

Pengaruh Mesin Laminasi Sheet Terhadap Kualitas Produk Kayu

The Influence of Sheet Laminating Machine on the Quality of Wood Products

Adityan Tri Satriya¹, Hisyam Ma'mun^{*1}, Yuris Setyoadi¹

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang, Semarang, Indonesia

Info Artikel

Diserahkan:

25 Juli 2026

Direvisi:

26 Agustus 2026

Diterima:

29 Agustus 2026

ABSTRAK

Laminasi sheet merupakan metode finishing untuk meningkatkan estetika papan kayu olahan seperti Medium Density Fiberboard (MDF) dan Particle Board (PB). Kajian terdahulu umumnya menguji satu atau dua parameter pada satu pasangan substrat–pelapis dengan sistem kempa panas, sehingga mesin laminasi bertipe konveyor belum banyak dikaji. Penelitian ini menganalisis pengaruh kecepatan konveyor (10 dan 20 m/menit), tekanan angin (2 dan 4 bar), dan suhu ruangan (25 dan 30 °C) terhadap kualitas laminasi pada empat kombinasi material: MDF dan PB dengan perekat PL + PVC sheet serta woodlook + paper sheet, menggunakan rancangan faktorial dua level yang dievaluasi melalui uji kuat rekat kupas dan pengamatan visual permukaan. Kombinasi terbaik ditetapkan melalui dua kriteria: kuat rekat tertinggi yang memenuhi ambang mutu produksi (≥ 2 kgf untuk PVC sheet dan ≥ 1 kgf untuk paper sheet) serta permukaan rata tanpa cacat. Tekanan optimal ditentukan jenis sheet (4 bar untuk PVC sheet, 2 bar untuk paper sheet), sedangkan kecepatan dan suhu optimal ditentukan substrat (MDF 20 m/menit dan 25 °C; PB 10 m/menit dan 30 °C), dengan kuat rekat berturut-turut 3.25, 2.50, 1.35, dan 1.20 kgf. Kontribusi utama penelitian adalah pemetaan ketiga parameter simultan pada empat pasangan substrat–pelapis sehingga menghasilkan rekomendasi spesifik per material, bukan rekomendasi tunggal.

Kata Kunci : mesin laminasi sheet, kecepatan konveyor, tekanan angin, suhu ruangan, kekuatan rekat.

ABSTRACT

Sheet lamination is a finishing method that enhances the aesthetics of engineered wood boards such as Medium Density Fiberboard (MDF) and Particle Board (PB). Previous studies generally examined one or two parameters on a single substrate–overlay pair using hot presses, leaving conveyor-type laminating machines largely unexamined. This study analysed conveyor speed (10 and 20 m/min), air pressure (2 and 4 bar), and room temperature (25 and 30 °C) on lamination quality for four material combinations: MDF and PB with PL adhesive + PVC sheet and woodlook adhesive + paper sheet, using a two-level factorial design evaluated through peel bond strength tests and visual surface inspection. The best combination was determined by two criteria: the highest bond strength meeting the production threshold (≥ 2 kgf for PVC sheet and ≥ 1 kgf for paper sheet) and a flat, defect-free surface. Optimal pressure was governed by sheet type (4 bar for PVC sheet, 2 bar for paper sheet), whereas optimal speed and temperature were governed by the substrate (MDF 20 m/min and 25 °C; PB 10 m/min and 30 °C), with bond strengths of 3.25, 2.50, 1.35, and 1.20 kgf respectively. The main contribution is simultaneous mapping of the three parameters across four substrate–overlay pairs, yielding material-specific rather than single general recommendations.

Keywords : sheet laminating machine, conveyor speed, air pressure, room temperature, adhesive strength.

Corresponding author email: hisyam@upgris.ac.id

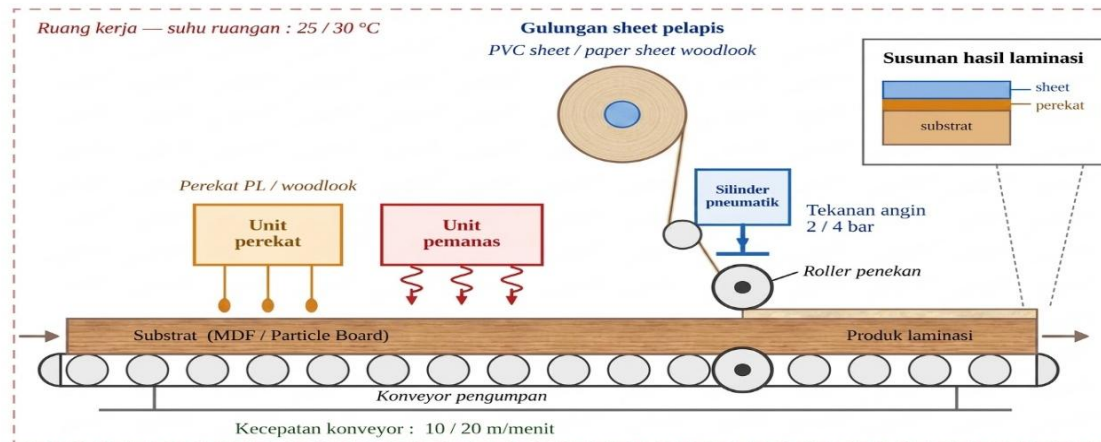


This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

1. PENDAHULUAN

Industri furnitur di Indonesia semakin banyak menggunakan material substitusi kayu solid seperti Medium Density Fiberboard (MDF) [1] dan Particle Board (PB) [2], karena harganya lebih murah dan mudah diproduksi, meski tampilannya kurang menarik sehingga memerlukan proses laminasi sheet (PVC sheet atau paper sheet woodlook) menggunakan mesin laminasi bertipe konveyor yang skemanya ditunjukkan pada Gbr. 1. Kualitas hasil laminasi sangat dipengaruhi oleh ketepatan pengaturan tiga parameter utama—kecepatan konveyor, tekanan

angin, dan suhu ruangan kerja—yang saling berkaitan dalam menentukan tingkat *bonding* antara *sheet* dan papan [3]. Pengaturan parameter yang tidak tepat dapat menimbulkan cacat produk seperti *delamination*, *blistering*, *wrinkling*, dan *glue overflow*, yang berkontribusi pada tingginya tingkat *reject* dan menurunkan efisiensi produksi. Dari permasalahan ini dirumuskan tiga pertanyaan penelitian, yaitu terkait pengaruh parameter proses terhadap kuat rekat dan kondisi visual, parameter mana yang paling berpengaruh pada tiap kelompok material, serta kombinasi parameter optimal untuk masing-masing pasangan substrat–pelapis.



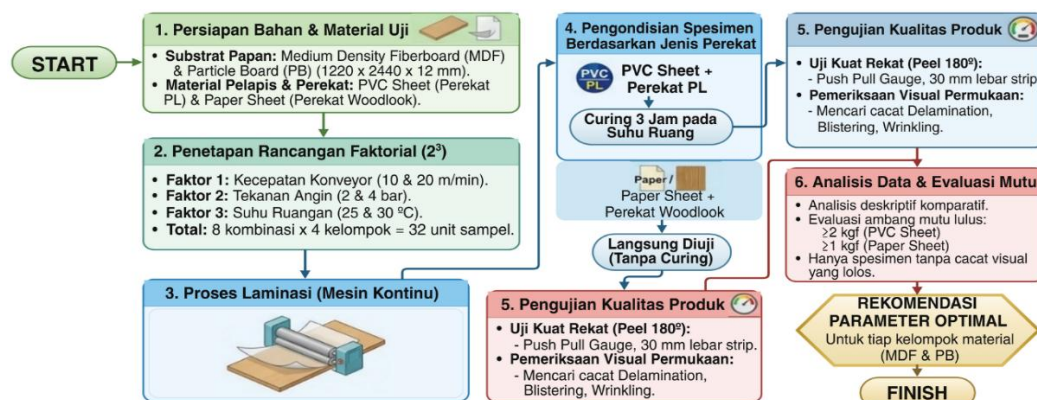
Gbr. 1. Skema Mesin Laminasi

Penelitian sebelumnya umumnya hanya berfokus pada satu atau dua parameter proses dan satu jenis pasangan substrat–pelapis menggunakan sistem kempa panas, seperti kajian Özlüsoylu dan İstek [4] tentang suhu, waktu, dan tekanan pengepresan pada MDF berlapis; Kursun dkk. [5] tentang kondisi permukaan PB untuk *decor paper*; serta Adamik dkk. [6] dan Garrido dkk. [7] tentang faktor proses dan parameter pemessinan pada panel berlapis. Interaksi kecepatan konveyor, tekanan angin, dan suhu ruangan pada mesin laminasi bertipe konveyor secara simultan belum banyak dikaji, sehingga penelitian ini menawarkan kebaruan berupa pemetaan pengaruh ketiga parameter tersebut pada empat kombinasi substrat dan pelapis sekaligus (MDF dan PB, dilaminasi PVC *sheet* maupun *paper sheet*), menghasilkan rekomendasi parameter spesifik per kombinasi material, bukan rekomendasi tunggal seperti penelitian-penelitian sebelumnya.

Perekat PL berbasis *polyurethane* memiliki daya rekat tinggi pada material berpori maupun PVC [8], [9], namun performanya sangat dipengaruhi suhu dan tekanan: suhu rendah meningkatkan viskositas dan mengganggu *wetting*, sedangkan suhu/tekanan berlebih menyebabkan lem meluber sebelum *curing* selesai [10], [11], [12]. PVC *sheet* sebagai pelapis termoplastik tahan gores dan lembap membutuhkan tekanan lebih tinggi karena lebih tebal dan kaku [13], sementara *paper sheet woodlook* yang tipis dan fleksibel lebih sensitif terhadap tekanan dan kecepatan sehingga rentan berkerut. Perbedaan karakteristik substrat dan pelapis inilah yang mendasari perlunya kajian sistematis, sehingga penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kecepatan konveyor, tekanan angin, dan suhu ruangan terhadap kualitas laminasi pada empat kombinasi material (MDF/PB dengan PVC *sheet*/*paper sheet*), guna menjadi acuan praktis bagi industri dalam menentukan parameter operasional yang optimal.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian secara keseluruhan, mulai dari persiapan bahan dan penetapan parameter proses hingga pengujian kuat rekat dan analisis data, disajikan pada Gbr. 2.



Gbr. 2. Bagan Alir Metode Penelitian

2.1. Jenis, Objek, dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan deskriptif-kuantitatif, di mana parameter operasional mesin laminasi *sheet* divariasikan dan hasilnya dianalisis secara deskriptif untuk menentukan kombinasi optimal, dengan parameter proses dan ambang mutu mengacu pada kondisi operasional perusahaan tempat penelitian dilaksanakan. Objek penelitian adalah hasil laminasi pada empat kelompok material, yaitu kombinasi *Medium Density Fiberboard* (MDF) dan *particle board* (PB) dengan dua sistem pelapis: perekat PL + PVC *sheet* dan perekat *woodlook* + *paper sheet*, dengan ruang lingkup dibatasi pada tiga parameter proses (kecepatan konveyor, tekanan angin, dan suhu ruangan). Substrat yang digunakan berukuran seragam 1220×2440 mm dengan ketebalan 12 mm, dilengkapi PVC *sheet* yang tebal dan kaku serta *paper sheet* yang tipis dan fleksibel, di mana setiap pasangan material diperlakukan secara konsisten pada seluruh percobaan.

2.2. Rancangan Eksperimen dan Parameter Proses

Penelitian menerapkan rancangan faktorial 2^3 dengan tiga faktor pada dua level, yaitu kecepatan konveyor (10 dan 20 m/menit), tekanan angin (2 dan 4 bar), dan suhu ruangan (25 dan 30 °C), menghasilkan 8 kombinasi parameter per kelompok material dan total 32 kombinasi untuk keempat kelompok material, yang diterapkan secara identik agar hasil antarkelompok dapat dibandingkan. Setiap kombinasi parameter dijalankan pada mesin laminasi kontinu dan diwakili oleh satu spesimen uji (tanpa replikasi), sehingga diperoleh 32 spesimen secara keseluruhan; pengondisian sebelum pengujian dibedakan menurut sistem perekat, yaitu 3 jam *curing* untuk PL + PVC *sheet* dan pengujian langsung untuk *woodlook* + *paper sheet* karena telah mengering saat keluar dari mesin.

Tabel 1. Matriks rancangan faktorial 2^3 untuk setiap kelompok material

No Sampel	Kecepatan konveyor (m/menit)	Tekanan angin (bar)	Suhu ruangan (°C)
A	10	2	25
B	20	2	25
C	10	4	25
D	20	4	25
E	10	2	30
F	20	2	30
G	10	4	30
H	20	4	30

Susunan kombinasi pada Tabel 1 diterapkan secara identik pada keempat kelompok material agar hasil antarkelompok dapat dibandingkan secara setara. Pengaruh tiap faktor terhadap kekuatan rekat dan kemunculan cacat dengan demikian dapat ditelusuri pada masing-masing pasangan substrat–pelapis.

2.3. Pengujian Kuat Rekat dan Teknik Analisa Data

Kekuatan rekat diuji menggunakan alat *Push Pull Gauge* berkapasitas 5 kgf dengan metode pembebanan kupas (*peel*) pada sudut 180° terhadap *strip sheet* selebar 30 mm dan panjang 200 mm, dengan prinsip pengujian mengacu pada evaluasi keteguhan rekat produk kayu [14], [15]. Nilai kuat rekat dicatat sebagai gaya maksimum pada saat *sheet* mulai terlepas, kemudian dibandingkan terhadap ambang mutu yang berbeda untuk tiap kombinasi material (≥ 2 kgf untuk PL + PVC *sheet* dan ≥ 1 kgf untuk *woodlook* + *paper sheet*), disertai pemeriksaan visual permukaan untuk kategori *flat/bonding* kuat, *delamination*, *blistering*, atau *wrinkling*. Data kemudian dianalisis secara komparatif untuk tiga tujuan: menentukan kombinasi parameter optimal, menelusuri pengaruh tiap faktor melalui perbandingan rerata antarlevel, dan memetakan keterkaitan kombinasi parameter dengan jenis cacat yang muncul, dengan kriteria evaluasi utama berupa ketercapaian ambang kuat rekat dan kondisi visual permukaan terbaik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Uji Kekuatan Rekat dan Kondisi Visual

Pengujian kekuatan rekat dilakukan pada seluruh kombinasi parameter untuk setiap kelompok material. Ambang batas produk berkualitas optimal ditetapkan secara berbeda menurut jenis *sheet* pelapis, yaitu ≥ 2 kgf untuk kombinasi perekat PL + PVC *sheet* dan ≥ 1 kgf untuk kombinasi perekat *woodlook* + *paper sheet*, dengan kondisi visual permukaan *flat* dan *bonding* kuat, sedangkan nilai di bawah ambang masing-masing mengindikasikan adanya cacat pada hasil laminasi. Hasil selengkapnya disajikan pada Tabel 2 sampai Tabel 5 berikut beserta grafiknya.

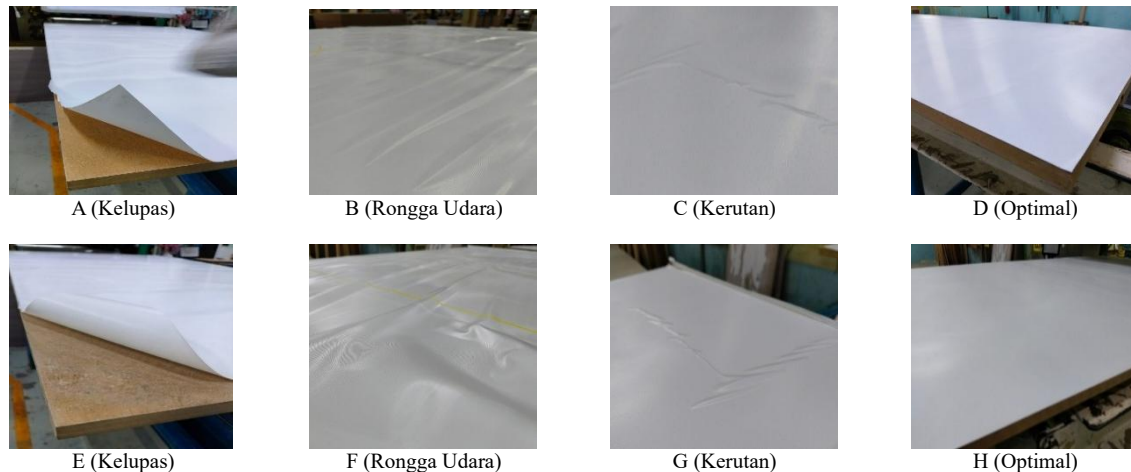
3.1.1. MDF + Perekat PL + PVC Sheet

Pada kelompok MDF + PL + PVC *sheet* (Gbr 3, Gbr. 4), tekanan angin 2 bar tidak pernah menghasilkan kondisi optimal. Kecepatan 10 m/menit menghasilkan kekuatan rekat terendah (1.20 dan 1.05 kgf) disertai pengelupasan (*delamination*), karena tekanan *roller* terlalu rendah untuk membentuk ikatan yang baik antara PVC *sheet* dan MDF. Kecepatan 20 m/menit menaikkan kekuatan rekat menjadi 1.95 dan 1.80 kgf, namun

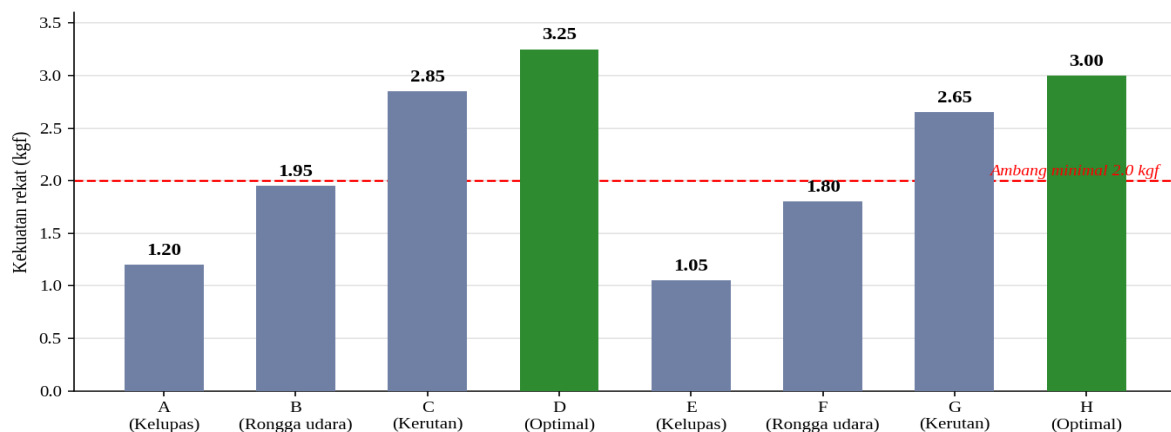
memunculkan rongga udara (*blistering*) karena tekanan 2 bar belum mampu mengeluarkan udara yang terperangkap di bawah *sheet*.

Pada tekanan 4 bar dengan kecepatan rendah (10 m/menit), waktu kontak berlebih menimbulkan kerutan (*wrinkling*), dengan kekuatan rekat 2.85 kgf (25 °C) dan 2.65 kgf (30 °C), karena *sheet* tertekan terlalu lama sebelum perekat mengeras merata.

Kombinasi optimal dicapai pada kecepatan 20 m/menit, tekanan 4 bar, dan suhu 25 °C, dengan kekuatan rekat tertinggi 3.25 kgf (permukaan *flat*, *bonding* kuat), sedikit menurun menjadi 3.00 kgf pada 30 °C. Tekanan angin merupakan parameter paling berpengaruh (rata-rata ± 1.44 kgf antara 2 dan 4 bar) sekaligus syarat tercapainya kondisi optimal, diikuti kecepatan konveyor (± 0.56 kgf), sedangkan suhu ruangan berpengaruh paling kecil (± 0.19 kgf).



Gbr. 3. Kondisi Visual Hasil Uji Kekuatan Rekat — MDF + Perekat PL + PVC Sheet



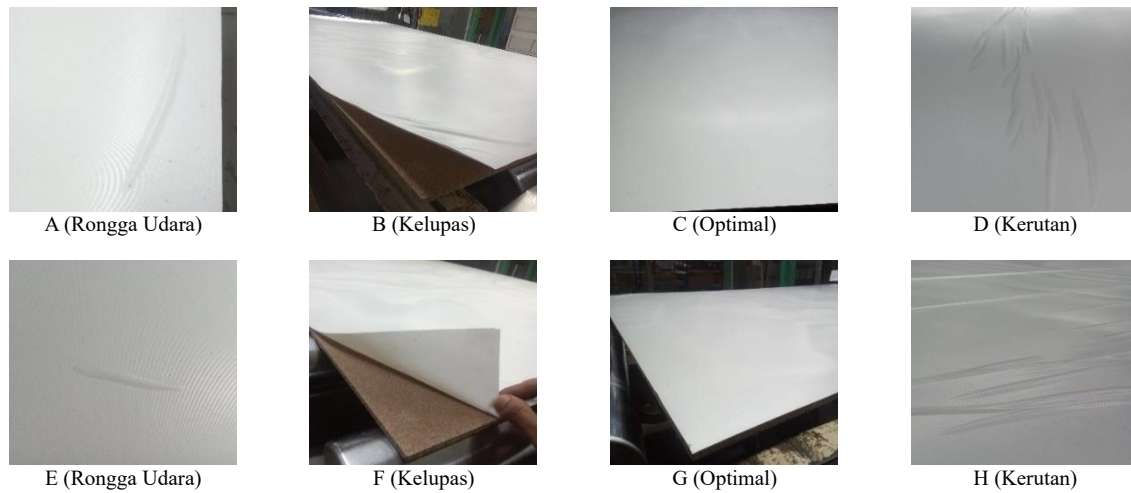
Gbr. 4. Grafik Kekuatan Rekat — MDF + Perekat PL + PVC Sheet

3.1.2. PB + Perekat PL + PVC Sheet

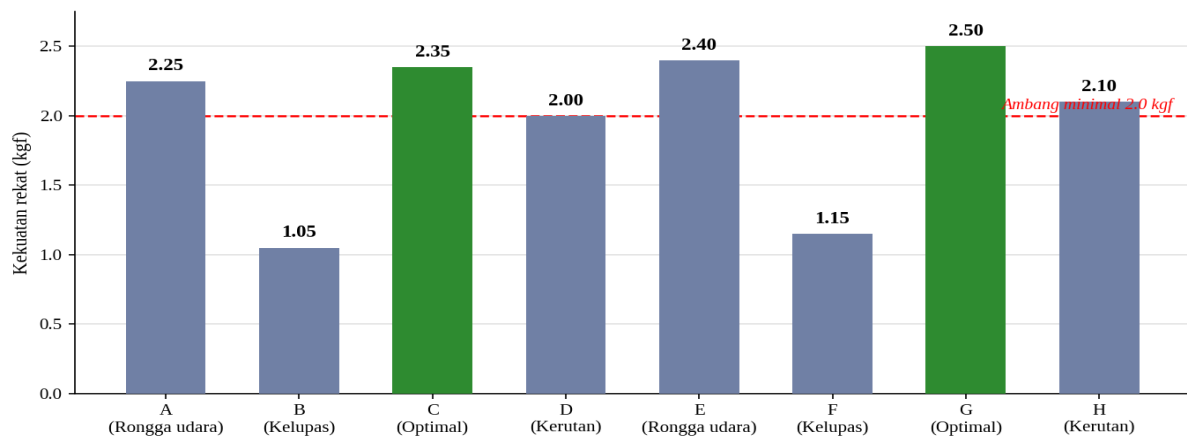
Pada kelompok PB + PL + PVC *sheet* (Gbr. 5, Gbr. 6), tekanan angin 2 bar juga tidak menghasilkan kondisi optimal, namun dengan pola berbeda dari MDF. Kecepatan 10 m/menit menghasilkan kekuatan rekat 2.25 dan 2.40 kgf disertai rongga udara (*blistering*), karena tekanan 2 bar belum mampu menekan keluar udara yang terperangkap saat waktu kontak relatif lama. Kecepatan 20 m/menit justru menurunkan kekuatan rekat menjadi 1.05 dan 1.15 kgf disertai pengelupasan (*delamination*), karena waktu kontak yang terlalu singkat pada tekanan rendah membuat perekat belum sempat mengikat PVC *sheet* dengan permukaan PB yang berpori.

Pada tekanan 4 bar, menaikkan kecepatan ke 20 m/menit juga menurunkan kekuatan rekat (2.00 dan 2.10 kgf) disertai kerutan (*wrinkling*), karena kombinasi tekanan tinggi dan waktu kontak singkat membuat *sheet* tertekan tidak merata sebelum perekat mengeras sempurna.

Kombinasi optimal untuk kelompok PB diperoleh pada kecepatan 10 m/menit dan tekanan 4 bar, dengan kekuatan rekat 2.35 kgf (25 °C) dan tertinggi 2.50 kgf (30 °C), berpermukaan *flat* dan *bonding* kuat. Hal ini mengindikasikan bahwa perekat PL pada substrat PB membutuhkan waktu kontak lebih lama serta suhu yang lebih hangat dibandingkan pada MDF, sejalan dengan sifat PB yang lebih berpori sehingga penyerapan dan pengerasan perekat berlangsung lebih lambat. Kecepatan konveyor merupakan parameter paling berpengaruh pada kelompok ini (± 0.80 kgf), sedangkan tekanan angin (± 0.53 kgf) menjadi syarat tercapainya kondisi optimal karena seluruh kombinasi optimal berada pada 4 bar, dan pengaruh suhu ruangan paling kecil (± 0.13 kgf).



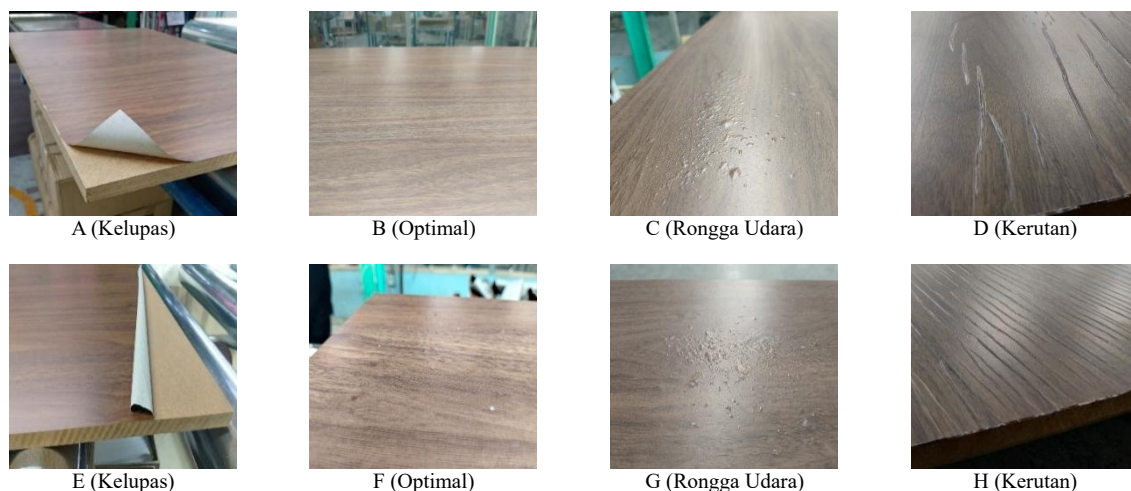
Gbr. 5. Kondisi Visual Hasil Uji Kekuatan Rekat — PB + Perekat PL + PVC Sheet



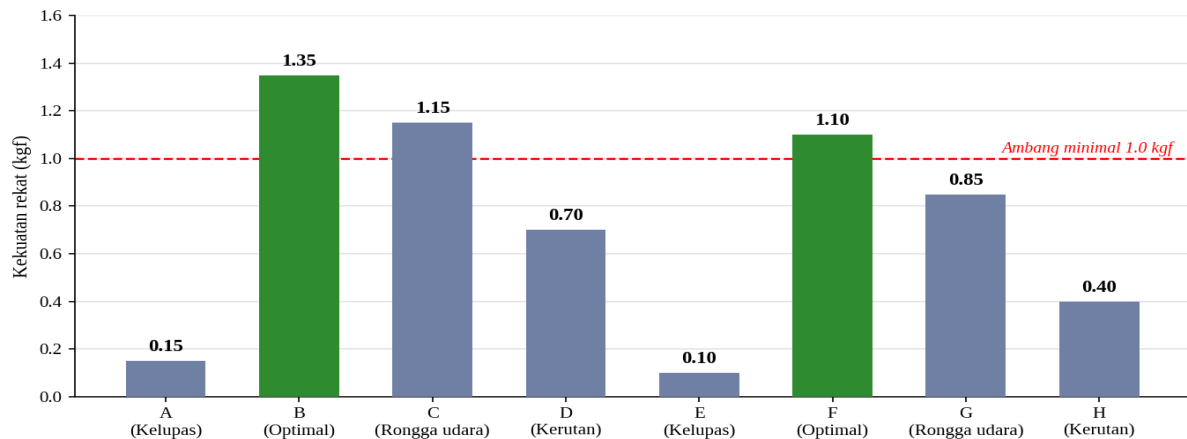
Gbr. 6. Grafik Kekuatan Rekat — PB + Perekat PL + PVC Sheet

3.1.3. MDF + Perekat Woodlook + Paper Sheet

Pada kelompok MDF + perekat *woodlook* + *paper sheet* (Gbr. 7, Gbr. 8), pengaruh tekanan berbalik dibandingkan kelompok berbasis PVC. Pada kecepatan 10 m/menit, baik tekanan 2 bar maupun 4 bar gagal menghasilkan kualitas baik, karena waktu kontak yang terlalu lama kurang cocok untuk *paper sheet* yang tipis. Tekanan 2 bar menghasilkan kekuatan rekat 0.15 dan 0.10 kgf disertai pengelupasan (*delamination*), sedangkan tekanan 4 bar menghasilkan 1.15 dan 0.85 kgf disertai rongga udara (*blistering*), karena tekanan yang lebih tinggi dengan waktu kontak lama justru mendorong udara terperangkap di bawah *sheet* yang tipis.



Gbr. 7. Kondisi Visual Hasil Uji Kekuatan Rekat — MDF + Perekat *Woodlook* + *Paper Sheet*



Gbr. 8. Grafik Kekuatan Rekat — MDF + Perekat *Woodlook* + *Paper Sheet*

Kombinasi optimal justru dicapai pada kecepatan 20 m/menit dan tekanan rendah 2 bar, dengan kekuatan rekat 1.35 kgf (25 °C) dan 1.10 kgf (30 °C), memenuhi ambang ≥ 1 kgf, karena waktu kontak yang lebih singkat sesuai dengan karakteristik *paper sheet* yang tipis dan mudah rusak oleh tekanan berlebih. Menaikkan tekanan ke 4 bar pada kecepatan 20 m/menit justru menurunkan kualitas dan menimbulkan kerutan (*wrinkling*), dengan nilai 0.70 dan 0.40 kgf, menegaskan sensitivitas *paper sheet* terhadap tekanan berlebih.

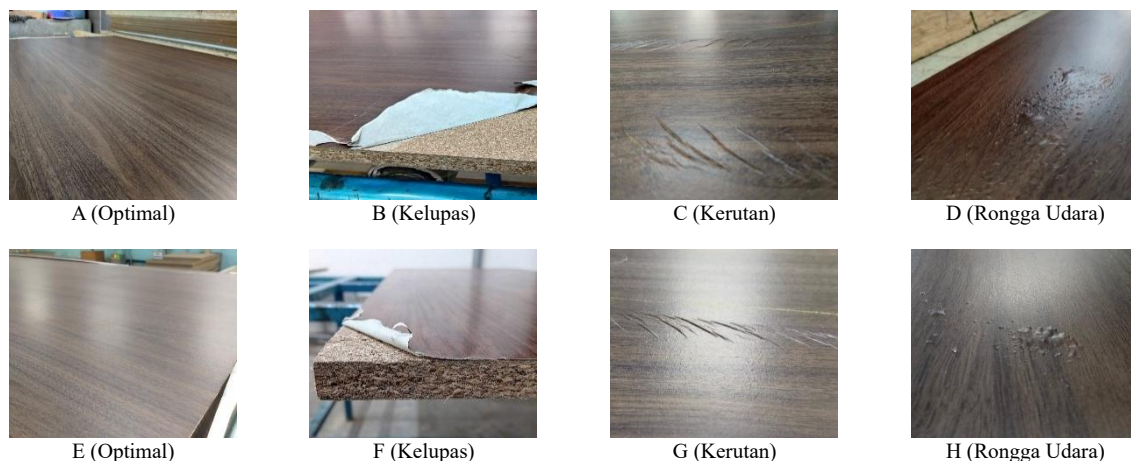
Kecepatan konveyor merupakan parameter paling berpengaruh pada kelompok ini (rata-rata ± 0.33 kgf lebih tinggi pada 20 m/menit), diikuti suhu ruangan (± 0.23 kgf), sedangkan tekanan angin justru berpengaruh paling kecil terhadap nilai kuat rekat (± 0.10 kgf). Meskipun demikian, tekanan tetap menentukan munculnya kerutan, sehingga level 2 bar ditetapkan sebagai kondisi optimal.

3.1.4. PB + Perekat *Woodlook* + *Paper Sheet*

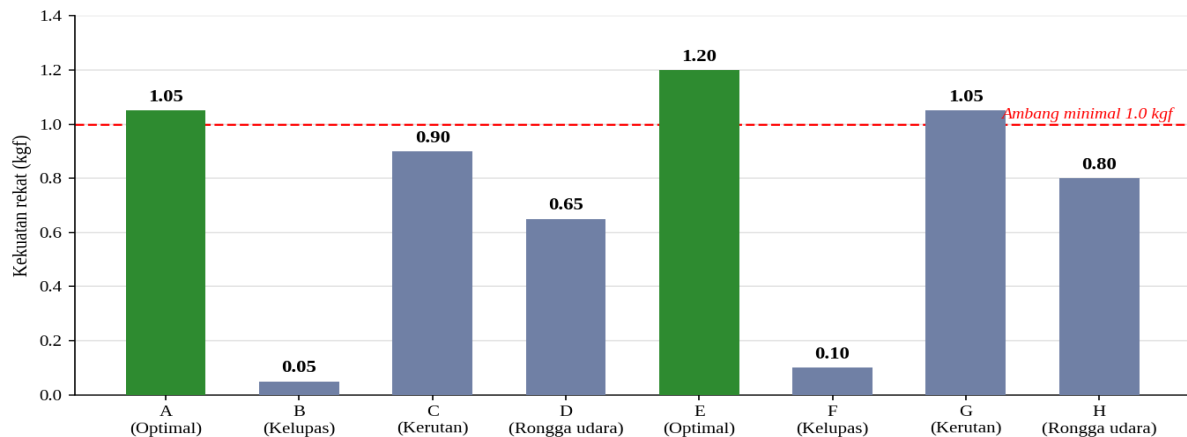
Pada kelompok PB + perekat *woodlook* + *paper sheet* (Gbr. 9, Gbr. 10), tekanan rendah 2 bar kembali menjadi kondisi terbaik, namun kecepatan optimalnya lebih rendah daripada kelompok MDF. Kombinasi optimal diperoleh pada kecepatan 10 m/menit dan tekanan 2 bar, dengan kekuatan rekat 1.05 kgf (25 °C) dan 1.20 kgf (30 °C), berpermukaan *flat* dan *bonding* kuat serta memenuhi ambang ≥ 1 kgf; nilai optimal tertinggi berada pada kombinasi 10 m/menit, 2 bar, dan 30 °C (1.20 kgf). Sejalan dengan kelompok PB + PL + PVC *sheet*, substrat PB kembali optimal pada kecepatan *conveyor* 10 m/menit dan suhu 30 °C, menunjukkan bahwa kecepatan dan suhu optimal lebih ditentukan oleh jenis substrat daripada jenis *sheet* pelapis.

Penyimpangan dari kombinasi tersebut menurunkan kualitas hasil laminasi. Tekanan 4 bar pada kecepatan 10 m/menit menimbulkan kerutan (*wrinkling*), dengan kekuatan rekat 0.90 dan 1.05 kgf, karena tekanan yang terlalu tinggi pada waktu kontak lama menekan *paper sheet* secara berlebih. Kecepatan 20 m/menit pada tekanan 2 bar menyebabkan pengelupasan (*delamination*) dengan kekuatan rekat sangat rendah (0.05 dan 0.10 kgf), karena waktu kontak yang terlalu singkat pada tekanan rendah membuat perekat belum sempat mengikat *sheet* dengan permukaan PB. Adapun kombinasi 20 m/menit dan 4 bar menghasilkan rongga udara (*blistering*) sebesar 0.65 dan 0.80 kgf, akibat kombinasi tekanan tinggi dan waktu kontak singkat yang memerangkap udara di bawah *sheet*.

Kecepatan konveyor merupakan parameter paling berpengaruh pada kelompok ini (± 0.65 kgf), diikuti tekanan angin (± 0.25 kgf) dan suhu ruangan (± 0.13 kgf).



Gbr. 9. Kondisi Visual Hasil Uji Kekuatan Rekat — PB + Perekat *Woodlook* + *Paper Sheet*



Gbr. 10. Grafik Kekuatan Rekat — PB + Perekat *Woodlook + Paper Sheet*

3.2. Rekapitulasi Parameter Optimal

Berdasarkan seluruh hasil pengujian, parameter optimal untuk masing-masing kelompok material dirangkum pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Rekapitulasi Parameter Optimal pada Setiap Kelompok Material

No	Material & Sheet	Parameter Optimal	Kuat Rekat (kgf)	Keterangan
1	MDF + PL + PVC Sheet	20 m/menit 4 bar 25 °C	3.25	Permukaan <i>flat</i> , bonding kuat
2	PB + PL + PVC Sheet	10 m/menit 4 bar 30 °C	2.50	Permukaan <i>flat</i> , bonding kuat
3	MDF + Woodlook + Paper Sheet	20 m/menit 2 bar 25 °C	1.35	Permukaan <i>flat</i> , bonding kuat
4	PB + Woodlook + Paper Sheet	10 m/menit 2 bar 30 °C	1.20	Permukaan <i>flat</i> , bonding kuat

3.3. Pembahasan Umum

Ketiga parameter proses — kecepatan konveyor, tekanan angin, dan suhu ruangan — saling berkaitan dalam menentukan kualitas laminasi, meskipun besaran pengaruh dan interaksinya tidak diuji secara statistik. Temuan utama menunjukkan bahwa parameter optimal bersifat spesifik-pasangan, bukan tunggal: tekanan angin optimal ditentukan oleh jenis *sheet* (PVC *sheet* memerlukan 4 bar, *paper sheet* cukup 2 bar karena tekanan lebih tinggi menimbulkan kerutan), sedangkan kecepatan konveyor dan suhu ruangan optimal ditentukan oleh jenis substrat (MDF: 20 m/menit, 25 °C; PB: 10 m/menit, 30 °C). Karena karakteristik pelapis berbeda, ambang kualitas juga ditetapkan terpisah (≥ 2 kgf untuk PL + PVC *sheet*; ≥ 1 kgf untuk *woodlook + paper sheet*), dengan kuat rekat tertinggi pada MDF + PL + PVC *sheet* (3.25 kgf) dan kelompok *paper sheet* optimal pada 1.35 kgf.

Dibandingkan kajian terdahulu, temuan ini sebagian selaras dan sebagian berbeda. Korelasi positif antara tekanan dan kuat rekat yang dilaporkan Song dkk. [16] terkonfirmasi pada kelompok PVC *sheet*, tetapi tidak berlaku pada *paper sheet* — menunjukkan bahwa hubungan tekanan–kuat rekat tidak monoton, melainkan dibatasi ketebalan dan kekakuan pelapis. Demikian pula, perbaikan sifat papan berlapis akibat kenaikan suhu dan tekanan pada sistem kempa panas hanya konsisten pada pasangan MDF + PL + PVC *sheet*, sedangkan pada *paper sheet* justru menurunkan mutu, mengindikasikan temuan sistem kempa panas tidak dapat langsung ditransfer ke sistem laminasi kontinu. Penelitian ini juga melengkapi temuan terdahulu mengenai peran kondisi permukaan PB dengan menunjukkan kebutuhan waktu kontak lebih lama dan suhu ruangan lebih tinggi pada substrat PB dibanding MDF. Sejalan dengan Ashori dan Kuzmin [17] perbedaan jenis dan komposisi perekat (PL vs *woodlook*) turut memengaruhi hasil, meski perbandingan kuantitatif antar kajian tidak dapat dilakukan karena perbedaan satuan proses (MPa/kempa panas vs bar/laminasi kontinu pneumatik). Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penetapan kombinasi parameter optimal yang berbeda untuk tiap pasangan substrat–pelapis, bukan satu rekomendasi tunggal seperti lazim dilaporkan pada kajian dengan satu kombinasi material.

4. KESIMPULAN

Kecepatan konveyor, tekanan angin, dan suhu ruangan menghasilkan perbedaan kuat rekat dan kondisi visual hasil laminasi produk kayu pada rentang parameter yang diuji, berdasarkan perbandingan deskriptif antarlevel faktor, dan pengaturan optimalnya tidak bersifat tunggal. Tekanan angin optimal ditentukan oleh jenis *sheet* pelapis, yaitu 4 bar untuk PVC *sheet* dan 2 bar untuk *paper sheet*, sedangkan kecepatan konveyor dan suhu ruangan cenderung mengikuti jenis substrat, yaitu 20 m/menit dan 25 °C untuk MDF serta 10 m/menit dan 30 °C untuk PB. Kombinasi tersebut memenuhi ambang mutu ≥ 2 kgf untuk perekat PL + PVC *sheet* dan ≥ 1 kgf untuk perekat *woodlook + paper sheet*, dengan kuat rekat tertinggi pada kelompok MDF + PL + PVC *sheet*. Faktor dengan selisih rerata terbesar juga berbeda antar kelompok material, sehingga pengaturan parameter mesin laminasi tidak dapat diseragamkan dan harus disesuaikan dengan pasangan substrat dan pelapis yang digunakan.

Secara ilmiah, penelitian ini memetakan pengaruh ketiga parameter proses pada empat kombinasi substrat dan pelapis sekaligus, aspek yang belum banyak diungkap pada penelitian terdahulu yang umumnya bersifat parsial; secara praktis, hasilnya dapat menjadi acuan bagi operator dan industri furnitur dalam menyusun prosedur operasional standar pengaturan mesin laminasi *sheet* untuk menekan cacat produk dan meningkatkan efisiensi produksi. Karena setiap kombinasi parameter hanya diwakili satu spesimen tanpa replikasi dan setiap faktor hanya diuji pada dua level, temuan ini bersifat indikatif dan belum memungkinkan pengujian statistik terhadap pengaruh masing-masing faktor. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan pengulangan pengukuran disertai analisis statistik, memperluas rentang dan jumlah level parameter, serta menguji jenis substrat dan pelapis lain guna memperkuat generalisasi temuan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas PGRI Semarang atas penyediaan fasilitas, dosen pembimbing atas bimbingan dan masukannya, serta seluruh pihak yang membantu kelancaran pengujian laminasi *sheet* hingga penelitian ini selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standardisasi Nasional, SNI 01-4449-2006: Papan Serat Berkerapatan Sedang (Medium Density Fiberboard). Jakarta, Indonesia: BSN, 2006.
- [2] Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-2105-2006: Papan Partikel. Jakarta, Indonesia: BSN, 2006.
- [3] B. D. Purusatama, E. S. Wibowo, A. Santoso, N. H. Kim, A. H. Iswanto, and M. A. R. Lubis, "Exploring bonding and interfacial adhesion properties of normal and reaction wood in wood-based composites — a review," *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 140, 2025, doi: 10.1016/j.ijadhadh.2025.104008.
- [4] İ. Özlüsoylu and A. İstek, "Effects of surface lamination process parameters on medium density fiberboard (MDF) properties," *BioResources*, vol. 18, no. 1, pp. 767–777, 2023, doi: 10.15376/biores.18.1.767-777.
- [5] C. Kursun, S. M. Onat, O. Kelleci, and S. E. Koksall, "Particleboard surface optimization for high-quality laminating with decor paper," *BioResources*, vol. 20, no. 4, pp. 8925–8948, 2025, doi: 10.15376/biores.20.4.8925-8948.
- [6] Ł. Adamik, R. Auriga, and P. Borysiuk, "Influence of process and material factors on the quality of machine processing of laminated particleboard," *Materials (Basel)*, vol. 18, no. 14, 2025, doi: 10.3390/ma18143402.
- [7] N. Garrido, J. Martins, J. P. Davim, and L. Carvalho, "Influence of machining parameters on edge quality of particleboards: modeling and optimization," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 133, no. 11, pp. 5463–5482, 2024, doi: 10.1007/s00170-024-14033-5.
- [8] G. M. Raftery, Z. Karami, A. Pizzi, and C. L. Nicholson, "Durability assessment of one-component polyurethane adhesives for bonding of preservative treated wood subject to artificial ageing," *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 129, 2024, doi: 10.1016/j.ijadhadh.2023.103594.
- [9] A. Tran, J. Konnerth, and W. Gindl-Altmutter, "Adhesive strength and micromechanics of wood bonded at different moisture contents," *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 132, 2024, doi: 10.1016/j.ijadhadh.2024.103688.
- [10] B. Kaweck, "Numerical modelling and experimental testing on polyurethane adhesively bonded joints behaviour in wood-wood and wood-carbon fibre reinforced polymer layouts," *Adv. Sci. Technol. Res. J.*, vol. 17, no. 2, pp. 36–52, 2023, doi: 10.12913/22998624/159723.
- [11] G. K. Dewi, R. Widyorini, E. N. Aini, and A. N. Jihad, "Sifat papan partikel bambu petung dengan perekat berbasis maltodekstrin pada dua metode kempa," *J. Penelit. Has. Hutan*, vol. 41, no. 3, pp. 107–120, 2023, doi: 10.55981/jphh.2023.918.
- [12] Widiati, "Keteguhan lengkung statis dan geser rekat kayu laminasi jenis karet (*Hevea brasiliensis*) berdasarkan variasi waktu tekan," *ULIN J. Hutan Trop.*, vol. 8, no. 1, pp. 248–254, 2024, doi: 10.32522/ujht.v8i1.14263.
- [13] L. Zhu *et al.*, "Analysis of chemical composition and odor characteristics in particleboards decorated by resin-impregnated paper, polypropylene film and polyvinyl chloride film," *Polymers (Basel)*, vol. 17, no. 15, 2025, doi: 10.3390/polym17152145.
- [14] Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan, JAS 234:2003: Japanese Agricultural Standard for Glued Laminated Timber. Tokyo, Japan: MAFF, 2003.
- [15] T. R. Mardikanto, L. Karlinasari, and E. T. Bahtiar, *Sifat Mekanis Kayu*. Bogor, Indonesia: IPB Press, 2011.
- [16] C. Song *et al.*, "The study on surface morphology and decorative properties of magnesium-glass-board (MGB)," *PLoS One*, vol. 19, no. 1, 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0296288.
- [17] A. Ashori and A. Kuzmin, "Effect of chitosan-epoxy ratio in bio-based adhesive on physical and mechanical properties of medium density fiberboards from mixed hardwood fibers," *Sci. Rep.*, vol. 14, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-55796-x.