

Analisis Kuat Geser Perakat Alami Berbahan *Soy Protein Isolate* dengan Variasi Natrium Sulfit dan Asam Oksalat

The Shear Strength Analysis of Bioadhesive Based on Soy Protein Isolate with Variation of Sodium Sulphite and Oxalic Acid

Steven Koesman, Budhijanto*, David Bennet, Bima Pancasakti

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2, D.I. Yogyakarta, 55281, Indonesia

*Email: budhijanto@ugm.ac.id

Article history:

Diterima : 5 Mei 2023
Direvisi : 26 Juni 2023
Disetujui : 14 Juli 2023
Mulai online : 28 September 2023

E-ISSN: 2337-4888

How to cite:

Steven Koesman, Budhijanto, David Bennet, Bima Pancasakti. (2023). Analisis Kuat Geser Perakat Alami Berbahan *Soy Protein Isolate* dengan Variasi Natrium Sulfit dan Asam Oksalat. Jurnal Teknik Kimia USU, 12(2), 62-69.

ABSTRAK

Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan perekat alami dalam dunia medis sudah menjadi hal yang umum. Penggunaan perekat alami ini dapat mempermudah proses penyembuhan luka di dalam tubuh karena perekat alami terbuat dari bahan alami yang dapat didegradasi dan diproses untuk dikeluarkan oleh tubuh dengan sendirinya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas dari perekat alami yang terbuat dari bahan utama *soy protein isolate* (SPI). SPI merupakan bahan yang memiliki tingkat keamanan *food-grade*, sehingga tidak berbahaya bagi tubuh. Proses pembuatan perekat ini meliputi dua proses, yaitu denaturasi protein dan *crosslinking* dengan asam oksalat. Proses tersebut dilakukan pada suhu 55 °C dan tekanan atmosfer selama 30 menit dan 10 menit. Analisis yang dilakukan adalah kuat geser kering, kuat geser basah, viskositas, *solid content*, dan *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR). Berdasarkan hasil analisis tersebut, kuat geser kering diperoleh sebesar 1,9051 MPa dan kuat geser basah sebesar 1,6093 MPa.

Kata kunci: asam oksalat; kuat geser; natrium sulfit; perekat alami; *soy protein isolate*

ABSTRACT

Along with the technology development, the use of bioadhesive for medical purpose is a common thing. The purpose of this bioadhesive is to give support for the medication because it can be decomposed and ejected by human body. This research aims to analyze the quality of bioadhesive made of soy protein isolate (SPI) as main ingredient. SPI has food-grade level of safety, thus it is safe for human body. This bioadhesive is made by two main processes: denaturation of protein and acid crosslinking. The processes are done under condition of 55 °C and atmospheric pressure for 30 minutes and 10 minutes. Shear strength, wet shear strength, viscosity, solid content, and fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis were done to find out the impact of oxalic acid addition. The best shear strength result obtained was 1.9051 MPa and wet shear strength result was 1.6093 MPa.

Keyword: bioadhesive; oxalic acid; shear strength; soy protein isolate; sodium sulphite



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v12i2.11929>

1. Pendahuluan

Perekat adalah suatu material yang digunakan untuk merekatkan suatu benda secara permanen melalui proses perekatan [1]. Perekat yang umum digunakan biasanya merupakan perekat sintetis. Akan tetapi, perekat tersebut memiliki kekurangan, yaitu kandungan formaldehida yang terdapat pada perekat dengan mudah melepas senyawa organik ke udara, yang mana formaldehida adalah bahan yang beracun dan bersifat karsinogenik. Selain itu, terdapat perekat *polyvinyl alcohol* (PVAc) yang terindikasi tidak aman karena mengandung *lysegic acid diethylamide* (LSD) sehingga dapat menyebabkan halusinasi apabila terhirup dalam konsentrasi tertentu. Hal tersebut dapat menjadi ancaman kesehatan bagi orang yang bekerja dengan menggunakan perekat tersebut [2].

Bioadhesive merupakan perekat yang terbuat dari bahan-bahan alami, seperti getah karet, kasein, pati, kitosan, dan lain-lain [3]. Perekat alami memiliki kelebihan, seperti tidak beracun, sehingga sangat cocok untuk digunakan sebagai pengganti perekat-perekat sintetis yang banyak digunakan serta tidak berdampak negatif ke lingkungan sekitar. Untuk saat ini, *bioadhesive* yang sudah banyak dikembangkan digunakan untuk keperluan medis dan sebagai pengganti perekat sintetis. Akan tetapi, *bioadhesive* tersebut masih memiliki kekurangan seperti umur yang relatif pendek karena mudah ditumbuhi oleh jamur dan mikroba karena perekat alami mengandung nutrisi yang dibutuhkan oleh jamur dan mikroba untuk hidup [4]. Untuk daya rekat, *bioadhesive* yang telah dikembangkan juga tidak kalah dengan perekat sintetis dan bahkan dapat ditingkatkan seiring dengan penelitian yang telah dilakukan.

Dalam dunia medis, perekat juga mulai digunakan dalam berbagai macam prosedur medis. Pada umumnya, perekat dalam dunia medis digunakan untuk merekatkan tulang, organ pencernaan, pembuluh darah, dan bagian sayatan operasi. Perekat yang digunakan juga harus memiliki spesifikasi khusus, seperti tidak beracun, dapat didegradasi oleh tubuh, tidak menyebabkan kerusakan tubuh, dan tidak menyebabkan alergi atau respon tubuh yang negatif. Oleh karena itu, perlu adanya perekat yang dibuat dari bahan-bahan alami yang memiliki sifat-sifat tersebut, tanpa mengurangi daya rekat dari perekat tersebut [5].

Pada penelitian ini, *bioadhesive* dibuat dari bahan alami, yaitu *soy protein isolate* (SPI) yang berasal dari kacang kedelai yang dikeringkan. Bahan ini terdiri dari berbagai macam protein dengan konsentrasi minimal 90% [6, 7]. Bahan ini banyak digunakan pada industri makanan sebagai penambah nutrisi berupa protein [8]. Bahan lainnya adalah natrium sulfit sebagai denaturan dan *crosslinker* asam oksalat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas *bioadhesive* yang dihasilkan dan pengaruh dari bahan-bahan yang digunakan.

2. Metode

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari – Oktober 2021, di Kota Yogyakarta. Suhu udara pada lokasi saat penelitian dilaksanakan berada pada rentang 28 °C – 30 °C pada tekanan atmosferis.

Bahan *Bioadhesive*

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian adalah SPI sebagai bahan utama, *aquadest* yang digunakan sebagai pelarut, asam oksalat sebagai *crosslinker* sekaligus katalis, natrium sulfit digunakan sebagai denaturan protein, serta papan kayu sebagai media analisis kuat tarik dari *bioadhesive*.

Pembuatan Perekat

SPI sebanyak 15 g dan *aquadest* sebanyak 85 mL dicampur di dalam gelas beker. Kemudian, campuran diaduk secara manual menggunakan gelas pengaduk hingga terbentuk *slurry*. Setelah itu, pengadukan selanjutnya dilakukan secara kontinyu selama reaksi berlangsung dengan bantuan *hot plate stirrer*. Suhu diatur pada skala 55 °C – 60 °C dan kecepatan pengadukan menyesuaikan. Larutan SPI tersebut dipanaskan dan dipertahankan suhunya pada 55 °C – 60 °C selama lima menit. Natrium sulfit (denaturan) sebanyak 0,6 g ditambahkan ke dalam larutan SPI, kemudian pengadukan dilakukan selama 30 menit. Pembuatan sampel diulangi untuk natrium sulfit sebanyak 0,8 g, 1 g, 1,2 g, dan 1,4 g. Asam oksalat sebanyak 8 g ditambahkan ke dalam sampel dan pengadukan dilanjutkan selama 10 menit. Pembuatan sampel diulangi untuk asam sebanyak 10 g, 12 g, 14 g, dan 16 g. Setelah reaksi selesai, perekat dimasukkan ke wadah untuk diperam selama 1 hari.

Analisis Viskositas

Setelah perekat diperam selama 1 hari, perekat dianalisis viskositasnya menggunakan Viskosimeter Brookfield menurut ASTM-D1084. Perekat sebanyak 100 mL – 150 mL dimasukkan ke dalam wadah. Pemilihan ukuran *spindle* dan kecepatan putaran diatur berdasarkan kekentalan perekat. *Spindle* yang sudah sesuai dipasang pada alat dan kecepatan putaran diatur. Viskositas dicatat saat torsi sudah menunjukkan angka 10% – 90%.

Analisis Kandungan Padatan

Perekat ditimbang sebanyak 1 g dan diletakkan pada *petri dish*. Oven dipanaskan hingga suhu 100 °C, kemudian perekat dipanaskan di dalam oven selama 1 jam. Setelah itu, sampel didinginkan pada desikator selama 10 menit dan sampel ditimbang. Percobaan diulangi sebanyak 2 kali sesuai dengan metode ASTM.

Analisis Kuat Geser Kering dan Basah

Pada pengujian kuat geser kering, perekat diaplikasikan ke papan kayu berukuran 3 × 2,5 × 1 cm sebanyak ± 0,1 g mengikuti standar ASTM-D906. Setiap sampel diaplikasikan ke 5 pasang kayu. Sampel yang sudah direkatkan, diberi beban tekanan sebesar 3,27 × 10⁻² N/mm² dan didiamkan pada suhu ruangan 25 °C – 30 °C. Setelah 1 hari, beban dilepas dan sampel didiamkan selama 7 hari sebelum dilakukan pengujian. Selanjutnya, kuat geser sampel diuji menggunakan *Universal Testing Machine* dengan kecepatan penarikan 10 mm/menit. Untuk pengujian kuat geser basah, prosedur yang sama diulangi hanya sebelum pengujian sampel direndam di dalam air selama 3 jam terlebih dahulu, kemudian dikeringkan selama 1 jam. Langkah selanjutnya sama dengan pengujian kuat geser kering di atas.

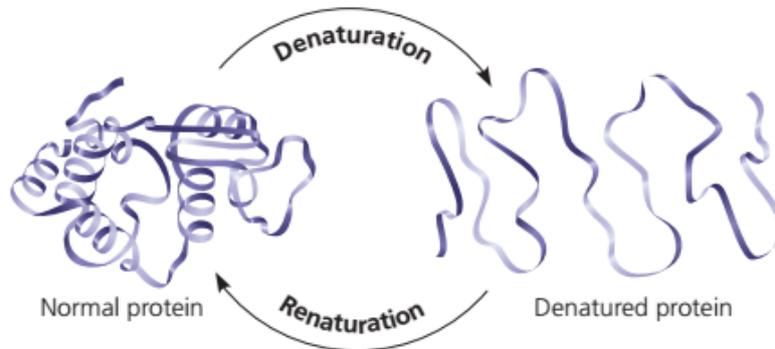
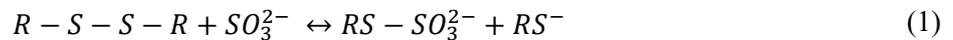
Analisis Gugus Fungsi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

Penganalisan gugus fungsi dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer FTIR Mb 3000.

3. Hasil

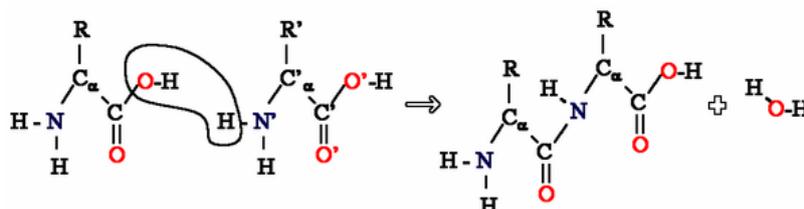
Mekanisme Reaksi Pembuatan Perekat Alami

Ada beberapa reaksi yang terjadi dalam percobaan ini, diantaranya reaksi denaturasi protein dan reaksi polimerisasi. Denaturasi adalah suatu proses, baik *reversible* maupun *irreversible*, yang dapat mengubah struktur protein tanpa pemutusan ikatan kovalen, kecuali ikatan disulfida [9][10]. Proses denaturasi ini menyebabkan struktur protein yang semula berstruktur kuartener menjadi struktur primer. Proses denaturasi bertujuan untuk membuka gugus-gugus fungsi dalam protein, sehingga gugus-gugus fungsi tersebut dapat berikatan dengan senyawa lain [11]. Pada penelitian ini, digunakan denaturan berupa natrium sulfit. Gambar 1 menunjukkan reaksi perubahan struktur SPI dalam proses denaturasi.



Gambar 1. Proses denaturasi SPI

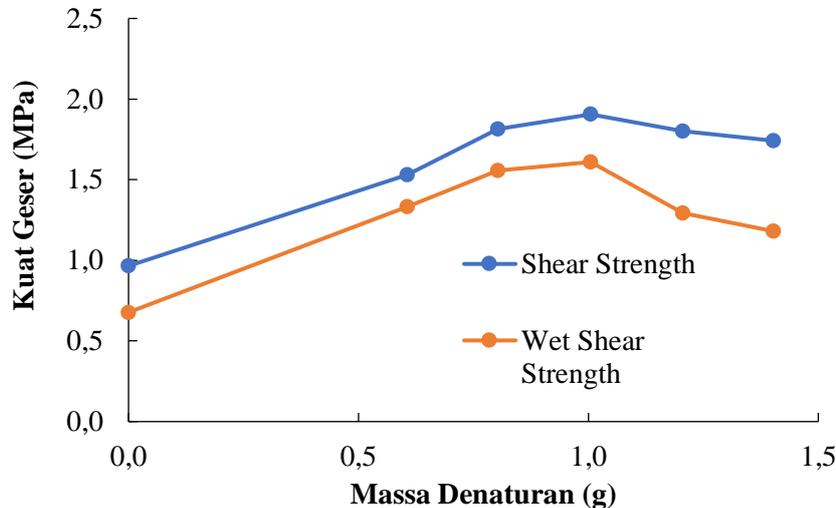
Reaksi yang kedua adalah reaksi polimerisasi ketika protein yang telah terdenaturasi bereaksi dengan asam oksalat membentuk poliamida. Pada penelitian ini, reaksi yang terjadi adalah reaksi polimerisasi kondensasi ketika senyawa yang melepas gugus hidroksil adalah asam oksalat dan yang melepas ion hidrogen adalah gugus amin pada protein. Kedua senyawa yang sudah melepas gugus hidroksil dan ion hidrogen akan saling berikatan membentuk poliamida. Poliamida adalah suatu polimer yang mengandung gugus amida sebagai penyusun rantai induk suatu polimer [12]. Gambar 2 adalah reaksi polimerisasi yang terjadi.



Gambar 2. Reaksi polimerisasi kondensasi membentuk poliamida

Analisis Kuat Geser pada Denaturan

Analisis kuat geser kering dan basah dilakukan untuk mengetahui daya rekat dari *bioadhesive* dalam kondisi kering dan kondisi setelah direndam di dalam air. Pengujian ini dilakukan dengan standar ASTM-D906 untuk kuat geser kering dan ASTM-D1183 untuk kuat geser basah. Pengujian dilakukan dengan menguji 5 sampel untuk masing-masing kuat geser kering dan basah. Kelima sampel dibuat agar mendapat perlakuan sama, sehingga hasil kuat geser yang didapat akurat.



Gambar 3. Kuat geser kering dan basah pada berbagai massa denaturan

Berdasarkan hasil penelitian, kuat geser kering untuk SPI adalah 0,9653 MPa dan kuat geser basah sebesar 0,6775 MPa. Dari hasil pengujian SPI dan denaturan (D), didapat bahwa kuat geser optimal tercapai ketika massa denaturan 1 g (rasio berat SPI:D = 15:1). Kuat geser kering optimum untuk SPI dan denaturan adalah 1,9051 MPa dan kuat geser basah sebesar 1,6093 MPa. Setelah mendapat jumlah denaturan yang optimal, dilakukan penambahan asam oksalat (O) dan didapat massa asam oksalat yang optimal adalah 12 g (rasio berat SPI:D:O=15:1:12) dengan kuat geser kering sebesar 1,4301 MPa dan kuat geser basah sebesar 1,1667 MPa.

Berdasarkan Gambar 3, tampak bahwa kuat geser maksimum dicapai ketika massa denaturan 1 g (SPI:denaturan = 15:1). Pada massa denaturan kurang dari 1 g, kuat geser semakin meningkat seiring dengan penambahan denaturan. Hal ini disebabkan karena protein dalam SPI didenaturasi, sehingga gugus-gugus fungsional dari protein dapat mengikat gugus hidroksil dari kayu. Semakin banyak protein yang terdenaturasi, semakin banyak gugus fungsional yang muncul, sehingga kuat geser dari perekat meningkat. Hal ini sesuai dengan teori adhesi, yaitu *chemical theories* [13]. Akan tetapi, ketika denaturan lebih dari 1 g, kuat geser menjadi turun. Hal ini dapat terjadi karena seluruh protein telah terdenaturasi, sehingga penambahan dari denaturan hanya akan menambah pengotor yang tidak memiliki sifat *adhesive* ke dalam *bioadhesive* yang dibuat.

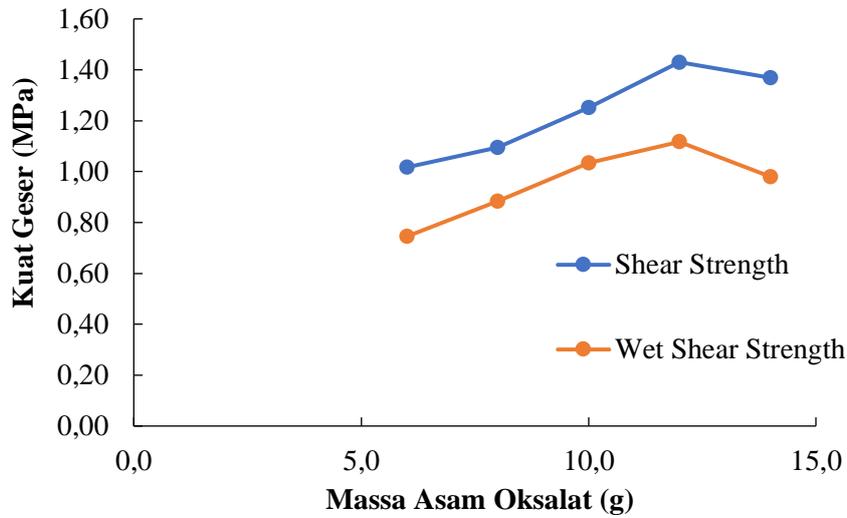
Analisis Kuat Geser terhadap Asam Oksalat

Berdasarkan Gambar 4, tampak bahwa kuat geser kering dan kuat geser basah terus meningkat seiring penambahan asam oksalat dan mencapai optimum pada variasi massa asam oksalat 12 g (SPI:D:O = 15:1:12), kemudian kuat geser kembali turun. Hal ini dapat terjadi karena seluruh protein telah bereaksi dengan asam oksalat, sehingga penambahan asam oksalat sudah tidak membentuk poliamida dan hanya menambah pengotor dalam *bioadhesive* tersebut.

Berdasarkan Gambar 3 dan Gambar 4, tampak bahwa kuat geser basah memiliki nilai yang lebih kecil dari kuat geser kering. Hal ini disebabkan karena adanya air yang menyebabkan gugus fungsi pada perekat sulit bereaksi dengan gugus hidroksil pada substrat. Selain itu, air juga menyebabkan penurunan konsentrasi perekat (terjadi pengenceran), sehingga kualitas perekat menjadi turun dan daya rekat juga berkurang.

Penambahan asam oksalat pada SPI yang telah terdenaturasi menyebabkan penurunan kuat geser meskipun memiliki tren naik sampai massa asam oksalat 12 g (optimal). Penambahan asam oksalat berfungsi sebagai *crosslinker* yang bertujuan untuk mengikat protein yang telah terdenaturasi membentuk poliamida dan menambah gugus fungsi karboksilat untuk membantu perekatan dengan substrat [14]. Akan tetapi, penambahan asam oksalat menyebabkan terjadinya reaksi intra perekat, sehingga gugus-gugus yang

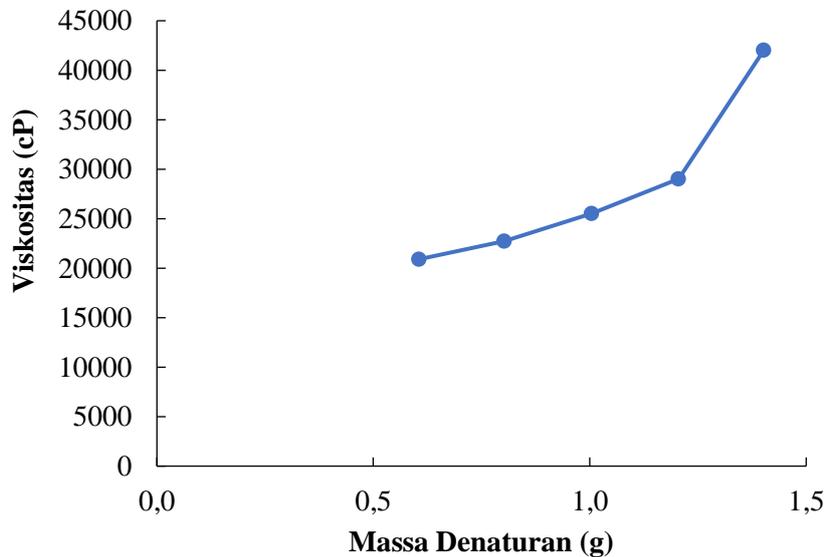
seharusnya dipersiapkan untuk bereaksi dengan gugus hidroksil dari substrat telah bereaksi sebelum perekat diaplikasikan. Hal tersebut menjadi penyebab penurunan kuat geser setelah penambahan asam oksalat.



Gambar 4. Kuat geser kering dan basah pada berbagai massa asam oksalat

Analisis Viskositas

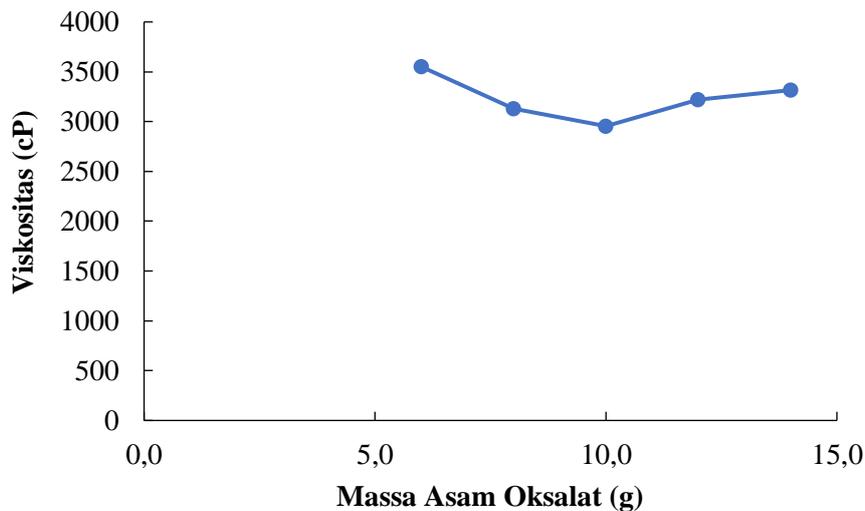
Pengujian viskositas dilakukan dengan Viskosimeter Brookfield dan *spindle* yang digunakan adalah *spindle* 4. Analisis ini dilakukan dengan standar ASTM-D1084. *Spindle* 4 dipilih karena *bioadhesive* yang terbentuk sangat kental. Pembacaan dilakukan ketika nilai viskositas sudah konstan dan persen torsi berada pada *range* 10% - 90%. *Bioadhesive* yang dihasilkan merupakan fluida non-newtonian yang mana fluida ini memiliki viskositas yang terus-menerus berkurang seiring dengan bertambahnya durasi pemutaran *spindle* [15]. Berdasarkan hasil percobaan, diketahui bahwa viskositas dari SPI yang telah dilarutkan tidak dapat terukur viskositasnya karena berwujud *slurry* dan tidak mengalir. Gambar 5 dan Gambar 6 adalah grafik viskositas untuk SPI dan denaturan dan SPI, denaturan, dan asam oksalat.



Gambar 5. Viskositas pada berbagai massa denaturan

Berdasarkan Gambar 5 dapat diketahui bahwa viskositas memiliki tren naik seiring dengan penambahan massa denaturan. Hal ini sudah sesuai dengan teori yang ada, yaitu jika protein didenaturasi maka viskositasnya akan meningkat [16]. Viskositas yang terukur masih jauh lebih tinggi dari perekat komersial yang ada. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Liu dkk (2017), viskositas untuk perekat alami berbahan dasar *soy protein isolate* sebesar 500 cP hingga 75.000 cP [17].

Berdasarkan Gambar 6, tampak bahwa viskositas *bioadhesive* relatif konstan pada berbagai massa asam oksalat. Hal ini disebabkan karena reaksi polimerisasi juga menghasilkan air, sehingga *bioadhesive* yang terbentuk menjadi lebih encer [18].

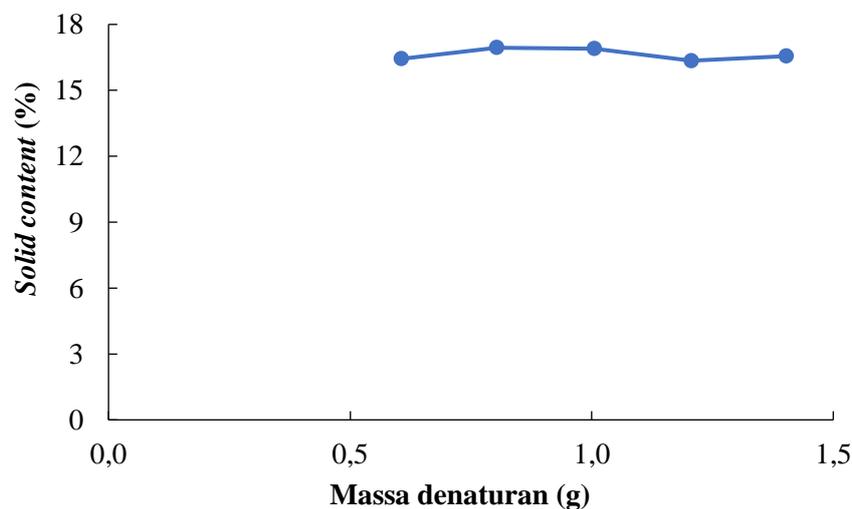


Gambar 6. Viskositas pada berbagai massa asam oksalat

Analisis Kandungan Padatan

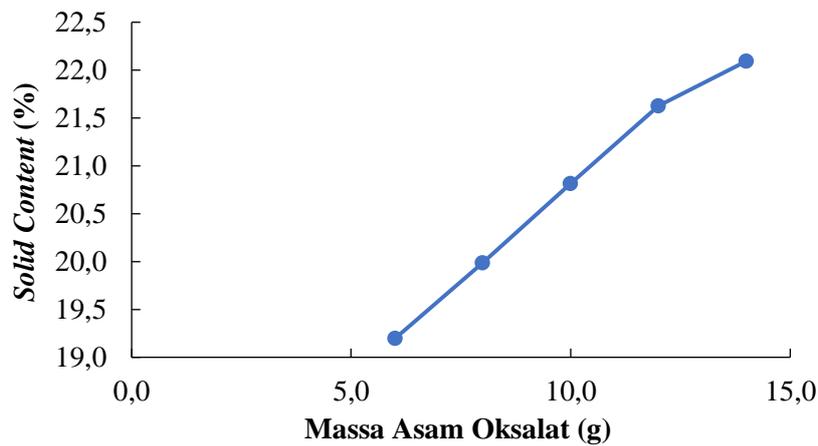
Analisis *solid content* bertujuan untuk mengetahui kandungan padatan dalam *bioadhesive* yang dibuat. Pengujian ini dilakukan dengan menguapkan cairan dalam *bioadhesive* dalam oven sampai *bioadhesive* menjadi kering. Cairan yang diuapkan berupa solven dalam *bioadhesive* berupa air. Gambar 7 dan Gambar 8 merupakan hasil dari perobaan yang telah dilakukan.

Berdasarkan Gambar 7, kandungan *solid content* pada SPI dan denaturan relatif konstan. Hal ini disebabkan karena penambahan denaturan yang hanya sedikit, sehingga pengaruh pada *solid content* tidak begitu tampak.



Gambar 7. *Solid content* pada berbagai massa denaturan

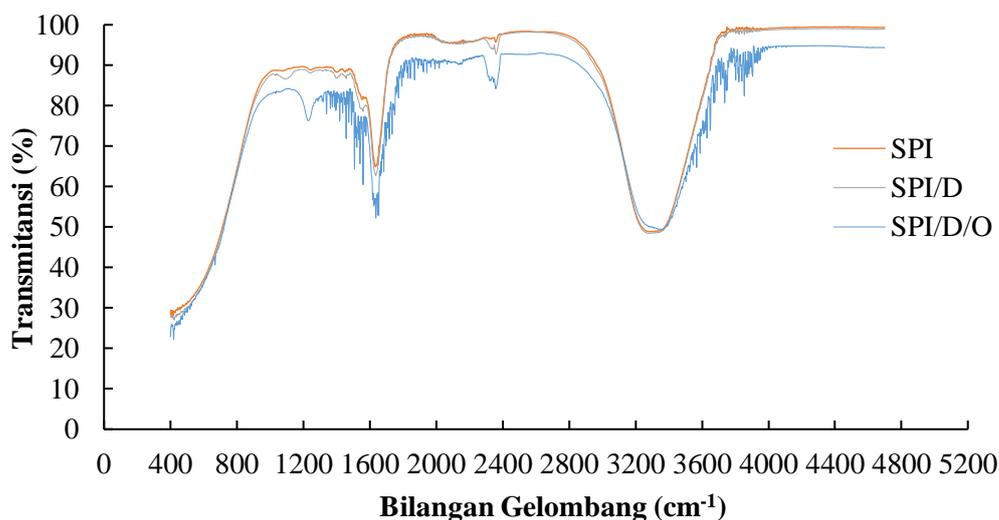
Berdasarkan Gambar 8, tampak bahwa kandungan *solid content* pada SPI, denaturan, dan asam oksalat memiliki tren naik seiring dengan penambahan asam oksalat. Hal ini dapat terjadi karena jumlah senyawa yang ditambahkan relatif lebih banyak, sehingga kandungan selain solven semakin banyak. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa *solid content* SPI, denaturan, dan asam oksalat berkisar antara 19,20% - 22,09% dengan *solid content* sampel optimal (SPI:D:O=15:1:12) sebesar 21,63%.



Gambar 8. *Solid content* pada berbagai massa asam oksalat

Analisis FTIR

Analisis FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang ada di dalam *bioadhesive* yang dibuat. Analisis FTIR hanya dilakukan pada sampel blangko (pelarut air), SPI dan denaturan optimal, dan SPI, denaturan, dan asam oksalat optimal yang ditampilkan pada Gambar 9. Panjang gelombang yang digunakan berkisar antara 4000 cm^{-1} hingga 400 cm^{-1} dengan resolusi 4 cm^{-1} dan 32 *scanning*.



Gambar 9. Hasil pengujian FTIR

Gambar 9 menunjukkan hasil analisis dari sampel SPI, SPI/D, dan SPI/D/O. Berdasarkan Gambar 9, terdapat beberapa *peak* yang muncul. Untuk sampel SPI dan sampel SPI/D tidak jauh berbeda karena kedua sampel tersebut memiliki kandungan yang sama, hanya di bagian SPI/D memiliki lebih banyak gugus fungsi yang muncul akibat dari reaksi denaturasi yang terjadi, sedangkan pada sampel SPI/D/O memiliki perbedaan dibanding dengan sampel lainnya. Pada sampel SPI/D/O terlihat bahwa terdapat banyak *peak* pada 1225 cm^{-1} – 1549 cm^{-1} , yang mana *peak* ini menunjukkan banyaknya kandungan dari C=O amida pada sampel. Hal tersebut membuktikan bahwa ikatan poliamida terbentuk pada sampel SPI/D/O.

4. Kesimpulan

Penambahan denaturan berupa natrium sulfit dapat meningkatkan kuat geser *bioadhesive*. Akan tetapi, penambahan asam oksalat menurunkan kuat geser *bioadhesive*. Viskositas dari *bioadhesive* yang dihasilkan meningkat seiring dengan penambahan denaturan dan turun setelah penambahan asam oksalat. Viskositas cenderung konstan terhadap variasi asam oksalat. *Solid content* meningkat seiring dengan penambahan asam oksalat. Pada analisis kuat geser, kuat geser kering optimum diperoleh sebesar 1,9051 MPa dan kuat geser basah sebesar 1,6093 MPa. Agar dapat meningkatkan efektivitas dari perekat alami, dapat dicari metode lain

dengan alat pengaduk yang lebih baik agar dapat meningkatkan kuat geser dari perekat alami. Selain itu, dapat dicari bahan pengawet bagi perekat alami ini agar umur perekat dapat bertahan lebih lama.

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada (UGM) yang telah mendanai penelitian ini.

6. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] S. Ebnesajjad and A. H. Landrock, *Adhesives Technology Handbook*, 3rd ed. London: Elsevier, 2015.
- [2] I. N. Eskani, R. Widiastuti, and N. N. Lathifah, “Karakterisasi perekat alami dari tumbuhan untuk industri kerajinan,” in *Seminar Nasional Teknologi Industri Hijau*, 2017.
- [3] Vincent, B. P. Pancasakti, and Budhijanto, “Pengaruh penambahan minyak kelapa murni terhadap sifat perekat berbahan dasar tepung tapioka,” *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 11, no. 1, pp. 1–7, 2022.
- [4] A. R. A. Santosa, A. S. Zain, B. P. Pancasakti, and Budhijanto, “Analisis kuat tarik dan umur perekat poliamida berbasis gelatin dan asam adipat dengan variasi jumlah minyak sawit sebagai pemlastis,” *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 11, no. 2, pp. 64–71, 2022.
- [5] S. Li, J. Zhou, Y. H. Huang, J. Roy, N. Zhou, K. Yum, X. Sun, and L. Tang, “Injectable click chemistry-based bioadhesives for accelerated wound closure,” *Acta Biomater*, vol. 110, pp. 95–104, 2020.
- [6] K. Nishinari, Y. Fang, S. Guo, and G. O. Phillips, “Soy proteins: A review on composition, aggregation and emulsification,” *Food Hydrocolloids*, vol. 39, pp. 301–318, 2014.
- [7] H. Wang, L. A. Johnson, and T. Wang, “Preparation of soy protein concentrate and isolate from extruded-expelled soybean meals,” *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 81, 713-717, 2004.
- [8] P. Singh, R. Kumar, S. N. Sabapathy, and A. S. Bawa, “Functional and edible uses of soy protein products”, *Comprehensive reviews in food science and food safety*, vol. 7, no. 1, 14-28, 2008.
- [9] M. Schmid, T. K. Prinz, A. Stähler, and S. Sänglerlaub, “Effect of sodium sulfite, sodium dodecyl sulfate, and urea on the molecular interactions and properties of whey protein isolate-based films,” *Front Chem*, vol. 5, pp. 1–15, 2017.
- [10] J. L. Bailey and R. D. Cole, “Studies on the reaction of sulfite with proteins,” *J Biol Chem*, vol. 234, no. 7, pp. 1733–1739, 1959.
- [11] P. Zheng, Q. Lin, F. Li, Y. Ou, and N. Chen, “Development and characterization of a defatted soy flour-based bio-adhesive crosslinked by 1,2,3,4-butanetetracarboxylic acid,” *Int J Adhes Adhes*, vol. 78, pp. 148–154, 2017.
- [12] E. Saldívar and E. Vivaldo, *Handbook of Polymer Synthesis, Characterization, and Processing*. Canada: Wiley, 2013.
- [13] D. E. Packham, *Handbook of Adhesion Promoters*, 2nd ed. England: John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
- [14] Y. Zeng, P. Xu, W. Yang, H. Chu, W. Wang, W. Dong, M. Chen, H. Bai, and P. Ma, “Soy protein-based adhesive with superior bonding strength and water resistance by designing densely crosslinking networks,” *Eur Polym J*, vol. 142, 2021.
- [15] R. B. Bird, W. E. Stewart, and E. N. Lightfoot, *Transport Phenomena*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [16] A. Lukmana, “Denaturasi Protein,” *Jurnal Kimia dan Kemasan*. p. 1, 2011.
- [17] C. Liu, Y. Zhang, X. Li, J. Luo, Q. Gao, and J. Li, “A high-performance bio-adhesive derived from soy protein isolate and condensed tannins,” *RSC Adv*, vol. 7, no. 34, pp. 21226–21233, 2017.
- [18] A. Gide, “The effect of denaturation on the viscosity of protein systems,” *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 6, no. 11, pp. 5–24, 1967.