



Value upgrading kayu jati apkir menjadi *nightstand* melalui model integratif laminasi, CNC, dan *design thinking*

Taufik Ramadhan Fitrianto*¹, Khayla Gladis Puti Salma²

Program Studi Teknik Produksi Furnitur, Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu¹
(Jl. Wanamarta Raya No. 20, Kawasan Industri Kendal, Tambak, Wonorejo, Kec. Kaliwungu, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah 51371, Indonesia)

CV Ribka Furniture² (Sentra Industri Mebel dan Kerajinan Asmindo, Dusun II, Sambirembe, Kec. Kalijambe, Kabupaten Sragen, Jawa Tengah 57275, Indonesia)

*Correspondence author: taufik.fitrianto@poltek-furnitur.ac.id

Received:

06/03/2026

Final Revision:

30/04/2026

Accepted:

03/05/2026



This work is licensed under a [CC-BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Abstrak.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model integratif *value upgrading* kayu jati (*Tectona grandis*) kategori apkir (*reject*) melalui kombinasi teknik laminasi, pemesinan presisi berbasis Computer Numerical Control (CNC), dan pendekatan *design thinking* dalam perancangan furnitur. Latar belakang penelitian didasarkan pada tingginya selektivitas industri terhadap mutu visual dan dimensional kayu jati, yang menyebabkan sebagian material dengan sifat mekanis memadai dikategorikan sebagai *apkir* dan berpotensi mengalami *downcycling*. Metode penelitian menggunakan tahapan *design thinking* yang meliputi *empathize*, *define*, *ideate*, *prototype*, dan *test*, dengan produk *nightstand* sebagai media eksplorasi. Purwarupa dikembangkan melalui laminasi panel untuk homogenisasi dimensi material, integrasi CAD–CAM dalam pemesinan CNC untuk presisi bentuk, serta konstruksi furnitur konvensional. Pengujian dilakukan melalui evaluasi pengguna terhadap lima aspek—fungsional, mobilitas, estetika, persepsi nilai, dan keberlanjutan—dengan melibatkan 52 responden. Hasil menunjukkan bahwa evaluasi pengguna menghasilkan skor rata-rata sebesar 3,97–4,04 dari skala 5 pada seluruh aspek, yang mencerminkan tingkat penerimaan yang konsisten tinggi. Temuan ini menegaskan bahwa model integratif yang dikembangkan mampu mentransformasikan keterbatasan material menjadi nilai desain, serta memperkuat potensi kayu jati apkir sebagai material furnitur dalam kerangka *circular design*.

Kata kunci: kayu jati apkir, peningkatan nilai, laminasi kayu, permesinan CNC, desain sirkular.

Abstract.

This study develops an integrative *value upgrading* model for reject ed teak wood (*Tectona grandis*) by combining lamination techniques, CNC-based precision machining, and a *design thinking* approach in furniture design. The study addresses the high industrial selectivity toward visual and dimensional quality, which often classifies mechanically adequate teak as *reject* and leads to *downcycling*. The research follows the *design thinking* stages: *empathize*, *define*, *ideate*, *prototype*, and *test*, using a *nightstand* as the design case. The prototype was produced through panel lamination for dimensional homogenization, CAD–CAM-integrated CNC machining for precision, and conventional construction techniques. User evaluation across five aspects—functionality, mobility, aesthetics, perceived value, and sustainability—involved 52 respondents. Results show mean scores ranging from 3.97 to 4.04 out of 5 across all dimensions, indicating consistently high user acceptance. These findings confirm that the proposed integrative model effectively transforms material limitations into design value, supporting the potential of reject ed teak wood within a *circular design* framework.

Keywords: rejected teak wood, *value upgrading*, wood lamination, CNC machining, *circular design*

Pendahuluan

Kayu jati (*Tectona grandis*) merupakan salah satu spesies kayu tropis bernilai tinggi yang dikenal karena stabilitas dimensinya, ketahanan alami terhadap degradasi biologis, serta kualitas estetika seratnya. Dalam industri furnitur, jati dikategorikan sebagai *premium hardwood* dengan permintaan pasar relatif stabil dan bernilai ekonomi tinggi (Ratnasingam & Ioras, 2003). Karakteristik tersebut menjadikan kayu jati sebagai material unggulan untuk produk furnitur solid dengan standar mutu visual dan struktural yang tinggi. Namun demikian, selektivitas industri modern terhadap homogenitas warna, minimnya cacat visual, serta keseragaman dimensi menyebabkan sebagian material yang secara teknis masih memiliki sifat mekanis memadai dikategorikan sebagai *apkir*. Kondisi ini berpotensi menimbulkan inefisiensi pemanfaatan sumber daya hutan apabila material tersebut tidak dioptimalkan secara tepat.

Dalam konteks keberlanjutan, paradigma *circular economy* dan *cascading use of wood* menekankan pentingnya mempertahankan material kayu pada aplikasi bernilai tinggi selama mungkin untuk memaksimalkan nilai ekonomi sekaligus meminimalkan jejak karbon (Hurmekoski dkk. (2015); Mantau (2012); Russell dkk. (2023); Pinho dkk. (2025)). Strategi *circular design* yang mengintegrasikan efisiensi sumber daya dan diversifikasi produk berpotensi untuk meningkatkan daya saing industri furnitur (Yuniati dkk., 2025). Praktik yang umum dilakukan terhadap kayu apkir atau residu adalah konversi menjadi panel komposit atau bioenergi. Meskipun efisien secara material, pendekatan ini cenderung bersifat *downcycling*. Dalam perspektif desain produk, strategi yang lebih progresif adalah *value retention* atau *value upgrading*, yaitu meningkatkan nilai material melalui rekayasa desain dan teknik produksi. Sejumlah studi desain menunjukkan bahwa material residu memiliki peluang untuk direkayasa menjadi produk bernilai tambah melalui eksplorasi berbasis material, seperti limbah kulit (Halimah & Litawati, 2022), ampas kopi (Yunidar & Hifzhurrahman, 2024), serta limbah plastik melalui teknik *crochet* (Anisa & Sulistyati, 2023).

Namun demikian, sebagian besar studi tersebut berfokus pada eksplorasi estetika dan pemanfaatan material non-kayu atau limbah ringan, dengan pendekatan yang cenderung parsial dan tidak terintegrasi antara rekayasa material, proses manufaktur, dan desain produk. Pada konteks kayu, khususnya kayu jati, penelitian lebih banyak menitikberatkan pada karakteristik anatomi, sifat mekanis, atau aspek pengelolaan sumber daya (Anggiriani dkk., 2023) sementara studi yang secara spesifik mengkaji *upcycling* atau *value upgrading* kayu melalui pendekatan desain masih terbatas. Beberapa penelitian terkait *wood waste* umumnya berfokus pada satu aspek, seperti rekayasa material berbasis panel (Garcia dkk., 2024) atau optimasi proses produksi, tanpa mengintegrasikan aspek desain berbasis pengguna. Dengan demikian, belum banyak penelitian yang mengembangkan pendekatan integratif yang menghubungkan rekonfigurasi material, presisi manufaktur, dan validasi desain dalam satu kerangka sistemik.

Secara teknis, salah satu kendala utama kayu jati apkir adalah ketidakteraturan dimensi yang membatasi penggunaannya sebagai komponen struktural utuh. Teknik laminasi solid memungkinkan potongan kayu berukuran kecil atau tidak seragam direkonstruksi menjadi panel homogen dengan stabilitas dimensi dan distribusi tegangan yang lebih baik (Frihart & Hunt (2010); Nurhanifah dkk. (2025)). Pemanfaatan panel berbasis kayu juga dinilai dapat dijadikan strategi *value upgrading wood* yang efektif (Garcia dkk., 2024). Di sisi lain, perkembangan teknologi pemesinan berbasis *Computer Numerical Control* (CNC) memberikan kontrol presisi tinggi terhadap toleransi dimensi, konsistensi bentuk, dan kualitas permukaan (Thimm dkk. (2004); Šugárová dkk. (2025)). Dalam perspektif desain berkelanjutan, CNC dapat dipahami sebagai *precision-based sustainability enabler* karena memungkinkan optimalisasi penggunaan material dan pengurangan kesalahan produksi.

Meskipun demikian, integrasi antara teknik laminasi sebagai strategi rekonfigurasi material dan teknologi CNC sebagai sistem manufaktur presisi masih jarang dikaji dalam konteks pengembangan produk furnitur berbasis kayu apkir, terutama yang dikombinasikan dengan pendekatan *design thinking* untuk validasi berbasis pengguna. Ketiadaan integrasi ini menyebabkan potensi *value*

upgrading material kayu belum dimanfaatkan secara optimal dalam praktik desain furnitur. Tabel 1 menampilkan *literature mapping* yang digunakan sebagai referensi pada penelitian ini.

Tabel 1. Literature mapping kajian pemanfaatan limbah

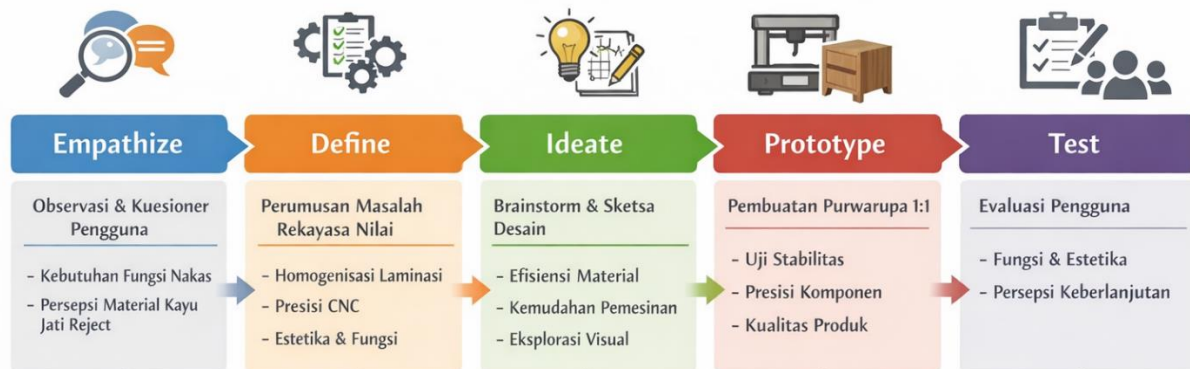
| No Studi | Material | Pendekatan | Fokus Utama | Keterbatasan | Posisi Penelitian Ini |
|-----------------------------------|------------------------|---|--|---|--|
| 1 (Halimah & Litawati, 2022) | Limbah kulit | Desain produk | Eksplorasi estetika dan fungsi | Tidak membahas material struktural | Mengembangkan hingga level struktural furnitur |
| 2 (Yunidar & Hifzhurrahman, 2024) | Ampas kopi | Material experimentation | Inovasi material alternatif | Skala kecil, non-struktural | Mengarah ke produk furnitur solid |
| 3 (Anisa & Sulistyati, 2023) | Limbah plastik | <i>Craft-based design</i> | Estetika dan keberlanjutan | Tidak terkait material kayu | Fokus pada <i>engineered wood</i> |
| 4 (Garcia dkk., 2024) | Kayu (panel) | Material engineering | <i>Value upgrading</i> panel | Tidak terintegrasi dengan desain produk | Integrasi material + desain + pengguna |
| 5 (Frihart & Hunt, 2010) | Kayu laminasi | Rekayasa material | Stabilitas & kekuatan | Tidak pada konteks desain furnitur | Diaplikasikan ke produk nyata |
| 6 (Thimm dkk., 2004) | CNC kayu | Manufaktur presisi | Optimasi proses | Tidak dikaitkan dengan <i>circular design</i> | CNC sebagai <i>sustainability enabler</i> |
| 7 Penelitian ini | Kayu jati apkir | Integratif (laminasi + CNC + <i>design thinking</i>) | <i>Value upgrading</i> — furnitur solid | — | Menggabungkan material, manufaktur, dan validasi pengguna |

Berdasarkan celah kajian tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan model integratif rekayasa nilai kayu jati apkir melalui homogenisasi material berbasis laminasi, presisi manufaktur CNC, dan pendekatan desain produk. Berbeda dengan pendekatan terdahulu yang cenderung parsial, penelitian ini menawarkan model integratif rekayasa nilai yang menggabungkan rekonfigurasi material melalui laminasi, presisi manufaktur berbasis CNC, serta validasi berbasis pengguna melalui *design thinking* dalam satu kerangka sistemik. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi ketiga aspek tersebut untuk mentransformasikan kayu jati apkir dari material dengan keterbatasan visual dan dimensional menjadi produk furnitur solid bernilai tinggi. Dalam konteks *circular design*, pendekatan ini melampaui praktik *downcycling* dengan menempatkan laminasi sebagai strategi *material recovery*, CNC sebagai *efficiency enabler* dalam optimalisasi material, dan *design thinking* sebagai mekanisme untuk memastikan relevansi nilai produk bagi pengguna. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pengembangan teknis dan desain, tetapi juga mengusulkan pendekatan *precision-enabled value upgrading* yang menghubungkan performa material, efisiensi produksi, dan persepsi pengguna dalam kerangka keberlanjutan industri furnitur.

Produk *nightstand* dipilih sebagai media eksplorasi karena memiliki kompleksitas struktural yang terkendali sekaligus menyediakan ruang eksplorasi estetika dan sistem konstruksi. Penelitian ini berkontribusi secara ilmiah melalui perumusan model integratif *value upgrading* kayu jati apkir yang terdiri atas tiga komponen utama: (1) rekonfigurasi material melalui laminasi untuk homogenisasi dimensi, (2) presisi manufaktur berbasis CNC untuk kontrol toleransi dan konsistensi bentuk, serta (3) validasi nilai desain melalui pendekatan *design thinking* berbasis evaluasi pengguna. Keberhasilan model diukur melalui indikator fungsional dan estetika (evaluasi pengguna). Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengisi celah pada aspek teknis material, tetapi juga menawarkan kerangka integratif yang menghubungkan material, proses, dan desain dalam konteks *circular design*.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan *design thinking* sebagai metode pengembangan desain (Gambar 1), karena metode ini memungkinkan integrasi antara kebutuhan pengguna, inovasi material, dan strategi manufaktur dalam satu proses yang sistematis (Etruly & Yusuf (2024); Setiyawan & Masyitoh (2025)).



Gambar 1. Diagram alir penelitian yang menunjukkan integrasi *design thinking*, rekayasa material, dan proses manufaktur.

Sumber: Dokumentasi penulis (2026)

Dalam konteks desain berkelanjutan, pendekatan ini relevan karena mendorong eksplorasi solusi yang mempertimbangkan nilai material dan efisiensi produksi secara simultan (Bocken dkk., 2016). Metode ini diadaptasi untuk mengembangkan model rekayasa nilai kayu jati apkir melalui integrasi teknik laminasi dan pemesinan berbasis CNC dalam perancangan produk *nightstand*. Proses pengembangan dilakukan melalui lima tahapan: *empathize*, *define*, *ideate*, *prototype*, dan *test*.

Tahap *empathize* dilakukan melalui observasi dan penyebaran kuesioner untuk memahami kebutuhan fungsi *nightstand* serta persepsi pengguna terhadap penggunaan material rekayasa berbasis kayu jati apkir. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *human-centered design* yang menekankan pemahaman konteks pengguna sebagai dasar pengambilan keputusan desain (Norman, 2013). Tahap *define* berfokus pada perumusan masalah secara terintegrasi, meliputi: (1) homogenisasi dimensi kayu jati apkir melalui laminasi, (2) jaminan presisi dan konsistensi kualitas melalui CNC, serta (3) formulasi nilai estetika dan fungsi dalam produk furnitur. Perumusan ini dilakukan secara sistemik agar aspek teknis material dan pengalaman pengguna tidak terpisah.

Tahap *ideate* mencakup *brainstorming* serta pengembangan beberapa alternatif sketsa desain. Eksplorasi ini tidak hanya mempertimbangkan bentuk dan fungsi, tetapi juga efisiensi material, kemudahan pemesinan CNC, serta potensi ekspresi visual hasil rekayasa material. Pendekatan ini selaras dengan konsep *material-driven design* yang menempatkan material sebagai sumber inovasi dalam desain produk (Karana dkk., 2015). Desain terpilih kemudian direalisasikan pada tahap *prototype* dalam skala 1:1. Purwarupa digunakan untuk memverifikasi stabilitas panel laminasi, presisi komponen hasil CNC, serta kualitas visual dan fungsional produk (Ulrich & Eppinger, 2003).

Tahap akhir, *testing*, dilakukan melalui evaluasi pengguna menggunakan kuesioner untuk menilai aspek fungsi, estetika, dan persepsi keberlanjutan material. Hasil evaluasi digunakan untuk menilai keberhasilan integrasi antara inovasi material dan desain produk. Instrumen evaluasi menggunakan skala Likert 5 poin (1 = sangat tidak setuju hingga 5 = sangat setuju). Teknik sampling menggunakan purposive sampling dengan kriteria responden berusia 18–45 tahun dan familiar dengan penggunaan furnitur ruang tidur. Rentang usia 18–45 tahun dipilih karena merepresentasikan kelompok pengguna aktif furnitur rumah tangga, khususnya pada segmen usia produktif yang umumnya telah memiliki preferensi terhadap fungsi, estetika, dan nilai produk furnitur. Selain itu, kelompok ini juga dianggap sebagai target pasar potensial bagi produk furnitur berbasis desain

berkelanjutan karena memiliki tingkat kesadaran yang relatif lebih tinggi terhadap isu lingkungan sekaligus daya beli yang relevan. Data dianalisis secara deskriptif dengan menghitung nilai rerata tiap indikator untuk mengidentifikasi kecenderungan persepsi pengguna.

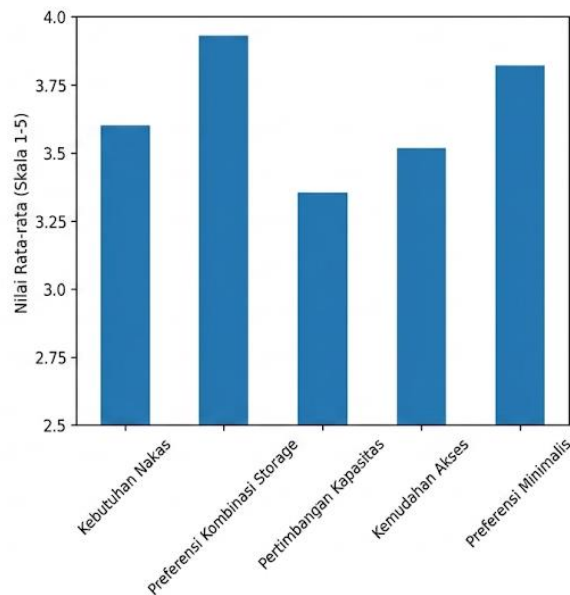
Dengan demikian, metode *design thinking* dalam penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai pendekatan pengembangan bentuk, tetapi sebagai kerangka integratif yang menghubungkan rekayasa material kayu jati apkir, presisi manufaktur CNC, dan peningkatan nilai produk furnitur dalam perspektif keberlanjutan.

Hasil dan Pembahasan

Emphathize

Tahap pertama yang dilakukan adalah *emphathize*, untuk menggali kebutuhan pengguna terhadap produk *nightstand*. Selain untuk menambah nilai material kayu jati apkir, pembuatan *nightstand* juga harus dapat fungsional sesuai kebutuhan pengguna. Hasil kuesioner terhadap 52 responden (usia 18–45 tahun), disajikan di Gambar 2, menunjukkan bahwa kebutuhan terhadap *nightstand* berada pada kategori cukup tinggi (mean 3,58/5). Preferensi tertinggi terdapat pada kombinasi storage terbuka dan tertutup (3,81) serta desain minimalis (3,77). Hal ini menunjukkan bahwa responden menginginkan furnitur yang fleksibel secara fungsi, tetapi tetap sederhana secara visual. Kemudahan akses juga menjadi pertimbangan penting (3,52), sementara kapasitas penyimpanan memperoleh nilai relatif lebih rendah (3,36).

Temuan ini mengindikasikan bahwa pengguna lebih memprioritaskan aksesibilitas dan efisiensi tata ruang dibanding volume penyimpanan sehingga pendekatan desain perlu menekankan kemudahan interaksi pengguna serta organisasi ruang yang intuitif, bukan sekadar kapasitas. Preferensi ini sejalan dengan prinsip *user-centered design*, di mana kemudahan penggunaan dan efisiensi interaksi menjadi faktor utama dalam penerimaan produk (Norman, 2013). Selain itu, dalam konteks furnitur ruang terbatas, desain yang mendukung akses cepat dan keteraturan visual terbukti lebih berkontribusi terhadap persepsi kenyamanan pengguna dibanding peningkatan kapasitas semata (Pheasant & Haslegrave, 2018).

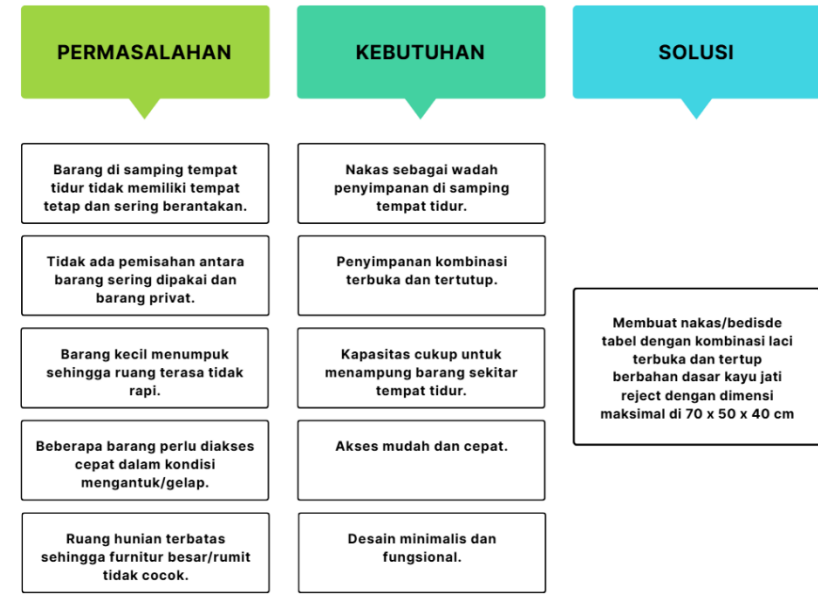


Gambar 2. Rata-rata penilaian kebutuhan *nightstand* yang mengarahkan fokus desain pada fungsi dan kesederhanaan visual.

Sumber: Dokumentasi penulis (2026)

Define

Pada tahap *define*, data hasil kuesioner dianalisis untuk merumuskan fokus utama perancangan produk. Temuan menunjukkan bahwa permasalahan utama pengguna berkaitan dengan kebutuhan wadah penyimpanan di samping tempat tidur, pemisahan antara barang yang bersifat publik dan privat, kemudahan akses, serta keterbatasan ruang hunian (Gambar 3).



Gambar 3. Ringkasan tahap *define* yang menjadi dasar perumusan kriteria desain.
Sumber: Dokumentasi penulis (2026)

Berdasarkan analisis tersebut, dirumuskan kriteria desain bahwa *nightstand* harus memiliki tinggi ergonomis sejajar tempat tidur ($\pm 60-70$ cm sesuai antropometri orang Indonesia), menyediakan kombinasi penyimpanan terbuka dan tertutup, memiliki akses yang mudah dijangkau, serta menerapkan pendekatan desain minimalis agar tetap fungsional dalam ruang terbatas. Penentuan kriteria ini mengacu pada prinsip ergonomi dan *human-centered design*, yang menekankan kesesuaian dimensi produk dengan karakteristik pengguna serta kemudahan interaksi dalam penggunaan sehari-hari (Pheasant & Haslegrave, 2018)(Norman, 2013).

Solusi desain yang ditetapkan adalah pengembangan *nightstand* berbahan kayu jati apkir dengan konfigurasi satu penyimpanan terbuka, satu penyimpanan tertutup, dan satu ambang tambahan. Dengan demikian, tahap *define* menghasilkan spesifikasi desain sebagai dasar pengembangan pada tahap *ideate*. Konfigurasi ini juga mencerminkan upaya menyeimbangkan antara kebutuhan fungsional dan efisiensi ruang, yang merupakan aspek kunci dalam desain furnitur untuk ruang hunian modern dengan keterbatasan area (Ching, 2014).

Ideate

Pengembangan desain *nightstand* berbahan kayu jati apkir dimulai dari pemahaman terhadap karakter material yang tersedia. Dimensi potongan kayu, jenis cacat yang dominan, serta kemungkinan teknik laminasi menjadi dasar dalam menentukan arah bentuk dan konstruksi (Gambar 4).



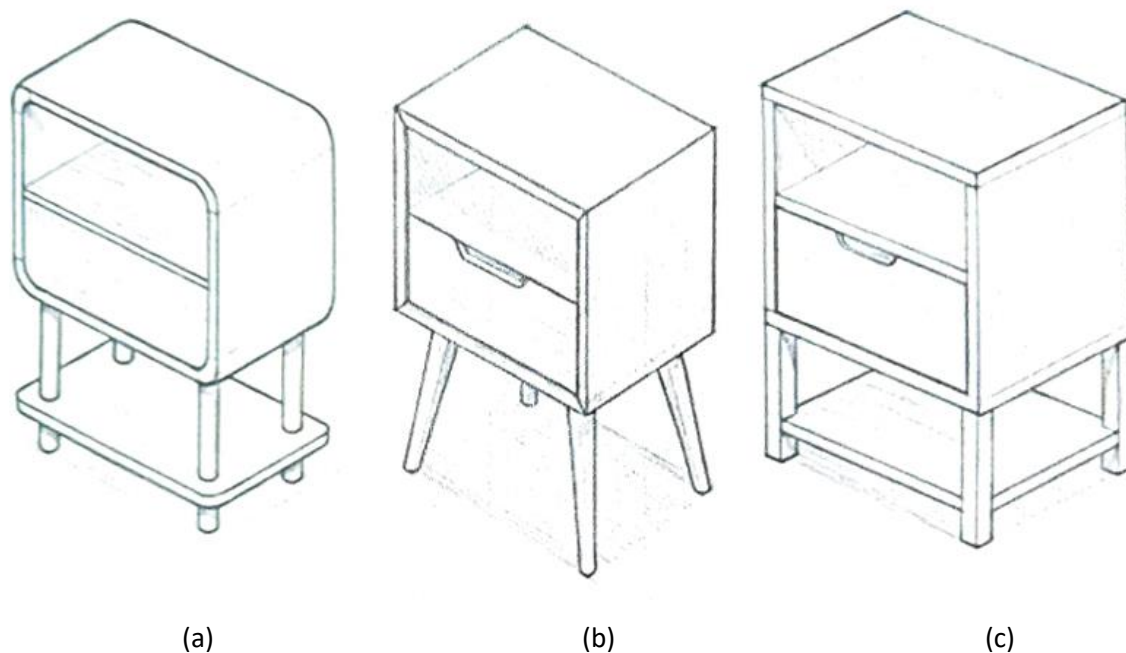
Gambar 4. *Mindmap* perancangan yang menunjukkan hubungan antara karakter material dan keputusan desain (*material-driven design*).

Sumber: Dokumentasi penulis (2026)

Selanjutnya, aspek dimensi dan antropometri dipertimbangkan untuk memastikan produk nyaman dan proporsional saat digunakan di samping tempat tidur. Tinggi, lebar, dan kedalaman *nightstand* ditentukan dengan mempertimbangkan standar ergonomi serta efisiensi ruang, khususnya pada hunian dengan luasan terbatas. Rasio visual juga menjadi perhatian agar produk tetap seimbang secara estetis.

Dari sisi estetika, eksplorasi mencakup pilihan *finishing* serta bentuk keseluruhan produk, apakah cenderung *rounded*, geometris tegas, atau kombinasi keduanya. Pendekatan visual ini diarahkan untuk memperkuat karakter kayu jati apkir tanpa menutupi keunikan alaminya. Struktur dan konstruksi dirancang dengan mempertimbangkan sistem kaki, mekanisme laci, serta jenis sambungan yang digunakan. Pemilihan antara sistem solid, panel penuh, atau *knock-down* harus selaras dengan kekuatan struktur sekaligus efisiensi produksi. Detail sambungan seperti pen-lubang, dowel, atau sekrup dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan kekuatan, kemudahan perakitan, dan nilai ekonomis. Akhirnya, proses produksi menjadi faktor penentu dalam memastikan desain dapat direalisasikan secara nyata. Ketersediaan mesin, metode pengerjaan komponen, teknik *finishing*, serta kemungkinan kombinasi dengan material lain dievaluasi agar desain tidak hanya menarik secara konseptual, tetapi juga feasible untuk diproduksi secara konsisten.

Setelah tergambar seperti apa produk akan dibentuk, selanjutnya adalah proses pembuatan dan pemilihan sketsa produk sebelum naik ke gambar produksi. Diusulkan tiga sketsa (Gambar 5) dan juga pertimbangannya yang disajikan pada Tabel 2.



Gambar 5. Alternatif sketsa dengan variasi kompleksitas, efisiensi material, dan nilai estetika sebagai dasar evaluasi desain (a) *nightstand* rounded (b) *nightstand* kotak kaki miring (c) *nightstand* kotak kaki lurus
Sumber: Dokumentasi penulis (2026)

Tabel 2. Perbandingan kualitatif alternatif sketsa *nightstand* kayu jati apkir

| Aspek | Sketsa A | Sketsa B | Sketsa C |
|-----------------------|---|---------------------------------|------------------------------------|
| Karakter Bentuk | Modern organik, sudut melengkung | Minimalis mid-century | Simpel dan fungsional |
| Kompleksitas Produksi | Lebih kompleks (radius & bending/laminasi) | Relatif mudah | Paling sederhana |
| Kesesuaian Kayu apkir | Cukup baik jika menggunakan laminasi panel | Baik untuk potongan lurus | Sangat baik untuk potongan standar |
| Efisiensi Material | Potensi waste lebih tinggi pada bagian lengkung | Cukup efisien | Paling efisien |
| Kestabilan Struktur | Stabil karena ada panel dasar pengaku | Bergantung kekuatan kaki miring | Stabil karena rangka bawah |
| Nilai Estetika | Paling distinctive dan premium | Umum/banyak di pasaran | Cenderung utilitarian |
| Diferensiasi Pasar | Tinggi | Sedang | Rendah |
| Perakitan | Lebih kompleks | Mudah | Mudah |

Sumber: Dokumentasi penulis (2026)

Tahap seleksi sketsa dilakukan dengan mempertimbangkan aspek diferensiasi desain, rasionalitas produksi, dan potensi eksplorasi material, sebagaimana prinsip *concept screening* dalam pengembangan produk yang membandingkan alternatif berdasarkan fungsi, manufaktur, dan nilai pasar (Ulrich & Eppinger, 2003). Sketsa A menonjol melalui penggunaan sudut melengkung yang membangun identitas visual kuat dan meningkatkan persepsi kualitas produk. Dalam teori desain, diferensiasi visual berkontribusi terhadap positioning dan daya tarik estetika (Hekkert dkk., 2003). Kombinasi laci terbuka dan laci tertutup memberikan keseimbangan fungsi, sementara panel dasar memperkuat stabilitas sekaligus memperkaya komposisi visual.

Meskipun kompleksitas produksinya lebih tinggi dan berpotensi menambah *waste* pada pembentukan radius, pendekatan ini justru membuka peluang eksplorasi teknik laminasi sebagai strategi pembentukan kurva. Dalam perspektif *material-driven design*, keterbatasan material dapat diolah menjadi karakter estetika yang khas (Karana dkk., 2015). Sebaliknya, Sketsa B lebih efisien

secara produksi dengan dominasi bidang lurus dan karakter *mid-century*, tetapi tingkat diferensiasinya rendah dan stabilitas sangat bergantung pada kualitas sambungan kaki. Sketsa C paling rasional dari sisi efisiensi material dan kemudahan CNC, tetapi cenderung konservatif secara visual sehingga nilai tambah desainnya terbatas. Untuk memudahkan pemilihan desain, maka dilakukan scoring untuk masing-masing sketsa, pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Scoring perbandingan antar sketsa

| Aspek | Bobot | Sketsa A | Sketsa B | Sketsa C |
|--|-------|-----------|-----------|-----------|
| Karakter bentuk | 2 | 3 | 2 | 2 |
| Kompleksitas produksi | 1 | 1 | 2 | 3 |
| Kesesuaian kayu apkir | 2 | 2 | 2 | 3 |
| Efisiensi material | 1 | 1 | 2 | 3 |
| Kestabilan struktur | 2 | 3 | 2 | 3 |
| Nilai estetika | 3 | 3 | 2 | 1 |
| Diferensiasi pasar | 3 | 3 | 2 | 1 |
| Kemudahan perakitan | 1 | 1 | 3 | 3 |
| Total Skor (Σ skor \times bobot) | | 34 | 32 | 30 |

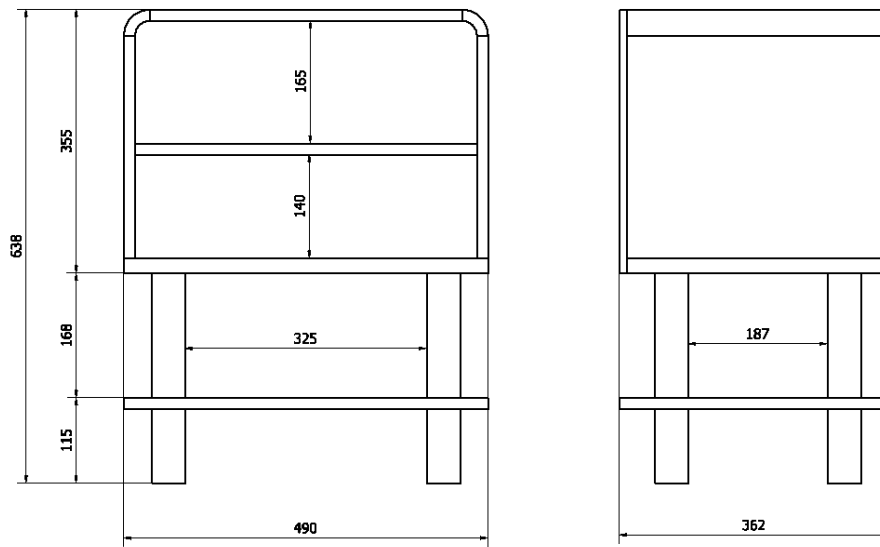
Sumber: Dokumentasi penulis (2026)

Untuk meningkatkan objektivitas dalam pemilihan desain, dilakukan evaluasi alternatif menggunakan metode pembobotan kriteria. Bobot ditentukan berdasarkan tujuan penelitian yang menekankan *value upgrading* sehingga aspek nilai estetika dan diferensiasi pasar diberikan prioritas lebih tinggi dibanding efisiensi produksi. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa Sketsa A memperoleh skor tertinggi, terutama karena keunggulannya dalam aspek estetika dan karakter desain, meskipun memiliki kompleksitas produksi yang lebih tinggi. Oleh karena itu, Sketsa A dipilih sebagai dasar pengembangan prototipe. Keputusan ini selaras dengan prinsip *value engineering*, dimana nilai dipahami sebagai peningkatan fungsi dan persepsi kualitas relatif terhadap sumber daya yang digunakan (Dell'Isola, 2008). Dalam konteks kayu jati apkir, pembentukan radius melalui laminasi memungkinkan material mutu rendah direkayasa menjadi elemen desain yang bernilai dan memiliki *positioning* pasar yang lebih kuat.

Sketsa terpilih kemudian dikembangkan melalui pemodelan tiga dimensi untuk menghasilkan gambar kerja teknis yang mencakup dimensi, detail komponen, sistem konstruksi, serta toleransi manufaktur. Pemodelan 3D berperan penting dalam mengevaluasi proporsi, ergonomi, dengan tinggi produk 60–70 cm sesuai antropometri pengguna, serta stabilitas struktur sebelum proses produksi dimulai. Selain itu, simulasi digital membantu mengidentifikasi kendala potensial pada pembentukan radius dan jalur pahat CNC sehingga risiko kesalahan produksi dapat diminimalkan sejak tahap perancangan (Barata dkk., 2018).

Pendekatan ini mencerminkan prinsip *process-aware design*, yaitu desain yang dikembangkan dengan mempertimbangkan karakter dan keterbatasan proses manufaktur sejak awal (Thimm dkk., 2004). Keputusan mengenai ketebalan panel laminasi, radius minimum sudut, sistem sambungan, serta strategi *toolpath* disesuaikan dengan kemampuan mesin CNC router. Integrasi ini juga sejalan dengan konsep *Design for Manufacturing (DfM)* yang menekankan bahwa desain harus mendukung efisiensi produksi dan konsistensi kualitas (Boothroyd dkk., 2010).

Dengan demikian, tahap sketsa dan pembuatan gambar kerja tidak hanya berfungsi sebagai visualisasi desain, tetapi sebagai proses pengambilan keputusan strategis yang menentukan efisiensi material, kelayakan produksi, dan kualitas akhir produk. Gambar kerja produk disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Gambar kerja sebagai dasar teknis produksi dan kontrol dimensi.
Sumber: Olahan penulis (2026)



Gambar 7. Visualisasi render yang menunjukkan implementasi bentuk dan ekspresi material.
Sumber: Olahan penulis (2026)

Prototype

Tahap pembuatan purwarupa dimulai dari persiapan bahan utama berupa kayu jati kategori *apkir* yang diperoleh dari lingkungan produksi CV Ribka Furniture. Pemilihan kayu jati didasarkan pada dominasi penggunaannya dalam lini produksi perusahaan serta karakteristik kekuatan dan stabilitas dimensinya yang baik untuk furnitur (Djati dkk., 2015)(Sneha & Ghosh, 2022). Pada tahap ini dilakukan proses *sorting* ulang karena ditemukan cacat seperti mata mati dan retak rambut yang tidak teridentifikasi pada inspeksi awal. Proses seleksi ulang ini penting untuk memastikan bahwa hanya bagian kayu dengan integritas struktural memadai yang digunakan pada panel laminasi.

Keterbatasan dimensi dan variasi kualitas material diatasi melalui proses laminasi menggunakan mesin *rotary clamp*. Panel direkatkan dan diklem selama kurang lebih tiga jam hingga mencapai

kekuatan awal yang memadai. Laminasi papan kayu jati menggunakan perekat PVAc tipe D3 dengan tekanan penjepitan $\pm 0,7-1$ MPa selama 3 jam pada suhu ruang ($\pm 27^\circ\text{C}$). Kadar air kayu sebelum laminasi berkisar 12–14%. Setelah proses *curing*, setiap panel diperiksa kesikuan, kerapatan sambungan, serta kualitas *glue line*. Evaluasi ini penting karena kualitas perekat sangat memengaruhi performa mekanik dan stabilitas panel laminasi (Frihart & Hunt, 2010). Secara umum, panel memenuhi standar visual dan struktural yang ditetapkan industri, sehingga layak dilanjutkan ke tahap pemesinan.

Tahap berikutnya adalah proses permesinan berbasis CNC untuk membentuk komponen dengan geometri presisi, khususnya pada bagian kaki berbentuk radius. Proses diawali dengan pembuatan gambar dua dimensi di AutoCAD yang kemudian diekspor dalam format DXF dan diproses menggunakan perangkat lunak Alphacam untuk menghasilkan toolpath dan G-code. Program tersebut dijalankan pada mesin CNC bubut merk Gewin dengan *feed rate* 500 mm/menit. Penggunaan CNC memungkinkan kontrol presisi dimensi, konsistensi bentuk, serta efisiensi reproduksi komponen lengkung yang sulit dicapai dengan metode konvensional (Šugárová dkk., 2025). Integrasi CAD–CAM dalam proses ini mencerminkan pendekatan *digital fabrication*, ketika desain dan manufaktur terhubung secara langsung dalam satu sistem terpadu. Detail parameter permesinan CNC disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter permesinan CNC pada pembuatan nakas kayu jati apkir

| No | Parameter | Spesifikasi | Keterangan |
|----|-------------------|---|----------------------------|
| 1 | Jenis Mesin | CNC Router/Bubut Gewin | Integrasi CAD–CAM |
| 2 | Jenis Mata Pahat | Solid Carbide End Mill (Straight Flute) | Untuk kayu solid/laminasi |
| 3 | Diameter Pahat | 10 mm (kontur utama), 6 mm (detail) | Disesuaikan geometri |
| 4 | Kecepatan Spindle | 12.000–15.000 rpm | Menyesuaikan densitas jati |
| 5 | Feed Rate | 500 mm/menit | Menghindari burning |
| 6 | Kedalaman Potong | 3–5 mm per pass | Pemotongan bertahap |
| 7 | Strategi Toolpath | Profile cutting dan Pocketing | Kontur dan rongga |
| 8 | Toleransi Dimensi | $\pm 0,5$ mm | Presisi produksi |

Sumber: Dokumentasi penulis (2026)

Konstruksi produk dilakukan menggunakan kombinasi mesin konvensional seperti *Round & Tenoner*, *Mortiser*, dan *Vertical Boring*. Sistem sambungan yang digunakan berupa tenon bulat dan mortise, yang secara struktural dikenal memiliki kekuatan sambungan yang baik pada furnitur kayu solid. Pemilihan sambungan ini mempertimbangkan kestabilan struktur sekaligus kompatibilitas dengan panel hasil laminasi. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *design for manufacturing*, ketika keputusan desain disesuaikan dengan kemampuan dan karakter proses produksi (Boothroyd dkk., 2010). Detail konstruksi komponen disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Detail konstruksi komponen produk *nightstand*

| No | Komponen | Dimensi (mm) | Jenis Konstruksi | Mesin/Peralatan |
|----|----------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1 | Kaki Atas | $\emptyset 40 \times 120$ | Tenon bulat + Mortise | CNC Bubut, Mortiser |
| 2 | Kaki Bawah | $\emptyset 40 \times 250$ | Tenon bulat | Round & Tenoner |
| 3 | Panel Samping | $18 \times 400 \times 500$ | Mortise | Mortiser |
| 4 | Panel Belakang | $15 \times 350 \times 450$ | Mortise | Mortiser |
| 5 | Panel Dasar | $18 \times 380 \times 480$ | Mortise | Mortiser |
| 6 | Panel Top | $20 \times 450 \times 550$ | Mortise | Mortiser |
| 7 | Frame Sudut | $30 \times 30 \times 380$ | Mortise | Mortiser |
| 8 | Muka Laci | $18 \times 150 \times 350$ | Lubang bor + alur | Vertical Boring & Router |
| 9 | Samping Laci | $15 \times 120 \times 320$ | Alur + Bor | Vertical Boring |
| 10 | Dasar Laci | $9 \times 300 \times 330$ | Slot/alur | Router |

| No | Komponen | Dimensi (mm) | Jenis Konstruksi | Mesin/Peralatan |
|----|-------------|---------------|------------------|-----------------|
| 11 | Support Rel | 18 × 40 × 320 | Lubang bor | Vertical Boring |

Sumber: Dokumentasi penulis (2026)

Sebelum proses perakitan permanen, dilakukan *dry fit* untuk memastikan seluruh sambungan presisi dan tidak terjadi deviasi akibat perubahan kelembapan kayu. Penyesuaian kecil dilakukan pada beberapa komponen untuk mencapai kesesuaian optimal. Setelah itu perekat diaplikasikan dan komponen dijepit hingga kering. Permukaan kemudian diampelas untuk meratakan bidang dan menghilangkan sisa lem, sehingga siap memasuki tahap *finishing*. Tahapan *finishing* disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. *Coating Schedule* pada produk *nightstand*

| No | Tahap & Produk | Rasio Campuran | Metode Aplikasi | Waktu Pengeringan |
|----|---|----------------|-----------------|-------------------|
| 1 | Wood Colour – DMC Maxi Brown | 1 : 1 | Brush | Overnight |
| 2 | Sanding | – | Hand Sander | – |
| 3 | Bleaching – DMC Maxi White | 1 : 3 | Brush | 3–6 jam |
| 4 | Sanding | – | Hand Sander | – |
| 5 | Bleaching – DMC Maxi White | 1 : 3 | Brush | 3–6 jam |
| 6 | Sanding | – | Hand Sander | – |
| 7 | Top Coat – Sayerlack Water Based | 1 : 1 | Spray | 15–30 menit |
| 8 | Top Coat – Sayerlack Water Based | 1 : 1 | Spray | 15–30 menit |
| 9 | Setting Colour – Sayerlack Natural Wood Stain | 1 : 1 | Spray | 15–30 menit |

Sumber: Dokumentasi penulis (2026)

Tahap pengobatan dan *finishing* bertujuan meningkatkan estetika sekaligus perlindungan permukaan. Proses pewarnaan dasar dilakukan dengan teknik kuas, dilanjutkan dengan aplikasi *water-based top coat* menggunakan *spray gun* di ruang *spray booth*. Penggunaan *finishing* berbasis air dipilih karena memiliki emisi VOC lebih rendah dan lebih ramah lingkungan dibanding sistem *solvent-based*, sehingga mendukung prinsip keberlanjutan dalam produksi furnitur (Bergman (2010);Yang dkk. (2025)). Waktu pengeringan disesuaikan dengan kondisi lingkungan untuk menghindari cacat permukaan seperti *dust nib* atau ketidakteraturan lapisan.

Tahap akhir adalah pemasangan aksesoris berupa rel dan *handle* laci. Mekanisme *push to open* yang semula direncanakan diganti saat tahap perakitan karena terkendala teknis. Meski begitu penggunaan *handle* tetap memberikan kesan minimalis pada produk *nightstand*. Pengeboran dilakukan menggunakan *jig* untuk menjaga presisi posisi *hardware*. Laci kemudian diuji buka tutup untuk memastikan kelancaran mekanisme dan kesesuaian toleransi.

Secara keseluruhan, tahap pembuatan purwarupa menunjukkan integrasi antara rekayasa material kayu jati apkir, presisi manufaktur CNC, serta sistem konstruksi furnitur konvensional dalam satu alur produksi yang terkendali. Hasil akhir produk *nightstand* disajikan pada Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10.



Gambar 8. Tampilan keseluruhan produk *nightstand* kayu jati apkir .
Sumber: Dokumentasi penulis (2026)



Gambar 9. Detail sambungan, papan laminasi, bubutan kaki, dan *finishing* produk.
Sumber: Dokumentasi penulis (2026)



Gambar 10. Perbandingan skala produk dengan pengguna (tinggi 173 cm).
Sumber: Dokumentasi penulis (2026)

Testing

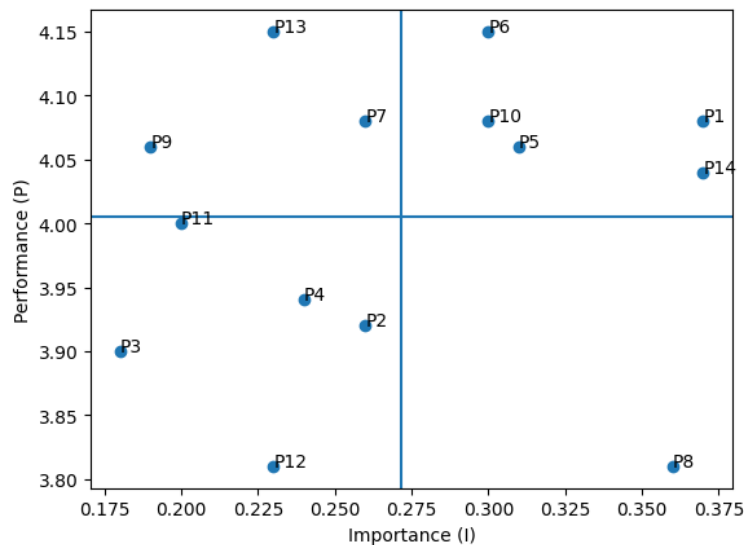
Evaluasi produk dilakukan terhadap 52 responden menggunakan pendekatan *Importance-Performance Analysis* (IPA) untuk mengidentifikasi prioritas pengembangan desain berbasis persepsi pengguna. Instrumen penelitian terdiri atas 14 item yang merepresentasikan atribut fungsional, estetika, persepsi nilai, dan keberlanjutan, sebagaimana disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Daftar pertanyaan evaluasi produk berbahan dasar kayu jati apkir

| Kode | Atribut | Dimensi |
|------|--|----------------|
| P1 | Storage terbuka memudahkan saya menyimpan barang yang sering digunakan | Fungsional |
| P2 | Storage tertutup membantu menjaga kerapian dan privasi | Fungsional |
| P3 | Ambang tambahan memberikan fungsi penyimpanan yang bermanfaat | Fungsional |
| P4 | Dimensi nakas sudah sesuai untuk penggunaan di ruang tidur | Fungsional |
| P5 | Produk terasa stabil dan kokoh | Fungsional |
| P6 | Tampilan visual kayu jati laminasi terlihat menarik | Estetika |
| P7 | Pola sambungan laminasi tidak mengganggu estetika produk | Estetika |
| P8 | Produk tetap terlihat seperti furnitur berkualitas tinggi | Estetika |
| P9 | Saya dapat menerima penggunaan kayu jati apkir jika kualitas produk baik | Persepsi Nilai |
| P10 | Saya merasa produk ini memiliki nilai unik karena menggunakan material rekayasa | Persepsi Nilai |
| P11 | Saya mendukung penggunaan material kayu sisa/ <i>apkir</i> untuk produk furnitur | Keberlanjutan |
| P12 | Produk ini mencerminkan prinsip keberlanjutan | Keberlanjutan |
| P13 | Saya bersedia membeli produk berbahan kayu rekayasa jika kualitasnya setara | Persepsi Nilai |
| P14 | Saya menilai produk ini memiliki nilai ekonomis yang layak | Persepsi Nilai |

Sumber: Dokumentasi penulis (2026)

Dalam konteks ini, nilai rata-rata (mean) merepresentasikan *performance*, sedangkan nilai korelasi item-total digunakan sebagai proksi *importance*, yaitu sejauh mana setiap atribut berkontribusi terhadap penilaian keseluruhan produk (Martilla & James, 1977)(Deng, 2007). Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih interpretatif dibandingkan sekadar deskripsi skor rata-rata. Secara umum, hasil menunjukkan bahwa sebagian besar atribut berada pada tingkat performa tinggi (mean \approx 3,81–4,15), yang mengindikasikan penerimaan positif terhadap produk. Namun, melalui pemetaan IPA, ditemukan variasi prioritas yang memberikan *insight* lebih mendalam terkait *trade-off* desain (Gambar 11).



Gambar 11. *Importance-Performance Analysis* (IPA) atribut produk *nightstand* berbahan kayu jati apkir.
 Sumber: Olahan penulis (2026)

Pada kuadran “*Keep up the good work*” (*importance* tinggi – *performance* tinggi), atribut seperti kemudahan akses *storage* terbuka (P1: 4,08; $r=0,37$), stabilitas produk (P5: 4,06; $r=0,31$), serta nilai ekonomis (P14: 4,04; $r=0,37$) menunjukkan bahwa aspek fungsional dan persepsi nilai merupakan kekuatan utama produk. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan integrasi laminasi dan CNC tidak mengorbankan persepsi kualitas struktural, bahkan memperkuat kepercayaan pengguna terhadap material rekayasa. Temuan ini sejalan dengan konsep *value engineering* dalam desain produk, di mana nilai ditentukan oleh keseimbangan fungsi dan persepsi kualitas (Azhar dkk., 2025)

Pada kuadran “*Low priority*” (*importance* rendah – *performance* rendah), atribut seperti fungsi ambang tambahan (P3: 3,90; $r=0,18$) dan persepsi keberlanjutan eksplisit (P12: 3,81; $r=0,23$) menunjukkan bahwa meskipun performanya tidak rendah secara absolut, kontribusinya terhadap kepuasan keseluruhan relatif terbatas. Ini mengindikasikan bahwa fitur tambahan tidak selalu meningkatkan nilai persepsi jika tidak secara langsung berkaitan dengan kebutuhan utama pengguna. Dalam konteks *circular design*, temuan ini juga menunjukkan bahwa narasi keberlanjutan tidak otomatis menjadi faktor utama, kecuali dikaitkan dengan manfaat fungsional atau kualitas produk yang dirasakan (Camacho-Otero dkk., 2018).

Pada kuadran “*Possible overkill*” (*importance* rendah – *performance* tinggi), atribut estetika seperti tampilan visual laminasi (P6: 4,15; $r=0,30$) dan minat beli (P13: 4,15; $r=0,23$) menunjukkan performa tinggi, tetapi dengan tingkat kepentingan relatif moderat. Temuan ini mengindikasikan bahwa eksplorasi estetika material telah berhasil meningkatkan daya tarik produk, tetapi tidak menjadi faktor dominan dalam evaluasi pengguna dibandingkan aspek fungsional. Hal ini konsisten dengan pendekatan *material-driven design*, di mana ekspresi material berperan sebagai diferensiasi, tetapi tetap harus didukung oleh performa fungsi (Karana dkk., 2015)

Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat satu atribut yang masuk kuadran *concentrate here*, yaitu persepsi bahwa produk tetap terlihat sebagai furnitur berkualitas tinggi (P8). Meskipun tingkat kepentingannya relatif tinggi ($r = 0,36$), performanya berada di bawah rata-rata (3,81), yang mengindikasikan adanya kesenjangan antara ekspektasi kualitas visual dan persepsi aktual pengguna. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun pendekatan laminasi dan CNC mampu mempertahankan fungsi dan stabilitas, persepsi “kualitas premium” pada material jati belum sepenuhnya terkomunikasikan melalui hasil akhir produk. Dalam konteks desain furnitur berbahan material rekayasa, hal ini menegaskan adanya trade-off antara efisiensi material dan simbol kualitas visual, di mana sedikit deviasi estetika dapat memengaruhi persepsi nilai secara signifikan (Karana dkk., 2015).

Meskipun analisis IPA tidak menunjukkan banyak atribut kritis dengan performa rendah, temuan kualitatif dari responden mengungkap beberapa aspek yang masih memerlukan perhatian, terutama terkait mekanisme laci yang dirasakan kurang halus serta bobot produk yang relatif berat. Temuan ini menunjukkan adanya *trade-off* antara kekokohan struktur hasil laminasi solid dengan kenyamanan penggunaan, khususnya pada komponen mekanis. Dalam konteks desain furnitur, aspek seperti *tactile feedback* dan kemudahan operasional memiliki peran penting dalam membentuk pengalaman pengguna, meskipun tidak selalu tercermin secara kuat dalam evaluasi kuantitatif (Norman, 2013). Dengan demikian, optimalisasi pada sistem rel laci, toleransi sambungan, serta pengurangan bobot material menjadi area pengembangan lanjutan yang penting untuk meningkatkan kualitas pengalaman pengguna secara menyeluruh.

Secara konseptual, hasil ini memperlihatkan bahwa keberhasilan produk tidak semata ditentukan oleh inovasi material, tetapi oleh bagaimana inovasi tersebut diterjemahkan menjadi kinerja fungsional yang dapat dirasakan pengguna. Integrasi laminasi dan CNC dalam penelitian ini dapat dipahami sebagai bentuk *precision-enabled value upgrading*, di mana material *apkir* tidak hanya dimanfaatkan kembali, tetapi ditingkatkan nilainya melalui kontrol presisi dan kualitas desain. Namun demikian, temuan juga menunjukkan bahwa nilai keberlanjutan lebih banyak dipersepsikan secara implisit melalui kualitas produk, bukan sebagai hasil dari komunikasi eksplisit mengenai prinsip *circular design*.

Simpulan

Penelitian ini mengembangkan model integratif rekayasa nilai kayu jati apkir melalui kombinasi laminasi, presisi CNC, dan pendekatan *design thinking* dalam desain *nightstand*. Hasil evaluasi pengguna menunjukkan persepsi positif pada aspek fungsional, estetika, dan nilai produk, dengan prioritas utama pada kemudahan penggunaan, stabilitas, dan nilai ekonomis. Analisis IPA mengindikasikan bahwa sebagian besar atribut telah memenuhi ekspektasi pengguna, tetapi persepsi kualitas visual sebagai furnitur premium masih menjadi aspek yang perlu ditingkatkan.

Secara teoretis, penelitian ini menawarkan konsep precision-enabled *value upgrading* dalam kerangka *circular design* ketika material *apkir* ditingkatkan nilainya melalui integrasi teknologi dan desain. Secara praktis, industri furnitur disarankan untuk menyeimbangkan efisiensi material dengan persepsi kualitas melalui optimalisasi *finishing* dan detail konstruksi. Secara metodologis, kombinasi IPA dan data kualitatif terbukti efektif dalam mengidentifikasi prioritas desain serta *trade-off* pengalaman pengguna yang tidak sepenuhnya terungkap melalui analisis kuantitatif.

Referensi

- Anggiriani, S., Nurhanifah, & Sutiawan, J. (2023). Suatu tinjauan kecocokan kayu jati (*Tectona grandis* Linn. f.) cepat tumbuh untuk bahan baku furnitur. *Jurnal Kehutanan Papuasiasia*, 9(1), 69–78. <https://doi.org/10.46703/jurnalpapuasiasia.Vol9.Iss1.430>
- Anisa, L., & Sulistyati, A. N. (2023). Upcycling limbah plastik dengan teknik merenda (*crochet*) untuk pembuatan *upholstery* pada produk pouf. *Narada: Jurnal Desain dan Seni*, 10(2), 185. <https://doi.org/10.22441/narada.2023.v10.i2.005>
- Azhar, H., Putri, A. S., & Neo, M. (2025). Sustainable design with circular thinking: Reinventing teak wood waste into decorative products. *Architecture Image Studies*, 6(4), 1038–1044. <https://doi.org/10.62754/ais.v6i4.716>
- Barata, J., Rupino Da Cunha, P., & Stal, J. (2018). Mobile supply chain management in the Industry 4.0 era. *Journal of Enterprise Information Management*, 31(1), 173–192. <https://doi.org/10.1108/JEIM-09-2016-0156>
- Bergman, R. D., & Bowe, S. A. (2011). Life cycle inventory of manufacturing prefinished engineered wood flooring in eastern U.S. with comparison to solid strip wood flooring. *Wood and Fiber Science*, 43(4), 421–441.
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
- Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. (2010). *Product design for manufacture and assembly*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420089288>
- Camacho-Otero, J., Boks, C., & Pettersen, I. N. (2018). Consumption in the circular economy: A literature review. *Sustainability*, 10(8), 2758. <https://doi.org/10.3390/su10082758>
- Ching, F. D. K. (2014). *Architecture Form, Space, and Order* (4 ed.). John Wiley & Sons.
- Dell'Isola, A. J. (2008). *Value engineering: Practical applications for design, construction, maintenance and operations*. RSMears.
- Deng, W. (2007). Using a revised importance–performance analysis approach: The case of Taiwanese hot springs tourism. *Tourism Management*, 28(5), 1274–1284. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2006.07.010>
- Djati, I. D., Tauchi, T., Kubo, M., & Terauchi, F. (2015). Mechanical properties and characteristics of young teak for making products. *Bulletin of Japanese Society for the Science of Design*, 62(3). https://doi.org/https://doi.org/10.11247/jssdj.62.3_25

- Etruly, N., & Yusuf, A. (2024). Perancangan nakas multifungsi *hidden drawer* dengan *mix* material. *Jurnal Kreatif: Desain Produk Industri dan Arsitektur*, 12(02), 14. <https://doi.org/10.46964/jkdpia.v12i02.1069>
- Frihart, C. R., & Hunt, C. G. (2010). *Adhesives with wood materials: bond formation and performance*. *Wood handbook: wood as an engineering material* (Vol. 10). Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Garcia, R., Calvez, I., Koubaa, A., Landry, V., & Cloutier, A. (2024). Sustainability, circularity, and innovation in wood-based panel manufacturing in the 2020s: opportunities and challenges. *Current Forestry Reports*, 10(6), 420–441. <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00229-1>
- Halimah, N., & Litawati, S. (2022). Pemanfaatan limbah praktikum menjadi produk kriya ikat pinggang wanita. *Narada: Jurnal Desain dan Seni*, 9(3). <https://doi.org/10.22441/narada/2022.v9.i3.002>
- Hekkert, P., Snelders, D., & Van Wieringen, P. C. W. (2003). 'Most advanced, yet acceptable': Typicality and novelty as joint predictors of aesthetic preference in industrial design. *British Journal of Psychology*, 94(1), 111–124. <https://doi.org/10.1348/000712603762842147>
- Hurmekoski, E., Jonsson, R., & Nord, T. (2015). Context, drivers, and future potential for wood-frame multi-story construction in Europe. *Technological Forecasting and Social Change*, 99, 181–196. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.002>
- Karana, E., Barati, B., Rognoli, V., & Zeeuw van der Laan, A. (2015). Material driven design (mdd): a method to design for material experiences. *International Journal of Design*, 9(2), 35–54.
- Mantau, U. (2012). *Wood flows in Europe (EU-27): Project report*. CEPI (Confederation of European Paper Industries) & CEI-Bois (European Confederation of Woodworking Industries).
- Martilla, J. A., & James, J. C. (1977). Importance-performance analysis. *Journal of Marketing*, 41(1), 77–79. <https://doi.org/10.1177/002224297704100112>
- Norman, D. A. (2013). *The Design of Everyday Things*. Basic Books.
- Nurhanifah, Wijayanto, A., Anggiriani, S., Muhamad, S., & Mulyosari, D. (2025). The utilization rubber wood finger joint laminated for furniture application. *Journal of Sylva Indonesiana*, 8(2), 161–168. <https://doi.org/10.32734/jsi.v8i2.18821>
- Pheasant, S., & Haslegrave, C. M. (2018). *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work*. CRC Press.
- Pinho, G. C. de S., Calmon, J. L., Medeiros, D. L., & Pinho, C. (2025). Furniture wood waste management towards the circular economy. *Applied Sciences*, 15(3), 1360. <https://doi.org/10.3390/app15031360>
- Ratnasingam, J., & Ioras, F. (2003). The sustainability of the Asian wooden furniture industry. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 61(3), 233–237. <https://doi.org/10.1007/s00107-003-0382-9>
- Russell, J. D., Huff, K., & Haviarova, E. (2023). Evaluating the cascading-use of wood furniture: How value-retention processes can contribute to material efficiency and circularity. *Journal of Industrial Ecology*, 27(3), 856–867. <https://doi.org/10.1111/jiec.13284>
- Setiyawan, A. A., & Masyitoh, I. H. (2025). Arion sebagai inovasi desain nakas aesthetic dengan penerapan black doff finishing. *Jurnal Desain*, 12(2), 464. <https://doi.org/10.30998/jd.v12i2.27173>
- Sneha, & Ghosh, R. (2022). Microstructural analysis to understand the strength of teak wood using experimental methods. *Materials Today Communications*, 32, 104064. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104064>
- Šugárová, V., Adamčík, L., & Kminiak, R. (2025). The influence of technical and technological parameters of cnc milling on the surface quality of beech plywood. *Acta Facultatis Xylogologiae*, 67, 35–48. <https://doi.org/10.17423/afx.2025.67.1.04>
- Thimm, G., Britton, G. A., & Cheong, F. S. (2004). How CNC process plans constrain designs of rotational parts: a rigorous approach. *Computer-Aided Design and Applications*, 1(1–4), 359–366. <https://doi.org/10.1080/16864360.2004.10738277>
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2003). *Product Design and Development*, (3rd ed.). McGraw-Hill/Irwin.

- Yang, D., Vezzoli, C., & Su, H. (2025). Comprehensive life cycle assessment of 25 furniture pieces across categories for sustainable design. *Scientific Reports*, *15*(1), 13968. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84025-8>
- Yuniati, D., Nurrochmat, D. R., Pribadi, D. O., Djaenudin, R. D., Kuncahyo, B., Sayekti, A. L., Khotimah, H., & Wardhani, W. N. R. (2025). Proposing circular bioeconomy design strategy: A crucial step towards sustaining the wood furniture industry in Indonesia. *Forest Policy and Economics*, *181*, 103666. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2025.103666>
- Yunidar, D., & Hifzhurrahman, A. H. (2024). Pemanfaatan ampas kopi sebagai material dasar untuk membuat pot tanaman. *Narada: Jurnal Desain dan Seni*, *10*(3), 297. <https://doi.org/10.22441/narada.2023/v10.i3.003>