasangan juga menjadi hal yang tidak kalah penting. Pengembangan produk kayu yang menggunakan metode sambungan yang bersifat mudah bongkar pasang (*knock-down*) perlu ditinjau lebih lanjut, terutama pada aspek kekuatan dan keamanan pada aplikasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., Rama, & Ridho, B. (2015). Analisa Distribusi Tegangan Dan Defleksi Connecting Rod Sepeda Motor 100 Cc Menggunakan Metode Elemen. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(1), 30–39.
- Bardak, T., Tankut, A., Tankut, N., Aydemir, D., & Sözen, E. (2017). The Bending and Tension Strength of T-Type Mortise and Tenon Joints Bonded with Polyvinyl Acetate Nanocomposites. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 19, 51–62.
- Cai, L., & Wang, F. (1993). Influence of the stiffness of corner joint on case furniture deflection. *Holz Als Roh- Und Werkstoff*, 51, 406–408. <https://doi.org/10.1007/BF02628238>
- Callister, W. D. J. (2007). *Materials Science and Engineering; An Introduction*. In *John Wiley & Sons, Inc.* (7th ed., Vol. 26, Issue 14). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1007/BF01184995>

- Fabbri, A., Minghini, F., & Tullini, N. (2022). Monotonic and cyclic pull-pull tests on dowel-nut connector in laminated veneer lumber made of European beech wood. *Construction and Building Materials*, 359, 129461. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129461>
- Fu, H., Li, Z., Alhaddad, W., & He, M. (2024). Experimental evaluation and theoretical prediction of dowel-type joints connecting laminated veneer lumber with wood dowels. *Construction and Building Materials*, 416, 135248. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135248>
- Hao, J., Xu, L., Wu, X., & Li, X. (2020). Analysis and modeling of the dowel connection in wood T type joint for optimal performance. *Composite Structures*, 253, 112754. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112754>
- Hassan, R., Ibrahim, A., Ahmad, Z., & Nizam Shakimon, M. (2014). *Factor of Safety for Dowelled-Double Shear Kempas and Kapur Connections BT - InCIEC 2013* (R. Hassan, M. Yusoff, Z. Ismail, N. M. Amin, & M. A. Fadzil (eds.); pp. 61–73). Springer Singapore.
- Hu, W., Luo, M., Liu, Y., Xu, W., & Caglar Konukcu, A. (2023). Experimental and numerical studies on the mechanical properties and behaviors of a novel wood dowel reinforced dovetail joint. *Engineering Failure Analysis*, 152, 107440. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107440>
- Kementerian Perindustrian, B. P. (2015). *Laporan kinerja Kementerian Perindustrian*.
- Kuşkun, T., Smardzewski, J., & Kasal, A. (2021). Experimental and numerical analysis of mounting force of auxetic dowels for furniture joints. *Engineering Structures*, 226(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111351>
- Lam, F., Li, Y., & Li, M. (2016). Torque loading tests on the rolling shear strength of cross-laminated timber. *Journal of Wood Science*, 62(5), 407–415. <https://doi.org/10.1007/s10086-016-1567-2>
- Limanseto, H. (2023). *Tingkatkan Kualitas dan Daya Saing Produk, Pemerintah Bidik Pasar Ekspor Industri Furnitur Makin Luas*. www.ekon.go.id
- Purwanto, A. A., Rahmat, B., Widiyanto, W., Wijayanto, A., Muhamad, S., Mulyosari, D., & Nurmadina, N. (2024). PENGARUH JENIS KONSTRUKSI KLASIK DAN MODERN TERHADAP KEKUATAN PRODUK BERBASIS KAYU. *Jurnal Tengawang*, 14(1), 10–22. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/tengawang/article/view/75399>
- Rahmat, B., Mulyosari, D., Purwanto, A. A., & Widiyanto, W. (2023). Pengaruh Posisi Sambungan Konstruksi Kayu Terhadap Dedain Produk Mebel Berbahan Dasar Kayu. *Jurnal Kreatif: Desain Produk Industri Dan Arsitektur*, 11(1), 8. <https://doi.org/10.46964/jkdpia.v11i1.336>
- Rahmat, B., Widiyanto, W., Purwanto, A. A., Wijayanto, A., Muhamad, S., Mulyosari, D., & Nurmadina, N. (2024). Studi Eksperimental Uji Kekuatan Sambungan Klasik dan Sambungan Modern pada Produk Furnitur. *JIE (Journal of Industrial Engineering): Scientific Journal on Research and Application of Industrial System*, 09(1), 1–13. <http://e-journal.president.ac.id/presunivojs/index.php/journalofIndustrialEngineerin/index>
- Rescalvo, F. J., Portela, M., Cruz, C., Bravo, R., & Lorenzana, J. A. (2024).

- Relationship between the acoustic emission and the strain field in finger joints of engineered wood products for construction. *Engineering Failure Analysis*, 162, 108411. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108411>
- Saputra, E. B., Zohari, A., Andriansyah, & Sulisty, W. B. (2023). The Analysis Static of Chassis Robot Arm as Design Modification Induction Melting Furnace Machine Using FEA Method. *Journal of Renewable Energy and Mechanics*, 6(02), 85–98. <https://doi.org/10.25299/rem.2023.vol6.no02.14344>
- Tankut, A. N., & Tankut, N. (2011). Section modulus of corner joints in furniture frames as engineering design criteria for their efficient construction. *Materials & Design*, 32(4), 2391–2395. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.10.027>
- Tas, H. (2010). Strength properties of L-profiled furniture joints constructed with laminated wooden panels. *Scientific Research and Essays*, 5, 545–550.
- Tuhkanen, E., Mölder, J., & Schickhofer, G. (2018). Influence of number of layers on embedment strength of dowel-type connections for glulam and cross-laminated timber. *Engineering Structures*, 176, 361–368. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.09.005>
- Yang, S.-L. (2023). *The Finite Element Approach* (pp. 7–21). http://dx.doi.org/10.1007/978-981-99-1425-8_2
- Yerlikaya, N. Ç. (2012). Effects of glass-fiber composite, dowel, and minifix fasteners on the failure load of corner joints in particleboard case-type furniture. *Materials and Design*, 39, 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.02.024>