

Analysis of the Composition of Chitosan, Citric Acid, Sodium Bisulfite, and Aquadest in Bioadhesive Glue Polymer on Tensile Strength and Physical Properties

[Analisis Komposisi Chitosan, Asam Sitrat, Natrium Bisulfit Dan Aquades Pada Polimer Bioadhesive Glue Terhadap Kekuatan Tarik Dan Sifat Fisik]

Ach. Indra. Setyawan¹⁾, Ali Akbar^{*,2)}

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: aliakbar@umsida.ac.id

Abstract. This study aims to analyze the effect of variations in the composition of chitosan, distilled water, nitric acid (HNO_3), and sodium bisulfite (NaHSO_3) on the physical and mechanical properties of chitosan-based bioadhesive glue. Four composition variants were investigated, namely 80:10:5:5, 70:20:5:5, 60:30:5:5, and 60:20:10:10 (weight percent). The bioadhesives were synthesized through controlled heating and stirring processes, followed by temperature–humidity resistance testing and tensile testing in accordance with the ASTM D3039 standard. Load–displacement data were converted into stress–strain curves to determine the yield strength and ultimate tensile strength (UTS). The results indicate that the 80:10:5:5 composition provides the most optimal performance, with a yield strength of 10.50 MPa and a UTS of 13.00 MPa, along with good environmental stability. Increasing the distilled water content reduces strength due to plasticization effects, whereas higher concentrations of HNO_3 and NaHSO_3 enhance flexibility but decrease peak strength. Therefore, the 80:10:5:5 composition is recommended as a base formulation for environmentally friendly non-structural bioadhesives.

Keywords - Tensile Strength, Bioadhesive, Polymer

Abstrak. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi komposisi chitosan, aquades, asam nitrat (HNO_3), dan natrium bisulfit (NaHSO_3) terhadap sifat fisik dan mekanik bioadhesive glue berbasis chitosan. Empat variasi komposisi diuji, yaitu 80:10:5:5, 70:20:5:5, 60:30:5:5, dan 60:20:10:10 (persen berat). Bioadhesive disintesis melalui proses pemanasan dan pengadukan terkontrol, kemudian diuji ketahanan suhu–kelembaban serta diuji tarik sesuai standar ASTM D3039. Data beban–perpindahan dikonversi menjadi kurva tegangan–regangan untuk menentukan nilai yield strength dan ultimate tensile strength (UTS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi 80:10:5:5 memberikan performa paling optimal dengan yield strength sebesar 10,50 MPa dan UTS 13,00 MPa, serta stabilitas lingkungan yang baik. Peningkatan kandungan aquades menurunkan kekuatan akibat efek plastisasi, sedangkan peningkatan HNO_3 dan NaHSO_3 meningkatkan fleksibilitas namun menurunkan kekuatan puncak. Dengan demikian, komposisi 80:10:5:5 direkomendasikan sebagai formulasi dasar bioadhesive non-struktural yang ramah lingkungan.

Kata Kunci - Kekuatan Tarik, Bioadhesive, Polimer

I. PENDAHULUAN

Perekat (*adhesive*) merupakan komponen penting dalam berbagai sektor industri, seperti konstruksi, otomotif, pengolahan kayu, tekstil, dan kemasan, karena berfungsi sebagai media penyambung antar material baik secara permanen maupun semi permanen[1]. Hingga saat ini, sebagian besar perekat komersial masih berbasis senyawa petrokimia, seperti formaldehida, resin fenol-formaldehida, isosianat, dan turunan aromatik lainnya[2]. Meskipun memiliki performa mekanik yang baik, perekat sintesis tersebut menimbulkan permasalahan serius, antara lain bersifat toksik, sulit terurai secara alami, serta menghasilkan emisi senyawa organik volatil (*Volatile Organic Compounds* / VOCs) yang berdampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan[3].

Seiring meningkatnya kesadaran global terhadap isu keberlanjutan dan pengurangan dampak lingkungan, pengembangan bioadhesive glue berbasis biopolimer terbarukan menjadi alternatif yang semakin relevan[4]. Bioadhesive merupakan perekat yang diformulasikan dari bahan alami atau limbah organik yang bersifat biodegradable, tidak beracun, serta memiliki jejak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan perekat sintesis[5]. Keunggulan utama bioadhesive terletak pada sumber bahan bakunya yang melimpah, biaya produksi relatif rendah, serta potensinya untuk mendukung konsep ekonomi sirkular dengan memanfaatkan limbah menjadi produk bernilai guna[6].

Salah satu biopolimer yang banyak dikaji sebagai bahan dasar bioadhesive adalah chitosan, yaitu hasil deasetilasi kitin yang diperoleh dari limbah cangkang hewan laut[7]. Secara teoritis, chitosan memiliki gugus amina ($-\text{NH}_2$) dan

hidroksil ($-OH$) yang memungkinkan terbentuknya ikatan hidrogen dan interaksi elektrostatik antar rantai polimer maupun dengan substrat. Struktur kimia tersebut menjadikan chitosan mampu membentuk jaringan polimer yang kuat dan fleksibel, sehingga berpotensi tinggi digunakan sebagai matriks utama perekat alami[8].

Dalam proses pembuatan bioadhesive glue berbasis chitosan, komposisi bahan penyusun memegang peranan penting dalam menentukan sifat fisik dan mekanik perekat yang dihasilkan. Pelarut seperti aquades berfungsi untuk mendispersikan rantai polimer dan meningkatkan homogenitas campuran, namun secara teoritis juga bertindak sebagai plasticizer yang dapat menurunkan kekakuan dan kekuatan tarik apabila digunakan secara berlebihan[9]. Sementara itu, penggunaan agen pengasam seperti asam nitrat (HNO_3) bertujuan untuk memicu protonasi gugus amina chitosan, sehingga meningkatkan kelarutan dan pembentukan jaringan polimer yang lebih homogen. Di sisi lain, agen pereduksi seperti natrium bisulfit ($NaHSO_3$) berperan dalam menstabilkan struktur polimer dan mencegah degradasi selama proses sintesis, namun konsentrasi yang tidak tepat dapat meningkatkan sifat plastis dan menurunkan kekuatan puncak material[10].

Selain matriks polimer, penambahan bahan pengisi alami seperti limbah kopi dan teh juga berpotensi meningkatkan performa bioadhesive glue. Kandungan selulosa, senyawa fenolik, dan tanin pada limbah tersebut dapat berfungsi sebagai natural filler yang memperkuat jaringan perekat apabila terdistribusi secara merata dan memiliki ikatan antarmuka yang baik[11]. Namun, ketidakseimbangan komposisi dan distribusi filler dapat menyebabkan aglomerasi partikel serta pembentukan void yang justru menurunkan kekuatan mekanik perekat.

Berdasarkan landasan teori tersebut, pengembangan bioadhesive glue yang ramah lingkungan tidak hanya bergantung pada pemilihan bahan alami, tetapi juga pada optimasi komposisi dan proses pembuatannya. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi chitosan, aquades, asam nitrat, dan natrium bisulfit terhadap sifat fisik dan mekanik bioadhesive glue, sehingga dapat diperoleh formulasi yang memiliki keseimbangan optimal antara kekuatan, keuletan, dan stabilitas lingkungan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan bioadhesive non-struktural yang aplikatif, ramah lingkungan, serta mendukung prinsip industri hijau dan ekonomi sirkular[12].

II. METODE

A. Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini, langkah-langkah proses penelitian akan dijelaskan dalam diagram alir (*flow chart*), Diagram alir (*flow chart*) dapat dilihat gambar tersebut.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

B. Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan empat bahan utama yaitu chitosan, asam nitrat, natrium bisulfit, dan aquades dengan variasi komposisi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Variasi ini dirancang untuk mengetahui pengaruh perbandingan chitosan sebagai bahan dasar polimer terhadap sifat fisik *bioadhesive glue*, dengan mempertimbangkan pengaruh pelarut (aquades), zat pengasam (asam nitrat), dan agen pereduksi (natrium bisulfit).

Tabel 1. Variabel Komposisi Pengujian

No	Komposisi			
	Chitosan (%)	Aquades (%)	Asam Nitrat (%)	Natrium Bisulfit (%)
1	80	10	5	5
2	70	20	5	5
3	60	30	5	5
4	60	20	10	10

Chitosan ditimbang sesuai dengan variasi komposisi pada Tabel 1, yaitu 80%, 70%, dan 60% dari total massa 30 gram, kemudian dimasukkan ke dalam gelas beker berkapasitas 250 mL. Setelah itu, aquades ditambahkan sesuai dengan komposisi masing-masing (10%, 20%, dan 30%) dan diaduk secara manual menggunakan batang pengaduk kaca hingga terbentuk suspensi (*slurry*) yang merata.

Selanjutnya, pengadukan dilanjutkan secara kontinyu menggunakan hot plate stirrer dengan pengaturan suhu antara 55–60°C untuk mempercepat proses pelarutan chitosan. Kecepatan pengadukan disesuaikan agar larutan tetap homogen tanpa menimbulkan busa berlebih. Proses pemanasan dilakukan selama 5 menit pada suhu stabil 55–60°C hingga chitosan benar-benar terdispersi dengan baik di dalam pelarut.

Setelah larutan chitosan terbentuk, natrium bisulfit ditambahkan sesuai komposisi pada masing-masing variasi, yaitu 5% dan 10% dari total campuran. Penambahan dilakukan secara perlahan sambil terus diaduk agar natrium bisulfit terlarut sempurna dan berfungsi sebagai agen pereduksi untuk mencegah oksidasi selama proses reaksi. Pengadukan dilanjutkan selama 30 menit hingga larutan menjadi homogen dan tidak terdapat endapan.

Tahapan berikutnya adalah penambahan asam nitrat sebagai agen pengasam dengan variasi 5% dan 10% dari total campuran. Penambahan dilakukan secara hati-hati dengan tetesan perlahan sambil diaduk agar pH larutan stabil pada kisaran 3–5, yang merupakan kondisi optimum untuk proses protonasi gugus amina ($-NH_2$) pada chitosan. Pengadukan dilanjutkan selama 10 menit untuk memastikan terjadinya reaksi yang merata antara chitosan dan asam nitrat. Setelah proses reaksi selesai, larutan bioadhesive yang telah homogen dimasukkan ke dalam wadah tertutup rapat untuk diperam selama 24 jam (1 hari) pada suhu ruang. Proses pemeraman ini bertujuan untuk memastikan reaksi antar komponen berjalan sempurna.



Gambar 2. Pencampuran Variasi Pengujian

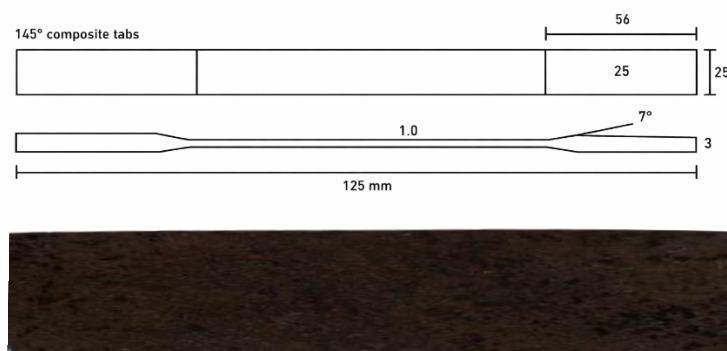
Setelah proses pemeraman selama 24 jam, larutan bioadhesive glue dicampurkan dengan bahan komposit limbah kopi dan teh dalam rasio 2:1. Pencampuran dilakukan hingga diperoleh campuran yang homogen dan stabil untuk selanjutnya digunakan pada tahap pencetakan serta pengujian karakteristik fisik dan mekanik.

Material yang telah tercampur secara homogen dicetak menjadi spesimen uji sesuai standar ASTM D3039 untuk pengujian tarik komposit[13].

Table 1. Varian Penelitian

No.	Perbandingan	Bahan	
		Bioadhesive glue (Gram)	Komposisi (Gram)
1.	2:1	30	15
2.	2:1	30	15
3.	2:1	30	15
4.	2:1	30	15

Varian pembentukan spesimen uji tarik dilakukan dengan membuat empat spesimen (Spesimen 1–4) menggunakan komposisi dan perbandingan yang sama sesuai Tabel 1, kemudian setiap spesimen dicetak dengan prosedur pembentukan yang seragam agar perbedaan hasil uji tarik yang diperoleh merepresentasikan karakter material, bukan perbedaan proses pembuatan



Gambar 5. Bentuk Spesimen Uji Tarik

Pencetakan menggunakan cetakan khusus agar ukuran dan bentuk spesimen seragam. Selanjutnya, spesimen dikeringkan pada suhu ruang selama 3–4 hari tanpa terkena sinar matahari langsung, guna mencegah deformasi seperti pembungkakan (*Bending*) yang dapat memengaruhi hasil uji. Terakhir, dilakukan uji tarik untuk mengetahui kekuatan tarik masing-masing komposisi dan menentukan formulasi terbaik.



Gambar 6. Pengujian Tarik Pada Spesimen

Sebagai tahap akhir, komposisi terbaik yang menunjukkan kekuatan tarik tertinggi digunakan untuk pembuatan produk aplikatif dan sesuai dengan hasil uji tarik berupa meja belajar. Produk ini menjadi bentuk pemanfaatan limbah ampas kopi dan teh yang bernilai guna tinggi, sekaligus memperlihatkan potensi aplikatif material komposit ramah lingkungan yang dihasilkan dalam penelitian ini.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Ketahanan Terhadap Suhu Dan Kelembaban

Pengujian ketahanan terhadap suhu dan kelembaban dilakukan untuk mengetahui stabilitas fisik bioadhesive glue ketika berada pada kondisi lingkungan yang berbeda, khususnya terhadap paparan panas dan kelembaban udara tinggi. Uji ini penting untuk menilai sejauh mana perekat mampu mempertahankan kekuatan dan bentuk fisiknya tanpa mengalami degradasi, perubahan warna, pertumbuhan jamur, atau pelunakan berlebih akibat serapan air.

Berdasarkan hasil pengujian, variasi komposisi bahan menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan terhadap stabilitas termal dan ketahanan kelembaban perekat. Sampel dengan komposisi 80% chitosan, 10% aquades, 5% asam nitrat, dan 5% natrium bisulfit (Sampel 1) menunjukkan ketahanan paling baik terhadap suhu tinggi dan kelembaban. Perekat ini tetap stabil pada kondisi panas dan tidak menunjukkan adanya retak, perubahan warna, maupun pembentukan jamur setelah periode pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa kadar chitosan yang tinggi berperan penting dalam meningkatkan kekompakan struktur polimer dan mengurangi penyerapan air, sehingga memberikan daya tahan lebih baik terhadap lingkungan lembab.

Sampel kedua (70:20:5:5) menunjukkan ketahanan yang masih cukup baik, meskipun sedikit mengalami pelunakan pada kondisi kelembaban tinggi. Peningkatan kadar aquades menyebabkan struktur polimer menjadi lebih fleksibel, tetapi juga menurunkan densitas ikatan antar molekul chitosan, sehingga sifat tahan lembabnya sedikit berkurang dibandingkan sampel pertama.

Sementara itu, sampel ketiga (60:30:5:5) tidak lolos uji ketahanan lingkungan. Pada kondisi penyimpanan lembab, permukaan perekat tetap basah dan muncul pertumbuhan jamur setelah beberapa hari. Hal ini disebabkan oleh kandungan aquades yang terlalu tinggi (30%), yang meningkatkan kadar air residu dalam campuran dan menyebabkan perekat bersifat higroskopis. Akibatnya, sifat mekanik perekat menurun dan tidak mampu menjaga stabilitas pada kondisi lingkungan ekstrem.



Gambar 1. Jamur Pada Sampel



Gambar 2. Bending Material

Adapun sampel keempat (60:20:10:10) menunjukkan peningkatan ketahanan dibandingkan sampel ketiga. Penambahan asam nitrat dan natrium bisulfit dengan proporsi yang lebih besar meningkatkan proses ikatan silang (crosslinking) antar molekul chitosan, sehingga struktur polimer menjadi lebih padat dan relatif tahan terhadap kelembaban. Namun demikian, peningkatan konsentrasi bahan aditif juga membuat tekstur perekat sedikit lebih keras dan waktu pengeringannya lebih lama.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa komposisi 80:10:5:5 (Sampel 1) merupakan formulasi paling optimal dalam hal ketahanan terhadap suhu dan kelembaban. Rasio tersebut menghasilkan keseimbangan antara kekuatan rekat, stabilitas termal, dan resistansi terhadap pertumbuhan jamur. Kadar chitosan yang tinggi memberikan sifat anti-higroskopis alami serta memperkuat jaringan polimer, sehingga bioadhesive glue yang dihasilkan memiliki daya tahan lingkungan terbaik di antara seluruh variasi komposisi yang diuji.

B. Hasil Uji Tarik

Hasil uji tarik dilakukan pada komposit bioadhesive glue berbasis chitosan dengan penambahan limbah kopi dan teh berperbandingan 2:1. Pengujian menggunakan standar ASTM D3039 dilakukan pada tiga sampel uji tarik untuk setiap variasi komposisi guna memastikan validitas data dan konsistensi hasil. Parameter yang diamati meliputi kuat tarik maksimum (UTS), tegangan luluh (Yield Strength), dan regangan putus (*Elongation at Break*), disertai analisis kurva tegangan-regangan untuk mengamati perilaku elastis-plastis material.



Gambar 8. Hasil Spesimen Uji Tarik

Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa variasi komposisi chitosan, aquades, asam nitrat (HNO_3), dan natrium bisulfit (NaHSO_3) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik dan keuletan bioadhesive berbasis chitosan. Secara umum, peningkatan kandungan chitosan cenderung meningkatkan nilai *yield strength* dan *ultimate tensile strength* (UTS), sedangkan peningkatan kandungan aquades serta agen pengasam dan pereduksi memengaruhi sifat plastisasi dan fleksibilitas material.

Tabel 2. Hasil Uji Tarik

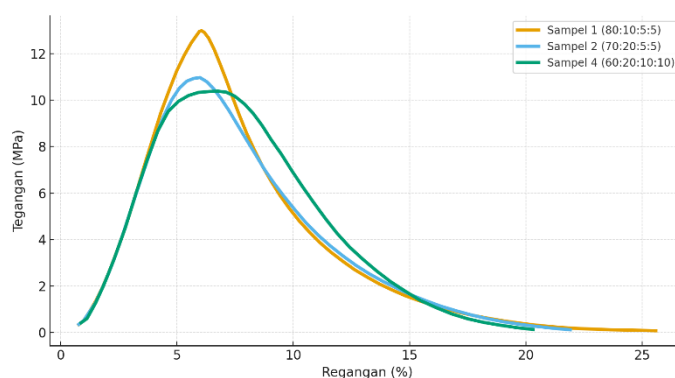
Sampel	Komposisi (Chitosan : Aquades : asam nitrat : natrium bisulfit)	Yield Strength (MPa)	Regangan YS ϵ_y (%)	UTS (MPa)
1	80 : 10 : 5 : 5	10.50	5.50	13.00
2	70 : 20 : 5 : 5	7.50	4.80	10.63
4	60 : 20 : 10 : 10	8.50	5.80	10.39

Berdasarkan Tabel di atas, nilai tegangan luluh (σ_y) berada pada kisaran 7,50–10,50 MPa dan nilai UTS berada pada rentang 11,01–13,00 MPa. Sampel 1 dengan komposisi 80:10:5:5 menunjukkan nilai σ_y tertinggi sebesar 10,50 MPa dan UTS tertinggi sebesar 13,00 MPa, disertai regangan luluh sebesar 5,50%. Hal ini mengindikasikan bahwa komposisi tersebut menghasilkan keseimbangan optimal antara kekuatan dan keuletan. Secara teoritis, kandungan chitosan yang tinggi meningkatkan densitas rantai polimer dan jumlah gugus amina ($-\text{NH}_2$) yang terprotonasi, sehingga memperkuat ikatan hidrogen dan interaksi antarmolekul. Ikatan antarmuka (*interfacial bonding*) yang lebih kuat ini memungkinkan transfer tegangan yang lebih efektif sepanjang jaringan polimer, sehingga meningkatkan kekuatan tarik.

Sebaliknya, Sampel 2 (70:20:5:5) mengalami penurunan nilai σ_y menjadi 7,50 MPa dan UTS menjadi 10,63 MPa. Penurunan ini dapat dijelaskan melalui teori plastisasi polimer, di mana peningkatan kandungan aquades berperan sebagai plasticizer yang menurunkan kekakuan awal dan modulus elastisitas (E). Molekul air menyusup di antara rantai polimer chitosan, meningkatkan jarak antar rantai dan mobilitas molekul, sehingga material menjadi lebih mudah terdeformasi namun kehilangan sebagian kemampuan menahan tegangan. Meskipun demikian, sifat ulet masih

terjaga, sehingga komposisi ini sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan deformabilitas lebih tinggi dengan kompromi pada kekuatan.

Pada Sampel 4 (60:20:10:10), peningkatan konsentrasi HNO_3 dan NaHSO_3 menghasilkan nilai σ_y sebesar 8,50 MPa dan UTS sebesar 10,39 MPa. Dari sudut pandang teori kimia polimer, peningkatan HNO_3 memperkuat proses protonasi gugus amina chitosan, sedangkan NaHSO_3 berperan sebagai agen pereduksi yang memodifikasi interaksi kimia antar rantai. Kombinasi ini meningkatkan plastisasi dan fleksibilitas material, yang tercermin dari regangan luluh yang relatif tinggi (5,80%). Namun, plastisasi yang berlebihan menyebabkan berkurangnya kekakuan dan kekuatan puncak karena sebagian energi deformasi terserap dalam pergerakan rantai polimer, bukan ditahan sebagai tegangan.



Gambar 12. Grafik Perbandingan Uji tarik

Kurva tegangan–regangan pada **Gambar 12** memperkuat interpretasi ini. Sampel 1 menunjukkan kurva dengan kemiringan awal yang lebih curam dan puncak tegangan tertinggi, menandakan modulus elastisitas dan kekuatan maksimum yang lebih baik. Sampel 2 memiliki kemiringan awal lebih landai, yang mengindikasikan kekakuan awal lebih rendah akibat efek plastisasi air. Sementara itu, Sampel 4 menunjukkan zona plastis yang lebih panjang, menandakan kemampuan mempertahankan deformasi plastis lebih lama meskipun kekuatan puncaknya lebih rendah.

Secara keseluruhan, hasil ini selaras dengan teori bahwa sifat mekanik bioadhesive berbasis chitosan sangat dipengaruhi oleh keseimbangan antara kandungan polimer utama (chitosan) dan komponen plastisator atau agen kimia pendukung. Komposisi dengan rasio yang seimbang mampu meminimalkan pembentukan void dan aglomerasi partikel, menjaga homogenitas struktur, serta menghasilkan distribusi tegangan yang lebih merata. Oleh karena itu, Sampel 1 (80:10:5:5) memberikan performa paling optimal dengan kombinasi kekuatan dan keuletan terbaik, Sampel 2 lebih sesuai untuk aplikasi yang menuntut deformabilitas tinggi, sedangkan Sampel 4 menawarkan fleksibilitas yang lebih baik namun dengan kekuatan tarik maksimum yang relatif lebih rendah. Temuan ini menjadi dasar penting dalam perancangan bioadhesive non-struktural yang ramah lingkungan dengan performa mekanik yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi.

IV. SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi komposisi chitosan, aquades, asam nitrat (HNO_3), dan natrium bisulfat (NaHSO_3) berpengaruh signifikan terhadap sifat fisik dan mekanik bioadhesive glue berbasis chitosan. Kandungan chitosan yang tinggi menghasilkan jaringan polimer yang lebih padat dan ikatan antarmolekul yang lebih kuat, sehingga meningkatkan kekuatan tarik dan stabilitas lingkungan perekat. Komposisi 80:10:5:5 memberikan performa paling optimal dengan yield strength sebesar 10,50 MPa dan ultimate tensile strength (UTS) sebesar 13,00 MPa, serta ketahanan terbaik terhadap suhu dan kelembaban, yang mencerminkan keseimbangan ideal antara kekuatan dan keuletan. Peningkatan kandungan aquades menurunkan kekuatan tarik akibat efek plastisasi, meskipun meningkatkan deformabilitas material, sedangkan peningkatan HNO_3 dan NaHSO_3 memperkuat protonasi dan fleksibilitas tetapi menurunkan kekuatan puncak karena dominasi perilaku plastis. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa optimasi rasio komposisi bahan merupakan faktor kunci dalam pembuatan bioadhesive glue berbasis chitosan yang ramah lingkungan, dengan potensi aplikasi sebagai perekat non-struktural yang mendukung prinsip industri hijau dan ekonomi sirkular.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Ayah dan Ibu atas dukungan dan doa tak pernah putus selama studi Teknik Mesin. Semoga Allah membalas kebaikan kalian dengan kebahagiaan berlimpah. Terima kasih juga kepada teman-teman seangkatan Teknik Mesin atas persahabatan, diskusi mesin, dan dukungan dalam peneitian. Khususnya, Bhima, terima kasih atas bantuan selama penelitian.

REFERENSI

- [1] V. Adysta Kirana and G. Afif Setya Ramadhani, "Analisis Kuat Geser Bioadhesive Berbahan Soy Protein Isolated (SPI) dengan Variasi Natrium Sulfit dan Asam Sitrat."
- [2] H. Fahmi and H. Hermansyah, "PENGARUH ORIENTASI SERAT PADA KOMPOSIT RESIN POLYESTER/ SERAT DAUN NENAS TERHADAP KEKUATAN TARIK," 2011. [Online]. Available: www.en.wikipedia.org/composite
- [3] A. Nada Septiawan, D. Ayu Pratiwi, and A. Ata Yogyakarta, "FORMULASI DAN UJI SIFAT FISIK SEDIAAN GEL EKSTRAK ETANOLIK GANGGANG HIJAU (ULVA LACTUCA LINN.)," *Jurnal Insan Farmasi Indonesia*, vol. 3, no. 2, pp. 271–280, doi: 10.36387/jifi.v3i2.654.
- [4] F. A. Spitznagel, S. D. Horvath, P. C. Guess, and M. B. Blatz, "Resin bond to indirect composite and new ceramic/polymer materials: A review of the literature," Nov. 01, 2014. doi: 10.1111/jerd.12100.
- [5] M. Alfian, M. N. Hasanudin, and M. F. Mujib, "Uji Sifat Fisik Sediaan Gel Ekstrak Etanol Daun Kitolod," 2022.
- [6] A. N. Septiani and F. Fitriyani, "Formulasi, Uji Sifat Fisik, Uji Stabilitas, dan Uji Aktivitas Antioksidan Gel Ekstrak Kulit Nanas (Ananas Comosus (L) Merr.)," *Jurnal Ilmu Kefarmasian*, vol. 6, no. 1, 2025.
- [7] Anne Peutzfeldt, "Resin composites in dentistry: the monomer systems," 2017.
- [8] V. Adysta Kirana and G. Afif Setya Ramadhani, "Analisis Kuat Geser Bioadhesive Berbahan Soy Protein Isolated (SPI) dengan Variasi Natrium Sulfit dan Asam Sitrat."
- [9] L. A. Heinrich, "Future opportunities for bio-based adhesives-advantages beyond renewability," 2019, *Royal Society of Chemistry*. doi: 10.1039/c8gc03746a.
- [10] C. Ma *et al.*, "Ultra-strong bio-glue from genetically engineered polypeptides," *Nat. Commun.*, vol. 12, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.1038/s41467-021-23117-9.
- [11] B. Hoffmann *et al.*, "Characterisation of a new bioadhesive system based on polysaccharides with the potential to be used as bone glue," *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, vol. 20, no. 10, pp. 2001–2009, Oct. 2009, doi: 10.1007/s10856-009-3782-5.
- [12] H. Zhang *et al.*, "Smart Internal Bio-Glues," *Advanced Science*, vol. 9, no. 27, Sep. 2022, doi: 10.1002/advs.202203587.
- [13] Misbakh, E. Widodo, I. Siti Aisyah, Syahrudin, and N. H. Ariffin, "effect of tapioca starch concentration on mechanical properties of Sansevieria Trifasciata fiber-reinforced composites," *Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 27–40, Sep. 2024, doi: 10.22219/jemmmme.v9i1.32657.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.