

Simulasi Uji Beban Statis dengan Variasi Jenis Konstruksi pada Kekuatan Produk *Stool* Kayu Persegi

Bahtiar Rahmat^{a*}

^aProgram Studi Teknik Produksi Furnitur, Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu, Kendal, Indonesia 51372

* Corresponding author's e-mail: bahtiar.rahmat@poltek-furnitur.ac.id

Received: 20 March 2025; revised: 23 October 2025; accepted: 2 November 2025

Abstract: Furniture products still been one of the export commodities that required attention. Contributing a value of more than USD 1 billion, consistency in maintaining the quality of furniture products needed to be improved. The construction or joints in furniture products had been the parts most prone to defects, cracks, or even fractures due to external forces, both during testing and usage. Prototype product testing required more time and resources. As a result, a method had been developed to obtain strength test data without creating a prototype, known as the Finite Element Analysis (FEA) method. The objective of this study is to measure the joint strength of a stool assembled with three types of construction: dowel pin, biscuit lamello, and open tenon joints. The external load had been adjusted according to the Indonesian National Standard (SNI) in terms of force position, magnitude, and direction. The results of the static load simulation shown that the application of all three types of construction had been able to withstand an external load of 1100 N effectively. The maximum von mises stress, which had been 9.647 MPa, had still been far below the material's yield stress of 41.2 MPa. Additionally, the maximum deflection and strain had only been 0.198 mm and 8.640×10^{-4} , respectively, in the product with biscuit lamello construction. The dowel pin construction had also produced a maximum stress of 6.031 MPa, a strain of 4.247×10^{-4} , and a maximum deflection of 0.170 mm, with a safety factor of 7.11. However, overall, the application of open tenon construction had been more recommended, as it had achieved the best safety factor of 13.630, with the maximum stress experienced by the stool being only 3.670 MPa.

Keywords: *stool, simulation, stress, deflection, safety factor.*

Abstrak: Produk furnitur masih menjadi salah satu komoditi ekspor yang perlu mendapatkan perhatian. Menyumbang nilai lebih dari USD 1 miliar, konsistensi untuk menjaga kualitas dari produk furnitur perlu ditingkatkan. Konstruksi atau sambungan pada produk furnitur merupakan bagian yang rentan mengalami cacat, retakan bahkan patahan akibat menerima gaya dari luar baik saat pengujian maupun saat digunakan. Pengujian produk prototipe membutuhkan lebih banyak waktu dan sumber daya. Akibatnya, ada cara untuk mendapatkan data hasil pengujian kekuatan produk tanpa membuat prototipe, yang dikenal sebagai metode analisis elemen hingga (FEA). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur kekuatan sambungan dari *stool* yang dirakit dengan tiga jenis konstruksi: *dowel pin*, biskuit *lamello*, dan sambungan pen terbuka. Beban luar yang disesuaikan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan posisi gaya, besaran, dan arah gaya. Hasil simulasi pembebanan statis menunjukkan jika aplikasi ketiga jenis konstruksi mampu menahan beban luar sebesar 1100 N dengan baik. Tegangan *von mises* maksimum sebesar 9,647 MPa masih jauh dibawah nilai tegangan luluh material yakni sebesar 41,2 MPa. Selain itu defleksi dan regangan maksimal hanya senilai 0,198 mm dan $8,640 \times 10^{-4}$ secara berurutan pada produk dengan konstruksi biskuit *lamello*. Pemasangan konstruksi *dowel pin* juga menghasilkan tegangan maksimum sebesar 6,031 MPa, regangan sebesar $4,247 \times 10^{-4}$ serta defleksi maksimum sebesar 0,170 mm dengan angka faktor keamanan sebesar 7,11. Namun secara keseluruhan, aplikasi konstruksi pen terbuka lebih direkomendasikan, karena mampu mencatatkan angka faktor keamanan terbaik sebesar 13,630 dengan tegangan maksimum yang diderita oleh *stool* hanya sebesar 3,670 MPa.

Kata kunci: *stool, simulasi, tegangan, defleksi, faktor keamanan.*

1. Pendahuluan

Industri mebel (*furniture*) merupakan sektor yang mengolah bahan baku atau bahan setengah jadi, seperti kayu, rotan, dan material alami lainnya, menjadi produk akhir berupa mebel yang memiliki nilai tambah serta manfaat lebih tinggi. Indonesia saat ini menjadi incaran utama bagi negara-negara maju di dunia seperti Amerika Serikat dalam hal produk furnitur [1]. Ekspor furnitur Indonesia masih didominasi oleh furnitur bahan baku kayu dengan nilai ekspor mencapai USD 1,2 miliar. Selain itu, furnitur berbahan baku rotan menyumbang USD 262,5 juta, furnitur bambu sebesar USD 1,8 juta, dan furnitur dari bahan baku lain mencapai USD 311 juta [2].

Untuk mempertahankan posisinya sebagai salah satu negara eksportir mebel terbesar, Indonesia perlu menjaga kualitas produk furnitur yang dihasilkan, salah satunya

dengan melakukan pengujian kualitas pada sambungan atau konstruksi dari produk furnitur. Sambungan pada produk furnitur umumnya merupakan bagian yang paling rentan mengalami kerusakan. Oleh karena itu, bagian ini harus dibuat dengan ketelitian dan kecermatan tinggi agar produk yang dihasilkan dapat berfungsi dengan baik serta memiliki keandalan yang optimal [3].

Dalam praktiknya, produk furnitur akan menanggung beban yang kompleks, yang berpotensi menyebabkan kerusakan, terutama pada bagian sambungan atau konstruksinya [4]. Selain memilih jenis atau metode sambungan yang tepat, penentuan posisi konstruksi pada produk furnitur juga merupakan aspek yang sangat penting untuk memastikan kekuatan dan ketahanannya [5]. Kekuatan konstruksi kayu telah diuji oleh banyak peneliti dan dinyatakan memadai untuk keperluan praktis [6].

Beberapa laporan teknis terkait pengujian beban pada bermacam-macam jenis konstruksi furnitur telah dilakukan, baik dari konstruksi klasik hingga konstruksi furnitur modern [7, 8]. Telah dilaporkan bahwa faktor utama yang memengaruhi kekuatan furnitur adalah jenis sambungan sudut antar elemen serta kekuatan adhesinya, terutama saat diuji sesuai dengan standar gaya dan beban untuk ketahanan furnitur [6, 9]. Pengujian tersebut dilakukan secara eksperimental, dimana dibuat sampel uji yang mewakili produk aslinya, namun hasil pengujian tersebut bisa mewakili keadaan sesungguhnya.

Namun, pengujian dengan metode eksperimen membutuhkan waktu, tenaga, dan biaya yang cukup besar. Oleh karena itu, dikembangkan berbagai metode baru untuk pengujian produk, salah satunya adalah metode analisis elemen hingga (FEM). Metode analisis elemen hingga (FEM) adalah teknik numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dengan membagi struktur kompleks menjadi elemen-elemen lebih kecil. Selanjutnya, nilai-nilai dari setiap elemen dikombinasikan secara keseluruhan untuk mendapatkan solusi yang komprehensif [10]. Secara umum, prosedur ini memerlukan pendekatan analitis dan teori struktural untuk menentukan besaran serta distribusi gaya yang bekerja dalam furnitur, termasuk defleksi yang terjadi pada sambungan dan komponen [3].

Pengujian eksperimental pada furnitur yang berfungsi sebagai produk penyelamat jika terjadi gempa bumi, menunjukkan hasil yang memuaskan, namun hal ini memerlukan biaya, waktu serta sumber daya yang tidak sedikit, sehingga pengujian dengan metode eksperimental kurang cocok jika diterapkan pada studi yang memiliki waktu dan sumber daya yang terbatas [11]. Pengujian kekuatan uji tarik dan uji tekan pada komponen furnitur dengan jenis konstruksi baru yang menggunakan metode FEM terbukti mampu mengkonfirmasi hasil eksperimental dengan waktu yang lebih singkat dan biaya yang lebih murah [12]. Studi lain yang membandingkan antara pengujian nyata dengan hasil analisis numerik yang saling mengkonfirmasi pada produk furnitur menunjukkan jika peningkatan ukuran pasak kayu akan menurunkan tegangan kontak permukaan dan total tegangan yang terjadi pada produk [13], serta sebaliknya, penggunaan ukuran diameter dari pasak kayu sebagai sambungan produk, akan meningkatkan besaran dari tegangan. Sehingga memperbesar area kontak dari konstruksi bisa menjadi alternatif untuk meningkatkan kekuatan suatu produk [14]. Studi optimasi numerik peningkatan kenyamanan termal untuk lingkungan dalam ruangan dengan penghuni dan furnitur juga memperlihatkan hasil jika pemanfaatan metode numerik (FEM) sangat optimal untuk mempersingkat waktu studi namun tetap mendapatkan data yang konsisten [15].

Berdasarkan uraian tersebut, pengujian kekuatan sambungan pada produk *Stool Kayu Persegi* dilakukan menggunakan metode analisis elemen hingga. Pengujian ini mencakup beberapa jenis konstruksi sambungan, seperti *dowel pin*, biskuit *lamello* dan pen terbuka, untuk menentukan jenis konstruksi yang paling tepat guna memastikan keamanan dan ketahanan produk saat digunakan.

2. Metode Penelitian

2.1. Metode dan Tahapan Penelitian

Simulasi untuk memperoleh tegangan akibat pembebanan statis akan dijelaskan secara bertahap, dimulai dari pembuatan model, pemilihan jenis material untuk produk *Stool Kayu Persegi*, penentuan kondisi batas (*boundary condition*), besaran pembebanan, penentuan ukuran *mesh*, hingga tahap eksekusi simulasi *static loading*. Hasil pengujian simulasi berupa tegangan *von mises*, defleksi, regangan serta faktor keamanan akan dianalisis untuk menentukan jenis konstruksi yang paling tepat. Perangkat lunak SolidWorks 2018 digunakan dalam proses desain hingga simulasi uji pembebanan statis.

2.1.1. Desain Stool Kayu Persegi

Studi ini diawali dengan membuat desain dari *Stool Kayu Persegi* dimana ukuran yang digunakan sama dengan ukuran produk asli (*Gambar 1*). Komponen *Stool Kayu Persegi* terdiri dari 5 komponen utama yakni; kaki *stool*, ambang depan *stool*, ambang sisi *stool*, slat atas serta slat tepi. *Stool Kayu Persegi* dibuat dalam 3 model, dimana model pertama menggunakan konstruksi *dowel pin*, model kedua menggunakan konstruksi biskuit *lamello*, dan model ketiga menggunakan konstruksi pen terbuka. Setiap produk *Stool Kayu Persegi* terdiri dari 4 komponen kaki *stool*, 2 komponen ambang depan, 2 komponen ambang sisi, 2 komponen slat tepi dan 5 komponen slat atas. Secara keseluruhan, *Stool Kayu Persegi* memiliki dimensi panjang x lebar x tinggi sebesar 445 mm x 428 mm x 300 mm.

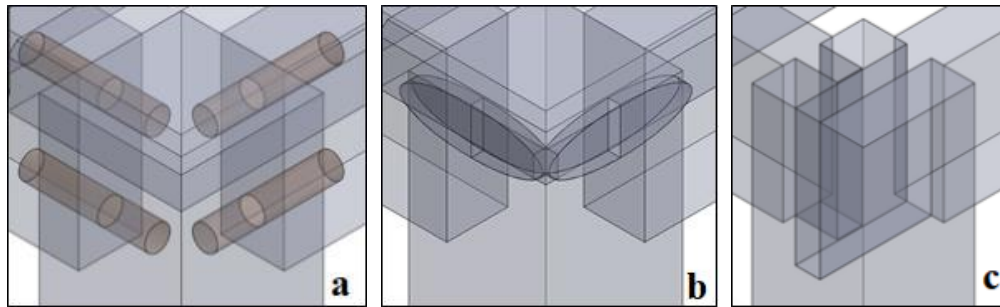


Gambar 1. Desain *Stool Kayu Persegi*

Stool Kayu Persegi model pertama menggunakan konstruksi *dowel pin* dengan ukuran Ø8 mm x 40 mm. Masing-masing kaki, ambang depan dan ambang sisi dihubungkan dengan dua buah *dowel pin* pada tiap sisinya. Untuk model kedua, konstruksi biskuit *lamello* diaplikasikan sebagai sambungan untuk menghubungkan antara kaki, ambang depan dan ambang sisi. Ukuran biskuit

lamello yang digunakan adalah *S0*, yakni sebuah *lamello* dengan ukuran 47 mm x 15 mm x 4 mm. Pada *Stool Kayu Persegi* model ketiga, diterapkan sambungan pen terbuka dengan ukuran pen 55 mm x 10 mm x 17 mm pada

komponen ambang depan, dan pen dengan ukuran 55 mm x 10 mm x 45 mm. Gambar 2a, 2b dan 2c menunjukkan detail konstruksi *dowel pin*, biskuit *lamello* dan sambungan pen terbuka secara berurut-urut.



Gambar 2. (a) Konstruksi dowel, (b) konstruksi *lamello* dan (c) konstruksi pen terbuka

2.1.2. Pemilihan Material dan Penentuan Kondisi Batas untuk Pengujian *Stool Kayu Persegi*

Material yang dipilih untuk produk *Stool Kayu Persegi* adalah kayu mahoni (*Sweetenia Mahagony*), yang merupakan material yang digunakan pada produk aslinya. Kayu mahoni sendiri memiliki properti seperti data yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Properti mekanis kayu mahoni dan kayu pinus

Properti	Nilai		Satuan
	Mahoni	Pinus	
Elastic Modulus	9440	8830	N/mm ²
Poisson's Ratio	0.35	0.26	-
Shear Modulus	900	254	N/mm ²
Mass Density	643	352	kg/m ³
Tensile Strength	60.46	2.1	N/mm ²
Compressive Strength	25.5	3.5	N/mm ²
Yield Strength	50.03	41.4	N/mm ²

Kemudian material yang dipilih untuk *dowel pin* serta biskuit *lamello* adalah kayu pinus (*Pinus Palustris*) dimana material ini juga merupakan representasi dari produk aslinya. Detail properti dari kayu pinus juga ditunjukkan secara jelas pada Tabel 1. Dalam pengujian ini, kondisi batas yang diterapkan adalah *global contact-no penetration*, dengan koefisien friksi sebesar 0.01 yang memungkinkan setiap komponen meneruskan beban luar ke komponen lain yang berinteraksi. Selain itu, bagian dasar dari keempat kaki *stool* diatur sebagai *fixed geometry* serta memastikan jika tidak ada pergerakan translasi pada sumbu X, Y maupun Z, sehingga hal mensimulasikan kondisi di mana kaki *stool* seolah-olah diletakkan di atas lantai.

2.1.3. Penentuan Pembebanan (External Load) & Meshing Produk *Stool Kayu Persegi*

Besaran dari beban eksternal yang diterapkan pada produk *Stool Kayu Persegi* adalah sebesar 1100 N dengan arah gaya 90° kebawah. Permukaan yang menderita beban ini adalah pada komponen alas duduk atau seluruh komponen slat dari *stool*. Besaran beban eksternal ini berdasarkan dari standar uji produk *stool* dari Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 7555.5-2010.

Selanjutnya, proses *meshing* menggunakan metode *standard mesh* dengan ukuran elemen sebesar 35,00 mm dan toleransi *mesh* sebesar 1,75 mm. Gambar 3 menunjukkan hasil dari produk *Stool Kayu Persegi* yang telah melewati tahap *meshing*.



Gambar 3. *Stool Kayu Persegi* setelah berhasil *meshing*

Suatu produk ketika digunakan tidak lepas dari pembebanan. Namun perlu dipahami jika saat menerima beban tersebut, produk harus tetap mampu menahan atau mereaksikan gaya yang bekerja padanya, sehingga bisa dikategorikan produk tersebut layak untuk digunakan [16]. Tegangan bisa didefinisikan sebagai besaran suatu gaya yang bekerja pada suatu luasan area penampang, sehingga bisa didefinisikan sebagai perhitungan tegangan maksimum:

$$\sigma_z = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_z}{\Delta A} \quad (1)$$

dengan:

σ_z = besaran tegangan (*stress*)

F = total gaya yang bekerja

A = luasan area yang terkena gaya

Regangan didefinisikan sebagai perbandingan antara selisih total panjang suatu material setelah menerima gaya

yang dikurangi dengan panjang awal dari material dibagi dengan panjang awal material itu sendiri. Regangan material bisa dieproleh melalui metode eksperimen [16], dimana kita bisa menggunakan formula berikut untuk perhitungan regangan;

$$\varepsilon_{avg} = \frac{\Delta S' - \Delta S}{\Delta S} \quad (2)$$

dengan:

ε_{avg} = regangan

$\Delta S'$ = total panjang akhir (m)

ΔS = total panjang awal (m)

Ketidakpastian beban dalam suatu struktur atau produk saat digunakan sangat memungkinkan terjadi. Maka untuk mengatasi hal ini, perlu menerapkan faktor keamanan guna menjamin keberlangsungan struktur dari suatu produk. Perhitungan faktor keamanan digunakan untuk memastikan desain yang telah dibuat mampu melindungi struktur produk dari kegagalan [17]. Maka dari itu digunakan perhitungan faktor keamanan (FOS) sebagai berikut:

$$N = \frac{\sigma_y}{\sigma_w} \quad (3)$$

dengan:

N = angka keamanan

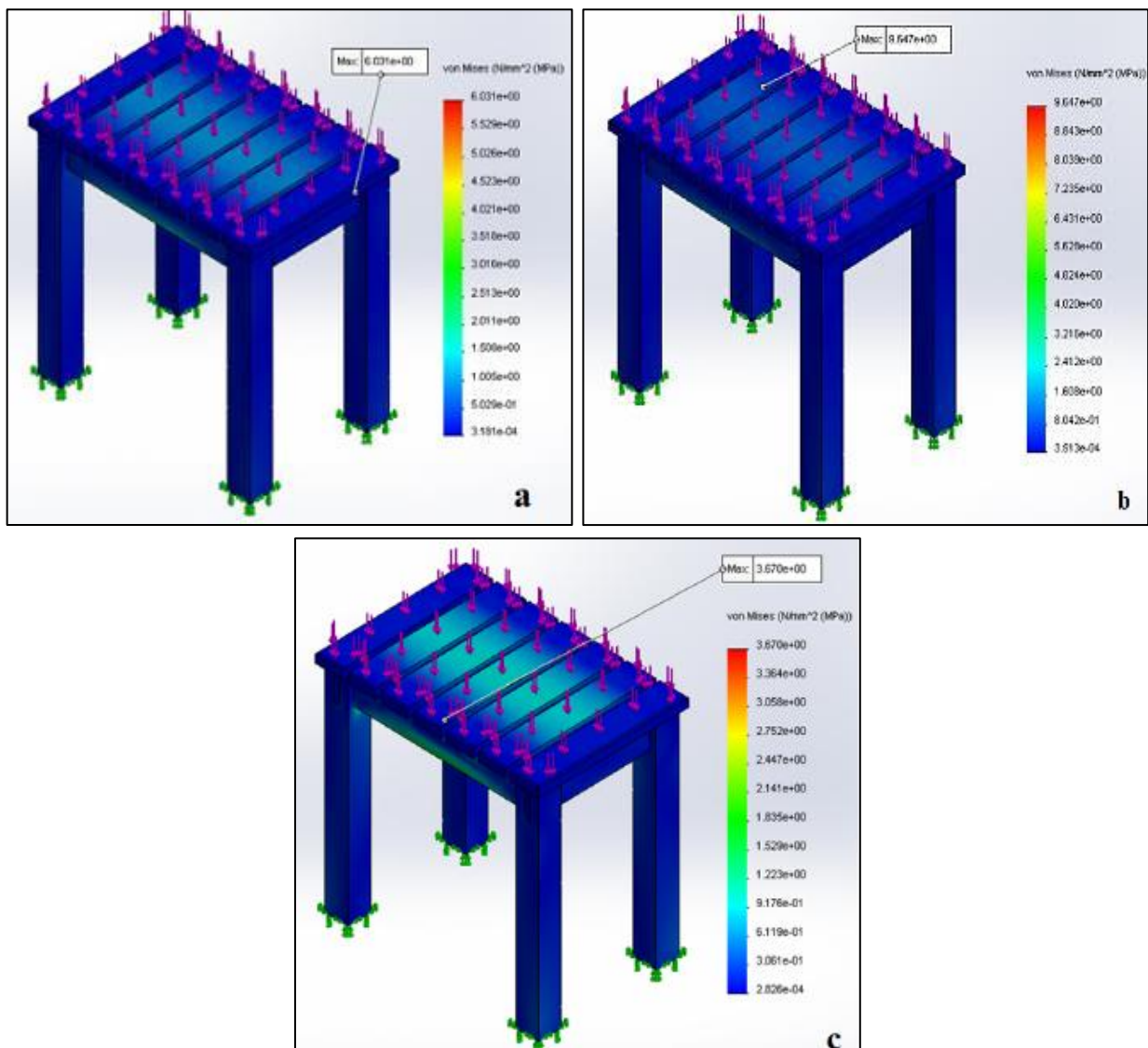
σ_y = total gaya maksimum (N)

σ_w = total gaya yang diijinkan (N)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisa Tegangan Von mises pada Stool Kayu Persegi

Tegangan *von mises*, regangan (*strain*), defleksi (*displacement*), dan faktor keamanan (*factor of safety*) adalah hasil dari simulasi pembebanan dengan metode elemen hingga (FEM). Tegangan *von mises* adalah tegangan yang dihasilkan dari pembagian antara tegangan utama dan tegangan geser, sehingga lebih baik menggambarkan tegangan yang terjadi pada suatu benda daripada tegangan lain [18]. Untuk menilai unjuk kerja konstruksi *dowel pin*, bisucuit *lamello*, dan pen terbuka pada produk *stool* kayu persegi, tegangan *von mises* digunakan sebagai parameter.



Gambar 4. Tegangan maksimum pada *Stool* Kayu Persegi dengan (a) Konstruksi *dowel*, (b) konstruksi *lamello* dan (c) konstruksi pen terbuka

Gambar 4 (a) menunjukkan tegangan maksimum yang diterima *Stool Kayu Persegi* yang diberikan konstruksi *dowel pin*, yakni sebesar 6,031 MPa terjadi pada *dowel pin* yang tersemat pada ambang sisi *stool*. Nilai tegangan maksimum ini masih jauh dibawah dari tegangan luluh dari *dowel pin* yakni sebesar 41,2 MPa, sehingga bisa dipastikan jika tegangan maksimum yang terjadi tidak akan merusak konstruksi dari *Stool Kayu Persegi*. Tegangan luluh menjadi besaran pembanding untuk tegangan maksimum, karena tegangan luluh terjadi ketika material diberikan beban tertentu kemudian dilepaskan hingga material memasuki fase plastis, di mana bentuk dan ukurannya tidak kembali seperti semula [12, 17].

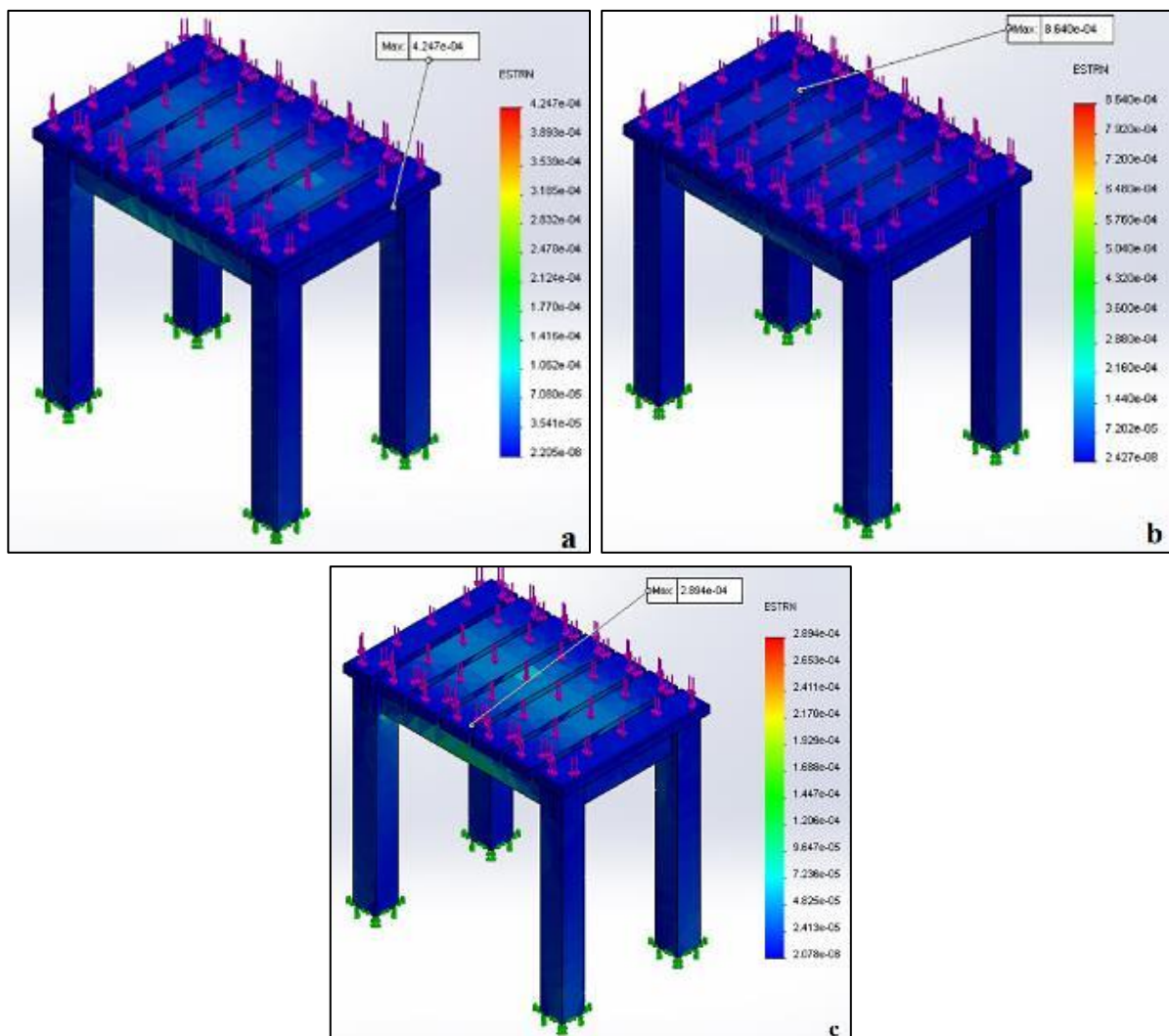
Tegangan maksimum sebesar 9,647 MPa terjadi pada *Stool Kayu Persegi* yang diberikan konstruksi biskuit *lamello*. Gambar 4 (b) menunjukkan jika tegangan maksimum terjadi pada biskuit *lamello* yang digunakan untuk menghubungkan kaki belakang dan ambang sisi. Nilai tegangan maksimum ini masih jauh dibawah dari tegangan luluh (*yield strength*) dari biskuit *lamello* yakni sebesar 41,2 MPa, sehingga meskipun tegangan maksimum yang terjadi lebih besar dari tegangan maksimum konstruksi *dowel pin*, namun nilai ini masih jauh dibawah tegangan

luluh dari material sehingga kemungkinan kerusakan produk pada bagian konstruksi akan sangat minimal.

Penerapan konstruksi pen terbuka pada *Stool Kayu Persegi* mampu memberikan respon yang lebih baik terhadap beban luar yang diberikan. Tegangan maksimum sebesar 3,670 MPa terjadi pada bagian ambang depan, dimana jika dibandingkan dengan tegangan luluh (*yield strength*) material ambang sebesar 50,03 MPa. Nilai tegangan maksimum yang muncul sangat jauh dibawah dari nilai tegangan luluh dari kayu mahoni. Semakin kecil tegangan maksimum dibandingkan dengan tegangan luluh, maka akan semakin aman pula produk yang dibuat [13, 19]. Besaran tegangan maksimum yang terjadi bisa diamati lebih jelas pada Gambar 4 (c).

3.2. Analisa Regangan (Strain) pada *Stool Kayu Persegi*

Suatu beban statis maupun dinamis yang diberikan pada suatu permukaan benda yang secara relatif terhadap waktu, maka akan menyebabkan benda tersebut mengalami tegangan serta regangan [19]. Gaya luar sebesar 1100 N dengan arah vertikal ke bawah yang diaplikasikan pada alas duduk produk *Stool Kayu Persegi* juga mengakibatkan terjadinya regangan serta defleksi pada produk.



Gambar 5. Distribusi regangan pada *Stool Kayu Persegi* dengan (a) Konstruksi *dowel*, (b) konstruksi *lamello* dan (c) konstruksi pen terbuka

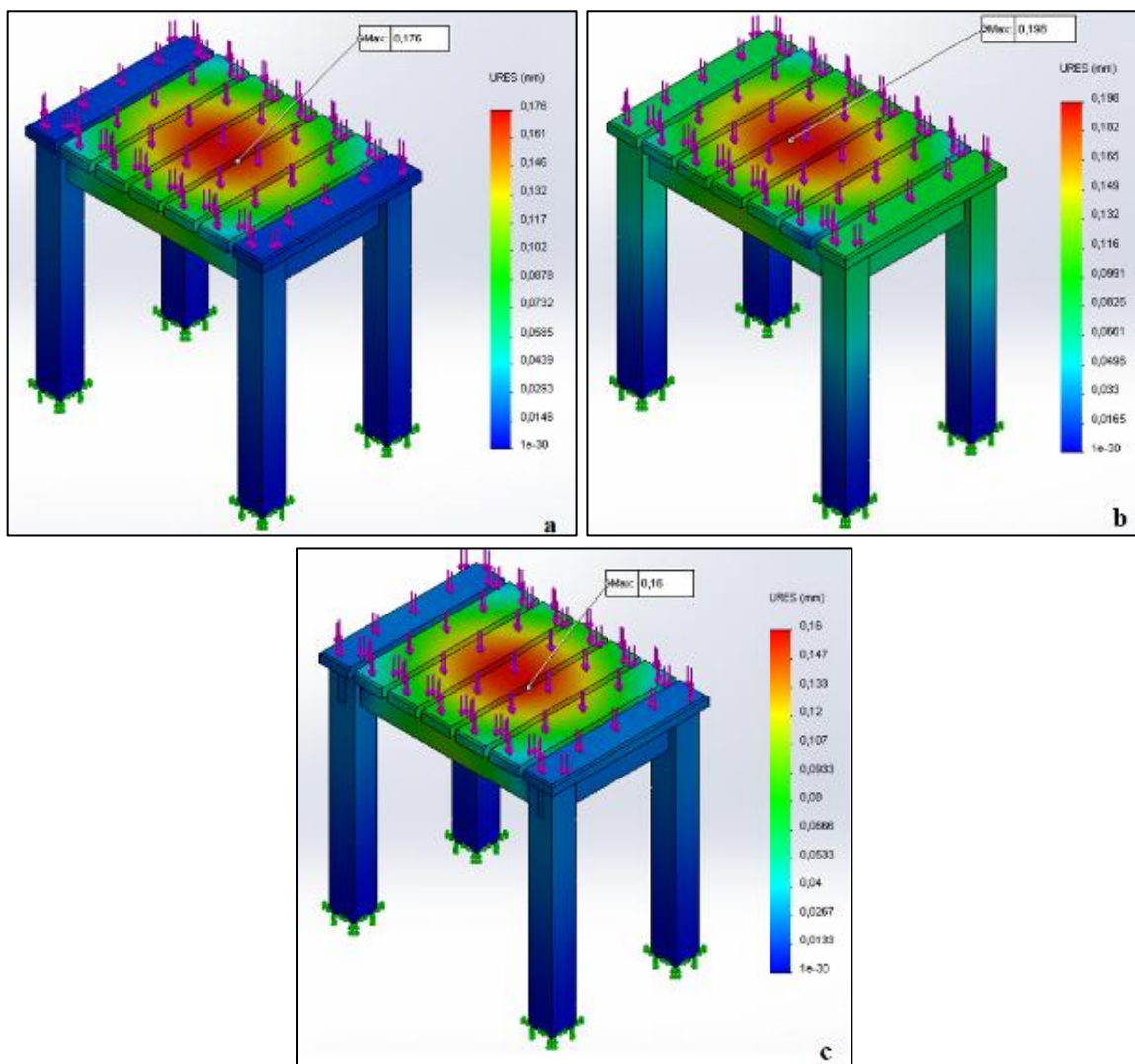
Regangan sebesar $4,247\text{e-}04$ dan $8,640\text{e-}04$ terjadi pada *Stool* Kayu Persegi yang diberikan konstruksi *dowel pin* dan biskuit *lamello* secara berurutan. Gaya luar yang bekerja pada suatu permukaan benda, selain berakibat pada munculnya tegangan, juga beresiko menyebabkan perubahan volume maupun perubahan bentuk. Dalam hal ini, bisa didefinisikan sebagai regangan (*strain*), dimana semakin besar nilai dari regangan, maka beresiko pula menyebabkan perubahan bentuk suatu komponen material [16]. Namun demikian, besaran regangan yang terjadi pada *Stool* Kayu Persegi yang diberikan konstruksi *dowel pin* dan biskuit *lamello* tergolong memiliki nilai yang kecil.

Nilai dari regangan terkecil diperoleh *Stool* Kayu Persegi yang diberikan konstruksi pen terbuka, yakni sebesar $2,894\text{e-}04$. Nilai regangan yang kecil ini merefleksikan jika semakin baik suatu konstruksi untuk menahan gaya luar yang bekerja [20]. Aplikasi dari konstruksi pen terbuka kembali menegaskan jika penggunaan konstruksi dengan luas penampang yang lebih besar, maka akan semakin baik pula untuk menetralkan gaya-gaya luar yang bekerja pada produk [21]. Pola distribusi regangan *Stool* Kayu Persegi yang diberikan konstruksi *dowel pin*, biskuit *lamello* dan pen terbuka bisa dilihat pada Gambar 5a, Gambar 5b dan Gambar 5c.

3.3. Analisa Defleksi (*Displacement*) *Stool* Kayu Persegi

Parameter ketiga yang menjadi tinjauan yakni defleksi (*displacement*). *Displacement* menjadi faktor yang tidak kalah penting untuk dipertimbangkan untuk melihat kelayakan suatu produk. *Displacement* yang besar bermakna tegangan maksimum yang terjadi pada komponen yang juga besar, sehingga mengakibatkan pergerakan yang signifikan dari molekul atom material, seringkali dimaknai dengan defleksi [17]. Pada simulasi pengujian pemberian beban *Stool* Kayu Persegi yang diberikan konstruksi *dowel pin*, diperoleh nilai dari deflesi sebesar 0,1706 mm. Jika dikorelasikan dengan nilai tegangan maksimum yang muncul akibat pemberian beban pada alas duduk *stool*, nilai defleksi ini dikategorikan kecil ($<1\text{mm}$) [22].

Pengujian lain juga dilakukan pada *Stool* Kayu Persegi yang diberikan konstruksi biskuit *lamello* dan pen terbuka. Dengan pengaturan kondisi batas, serta ukuran *mesh* yang sama, diperoleh nilai defleksi sebesar 0,198 mm dan 0,160 mm secara berurutan. Nilai defleksi yang lebih tinggi yakni sebesar 0,038 mm pada *stool* yang dirakit dengan konstruksi biskuit *lamello*.



Gambar 6. Pola distribusi defleksi pada *Stool* dengan Konstruksi (a) *dowel*, (b) *lamello* dan (c) pen terbuka

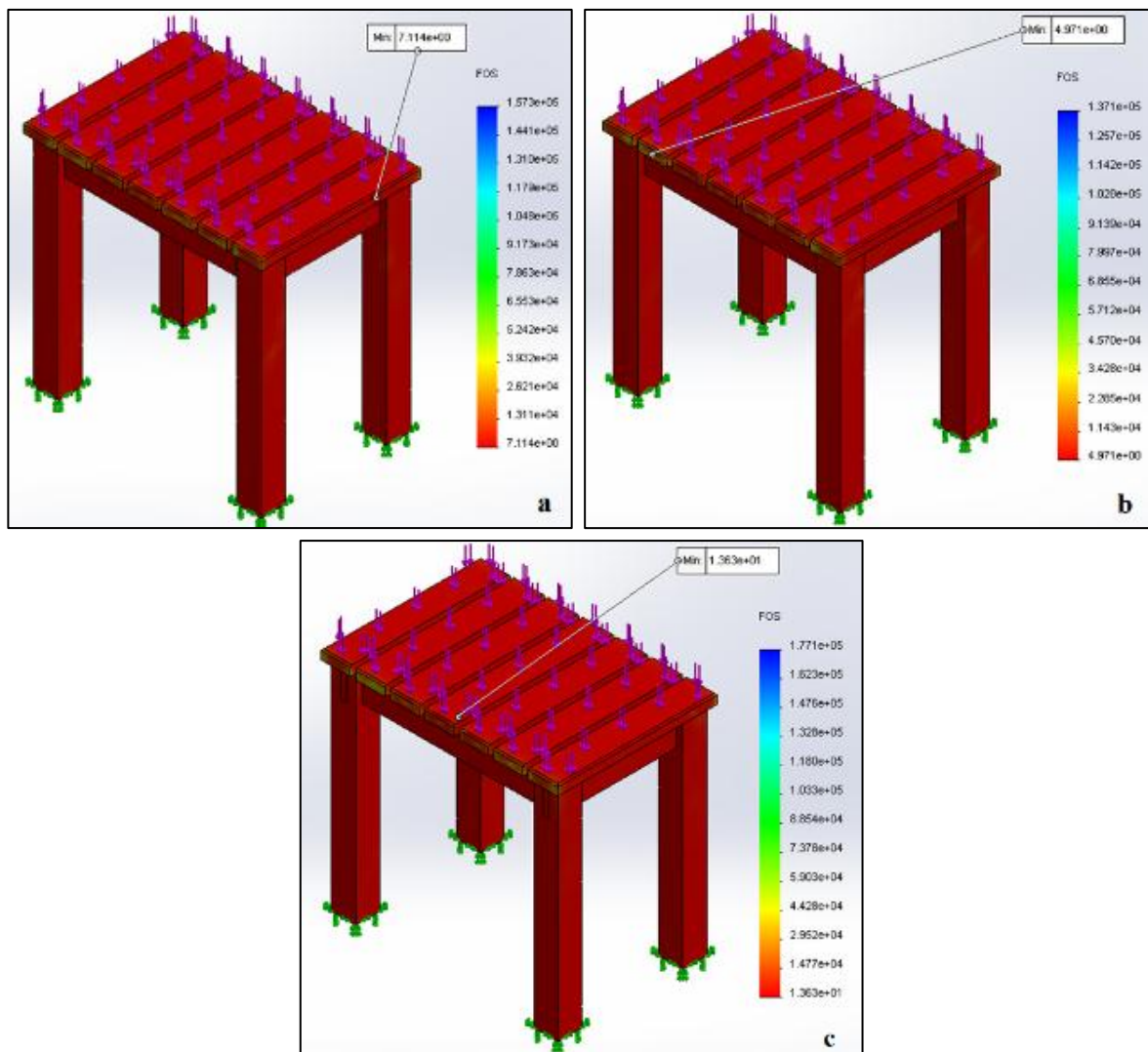
Hal ini selaras dengan nilai tegangan maksimum yang lebih besar jika dibandingkan dengan *stool* yang dirakit dengan konstruksi *dowel pin*. Meskipun hanya menggunakan *dowel pin* dengan ukuran Ø8 mm, namun penyematan dua buah *dowel pin* pada masing-masing komponen kaki *stool*, ambang depan serta ambang sisi akan meningkatkan stabilitas dan kekakuan (*rigid*) dari produk *Stool Kayu Persegi*, jika dibandingkan dengan konstruksi *lamello* yang hanya disematkan masing-masing satu buah pada kaki dan ambang *stool* [13].

Sebaliknya, nilai defleksi paling rendah diperoleh *stool* yang dirakit dengan konstruksi pen terbuka. Hal ini kembali menguatkan jika pemilihan konstruksi yang tepat, akan menghasilkan nilai defleksi yang semakin kecil pula [23]. Namun secara umum, ketiga jenis konstruksi menunjukkan pola defleksi yang sama, yakni terjadi defleksi maksimum pada bagian tengah dari alas duduk (slat) dari *stool*. Hal ini disebabkan oleh pada bagian sisi atau tepi dari alas duduk, gaya-gaya yang bekerja direaksikan oleh ambang dan kaki

dari *stool*, fenomena ini tidak berlaku pada bagian tengah dari alas duduk, dikarenakan tidak adanya komponen lain yang membantu untuk mereaksikan gaya-gaya yang bekerja, sehingga terjadi nilai defleksi yang lebih besar pada bagian tengah alas duduk *stool* [17]. Pola distribusi defleksi *Stool Kayu Persegi* yang diberikan konstruksi *dowel pin*, biskuit *lamello* dan pen terbuka bisa dilihat lebih jelas pada Gambar 6a, Gambar 6b dan Gambar 6c.

3.4. Analisa Faktor Keamanan pada *Stool Kayu Persegi*

Parameter keempat yang menjadi acuan yang tidak kalah penting adalah Faktor Keamanan (*Factor of Safety*) atau sering disingkat FOS. Suatu produk yang telah melewati pengujian dan menunjukkan hasil yang layak adalah jika nilai dari FOS lebih dari satu (>1) [24]. Produk *Stool Kayu Persegi* yang telah dirakit dengan tiga jenis konstruksi telah dilakukan simulasi uji pembebanan untuk melihat reaksi dari produk ketika menerima gaya dari luar.



Gambar 7. Pola distribusi *Factor of Safety* pada *Stool* dengan Konstruksi (a) *dowel*, (b) *lamello* dan (c) pen terbuka

Produk *Stool Kayu Persegi* yang dirakit dengan konstruksi *dowel pin* mampu menorehkan angka FOS sebesar 7,114. Di sisi lain, Produk *Stool Kayu Persegi* yang dirakit dengan konstruksi biskuit *lamello* mencatatkan

angka FOS yang lebih rendah yakni sebesar 4,971. Meski hanya mampu mencatatkan angka FOS yang lebih rendah, namun angka ini masih tergolong sangat aman, dikarenakan angka FOS yang ditorehkan lebih besar dari satu (>1),

sehingga bisa dikatakan jika baik *Stool Kayu Persegi* yang dirakit dengan *dowel pin* maupun dirakit dengan konstruksi biskuit *lamello* bisa disebut aman [25]

Stool Kayu Persegi model ketiga yang dirakit dengan konstruksi pen terbuka juga telah dilakukan pengujian bahkan mampu mencatatkan angka FOS yang paling tinggi yakni sebesar 13,630. Hal ini selaras dengan hasil-hasil pengujian sebelumnya, baik dari nilai tegangan maksimal, nilai regangan dan juga nilai dari defleksi. Aplikasi dari konstruksi pen terbuka untuk *Stool Kayu Persegi* kembali memperkuat temuan dari Lam *et al*, dimana pemilihan konstruksi yang tepat, akan meningkatkan kekuatan produk serta menghasilkan angka keamanan yang semakin baik pula [23]. Pola distribusi Factor of Safety (FOS) *Stool Kayu Persegi* yang diberikan konstruksi *dowel pin*, biskuit *lamello* dan pen terbuka bisa dilihat lebih jelas pada Gambar 7.

Data yang tersaji dalam Tabel 2 menunjukkan secara jelas perbedaan besaran dari nilai tegangan maksimum (*Von mises Stress*), regangan (*strain*), defleksi (*displacement*), serta angka faktor keamanan (*Factor of Safety*) antara tiga

jenis konstruksi yang diaplikasikan pada produk *Stool Kayu Persegi*. Secara umum ketiga jenis konstruksi yang aplikasikan bisa dikatakan layak dan aman digunakan karena berdasarkan hasil uji simulasi pembebanan ketiganya memperoleh angka faktor keamanan (*Factor of Safety*) yang nilainya lebih dari satu (>1) [24]. Besaran nilai tegangan maksimum yang muncul juga masih jauh dari angka tegangan luluh yang bisa menyebabkan kegagalan suatu struktur atau konstruksi [14].

Tinjauan lebih mendalam terkait hasil dari nilai regangan (*strain*) dan defleksi (*displacement*) juga diperoleh hasil yang positif dari ketiga jenis konstruksi yang diaplikasikan pada produk *Stool Kayu Persegi*. Nilai regangan yang kecil mengindikasikan jika besarnya tegangan maksimum yang muncul jauh dibawah nilai tegangan luluh material [16]. Selanjutnya nilai defleksi yang tergolong kecil merepresentasikan jika komponen dari produk *Stool Kayu Persegi* tidak menderita pergerakan yang bermakna yang dapat memunculkan resiko terjadinya retakan atau bahkan patahan pada komponen maupun konstruksi dari produk [26].

Tabel 2. Hasil pengujian pembebanan statik produk *Stool Kayu Persegi*

Tipe konstruksi	Mesh size (mm)	Von mises (MPa)	Strain	Displacement (mm)	Factor of Safety (FOS)
<i>Dowel pin</i>	35,00 ± 1,750	6,031	4,247e-04	0,170	7,114
Biskuit <i>lamello</i>	35,00 ± 1,750	9,647	8,640e-04	0,198	4,971
Pen terbuka	35,00 ± 1,750	3,670	2,894e-04	0,160	13,630

Yield strength: 41,4 MPa.

4. Kesimpulan

Berdasarkan data simulasi pembebanan statis dan analisis data, dapat disimpulkan jika aplikasi konstruksi pen terbuka direkomendasikan untuk digunakan sebagai sambungan (konstruksi) pada produk *Stool Kayu Persegi*. Hal ini berdasarkan dari nilai tegangan maksimum (*Von mises Stress*), regangan (*strain*) dan defleksi (*displacement*) dengan nilai yang paling minimal, serta angka faktor keamanan (*Factor of Safety*) yang paling baik dibandingkan dengan dua jenis konstruksi lainnya yakni *dowel pin* dan biskuit *lamello*.

Faktor keamanan dan besaran tegangan maksimum menjadi pertimbangan utama suatu produk aman digunakan atau tidak. Namun, seiring berjalannya waktu, kemudahan aplikasi dan pemasangan juga menjadi penting. Produk kayu yang menggunakan metode sambungan yang bersifat bongkar pasang (*knock-down*) perlu ditinjau lebih lanjut, terutama dalam hal kekuatan dan keamanan saat digunakan. Metode penelitian yang masih terbatas pada pengujian simulasi numerik, sehingga konfirmasi data menggunakan metode pengujian eksperimental sangat perlu dilakukan terutama sebelum produk melewati tahapan produksi masal. Penggunaan kayu ataupun material lain sebagai alternatif juga perlu dilakukan agar diperoleh data yang lebih komprehensif.

Daftar Pustaka

- [1] T. Widiandaru and N. Imaningsih, "Analisis Pengaruh Jumlah Produksi Furniture Indonesia, Kurs, Pendapatan Perkapita Amerika Serikat Terhadap Ekspor Furniture Amerika Serikat", *Jurnal Ekon. Manajemen, dan Akuntansi*, vol. 9, no. 5, pp. 1808-1812, 2023. <https://doi.org/10.35870/jemsi.v9i5.1405>
- [2] Z. Salim and E. Munadi, *Info Komoditi Furnitur*, Jakarta: Badan Pengkajian dan Pengembangan Perdagangan Kementerian Perdagangan Republik Indonesia, 2017.
- [3] A.N. Tankut and N. Tankut, "Section Modulus of Corner Joints in Furniture Frames as Engineering Design Criteria for Their Efficient Construction", *Materials & Design*, vol. 32, no. 4, pp. 2391-2395, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.10.027>
- [4] L. Cai and F. Wang, "Influence of the Stiffness of Corner Joint on Case Furniture Deflection," *European Journal of Wood and Wood Products*, vol. 51, pp. 406-408, 1993. <https://doi.org/10.1007/BF02628238>
- [5] B. Rahmat, D. Mulyosari, A.A. Purwanto, and W. Widiyanto, "Pengaruh Posisi Sambungan Konstruksi Kayu Terhadap Dedain Produk Mebel Berbahan Dasar Kayu", *Jurnal Kreatif: Desain Produk Industri dan Arsitektur*, vol. 11, no. 1, pp. 1-8, 2023.
- [6] T. Bardak, A. Tankut, N. Tankut, D. Aydemir, and E.

- Sözen, "The Bending and Tension Strength of T-Type Mortise and Tenon Joints Bonded with Polyvinyl Acetate Nanocomposites", *Maderas Ciencia y tecnología*, vol. 19, pp. 51-61, 2017. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000005>
- [7] A.A. Purwanto, B. Rahmat, W. Widiyanto, A. Wijayanto, S. Muhamad, D. Mulyosari, and Nurmadina, "Pengaruh Jenis Konstruksi Klasik Dan Modern Terhadap Kekuatan Produk Berbasis Kayu", *Jurnal Tengawang*, vol. 14, no. 1, pp. 10-22, 2024.
- [8] B. Rahmat, W. Widiyanto, A.A. Purwanto, A. Wijayanto, S. Muhamad, D. Mulyosari, and N.B. Nurmadina, "Studi Eksperimental Uji Kekuatan Sambungan Klasik dan Sambungan Modern pada Produk Furnitur", *Journal on Research and Application of Industrial System*, vol. 9, no. 1, pp. 1-13, 2024. <http://dx.doi.org/10.33021/jie.v9i1.4843>
- [9] H.H. Tas, "Strength Properties of L-Profiled Furniture Joints Constructed with Laminated Wooden Panels," *Scientific Research and Essays*, vol. 5, pp. 545-550, 2010.
- [10] S.-L. Yang, *The Finite Element Approach*, Singapore: Springer Nature, 2023.
- [11] M. Sciomenta, G. Tamagnone, L. Gioiella, F. Micozzi, A. Zona, A. Dall'asta, and M. Fragiaco, "Experimental Testing of School Furniture Designed with Life-Saving Functions in Case of Earthquakes", *Engineering Structures*, vol. 336, no. 120389, pp. 1-14, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2025.120389>
- [12] M. Podskarbi and J. Smardzewski, "Numerical Modelling of New Demountable Fasteners for Frame Furniture", *Engineering Structures*, vol. 185, pp. 221-229, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.135>
- [13] T. Kuşkun, J. Smardzewski, and A. Kasal, "Experimental and Numerical Analysis of Mounting Force of Auxetic Dowels for Furniture Joints", *Engineering Structures*, vol. 226, no. 111351, pp. 1-16, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111351>
- [14] 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 & Konstruksi*, vol. 23, no. 2, pp. 179-189, 2024. <https://doi.org/10.35760/dk.2024.v23i2.11820>
- [15] K. Horikiri, Y. Yao, and J. Yao, "Numerical Optimisation of Thermal Comfort Improvement for Indoor Environment with Occupants and Furniture", *Energy and Buildings*, vol. 88, pp. 303-315, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.015>
- [16] R.C. Hibbeler and S. Fan, *Mechanics of Materials*, New York: Prentice Hall 2011.
- [17] W.D. Callister and D.G. Rethwisch, *Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach*, New York: John Wiley & Sons, 2011.
- [18] E.B. Saputra, A. Zohari, Andriansyah, and W.B. Sulisty, "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, pp. 85-98, 2023. <https://doi.org/10.25299/rem.2023.14344>
- [19] W.D. Callister and D.G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, New York: John Wiley & Sons, 2007.
- [20] J. Hao, L. Xu, X. Wu, and X. Li, "Analysis and Modeling of the Dowel Connection in Wood T Type Joint for Optimal Performance", *Composite Structures*, vol. 253, no. 112754, pp. 1-14, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112754>
- [21] A. Fabbri, F. Minghini, and N. Tullini, "Monotonic and Cyclic Pull-Pull Tests on Dowel-Nut Connector in Laminated Veneer Lumber Made of European Beech Wood", *Construction and Building Materials*, vol. 359, no. 129461, pp. 1-16, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129461>
- [22] J.M.L. Salde, E. Hunggurami, and T.M.W. Sir, "Kuat Acuan Kayu-Kayu Lokal di Kabupaten Alor", *Jurnal Teknik Sipil* vol. 11, no. 2, pp. 189-198, 2022.
- [23] F. Lam, Y. Li, and M. Li, "Torque Loading Tests on the Rolling Shear Strength of Cross-Laminated Timber", *Journal of Wood Science*, vol. 62, no. 5, pp. 407-415, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10086-016-1567-2>
- [24] Z. Abidin, Rama, and B. Ridho, "Analisa Distribusi Tegangan dan Defleksi Connecting Rod Sepeda Motor 100 Cc Menggunakan Metode Elemen Hingga", *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 1, pp. 30-39, 2015.
- [25] R. Hassan, A. Ibrahim, Z. Ahmad, and M. Nizam Shakimon, "Factor of Safety for Dowelled-Double Shear Kempas and Kapur Connections", *InCIEC* 2013, pp. 61-73. 2014. https://doi.org/10.1007/978-981-4585-02-6_6
- [26] F.J. Rescalvo, M. Portela, C. Cruz, R. Bravo, and J.A. Lorenzana, "Relationship Between the Acoustic Emission and the Strain Field in Finger Joints of Engineered Wood Products for Construction", *Engineering Failure Analysis*, vol. 162, no. 108411, pp. 1-16, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108411>

This page is intentionally left blank