

Analisis Pemanfaatan Limbah Kayu Sungkai dan Red Oak sebagai Bahan Finger Joint Laminated untuk Produk Kabinet

Taufik Ramadhan Fitrianto,^{1*} Faqih Amri Wirayuda²

^{1,2} Program Studi Teknik Produksi Furnitur Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu, Kendal, Kendal, Indonesia

Diterima : 12 September 2025

Direvisi : 26 November 2025

Diterbitkan : 01 April 2026

Abstract

The growing demand for furniture in line with population growth has led to a sharp increase in wood consumption, consequently generating significant volumes of production waste. This wood waste, often regarded as mere residue, in fact holds substantial economic potential when re-engineered into functional materials. This research employed an experimental case study to examine the feasibility of utilizing sungkai offcuts and red oak knots through the finger joint laminated (FJL) technique as alternative raw materials for cabinet manufacturing. The research process involved product design using AutoCAD software, component fabrication through finger jointing and lamination, and product strength testing based on the International Testing Standard (ITS). The results showed that the produced cabinet achieved the required structural strength for functional loads and reached material efficiency levels of 0.23% for red oak and 1.31% for sungkai. This approach demonstrates the technical feasibility of reusing wood waste as a viable furniture material while also generating new economic value from environmentally friendly resources. Unlike previous studies that mainly focused on design aesthetics, this study emphasizes the evaluation of the technical performance of waste-based materials to support the development of sustainable furniture design.

Key words: material efficiency, sustainability, product design, modular, waste wood processing, eco-friendly furniture

Abstrak

Permintaan furnitur yang terus meningkat seiring pertumbuhan populasi menyebabkan konsumsi kayu melonjak tajam dan menimbulkan volume limbah yang signifikan pada proses produksi. Limbah kayu yang umumnya dianggap sisa buangan sebenarnya memiliki potensi ekonomi tinggi apabila direkayasa kembali menjadi material fungsional. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen berbasis studi kasus untuk menguji kelayakan pemanfaatan limbah potongan kayu sungkai dan mata kayu red oak melalui teknik *finger joint laminated* sebagai bahan alternatif dalam pembuatan produk kabinet. Tahapan penelitian meliputi perancangan desain menggunakan perangkat lunak AutoCAD, pembuatan komponen melalui proses *finger jointing* dan laminasi, serta pengujian kekuatan produk berdasarkan standar *International Testing Standard* (ITS). Hasil menunjukkan bahwa produk kabinet yang dihasilkan memiliki kekuatan struktural yang memenuhi kriteria beban fungsional dan efisiensi pemanfaatan limbah sebesar 0,23% untuk red oak dan 1,31% untuk sungkai. Pendekatan ini tidak hanya membuktikan kelayakan teknis limbah kayu sebagai bahan baku furnitur, tetapi juga membuka peluang ekonomi baru melalui pemanfaatan material sisa yang ramah lingkungan. Berbeda dari penelitian sebelumnya yang berfokus pada aspek desain, studi ini menekankan evaluasi performa teknis material limbah untuk mendukung pengembangan furnitur berkelanjutan.

Kata kunci: efisiensi material, keberlanjutan, desain produk, desain modular, pengolahan limbah kayu, furnitur ramah lingkungan

1. Pendahuluan

Permintaan furnitur yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk berdampak langsung pada peningkatan konsumsi kayu sebagai bahan utama. Fenomena ini mencerminkan kebutuhan masyarakat yang semakin tinggi terhadap furnitur tidak hanya sebagai elemen fungsional, tetapi juga sebagai penunjang estetika dan gaya hidup modern (Akbar, 2017; Harto, 2018). Beragamnya jenis, fungsi, dan desain furnitur di pasaran

* Corresponding author :

menunjukkan adanya perluasan kebutuhan terhadap produk berkualitas tinggi dengan tampilan visual menarik. Namun, di balik peningkatan permintaan tersebut, terdapat permasalahan serius berupa eksploitasi sumber daya kayu alam yang kian intensif. Data dari Badan Pusat Statistik (2023) mencatat bahwa produksi kayu bulat di Indonesia mencapai 64,65 juta m³ per tahun, angka yang menggambarkan tekanan besar terhadap sumber daya hutan. Meskipun material alternatif seperti medium density fibreboard (MDF), blockboard, dan particle board telah banyak digunakan, kayu solid tetap menjadi pilihan utama karena kekuatan mekanis, ketahanan, serta karakter estetikanya (Asrib, 2024). Kondisi ini memperlihatkan urgensi penelitian yang tidak hanya menekankan aspek desain, tetapi juga efisiensi material dan kinerja struktural furnitur dari bahan limbah kayu.

Proses produksi furnitur menghasilkan limbah kayu dalam jumlah besar. Hasil observasi pada salah satu industri furnitur di Kota Semarang menunjukkan bahwa tingkat rendemen kayu impor mencapai sekitar 32% sedangkan kayu lokal berkisar antara 35-45%. Data tersebut menunjukkan bahwa lebih dari separuh material kayu tidak termanfaatkan secara optimal dan berakhir sebagai limbah produksi. Berdasarkan pendapat Widarmana (1973) dalam (Purwanto, 2009), limbah kayu merupakan bagian dari material yang tidak memiliki nilai guna dalam kondisi tertentu, tetapi masih memiliki potensi pemanfaatan secara ekonomis dalam bentuk lain. Sebagian besar limbah kayu dimanfaatkan sebagai bahan bakar proses *kiln dry* atau dijual kepada pihak pengepul dengan nilai ekonomi yang rendah (Dewi & Hidayat, 2020). Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa limbah kayu memiliki potensi untuk diolah menjadi produk bernilai jual. Agustian dkk. (Agustian et al., 2021) mengolah potongan kayu sengon dan pinus menjadi produk furnitur serta aksesoris rumah tangga yang memiliki nilai komersial. Asmoro & Widadagdo (Asmoro & Widadagdo, 2021) melakukan penelitian di Trustic Interior dan membuktikan bahwa limbah *plywood* dan *high pressure laminate* (HPL) dapat direkayasa menjadi produk turunan, antara lain *end table* dan mainan edukatif dengan nilai ekonomi tinggi. Mulyadi & Tezakumala (2021) menyatakan bahwa pemanfaatan limbah kayu ekspor dapat menghasilkan keuntungan finansial melalui penerapan metode *cost-plus pricing* (Mulyadi & Tezakumala, 2021).

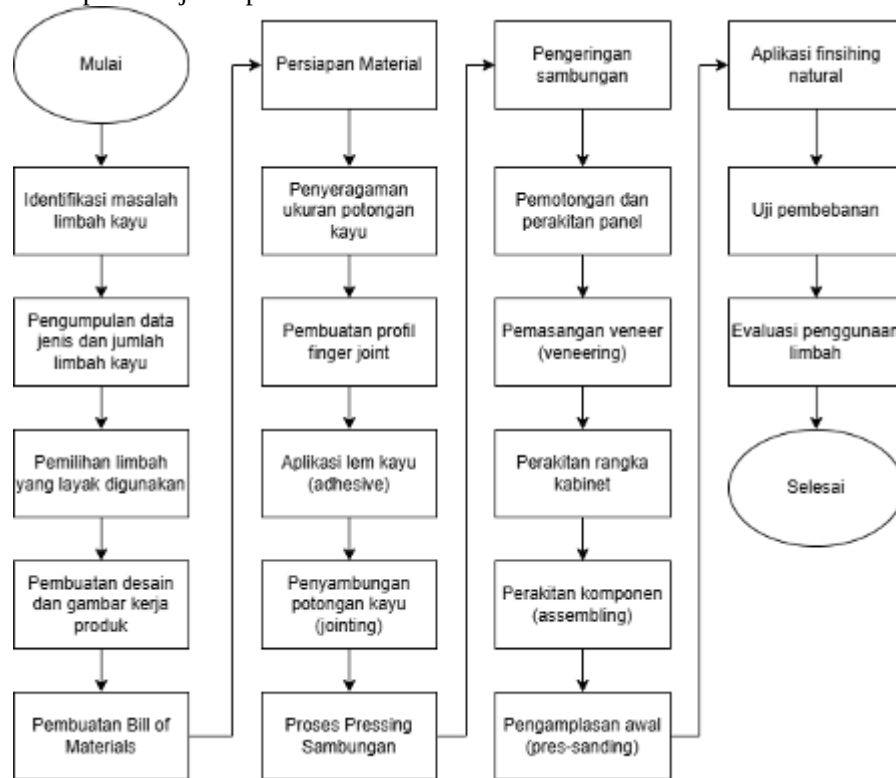
Salah satu tantangan utama dalam pemanfaatan limbah kayu terletak pada keterbatasan kemampuan desain dan teknik rekayasa material dalam mengakomodasi variasi bentuk, ukuran, serta cacat alami pada kayu sisa. Penelitian yang dilakukan oleh Kusumaningrum dkk. (2022) menghasilkan rancangan kursi makan berbasis limbah kayu pada industri furnitur, tetapi penelitian tersebut belum mencakup analisis efisiensi material dan kekuatan struktural produk (Kusumaningrum et al., 2022). Fariz dkk., mengembangkan rancangan meja televisi parametrik dengan menggunakan limbah kayu lapis dan memperoleh tingkat kesesuaian desain sebesar 77% berdasarkan preferensi pengguna, meskipun penelitian tersebut belum mencantumkan pengujian kekuatan material maupun perhitungan rendemen bahan (Fariz et al., 2024). Al Farobi & Mardiana (2024) melaksanakan penelitian mengenai rekayasa material limbah kayu yang difokuskan pada pengujian karakteristik fisik, tetapi belum sampai pada penerapan hasil rekayasa dalam bentuk desain produk furnitur. Perbedaan ruang lingkup penelitian tersebut menunjukkan adanya kesenjangan kajian antara perancangan produk furnitur berbasis limbah kayu dan analisis performa teknis material hasil rekayasa. Selain memberikan nilai ekonomi, pengelolaan limbah kayu secara efektif berpotensi memberikan manfaat ekologis yang signifikan (Al Farobi & Mardiana, 2024). Prabowo & Suhariyanto (2021) menyatakan bahwa pengolahan limbah serbuk kayu memiliki kontribusi terhadap emisi karbon dioksida (CO₂) serta pencemaran udara, dan dampak tersebut dapat dikurangi melalui penerapan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA). Strategi pemanfaatan ulang limbah kayu diposisikan sebagai upaya pengelolaan produksi yang berkelanjutan dan sejalan dengan prinsip efisiensi sumber daya pada industri furnitur (Prabowo & Suhariyanto, 2021).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji potensi pemanfaatan limbah kayu sebagai bahan dasar pembuatan furnitur melalui pendekatan rekayasa material. Fokus utama penelitian adalah menganalisis tingkat efisiensi dan kelayakan teknis pemanfaatan limbah tersebut sebagai bahan alternatif yang mampu memenuhi kebutuhan fungsional dan estetika furnitur modern. Melalui kajian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai kontribusi pemanfaatan limbah kayu terhadap peningkatan efisiensi material, pengurangan dampak lingkungan, serta penguatan konsep keberlanjutan dalam industri furnitur.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen berbasis studi kasus dengan metode deskriptif-kuantitatif untuk menilai sejauh mana limbah kayu dapat direkayasa menjadi bahan baku furnitur bernilai

ekonomi melalui teknik *finger joint laminated* (FJL). FJL sendiri sudah cukup familiar dikembangkan sebagai material furnitur dengan memanfaatkan potongan-potongan kayu yang disusun menjadi sebuah papan utuh (Nurhanifah et al., 2025). Secara umum, penelitian ini terdiri dari empat tahap utama, yaitu: (1) pembuatan gambar kerja, (2) seleksi dan kalkulasi bahan, (3) proses produksi dan perakitan, serta (4) evaluasi kekuatan dan efisiensi material. Detail tahapan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir pembuatan dan pengujian produk cabinet

Tahapan awal penelitian diawali dengan perancangan produk kabinet sebagai objek studi. Pemilihan produk kabinet didasarkan pada fungsinya yang bersifat *load-bearing* (menahan beban), sehingga sesuai untuk menguji kelayakan kekuatan material hasil rekayasa *finger joint laminated* (FJL) pada struktur furnitur. Titunin dkk., (Titunin et al., 2023) menunjukkan bahwa kualitas sambungan *finger joint* sangat menentukan ketahanan lentur struktur kayu berlapis, dengan nilai tegangan lentur rata-rata mencapai 19,8 MPa pada pengujian statis, yang menegaskan relevansi metode ini untuk aplikasi struktural. Pemilihan produk kabinet dinilai representatif untuk menilai performa mekanis material berbasis limbah kayu dalam konteks furnitur fungsional.

Material yang digunakan meliputi potongan kayu sungkai dan mata kayu *red oak*, dua jenis kayu yang umum digunakan di industri furnitur karena memiliki stabilitas dimensi dan karakter serat yang menarik secara estetika. Sementara itu, kayu sungkai dikenal memiliki densitas sedang dan daya rekat tinggi terhadap lem PVAc, menjadikannya kandidat ideal untuk rekayasa material FJL. Kedua jenis kayu tersebut juga tersedia cukup banyak di area produksi. Proses desain kabinet dikembangkan melalui observasi material limbah di area produksi, eksplorasi bentuk, dan pembuatan gambar kerja menggunakan perangkat lunak AutoCAD. Untuk menghitung efisiensi pemanfaatan limbah, dilakukan analisis perbandingan antara total volume limbah yang berhasil digunakan dengan total limbah yang tersedia, sebagaimana diterapkan oleh Mulyadi & Tezakumala (Mulyadi & Tezakumala, 2021) dalam evaluasi keekonomian limbah kayu ekspor (Persamaan 1).

(1)

$$\text{Efisiensi Pemanfaatan Limbah (\%)} = \frac{\text{Volume Limbah Terpakai (m}^3\text{)}}{\text{Volume Limbah Tersedia (m}^3\text{)}} \times 100\%$$

Proses rekayasa material dilakukan melalui tahapan pembuatan *finger joint* untuk menyambungkan potongan kayu berukuran kecil menjadi bilah panjang, kemudian dilanjutkan dengan proses laminasi menggunakan mesin *hot press*. Teknik ini telah terbukti mampu meningkatkan kekuatan sambungan dan stabilitas dimensi pada material kayu (De Silva & Liyanage, 2019). Selama proses laminasi, beberapa bilah kayu disusun mendatar dan direkatkan dengan lem PVAc (*polyvinyl acetate*) yang dikenal memiliki daya rekat tinggi, tidak beracun, dan sesuai untuk produk ramah lingkungan (Wen, 2009). Papan FJL sendiri digunakan sebagai body utama produk kabinet, dengan kata lain papan FJL ini yang akan menahan beban yang diberikan. Selain itu, penerapan FJL dalam konteks *sustainable material design* juga sejalan dengan penelitian oleh Hartanto (Hartanto, 2022) yang menunjukkan pergeseran tren dari furnitur kayu solid menuju furnitur berbasis veneer dan *engineered wood* untuk mengoptimalkan sumber daya kayu. Proses laminasi dan penyambungan *finger joint* di penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan panel yang kuat secara struktur namun tetap ekonomis dari sisi bahan baku.

Setelah proses produksi selesai, produk kabinet hasil rekayasa material limbah kayu direncanakan untuk menjalani serangkaian uji kekuatan dan performa struktur guna menilai kelayakan teknisnya sebagai furnitur penyimpanan. Pengujian ini disusun berdasarkan prinsip yang diadaptasi dari ISO 7170:2021 – *Furniture — Storage Units — Determination of Strength, Durability and Stability* serta BIFMA X5.9-2019 – *Storage Units*, yang merupakan pedoman internasional dalam penilaian kekuatan, stabilitas, dan ketahanan furnitur berbasis kayu rekayasa (Tabel 1).

Tabel 1. Metode pengujian kekuatan material

No	Jenis Uji	Beban (lbs)	Beban Uji (kg)	Durasi (menit)	Tujuan Pengujian
1	<i>Distribution Test</i>	50	25	60	Menilai kemampuan kabinet menahan beban merata di permukaan tanpa deformasi permanen.
2	<i>Concenter Test</i>	300	150	60	Menguji ketahanan struktur terhadap beban terpusat di satu titik, khususnya pada sambungan <i>finger joint</i> .
3	<i>Stability Test</i>	100	50	±1	Mengevaluasi stabilitas kabinet terhadap gaya dorong atau beban miring untuk memastikan keseimbangan.
4	<i>Loading Shelf Test</i>	100	50	60	Mengukur daya dukung rak terhadap beban maksimum dalam durasi tertentu.

Nilai pembebanan dalam kilogram sedikit melebihi hasil konversi dari satuan pound karena menyesuaikan dengan ketersediaan beban fisik di fasilitas pengujian, tanpa mengubah proporsi kekuatan yang diharapkan. Penetapan beban ini tetap berada dalam rentang toleransi yang direkomendasikan oleh ISO 7170:2021 dan BIFMA X5.9-2019 untuk kategori *domestic storage units*, yaitu beban permukaan antara 20–60 kg, beban terpusat hingga 150 kg, serta uji ketahanan stabilitas dengan beban miring sebesar 50 kg. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan hasil pengujian yang setara secara validitas teknis dengan prosedur standar internasional, sekaligus menggambarkan kelayakan struktural produk kabinet berbahan *finger joint laminated* dari limbah kayu.

3. Hasil dan Pembahasan

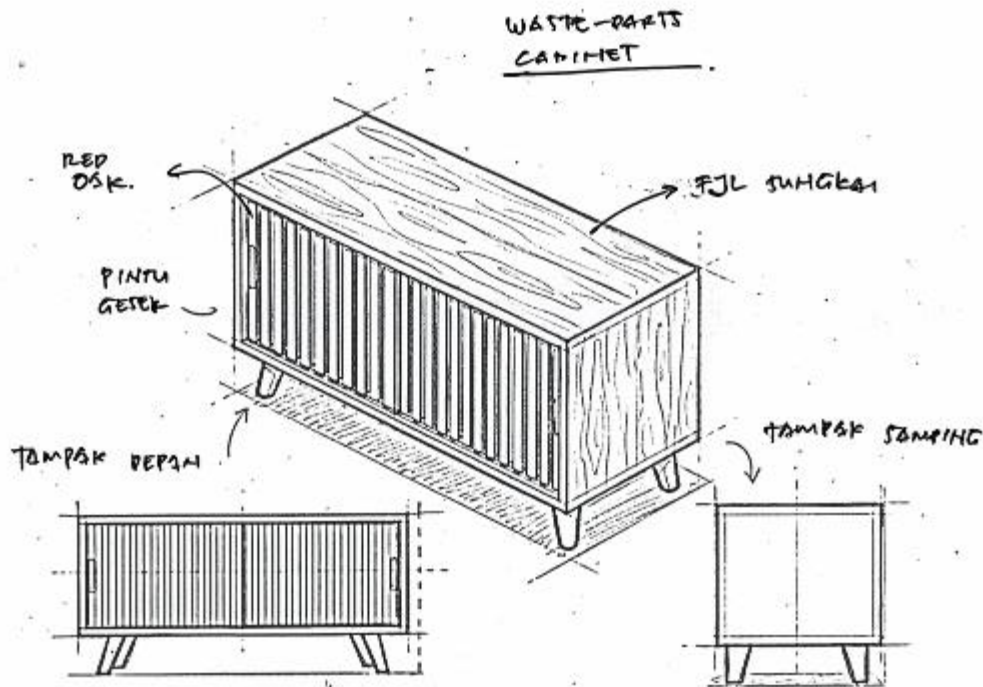
3.1. Pembuatan Desain Produk

Tahap awal dalam proses perancangan *Produk kabinet* adalah pembuatan desain produk yang berorientasi pada pemanfaatan limbah kayu sebagai bahan baku utama. Desain merupakan langkah strategis dalam produksi furnitur, karena desain yang baik tidak hanya mempertimbangkan aspek estetika dan fungsional, tetapi juga efisiensi material serta kemudahan proses manufaktur. Proses desain diawali dari sebuah ide konseptual, yaitu menciptakan produk kabinet yang dapat memanfaatkan potongan kayu bekas atau limbah dari proses produksi sebelumnya, terutama dari kayu *red oak* dan sungkai. Ide ini kemudian dikembangkan melalui serangkaian *brainstorming* dan improvisasi langsung terhadap material limbah, dengan memperhatikan ukuran aktual limbah, pola cacat seperti mata kayu, serta variasi bentuk yang tidak simetris. Proses ini penting untuk memastikan bahwa



rancangan yang dihasilkan bersifat *material-driven design*, yakni rancangan yang berkembang mengikuti karakteristik bahan yang tersedia.

Tahap awal perancangan diawali dengan pembuatan sketsa dua dimensi untuk memberikan gambaran mengenai rancangan kabinet berbasis limbah kayu *sungkai* dan *red oak* (Gambar 2). Sketsa awal berfungsi sebagai media eksplorasi bentuk, komposisi visual, serta potensi sambungan antarbagian material. Setelah proses eksplorasi bentuk selesai, sketsa mentah kemudian dikembangkan menjadi gambar kerja teknis menggunakan perangkat lunak AutoCAD sebagai bagian dari sistem *Computer-Aided Design* (CAD). Menurut Yuniarti dan Elsha (2018), AutoCAD memiliki keunggulan dalam menghasilkan gambar teknis dengan tingkat presisi tinggi serta memungkinkan pembuatan proyeksi dua dan tiga dimensi secara efisien. Gambar kerja produk mencakup tampilan perspektif, pandangan depan, samping, dan atas, serta detail sambungan dan konstruksi kabinet. Dalam penelitian ini, penggunaan AutoCAD juga dimanfaatkan untuk menentukan dimensi aktual produk serta menghitung kebutuhan material limbah berdasarkan *Bill of Materials* (BoM) sebagai dasar perencanaan tahap produksi.

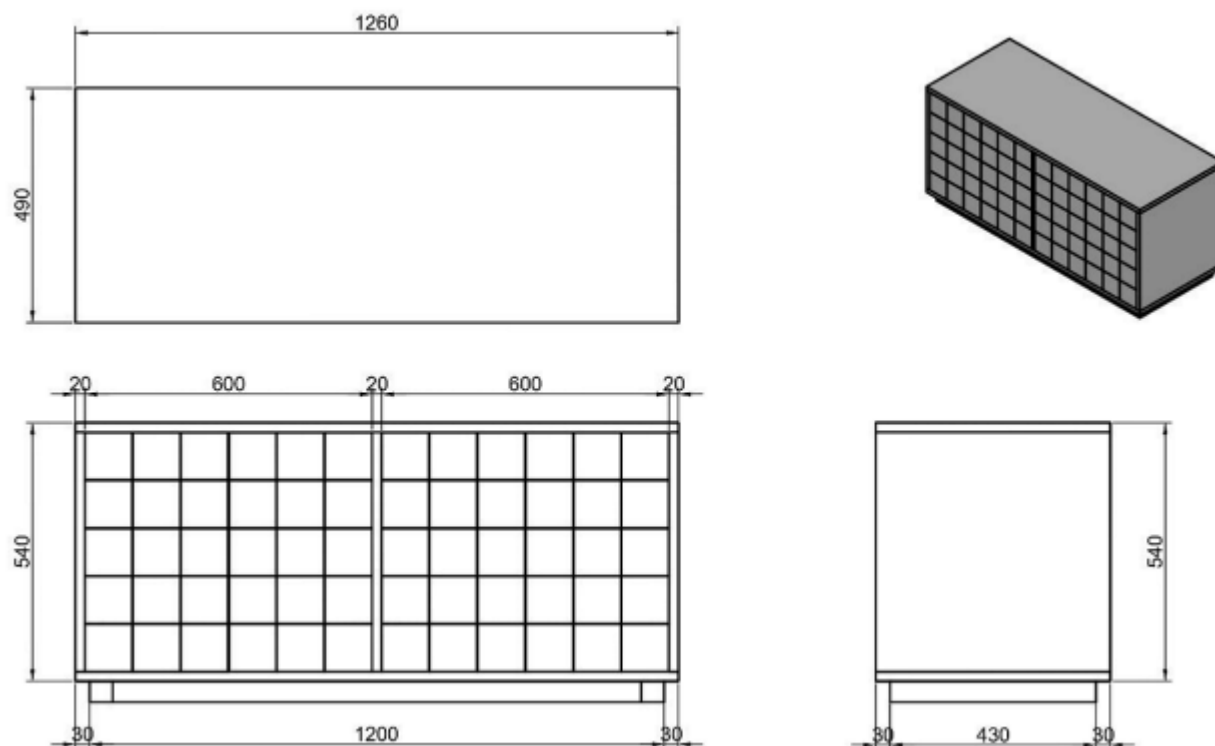


Gambar 2. Sketsa awal produk kabinet dari limbah kayu

Pada tahap selanjutnya, rancangan mengalami beberapa penyesuaian akibat keterbatasan bentuk dan dimensi material limbah yang tersedia. Pada rancangan awal, panel pintu kabinet direncanakan menggunakan potongan *red oak* berbentuk memanjang untuk menonjolkan arah serat kayu. Namun, hasil observasi menunjukkan bahwa material limbah *red oak* yang tersedia sebagian besar berupa potongan kecil berbentuk mata kayu dengan ukuran tidak seragam. Berdasarkan kondisi tersebut, desain panel pintu diubah menggunakan potongan *red oak* berbentuk persegi agar dapat menyatukan fragmen kecil secara efisien sekaligus membentuk pola visual mosaik yang tetap estetik.

Selain perubahan pada panel pintu, modifikasi juga dilakukan pada bagian kaki kabinet. Desain awal menggunakan empat kaki terpisah di setiap sudut, kemudian diganti dengan bentuk alas papan memanjang yang berfungsi sebagai penopang beban utama. Perubahan ini dilakukan untuk meningkatkan stabilitas beban dan distribusi gaya tekan secara merata pada bidang dasar kabinet. Penelitian oleh Smardzewski dkk. (Smardzewski et al., 2015) menunjukkan bahwa struktur sambungan dan distribusi beban sangat berpengaruh pada stabilitas produk furnitur. Oleh karena itu, desain alas papan dipilih untuk meningkatkan ketahanan struktural, terutama mengingat karakteristik material *finger joint laminated* yang terdiri atas sambungan potongan kecil dengan variasi

kekuatan lokal. Secara keseluruhan, proses revisi desain ini bertujuan untuk menyesuaikan rancangan produk terhadap kondisi aktual material limbah tanpa mengabaikan aspek fungsional dan kekuatan struktural. Pendekatan adaptif ini mendukung konsep efisiensi material dan keberlanjutan yang menjadi dasar penelitian. Hasil desain produk disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Gambar kerja produk cabinet



Gambar 4. Render model kabinet berbahan limbah kayu

3.2. Pembuatan Bill of Materials

Setelah desain produk diselesaikan dalam bentuk gambar kerja menggunakan perangkat lunak AutoCAD, langkah berikutnya adalah menerjemahkan informasi teknis desain menjadi kebutuhan bahan dalam bentuk *Bill of Materials* (BoM). BoM merupakan dokumen penting dalam proses produksi, karena berisi daftar lengkap komponen yang akan dibuat, jenis material yang digunakan, jumlah kebutuhan, serta ukuran bahan mentah (*raw size*) dan ukuran akhir setelah proses (*finish size*).

Dalam konteks penelitian ini, BoM tidak hanya berfungsi sebagai pedoman kerja bagi proses produksi, tetapi juga menjadi dasar evaluasi dalam menghitung efisiensi pemanfaatan limbah kayu. Oleh karena itu, setiap komponen produk dianalisis dari segi volume material, jenis bahan, dan keterkaitannya dengan sumber limbah. Produk yang dikembangkan, yaitu *Produk kabinet*, memiliki dimensi akhir 1260 mm x 490 mm x 540 mm (P x L x T), yang terdiri dari komponen-komponen utama seperti sisi kabinet, penutup atas dan bawah, rak, serta bagian pintu. Bahan utama yang digunakan adalah limbah potongan kayu sungkai, yang direkayasa menjadi papan FJL untuk struktur utama kabinet, dan limbah mata kayu *red oak* untuk bagian-bagian pintu, khususnya panel dekoratif dan pendukung estetika visual.

Dalam penyusunannya, BoM mencakup detail ukuran mentah (*raw size*) yang mengacu pada dimensi bahan sebelum proses perataan dan pemotongan akhir, serta ukuran akhir (*finish size*) yang mengacu pada dimensi aktual komponen dalam produk. Selain itu, setiap item dihitung volume bahan dalam satuan meter kubik (m³) sebagai dasar analisis efisiensi material. *Bill of Materials* disajikan pada Tabel 1.

3.3. Proses Pembahanan dan Persiapan Material

Tahapan awal dalam proses produksi *Produk kabinet* dimulai dari kegiatan pembahanan, yaitu proses penyiapan bahan baku sesuai dimensi awal (*raw size*) yang mengacu pada daftar *Bill of Materials* (BoM) yang telah disusun. Mengingat bahan baku utama dalam penelitian ini berasal dari limbah produksi dan sisa potongan kayu, maka pembahanan tidak hanya menjadi proses teknis awal, tetapi juga berfungsi sebagai proses seleksi material. Material yang digunakan meliputi limbah kayu sungkai, mata kayu *red oak*, serta potongan *veneer*. Dalam pembuatan *Produk kabinet*, terdapat empat jenis pembahanan utama, yaitu pembahanan panel, solid, *veneer*, dan *finger joint laminated* (FJL). Masing-masing memiliki karakteristik dan perlakuan tersendiri. Proses ini diawali dengan kegiatan penyortiran limbah, yaitu memisahkan kayu berdasarkan jenis, panjang, cacat, dan ukuran potongan. Setelah disortir, potongan kayu diproses agar dapat digunakan sebagai komponen produk sesuai spesifikasi pada gambar kerja.

Tabel 2. Bill of Materials produk Waste Parts Cabinet

N o	Nama Komponen	Material	Qty	Raw Size (mm) (P x L x T)	Finish Size (mm) (P x L x T)	Volume (m ³)
1	Side Right Box	FJL Sungkai	1	540 × 500 × 24	500 × 490 × 20	0,005
2	Side Left Box	FJL Sungkai	1	540 × 500 × 24	500 × 490 × 20	0,005
3	Middle Box	FJL Sungkai	1	540 × 500 × 24	500 × 490 × 20	0,005
4	Top Box	FJL Sungkai	1	1300 × 500 × 24	1260 × 490 × 20	0,012
5	Bottom Box	FJL Sungkai	1	1300 × 500 × 24	1260 × 490 × 20	0,012
6	Adjustable Shelf	FJL Sungkai	2	630 × 460 × 24	590 × 450 × 20	0,001
7	Bottom Front	Red oak	1	1124 × 490 × 48	1104 × 480 × 44	0,002
8	Bottom Back	Red oak	1	1124 × 490 × 48	1104 × 480 × 44	0,002
9	Bottom Left	Red oak	1	450 × 490 × 48	430 × 490 × 44	0,001
10	Bottom Right	Red oak	1	450 × 490 × 48	430 × 490 × 44	0,001
11	Bottom Middle	Red oak	1	450 × 490 × 48	430 × 490 × 44	0,001
12	Door Support (Long)	Thin Red oak	8	520 × 32 × 3	520 × 32 × 3	0,001
13	Door Support (Short)	Thin Red oak	8	320 × 32 × 3	320 × 32 × 3	0,001
14	Knot Door	Mata Kayu Red oak	60	120 × 100 × 18	100 × 100 × 18	0,011
15	Back Panel	MDF 6 mm	1	1250 × 550 × 6	1240 × 520 × 6	0,004

16	Door Support Panel	Plywood 6 mm	4	510 × 300 × 6	500 × 299 × 6	0,004
17	Back Panel Veneer	Veneer White Ash	2	—	1250 × 520 × 0,6	0,001
18	Door Support Veneer	Veneer Red oak	4	—	510 × 305 × 0,6	0,001
19	Door Support Veneer	Veneer White Ash	4	—	510 × 305 × 0,6	0,001
19	Veneer for Door	Veneer White Ash	4	—	510	0,600

Khusus untuk pembuatan FJL, proses pembahanan memerlukan perhatian lebih karena menyangkut aspek kekuatan dan presisi sambungan. Menurut Tanujaya (Tanujaya, 2019) terdapat beberapa syarat penting agar sambungan *finger joint* dapat berfungsi maksimal: kandungan air dalam kayu (*moisture content*) harus sesuai, permukaan sambungan harus rata dan halus, ukuran potongan kayu sebaiknya seragam, serta warna kayu perlu diperhatikan agar menghasilkan tampilan visual yang homogen. Selain itu, tekanan dalam proses penyambungan tidak boleh berlebihan untuk menghindari keretakan ujung sambungan.

Pada praktiknya, tahapan pembahanan FJL dalam penelitian ini diawali dengan pembelahan limbah kayu sungkai menggunakan mesin *bandsaw*. Limbah dipotong membentuk bilah-bilah kayu dengan lebar standar yaitu 58 mm dan 73 mm. Ukuran ini dipilih karena dinilai ideal untuk proses penyambungan *finger joint* dan laminasi panel. Proses kemudian dilanjutkan dengan pembentukan profil *finger joint* menggunakan mesin *shaper*. Mesin ini dilengkapi dengan dua mata pisau: *circular blade* untuk meratakan sisi kayu, dan pisau profil yang berfungsi membentuk gerigi *finger joint*. Pada tahap ini, panjang kayu berkurang sekitar 3 mm karena pengaruh proses pemotongan dan pembentukan profil.

Selanjutnya, kayu yang telah terbentuk profil diberi lem perekat jenis PVAc (*polyvinyl acetate*), dikenal juga sebagai lem putih, yang umum digunakan dalam industri pengolahan kayu karena bersifat fleksibel, tidak beracun, dan memiliki daya rekat tinggi terhadap selulosa. Emulsi dan resin PVAC digunakan sebagai pengikat dalam pelapis untuk kertas dan sebagai lapisan tekstil. Sifat yang menarik khusus: tidak berasa, tidak berbau, dan tidak beracun (Wen, 2009). Setelah diberi lem, potongan kayu disusun dan dimasukkan ke dalam mesin *finger joint* assembler (joint press) untuk menyatukan potongan-potongan tersebut menjadi bilah panjang. Dalam praktik ini, panjang maksimal hasil FJL mencapai 6 meter, menyesuaikan dengan kapasitas mesin dan kebutuhan produk. Setelah itu, bilah hasil sambungan dipotong kembali sesuai kebutuhan dengan menggunakan *circular saw*. Gambar potongan kayu FJL disajikan pada Gambar 5.

Setelah terbentuk bilah kayu panjang, tahapan selanjutnya adalah proses laminasi menggunakan mesin hot press. Dalam proses ini, beberapa bilah FJL disusun secara mendatar dan direkatkan dengan tekanan dan panas untuk membentuk papan lebar dengan dimensi tertentu. Laminasi tidak hanya meningkatkan dimensi lebar, tetapi juga meningkatkan stabilitas dimensi kayu serta mengurangi potensi deformasi akibat perubahan kelembaban (Sulistyono et al., 2022). Hasil dari proses laminasi ini adalah papan-papan kayu FJL dengan lebar seragam, yang siap digunakan sebagai bahan panel utama kabinet. Papan-papan tersebut kemudian melalui proses pemotongan akhir dan penyesuaian dimensi. Proses ini dilakukan menggunakan mesin *table saw* untuk membentuk komponen kabinet sesuai *cutting list* dari gambar kerja. Pada tahap ini, dimensi yang dihasilkan masih tergolong *raw size*, artinya belum masuk tahap penghalusan atau *finish size*, tetapi sudah mendekati ukuran akhir komponen.

Secara keseluruhan, proses pembahanan tidak hanya merupakan langkah awal dalam produksi, melainkan tahap penting yang menentukan kualitas akhir produk. Efisiensi pembahanan, ketelitian dalam pengukuran, serta kesesuaian teknik sambungan dengan kondisi kayu limbah sangat menentukan keberhasilan dalam memproduksi produk yang kuat, stabil, dan layak jual dari bahan yang sebelumnya dianggap tidak bernilai.



Gambar 5. Limbah kayu yang sudah berbentuk FJL

3.4. Pembuatan Produk dan Perakitan

Setelah papan *finger joint laminated* (FJL) terbentuk dari potongan limbah kayu, tahap berikutnya adalah merakit komponen-komponen menjadi sebuah unit produk furnitur utuh. Proses ini melibatkan berbagai tahapan lanjutan, mulai dari *veneering*, penyesuaian dimensi akhir (*finish size*), pembuatan lubang konstruksi, hingga *assembly* dan *finishing*. Setiap tahapan dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa produk *Produk kabinet* tidak hanya memenuhi aspek fungsional, tetapi juga layak dari sisi kekuatan dan estetika.

Tahapan *veneering* merupakan proses pelapisan permukaan papan substrat dengan lembaran *veneer* tipis untuk memberikan kesan estetika kayu solid dan menyamarkan variasi tampilan permukaan kayu limbah. Pada penelitian ini, digunakan dua jenis mesin untuk proses ini, yaitu *hot press* dan *cold press*. Mesin *hot press* digunakan untuk menempelkan *veneer* ke permukaan papan FJL secara menyeluruh dengan tekanan dan suhu tinggi, sedangkan *cold press* digunakan untuk menempelkan bagian *knot door* ke *door support*, di mana suhu tidak dibutuhkan agar tidak merusak struktur atau bentuk komponen kecil.

Menurut Hartanto (Hartanto, 2022) proses *veneering* tidak hanya berfungsi memindahkan permukaan kayu, tetapi juga berperan dalam menstabilkan permukaan papan yang berpori atau tidak rata akibat sambungan *finger joint*. Keberhasilan *veneering* sangat dipengaruhi oleh tekanan, suhu, jenis lem, dan kebersihan permukaan substrat. Setelah proses *veneering*, dilakukan penyesuaian akhir dimensi komponen sesuai ukuran pada *BoM*, atau yang disebut tahap *finish sizing*. Proses ini melibatkan beberapa mesin seperti pararel saw untuk pemotongan lurus, *edge banding* untuk merapikan sisi tepi, serta *wide belt sander* (WBS) untuk meratakan dan menghaluskan permukaan.

Langkah berikutnya adalah pembuatan lubang konstruksi untuk sambungan *dowel*, yang menggunakan dua metode berbeda berdasarkan jenis material. Komponen berbahan kayu solid diproses menggunakan *multiboring machine*, sedangkan komponen berbasis panel seperti FJL diproses menggunakan *CNC router*. Penggunaan *CNC* dalam pembuatan lubang sangat membantu dalam menjaga akurasi posisi dan kedalaman lubang, yang berpengaruh pada kekuatan sambungan (Uysal et al., 2019).

Sebagaimana umum terjadi dalam produksi berbasis bahan limbah, ditemukan beberapa defect selama proses perakitan, seperti *slat/gap* yang tidak rata dan *chipping* pada sudut produk. *Slat* yang tidak rata diatasi dengan penambahan lapisan *veneer* tipis di antara sambungan, sedangkan kerusakan *chipping* ditambal menggunakan serpihan kayu dari bahan yang sama agar tetap menyatu secara visual dan material. Pendekatan ini sejalan dengan praktik pengolahan limbah pada industri kerajinan kayu, di mana koreksi bentuk dan sambungan merupakan bagian integral dari kontrol mutu (Tolonen & Kauranen, 2012). Setelah produk dirakit dan diperbaiki, dilakukan tahap *pre-sanding*, yaitu pengamplasan awal yang bertujuan untuk menghaluskan seluruh permukaan produk. Pada tahap ini juga dilakukan pembersihan sisa lem dan pendempulan bekas sambungan. Proses *sanding* menggunakan amplas grit 220, yang cukup halus untuk menghasilkan permukaan siap *finishing* tanpa merusak *veneer*.

Tahap *fitting* merupakan pemasangan komponen perangkat keras (*hardware*) ke dalam produk kabinet. *Hardware* yang digunakan pada Produk kabinet antara lain engsel piano untuk pintu, *tip-on push mechanism* sebagai pengganti gagang, serta *pin shelf* sebagai penyangga rak. Pemilihan sistem *tip-on* mendukung desain minimalis dan mempermudah pengguna membuka pintu kabinet hanya dengan tekanan ringan. Tahapan akhir

dalam proses produksi adalah finishing, yang berfungsi melindungi permukaan kayu dari kelembaban, goresan, dan pengaruh lingkungan, sekaligus memperkuat tampilan visual produk. Produk kabinet tidak menggunakan pewarna atau cat berpigmen agar karakter alami *finger joint laminated* tetap terlihat dan menjadi nilai estetika tersendiri.

Bahan finishing yang digunakan adalah sanding sealer dan top coat berbasis air (waterbased), yang lebih ramah lingkungan dibanding bahan berbasis solvent. Menurut Williams (Williams, 1999), finishing berperan penting dalam menjaga ketahanan dan kebersihan furnitur, serta memberikan permukaan yang halus dan mudah dirawat. Hasil akhir produk disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil akhir produk waste part cabinet

3.5. Uji Kekuatan Produk

Tujuan utama dari pengujian ini adalah memastikan bahwa produk tidak hanya berfungsi secara optimal, tetapi juga memenuhi aspek keselamatan dan ketahanan dalam penggunaan sehari-hari. Selain mengacu pada standar internasional (International Testing Standard – ITS) dan prosedur operasional baku (SOP), pengujian ini juga memperhatikan masukan langsung dari pengalaman lapangan dalam praktik quality control produk furnitur. Uji yang dilakukan mencakup empat jenis, yaitu distribution test, concenter test, stability test, dan loading shelf test. Beban dan durasi pengujian disesuaikan dengan pedoman standar ITS dan masukan teknis dari praktisi berpengalaman (lihat Tabel 3). Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan produk dalam menahan beban yang tersebar merata di permukaan. Dengan pembebanan sebesar 30 kg selama satu jam, tidak ditemukan adanya pergeseran atau perubahan bentuk pada struktur produk. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan distribusi beban pada permukaan produk telah dirancang dengan baik, menjadikannya aman digunakan sebagai tempat duduk sekaligus penyimpanan, sesuai fungsi utamanya (Liu, 2017).

Tabel 3. Hasil pengujian produk

No	Nama Tes	Beban Uji		Durasi (menit)	Hasil
		Beban (lbs)	(kg)		
1	<i>Distribution Test</i>	50	25	60	Lolos
2	<i>Concenter Test</i>	300	150	60	Lolos
3	<i>Stability Test</i>	100	50	± 1	Lolos
4	<i>Loading Shelf Test</i>	100	50	60	Lolos

Pada pengujian concenter test ini, beban sebesar 150 kg (lihat Gambar 5.a) diletakkan secara terfokus pada satu titik tertentu. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi kekuatan lokal struktur terhadap beban berat yang tidak tersebar. Hasilnya menunjukkan bahwa tidak ada deformasi atau ketidakstabilan pada titik tumpu, yang menandakan bahwa desain struktural produk mampu menahan beban berat secara aman bahkan dalam kondisi ekstrem (Park & Shin, 2017). Sementara untuk distribution test, beban sebesar 25 kg diletakkan secara merata pada produk untuk melihat kemampuan produk menahan beban yang terdistribusi (lihat Gambar 5.b).



(a)



(b)

Gambar 5.

a. *Concenter test* pada produk cabinet b. *Distribution test* pada produk cabinet

Pengujian stabilitas bertujuan memastikan bahwa produk tetap kokoh dan tidak mudah terguling saat dikenai beban. Dengan pembebanan sebesar 50 kg selama sekitar satu menit, tidak terdeteksi pergerakan ataupun goyangan (lihat Gambar 6.a). Hal ini menandakan bahwa pusat gravitasi produk dan desain kakinya sudah mempertimbangkan aspek keseimbangan, sehingga mendukung keselamatan dan kenyamanan pengguna (Pheasant & Haslegrave, 2018). Untuk menguji ketahanan rak penyimpanan yang menyatu dalam struktur produk, dilakukan pembebanan sebesar 50 kg selama 60 menit (lihat Gambar 6.b). Rak menunjukkan performa yang baik tanpa adanya perubahan posisi, goyangan, ataupun kerusakan. Ini membuktikan bahwa kekuatan mekanik dari elemen penyimpanan telah memenuhi persyaratan beban statis untuk furnitur sejenis (Jiandong et al., 2016).

Pengujian stabilitas bertujuan memastikan bahwa produk tetap kokoh dan tidak mudah terguling saat dikenai beban. Dengan pembebanan sebesar 50 kg selama sekitar satu menit, tidak terdeteksi pergerakan ataupun goyangan (lihat Gambar 8). Hal ini menandakan bahwa pusat gravitasi produk dan desain kakinya sudah mempertimbangkan aspek keseimbangan, sehingga mendukung keselamatan dan kenyamanan pengguna (Pheasant & Haslegrave, 2018). Untuk menguji ketahanan rak penyimpanan yang menyatu dalam struktur produk, dilakukan pembebanan sebesar 50 kg selama 60 menit (lihat Gambar 9). Rak menunjukkan performa yang baik tanpa adanya perubahan posisi, goyangan, ataupun kerusakan. Ini membuktikan bahwa kekuatan mekanik dari elemen penyimpanan telah memenuhi persyaratan beban statis untuk furnitur sejenis (Jiandong et al., 2016).



(a)



(b)

Gambar 6.

a. *Stability test* pada produk cabinet b. *Loading shelf test* pada produk cabinet

Secara keseluruhan, keempat jenis pengujian yang dilakukan memberikan gambaran komprehensif mengenai kekuatan struktural dan ketahanan produk *Produk kabinet*. Hasil yang memuaskan pada pengujian beban statis baik yang terdistribusi maupun terkonsentrasi menunjukkan bahwa konstruksi produk, pemilihan material, dan metode penyambungan telah dilakukan secara tepat. Ini memperkuat argumen bahwa produk hasil pemanfaatan limbah kayu tetap dapat mencapai standar kualitas dan keamanan yang tinggi.

Namun demikian, perlu dicatat bahwa pengujian stabilitas dilakukan dalam durasi pendek. Untuk memastikan ketahanan jangka panjang, akan lebih ideal jika produk diuji dengan metode *fatigue test* atau *cyclic loading* agar dapat mengevaluasi respons struktur terhadap beban berulang dalam periode penggunaan yang lebih lama (Chevalier et al., 2019). Dengan keberhasilan dalam seluruh pengujian tersebut, produk *Produk kabinet* ini tidak hanya layak secara fungsional, tetapi juga memiliki nilai tambah dari sisi keselamatan, kenyamanan, dan durabilitas—yang dapat menjadi daya tarik tersendiri dalam strategi pemasaran produk furnitur berbasis limbah berkelanjutan.

3.6. Evaluasi Penggunaan Limbah Kayu

Untuk mengetahui sejauh mana efektivitas pemanfaatan limbah kayu pada pembuatan Produk kabinet, dilakukan pendekatan berbasis simulasi volume dan rendemen, mengingat data pasti dari jumlah limbah di perusahaan belum tersedia. Pendekatan ini merujuk pada pengamatan lapangan dan kajian literatur yang menyebutkan bahwa rata-rata rendemen industri furnitur untuk kayu solid hanya sekitar 30–45% (data lapangan, 2024), yang berarti 55–70% dari material masuk berpotensi menjadi limbah.

Sebagai acuan, rata-rata penggunaan kayu dalam satu bulan:

- Volume kayu red oak yang masuk ke proses produksi: 10,8436 m³
- Volume kayu sungkai yang masuk ke proses produksi: 4,6857 m³

Berdasarkan hasil observasi lapangan rendemen 32% untuk kayu impor dan 35% kayu lokal, maka penghitungan pemanfaatan kayu sebagai berikut:

Tabel 4. Penghitungan rendemen kayu

Jenis Kayu	Total Masuk (m ³ /bulan)	Rendemen (%)	Limbah (m ³ /bulan)	Volume Dimanfaatkan	Pemanfaatan (%)
Red oak	10,8436	32%	7,3736	0,017	0,23%
Sungkai	4,6857	35%	3,0457	0,04	1,31%

Dapat disimpulkan bahwa produk ini berhasil memanfaatkan sekitar 0,23% dari total limbah red oak dan 1,31% dari total limbah kayu sungkai dalam satu siklus produksi bulanan. Meskipun angka ini terlihat relatif kecil, angka ini adalah penghitungan untuk satu unit produk. Skalabilitas dapat terbilang cukup tinggi, karena semakin banyak unit diproduksi, maka persentase akumulatif pemanfaatan limbah juga akan meningkat secara signifikan. Meskipun begitu, analisis kesesuaian ekonomi perlu dilakukan untuk melihat seberapa besar profit yang bisa dihasilkan dari produksi waste parts cabinet ini. Hal ini sejalan dengan temuan Agustian dkk., (Agustian et al., 2021) dan Asmoro & Widagdo (Asmoro & Widagdo, 2021) yang menunjukkan bahwa meskipun pemanfaatan limbah kayu awalnya berskala kecil, strategi ini sangat potensial jika didukung dengan pendekatan desain berulang, produksi modular, serta pengelolaan limbah yang terintegrasi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan proses pembuatan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa produk *Produk kabinet* berhasil direalisasikan dengan memanfaatkan limbah mata kayu *red oak* dan potongan kayu sungkai sebagai bahan utama. Proses produksi melibatkan tahapan rekayasa material melalui teknik *finger joint laminated*, perakitan berbasis sistem dowel dan box press, serta finishing menggunakan material berbasis air untuk menonjolkan tampilan natural produk. Produk akhir memiliki dimensi 1260 mm × 490 mm × 540 mm, dengan fungsi sebagai kabinet penyimpanan yang juga memperlihatkan karakter estetika kayu limbah. Meskipun persentase pemanfaatan limbah dalam produk ini masih tergolong kecil, sekitar 0,23% untuk *red oak* dan 1,31% untuk kayu sungkai. Selain meningkatkan utilitas material kayu, produk ini juga memberikan kontribusi terhadap

pengurangan limbah padat dan potensi polusi udara akibat pembakaran sisa produksi. Dengan skala produksi yang lebih besar strategi ini berpeluang menjadi bagian dari solusi pengelolaan limbah kayu yang berkelanjutan di industri furnitur. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi optimalisasi desain modular agar pemanfaatan limbah dapat diperluas ke berbagai jenis produk furnitur lainnya. Selain itu, diperlukan analisis keekonomian secara lebih mendalam, seperti perhitungan biaya produksi dan nilai jual, guna mengetahui kelayakan produk dalam skala komersial.

Daftar Pustaka

- Agustian, F., et al. (2021). PEMANFAATAN LIMBAH KAYU SEBAGAI KERAJINAN TANGAN BERNILAI JUAL PASAR POTENSIAL. *Indonesian Journal on Networking and Security*, 10(2).
- Akbar, Y. R. (2017). ANALISIS FAKTOR ± FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PRODUKSI INDUSTRI FURNITURE KACA DAN ALUMUNIUUM DI KOTA PEKANBARU. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Ekonomi Universitas Riau*, 4(1), 434–444.
- Al Farobi, M., & Mardiana, C. (2024). EKSPERIMEN PEMANFAATAN LIMBAH INDUSTRI KAYU SEBAGAI ALTERNATIF MATERIAL KAYU. *Jurnal Kreatif : Desain Produk Industri dan Arsitektur*, 12(2). doi:10.46964/jkdpia.v12i1.753
- Asmoro, E. I., & Widagdo, P. S. (2021). Pemanfaatan Limbah Furniture (Plywood dan HPL) sebagai Bahan Produk Turunan di Trustic Interior. *Jurnal Dinamika Teknik*, 4(2).
- Asrib, A. R. (2024). *Konstruksi Kayu* (Vol. 1): Tahta Media Group.
- Chevalier, L., et al. (2019). Cyclic virtual test on wood furniture by Monte Carlo simulation: from compression behavior to connection modeling. *Mechanics & Industry*, 20(6), 606. doi:10.1051/meca/2019039
- De Silva, S., & Liyanage, V. (2019). Suitability of finger jointed structural timber for construction. *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, 2(3), 131–142. doi:10.31462/jseam.2019.03131142
- Dewi, D. A. N., & Hidayat, M. J. (2020). PEMANFAATAN LIMBAH KAYU UNTUK KEMASAN CENDERAMATA KHAS KALIMANTAN TIMUR. *Jurnal Kreatif : Desain Produk Industri dan Arsitektur*, 6(2). doi:10.46964/jkdpia.v6i2.18
- Fariz, N., et al. (2024). Perancangan meja TV dengan desain parametrik menggunakan bahan limbah kayu lapis. *Productum: Jurnal Desain Produk (Pengetahuan dan Perancangan Produk)*, 7(1), 29–36. doi:10.24821/productum.v7i1.9294
- Hartanto, S. (2022). BERALIH DARI MEBEL KAYU SOLID KE MEBEL BERBASIS ROTARY VENEER (BENTWOOD). *Jurnal Seni dan Reka Rancang: Jurnal Ilmiah Magister Desain*, 5(1), 81–92. doi:10.25105/jsrr.v5i1.15277
- Harto, H. P. (2018). TREND DESAIN FURNITUR : Pemakai, Nilai Ekonomis, dan Pengembangannya. *CORAK*, 3(1). doi:10.24821/corak.v3i1.2340
- Jiandong, D., et al. (2016). Furniture Static Pressure Fatigue Test Machine.
- Kusumaningrum, N., et al. (2022). Pemanfaatan Limbah Kayu dalam Perancangan Kursi Makan pada Perumahan Kota Podomoro Tenjo. *Ars: Jurnal Seni Rupa Dan Desain*, 25(1), 59–70. doi:10.24821/ars.v25i1.6730
- Liu, Y. (2017). Development of Strength Test System for Structure under Large Uniform Surface Load. *MATEC Web of Conferences*, 108. doi:10.1051/mateconf/201710807005
- Mulyadi, M., & Tezakumala, R. (2021). Pendampingan Perhitungan HPP Pemanfaatan Limbah Kayu Sisa Ekspor dengan Cost Plus Pricing Method. *KUAT : Keuangan Umum dan Akuntansi Terapan*, 3(1), 17–24. doi:10.31092/kuat.v3i1.1166
- Nurhanifah, et al. (2025). The Utilization Rubber Wood Finger Joint Laminated for Furniture Application. *Journal of Sylva Indonesiana*, 8(2), 161–168. doi:10.32734/jsi.v8i2.18821
- Park, Y. K., & Shin, J. G. (2017). Fatigue strength evaluation of a welded structure by a concentrated load close to the welded joint. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(4), 1789–1796. doi:10.1007/s12206-017-0326-7
- Pheasant, S., & Haslegrave, C. M. (2018). *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work*: CRC Press.
- Prabowo, E. D., & Suhariyanto, T. T. (2021). Implementation of Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Cost Life (LCC) on Particle Board Wood Furniture Industry in Yogyakarta. *OPSI*, 14(2), 271. doi:10.31315/opsi.v14i2.6089
- Purwanto, D. (2009). ANALISA JENIS LIMBAH KAYU PADA INDUSTRI PENGOLAHAN KAYU DI KALIMANTAN SELATAN. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 1(1), 14. doi:10.24111/jrihh.v1i1.864
- Smardzewski, J., et al. (2015). Mechanical Properties of Externally Invisible Furniture Joints Made of Wood-Based Composites. *BioResources*, 11(1). doi:10.15376/biores.11.1.1224-1239

- Sulistiyono, I. F. B., et al. (2022). PENINGKATAN NILAI LIMBAH KAYU MELALUI PROGRAM KEMITRAAN MASYARAKAT DI DESA SERENAN KECAMATAN JUWURING KABUPATEN KLATEN. *Kumawula: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(3), 584. doi:10.24198/kumawula.v5i3.38203
- Tanujaya, K. S. E. (2019). *Pemanfaatan Sisa Kayu menjadi Finger Joint Lamination*: Universitas Katolik Soegijapranata.
- Titunin, A., et al. (2023). Influence of wood and technological factors on the strength of the finger joint in laminated constructions. *Smart composite in construction*, 4(2), 8–17. doi:10.52957/2782-1919-2024-4-2-8-17
- Tolonen, E., & Kauranen, E. (2012). Apparatus for Patching Plywood Veneer.
- Uysal, M., et al. (2019). Manufacturing feasibility analysis and load carrying capacity of computer numerical control cut joints with interlocking assembly feature. *BioResources*, 14(1), 1525–1544.
- Wen, J. (2009). *Poly(vinyl acetate)*. Dalam *Polymer Data Handbook* NY: Oxford University PressNew York.
- Williams, R. S. (1999). *Finishing of wood*. Dalam *Wood handbook : wood as an engineering material* Forest Products Laboratory.