

PEMANFAATAN LIGNIN PADA TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN PEREKAT LIGNIN RESORSINOL FORMALDEHIDA (LRF)

Alrista Rahmawati*, Fioni Ashari Putri, Retno Dewati

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”
Jawa Timur, Surabaya, 60294, Indonesia

*Email: alristarahmawati6@gmail.com

Abstrak

Tempurung kelapa mengandung 29% lignin, 27% pentosan, dan 26% selulosa. Kandungan lignin yang terdapat dalam tempurung kelapa dapat dijadikan sebagai bahan dasar pembuatan perekat LRF (lignin resorsinol formaldehida). Lignin yang digunakan adalah hasil proses delignifikasi menggunakan pelarut etanol 40%. Perekat LRF dibuat dengan cara mensubstitusikan serbuk lignin hasil isolasi lindi hitam sebesar 2,5; 5; 7,5; 10; dan 12,5 gram dengan perbandingan massa resorsinol dan variasi waktu pemanasan selama 20, 25, 30, 35, dan 40 menit. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat perekat LRF kemudian dibandingkan dengan perekat komersial dan syarat mutu perekat pada SNI 06-4567-1998. Dari hasil analisis diperoleh warna perekat LRF berwarna coklat kehitaman yang telah sesuai persyaratan SNI dengan pH sebesar 9,97-11,04, densitas 1,17 – 1,28 g/ml, dan hasil uji daya rekat yang sesuai dengan perekat komersial sebesar 3,65 kg/cm² pada substitusi serbuk lignin 2,5 gram dan waktu pemanasan selama 20 menit.

Kata Kunci: Formaldehida; Lignin; Perekat; Resorsinol; Tempurung kelapa

Abstract

Coconut shell contains 29% lignin, 27% pentosan, and 26% cellulose. The lignin in coconut shells can be used as a raw material for making LRF (lignin resorcinol formaldehyde) adhesive. The lignin used results from the delignification process using 40% ethanol solvent. LRF adhesive is made by substituting lignin powder isolated from black liquor of 2.5; 5; 7.5; 10; and 12.5 grams with a mass ratio of resorcinol and varying heating times of 20, 25, 30, 35, and 40 minutes. This research aims to make LRF adhesive and compare it with commercial adhesives and the adhesive quality requirements in SNI 06-4567-1998. From the analysis, it was found that the colour of the LRF adhesive was blackish brown, which complied with SNI requirements with a pH of 9.97-11.04, density of 1.17-1.28 gr/ml, and the adhesion test results are in accordance with commercial adhesives of 3.65 kg/cm² with 2.5 gram lignin powder substitution and a heating time of 20 minutes.

Keywords: Adhesive; Coconut shell; Formaldehyde; Lignin; Resorcinol

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang terletak di wilayah tropis, sehingga tidak heran Indonesia merupakan negara dengan produksi kelapa yang salah satunya terbesar di dunia. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) jumlah produksi kelapa nasional pada tahun 2021 mencapai 2,85 juta ton, jumlah tersebut meningkat 1,47% dibandingkan tahun sebelumnya yang sebesar 2,81 juta ton. Tanaman kelapa (*Cocos nucifera* L)

memiliki tingkat nilai ekonomi yang tinggi dan sering dijuluki sebagai tanaman serbaguna. Tanaman serbaguna ini dapat dimanfaatkan seluruh bagiannya dan diolah sehingga produktivitas kelapa cenderung meningkat dari tahun ke tahun (Gunawati et al., 2018). Tempurung kelapa sendiri memiliki komposisi kimiawi berupa pentosan 27,7 %; selulosa 26,6 %; lignin 29,4 % (Tumbel et al., 2019). Dengan adanya lignin yang melimpah semestinya dapat meningkatkan potensi

pemanfaatan yang ada pada tempurung kelapa. Salah satu potensi pemanfaatan lignin adalah digunakan sebagai bahan perekat atau lem pada kayu lapis, papan partikel, dan sebagainya. Lignin perlu didegradasi dan dipolimerisasi lebih dulu untuk mendapatkan sifat perekat yang baik (Lempang, 2016).

Lignin adalah jaringan biopolimer yang berfungsi merekatkan serat selulosa dan menjadikan jaringan tersebut menjadi kaku. Lignin dapat dihasilkan dalam jumlah yang besar sebagai produk sampingan dalam biorefineri pada industri pulp dan kertas. Tingginya jumlah senyawa fenolik dalam lignin dapat dimanfaatkan sebagai bahan polimer, blok bangunan, dan biomaterial (Solihat et al., 2021). Keberadaan lignin sangat melimpah di alam dan merupakan komponen biopolimer dengan kandungan terbanyak di bumi setelah selulosa. Lignin memiliki komponen poli aromatik, sehingga lignin yang terdegradasi mudah bereaksi apabila disubstitusikan dengan formaldehida (Lawoko et al., 2021). Lignin memiliki sifat yang tidak mudah larut, baik dalam air maupun dengan asam mineral kuat. Namun, lignin dapat larut dalam pelarut organik dan larutan alkali encer (Puss et al., 2023). Untuk melarutkan lignin pada produksi *softwood* dan *hardwood*, salah satu pelarut organik yang umum dipakai adalah larutan etanol (Dewi et al., 2009).

Proses delignifikasi adalah proses pemasakan atau pelarutan lignin. Pada proses ini, lignin akan larut dalam larutan pemasak akibat pemutusan ikatan lignin karbohidrat (Rambe et al., 2013). Ada beberapa metode untuk proses delignifikasi, yaitu pulp sulfit, pulp sulfat, pulp soda, dan organosolv. Metode yang umum dipakai adalah metode organosolv. Metode organosolv menggunakan bantuan pelarut organik untuk mendegradasi lignin (Parot et al., 2022). Pada proses ini, terjadi pemutusan ikatan eter. Baik etanol, asam asetat, dan metanol adalah sekumpulan senyawa organik yang dapat digunakan. Proses ini memiliki keuntungan karena ramah lingkungan, tidak ada emisi sulfur, dan mudah dalam proses *recovery*. Kekurangan dari metode ini hanya efektif pada produksi dalam skala kecil (Artati et al., 2009).

Lignin yang diperoleh dari hasil delignifikasi masih berupa lindi hitam, sehingga perlu dilakukan proses isolasi lignin untuk memisahkan larutan pemasak atau pelarutnya. Proses isolasi lignin dapat dilakukan dengan dua metode yaitu metode klasson dan ultrafiltrasi. Metode klasson menggunakan larutan HCl lewat jenuh 42%, larutan H₂SO₄ dengan konsentrasi 72% sehingga selulosa akan terdegradasi dan larut, didapatkan endapan berupa lignin untuk kemudian dimurnikan (Kusumo et al., 2020).

Reaksi polimerisasi antara lignin dan formaldehida akan membentuk sebuah polimer lignin formaldehida. Reaksi polimerisasi tersebut tidak berjalan secara sempurna. Diperlukan bahan kopolimer untuk memperkuat ikatan antar senyawa, bahan tersebut adalah resorsinol. Dengan penambahan resorsinol pada lignin formaldehida, terjadi pembentukan ikatan polimer baru yakni polimer lignin resorsinol formaldehida. Manfaat penambahan resorsinol adalah untuk mengikat gugus formaldehida yang tidak

bereaksi dengan fenol. Reaksi ini tidak akan membuat polimer mencair atau meleleh saat mengalami pemanasan (termoset) (Istiqomah & Netti, 2014). Apabila dibandingkan dengan fenol, resorsinol tidak mudah terdegradasi dan lebih cepat mengering. Selain itu, reaksi pembentukan polimer antara resorsinol dan formaldehida lebih mudah terbentuk pada suhu kamar (Susilowati et al., 2013).

Penggunaan resorsinol formaldehida memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah tidak berbau menyengat bila dibandingkan dengan fenol formaldehida (Manurung & Azhar, 2022), tidak terpengaruh cuaca meskipun pada suhu, kelembaban tinggi, serta lebih tahan biodeteriorasi. Lignin resorsinol formaldehida (LRF) mudah diaplikasikan untuk keperluan struktural, eksterior, perkapalan, dan konstruksi kelautan. Kekurangan dari resorsinol formaldehida adalah tampilannya, warna merah kecoklatan yang dihasilkan lebih mencolok sehingga kurang estetik apabila diaplikasikan. Bahan resorsinol juga cukup mahal, sehingga diperlukan kombinasi atau campuran untuk menekan biayanya (Ruhendi et al., 2007).

Setelah perekat terbentuk, maka dilakukan beberapa uji untuk mengetahui kuantitas dan kualitas dari perekat yang dihasilkan tersebut apakah sudah sesuai dengan SNI, yaitu uji pH untuk mengetahui tingkat keasaman, uji densitas untuk mengetahui massa jenis, uji viskositas untuk mengetahui tingkat kekentalan, dan warna dari perekat.

Penelitian pengolahan perekat dari lignin telah banyak dilakukan. Dalam pembuatan perekat LRF terdiri dari beberapa tahapan, yaitu meliputi proses delignifikasi, isolasi lignin, dan pembuatan perekat. Proses delignifikasi dapat dilakukan dengan metode organosolv. Dewi pada tahun 2009 melakukan penelitian mengenai pengaruh temperatur, lama pemasakan, dan konsentrasi etanol pada pembuatan pulp berbahan baku jerami padi dengan larutan pemasak NaOH-etanol. Kandungan lignin terendah yang menunjukkan banyaknya lignin yang terdegradasi pada rendemen pulp sebesar 3,31% pada konsentrasi etanol 40%, lama waktu pemasakan 75 menit, dan suhu pemasakan 95°C (Dewi et al., 2009).

Proses isolasi lignin dengan metode presipitasi menggunakan bantuan zat kimia untuk melarutkan dan mengendapkan zat yang diinginkan. Pada metode ini hanya diperlukan zat kimia yang bersifat asam untuk pelarutan, dan sifat basa untuk proses presipitasi. Persen presipitasi yang optimal didapatkan pada pH=2 sebesar 52,36% (García et al., 2009). Pemanfaatan lignin dari limbah kulit buah kakao juga pernah dilakukan untuk menjadi perekat. Hasil penelitian pembuatan perekat lignin resorsinol formaldehida dan lignin fenol formaldehida mendekati viskositas perekat komersial sebesar 6,45 cps pada penggunaan lignin sebesar 15%. Sedangkan densitasnya sebesar 0,918 g/ml (Susilowati et al., 2013).

Kandungan lignin pada jerami padi ditemukan sebesar 10-15% (Karim et al., 2023), sedangkan kandungan lignin pada kulit buah kakao hanya berkisar 14,7% (Sena et al., 2021). Adapun kandungan lignin

pada tempurung kelapa sebesar 29,4%, sehingga perlu adanya pemanfaatan tempurung kelapa yang memiliki kandungan lignin cukup banyak sebagai bahan perekat.

2. BAHAN DAN METODE

Alat yang digunakan dalam penelitian ini digambarkan pada Gambar 1 yang terdiri atas Bahan baku utama dalam penelitian ini adalah serbuk tempurung kelapa yang telah ditumbuk halus dengan ukuran 30 mesh. Penelitian ini melalui 3 tahapan proses, yaitu proses delignifikasi, isolasi lignin, penambahan resorsinol dan formaldehida.

2.1 Delignifikasi

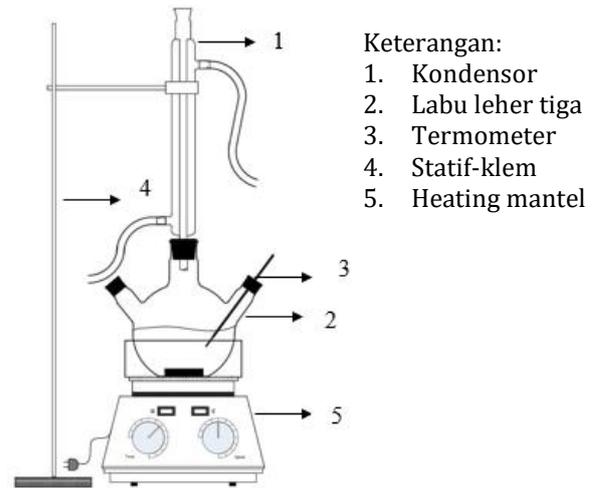
Serbuk tempurung kelapa sebanyak 50 gram dimasukkan ke dalam labu leher tiga. Lalu ditambahkan larutan pemasak yaitu etanol 40% sebanyak 500 ml. Ditambahkan NaOH 10% 50 ml dan dimasak pada suhu 90°C selama 75 menit. Setelah itu difiltrasi menggunakan kertas saring untuk memisahkan endapan dan filtrat atau lindi hitamnya.

2.2 Isolasi Lignin

200 ml lindi hitam dimasukkan ke dalam beaker glass dan ditambahkan H₂SO₄ 0,02N 100 ml hingga pH = 2 diaduk dan diendapkan. Kemudian difiltrasi menggunakan kertas saring untuk memisahkan endapan sedangkan filtratnya dibuang. Endapan lignin dicuci dengan air panas kemudian dibilas dengan air dingin hingga pH netral. Lignin kemudian dipanaskan pada suhu 90°C selama 1 jam. Lignin dihaluskan sampai dengan ukuran partikel 100 mesh

2.3 Penambahan Resorsinol – Formaldehida

Resorsinol 50 gram dilarutkan dengan 6 ml akuades. Larutan formaldehida 37% sebanyak 100 ml dan serbuk lignin dengan berat sebanyak 2,5; 5; 7,5; 10; dan 12,5 gram ditambahkan ke dalam resorsinol. Selanjutnya, ditambahkan NaOH 50% dengan cara diteteskan perlahan-lahan sebanyak 10 ml. Perekat ini dipanaskan dengan variasi waktu pemanasan 20, 25, 30, 35, dan 40 menit pada suhu 80°C sambil dilakukan pengadukan. Suhu perekat diturunkan hingga 30°C. Kualitas perekat dianalisis dengan uji warna, pH, berat jenis, viskositas, dan daya rekat perekat. Rangkaian alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat

Keterangan:

1. Kondensor
2. Labu leher tiga
3. Termometer
4. Statif-klem
5. Heating mantel

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

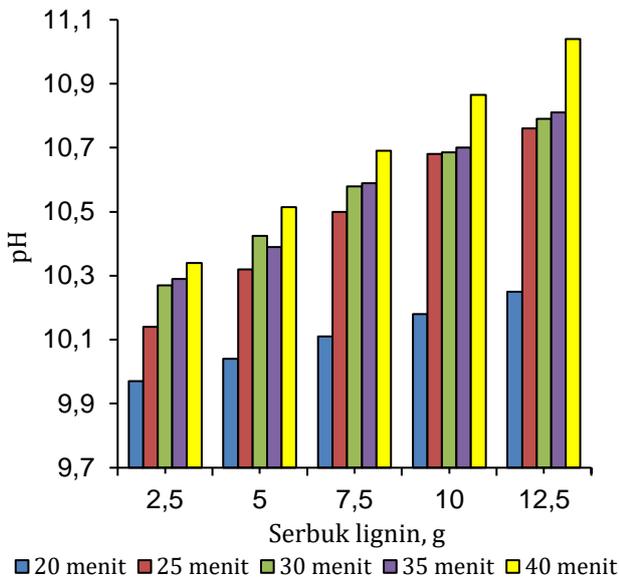
Penelitian ini menggunakan bahan baku tempurung kelapa yang sudah ditumbuk halus. Analisis kadar lignin pada tempurung kelapa dilaksanakan di Laboratorium Gizi Universitas Airlangga. Hasil analisis kadar lignin pada serbuk kelapa sebelum proses delignifikasi sebesar 28,67% dan setelah proses delignifikasi sebesar 76,83%.

Tempurung kelapa dapat dijadikan perekat dengan memanfaatkan kandungan lignin yang ada dan disubstitusikan dengan resorsinol-formaldehida. Kemudian dilakukan pengukuran perekat terhadap pH, densitas, viskositas, dan nilai daya rekatnya.

3.1 Pengukuran pH

Dari Gambar 2, dapat dilihat bahwa pada pembuatan perekat LRF dengan waktu pemanasan yang semakin lama, diperoleh nilai pH cenderung meningkat yaitu antara 9,97–11,04 seiring dengan peningkatan jumlah serbuk lignin yang ditambahkan. Hal ini dikarenakan degradasi termal lignin menyebabkan pelepasan ion sehingga meningkatkan nilai pH dengan waktu pemanasan yang semakin lama (Medynda et al., 2012). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH perekat yang dihasilkan bernilai basa. Hal ini disebabkan karena penggunaan NaOH 50% dalam larutan perekat.

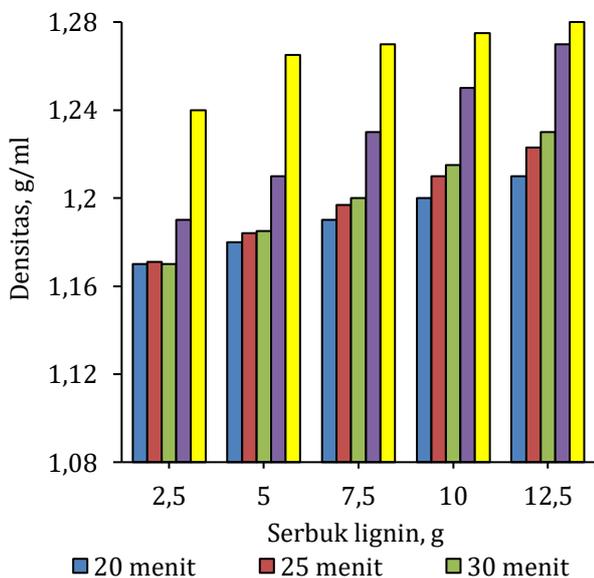
Nilai pH mempengaruhi kualitas perekat dimana pH tetap dijaga dalam kondisi basa saat proses pembuatan perekat. Jika pH tidak dijaga dalam kondisi basa, perekat akan cepat membeku. Sifat basa diperlukan agar tidak merusak struktur kayu (Medynda et al., 2012). Perekat yang baik menurut SNI 06-4567-1998 adalah perekat yang bernilai pH 10-13. Dengan pH 10-13 umur pakai perekat dapat bertahan cukup lama dan memperpanjang masa pakai atau simpan kayu (Auliata et al., 2021). Nilai pH perekat yang dihasilkan telah memenuhi baku mutu SNI.



Gambar 2. Pengukuran pH pada perekat LRF

3.2 Uji Densitas

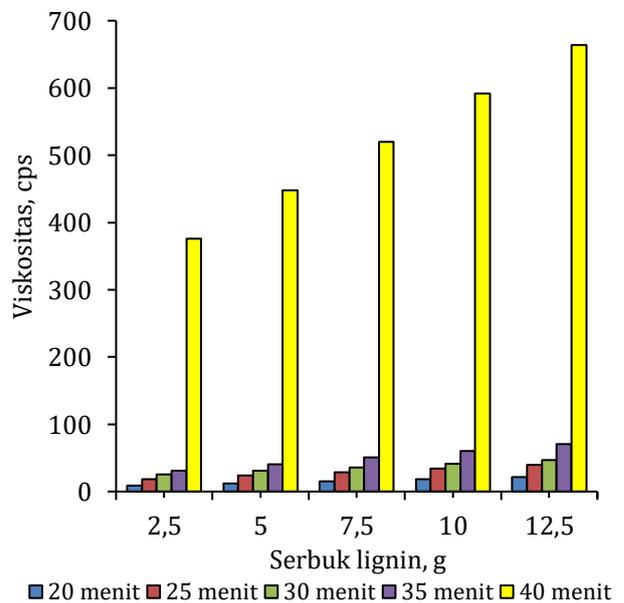
Dari Gambar 3, dapat dilihat bahwa pada pembuatan perekat LRF dengan waktu pemanasan yang semakin lama, diperoleh nilai densitas yang cenderung meningkat, yaitu antara 1,17–1,28 g/ml seiring dengan peningkatan jumlah serbuk lignin yang ditambahkan. Hal ini dikarenakan semakin banyak penambahan serbuk lignin sebagai komponen penyusun perekat maka densitas perekat akan semakin tinggi (Ramandani et al., 2022). Sehingga substitusi lignin dalam jumlah yang lebih besar dapat menyebabkan peningkatan densitas. Pemanasan yang lama juga membantu menguapkan air yang terkandung dalam campuran perekat. Penguapan air ini meningkatkan konsentrasi resin formaldehida dan serbuk lignin, sehingga meningkatkan densitas perekat. Pada SNI 06-4567-1998 nilai densitas sebesar 1,165-1,2 g/ml. Hasil yang didapatkan nilai densitas sebesar 1,17-1,28 g/ml sehingga telah memenuhi standar SNI.



Gambar 3. Pengukuran densitas pada perekat LRF

3.3 Viskositas

Viskositas meningkat seiring meningkatnya berat serbuk lignin yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Peningkatan viskositas paling signifikan terjadi pada waktu pemanasan 40 menit. Untuk waktu pemanasan yang lebih singkat (20-35 menit), peningkatan viskositas tidak terlalu besar meskipun ada penambahan serbuk lignin. Hal ini dikarenakan pemanasan menyebabkan reaksi polimerisasi pada perekat LRF, meningkatkan viskositas seiring waktu karena terjadi peningkatan ikatan silang (*cross-linking*) dalam matriks perekat (Annisa et al., 2021). Terjadi kenaikan nilai viskositas pada waktu pemanasan 40 menit. Pada waktu ini, terjadi proses penguapan solven pada jumlah yang besar dan kandungan kimia di dalamnya. Adapun kandungan padatan non-volatil akan tetap terkandung di dalam perekat (Manurung & Azhar, 2022).



Gambar 4. Pengukuran viskositas pada perekat LRF

Uji viskositas dilakukan untuk menentukan kelenturan atau kekentalan perekat. Viskositas perekat LRF yang paling mendekati dengan persyaratan SNI 06-4567-1998 (100-300 cps) adalah perekat dengan substitusi serbuk lignin 12,5 gram dengan pemanasan selama 35 menit sebesar 70,4 cps.

3.4 Daya Rekat

Uji daya rekat menggunakan variasi berat lignin powder sebesar 2,5 gram dan waktu 20 menit dengan dasar memiliki nilai pH dan densitas yang sesuai dengan standar SNI. Selain itu, merupakan variasi dengan kondisi yang minimal dan lebih ekonomis apabila akan diterapkan di sebuah industri.

Tabel 1. Hasil Uji Daya Rekat

Nama	Uji Daya Rekat
Perekat LRF (2,5 gram ; 20 menit)	3,65 kg/cm ²
Perekat Komersial	3,65 kg/cm ²

Dari Tabel 1 terlihat perekat komersial memiliki daya rekat sebesar 3,65 kg/cm², sementara perekat LRF hasil penelitian ini yang memiliki nilai daya rekat yang sama yaitu 3,65 kg/cm² pada substitusi serbuk lignin 2,5 gram dengan waktu pemanasan selama 20 menit. Hasil daya rekat dapat dipengaruhi oleh kerapatan papan partikelnya. Semakin rapat partikel papan yang digunakan, maka perekat akan lebih mudah untuk kaku dan tegang. Daya rekatnya juga akan semakin baik sehingga papan tidak mudah patah (Rofaida et al., 2021).

4. KESIMPULAN

Penambahan substitusi serbuk lignin terbaik adalah sebesar 2,5 gram. Hasil analisis densitas, viskositas, pH, dan daya rekat menunjukkan waktu pemanasan terbaik untuk membuat perekat adalah selama 20-30 menit. Hasil perekat LRF dari limbah tempurung kelapa dikatakan layak dan memenuhi persyaratan SNI 06-4567-1998 karena memiliki hasil pengujian kualitas berupa warna coklat kehitaman, pH, densitas, dan daya rekat yang telah sesuai dengan standar perekat komersial untuk kayu lapis. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan viskositas yang sesuai SNI.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan laporan artikel ini. Penulis menyampaikan terimakasih kepada Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur yang telah mendukung dan memfasilitasi penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

Annisa, V., Sulaiman, T. N. S., Nugroho, A. K., & Nugroho, A. E. (2021). Review sinergisitas kombinasi polimer alami serta pemanfaatan dalam formulasi obat. *Majalah Farmasetika*, 6(5), 436-461.

Artati, E. K., Effendi, A., & Haryanto, T. (2009). Pengaruh konsentrasi larutan pemasak pada proses delignifikasi eceng gondok dengan proses organosolv. *Ekuilibrium*, 8(1), 25-28.

Auliata, S., Sribudiani, E., & Somadona, S. (2021). Karakteristik perekat dan perekatan tanin resorsinol formaldehida pada sirekat akasia (acacia mangium) dan pulai (alstonia scholaris). *perennial*, 17(2), 35-44.

Dewi, T. K., Wulandari, A., & Romy. (2009). Pengaruh temperatur, lama pemasakan, dan konsentrasi etanol pada pembuatan pulp berbahan baku jerami padi dengan larutan pemasak NaOH-etanol. *Jurnal Teknik Kimia*, 16(3), 11-20.

García, A., Toledano, A., Serrano, L., Egüés, I., González, M., Marín, F., & Labidi, J. (2009). Characterization of lignins obtained by selective precipitation. *Separation and Purification Technology*, 68(2), 193-198.

Gunawati, L., Kriwiyanti, E., & Joni, M. (2018). Karakteristik dan analisis kekerabatan ragam kelapa (*Cocos nucifera* L.) di Kabupaten Manggarai Barat berdasarkan karakter morfologi dan anatomi.

Simbiosis, 6(1), 20-24.

Istiqomah, M., & Netti, H. (2014). Pengaruh penambahan resorsinol pada pembuatan perekat likuida sabut kelapa. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(4), 37-43.

Karim, I., Syahrudin, & Bahri, S. (2023). Kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin jerami padi yang difermentasi dengan berbagai probiotik. *Jambura Journal of Animal Science*, 6(1), 13-21.

Kusumo, P., S Biyono, & Tegar S. (2020). Isolasi lignin dari serbuk grajen kayu jati (*Tectona Grandis*) dengan metode klasson. *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik*, 19(2), 130-139.

Lawoko, M., Berglund, L., & Johansson, M. (2021). Lignin as a renewable substrate for polymers: from molecular understanding and isolation to targeted applications. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(16), 5481-5485.

Lempang, M. (2016). Pemanfaatan lignin sebagai bahan perekat kayu. *Info Teknis Eboni*, 13(2), 139-150.

Manurung, H., & Azhar, I. (2022). Lignin utilization from black liquor as raw material lignin resorsinol formaldehyde adhesives (LRF). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1115, 12070.

Medynda, M., Sucipto, T., & Hakim, L. (2012). Pengembangan perekat likuida dari limbah kulit buah kakao (*Theobroma cacao* L.). *Peronema Forestry Science Journal*, 1(1), 1-10.

Parot, M., Rodrigue, D., & Stevanovic, T. (2022). High purity softwood lignin obtained by an eco-friendly organosolv process. *Bioresource Technology Reports*, 17, 100880.

Puss, K. K., Loog, M., & Salmar, S. (2023). Ultrasound enhanced solubilization of forest biorefinery hydrolysis lignin in mild alkaline conditions. *Ultrasonics Sonochemistry*, 93, 106288.

Ramandani, A. A., Shintawati, S., Aji, S. P., & Sunarsi, S. (2022). Pemanfaatan lignin serai wangi sebagai lignin resorsinol formaldehida (LRF) menggunakan ultrasonic microwave-assisted extraction (UMAE). *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, 5(1), 40-48.

Rambe, M., Nata, A., & Herlina, N. (2013). Pengaruh katalis NaOH pada proses isolasi lignin dari tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(2), 25-27.

Rofaida, A., Pratama, R. M., Sugiarta, I. W., & Widianty, D. (2021). Sifat fisik dan mekanik papan partikel akibat penambahan filler serat bambu. *Spektrum Sipil*, 8(1), 1-11.

Ruhendi, S., Koroh, D. N., Syamani, F. A., Yanti, H., Nurhaida, S. S., & Sucipto, T. (2007). Analisis perekatan kayu. In *Fakultas Kehutanan: Institut Pertanian Bogor (Issue May 2020)*.

Sena, P. W., Ganda Putra, G. P., & Suhendra, L. (2021). Karakterisasi selulosa dari kulit buah kakao (*Theobroma cacao* L.) pada berbagai konsentrasi hidrogen peroksida dan suhu proses bleaching. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 9(3), 288-299.

- Solihat, N. N., Sari, F. P., Falah, F., Ismayati, M., Lubis, M. A. R., Fatriasari, W., Santoso, E. B., & Syafii, W. (2021). Lignin as an active biomaterial: A review. *Jurnal Sylva Lestari*, 9(1), 1-22.
- Susilowati, S., Munandar, S., & Edahwati, L. (2013). Pemanfaatan lignin dari limbah kulit buah kakao menjadi perekat. *Teknik Kimia*, 8(1), 22-26.
- Tumbel, N., Makalalag, A. K., & Manurung, S. (2019). Proses pengolahan arang tempurung kelapa menggunakan tungku pembakaran termodifikasi. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*, 11(2), 83-92.