

Analisis Pengaruh Penambahan Magnesium Oksida terhadap Sifat Mekanis Bioadhesif Berbasis Kitosan-Karagenan

Analysis of the Effect of Magnesium Oxide Addition on the Mechanical Properties of Chitosan-Carrageenan Based Bioadhesive

Monica Putri Amanda, Budhijanto*, Gilang Afif Setya Ramadhani

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, Caturtunggal, Daerah Istimewa Yogyakarta, 555, Indonesia

*Email: budhijanto@ugm.ac.id

Article history:

Diterima : 17 Desember 2023
Direvisi : 8 Februari 2024
Disetujui : 10 Maret 2024
Mulai online : 23 Maret 2024

E-ISSN: 2337-4888

How to cite:

Monica Putri Amanda, Budhijanto, Gilang Afif Setya Ramadhani. (2024). Analisis Pengaruh Penambahan Magnesium Oksida terhadap Sifat Mekanis Bioadhesif Berbasis Kitosan-Karagenan. Jurnal Teknik Kimia USU, 13(1), 54-62.

ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi efek magnesium oksida (MgO) sebagai *filler* dalam meningkatkan sifat bioadhesif dari adhesif berbasis kitosan dan karagenan. Fokus utamanya adalah pada peningkatan kekuatan tarik, viskositas, kandungan padatan, dan sifat termal. Hasilnya menunjukkan penambahan MgO 0,75% w/v meningkatkan signifikan kekuatan tarik dari 9,76 kPa menjadi 21,76 kPa dan viskositas dari 34,26 cP menjadi 617 cP dengan penambahan 0,5% w/v MgO. Kandungan padatan juga meningkat dari 9,81% menjadi 13,19% dengan peningkatan konsentrasi MgO. Penambahan benzoil peroksida (BPO) mengurangi waktu pengerasan, meningkatkan efisiensi proses. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) mengonfirmasi peningkatan stabilitas struktural dan kimia, sedangkan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) menunjukkan efisiensi pengerasan yang lebih baik. Studi ini menyarankan MgO sebagai *filler* yang potensial untuk meningkatkan properti mekanis dan adhesi bioadhesif, relevan untuk aplikasi medis.

Kata kunci: benzoil peroksida, bioadhesif, kitosan, *filler*, magnesium oksida

ABSTRACT

This study investigates the effect of magnesium oxide (MgO) as a filler in enhancing the bioadhesive properties of chitosan and carrageenan-based adhesives. The primary focus is on improving tensile strength, viscosity, solid content, and thermal properties. The results indicate that the addition of 0.75% w/v MgO significantly increased tensile strength from 9.76 kPa to 21.76 kPa and viscosity from 34.26 cP to 617 cP with a 0.5% w/v MgO addition. The solid content also increased from 9.81% to 13.19% with increased MgO concentration. The addition of benzoyl peroxide (BPO) reduced curing time, enhancing process efficiency. Scanning Electron Microscopy and Fourier Transform Infrared Spectroscopy confirmed improvements in structural and chemical stability, while Differential Scanning Calorimetry showed better curing efficiency. This study suggests MgO as a potential filler to improve mechanical properties and adhesion of bioadhesives, relevant for medical applications.

Keyword: benzoyl peroxide, bioadhesive, chitosan, filler, magnesium oxide



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v13i1.14656>

1. Pendahuluan

Perekat adalah bahan yang dapat menggabungkan dua atau lebih permukaan melalui perekatan. Bahan perekat telah digunakan selama berabad-abad sejak 1500 SM [1]. Seiring berjalannya waktu, bahan perekat berkembang pesat, sehingga banyak digunakan dalam berbagai aspek kehidupan, seperti dalam industri dan medis. Perekat berbasis biologis telah berevolusi mencakup opsi seperti gelatin-resorsinol-formaldehida (GRF), yang memanfaatkan sifat *biodegradable* dan kompatibilitas biologisnya untuk aplikasi bedah. Perekat seperti sianokrilat juga telah diselidiki untuk aplikasi medis dengan keuntungan kekuatan adhesi yang baik meskipun ada kekhawatiran terkait toksisitas dan fleksibilitas [2]. Contoh perekat medis lain berbasis alami yang telah digunakan untuk kebutuhan medis adalah perekat dari fibrin [1]. Perekat ini memanfaatkan tahap akhir pembekuan darah untuk membentuk jaringan fibrin. Kelemahan dari perekat fibrin adalah berpotensi menyebabkan penyakit menular seperti *Human Immunodeficiency Virus* (HIV) dan hepatitis. Selain itu, kelemahan perekat medis dari fibrin dan bahan biologis lainnya adalah kekuatan perekat yang lemah [3].

Untuk mengatasi kekuatan perekat yang lemah dari perekat medis berbahan alami, sering kali dilakukan penambahan *filler* ke dalam perekat. *Filler* adalah rongga kosong dalam perekat. Bahan ini dapat memperkuat ikatan antara perekat dengan bahan yang ditempel. Syarat agar *filler* dapat digunakan adalah memiliki kompatibilitas yang baik, tidak beracun, dan dapat digunakan dalam bidang medis [4]. Studi-studi telah menunjukkan bahwa penambahan magnesium oksida (MgO) dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan kekuatan adhesi dari bioadhesif [5]. Selain itu, penggunaan nanohidroksiapatit sebagai *filler* telah terbukti dapat meningkatkan kekuatan adhesi dan osteokompatibilitas pada aplikasi perbaikan tulang [6].

Bahan dasar bioadhesif yang akan digunakan adalah kitosan dan karagenan. Kitosan merupakan bahan dasar bioadhesif yang memiliki kompatibilitas biologis yang baik, tidak beracun, dan dapat digunakan dalam bidang medis. Kitosan memiliki kemampuan untuk meningkatkan kekuatan adhesi dan osteokompatibilitas yang penting untuk aplikasi perbaikan tulang. Karagenan juga digunakan karena sifatnya yang dapat menambah kinerja dan sifat mekanis dari bioadhesif. Penambahan *filler* komposit MgO dilakukan dengan berbagai konsentrasi dan diuji sifat mekaniknya [1]. Setelah memperoleh konsentrasi *filler* optimum, bioadhesif ditambahkan dengan benzoil peroksida sebagai inisiator. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh penambahan *filler* trikalsium fosfat pada bioadhesif dari kitosan terhadap kuat tarik perekat. Penggunaan MgO didasarkan pada sifat antibakteri komposit yang dapat meningkatkan kohesi dan adhesi dalam bioadhesif [7]. Pada senyawa lain juga bisa menjadi *crosslinking initiator*. Benzoil peroksida (BPO) juga digunakan sebagai inisiator untuk menurunkan *curing time* pada kulit [8]. Penggunaan perekat berbahan alami diharapkan dapat semakin meningkat dan mengurangi impor perekat di Indonesia. Penelitian ini juga diharapkan akan bermanfaat bagi orang lain yang tertarik untuk mempelajari lebih lanjut mengenai pengaruh penambahan *filler* alami pada bioadhesif.

2. Metode

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari berbagai tempat. Karagenan, kitosan, kalium sulfat, asam p-toluenasulfonat, dan asam sitrat diperoleh dari Laboratorium Reaksi Kimia dan Teknik Katalisis, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Etanol 70% dan polietilena glikol (PEG) 400 (Merck, Kenilworth, NJ, USA) diperoleh dari CV General Labora, DKI Jakarta. *Phosphate Buffered Saline* (PBS) (Gibco, Grand Island, NY, USA) diperoleh dari Alfa Kimia, Surabaya, Jawa Timur. Magnesium oksida (Fisher Scientific, Hampton, NH, USA) diperoleh dari Toko Sinar Klaten, Klaten, Jawa Tengah. Benzoil peroksida (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) diperoleh dari Toko Nusa, Denpasar, Bali. Lem *cyanoacrylate* diperoleh dari Toko Bali, Denpasar, Bali.

Peralatan

Peralatan yang digunakan dari penelitian ini memiliki fungsinya masing-masing. pH meter digital (Model: SevenEasy™ S20, Merk: Mettler-Toledo GmbH, Schwerzenbach, Switzerland). *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (Model: JSM-5600LV, Merk: JEOL Ltd., Tokyo, Japan) dengan resolusi 3,0 nm dan pembesaran maksimum 300,000x. Spektrofotometer UV-Vis (Model: UV-2600, Merk: Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) dengan rentang panjang gelombang 190 nm hingga 1100 nm. Viskometer rotasional (Model: DV-II+ Pro, Merk: Brookfield AMETEK, Inc., Middleboro, MA, USA) dengan rentang kecepatan geser 0,1 hingga 200 RPM. Timbangan analitik (Model: XS205 DualRange, Merk: Mettler-Toledo GmbH, Schwerzenbach, Switzerland). Oven vakum (Model: VO-400, Merk: Jeio Tech Co., Ltd., Seoul, Korea) dengan rentang suhu 40 °C hingga 200 °C. *Hotplate* dengan pengaduk magnetik (Model: C-MAG HS 7, Merk: IKA-Werke GmbH & Co. KG, Staufen, Germany) yang mampu memanaskan hingga 500 °C dan mengaduk dengan kecepatan hingga 1500 RPM.

Persiapan *Carrageena Crosslinked* (CRGCL)

Langkah awal yang dilakukan adalah menimbang 2 g karagenan. Kemudian karagenan dilarutkan dalam 100 mL air lalu disaring dan dipanaskan hingga suhunya mencapai 50 °C. Paralel dengan ini, larutan 0,1 N Kalium Sulfat (K_2SO_4) disiapkan. Kedua larutan ini selanjutnya dicampurkan dan pemanasan dilanjutkan hingga mencapai 80 °C untuk mengaktifasi proses *crosslinking* dalam larutan karagenan. Proses ini dipertahankan selama 30 menit untuk memastikan terbentuknya CRGCL. Setelah itu ditambahkan 390 mL etanol dingin untuk memfasilitasi pengendapan CRGCL. Endapan yang terbentuk kemudian dipisahkan dan siap digunakan dalam sintesis bioadhesif.

Sintesis Bioadhesif

Sebanyak 2 g karagenan yang telah di-*crosslink* dilarutkan dalam 100 mL *aquadest* yang sudah dipanaskan hingga mencapai 50 °C. Larutan ini kemudian ditransfer ke dalam gelas *beaker* berukuran 250 mL dan pemanasan dilanjutkan hingga suhu mencapai 80 °C sambil terus diaduk untuk memastikan bahwa karagenan terlarut sepenuhnya dan membentuk larutan yang homogen. Setelah karagenan terlarut sepenuhnya, asam sitrat, kitosan, dan *p-toluenesulfonic acid* (PTSA) ditimbang masing-masing seberat 2 g, 2 g, dan 1 g. Ketiga bahan ini kemudian ditambahkan ke dalam larutan CRGCL yang telah dipanaskan sampai terdistribusi merata dan tidak terbentuk gumpalan. Pengadukan dilakukan secara konsisten selama 1 jam pada suhu 80 °C. Proses pengadukan yang panjang dan suhu yang terkontrol penting untuk mencapai viskositas yang diinginkan dan memastikan pembentukan bioadhesif dengan sifat mekanik yang optimal.

Penambahan *Filler*

Magnesium oksida (MgO) sebanyak 0,5 g dimasukkan ke dalam sampel yang telah didinginkan hingga suhu 70 °C. Pengadukan dilanjutkan pada suhu tetap 70 °C hingga volume sampel mencapai 50% dari volume awal. Pembuatan sampel diulang untuk magnesium oksida sebanyak 0,75 g dan 1 g sehingga diperoleh konsentrasi *filler* 0,5; 0,75; dan 1% w/v.

Uji Viskositas

Pengujian viskositas adhesif menggunakan Viskosimeter Brookfield. Volume adhesif antara 90-100 mL ditempatkan dalam *beaker* berukuran 100 mL. Pengujian viskositas sampel dilakukan dengan menggunakan *spindle* nomor 2, 6, dan 7. Nomor *spindle* yang lebih rendah biasanya digunakan untuk cairan dengan viskositas lebih rendah, sedangkan nomor *spindle* yang lebih tinggi digunakan untuk bahan yang lebih kental atau *gelatinous*. Pemilihan nomor *spindle* berdasarkan konsistensi sampel merupakan langkah penting untuk mendapatkan pembacaan yang akurat. Penambahan konsentrasi *filler* MgO dari 0%; 0,5%; 0,75%; hingga 1% w/v menyebabkan peningkatan viskositas yang signifikan. Untuk sampel tanpa *filler*, *spindle* dengan nomor lebih rendah mungkin cukup karena viskositas yang lebih rendah. Namun, dengan penambahan *filler*, viskositas meningkat, memerlukan penggunaan *spindle* dengan nomor yang lebih tinggi yang mampu menangani resistensi yang lebih besar saat rotasi. Kecepatan rotasi juga disesuaikan sesuai dengan viskositas sampel. Pada kecepatan 60 RPM - 100 RPM, pembacaan viskositas dilakukan dengan memperhatikan bahwa pada kecepatan yang lebih rendah, *spindle* akan bergerak lebih lambat, memungkinkan untuk pengukuran yang lebih akurat pada sampel dengan viskositas tinggi. Sebaliknya, untuk sampel dengan viskositas rendah, kecepatan yang lebih tinggi diperlukan untuk menghasilkan pembacaan yang tepat.

Uji Kandungan Padatan

Langkah awal adalah menimbang sebanyak 3 g adhesif dan meletakkannya di dalam cawan petri. Kemudian, cawan petri diletakkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 1 jam. Setelah itu, cawan petri dikeluarkan dari oven dan dibiarkan di suhu ruangan selama 15 menit. Setelah itu, cawan petri dengan adhesif tersebut ditimbang kembali untuk menentukan berat akhirnya, yang akan digunakan untuk menghitung kandungan padatan adhesif.

Persiapan Sampel Kulit Babi

Kulit babi diproses dengan metode yang meminimalkan penderitaan, dengan menghilangkan lapisan lemak secara hati-hati dan pemotongan kulit dilakukan dengan alat yang steril dan tajam untuk mengurangi tekanan pada hewan. Setelah pengambilan kulit, hewan di-*euthanize* sesuai dengan metode yang direkomendasikan oleh panduan etik yang berlaku. Kulit babi dipotong dengan ukuran 2,5 cm x 2,5 cm, lalu dibasahi dengan larutan PBS dan dikeringkan dari larutan berlebih menggunakan kain steril. Lapisan epidermis kulit babi ditempelkan ke sebuah blok kayu (2,5 cm x 2,5 cm x 4 cm) yang telah dilengkapi dengan kait menggunakan lem *cyanoacrylate* dan dibiarkan mengeras selama 10 menit.

Uji Kekuatan Tarik

Analisis kekuatan tarik dilakukan sesuai dengan standar ASTM F2258-05 dengan menggunakan kulit babi sebagai media perekat bioadhesif. Pengujian ini dilakukan dengan mengoleskan bioadhesif pada kulit babi yang telah disiapkan dan ditempelkan pada sebuah blok kayu. Waktu pengerasan dilakukan selama 1 jam pada suhu konstan 37 °C - 38 °C, menyesuaikan dengan suhu tubuh manusia. Pengumpulan data dilakukan sebanyak 2 kali per sampel, dan perlakuan pada sampel dilakukan secara bersamaan agar data dapat dianggap akurat.

Analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Uji FTIR ini menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang yang digunakan berkisar antara 650 cm⁻¹ - 4000 cm⁻¹ tanpa kalium bromida (KBr). Pengujian ini dilakukan di LPPT UGM.

Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Penampilan permukaan bioadhesif yang dibuat dilihat menggunakan Mikroskop Elektron Terpindai (SEM) dengan pembesaran 50x - 3000x dan resolusi spasial 500 µm - 5 µm. Pengujian dilakukan di LPPT UGM.

Penambahan Benzoin Peroksida (BPO)

Pelarut BPO berupa PEG 400 dan *aquadest* dalam rasio 70:30 disiapkan dalam cangkir ukur 100 mL. Pelarut dan BPO dimasukkan hingga konsentrasi 0,05% w/v dalam gelas *beaker* 250 mL, lalu diaduk dengan *magnetic stirrer* hingga homogen. Eksperimen diulang untuk membuat larutan BPO dengan konsentrasi 0,1% w/v dan 0,2% w/v. Larutan BPO konsentrasi 0,05% diambil sebanyak 1 mL dan dimasukkan ke dalam bioadhesif dengan *filler*. Eksperimen diulang untuk larutan BPO dengan konsentrasi 0,1% w/v dan 0,2% w/v. Bioadhesif dengan fotoinisiator berupa BPO kemudian diuji sifat termalnya dengan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC).

Uji *Differential Scanning Calorimetry* (DSC)

Differential Scanning Calorimetry (DSC) adalah teknik analitik yang digunakan untuk mengukur perbedaan dalam jumlah energi yang diserap atau dilepaskan oleh sampel dibandingkan dengan referensi saat keduanya dipanaskan dengan laju yang terkontrol. Pengujian dilakukan oleh bagian Pengujian LPPT UGM.

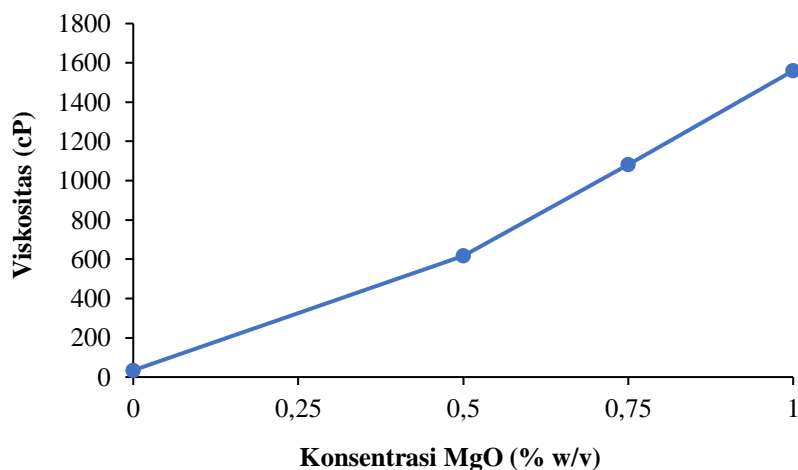
3. Hasil

Analisis Viskositas Bioadhesif

Penambahan *filler* 0,5% w/v MgO menghasilkan peningkatan viskositas yang paling signifikan, menunjukkan bahwa jumlah padatan dalam bioadhesif meningkat dan ruang cairan berkurang, sehingga membutuhkan *spindle* dengan nomor lebih besar dan kecepatan rotasi yang disesuaikan. Peningkatan viskositas dari 34,26 cP menjadi 617 cP menandakan transisi dari viskositas rendah ke viskositas tinggi, yang secara langsung mempengaruhi pilihan *spindle* dan kecepatan rotasi (RPM) untuk mengoptimalkan akurasi pengukuran. Penambahan *filler* dengan konsentrasi yang lebih tinggi kemudian meningkatkan viskositas secara linear. Peningkatan viskositas ini disebabkan oleh peningkatan jumlah padatan yang ada dalam bioadhesif sehingga rongga cair diisi dengan *filler*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya, MgO juga berfungsi sebagai pengikat silang sehingga pada penambahan 1% w/v MgO, konsistensi bioadhesif berubah menyerupai gelatin [8]. Ini konsisten dengan pengamatan Pinkas et al. (2017) yang menemukan bahwa penambahan agen struktur seperti kaolin dalam bioadhesif gelatin-alginat meningkatkan kekuatan adhesif karena efek struktur mikro dan nano [9]. Pengamatan ini menunjukkan bahwa penambahan bahan tertentu dapat memodifikasi sifat fisik bioadhesif, termasuk viskositas, yang juga dapat mempengaruhi kekuatan adhesi bioadhesif secara signifikan. Gambar 1 merupakan hasil eksperimental dari pengujian viskositas bioadhesif yang diformulasikan dengan penambahan MgO sebagai *filler*.

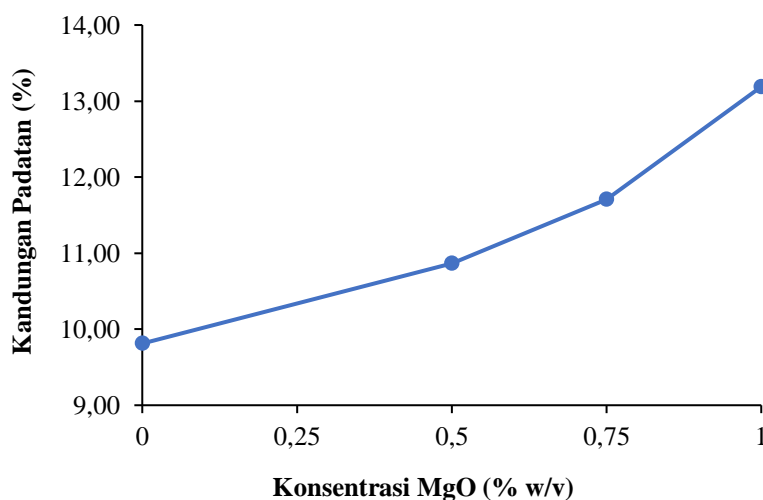
Analisis Kandungan Padatan Bioadhesif

Analisis kandungan padatan dalam penelitian bioadhesif sangat penting karena dapat memberikan wawasan mengenai sifat fisik dan kemampuan adhesi material. Seperti yang ditunjukkan oleh Mateyshina (2013), penilaian terhadap konsentrasi dan ketebalan lapisan amorf dalam bahan nanokomposit hibrid menggunakan data DSC mengungkapkan peningkatan konduktivitas ionik seiring dengan kenaikan konsentrasi fase amorf [10]. Sangat penting untuk memahami bagaimana kandungan padatan mempengaruhi karakteristik adhesif, seperti viskositas dan kekuatan ikatan. Penelitian terdahulu yang memfokuskan pada kualitas bioadhesif berbahan dasar isolat protein kedelai sebagai bahan utama juga menyoroti pentingnya analisis kandungan padatan dalam pengembangan bioadhesif [11].



Gambar 1. Hubungan konsentrasi MgO dengan viskositas bioadhesif

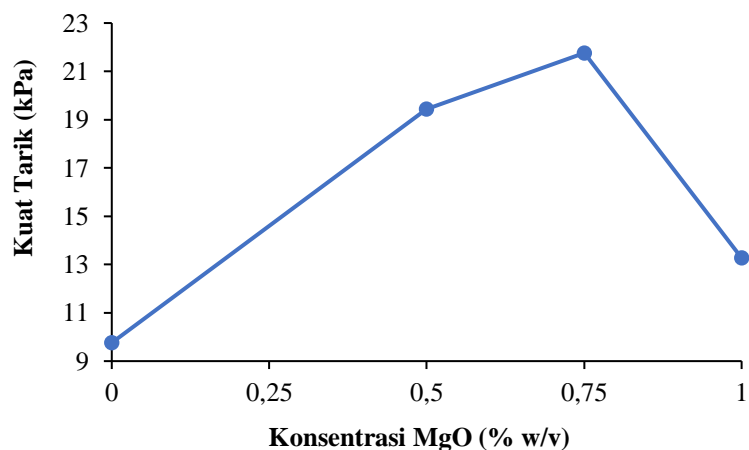
Penambahan *filler* MgO yang meningkatkan kandungan padatan hingga mencapai nilai 10,87% - 13,19% memperlihatkan bahwa peningkatan kandungan padatan ini tidak terlalu signifikan. Hal ini terjadi karena konsentrasi *filler* yang digunakan masih cukup rendah. Namun, peningkatan ini menunjukkan adanya hubungan langsung antara konsentrasi *filler* dan kandungan padatan dalam bioadhesif, yang konsisten dengan temuan He Guo (2011) yang menemukan bahwa penambahan MgO mengubah perilaku peleburan dan meningkatkan suhu pelembutan serta suhu meleleh pada sinter [12]. Gambar 2 merupakan hasil pengujian kandungan padatan dengan kenaikan konsentrasi *filler* MgO.



Gambar 2. Hubungan konsentrasi MgO terhadap kandungan padatan bioadhesif

Analisis Kuat Tarik

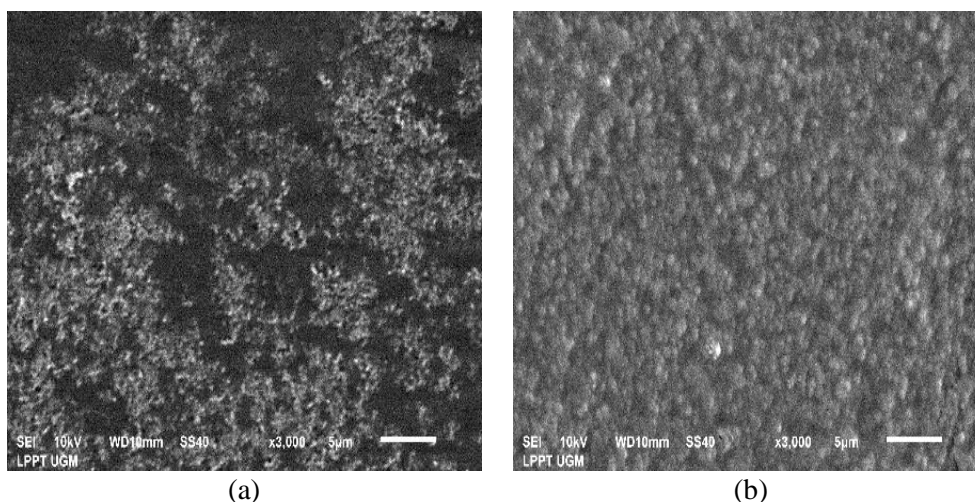
Merujuk pada Gambar 3, nilai kekuatan tarik bioadhesif tanpa penambahan *filler* menunjukkan nilai terendah sebesar 9,76 kPa dan mencapai titik optimum pada penambahan massa *filler* MgO sebanyak 0,75 g (0,75% w/v) dengan nilai 21,76 kPa. Penambahan massa *filler* menunjukkan penurunan nilai kekuatan tarik setelah mencapai titik optimum. Penambahan 1 g MgO (1% w/v) menurunkan nilai kekuatan tarik menjadi 13,28 kPa. Hal ini membuktikan bahwa penambahan *filler* pada bioadhesif dapat meningkatkan adhesi bioadhesif yang disebabkan oleh rongga dalam cairan oleh partikel *filler*. Penambahan massa *filler* akan terus meningkatkan kekuatan tarik bioadhesif hingga mencapai titik optimum. Setelah mencapai titik optimum, penambahan massa *filler* akan mengurangi kekuatan tarik karena mengurangi luas permukaan ikatan antara bioadhesif dengan kulit babi yang dihalangi oleh partikel komposit MgO berlebih [8]. Penambahan massa MgO lebih lanjut hingga 2% w/v menyebabkan adanya gumpalan padatan *filler* yang menandakan bahwa titik jenuh kelarutan MgO telah terlewati sehingga *filler* tidak dapat larut secara homogen dalam bioadhesif. Gambar 3 merupakan hasil pengujian kekuatan tarik bioadhesif yang diformulasikan dengan penambahan MgO sebagai *filler*.



Gambar 3. Hubungan konsentrasi MgO terhadap kekuatan tarik bioadhesif

Analisis Hasil Uji SEM

Gambar 4 merupakan analisis terhadap pengaruh konsentrasi *filler* MgO terhadap struktur mikro bioadhesif menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

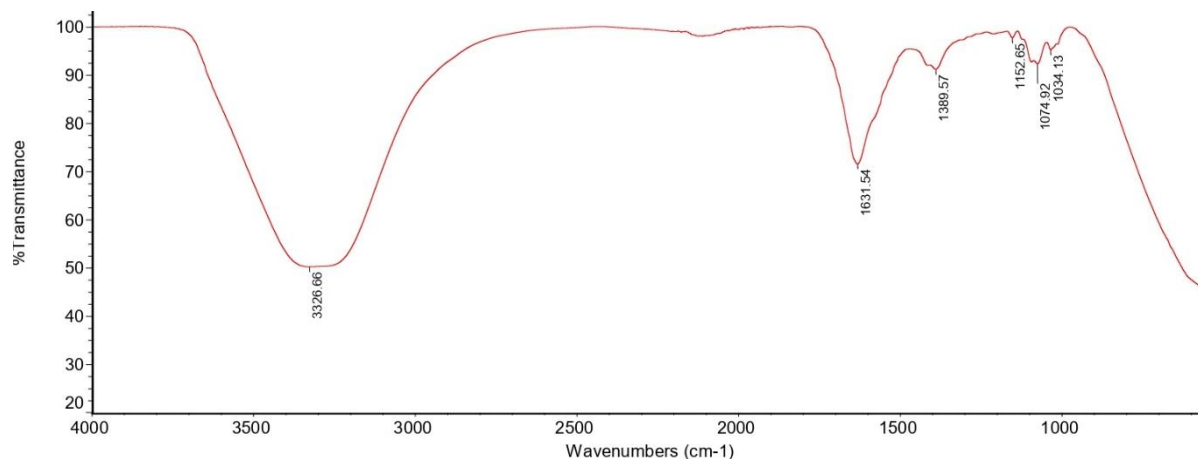
Gambar 4. Analisis SEM pada konsentrasi *filler* (a) 0% w/v (b) 0,75% w/v

Gambar 4(a) menunjukkan sampel tanpa *filler* MgO dengan struktur bioadhesif tampak homogen dengan porositas yang minimal. Gambar 4(b) menunjukkan sampel dengan *filler* MgO pada konsentrasi 0,75% w/v yang memperlihatkan adanya perubahan signifikan dalam morfologi bioadhesif. Pada Gambar 4(b), terlihat bahwa rongga dalam bioadhesif diisi oleh keberadaan *filler*. MgO dalam hal ini berfungsi sebagai *filler* komposit yang mengisi rongga-rongga yang berpotensi menjadi tempat penumpukan air sehingga mengurangi cacat volumetrik [5]. Dengan berkurangnya rongga yang diisi oleh air, kohesi dan adhesi perekat dapat meningkat karena air tidak memiliki sifat adhesi. Selain mengisi rongga sebagai *filler* komposit, MgO berfungsi sebagai pengikat silang sehingga konsistensi bioadhesif dengan penambahan magnesium oksida menjadi lebih kental dan penambahan lebih lanjut membuat konsistensinya menjadi mirip gelatin [13].

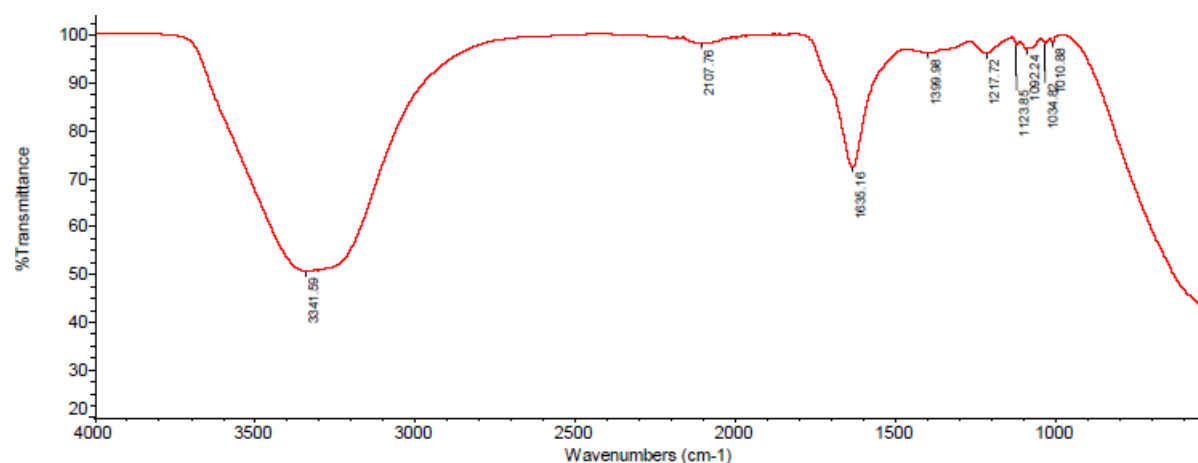
Analisis Hasil Uji FTIR

Berdasarkan hasil analisis FTIR yang ditampilkan pada Gambar 5 dan Gambar 6, panjang gelombang yang diperoleh memiliki signifikansi khusus dalam karakterisasi bahan bioadhesif. Analisis ini mengungkapkan keberadaan berbagai gugus fungsi yang ada dalam sampel. Hasil analisis FTIR pada sampel tanpa *filler* dan dengan konsentrasi *filler* optimum dapat dilihat pada Gambar 5. Ketika dilihat pada grafik, tidak terjadi perubahan yang signifikan pada puncak-puncak untuk sampel dengan *filler* dan tanpa *filler*. Terdapat 2 puncak utama dalam kedua sampel tersebut, yaitu amida alifatik primer dan alkohol alifatik primer. Pada sampel tanpa *filler*, puncak ditunjukkan pada panjang gelombang $3341,59\text{ cm}^{-1}$ (N-H *stretching*), $1635,16\text{ cm}^{-1}$ (C=C *stretching*), $1399,98\text{ cm}^{-1}$ (O-H *bending*, alkohol), dan $1123,85 - 1092,24\text{ cm}^{-1}$ (C-O *stretching*, alkohol sekunder). Sementara pada sampel dengan *filler* optimum, puncak ditunjukkan pada panjang gelombang

3326,66 cm^{-1} (N-H *stretching*), 1631,54 cm^{-1} (C=C *stretching*), 1389,57 cm^{-1} (O-H *bending*, alkohol), 1152,65 cm^{-1} (C-O *stretching*, alkohol tersier), dan 1074,92 cm^{-1} (C-O *stretching*, alkohol tersier). Perbedaan yang dapat diamati terdapat pada Gambar 6, yang menunjukkan adanya O-H *bending* yang lebih tinggi dibandingkan sampel tanpa *filler*. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi reaksi antara MgO dan air untuk membentuk ion Mg^{2+} dan OH^- , sehingga kandungan OH^- pada sampel menjadi lebih tinggi. Ion Mg^{2+} yang terbentuk dapat menyebabkan pengikatan silang ion logam dan meningkatkan ikatan permukaan antara molekul bioadhesif [13].



Gambar 5. Analisis FTIR pada konsentrasi *filler* 0% w/v



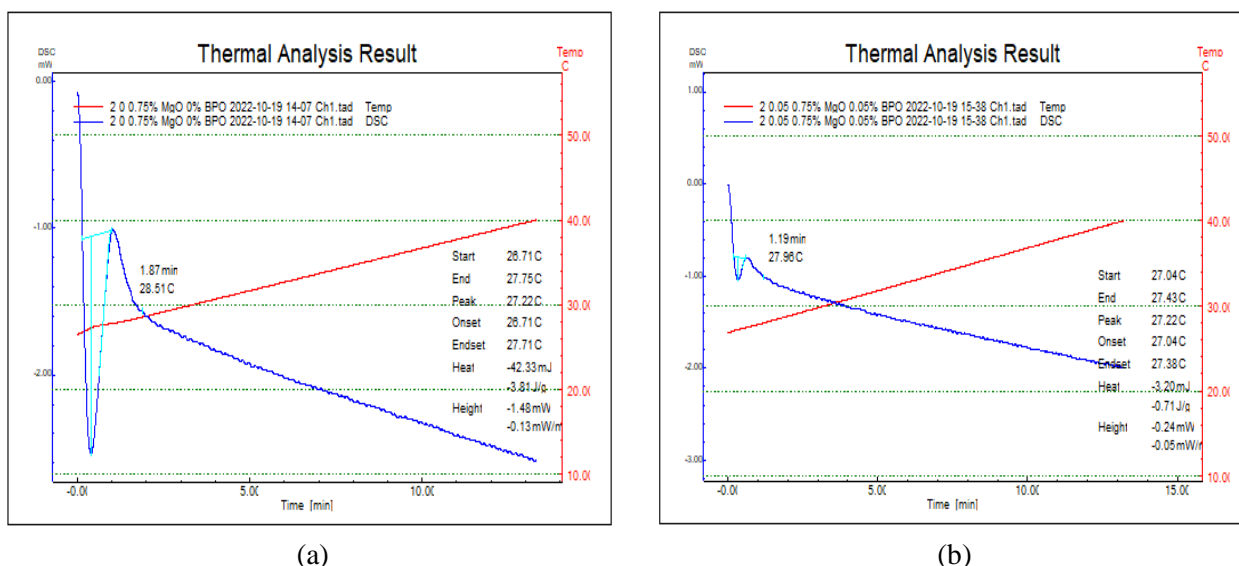
Gambar 6. Analisis FTIR pada konsentrasi *filler* 0,75% w/v

Perbandingan dengan studi lain, seperti yang dilakukan oleh Thandavamoorthy (2013), menunjukkan keberadaan puncak yang serupa untuk C-O *stretching*, O-H *bending*, dan gugus alkohol dalam serat selulosa pisang, yang menunjukkan pola umum interaksi kimia dalam bahan berbasis alami [7]. Analisis yang dilakukan oleh Gunti (2023) pada ekstrak kulit *Sweetinia mahagoni* juga menunjukkan keberadaan ikatan O-H dan N-H yang serupa, yang menandakan gugus hidroksil bebas dan ikatan amina primer, yang berperan dalam reduksi dan stabilisasi nanopartikel perak [14]. Dalam konteks bioadhesif, keberadaan gugus-gugus ini sangat penting karena mereka mempengaruhi interaksi antar molekul dan dengan substrat yang diikat, yang pada gilirannya mempengaruhi efektivitas adhesi. Puncak yang ditemukan dalam analisis FTIR menunjukkan bahwa bioadhesif memiliki komponen yang serupa dengan bahan alami dan bahan bioaktif lainnya, yang telah terbukti efektif dalam aplikasi terkait.

Analisis Hasil DSC

Analisis DSC digunakan untuk menentukan titik waktu pengerasan dan karakteristik reaksi eksotermik dari sampel dengan penambahan BPO, memberikan wawasan tentang kinetika reaksi polimerisasi dan stabilitas termal material. Gambar 7 adalah hasil analisis DSC dengan garis biru sebagai garis DSC vs waktu dan garis merah sebagai suhu vs waktu. Puncak garis biru menunjukkan titik di mana sampel melepaskan energi tertinggi

dan kemudian rata. Titik dimana kurva energi menjadi datar diinterpretasikan sebagai titik waktu pengerasan di mana sampel tidak lagi melepaskan energi dan reaksi dapat dianggap selesai.



Gambar 7. Analisis DSC pada konsentrasi BPO (a) 0% (b) 0.05%

Titik waktu pengerasan pada konsentrasi BPO 0% diperoleh pada 28,51 °C setelah waktu 1,87 menit dan pada konsentrasi BPO 0,05% diperoleh pada 27,96 °C setelah waktu 1,19 menit. Penurunan waktu pengerasan dalam penambahan BPO tidak terlalu signifikan karena penambahan BPO tidak terlalu banyak. Selain menurunkan waktu pengerasan, reaksi eksotermik pada sampel dengan penambahan BPO melepaskan panas yang lebih sedikit daripada tanpa penambahan BPO. Perbandingan dengan penelitian lain dalam konteks ini, meskipun tidak secara langsung menyajikan data yang serupa, menunjukkan pentingnya pemahaman tentang perilaku termal dari komponen dalam bioadhesif. Dalam studi terkait kestabilan termal dari *dicumyl peroxide*, menemukan adanya potensi ledakan yang kuat, yang mempertegas pentingnya mengevaluasi komponen seperti BPO tidak hanya dari segi kemampuannya untuk mempercepat pengerasan tetapi juga dari segi keamanannya [15].

4. Kesimpulan

Studi ini membuktikan bahwa penambahan MgO meningkatkan viskositas dan kandungan padatan bioadhesif. Magnesium oksida berfungsi ganda sebagai *filler* dan *crosslinker*, dengan kekuatan tarik maksimal pada konsentrasi 0,75% w/v. Komposisi kimia bioadhesif tetap stabil meskipun dengan penambahan *filler*. Selanjutnya, benzoil peroksida efektif mempercepat pengeringan bioadhesif. Analisis SEM menunjukkan bahwa penambahan *filler* MgO menyebabkan perubahan signifikan dalam struktur mikro bioadhesif. Tanpa *filler*, struktur bioadhesif tampak homogen dengan porositas yang minimal, sedangkan dengan *filler*, struktur menjadi lebih heterogen dengan porositas yang berkurang karena ruang yang sebelumnya mungkin berisi air sekarang diisi oleh MgO. Ini menandakan bahwa MgO berperan tidak hanya sebagai *filler* untuk mengurangi porositas, tetapi juga sebagai pengikat silang yang meningkatkan kohesi dan adhesi bioadhesif. Dari analisis FTIR, terlihat bahwa tidak ada perubahan signifikan dalam profil gugus fungsi antara sampel tanpa *filler* dan dengan *filler* MgO. Namun, terdapat indikasi interaksi antara MgO dan air, yang menghasilkan peningkatan kandungan gugus O-H, menandakan bahwa *filler* MgO berinteraksi dengan bioadhesif dan berpotensi meningkatkan ikatan permukaan antar molekul, yang memperkuat sifat adhesi. Analisis DSC mengungkapkan bahwa penambahan BPO sebagai inisiator tidak secara signifikan mengurangi waktu pengerasan, tetapi mengakibatkan pelepasan panas yang lebih rendah selama reaksi eksotermik. Ini mengindikasikan bahwa BPO mempengaruhi kinetika reaksi polimerisasi dan stabilitas termal dari bioadhesif.

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Fakultas Teknik UGM yang telah mendanai penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada Departemen Teknik Kimia UGM yang telah mengizinkan dan menyediakan tempat untuk menjalankan penelitian ini.

6. Konflik Kepentingan

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

Daftar Pustaka

- [1] H. Zhu, J. Tian, H. Mao, and Z. Gu, “Bioadhesives: Current hotspots and emerging challenges,” *Curr. Opin. Biomed. Eng.*, vol. 18, p. 100271, 2021.
- [2] D. E. Packham, “Adhesive technology and sustainability,” *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 29, no. 3, pp. 248–252, 2009.
- [3] R. Pinnaratip, M. S. A. Bhuiyan, K. Meyers, R. M. Rajachar, and B. P. Lee, “Multifunctional biomedical adhesives,” *Adv. Healthc. Mater.*, vol. 8, no. 11, pp. 1–17, 2019.
- [4] B. Cohen, M. Panker, E. Zuckerman, M. Foox, and M. Zilberman, “Effect of calcium phosphate-based fillers on the structure and bonding strength of novel gelatin-alginate bioadhesives,” *J. Biomater. Appl.*, vol. 28, no. 9, pp. 1366–1375, 2014.
- [5] Y. L. Uscátegui, S. J. Arévalo-Alquichire, J. A. Gómez-Tejedor, A. Vallés-Lluch, L. E. Díaz, and M. F. Valero, “Polyurethane-based bioadhesive synthesized from polyols derived from castor oil (*Ricinus communis*) and low concentration of chitosan,” *J. Mater. Res.*, vol. 32, no. 19, pp. 3699–3711, 2017.
- [6] X. Lu *et al.*, “Magnesium oxide-crosslinked low-swelling citrate-based mussel-inspired tissue adhesives,” *Biomaterials*, vol. 232, no. September 2019, p. 119719, 2020.
- [7] N. I. Torres *et al.*, “Safety, formulation and in vitro antiviral activity of the antimicrobial peptide subtilisin against herpes simplex virus type 1,” *Probiotics Antimicrob. Proteins*, vol. 5, no. 1, pp. 26–35, 2013.
- [8] Y. Park *et al.*, “Contact tracing during coronavirus disease outbreak, south korea, 2020,” *Emerg. Infect. Dis.*, vol. 26, no. 10, pp. 2465–2468, 2020.
- [9] O. Pinkas, O. Haneman, O. Chemke, and M. Zilberman, “Fiber-reinforced composite hydrogels for bioadhesive and sealant applications,” *Polym. Adv. Technol.*, vol. 28, no. 9, pp. 1162–1169, 2017.
- [10] A. S. Ulihin, Y. G. Mateyshina, and N. F. Uvarov, “All-solid-state asymmetric supercapacitors with solid composite electrolytes,” *Solid State Ionics*, vol. 251, pp. 62–65, 2013.
- [11] S. Koesman, D. Bennet, and B. Pancasakti, “Analisis kuat geser perekat alami berbahan soy protein isolate dengan variasi natrium sulfit dan asam oksalat,” *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 12, no. 2, pp. 62–69, 2023.
- [12] B. F. Han, G. Q. He, X. C. Wang, and Z. J. Guo, “Late carboniferous collision between the tarim and kazakhstan-yili terranes in the western segment of the south tian shan orogen, central asia, and implications for the northern xinjiang, western china,” *Earth-Science Rev.*, vol. 109, no. 3–4, pp. 74–93, 2011.
- [13] S. Magalhães *et al.*, “Brief overview on bio-based adhesives and sealants,” *Polymers (Basel)*, vol. 11, no. 10, 2019.
- [14] A. I. Esterhuizen *et al.*, “Precision medicine for developmental and epileptic encephalopathies in Africa—strategies for a resource-limited setting,” *Genet. Med.*, vol. 25, no. 2, 2023.
- [15] N. Zang *et al.*, “Resveratrol-mediated gamma interferon reduction prevents airway inflammation and airway hyperresponsiveness in respiratory syncytial virus-infected immunocompromised mice,” *J. Virol.*, vol. 85, no. 24, pp. 13061–13068, 2011.