

KINERJA PEREKAT BERBASIS TANIN PADA KAYU LAMINA SENGON

(Performance of Tannin-Based Adhesives on Sengon Laminated Wood)

Rohmah Pari¹, Erlina Nurul Aini¹, Yunida Syafriani Lubis¹, Dina Alva Prastiwi², dan Adi Santoso¹

¹Badan Riset dan Inovasi Nasional

Jl. Raya Jakarta-Bogor No.Km.46, Cibinong, Bogor, Jawa Barat 16911

²Sekolah Tinggi Analis Kimia

Jl. Lingkar Selatan, KM 1,7 Desa Harjatani, Cilegon, Banten 42411, Cilegon

Email korespondensi: rohm017@brin.go.id, erli010@brin.go.id, yuni030@brin.go.id, dinaalvastak@gmail.com, adis012@brin.go.id

Diterima: 7 Agustus 2024, direvisi: 15 September 2025, disetujui: 1 Oktober 2025

ABSTRACT

The tannin characteristic of plants is often influenced by their planting location. The characteristic of tannin potentially affects the quality of tannin-based adhesive. The addition of extender and hardener also influences the quality of tannin adhesive. In this study, we investigated the characteristics of Acacia mangium tannin extract produced from bark obtained from various locations in Indonesia, as well as the bonding quality of tannin adhesive with the addition of an extender and hardener. The objective of this research was to understand the difference in mangium tannin characteristics from different locations and the effect of extender and hardener addition on the bonding strength of acacia tannin adhesive. The Acacia mangium wood barks were obtained from Parung Panjang, Probolinggo, Pontianak, and Muara Enim. The amounts of extender and hardener added were 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, and 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, respectively. The evaluation of mangium tannin bark extract was conducted using the solid content and stiasny number tests. The bonding strength of the tannin adhesive was evaluated through shear strength and wood failure tests of sengon laminated wood. The two-ply sengon laminated wood was fabricated under the following conditions: a glue spread rate of 170 g/m², a cold-press time of 24 hours, and a pressure of 12 kg/cm². Mangium tannin bark extract from Parung Panjang has the best characteristics for adhesive production, i.e., 5.70% solid content and 200.63% stiasny number. The extender and hardener amounts of 7.5% and 1.5%, respectively, produced optimum properties for dry shear strength and wood failure, which meet the JAS No. 234 requirement, i.e., 112.31 kg/cm² and 98–100%, respectively.

Keywords: mangium bark, additive, location, tannin adhesive, tannin characteristics.

ABSTRAK

Karakteristik tanin dari tumbuhan antara lain dipengaruhi oleh lokasi tumbuhnya. Karakteristik tersebut dapat mempengaruhi kualitas dari perekat berbasis tanin. Selain itu, kualitas rekat dari perekat tanin dipengaruhi oleh komposisi penambahan bahan pemuai (*extender*/ekstender) dan bahan pengeras (*hardener*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik tanin dari ekstrak kulit *Acacia mangium* dari Parung Panjang, Probolinggo, Pontianak dan Muara Enim, serta menganalisis pengaruh ekstender dan *hardener* pada daya rekat perekat tanin mangium. Kadar ekstender dan *hardener* yang digunakan adalah 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2%. Pengujian karakteristik tanin dilakukan melalui pengukuran kadar padatan ekstrak tanin dan bilangan stiasny. Uji daya rekat perekat tanin dilakukan dengan mengukur kekuatan geser dan kerusakan kayu dari kayu lamina sengon dengan perekat tanin. Pembuatan kayu lamina sengon dua lapis dilakukan dengan berat labur 170 g/m², lama kempa dingin 24 jam, dan tekanan kempa 12 kg/cm². Hasil penelitian menunjukkan bahwa kulit *Acacia mangium* dari Parung Panjang adalah yang paling potensial sebagai bahan baku perekat dengan kadar padatan 5,70% dan bilangan stiasny

200,63%. Penambahan ekstender dan *hardener* optimal sebesar 7,5% dan 1,5%, dapat menghasilkan kekuatan geser dan kerusakan kayu pada kondisi uji kering yang memenuhi standar JAS No. 234, yaitu 112,31 kg/cm² dan 98–100%.

Kata kunci: kulit mangium, bahan aditif, lokasi, perekat tanin, karakteristik tanin.

I. PENDAHULUAN

Kulit *Acacia mangium* yang merupakan limbah kurang termanfaatkan di Indonesia, adalah sumber tanin yang sangat potensial untuk produksi perekat tanin. Tanin adalah senyawa polifenolik kompleks yang berasal dari tumbuhan (Basheer, Chellapan, & Sabu, 2022). Pada tumbuhan, tanin umumnya berfungsi sebagai zat pelindung dari serangan organisme penyerang tumbuhan (Sharma, 2019). Tanin banyak dimanfaatkan di industri kulit baik sebagai bahan penyamak maupun pewarna (Kemppainen, Siika-aho, Pattathil, Giovando, & Kruus, 2014). Tanin juga memiliki banyak potensi pemanfaatan lain karena struktur fenolik yang dimilikinya, antara lain sebagai zat pencegah korosi (Luo et al., 2019), zat koagulan untuk penjernihan air (Sánchez-Martín, Beltrán-Heredia, & Solera-Hernández, 2010), obat (Pizzi, 2021), dan perekat kayu (Tahir, Halip, & Lee, 2019). Pemanfaatan tanin menjadi bahan untuk perekat kayu beberapa waktu belakangan menjadi gencar dikembangkan. Perekat dari tanin tidak hanya murah dan memiliki daya rekat yang baik (Lu & Shi, 1995; Dhawale et al., 2022), namun juga minim menghasilkan emisi formaldehida (Zhou & Du, 2020). Hal tersebut membuat perekat berbasis tanin dapat dijadikan alternatif perekat berformaldehida.

Di Indonesia potensi pengembangan perekat kayu dari tanin cukup besar. Sebab, Indonesia memiliki beragam jenis tanaman yang dapat digunakan sebagai sumber tanin, contohnya ketapang atau *Terminalia catappa* L. (Fendy & Haryanto, 2021), surian atau *Toona sinensis* (Monisa, Bintang, Shafithri, & Falah, 2016), gambir atau *Uncaria gambir* (Hunt.) Roxb. (Irianty & Yenti, 2014), dan mangium atau *Acacia mangium* (Irianty, Pandiangan, & Eka, 2017). Ketersediaan kulit kayu akasia di Indonesia juga relatif banyak. Total luasan hutan tanaman akasia di Indonesia pada tahun 2017 diprediksi adalah sekitar 1,6 juta hektar (Hardie et al., 2018). Data Badan Pusat Statistik pada tahun 2019 (BPS, 2020), 2020 (BPS, 2021), dan 2021 (BPS, 2022) menunjukkan lebih dari 90% produksi kayu akasia Indonesia berasal dari daerah Sumatera, Kalimantan, dan Jawa. Produksi kayu bulat akasia di Indonesia tercatat meningkat menjadi 31,54 juta m³ pada tahun 2022 (BPS, 2023) dari sebelumnya sebesar 31,28 juta m³ di tahun 2021 (BPS, 2022).

Peluang pengembangan produksi tanin dari pohon mangium, yaitu dari bagian kulitnya, sangat

besar di Indonesia. Menurut Nurhasybi, Sudrajat, dan Diatna (2009) pohon *Acacia mangium* memiliki persebaran yang cukup luas di Indonesia. Sekitar 80% area hutan tanaman akasia di Indonesia diisi oleh jenis *Acacia mangium* (Barry et al., 2004). Setiap hektar dari area hutan tanaman tersebut berpotensi menghasilkan limbah kulit kayu sebesar 15,18 ton (Anshori & Supriyadi, 2001). Jumlah limbah kulit kayu diprediksi relatif meningkat per tahun seiring dengan meningkatnya produksi kayu bulat mangium. Limbah kulit kayu mangium umumnya belum termanfaatkan dengan optimal (Sukmawi, Sulaeman, & Sribudiani, 2020), sehingga sangat berpotensi untuk diolah menjadi bahan baku perekat kayu berbasis tanin. Pari, Hastoeti, dan Lestari (1992) menyebutkan bahwa kandungan tanin dalam kulit kayu *Acacia mangium* dapat mencapai 55,22%.

Produksi tanin pada tumbuhan selain dipengaruhi oleh faktor genetik dan umur (Awaliyan, Rosamah, & Sukaton, 2017), juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tumbuh (Tharayil et al., 2011). Hal ini menyebabkan karakteristik ekstrak tanin yang berasal dari berbagai lokasi tumbuh dapat berbeda. Perbedaan karakteristik tanin ini ditengarai dapat mempengaruhi kualitas perekat yang dihasilkan, sehingga perlu dilakukan pengkajian terhadap karakteristik ekstrak tanin kulit mangium dari berbagai lokasi.

Penambahan bahan aditif dalam perekat juga dapat mempengaruhi performa perekat (Jimenez et al., 2020). Eckelman (2015) menyebutkan bahan aditif seperti bahan pengeras (*hardener*) dan bahan pemuai (*extender/ekstender*) umum ditambahkan pada komposisi bahan perekat sintesis di industri, terutama pada perekat urea-formaldehida. Ekstender merupakan bahan aditif yang ditambahkan untuk mengurangi jumlah penggunaan perekat sehingga menurunkan biaya produksi pada pembuatan komposit (Santoso et al., 2022). Penambahan ekstender juga dapat meningkatkan sifat fisis perekat, contohnya viskositas, sehingga dapat mengoptimalkan persebaran atau transfer perekat pada bahan direkat (Hogger et al., 2021). Sementara *hardener* pada umumnya digunakan untuk mempercepat *curing* perekat sehingga bisa membuat waktu pembuatan komposit (*assembly time*) menjadi lebih singkat (Bono, Krishnaiah, Rajin, & Siambun, 2006).

Karakterisasi beberapa sifat ekstrak tanin yang dilakukan pada penelitian ini berasal dari

beberapa lokasi tumbuh di Indonesia. Pengkajian terhadap efek kadar ekstender dan *hardener* pada kekuatan rekat perekat tanin mangium juga dilakukan. Adapun tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakteristik tanin *Acacia mangium* dari lokasi yang berbeda dan menentukan kadar ekstender dan *hardener* yang optimal untuk meningkatkan daya rekat perekat tanin.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah kulit kayu *Acacia mangium* yang berasal dari 4 (empat) lokasi, yaitu Pontianak (Kalimantan Barat), Probolinggo (Jawa Timur), Parung Panjang (Jawa Barat), dan Muara Enim (Sumatera Selatan). Kulit kayu yang digunakan berasal dari pohon berusia sekitar 5 tahun. Bahan utama lainnya yang dibutuhkan pada pembuatan perekat yakni ekstender tepung terigu, *hardener* paraformaldehida 0,1% *grade* teknis (Brataco Chemical, Indonesia), larutan formaldehida 37% *grade* teknis (Brataco Chemical, Indonesia), larutan NaOH 40% *grade* teknis (Brataco Chemical, Indonesia), dan aquades *grade* teknis (Brataco Chemical, Indonesia). Sementara untuk kayu yang digunakan untuk pembuatan lamina adalah jenis sengon (*Falcataria moluccana*) berumur ± 10 tahun yang diperoleh dari daerah Jawa Barat. Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian antara lain terdiri atas *waterbath*, mesin kempa, pH meter, labu erlenmeyer, pipet tetes, *moisture meter*, *universal testing machine* (ESSEN Model UPH 2 No. 7812, Jerman), ekstraktor, dan reaktor.

B. Metode

Tahapan penelitian yang dilakukan terbagi menjadi beberapa tahapan, yaitu:

1. Ekstraksi kulit kayu mangium

Kulit kayu mangium dipotong menjadi ukuran *chip* berdimensi antara 2,5 cm x 3 cm hingga 3 cm x 10 cm, kemudian dikeringkan hingga mencapai kadar air $\pm 12\%$. Setelah kering, *chip* kulit kayu dirajang hingga menjadi ukuran 1 cm x 1 cm – 1,5 cm x 4 cm. Kulit kayu yang telah dirajang tersebut dimasukkan ke dalam ekstraktor, selanjutnya suhu di ekstraktor di-*setting* pada suhu (80-90 °C). Perbandingan kulit kayu : air yang digunakan adalah 1:3. Lama proses ekstraksi adalah 3 jam. Selama proses ekstraksi berlangsung, campuran kulit kayu dan air diaduk per 15 menit sekali. Cairan ekstrak kemudian disaring dan residu kulit kayu sisa proses ekstraksi diekstrak kembali dengan cara yang sama sebanyak 2 (dua) kali,

sehingga total proses ekstraksi yang dilakukan adalah sebanyak 3 (tiga) kali. Hasil cairan ekstraksi kemudian didinginkan terlebih dahulu selama ± 1 hari sebelum dianalisis karakteristiknya. Cara ekstraksi kulit kayu yang dilakukan pada penelitian ini mengikuti metode yang digunakan pada penelitian Santoso, Sulastiningsih, Pari, & Jasni (2016).

2. Pengujian karakteristik ekstrak kulit mangium

Karakteristik ekstrak kulit mangium yang diuji meliputi kadar padatan dan bilangan stiasny. Jumlah ulangan yang digunakan sebanyak 3 (tiga) ulangan. Pengujian kadar padatan ekstrak dilakukan dengan mengeringkan 5 g ekstrak kulit mangium menggunakan oven dengan suhu 103 ± 2 °C hingga beratnya konstan. Pengukuran berat dilakukan per 3 jam sekali. Kadar padatan tanin kemudian diukur menggunakan rumus:

$$KP = \frac{BK}{BA} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan (*Remarks*): KP = kadar padatan (*solid content*, %); BA = berat awal contoh uji ekstrak kulit mangium (*acacia bark extract weight*, g); BK = berat endapan kering (*extract dry sediment weight*, g).

Pengujian bilangan stiasny dilakukan mengikuti cara yang dilakukan pada penelitian Rachmawati, Sugita, & Santoso (2018). Pengujian ini dilakukan dengan metode tanin formaldehida yaitu dengan mencampurkan ekstrak kulit mangium dengan HCl 10 M dan larutan formaldehida 37%. Campuran tersebut kemudian dipanaskan selama 30 menit pada *waterbath* menggunakan suhu 75 °C. Endapan yang terbentuk dari hasil pemanasan tersebut ditimbang kemudian dikeringkan dalam oven menggunakan suhu ± 105 °C hingga berat konstan. Bilangan stiasny diukur dengan rumus yang tertera pada Zheng, Lin, dan Yazaki (1991):

$$BS = \frac{BK-BB}{BA} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan (*Remarks*): BS = bilangan stiasny (*stiasny number*, %); BA = berat awal contoh uji ekstrak kulit mangium (*acacia bark extract weight*, g); BB = berat endapan basah (*extract wet sediment weight*, g); BK = berat endapan kering (*extract dry sediment weight*, g).

3. Pembuatan polimer tanin formaldehida

Sekitar 30 liter ekstrak kulit mangium dicampurkan dengan 6 liter larutan formaldehida 37% yang telah dibasakan dan 1 liter larutan NaOH 40%. Campuran tersebut direaksikan pada reaktor menggunakan suhu 90 °C selama 3 jam sambil

terus diaduk. Setiap 1 jam sekali pH larutan diamati, jika pH di bawah 10,5 maka ditambahkan larutan NaOH hingga pH kembali pada kisaran 10,5. Setelah pemanasan 3 jam, suhu reaktor dinaikkan menjadi 100 °C dan larutan dipanaskan kembali selama 1 jam. Larutan perekat kemudian didinginkan hingga mencapai suhu ruangan sebelum disimpan dalam wadah tertutup.

4. Pembuatan kayu lamina sengan dengan perekat tanin formaldehida

Pembuatan kayu lamina sengan 2 (dua) lapis dengan perekat tanin formaldehida diawali dengan memotong log kayu sengan menjadi ukuran 20 cm x 6 cm x 1 cm untuk panjang, lebar dan tebal, lalu kayu tersebut dikeringkan hingga mencapai kadar air $\pm 12\%$. Pada kedua permukaan potongan kayu sengan yang telah dikeringkan dilaburkan perekat tanin formaldehida. Perekat tanin formaldehida yang digunakan adalah polimer tanin formaldehida tanpa penambahan aditif maupun dengan penambahan aditif. Jenis aditif yang digunakan adalah ekstender dan *hardener*. Komposisi penambahan ekstender tepung terigu yang digunakan adalah 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari total berat perekat. Komposisi penambahan *hardener* paraformaldehida yang digunakan adalah 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dari total berat perekat. Berdasarkan kombinasi perlakuan penambahan zat aditif berupa ekstender tepung terigu dan *hardener* paraformaldehida, maka terdapat 25 jenis perekat tanin formaldehida yang digunakan sebagai perekat. Berat labur yang digunakan adalah 170 g/m². Setelah perekat dilaburkan, kayu lamina dikempa pada suhu kamar selama 24 jam, menggunakan tekanan sekitar 12 kg/cm². Setelah dikempa, kayu lamina dikondisikan pada suhu kamar selama ± 1 minggu sebelum diuji kekuatan geser dan kerusakan kayunya. Jumlah ulangan yang digunakan pada pembuatan kayu lamina adalah sebanyak 3 (tiga) ulangan.

5. Pengujian kuat rekat kayu lamina sengan

Pengujian kekuatan rekat kayu lamina sengan dilakukan menggunakan pengujian kekuatan geser tekan kayu lamina pada kondisi kering dan basah. Pada pengujian kekuatan geser kondisi basah, sampel uji terlebih dahulu direndam dalam air mendidih selama 4 jam. Kemudian sampel ditiriskan dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu ± 60 °C selama 20 jam. Sampel uji kemudian direndam kembali dalam air mendidih selama 4 jam dan direndam dalam air dingin selama ± 1 jam. Dalam kondisi basah sampel diuji kekuatan gesernya. Setelah itu dihitung nilai kekuatan geser dan kerusakan kayunya. Pengukuran dan perhitungan kekuatan geser dan

kerusakan kayu dilakukan berdasarkan metode JAS No. 234 (JAS, 2007).

C. Analisis Data

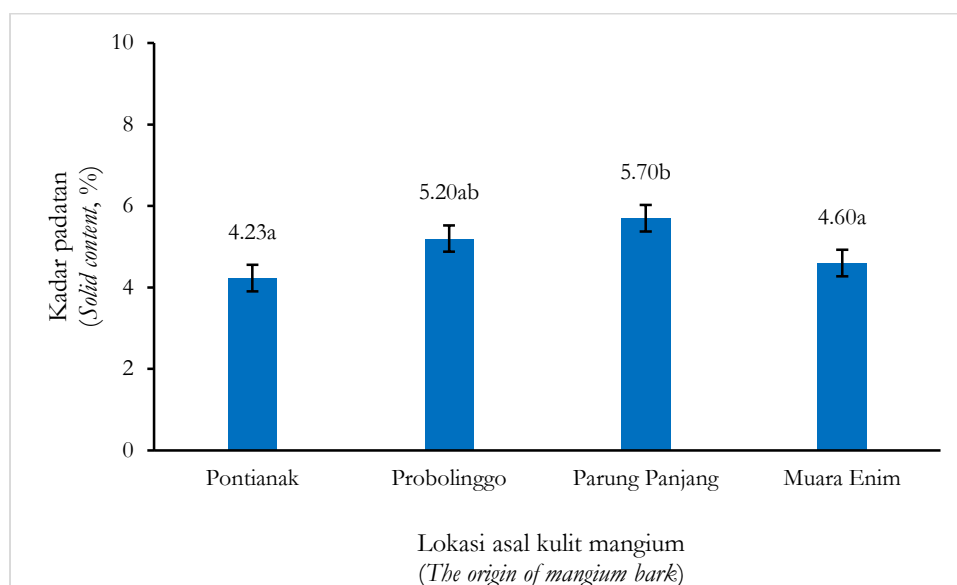
Data hasil pengujian karakteristik ekstrak kulit kayu dan kekuatan rekat terlebih dahulu diolah menggunakan *Microsoft Excel* 2013. Setelah itu dilakukan uji statistik pada data hasil uji. Penelitian ini menggunakan rancangan percobaan acak lengkap dengan percobaan faktorial dengan dua faktor, yaitu kadar *hardener* (paraformaldehida) dan kadar ekstender (tepung terigu). Jenis uji statistik yang dilakukan adalah uji *two-way* ANOVA dengan tingkat kepercayaan 95% dan uji lanjut *Tukey's HSD* menggunakan program *SPSS 23 for Windows* (SAS Institute Inc., North Carolina, USA). Untuk uji lanjut *Tukey's HSD* hanya dilakukan ketika hasil ANOVA menunjukkan hasil yang signifikan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Ekstrak Kulit Mangium

Kadar padatan ekstrak kulit mangium di penelitian ini berkisar antara 4,2–5,7%. Hasil detail kadar padatan yang diperoleh pada penelitian tersaji pada Gambar 1. Kadar padatan ekstrak tanin dapat menggambarkan kualitas tanin untuk penggunaan sebagai perekat (Hajriani et al., 2021), dimana semakin tinggi kadar padatan tanin dapat menghasilkan perekat dengan kualitas yang baik. Kadar padatan tertinggi dalam ekstrak kulit kayu diperoleh dari kulit mangium yang berasal dari Parung Panjang (5,70%), sementara kadar padatan terendah diperoleh dari kulit mangium dari daerah Pontianak (4,23%). Kisaran kadar padatan pada penelitian ini sedikit lebih tinggi dibandingkan kadar padatan kulit *Acacia mangium* dengan ekstraksi air panas dalam penelitian Astu, Achmadi & Santoso (2005) dan Rachmawati et al. (2018) yang mendapatkan kadar padatan masing-masing 2,56% dan 4%.

Perbedaan kadar ekstrak ini dapat disebabkan oleh perbedaan umur pohon. Pada penelitian Astu et al. (2005) kulit mangium yang digunakan berumur sekitar 3–4 tahun, sementara pada penelitian Rachmawati et al. (2018) kulit pohon yang digunakan berumur 7 tahun. Perbedaan kadar padatan diduga juga dapat disebabkan oleh perbedaan suhu ekstraksi yang digunakan. Suhu ekstraksi yang digunakan pada penelitian ini (80–90 °C) lebih tinggi dibandingkan pada penelitian Astu et al. (2005) dan Rachmawati et al. (2018) yang menggunakan suhu ekstraksi sekitar 70 °C. Alara, Abdurahman, & Ukaegbu (2021) menyatakan bahwa karakteristik komponen fenolik seperti tanin dipengaruhi oleh beberapa faktor yang antara lain umur bahan baku dan suhu ekstraksi yang digunakan.

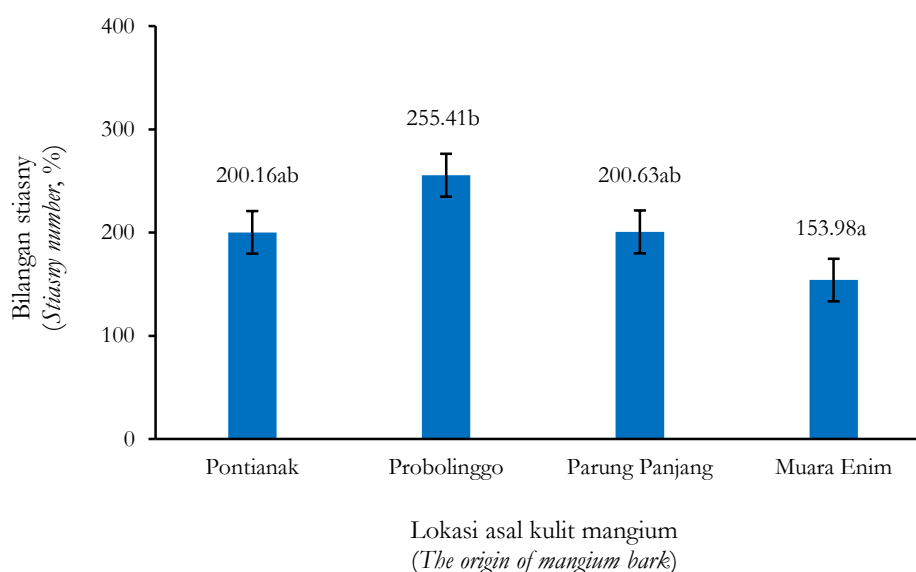


Gambar 1. Kadar padatan ekstrak kulit mangium dari berbagai lokasi
Figure 1. Solid content of acacia bark extract from various location

Selain kadar padatan, karakteristik ekstrak tanin lainnya yang juga diuji adalah bilangan stiasny. Pengukuran bilangan stiasny ditujukan untuk mengukur tingkat reaktivitas dari tanin (Vieira, Lelis, da Silva & Oliveira, 2011; Dababi, Gimello, Elaoui, & Brosse, 2020). Semakin besar nilai bilangan stiasny menunjukkan reaktivitas yang dimiliki oleh tanin semakin tinggi. Hasil pengukuran bilangan stiasny ekstrak kulit mangium tersaji pada Gambar 2. Bilangan stiasny yang dimiliki ekstrak kulit mangium yang diperoleh dari daerah Pontianak, Ponorogo, Parung Panjang, dan Muara Enim sebesar 200,16%, 255,41%, 200,63%, dan 153,46%.

Bilangan stiasny yang diperoleh pada penelitian ini lebih besar dibandingkan nilai bilangan stiasny ekstrak kulit mangium yang diperoleh pada penelitian Yusoff, Chew, Ali, &

Nasir (1989) yaitu sebesar 122,2% yang diduga disebabkan oleh perbedaan parameter saat proses ekstraksi kulit mangium. Parameter ekstraksi seperti jenis pelarut atau ekstraktor, ukuran bahan yang akan diekstrak, waktu ekstraksi, dan suhu ekstraksi menentukan tingkat kereaktifan dari tanin atau ekstrak (Hoong, Paridah, Luqman, Koh, & Loh, 2009; Vázquez, González-Alvarez, Santos, Freire, & Antorrena, 2009). Lebih lanjut lagi Low, Rahman, & Jamaluddin (2015) menerangkan bahwa peningkatan suhu ekstraksi dapat meningkatkan nilai bilangan stiasny. Suhu ekstraksi yang digunakan pada penelitian ini sekitar 20–30 °C lebih tinggi dibandingkan pada penelitian Yusoff *et al.* (1989) dengan suhu ekstraksi 60 °C, sehingga nilai bilangan stiasny pada penelitian ini pun juga lebih tinggi.



Gambar 2. Bilangan stiasny ekstrak kulit mangium dari berbagai lokasi
Figure 2. Stiasny number of acacia bark extract from various location

Hasil ANOVA yang dilakukan pada kadar padatan ekstrak tanin dan bilangan stiasny (Tabel 1 dan Tabel 2) menunjukkan bahwa faktor lokasi asal kulit mangium secara signifikan mempengaruhi kedua karakteristik ekstrak tersebut. Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa kadar padatan ekstrak kulit mangium yang berasal dari daerah Pontianak dan Muara Enim secara signifikan lebih rendah dibandingkan tanin yang berasal dari daerah Parung Panjang, sementara itu kadar padatan ekstrak tanin kulit yang berasal dari kedua daerah tersebut relatif tidak berbeda nyata.

. Untuk nilai kadar padatan dari kulit mangium Probolinggo jika dibandingkan dengan kulit mangium Parung Panjang secara statistik nilainya tidak berbeda nyata, meskipun secara nominal

nilainya sedikit lebih rendah. Bilangan stiasny antara kulit dari daerah Muara Enim dan Probolinggo tercatat memiliki hasil yang berbeda nyata, sementara antara kedua daerah tersebut dengan daerah lainnya (Pontianak dan Parung Panjang) memiliki nilai bilangan stiasny yang tidak berbeda nyata. Bilangan stiasny dari ekstrak kulit daerah Muara Enim secara signifikan lebih rendah dibandingkan daerah Probolinggo. Hasil uji statistik dari kadar padatan dan bilangan stiasny menunjukkan ekstrak kulit mangium dari Probolinggo dan Parung Panjang memiliki potensi yang terbaik untuk dikembangkan sebagai perekat berbasis tanin dibandingkan ekstrak tanin dari daerah lainnya.

Tabel 1. Hasil ANOVA faktor lokasi terhadap kadar padatan
Table 1. ANOVA results of the effect of location towards solid content

Sumber varian (Source of variation)	JK (Sum of squares)	db (df)	KT (Mean square)	F hit (F-calculation)	Sig. (Sig.)
Lokasi (Location)	3,78	3	1,26	4,57	0,04*
Galat (Error)	2,21	8	0,28	-	-
Total (Total)	298,04	12	-	-	-
Total terkoreksi (Corrected Total)	5,99	11	-	-	-

Keterangan (Remarks): JK = Jumlah kuadrat; db = derajat bebas; KT = kuadrat tengah; * = signifikan pada tingkat kepercayaan 95% (significant at 95% confidence level %)

Tabel 2. Hasil ANOVA faktor lokasi terhadap bilangan stiasny
Table 2. ANOVA results of the effect of location towards stiasny number

Sumber varian (Source of variation)	JK (Sum of squares)	db (df)	KT (Mean square)	F hit (F-calculation)	Sig. (Sig.)
Lokasi (Location)	15487,77	3	5162,59	6,34	0,02*
Galat (Error)	6512,44	8	814,06	-	-
Total (Total)	514287,86	12	-	-	-
Total terkoreksi (Corrected Total)	22000,21	11	-	-	-

Keterangan (Remarks): JK = Jumlah kuadrat; db = derajat bebas; KT = kuadrat tengah; * = signifikan pada tingkat kepercayaan 95% (significant at 95% confidence level %)

Perbedaan dari kadar padatan dan bilangan stiasny antar tanin dari lokasi yang berbeda ini diduga karena perbedaan kondisi lokasi tumbuh dari pohon mangium. Perbedaan karakteristik tanin dari bahan dengan jenis yang sama namun berbeda lokasi tumbuhnya juga terjadi pada penelitian karakteristik ekstrak dari kulit pohon *Monopetalanthus durandii* oleh Granssiri et al. (2020). Indonesia memiliki keragaman geografis dan kondisi lingkungan antar wilayahnya yang menyebabkan munculnya variasi karakteristik, misalnya karakteristik sifat kimia, pada jenis tanaman yang sama yang ditanam pada lokasi berbeda (Lallo et al., 2022). Faktor lingkungan yang secara signifikan dapat mempengaruhi

produksi tanin pada tumbuhan antara lain berupa sinar matahari, curah hujan, pH tanah, kandungan air dalam tanah (Bussotti, Gravano, Grossoni, & Tani, 1998; Kraus, Dahlgren, & Zasoski, 2003; Malisch et al., 2016).

B. Sifat Rekat Kayu Lamina Sengon dengan Perekat Berbasis Tanin Mangium

Ekstrak kulit mangium yang berasal dari Parung Panjang dipilih untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan perekat dalam penelitian ini. Hal ini disebabkan karena ekstrak mangium dari Parung Panjang memiliki kadar padatan ekstrak dan bilangan stiasny yang tinggi. Selain itu, ketersediaan kulit mangium dari Parung Panjang

untuk penelitian juga lebih banyak dibandingkan kulit mangium dari Probolinggo yang juga memiliki kualitas ekstrak tanin yang relatif sama dengan ekstrak tanin dari Parung Panjang. Kadar padatan dan bilangan stiasny sendiri merupakan parameter yang memiliki keterkaitan erat terhadap kualitas rekat dari perekat berbahan baku ekstrak tanin (Astu et al., 2005 dan da Silva Araujo et al., 2021).

Nilai kekuatan geser dan kerusakan kayu papan lamina pada kondisi pengujian kering dalam penelitian ini tersaji pada Tabel 3. Kekuatan geser diukur untuk menggambarkan kekuatan rekat perekat, sedangkan kerusakan kayu diukur untuk mengetahui kualitas perekatan yang dihasilkan suatu perekat. Nilai kekuatan geser kondisi kering pada penelitian ini berkisar antara 32,94–123,14

kg/cm², sementara nilai kekuatan geser kondisi basah sekitar 14,75–48,75 kg/cm². Seluruh kayu lamina pada penelitian ini mampu memenuhi standar kekuatan geser JAS No. 234 (JAS, 2007) sebesar ≥ 54 kg/cm², kecuali kayu lamina dengan kadar ekstender 0% dan kadar *hardener* 0,5% dan 1% serta kayu lamina dengan kadar ekstender 2,5% dan kadar *hardener* 0,5%. Sementara itu, sebagian besar kayu lamina juga memenuhi persyaratan kekuatan geser SNI 06-4566-1998 (BSN, 1998) sebesar ≥ 60 kg/cm² kecuali kayu lamina dengan kadar ekstender 0% dan kadar *hardener* 0–1% serta kayu lamina dengan kadar ekstender 2,5% dan kadar *hardener* 0,5%. Mayoritas nilai kerusakan kayu pada kondisi kering juga memenuhi standar dari JAS No. 234 (JAS, 2007) yang mensyaratkan nilai kerusakan kayu $\geq 65\%$.

Tabel 3. Karakteristik rekat kering lamina kayu sengon menggunakan perekat tanin dari ekstrak kulit kayu mangium dari Parung Panjang pada berbagai kadar ekstender dan *hardener*

Table 3. Dry Bonding characteristic of sengon laminated wood with tannin adhesive from mangium bark extract Parung Panjang in various extender and hardener amount

Kadar ekstender (Extender content, %)	Kadar <i>hardener</i> (Hardener content, %)	Kekuatan geser (Shear strength, kg/cm ²)		Kerusakan kayu (Wood failure, %)	
		Kering (Dry)	Basah (Wet)	Kering (Dry)	Basah (Wet)
0	0	59,46 (7,76)	28,84ab (2,59)	55 – 100	10 – 50
	0,5	52,64 (8,92)	14,75a (2,60)	39 – 88	20 – 60
	1	32,94 (6,58)	31,99ab (4,24)	83 – 98	20 – 70
	1,5	64,86 (14,42)	38,17b (4,41)	70 – 100	0 – 38
	2	77,43 (3,16)	38,91b (4,99)	85 – 100	0 – 50
2,5	0	66,02 (5,64)	30,30ab (1,19)	31 – 66	0 – 15
	0,5	41,86 (7,75)	26,93ab (8,89)	10 – 85	0 – 29
	1	67,52 (13,17)	39,38b (13,87)	5 – 52	5 – 50
	1,5	85,44 (4,68)	48,75b (5,13)	85 – 98	10 – 50
	2	80,33 (2,97)	37,07b (3,40)	33 – 98	20 – 45
5	0	97,33 (2,29)	40,00b (4,18)	100	0 – 30
	0,5	67,01 (2,60)	27,20ab (0,37)	40 – 80	10 – 55
	1	86,29 (4,46)	35,21ab (4,66)	75 – 90	5 – 50
	1,5	86,85 (9,73)	41,15b (2,92)	90 – 100	16 – 45
	2	105,44 (14,10)	22,31ab (6,73)	95 – 100	0 – 10
7,5	0	97,62 (8,45)	34,09ab (15,51)	98 – 100	20 – 60
	0,5	101,99 (19,55)	34,79ab (9,00)	15 – 100	0 – 30
	1	97,97 (8,32)	34,34ab (8,00)	95 – 98	0 – 23
	1,5	112,31 (30,82)	30,82ab (5,37)	98 – 100	0 – 15
	2	113,07 (7,53)	22,89ab (3,03)	98 – 100	0 – 19

Kadar ekstender (Extender content, %)	Kadar <i>hardener</i> (Hardener content, %)	Kekuatan geser (Shear strength, kg/cm ²)		Kerusakan kayu (Wood failure, %)	
		Kering (Dry)	Basah (Wet)	Kering (Dry)	Basah (Wet)
10	0	92,15 (6,26)	27,24ab (1,54)	90 – 100	0 – 30
	0,5	117,31 (12,93)	36,84b (4,53)	98 – 100	0 – 5
	1	99,78 (6,44)	34,18ab (11,91)	85 – 100	21 – 50
	1,5	108,90 (3,64)	21,88ab (1,25)	73 – 90	0 – 5
	2	123,14 (1,49)	19,29ab (2,97)	95 – 100	5 – 45

Keterangan (Remarks): nilai kekuatan geser yang tertera pada tabel merupakan nilai rata-rata dari tiga ulangan. Nilai kerusakan kayu merupakan range nilai dari tiga ulangan. Huruf berbeda dibelakang angka pada kekuatan geser basah menunjukkan nilai yang berbeda nyata. Nilai dalam tanda kurung merupakan nilai standar deviasi. (All shear strength values on the table are the average value from three replication. The wood failure values were in the form of range values from three replication. Different letter following the number in wet shear strength values showed the significantly different value. The values in parantheses were the standard deviation values).

Kekuatan geser lamina kayu sengon pada penelitian ini dapat bersaing dengan kekuatan geser kayu lamina sengon dengan perekat sintetis. Lamina sengon dengan perekat isosianat memiliki kekuatan geser sebesar 43,07 kg/cm², sedangkan lamina sengon yang direkat menggunakan fenol formaldehida berkekuatan rekat sebesar 41,9 kg/cm² (Nurhanifah, Hermawan, Hadi, Arsyad, & Abdillah, 2020; Adnan et al., 2021). Beberapa nilai kekuatan geser lamina sengon dengan perekat tanin dalam penelitian ini bahkan lebih tinggi sekitar 26–193% dibandingkan kekuatan geser pada kedua perekat sintetis tersebut. Hasil uji kekuatan geser juga menunjukkan adanya penurunan kekuatan geser lamina sengon dengan perekat tanin sekitar 36–84% dari kondisi uji kering ke basah. Persentase penurunan tersebut jauh lebih besar

dibandingkan penurunan kekuatan pada lamina yang direkat dengan perekat sintetis isosianat yaitu sebesar 10–23% (Gong, Wu, & Ren, 2016). Namun jika dibandingkan dengan persentase penurunan kekuatan geser kayu lamina dengan perekat urea formaldehida nilainya relatif sama yaitu sekitar 38–60% (Sinaga, 2021).

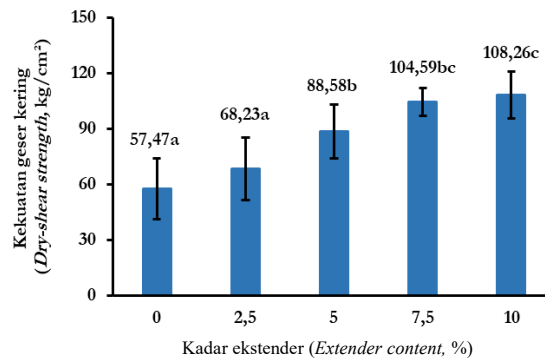
Tabel 4 dan Tabel 5 menunjukkan hasil uji ANOVA, sedangkan Tabel 3, Gambar 3, Gambar 4 menunjukkan hasil uji lanjut *Tukey's HSD*. Hasil uji ANOVA menyatakan bahwa kadar ekstender dan *hardener* berpengaruh signifikan terhadap kekuatan geser kayu lamina kondisi basah dan kering. Interaksi antara kadar ekstender dan kadar *hardener* juga diketahui secara signifikan mempengaruhi nilai kekuatan geser basah.

Tabel 4. Hasil ANOVA efek ekstender dan *hardener* terhadap kekuatan geser kering

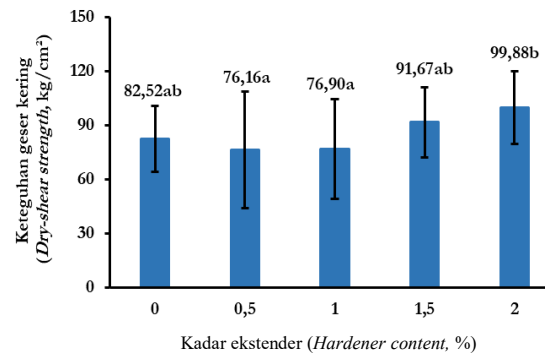
Table 4. ANOVA results of the effect of extender and hardener towards the dry shear strength

Sumber varian (Source of variation)	JK (Sum of squares)	db (df)	KT (Mean square)	F hit (F-calculation)	Sig. (Sig.)
Kadar ekstender (KE) (Extender content)	29636,82	4	7409,21	38,18	1,26 x 10 ⁻¹⁴ *
Kadar <i>hardener</i> (KH) (Hardener content)	6224,09	4	1556,02	8,02	4,48 x 10 ⁻⁵ *
Interaksi KE*KH (Interaction of KE*KH)	5552,23	16	347,01	1,79	0,06 ^{ns}
Galat (Error)	9703,25	50	194,07	-	-
Total (Total)	598441,63	75	-	-	-
Total terkoreksi (Corrected total)	51116,40	74	-	-	-

Keterangan (Remarks): JK = Jumlah kuadrat; db = derajat bebas; KT = kuadrat tengah; * = signifikan pada tingkat kepercayaan 95% (significant at 95% confidence level %); ^{ns} = tidak signifikan pada tingkat kepercayaan 95% (not significant at 95% confidence level)



Gambar 3. Hasil uji lanjut Tukey's HSD efek ekstender pada kekuatan geser kering
Figure 3. Tukey's HSD analysis result of the effect of extender to the dry shear strength



Gambar 4. Hasil uji lanjut Tukey's HSD efek hardener pada kekuatan geser kering
Figure 4. Tukey's HSD analysis result of the effect of hardener to the dry shear strength

Hasil uji lanjut *Tukey's HSD* pada sifat kekuatan geser kering menunjukkan bahwa kekuatan geser kering antar kadar ekstender 0% dan 2,5% dengan 5%, 7,5% dan 10% saling berbeda nyata. Antara kadar ekstender 5% dan 7,5% serta 7,5% dan 10% nilai kekuatan geser keringnya tidak berbeda nyata, sedangkan antara kadar 5% dan 10% nilainya berbeda nyata. Untuk nilai kekuatan geser kering antar kadar *hardener* 0% tidak berbeda nyata dengan nilai pada kadar *hardener* 0,5–1,5%, namun nilainya berbeda nyata dengan kadar *hardener* 2%. Hasil uji lanjut pada nilai kekuatan geser basah relatif menunjukkan efek penambahan kadar *hardener* lebih nyata berperan mempengaruhi sifat kekuatan tersebut dibandingkan kadar *extender*, terutama pada kadar 1,5%.

Nilai kerusakan kayu kering lamina sengan dengan perekat tanin cenderung tidak berbeda antara perekat dengan penambahan aditif maupun tanpa penambahan aditif. Sementara itu keteguhan geser kondisi kering dan basah dari kayu lamina berperekat tanin mangium cenderung meningkat seiring dengan penambahan aditif pada komposisi perekatnya. Penambahan kadar ekstender 2,5–10% dapat meningkatkan kekuatan geser kering sekitar 16–88%. Efek penambahan ekstender pada penelitian ini berlawanan dengan hasil pada penelitian efek penambahan ekstender pada urea formaldehida dan perekat tanin gambir oleh Derkyi, Sekyere, Darkwa, & Yartey (2008) dan Santoso, Aini, & Prastiwi (2022) yang justru

menurunkan kekuatan rekat. Di sisi lain, efek positif penambahan tepung dalam komposisi perekat juga dihasilkan pada penelitian pembuatan komposit dengan perekat fenol formaldehida oleh (Santoso, Hadi, & Juliati 2010) dan perekat asam sitrat oleh Widyorini, Umemura, Kusumaningtyas, & Prayitno (2017) dan Aini, Widyorini, Prayitno, & Setyayunita (2020). Pada perekat berbasis asam sitrat, peningkatan kekuatan rekat dengan penambahan tepung diduga berkaitan dengan penambahan gugus hidroksil dari tepung yang mampu bereaksi dengan gugus karboksil dari asam sitrat dan juga dengan bahan direkat (Aini et al., 2020). Sementara peningkatan kekuatan rekat dengan penambahan tepung pada perekat berbasis fenol formaldehida diduga dapat disebabkan oleh terjadinya perubahan pada viskositas perekat (Yusmaniar, Kurniadewi & Nur Oktavia, 2023). Peningkatan viskositas perekat dengan penambahan ekstender dapat menyebabkan transfer perekat pada bidang rekat menjadi lebih optimal (Hogger et al., 2020).

Efek penambahan *hardener* dalam meningkatkan kekuatan geser kering terlihat optimal pada penambahan *hardener* sebanyak 1,5–2%. Penambahan kadar *hardener* 1,5–2% dapat meningkatkan kekuatan geser kering sekitar 11–21%. Efek penambahan *hardener* yang meningkatkan kekuatan rekat juga ditemukan pada penelitian Liu et al. (2022), dimana penambahan *hardener* epoxy pada perekat tanin-furfural alkohol-furfural dapat meningkatkan daya rekat hingga 31%.

Tabel 5. Hasil ANOVA efek ekstender dan hardener terhadap kekuatan geser basah
Table 5. ANOVA results of the effect of extender and hardener towards the wet shear strength

Sumber varian (Source of variation)	JK (Sum of squares)	db (df)	KT (Mean square)	F hit (F-calculation)	Sig. (Sig.)
Kadar ekstender (KE) (Extender content)	613,64	4	153,41	3,56	0,01*
Kadar hardener (KH) (Hardener content)	851,70	4	212,92	4,94	1,97 x 10 ⁻³ *
Interaksi KE*KH (Interaction of KE*KH)	2957,38	16	184,84	4,29	3,79 x 10 ⁻⁵ *
Galat (Error)	2156,59	50	43,13	-	-
Total (Total)	82861,78	75	-	-	-
Total terkoreksi (Corrected total)	6579,31	74	-	-	-

Keterangan (Remarks): JK = Jumlah kuadrat; db = derajat bebas; KT = kuadrat tengah; * = signifikan pada tingkat kepercayaan 95% (significant at 95% confidence level %)

Efek penambahan ekstender terhadap kekuatan geser basah cenderung optimal pada kadar ekstender 2,5%. Nilai kekuatan rekat basah relatif semakin menurun seiring dengan penambahan ekstender di atas 2,5%. Bahkan pada kayu lamina dengan kadar ekstender 10%, nilai kekuatan geser basahnya 9% lebih rendah dibandingkan kayu lamina dengan perekat tanpa penambahan ekstender. Nilai kerusakan kayu juga cenderung menurun pada kondisi pengujian basah. Hasil tersebut dapat merepresentasikan bahwa ketahanan air dari perekat cenderung menurun pada penambahan ekstender berupa tepung terigu dalam kadar yang relatif tinggi. Tepung terigu, yang berasal dari gandum, mengandung sekitar 70–75% pati (Pareyt & Delcour, 2008). Pati merupakan bahan yang hidrofilik, sehingga membuat produk dengan kandungan pati tinggi memiliki ketahanan terhadap air yang rendah (Lee, Lee, & Han, 2020). Sementara itu, penambahan kadar *hardener* yang optimal untuk meningkatkan kekuatan geser basah adalah 1,5%. Penambahan kadar *hardener* 1,5% secara umum dapat meningkatkan kuat geser basah sekitar 13%. Hasil ini selaras dengan hasil pada penelitian Liu et al. (2022) yang menyebutkan bahwa penambahan *hardener* dapat meningkatkan kuat geser basah sekitar 12%.

III. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Salah satu sumber tanin yang banyak tersedia di Indonesia adalah kulit kayu *Acacia mangium*. Karakteristik tanin berupa kadar padatan ekstrak tanin dan bilangan stiasny memiliki pengaruh yang signifikan terhadap aplikasinya sebagai perekat. Kulit kayu *Acacia mangium* yang berasal dari daerah Probolinggo, Parung Panjang, Pontianak, dan Muara Enim memiliki perbedaan karakteristik tanin. Kadar padatan dan bilangan stiasny ekstrak

kulit kayu mangium dari daerah Probolinggo dan Parung Panjang memiliki karakteristik yang paling optimal untuk dimanfaatkan sebagai perekat karena kadar padatan dan bilangan stiasny yang relatif tinggi, yaitu 5,20% dan 5,70% dan 255,41% dan 200,63%.

Komposisi penyusun perekat memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap daya rekat dari perekat tersebut. Selain resin atau bahan perekat utama pada perekat, pemberian bahan tambahan seperti ekstender dan *hardener* dapat memperbaiki performa perekat atau meningkatkan sifat ekonomisnya. Penambahan ekstender *hardener* mampu secara signifikan meningkatkan kekuatan rekat kayu lamina sengon. Penambahan ekstender dan *hardener* pada perekat tanin mangium yang optimal adalah pada kadar 7,5% dan 1,5% dengan pertimbangan tingkat kekuatan dan keekonomisan dari perekat. Kayu lamina dengan kadar ekstender 7,5 *hardener* 1,5% memiliki kekuatan geser kering 112,31 kg/cm², kekuatan geser basah 30,82 kg/cm², kerusakan kayu kondisi kering 98–100%, dan kerusakan kayu kondisi basah 0–15%. Kekuatan geser kering dan kerusakan kayu kering pada kadar ekstender dan *hardener* tersebut mampu memenuhi standar JAS No. 234. Dengan demikian, perekat tanin mangium pada penelitian ini layak untuk digunakan sebagai perekat kayu produk *indoor* karena kekuatan geser dan kerusakan kayu pada kondisi kering yang relatif kuat dan dapat bersaing dengan perekat sintesis.

B. Saran

Penelitian lanjutan dari perekat tanin mangium yang dapat dilakukan berdasarkan hasil penelitian ini berkaitan dengan peningkatan ketahanan air. Hasil menunjukkan bahwa ketahanan perekat tanin terhadap air relatif rendah, yang direpresentasikan oleh tingkat penurunan kekuatan geser dari kondisi kering ke basah mayoritas di atas 50%. Upaya peningkatan ketahanan air perekat tanin dapat

memperluas aplikasi perekat tanin mangium untuk produk eksterior yang diharapkan dapat meningkatkan minat industri perkayuan di Indonesia untuk menggunakan perekat tanin mangium dalam kegiatan produksinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Standarisasi Instrumen Pengelolaan Hutan Berkelanjutan, Badan Standarisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan atas fasilitas penelitian yang diberikan dalam melakukan penelitian ini. Penulis juga berterima kasih kepada saudara Iceu Nur Aeni atas bantuannya dalam melakukan pembuatan dan pengujian sampel penelitian.

KONTRIBUSI PENULIS

Seluruh penulis berkontribusi sebagai kontributor utama dalam penyusunan naskah ini. Ide, desain, dan rancangan percobaan dilakukan oleh AS dan ENA, percobaan dan perlakuan pengujian dilakukan oleh AS, ENA, dan RP. Untuk pengumpulan data dan analisis data dilakukan oleh RP dan ENA, penulisan manuskrip oleh RP, ENA, dan AS, perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh RP, ENA, dan AS.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, N. A., Md Tahir, P., Husain, H., Lee, S. H., Anwar Uyup, M. K., Mat Arip, M. N., & Ashaari, Z. (2021). Effect of ACQ treatment on surface quality and bonding performance of four Malaysian hardwoods and cross laminated timber (CLT). *European Journal of Wood and Wood Products*, 79(2), 285–299. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01609-7>
- Aini, E. N., Widyorini, R., Prayitno, T. A., & Setyayunita, T. (2020). Characteristics of bamboo particleboard bonded with citric acid-starch using three-step press cycle method. *Key Engineering Materials*, 840 KEM, 543–550. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.840.543>
- Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, 4, 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>
- Anshori, S., & Supriyadi, B. (2001). Potency and management of logging residue of first rotation *Acacia mangium* in Musi Hutan Persada Ltd.co. *Proceedings of Seminar "Environment Conservation Through Efficiency Utilization of Forest Biomass,"* 155–160. <https://doi.org/10.20886/jphh.2009.27.4.303-313>
- Astu, I. P. J., Achmadi, S. S., & Santoso, A. (2005). *Ekstrak Kulit Mangium sebagai Bahan Perekat Tanin Resorsinol Formaldehida untuk Pembuatan Papan Partikel* [Master Thesis]. IPB University.
- Atanassova, M., & Christova-Bagdassarian, V. (2009). Determination of tannins content by titrimetric method for comparison of different plant species. *Journal of the University Chemical Technology and Metallurgy*, 44(4), 413–415.
- Awaliyan, H. M. R., Rosamah, E., & Sukaton, E. (2017). Karakteristik tanin dari ekstrak kulit kayu Leda (*Eucalyptus deglupta* Blume.). *Ulin: Jurnal Hutan Tropis*, 1(1), 16–28. <http://dx.doi.org/10.32522/ujht.v1i1.859>
- Barry, K. M., Irianto, R. S. B., Santoso, E., Turjaman, M., Widyati, E., Sitepu, I., & Mohammed, C. L. (2004). Incidence of heartrot in harvest-age *Acacia mangium* in Indonesia, using a rapid survey method. *Forest Ecology and Management*, 190(2–3), 273–280. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.10.017>
- Basheer, S. M., Chellappan, S., & Sabu, A. (2022). Enzymes in fruit and vegetable processing. Dalam M. Kuddus & C. N. Aguilar (Eds.), *Value-Addition in Food Products and Processing Through Enzyme Technology* (pp. 101–110). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89929-1.00014-7>
- Bono, A., Krishnaiah, D., Rajin, M., & Siambun, N. J. (2006). Variation of reaction stages and mole composition effect on melamine-urea-formaldehyde (MUF) resin properties. *Studies in Surface Science and Catalysis*, 159, 713–716. [https://doi.org/10.1016/S0167-2991\(06\)81696-4](https://doi.org/10.1016/S0167-2991(06)81696-4)
- BPS [Badan Pusat Statistik]. (2020). *Statistik Produksi Kehutanan Indonesia 2019*. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- BPS [Badan Pusat Statistik]. (2021). *Statistik Produksi Kehutanan 2020*. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- BPS [Badan Pusat Statistik]. (2022). *Statistik Produksi Kehutanan 2021*. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- BPS [Badan Pusat Statistik]. (2023). *Statistik Produksi Kehutanan 2022*. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- BSN [Badan Standarisasi Nasional]. (1998). *SNI 06-4566-1998: Urea Formaldehida untuk Pengerjaan Kayu*.
- Bussotti, F., Gravano, E., Grossoni, P., & Tani, C. (1998). Occurrence of tannins in leaves of beech trees (*Fagus sylvatica*) along an ecological gradient, detected by histochemical and ultrastructural analyses. *New Phytologist*, 138(3), 469–479. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1998.00121.x>
- da Silva Araujo, E., Lorenço, M. S., Zidanes, U. L., Sousa, T. B., da Silva Mota, G., de Nazaré de Oliveira Reis, V., Gomes da Silva, M., & Mori, F. A. (2021). Quantification of the bark *Myrcia eximia* DC tannins from the amazon rainforest and

- its application in the formulation of natural adhesives for wood. *Journal of Cleaner Production*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124324>
- Dababi, I., Gimello, O., Elaloui, E., & Brosse, N. (2020). Water extraction of tannins from aleppo pine bark and sumac root for the production of green wood adhesives. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(21). <https://doi.org/10.3390/molecules25215041>
- Derkyi, N. S. A., Sekyere, D., Darkwa, N. A., & Yartey, J. G. (2008). Effect of cassava flour as urea-formaldehyde adhesive extender. *Ghana Journal of Forestry*, 23 & 24, 25–34.
- Eckelman, C. A. (2015). Brief survey of wood adhesives. *Forestry & Natural Resources*, 10.
- Fendy, T. P., & Haryanto, H. (2021). Pengaruh waktu maserasi dan konsentrasi pelarut pada proses perendaman daun ketapang (*Terminalia catappa* Linn) terhadap pewarnaan kain. *Simposium Nasional RAPI XX – 2021 FT UMS*, 251–255.
- Gong, Y., Wu, G., & Ren, H. (2016). Block shear strength and delamination of cross-laminated timber fabricated with japanese larch. *BioResources*, 11(4), 10240–10250. <https://doi.org/10.15376/biores.11.4.10240-10250>
- Granssiri, A. W., Konaï, N., Nzie, W., Pizzi, A., Danwe, R., Amirou, S., Ntamack, G. E., Segovia, C., & Kueny, R. (2020). Adhesiveness performances of *Monopetalanthus durandii* tannin. *Journal of Nanotechnology and Smart Materials*, 6(1), 1–14. <https://doi.org/10.17303/jnsm.2020.6.101>
- Hajriani, S., Yunianti, A. D., Suhasman, S., & Lestari, A. S. R. D. (2021). Karakteristik ekstrak tanin kulit kayu pinus (*Pinus merkusii* Jungh et de Vriese). *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 10(1), 93–102. www.jurnal.balithutmakassar.org
- Hardie, M., Akhmad, N., Mohammed, C., Mendham, D., Corkrey, R., Gafur, A., Siregar, S., Hardie, M., Akhmad, N., Mohammed, C., Mendham, D., Hardie, M., Akhmad, N., Mohammed, C., Mendham, D., Corkrey, R., & Gafur, A. (2018). Role of site in the mortality and production of *Acacia mangium* plantations in Indonesia. *Southern Forests*, 80(1), 1–14. <https://doi.org/10.2989/20702620.2016.1274857>
- Hogger, E. M., van Herwijnen, H. W. G., Moser, J., Kantner, W., & Konnerth, J. (2020). Systematic assessment of wheat extenders in condensation resins for plywood production: Part I - physico-chemical adhesive properties. *Journal of Adhesion*, 97(15), 1404–1422. <https://doi.org/10.1080/00218464.2020.1776123>
- Hoong, Y. B., Paridah, M. T., Luqman, C. A., Koh, M. P., & Loh, Y. F. (2009). Fortification of sulfited tannin from the bark of *Acacia mangium* with phenol-formaldehyde for use as plywood adhesive. *Industrial Crops and Products*, 30(3), 416–421. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.07.012>
- Irianty, R. S., & Yenti, S. R. (2014). Pengaruh perbandingan pelarut etanol-air terhadap kadar tanin pada sokletasi daun gambir (*Uncaria gambir* Roxb). *Sagu*, 13(1), 1–7.
- Irianty, I., Pandiagan, F., & Eka, C. (2017). Ekstraksi tanin dari kulit kayu akasia dengan menggunakan microwave: pengaruh daya microwave, waktu ekstraksi dan jenis pelarut. *Jurnal Teknik Kimia*, 6(3), 52–57.
- JAS [Japanese Standard Association] (2007). *Japanese Agricultural Standard 234: Glued Laminated Timber*.
- Jimenez, J. P., Acda, M. N., Razal, R. A., Abasolo, W. P., Hernandez, H. P., & Elepaño, A. R. (2020). Effect of tobacco stalk additive particle size on the bond strength and formaldehyde emission of urea formaldehyde bonded plywood. *Philippine Journal of Science*, 149(2), 363–372.
- Kemppainen, K., Siika-aho, M., Pattathil, S., Giovando, S., & Kruus, K. (2014). Spruce bark as an industrial source of condensed tannins and non-cellulosic sugars. *Industrial Crops and Products*, 52, 158–168. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.009>
- Kraus, T. E. C., Dahlgren, R. A., & Zasoski, R. J. (2003). Tannins in nutrient dynamics of forest ecosystems - a review. *Plant and Soil*, 256(1), 41–66. <https://doi.org/10.1023/A:1026206511084>
- Lallo, S., Lewerissa, A. C., Rafi'i, A., Usmar, U., Ismail, I., & Tayeb, R. (2022). Pengaruh ketinggian tempat tumbuh terhadap aktivitas antioksidan dan sitotoksik ekstrak rimpang lengkuas (*Alpinia galanga* L.). *Majalah Farmasi Dan Farmakologi*, 23(3), 118–123. <https://doi.org/10.20956/mff.v23i3.9406>
- Lee, J. S., Lee, E. sil, & Han, J. (2020). Enhancement of the water-resistance properties of an edible film prepared from mung bean starch via the incorporation of sunflower seed oil. *Scientific Reports*, 10(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70651-5>
- Liu, B., Zhou, Y., Essawy, H., Chen, Q., Liang, J., Zhou, X., Zhang, J., & Du, G. (2022). Formaldehyde free tannin-based adhesive with epoxy as hardener for plywood. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 24(24), 1–18. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2022000100433>
- Low, J. H., Rahman, W. A. W. A., & Jamaluddin, J. (2015). The influence of extraction parameters on spent coffee grounds as a renewable tannin resource. *Journal of Cleaner Production*, 101(April 2015), 222–228. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.094>
- Lu, Y., & Shi, Q. (1995). Larch tannin adhesive for particleboard. *Holz Als Roh- Und Werkstoff*, 53(1), 17–19. <https://doi.org/10.1007/BF02716377>
- Luo, X., Bai, R., Zhen, D., Yang, Z., Huang, D., Mao, H., Li, X., Zou, H., Xiang, Y., Liu, K., Wen, Z., & Fu, C. (2019). Response surface optimization of the enzyme-based ultrasound-assisted extraction of acorn tannins and their corrosion inhibition properties. *Industrial Crops and Products*,

- 129(June 2018), 405–413.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.029>
- Malisch, C. S., Salminen, J. P., Kölliker, R., Engström, M. T., Suter, D., Studer, B., & Lüscher, A. (2016). Drought effects on proanthocyanidins in sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) are dependent on the plant's ontogenetic stage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(49), 9307–9316.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02342>
- Monisa, F. S., Bintang, M., Safithri, M., & Falah, S. (2016). Potensi ekstrak tanin daun dan kulit batang surian sebagai penghambat α -glukosidase. *Jurnal Ilmu Teknologi Kayu Tropis*, 14(2), 156–164.
- Nurhasbi, N., Sudrajat, D. J., & Diatna, K. (2009). Identification of *Acacia mangium* provenances for solid-wood forest plantations. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 6(1), 1–16.
<https://doi.org/10.20886/ijfr.2009.6.1.1-16>
- Pareyt, B., & Delcour, J. A. (2008). The role of wheat flour constituents, sugar, and fat in low moisture cereal based products: a review on sugar-snap cookies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(9), 824–839.
<https://doi.org/10.1080/10408390701719223>
- Pari, G., Hastoeti, P., & Lestari, S. B. (1992). Quality and properties of tannin extractive from *Acacia mangium* bark. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 10(4), 113–121.
- Pizzi, A. (2021). Tannins medical/pharmacological and related applications: a critical review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 22(July), 100481.
<https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100481>
- Rachmawati, O., Sugita, P., & Santoso, A. (2018). Sintesis perekat tanin resorsinol formaldehida dari ekstrak kulit pohon mangium untuk peningkatan kualitas batang sawit. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 36(1), 33–46.
<https://doi.org/10.20886/jphh.2018.36.1.33-46>
- Ryanata, E., Palupi, S., & Azminah, A. (2015). Penentuan jenis tanin dan penetapan kadar tanin dari kulit buah pisang masak (*Musa paradisiaca* L.) secara spektrofotometri dan permanganometri. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Surabaya*, 4(1), 1–16.
- Sánchez-Martín, J., Beltrán-Heredia, J., & Solera-Hernández, C. (2010). Surface water and wastewater treatment using a new tannin-based coagulant. Pilot plant trials. *Journal of Environmental Management*, 91(10), 2051–2058.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.05.013>
- Santoso, A., Aini, E. N., & Prastiwi, D. A. (2022). Bonding characteristic of gambir tannin-based adhesive on tusam wood (*Pinus merkusii*) in various ages: effects of gambir leaves condition and extender addition. *Journal of Indonesian Wood Research Society*, 13(1), 12–24.
- Santoso, A., Hadi, Y. S., & Juliati, R. (2010). Pengaruh kadar ekstender dan waktu kempa terhadap sifat fisis mekanis LBV dengan perekat phenol formaldehida. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 28(4), 380–393.
- Santoso, A., Sulastiningsih, I. M., Pari, G., & Jasni, J. (2016). Pemanfaatan ekstrak kayu merbau untuk perekat produk laminasi bambu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 34(2), 89–100.
<https://doi.org/10.20886/jphh.2016.34.2.89-100>
- Sharma, K. P. (2019). Tannin degradation by phytopathogen's tannase: a plant's defense perspective. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21(September), 101342.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101342>
- Sinaga, P. S. (2021). Kualitas perekatan kayu laminasi rengas (*Gluta reinghas* L.) menggunakan perekat urea formaldehid. *Wana Lestari*, 4(1), 126–133.
- Sukmawi, R., Sulaeman, R., & Sribudiani, E. (2020). Pemanfaatan limbah kulit kayu *Acacia mangium* sebagai bahan baku papan partikel menggunakan perekat damar. *Jurnal Ilmu-Ilmu Kehutanan*, 4(1), 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.02.027%0A>
<https://www.golder.com/insights/block-caving-a-viable-alternative/%0A???>
- Tahir, P. M., Halip, J. A., & Lee, S. H. (2019). Tannin-based bioresin as adhesives. Dalam H. Ariffin, S. M. Sapuan, & M. A. Hassan (Eds.), *Lignocellulose for Future Bioeconomy* (pp. 109–133). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816354-2.00007-4>
- Tharayil, N., Suseela, V., Triebwasser, D. J., Preston, C. M., Gerard, P. D., & Dukes, J. S. (2011). Changes in the structural composition and reactivity of *Acer rubrum* leaf litter tannins exposed to warming and altered precipitation: climatic stress-induced tannins are more reactive. *New Phytologist*, 191(1), 132–145.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03667.x>
- Vázquez, G., González-Alvarez, J., Santos, J., Freire, M. S., & Antorrena, G. (2009). Evaluation of potential applications for chestnut (*Castanea sativa*) shell and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark extracts. *Industrial Crops and Products*, 29(2–3), 364–370.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.07.004>
- Vieira, M. C., Lelis, R. C. C., da Silva, B. C., & Oliveira, G. de L. (2011). Tannin extraction from the bark of *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* with sodium carbonate and sodium bisulfite. *Floresta e Ambiente*, 18(1), 1–8.
<https://doi.org/10.4322/floram.2011.017>
- Widyorini, R., Umemura, K., Kusumaningtyas, A. R., & Prayitno, T. A. (2017). Effect of starch addition on properties of citric acid-bonded particleboard made from bamboo. *BioResources*, 12(4), 8068–8077.
<https://doi.org/10.15376/biores.12.4.8068-8077>
- Yusmaniar, Kurniadewi, F., & Nur Oktavia, A. (2023). The effect of concentration extender on the making of lignin phenol-formaldehyde from coconut fibre as an environmentally friendly adhesive. *Journal of Physics: Conference Series* 2498, 2498(1), 1–7.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2498/1/012047>

- Yusoff, M. N. M., Chew, L. T., Ali, A. R. M., & Nasir, N. M. (1989). The adhesive properties of bark extract of *Acacia mangium*. *Journal of Tropical Forest Science* 2(2), 104–109.
- Zheng, G., Lin, Y., & Yazaki, Y. (1991). Extractives yields, stiasny values and polyflavanoid contents in barks from six acacia species in Australia. *Australian Forestry*, 54(3), 154–156.

<https://doi.org/10.1080/00049158.1991.10674572>

- Zhou, X., & Du, G. (2020). Applications of tannin resin adhesives in the wood industry. Dalam A. Aires (Ed.), *Tannins - Structural Properties, Biological Properties and Current Knowledge* (pp. 1–19). IntechOpen.
- <https://doi.org/10.5772/intechopen.86424>