

Analisis pengaruh jenis agen *crosslinker* terhadap karakteristik perekat kayu berbahan tepung tapioka dan PVA

Bima Prasetya Pancasakti¹⁾, Budhijanto^{2)*}, Vincent³⁾

^{1,2,3}Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta, Indonesia

²*Bioadhesive Research Group*, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

bimaprasetya@mail.ugm.ac.id; budhijanto@ugm.ac.id*; vincent2018@mail.ugm.ac.id;

*Penulis Koresponden

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik perekat alami dengan variasi agen *crosslinker* yang digunakan. Jenis agen *crosslinker* tersebut adalah asam sitrat dan asam oksalat yang memiliki kemampuan untuk berikatan dengan perekat tepung tapioka-PVA. Proses sintesis dari perekat dilakukan melalui tahapan gelatinisasi, hidrolisis, oksidasi, dan polimerisasi. Reaksi dijalankan dengan menggunakan labu leher tiga dan pengaduk merkuri pada suhu operasi 70 °C dan tekanan 1 atm. Karakteristik dari perekat seperti viskositas, kuat tarik kering dan basah, kandungan padatan, umur perekat, dan morfologi dianalisis dengan menggunakan standar yang telah ditentukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan agen *crosslinker* berupa asam sitrat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kualitas dari perekat. Asam sitrat dapat meningkatkan viskositas serta memperkuat kuat tarik kering maupun basah dari perekat. Nilai kuat tarik kering dan basah dari perekat ini adalah 1,0173 dan 0,7039 MPa. Penambahan asam sitrat berdampak terhadap peningkatan kekentalan perekat di setiap periode. Analisis morfologi menunjukkan bahwa penggunaan agen *crosslinker* berdampak terhadap tingkat homogenitas dari perekat. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa asam sitrat dengan persentase penambahan sebesar 2% dari berat tepung tapioka merupakan jenis agen *crosslinker* yang dapat meningkatkan kualitas dari perekat tepung tapioka-PVA.

Kata kunci: agen *crosslinker*, perekat alami, tepung tapioka

ABSTRACT

This research aimed to analyze the characteristics of adhesive using the variation of crosslinking agents. The types of crosslinking agents were citric acid and oxalic acid which have the capability to create a bond with cassava starch-PVA adhesive. The synthesis process was conducted through gelatinization, hydrolysis, oxidation, and polymerization. The reaction was run using a three-neck flask and mercury stirrer at 70 °C and 1 atm. The characteristic of adhesive such as viscosity, dry and wet shear strength, solid content, durability, and surface morphology was analyzed based on the standard. The result depicted that the use of citric acid as crosslinking agent influenced the quality of the adhesive. Citric acid is able to enhance the viscosity and the strength of the dry and wet shear strength of the adhesive. The exact value of the dry and wet shear strength of the adhesive are 1,0173 and 0,7039 MPa. The addition of citric acid has a big impact on the thickness of the adhesive during the period. The morphology of the adhesive showed that the use of crosslinking agent had a big impact on the homogeneity level of the adhesive. Therefore, it can be concluded that citric acid with 2% of composition from cassava starch weight is a suitable crosslinking agent to enhance the quality of cassava starch-PVA adhesive.

Keywords: adhesive, crosslinking agent, cassava starch

diunggah : September 2022, direvisi : Desember 2022, diterima : Desember 2022, dipublikasi : Desember 2022

Copyright (c) 2022 Bima Prasetya Pancasakti, Budhijanto, Vincent
This is an open access article under the CC-BY license

PENDAHULUAN

Perekat merupakan salah satu bahan yang sering digunakan di industri pengolahan kayu. Hingga saat ini, permintaan perekat kayu mengalami kenaikan yang signifikan (Kaboarani and Riedl 2011). Tingginya permintaan perekat kayu disebabkan karena peranan penting perekat dalam mendukung jalannya produksi di industri kayu (Xu, Wen, and Wang 2016). Beberapa jenis perekat kayu yang banyak digunakan di industri merupakan perekat sintesis turunan minyak bumi seperti fenol-formaldehid dan urea-formaldehid. Tingkat efektivitas daya rekat yang tinggi membuat dua jenis perekat tersebut lebih sering diminati dibandingkan jenis perekat lainnya (Jang, Huang, and Li 2011). Namun, kedua perekat sintesis tersebut memiliki kandungan zat organik volatil yang bersifat karsinogenik sehingga dapat mengancam kesehatan manusia. Salah satu alternatif yang sedang dikembangkan adalah penggunaan bahan baru terbarukan sebagai bahan baku perekat kayu. Bahan baku yang sering diteliti dalam beberapa tahun terakhir adalah tepung tapioka (Yu et al. 2016). Kemampuan tepung tapioka dalam membentuk gelatin dan memiliki daya rekat yang baik membuat bahan ini cocok sebagai salah satu bahan pembuatan perekat kayu alami.

Beberapa studi telah dilakukan untuk meningkatkan kualitas perekat kayu berbahan dasar tepung tapioka. Jenis modifikasi yang paling sering dilakukan adalah dengan melakukan proses hidrolisis asam, *graft polymerization*, oksidasi tepung tapioka, gelatinisasi dan sebagainya (Wang et al. 2012; Zhang et al. 2015). Namun, daya rekat yang dihasilkan oleh masing-masing studi belum menunjukkan hasil yang baik apabila dibandingkan dengan perekat sintesis. Salah satu penyebabnya karena adanya proses retrogradasi pati yang berdampak terhadap penurunan kualitas perekat tepung tapioka (Li et al. 2014). Oleh karena itu, beberapa studi melakukan penambahan senyawa lain seperti minyak nabati (Xing et al. 2018) dan polivinil alkohol (PVA).

Penambahan PVA pada perekat tepung tapioka merupakan salah satu alternatif yang dapat dilakukan dengan tujuan untuk membentuk suatu polimer dengan daya ikat yang lebih kuat. Untuk memastikan terbentuknya ikatan antara tepung tapioka dengan PVA, diperlukan adanya agen *crosslinker* yang mengandung gugus karboksil pada setiap ujung sisinya. Agen *crosslinker* yang sering dipelajari dalam proses polimerisasi tepung tapioka adalah penggunaan minyak nabati. Salah satu contoh minyak nabati yang sering digunakan adalah minyak canola (Kong, Liu, and Curtis 2011), minyak jarak (Gama, Ferreira, and Barros-Timmons 2019) dan beberapa minyak hasil pirolisis tumbuhan (Özbay and Ayrilmis 2015; Xing et al. 2018). Alasan penggunaan minyak nabati ini adalah banyaknya jumlah gugus karboksil yang dapat membentuk ikatan dengan tepung tapioka dan PVA (Gouater Issola et al. 2018). Namun, penambahan minyak ini dapat berdampak terhadap turunnya daya rekat perekat.

Pada penelitian ini, dilakukan variasi penggunaan agen *crosslinker* berupa asam sitrat dan asam oksalat dalam pembuatan perekat tepung tapioka dan PVA. Dipilihnya kedua senyawa ini dikarenakan adanya jumlah gugus karboksil yang lebih dari satu sehingga memungkinkan terbentuknya ikatan sebagai polimer antara tepung tapioka dan PVA. Hal ini dilakukan karena asam sitrat dan asam oksalat memiliki peluang untuk tidak menurunkan daya tarik dari perekat seperti minyak. Karakteristik sampel dengan masing-masing agen *crosslinker* yang berbeda dianalisis berdasarkan standar pengujian yang telah ditentukan. Pengujian tersebut diantaranya adalah viskositas, kuat tarik kering dan basah, kandungan padatan, umur perekat, dan analisis morfologi dari perekat.

METODE

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tepung tapioka (PT. Budi Acid Jaya Tbk), natrium lauril sulfat (SLS), polivinil alkohol (PVA) (CV. Gudang Kimia), ammonium

persulfate ((NH₄)₂S₂O₈) (LPPT UGM, Yogyakarta), asam klorida (HCl) 37%, asam sitrat (C₆H₈O₇), dan asam oksalat (C₂H₄O₂) (Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalis, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada), papan kayu (UD. Makmur Jaya).

Proses Sintesis Perekat

Tepung tapioka sebanyak 50-gram dilarutkan ke dalam 100 mL larutan HCl 0,5 M. Larutan yang telah bercampur kemudian dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan dipanaskan hingga mencapai suhu 70 °C dan tekanan 1 atm. Larutan kemudian diaduk dengan menggunakan pengaduk merkuri dengan kecepatan 500 rpm. Setelah 10 menit pengadukan, sebanyak 0,4-gram ammonium persulfat ditambahkan. Setelah proses berjalan selama 30 menit, 1-gram SLS dan 50 mL larutan PVA 10% (% berat kering tepung tapioka) dicampurkan ke dalam larutan. Proses dilanjutkan dengan penambahan agen *crosslinker* berupa asam sitrat dan asam oksalat dengan komposisi sebesar 2% dari berat kering tepung tapioka.

Analisis Viskositas Perekat

Viskositas dari sampel perekat diuji berdasarkan standar ASTM D1084 dengan menggunakan *Brookfield Viscometer*. Perekat yang telah disintesis dimasukkan ke dalam gelas Beaker sebanya 250 mL. *Spindle* dari viscometer kemudian dipasang dengan ukuran dan kecepatan (rpm) yang bergantung pada ketentatalan perekat. Viskositas dari sampel di monitor kemudian diamati hingga mencapai nilai konstan. Hasil yang diperoleh kemudian dicatat dengan nilai eror yang diizinkan sebesar 10%.

Analisis Kuat Tarik Kering

Kuat tarik kering dari perekat dianalisis dengan menggunakan standar ASTM D906. Sepasang potongan kayu berukuran 30 × 25 × 2 mm direkatkan dengan menggunakan jenis perekat yang diuji. Hasil perekat tekan dengan tekanan konstan sebesar 3,27 × 10⁻² N/mm² selama 24 jam. Sampel kayu kemudian disimpan di dalam ruang tertutup dengan *relative humidity* sebesar 50% selama tujuh hari. Kuat tarik dari perekat diuji dengan menggunakan *Universal Testing Machine* dengan kecepatan 2 mm/min. Kuat tarik dari sampel kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\sigma_t = \frac{W}{A \times 1000} \quad (1)$$

Dimana σ_t merupakan kuat tarik dari perekat (MPa), W merupakan gaya tarik maksimum (N) yang muncul pada monitor *Universal Testing Machine*, dan A merupakan luas area perekatan pada kayu (mm²). Pengambilan data diulang sebanyak lima kali untuk jenis sampel yang sama dan hasilnya dirata-rata.

Analisis Kuat Tarik Basah

Kuat tarik basah dari perekat dapat dianalisis dengan menggunakan standar ASTM D1183. Sepasang kayu dengan dimensi yang sama pada kuat tarik kering direkatkan dan ditekan dengan tekanan konstan sebesar 3,27 × 10⁻² N/mm² selama 24 jam. Sampel kemudian direndam di dalam air selama 24 jam dan dikeringkan pada suhu ruangan dengan *relative humidity* 50% selama tujuh hari. Setelah tujuh hari, sampel diuji dengan menggunakan *Universal Testing Machine* dengan kecepatan tarik 2 mm/min. Nilai kuat tarik basah dari perekat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2. Pengambilan data diulang sebanyak lima kali untuk jenis sampel yang sama dan hasilnya dirata-rata.

Analisis Kandungan Padatan

Kandungan padatan dari perekat dianalisis dengan menggunakan standar ASTM D2369. Sebanyak 1-gram sampel perekat diletakkan di atas cawan petri dan dioven pada suhu $110 \pm 2,5$ °C. Sampel kemudian didinginkan dan distabilkan kondisinya dengan menggunakan desikator selama 10 menit. Kandungan padatan yang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$S = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana S merupakan jumlah kandungan padatan (%), m_0 merupakan massa dari cawan petri (gram), m_1 merupakan massa cawan petri dan sampel sebelum pengovenan (gram), dan m_2 merupakan massa cawan petri setelah pengovenan (gram). Proses analisis diulangi sebanyak empat kali untuk jenis sampel yang sama dan hasilnya dirata-rata.

Analisis Umur Perekat

Umur atau ketahanan dari perekat dianalisis dengan menggunakan acuan dari standar ASTM D1337. Sampel yang telah disimpan di ruang tertutup dengan *relative humidity* sebesar 50% dianalisis viskositasnya setiap tujuh hari sekali selama 31 hari. Viskositas dari sampel dianalisis dengan menggunakan standar ASTM D1084.

Analisis Morfologi Perekat

Morfologi dari permukaan perekat dianalisis dengan menggunakan *Dinolite Microscope* dengan perbesaran mencapai 400 kali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, digunakan empat jenis sampel yang berbeda. Keempat sampel tersebut adalah sampel gelatin tepung tapioka (S-1), sampel perekat tepung tapioka-PVA (S-2), sampel perekat tepung tapioka-PVA dengan agen *crosslinker* asam sitrat (S-3), dan sampel perekat tepung tapioka-PVA dengan agen *crosslinker* asam oksalat (S-4). Masing-masing sampel kemudian dianalisis sesuai standar yang telah disebutkan sebelumnya.

Analisis Viskositas Perekat

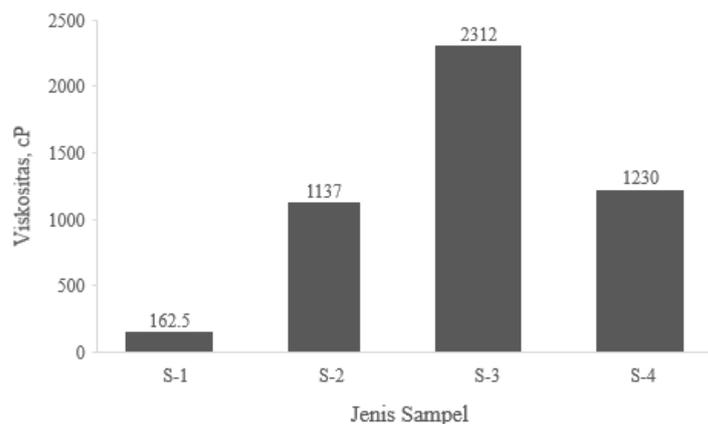
Pada penelitian, jenis *spindle* yang digunakan adalah *spindle* nomor 3 dengan kecepatan putaran sebesar 2 rpm untuk masing-masing sampel. Hasil analisis viskositas pada Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai viskositas minimum diperoleh oleh S-1 dengan nilai sebesar 162,5 cP. Nilai viskositas tertinggi diperoleh oleh sampel S-3 yang mana merupakan sampel tepung tapioka-PVA dengan menggunakan agen *crosslinker* berupa asam sitrat.

Viskositas perekat mengalami peningkatan ketika diberikan agen *crosslinker* pada campuran sampel tepung tapioka-PVA. Hal ini membuktikan bahwa kehadiran agen *crosslinker* di dalam campuran tepung tapioka-PVA membuat peluang terjadinya reaksi polimerisasi menjadi lebih besar. Semakin besarnya reaksi polimerisasi antara tepung tapioka-PVA dengan agen *crosslinker* yang ada, maka akan membuat larutan menjadi lebih kental. Level viskositas dari perekat ini akan berdampak terhadap kemampuan dari perekat untuk merekatkan kayu. Hasil viskositas pada masing-masing sampel ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Viskositas pada masing-masing sampel

Sampel	Viskositas (cP)
S1	162,5
S2	1137
S3	2312
S4	1230

Berdasarkan Gambar 1, dapat diketahui bahwa viskositas sampel S-3 lebih tinggi dibandingkan dengan sampel S-4. Peningkatan ini terjadi dikarenakan sampel S-3 yang merupakan sampel dengan agen *crosslinker* berupa asam sitrat memiliki gugus karboksi (-COOH) sebanyak tiga buah di setiap molekulnya. Di sisi lain, jumlah gugus karboksil untuk asam oksalat sendiri adalah sebanyak dua buah untuk setiap molekul. Hal ini yang menyebabkan peluang terjadinya reaksi polimerisasi antara tepung tapioka-PVA dengan asam sitrat jauh lebih besar dibandingkan dengan asam oksalat dan menyebabkan sampel dengan agen *crosslinker* asam sitrat menjadi lebih kental.

**Gambar 1. Viskositas pada masing-masing sampel**

Analisis Kuat Tarik Kering dan Basah

Salah satu sifat penting dari suatu perekat adalah nilai kuat tariknya. Pada penelitian ini, kuat tarik perekat diuji dengan membandingkan dua keadaan lingkungan, yaitu kering dan basah. Tujuan dari perlakuan ini adalah untuk mengetahui ketahanan kuat tarik dari perekat dalam keadaan berbagai kondisi. Gambar 2 menunjukkan bahwa kuat tarik kering dan basah perekat tertinggi diperoleh oleh sampel S-3 dengan nilai kuat tarik kering sebesar 1,0173 MPa dan kuat tarik basah sebesar 0,7039 MPa. Sedangkan hasil kuat tarik kering dan basah pada masing-masing sampel ditunjukkan pada Tabel 2.

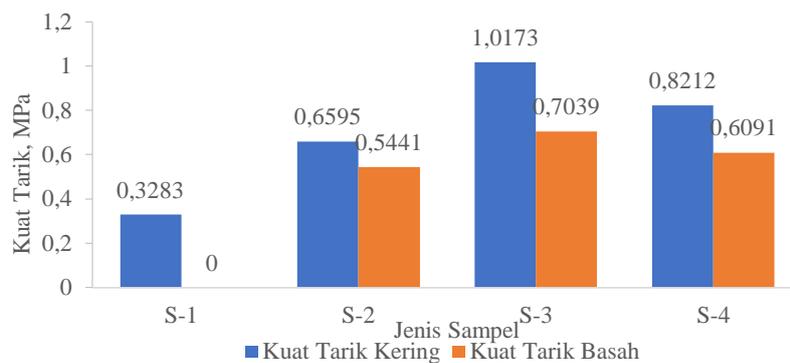
Tabel 2. Kuat tarik kering dan basah pada masing-masing sampel

Sampel	Kuat Tarik Kering (MPa)	Kuat Tarik Basah (MPa)
S1	0,3283	0
S2	0,6595	0,5441
S3	1,0173	0,7039
S4	0,8212	0,6091

Berdasarkan Gambar 2 dapat diamati bahwa kualitas kuat tarik dari perekat dengan adanya agen *crosslinker* lebih baik dibandingkan dengan tanpa adanya agen *crosslinker*. Hal ini dapat dibuktikan dengan tingginya nilai kuat tarik perekat pada sampel S-3 dan S-4 dibandingkan sampel S-2. Salah satu penyebab peningkatan kuat tarik perekat ini adalah karena adanya reaksi polimerisasi antara tepung tapioka-PVA dengan agen *crosslinker* yang baik sehingga membuat larutan perekat menjadi lebih homogen dan terikat cukup kuat.

Perekat yang memiliki tingkat homogenitas yang tinggi akan semakin mudah masuk kedalam pori-pori kayu sehingga membuat kualitas perekatan antara sampel dengan kayu maupun kayu dengan kayu menjadi lebih baik.

Dalam kondisi basah, kualitas kuat tarik perekat mengalami penurunan yang cukup signifikan. Hal ini dapat dibuktikan dimana semua sampel yang diuji memiliki nilai kuat tarik basah lebih rendah dibandingkan dengan kuat tarik kering. Apabila diamati lebih mendalam, dapat diketahui bahwa penurunan kualitas kuat tarik perekat dengan menggunakan agen *crosslinker* (S-3 dan S-4) jauh lebih besar dibandingkan tanpa adanya agen *crosslinker* (S-2). Fenomena ini dapat terjadi dikarenakan hasil reaksi polimerisasi kondensasi antara tepung tapioka-PVA dengan agen *crosslinker* yang dapat menghasilkan air (H₂O). Selain itu, banyaknya gugus polar yang terbentuk pada senyawa hasil reaksi membuat kelarutan senyawa produk perekat yang terbentuk menjadi lebih tinggi dibandingkan sebelumnya.



Gambar 2. Kuat tarik kering dan basah pada masing-masing sampel

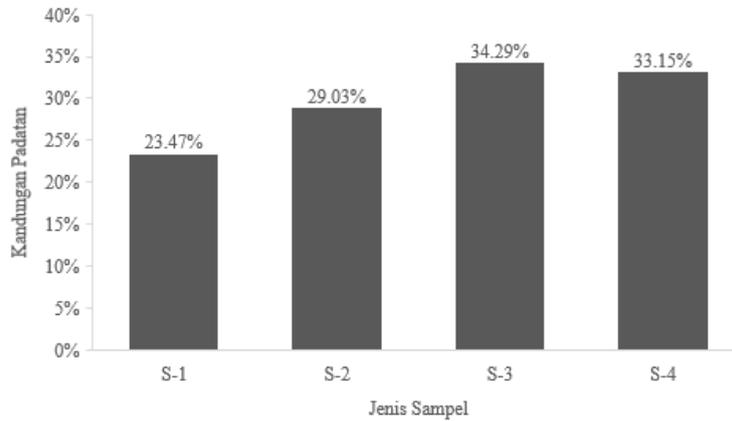
Analisis Kandungan Padatan

Analisis kandungan padatan pada perekat bertujuan untuk mengetahui tingkat volatilitas dari perekat sendiri. Semakin tinggi kandungan padatan pada perekat, maka semakin baik kualitas dari perekat tersebut. Hasil analisis pada Gambar 3 menunjukkan bahwa jumlah kandungan padatan pada sampel dengan adanya agen *crosslinker* lebih tinggi dibandingkan sampel tanpa adanya agen *crosslinker*. Hal ini dikarenakan hasil reaksi polimerisasi yang terbentuk yang membuat berat molekul senyawa padatan menjadi bertambah dibandingkan tanpa adanya agen *crosslinker*. Hasil analisis kandungan padatan pada masing-masing sampel ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kuat tarik kering dan basah pada masing-masing sampel

Sampel	Kandungan Padatan (%)
S1	23,47
S2	29,03
S3	34,29
S4	33,15

Nilai kandungan padatan tertinggi diperoleh oleh sampel S-3 dengan persentase sebesar 34,29%. Di sisi lain, sampel S-4 memiliki nilai kandungan padatan yang tidak cukup jauh, yaitu sebesar 33,15%. Selisih yang tidak terlalu signifikan pada kedua sampel ini dikarenakan jenis bahan dan berat molekul agen *crosslinker* yang digunakan tidak jauh berbeda. Oleh karena itu, hasil massa padatan yang diperoleh setelah pengovenan tidak terlalu berbeda. Apabila dibandingkan dengan sampel S-2 yang mana hanya mengandung tepung tapioka-PVA saja, dapat diamati bahwa berat massa molekul dari agen *crosslinker* seperti asam sitrat dan asam oksalat yang berpengaruh terhadap massa padatan.



Gambar 3. Persentase kandungan padatan pada masing-masing sampel

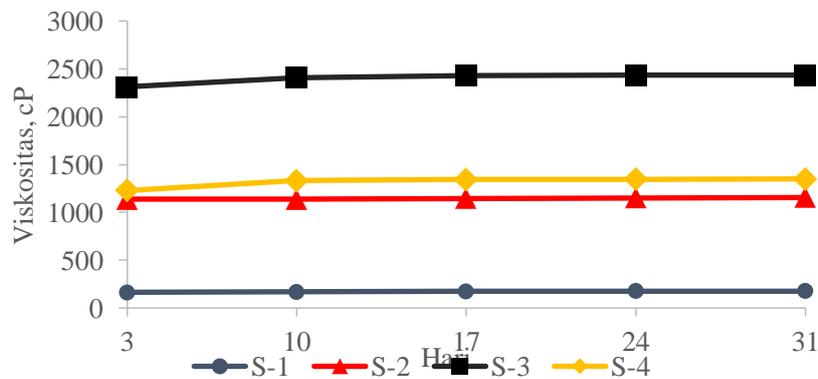
Analisis Umur Perekat

Umur perekat merupakan salah satu komponen yang penting untuk dianalisis dikarenakan berdampak pada kualitas dari perekat sendiri. Analisis umur perekat dapat dilakukan dengan melakukan pengamatan terhadap perubahan viskositas pada perekat. Semakin kental viskositas dari perekat, maka kualitas perekat tersebut akan menjadi kurang baik. Hal ini disebabkan sulitnya proses pengaplikasian perekat terhadap kayu apabila memiliki nilai viskositas yang tinggi.

Tabel 4. Viskositas sampel perekat pada setiap periode

Sampel	Viskositas Sampel Hari ke- (cP)				
	3	10	17	24	31
S1	162,5	170	176	178	178
S2	1137	1137	1145	1152	1156
S3	1230	1333	1345	1347	1350
S4	2312	2411	2432	2436	2436

Berdasarkan Gambar 4 dapat diamati bahwa viskositas dari setiap perekat pada awalnya mengalami peningkatan. Namun, seiring dengan berjalannya waktu, viskositas perekat mulai mencapai titik maksimum dan bernilai konstan. Sampel S-1 dan S-2 yang merupakan sampel tanpa adanya penambahan agen *crosslinker* menunjukkan bahwa sangat kecilnya perubahan viskositas perekat pada setiap waktu uji. Di sisi lain, untuk sampel S-3 dan S-4, pada mulanya mengalami perubahan viskositas dari hari ke-3 hingga hari ke-10. Setelah 10 hari waktu uji, viskositas dari perekat cenderung tidak mengalami perubahan yang signifikan.

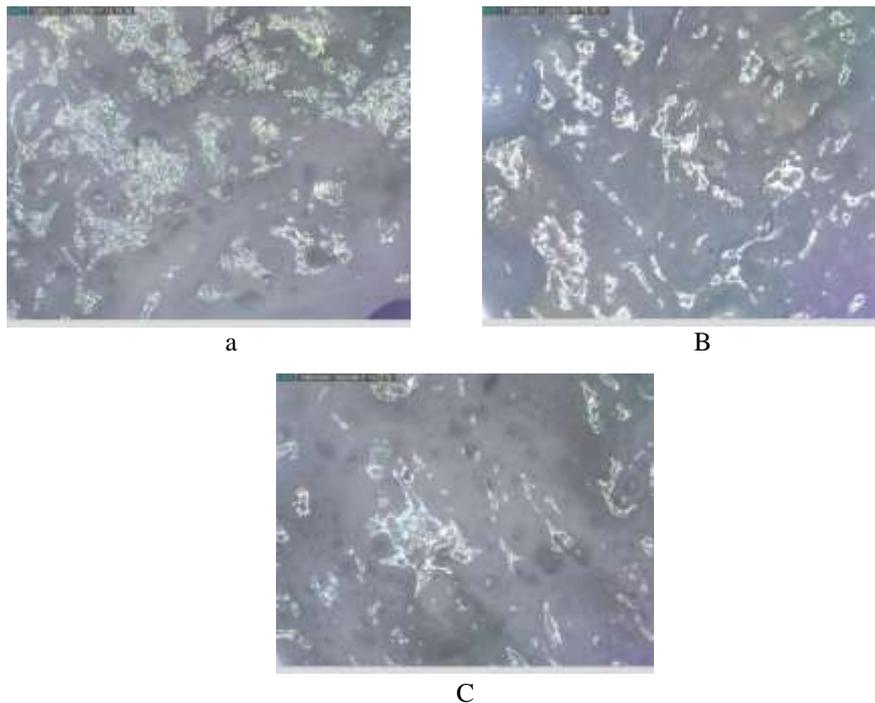


Gambar 4. Viskositas masing-masing sampel setiap periode

Analisis Morfologi Perekat

Untuk memahami mengenai perubahan yang dialami oleh perekat tanpa dan dengan adanya agen *crosslinker*, dilakukan pengamatan terhadap morfologi perekat dengan bantuan mikroskop. Hal ini bertujuan untuk mengetahui ciri fisik dari perekat yang terbentuk dan pengaruhnya terhadap karakteristik fisik lainnya. Pada penelitian ini, sampel tepung tapioka-PVA (S-2), tepung tapioka-PVA dan agen *crosslinker* asam sitrat (S-3), serta tepung tapioka-PVA dan agen *crosslinker* asam oksalat (S-4) dianalisis dengan menggunakan mikroskop dinolite perbesaran 400 kali.

Berdasarkan hasil analisis, dapat diamati bahwa pada mulanya sampel perekat S-2 (Gambar 5a) tidak terlalu homogen. Hal tersebut dibuktikan dengan banyaknya bagian yang tidak terlarut di dalam perekat. Di sisi lain, setelah penambahan asam sitrat (Gambar 5b) dan asam oksalat (Gambar 5c), tingkat homogenitas dari perekat semakin bertambah. Peningkatan tingkat homogenitas terhadap morfologi dari perekat membuktikan bahwa agen *crosslinker* dapat memperbaiki struktur morfologi dari perekat. Semakin homogen campuran dari perekat, maka akan semakin baik kualitas perekat tersebut.



Gambar 5. Morfologi dari tiap-tiap sampel dimana (a) S-2, (b) S-3, dan (c) S-4

SIMPULAN

Penambahan agen *crosslinker* terhadap perekat tepung tapioka-PVA memiliki dampak yang besar terhadap kualitas perekat itu sendiri. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, penggunaan agen *crosslinker* berupa asam sitrat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kualitas perekat. Meskipun sampel ini memiliki nilai viskositas tertinggi sebesar 2.312 cP, namun sampel ini menunjukkan kualitas yang baik pada kuat tarik kering dan basah sebesar 1,0173 MPa dan 0,7039 MPa. Kandungan padatan pada sampel ini adalah 34,29% dengan perubahan kualitas perekat sepanjang periode yang tidak terlalu signifikan. Analisis morfologi menunjukkan bahwa penambahan agen *crosslinker* berdampak terhadap tingkat homogenitas dari perekat. Untuk penelitian selanjutnya, analisis pengaruh suhu, rasio *crosslinker* dan tepung tapioka serta jenis tepung dapat ditambahkan untuk mengetahui

komposisi maksimum dari perekat alami yang dapat memiliki karakteristik dan kemampuan perekatan yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Gama, Nuno, Artur Ferreira, and Ana Barros-Timmons. 2019. "Cure and Performance of Castor Oil Polyurethane Adhesive." *International Journal of Adhesion and Adhesives* 95(July): 102413. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.102413>.
- Gouater Issola, A. G., A. Ngueteu Kamlo, A. M. Cheumani Yona, and M. Kor Ndikontar. 2018. "Chemical Modification of Cassava Starch by Transesterification Using Vegetable Oil/Aluminum Chloride." *Journal of Renewable Materials* 6(6): 642–50.
- Jang, Yonghwan, Jian Huang, and Kaichang Li. 2011. "A New Formaldehyde-Free Wood Adhesive from Renewable Materials." *International Journal of Adhesion and Adhesives* 31(7): 754–59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2011.07.003>.
- Kaboorani, Alireza, and Bernard Riedl. 2011. "Effects of Adding Nano-Clay on Performance of Polyvinyl Acetate (PVA) as a Wood Adhesive." *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 42(8):1031–39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.04.007>.
- Kong, Xiaohua, Guoguang Liu, and Jonathan M. Curtis. 2011. "Characterization of Canola Oil Based Polyurethane Wood Adhesives." *International Journal of Adhesion and Adhesives* 31(6): 559–64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2011.05.004>.
- Li, Zhaofeng et al. 2014. "Improving the Performance of Starch-Based Wood Adhesive by Using Sodium Dodecyl Sulfate." *Carbohydrate Polymers* 99: 579–83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.062>.
- Özbay, Günay, and Nadir Ayrilmis. 2015. "Bonding Performance of Wood Bonded with Adhesive Mixtures Composed of Phenol-Formaldehyde and Bio-Oil." *Industrial Crops and Products* 66: 68–72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.12.028>.
- Wang, Zhenjiong et al. 2012. "Preparation, Characterization and Properties of Starch-Based Wood Adhesive." *Carbohydrate Polymers* 88(2): 699–706. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.01.023>.
- Xing, Jingchen et al. 2018. "Development and Characterization of a New Bio-Adhesive for Wood Using Cassava Starch and Bio-Oil." *International Journal of Adhesion and Adhesives* 87(September): 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2018.09.005>.
- Xu, Qing, Jianping Wen, and Zhenjiong Wang. 2016. "Preparation and Properties of Cassava Starch-Based Wood Adhesives." *BioResources* 11(3): 6756–67.
- Yu, Hongwei, Qun Fang, Yuan Cao, and Zhikun Liu. 2016. "Effect of HCl on Starch Structure and Properties of Starch-Based Wood Adhesives." *BioResources* 11(1): 1721–28.
- Zhang, Yanhua et al. 2015. "Preparation and Properties of a Starch-Based Wood Adhesive with High Bonding Strength and Water Resistance." *Carbohydrate Polymers* 115: 32–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.08.063>.