

Isolasi Selulosa Limbah Kulit Bawang Putih dan *Black Garlic* dengan Menggunakan Metode *Deep Eutectic Solvent* (DES)

Aisyah Hanifah¹, Davi Permana^{1*}, Efri Mardawati², Nanang Masruchin³

¹Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran

² Research Collaboration Center for Biomass and Biorefinery

between Badan Riset Inovasi Nasional and Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Bandung – Sumedang Km. 21 Jatinangor, Sumedang, Indonesia

³Pusat Riset Teknologi dan Proses Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional

Jl. Jogja–Wonosari KM 31,5, Gading, Playen, Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55861, Indonesia

Email: davianamrep21@gmail.com

Abstrak

Bawang putih dan bawang putih hitam umumnya hanya dimanfaatkan dagingnya saja, sedangkan kulitnya masih kurang dimanfaatkan dan sering dibuang sebagai limbah. Namun, kulit bawang putih dan *black garlic* mengandung selulosa yang relatif tinggi. Selulosa dapat diaplikasikan dalam berbagai produk seperti bioplastik, kertas, perekat, komposit, dan lain sebagainya. Metode konvensional yang biasa digunakan untuk isolasi selulosa adalah hidrolisis asam, yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Deep Eutectic Solvents (DES) adalah pelarut ramah lingkungan non-konvensional yang menawarkan alternatif yang lebih ramah lingkungan. Pada penelitian ini, proses isolasi selulosa dari kulit bawang putih dan bawang hitam dianalisis dengan menggunakan metode DES. DES yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari campuran kolin klorida dan asam oksalat dihidrat (ChCl-AOD) sebagai pelarut. Hasil penelitian menunjukkan rendemen selulosa sebesar 46,65% untuk kulit bawang putih dan 47,45% untuk kulit *black garlic*. Analisis FTIR mengkonfirmasi keberhasilan isolasi selulosa dari limbah kulit bawang putih dan *black garlic* menggunakan metode DES. Penelitian ini menunjukkan bahwa isolasi selulosa berbasis DES menawarkan alternatif ramah lingkungan yang menjanjikan dibandingkan dengan metode konvensional.

Kata kunci : deep eutectic solvent, selulosa, hidrolisis asam

Abstract

Isolation of Garlic and Black Garlic Skin Cellulose Using the Deep Eutectic Solvent Method

Garlic and black garlic are generally utilized only for their flesh, while their peels remain underutilized and are often discarded as waste. However, garlic and black garlic skins contain relatively high levels of cellulose. Cellulose can be applied in various products such as bioplastics, paper, adhesives, composites, and more. The conventional method commonly used for cellulose isolation is acid hydrolysis, which has negative environmental impacts. Deep Eutectic Solvents (DES) are non-conventional green solvents that offer a more environmentally friendly alternative. In this study, the cellulose isolation process from garlic and black garlic skins was analyzed using the DES method. The DES used in this research consisted of a mixture of choline chloride and oxalic acid dihydrate (ChCl-AOD) as the solvent. The results showed a cellulose yield of 46.65% for garlic skins and 47.45% for black garlic skins. FTIR analysis confirmed the successful isolation of cellulose from garlic and black garlic skin waste using the DES method. This study demonstrates that DES-based cellulose isolation offers a promising environmentally friendly alternative to conventional methods.

Keywords: deep eutectic solvent, cellulose, acid hydrolysis

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki kekayaan sumber daya alam, khususnya hasil pertanian, yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku industri sekaligus solusi pengelolaan limbah. Salah satu limbah pertanian yang cukup melimpah adalah kulit bawang putih dan *black garlic*. Limbah ini mengandung lignoselulosa, yaitu selulosa (41,7%), hemiselulosa (20,8%), dan lignin (34,5%) (Kurnianti *et al.*, 2024), yang berperan dalam memberikan kekuatan mekanik dan stabilitas struktural. Kandungan tersebut menjadikan kulit bawang sebagai bahan baku potensial dalam pembuatan produk ramah lingkungan seperti bioplastik, kertas, dan komposit.

Industri pengolahan bawang putih dan *black garlic*, terutama dalam skala besar, menghasilkan limbah kulit dalam jumlah signifikan, mencapai 10–20% dari total berat bahan baku (Sailah, 2021). Sayangnya, pemanfaatan limbah ini masih terbatas, meskipun kandungan lignoselulosanya cukup tinggi. Seiring dengan pertumbuhan industri *black garlic* sebagai pangan fungsional, volume limbah kulitnya juga meningkat, sehingga membuka peluang pemanfaatan sebagai bahan baku alternatif bernilai tambah. Hal ini sejalan dengan upaya pengembangan material berbasis limbah pertanian, khususnya melalui pendekatan ramah lingkungan seperti penggunaan Deep Eutectic Solvent (DES).

Proses isolasi selulosa umumnya dilakukan melalui hidrolisis asam atau perlakuan basa, namun metode konvensional ini cenderung menggunakan bahan kimia agresif yang dapat menimbulkan korosi, menghasilkan inhibitor, serta berdampak negatif terhadap lingkungan (Pradhan, 2022). Sebagai solusi, penggunaan DES mulai dikembangkan sebagai pelarut hijau yang terdiri atas *Hydrogen Bond Acceptor* (HBA) dan *Hydrogen Bond Donor* (HBD), yang mampu melarutkan lignin tanpa merusak struktur selulosa. Salah satu formulasi DES yang terbukti efektif adalah campuran kolin klorida dan asam oksalat dihidrat (ChCl-AOD) (Juho, 2016; Mantika, 2024). Penelitian Jiang *et al.* (2020) menunjukkan bahwa penggunaan ChCl-AOD dengan rasio molar 1:1 mampu menghasilkan rendemen selulosa lebih

dari 40%, sedangkan Mantika (2024) memperoleh rendemen hingga 76,81% dari limbah nanas.

Berbagai studi sebelumnya telah mengkaji isolasi selulosa menggunakan DES dari bahan seperti jerami padi (Jiang *et al.*, 2020), tongkol jagung (Yu *et al.*, 2019), dan bonggol nanas (Mantika, 2024). Namun, belum ditemukan kajian yang secara khusus mengevaluasi kulit bawang putih dan *black garlic* sebagai bahan baku selulosa menggunakan pelarut ChCl-AOD. Padahal, kedua jenis limbah tersebut memiliki karakteristik lignoselulosa yang potensial dan belum banyak diteliti. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kekosongan pengetahuan terkait isolasi selulosa dari kulit bawang putih dan *black garlic* dengan metode DES menggunakan ChCl-AOD. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat mendukung pengembangan material berbasis biomassa yang berkelanjutan, seperti bioplastik dan komposit biodegradable.

METODOLOGI

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah *beaker glass*, ayakan 80 mesh, desikator, kain saring, gelas ukur 50 mL, *hotplate stirrer*, *magnetic stirrer*, *disk mill*, oven, pompa vakum, sendok spatula, neraca analitik, termometer, cawan petri, batang pengaduk dan corong.

Bahan baku utama yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah kulit bawang putih majemuk (BPM), bawang putih tunggal (BPT), kulit *black garlic* majemuk (BGM) dan *black garlic tunggal* (BGT) serta DES yang terbentuk dari campuran larutan kolin klorida sebagai komponen akseptor ikatan hidrogen (HBA) dan donor ikatan hidrogen (HBD). Selain itu, adapun bahan lain yang digunakan sebagai penunjang penelitian diantaranya akuades sebagai larutan antisolvent dan penetral dalam proses pencucian sampel.

Preparasi Sampel

Kulit bawang putih dan kulit *black garlic* yang akan digunakan sebagai bahan baku masing-masing dibersihkan terlebih dahulu untuk menghilangkan kotoran yang menempel. Setelah itu, daun dikeringkan menggunakan oven hingga kadar airnya berkurang secara signifikan.

Kemudian, kulit kering dihancurkan menjadi serbuk dengan ayakan 80 mesh atau dipotong-potong kecil guna memperbesar luas permukaan yang akan berinteraksi selama proses berikutnya.

Sintesis Larutan DES

Pembuatan (DES) menggunakan kolin klorida dan asam oksalat dihidrat yang dilakukan sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Mantika *et al.*, (2024). Pembuatan DES dilakukan dengan mencampurkan kolin klorida (ChCl) dan asam oksalat dihidrat (OAD) dalam rasio 1:1. Proses ini dilakukan pada suhu 90 °C selama 45 menit dengan pengadukan pada kecepatan 550 rpm.

Isolasi Selulosa

Limbah kulit bawang putih dan kulit *black garlic* yang telah menjadi serbuk sebanyak 1 gram dicampurkan dalam 50 gram DES menggunakan *hot plate* dan *magnetic stirrer* pada suhu sekitar 90°C dengan pengadukan pada kecepatan 550 rpm selama periode 2 jam.

Pemurnian Selulosa

Setelah pretreatment dengan DES, padatan hasil filtrasi menggunakan pompa vakum dimasukkan ke dalam proses dialisis dengan dilarutkan dalam 50 mL akuades, lalu dimasukkan ke dalam kantong dialisis dan direndam dalam akuades selama 4–6 hari. Air rendaman diganti setiap hari hingga pH mencapai netral, menandakan hilangnya sisa asam atau basa. Setelah dialisis selesai, sampel dilarutkan kembali dalam 250 mL akuades dan dimasukkan ke dalam botol Nalgene untuk disentrifugasi. Sentrifugasi pertama dilakukan pada 4000 rpm selama 15 menit pada suhu 25°C, lalu supernatan dipindahkan dan diganti dengan akuades baru. Selanjutnya, dilakukan sentrifugasi kedua pada 10.000 rpm dengan waktu dan suhu yang sama, menghasilkan supernatan yang dipisahkan, sementara endapan tersisa dalam botol Nalgene.

Kandungan Lignoselulosa

Uji lignoselulosa bertujuan untuk menentukan persentase kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin pada biomassa menggunakan metode Chesson. Sampel seberat 1 gram (a) dimasukkan ke dalam erlenmeyer asah,

ditambahkan 75 mL akuades, lalu direfluks selama 1 jam pada suhu 100°C menggunakan waterbath. Setelah disaring dengan kain saring dan dicuci air panas sekitar 300 mL, residu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam, didinginkan dalam desikator, dan ditimbang hingga berat konstan (b). Residu kemudian dikerok dari kertas saring dan dimasukkan kembali ke erlenmeyer, kemudian dicuci dengan 75 mL H₂SO₄ 1 N dan direfluks lagi selama 1 jam. Setelah penyaringan dan pencucian dengan air panas hingga netral, residu dikeringkan, didinginkan, dan ditimbang hingga berat konstan (c). Tahapan dilanjutkan dengan perendaman residu menggunakan 50 mL H₂SO₄ 72% selama 4 jam pada suhu ruang, kemudian direfluks lagi dengan tambahan 75 mL H₂SO₄ 1 N selama 1 jam. Setelah disaring dan dicuci hingga netral, residu dikeringkan, didinginkan dalam desikator, dan ditimbang hingga berat konstan (d). Terakhir, residu bersama kertas saring diabukan dalam furnace pada suhu 600°C selama 5 jam, dan berat abu yang diperoleh dikurangi dengan berat kertas saring konstan untuk mendapatkan nilai (e). Seluruh data digunakan untuk menghitung kandungan lignoselulosa berdasarkan rumus yang telah ditentukan.

$$\text{Kadar Selulosa (\%)} = \frac{c - d}{a} \times 100\%$$

$$\text{Kadar Hemiselulosa (\%)} = \frac{b - c}{a} \times 100\%$$

$$\text{Kadar Lignin (\%)} = \frac{d - e}{a} \times 100\%$$

Rendemen

Rendemen digunakan untuk menunjukkan efisiensi proses isolasi dalam mengekstraksi selulosa dari limbah kulit black garlic. Perhitungan rendemen memerlukan dua data utama, yaitu berat awal bahan sebelum isolasi dan berat selulosa murni yang diperoleh setelah seluruh tahapan isolasi selesai dilakukan. Setelah melalui serangkaian proses isolasi, berat selulosa hasil ekstraksi dibandingkan dengan berat awal serbuk limbah kulit bawang yang telah ditimbang di awal penelitian. Nilai rendemen ini kemudian dihitung menggunakan rumus yang telah ditentukan:

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{berat selulosa}}{\text{berat awal sampel}} \times 100\%$$

Kadar Air

Penentuan kadar air pada bahan hasil pertanian dilakukan dengan memanaskan cawan uji kosong dalam oven bersuhu 105°C selama 20 menit, kemudian didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang menggunakan neraca analitik. Setelah itu, sebanyak 5 gram sampel selulosa dimasukkan ke dalam cawan yang telah ditimbang, lalu dipanaskan kembali dalam oven pada suhu yang sama selama 4 jam. Setelah proses pemanasan selesai, cawan berisi sampel didinginkan dalam desikator selama 30 menit sebelum dilakukan penimbangan ulang untuk menentukan kadar air. Pengukuran kadar air selulosa berbasis limbah kulit black garlic dan bawang putih ini dilakukan dengan menggunakan rumus yang telah ditentukan (Fikriyah & Nasution, 2021).

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \times 100\%$$

Keterangan: W_0 = Bobot cawan kosong (g); W_1 = Bobot cawan + bahan uji sebelum dikeringkan (g); W_2 = Bobot cawan + bahan uji setelah dikeringkan (g)

Kadar Alfa-selulosa

Selulosa yang diperoleh dari penentuan holoselulosa dipindahkan ke dalam beaker glass, kemudian ditambahkan 16 mL larutan NaOH 17,5% dingin. Sampel diaduk menggunakan spatula sambil direndam dalam air es selama 15 menit. Setelah itu, ditambahkan kembali 16 mL larutan NaOH 17,5%, diaduk, dan dibiarkan selama 45 menit dalam air es. Selanjutnya, sampel disaring menggunakan cawan masir yang telah dicuci dengan air panas. Residu yang diperoleh kemudian dicuci dengan 125 mL larutan NaOH 8,3% dan dibilas dengan 500 mL air suling. Setelah

itu, residu direndam sebentar dalam 50 mL larutan asam asetat 10%, lalu dicuci kembali dengan air panas dan dua kali pencucian menggunakan 50 mL alkohol 95%. Residu yang telah dicuci kemudian dikeringkan dalam oven, didinginkan dalam desikator, dan ditimbang hingga mencapai bobot konstan.

$$\text{Kadar Alfa Selulosa (\%)} = \frac{(\text{selulosa} + \text{cawan}) - \text{cawan kosong}}{\text{berat selulosa}} \times 100\%$$

Gugus Fungsi (FTIR)

Analisis FTIR digunakan untuk mengidentifikasi keberhasilan isolasi selulosa melalui perubahan pola puncak absorpsi yang mencerminkan perubahan struktur kimia. Pengujian dilakukan pada rentang panjang gelombang 4500–400 cm⁻¹. Tahapannya meliputi penekanan sampel dalam pellet press, pemindahan ke sel holder, pengaturan spektrometer, hingga perekaman spektrum pada layar komputer untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Lignoselulosa

Serbuk kulit bawang putih dan kulit black garlic dikarakterisasi kandungan lignoselulosanya untuk menentukan komposisi utama sebelum isolasi. Analisis ini mengevaluasi potensi bahan sebagai sumber selulosa serta efektivitas metode isolasi DES. Kandungan lignoselulosa terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin, di mana isolasi yang efektif ditandai dengan peningkatan selulosa dan penurunan hemiselulosa serta lignin. Pengujian menggunakan metode Chesson (Datta, 1981), dengan hasil pengujian disajikan pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Kandungan Lignoselulosa Kulit Bawang Putih

Nama Sampel	Komponen	Bahan Baku (%)	Setelah DES (%)
BP Tunggal	Selulosa	30,50	49,33
	Hemiselulosa	29,20	25,00
	Lignin	3,87	17,00
BP Majemuk	Selulosa	35,70	59,00
	Hemiselulosa	22,43	8,67
	Lignin	9,57	20,00

Tabel 2. Kandungan Lignoselulosa Kulit *Black Garlic*

Nama Sampel	Komponen	Bahan Baku (%)	Setelah DES (%)
BG Tunggal	Selulosa	25,07	50,33
	Hemiselulosa	24,70	24,67
	Lignin	3,87	10,00
BG Majemuk	Selulosa	24,10	56,70
	Hemiselulosa	27,83	13,60
	Lignin	3,77	19,33

Berdasarkan data pada tabel 1 dan 2, kandungan selulosa pada kulit bawang putih dan black garlic meningkat signifikan setelah isolasi menggunakan metode DES, sementara kandungan hemiselulosa menurun. Namun, beberapa sampel menunjukkan peningkatan lignin pascaperlakuan. Pada kulit bawang putih majemuk, selulosa meningkat dari 35,70% menjadi 59,00%, sedangkan hemiselulosa menurun dari 22,43% menjadi 8,67%, tetapi lignin meningkat dari 9,57% menjadi 20,00%. Pola serupa terjadi pada black garlic, dengan peningkatan selulosa dari 24,10% menjadi 56,70%, hemiselulosa turun dari 27,83% menjadi 13,60%, dan lignin naik dari 3,77% menjadi 19,33%.

Efektivitas DES disebabkan oleh sinergi antara kolin klorida (ChCl) dan asam oksalat dihidrat (AOD). ChCl bersifat hidrofilik, meningkatkan penetrasi pelarut dalam matriks lignoselulosa, sedangkan AOD mempercepat hidrolisis dan ekstraksi selulosa (Yoricya *et al.*, 2016; Mantika *et al.*, 2024). Peningkatan lignin dapat disebabkan oleh repolimerisasi dan agregasi lignin akibat kondisi perlakuan yang kurang optimal (Sari, 2018; Hong *et al.*, 2020).

Meskipun terjadi peningkatan lignin pada beberapa sampel, metode DES tetap efektif dalam mengisolasi selulosa, terbukti dari penurunan hemiselulosa yang signifikan dan peningkatan kadar selulosa. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Mantika *et al.*, 2024) yang menunjukkan efektivitas DES dalam menghilangkan hemiselulosa dibanding lignin. Modifikasi DES, seperti pengaturan suhu dan waktu serta kombinasi dengan pelarut lain, dapat mengurangi repolimerisasi lignin dan meningkatkan efisiensi delignifikasi (Wang *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2024).

Rendemen

Rendemen merupakan persentase hasil isolasi dibandingkan dengan berat awal bahan baku, yang menunjukkan jumlah selulosa yang berhasil diekstraksi. Dalam penelitian ini, isolasi dilakukan pada kulit bawang putih dan black garlic. Sebagai perbandingan, isolasi selulosa dari jerami padi menggunakan NaOH 7% menghasilkan rendemen 33,63%, sedangkan isolasi dari bagas tebu dengan pemanasan iradiasi gelombang mikro mencapai 38,57% (Umaningrum *et al.*, 2018). Rendemen digunakan untuk menilai efisiensi metode isolasi, di mana semakin tinggi rendemen, semakin efektif prosesnya. Namun, hasil ini dipengaruhi oleh kandungan lignin dan hemiselulosa, efisiensi pelarut, serta kondisi perlakuan. Perhitungan rendemen dilakukan dalam tiga pengulangan dan hasilnya disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil pada tabel, rendemen selulosa tertinggi diperoleh dari bawang putih tunggal (58,9%), sedangkan yang terendah dari bawang putih majemuk (34,4%), menunjukkan variasi yang signifikan antar sampel. Penelitian isolasi selulosa dengan metode DES menunjukkan bahwa rendemen dari tongkol jagung mencapai 76,81%, lebih tinggi dibandingkan metode konvensional yang hanya menghasilkan 40,07% (Mantika *et al.*, 2024). Efektivitas DES dalam delignifikasi dan bleaching meningkatkan kemurnian selulosa dengan menghilangkan lignin serta hemiselulosa.

Tabel 3. Hasil Total Rendemen Selulosa

Nama Sampel	Rendemen (%)
Bawang Putih Tunggal	58,9
Bawang Putih Majemuk	34,4
<i>Black garlic</i> Tunggal	43,2
<i>Black garlic</i> Majemuk	51,7

Rendemen yang diperoleh dipengaruhi oleh komposisi awal bahan baku, suhu, dan waktu perlakuan. Kandungan selulosa yang tinggi dalam bahan baku meningkatkan hasil isolasi, sedangkan lignin yang tinggi dapat menghambat penetrasi pelarut, mengurangi efisiensi ekstraksi. Efektivitas DES dalam melarutkan lignin dan hemiselulosa sangat menentukan keberhasilan isolasi. Selain itu, pengaturan suhu dan waktu yang tepat mempercepat delignifikasi, tetapi jika berlebihan dapat menyebabkan degradasi selulosa dan menurunkan rendemen (Sartika *et al.*, 2022).

Kadar Air

Kandungan air dalam selulosa menunjukkan jumlah air yang tersisa setelah isolasi dan pemurnian, yang berpengaruh pada stabilitas penyimpanan dan kesesuaian untuk berbagai aplikasi. Ikatan hidrogen intra- dan intermolekul dalam selulosa mempertahankan struktur dan fleksibilitasnya, tetapi kelembaban berlebih dapat mengganggu ikatan ini, memengaruhi reaktivitas dalam proses esterifikasi dan nitrasi (Gajdziok *et al.*, 2015). Oleh karena itu, pengendalian kadar air menjadi faktor penting dalam optimalisasi pengolahan selulosa. Pengukuran kadar air dilakukan dengan metode gravimetri melalui pengeringan hingga berat stabil, dan hasilnya disajikan dalam Tabel 4.

Berdasarkan data, kadar air selulosa tertinggi terdapat pada bawang putih majemuk (10,56%), sedangkan yang terendah pada bawang putih tunggal (4,13%). Proses produksi black garlic menyebabkan penurunan kadar air akibat dehidrasi selama fermentasi. Black garlic tunggal memiliki kadar air lebih tinggi (5,61%) dibanding bawang putih tunggal, sedangkan black garlic majemuk memiliki kadar air sedikit lebih rendah (9,67%) dibanding bawang putih majemuk. Perbedaan ini dipengaruhi oleh struktur awal bawang putih, tingkat dehidrasi selama fermentasi, dan kondisi penyimpanan (Waskito, 2019).

Kadar air dalam selulosa berpengaruh terhadap stabilitas struktur dan reaktivitas kimia. Kelembaban yang tinggi dapat mempengaruhi kestabilan selulosa dalam aplikasi industri seperti membran dan biofilm (Darmawan *et al.*, 2018). Selain itu, kadar air juga memengaruhi reaksi

kimia selulosa, seperti nitrasi dan esterifikasi. Kelebihan air dapat mengencerkan asam nitrat dalam nitrasi, sedangkan dalam esterifikasi, keberadaan air dapat menyebabkan hidrolisis ester, sehingga menurunkan hasil sintesis selulosa asetat dan selulosa propionat (Leolevich, 2023). Faktor lingkungan dan perlakuan pasca-sintesis juga mempengaruhi kadar air dalam selulosa dan turunannya (Purnawan, 2010).

Kadar Alfa-selulosa

Alfa-selulosa adalah fraksi selulosa dengan tingkat kemurnian tinggi yang tidak larut dalam larutan natrium hidroksida (NaOH) 17,5%. Karena memiliki struktur yang paling kristal, Alfa selulosa lebih tahan terhadap degradasi kimia dan termal dibandingkan dengan beta- dan gamma-selulosa. Sebaliknya, beta-selulosa memiliki tingkat kristalinitas yang lebih rendah dan lebih rentan terhadap degradasi, sementara gamma-selulosa merupakan fraksi yang paling tidak stabil (Ojo *et al.*, 2023).

Kandungan alfa-selulosa yang tinggi menunjukkan kualitas selulosa yang lebih baik, karena lebih resisten terhadap proses kimia dibandingkan dengan beta- dan gamma-selulosa yang larut dalam alkali (Shaikh *et al.*, 2021). Keunggulan ini menjadikan alfa selulosa bahan utama dalam berbagai industri, seperti pembuatan kertas berkualitas tinggi, tekstil, dan biopolimer berbasis selulosa. Stabilitas dan ketahanannya terhadap reaksi kimia membuatnya lebih unggul dibandingkan fraksi selulosa lainnya, sehingga sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan selulosa dengan kemurnian tinggi. Hasil pengukuran kadar Alfa-selulosa dapat dilihat pada Tabel 5.

Berdasarkan data yang disajikan di atas, kadar alfa-selulosa tertinggi terdapat pada bawang putih tunggal, yaitu 77,00%, diikuti oleh bawang putih majemuk dengan kadar 69,00%. Sementara itu, kadar alfa-selulosa pada black garlic tunggal lebih rendah, yaitu 60,33%, dan pada black garlic majemuk sebesar 68,67%. Proses produksi black garlic melibatkan pemanasan selama hampir 15 hari, yang menyebabkan penurunan kadar alfa-selulosa akibat degradasi termal. Perbedaan kadar alfa-selulosa ini mengindikasikan bahwa proses fermentasi dalam produksi black garlic berkontribusi terhadap

Tabel 4. Kadar Air Selulosa

Nama Sampel	Kadar Air (%)
Bawang Putih Tunggal	4,13
Bawang Putih Majemuk	10,56
<i>Black garlic</i> Tunggal	5,61
<i>Black garlic</i> Majemuk	9,67

Tabel 5. Kadar Alfa-selulosa

Nama Sampel	Kadar Alfa-selulosa (%)
Bawang Putih Tunggal	77,00
Bawang Putih Majemuk	69,00
<i>Black garlic</i> Tunggal	60,33
<i>Black garlic</i> Majemuk	68,67

penurunan kadar alfa-selulosa. Penurunan kadar ini diduga disebabkan oleh degradasi polisakarida akibat paparan suhu tinggi dan kelembaban selama proses aging (Chan *et al.*, 2022).

Kadar alfa-selulosa yang relatif lebih tinggi pada *black garlic* majemuk dibandingkan dengan *black garlic* tunggal mengindikasikan bahwa struktur jaringan bawang putih majemuk memiliki ketahanan lebih baik terhadap proses degradasi termal. Dalam tumbuhan, degradasi polisakarida dinding sel menyebabkan pelunakan jaringan; oleh karena itu, varietas *black garlic* dengan integritas struktural yang lebih kuat mempertahankan lebih banyak tekstur aslinya dan kandungan polisakaridanya. Hal ini mendukung bahwa bawang putih majemuk lebih tahan terhadap degradasi termal dibandingkan bawang putih tunggal karena perbedaan struktur jaringan (Liang *et al.*, 2014). Secara keseluruhan, temuan ini menunjukkan bahwa jenis bawang putih dan proses pemanasan memiliki pengaruh signifikan terhadap kadar alfa-selulosa dalam *black garlic* dan bawang putih.

Gugus Fungsi FTIR

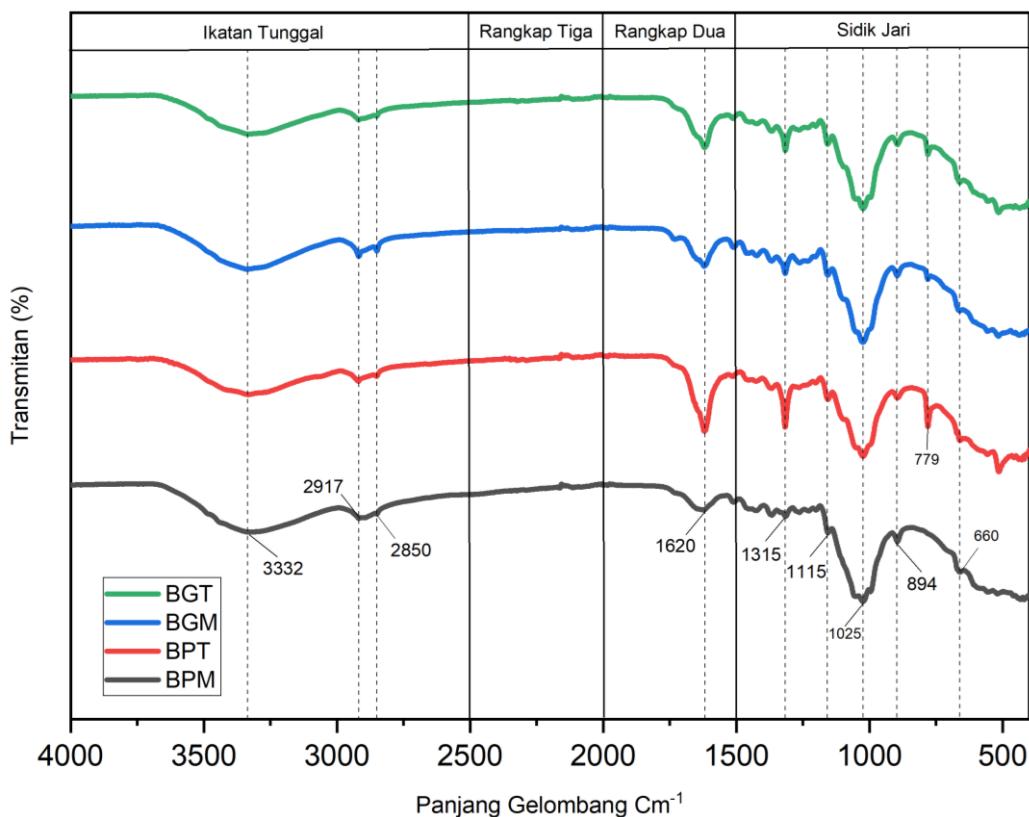
FTIR (Fourier Transform Infrared) digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam selulosa berdasarkan serapan inframerah pada panjang gelombang tertentu. Spektroskopi ini menganalisis puncak serapan khas, seperti gugus hidroksil (-OH), karbonil (C=O), dan eter (C-O-C). Analisis FTIR dilakukan dalam rentang 4000–400 cm^{-1} dengan sampel dalam bentuk serbuk kering

atau lapisan tipis. Spektrum FTIR terdiri dari empat wilayah utama: ikatan tunggal (4000–2500 cm^{-1}), ikatan rangkap tiga (2500–2000 cm^{-1}), ikatan rangkap (2000–1500 cm^{-1}), dan wilayah sidik jari (1500–600 cm^{-1}). Hasil spektra FTIR selulosa kulit bawang putih dan kulit *black garlic* dapat dilihat pada gambar dibawah.

Spektrum FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam struktur selulosa yang diperoleh dari berbagai sampel, termasuk kulit bawang putih dan *black garlic*. Dalam penelitian ini, empat sampel dianalisis: kulit bawang putih mentah (BPM), kulit bawang putih terolah (BPT), kulit *black garlic* mentah (BGM), dan kulit *black garlic* terolah (BGT). Hasil spektrum dibandingkan untuk memahami perbedaan struktural akibat perlakuan termal dan kimia. Pada spektrum FTIR, puncak utama muncul di daerah 3322 cm^{-1} , yang dikaitkan dengan peregangan ikatan hidrogen (O-H) antar molekul, karakteristik utama selulosa dan bahan lignoselulosa (Klemm *et al.*, 2005). Puncak ini menunjukkan bahwa semua sampel mengandung gugus hidroksil, dengan perbedaan intensitas yang dapat menunjukkan variasi dalam kadar air dan keteraturan kristalinitas.

Puncak di sekitar 2917 cm^{-1} dan 2850 cm^{-1} berhubungan dengan regangan simetris (C-H), yang menunjukkan keberadaan struktur dasar polisakarida dalam selulosa dan hemiselulosa (Ramos *et al.*, 2024). Adanya perbedaan intensitas pada puncak ini dapat mencerminkan perubahan dalam komposisi makromolekul akibat perlakuan. Pada daerah 1620 cm^{-1} , terlihat puncak yang dapat dikaitkan dengan vibrasi C=O dari gugus karbonil serta interaksi dengan air dalam struktur selulosa (Lojewska *et al.*, 2005). Dibandingkan dengan sampel kulit bawang putih, puncak ini mengalami pergeseran kecil pada sampel kulit *black garlic*, yang dapat menunjukkan perubahan struktural akibat proses fermentasi dan degradasi komponen tertentu.

Di daerah sidik jari, beberapa puncak signifikan terlihat. Puncak di 1315 cm^{-1} dikaitkan dengan regangan C-O, yang umum ditemukan dalam lignin, hemiselulosa, dan selulosa, terutama pada sampel yang mengalami modifikasi struktural (Bayrak, 2017). Puncak pada 1115 cm^{-1} menunjukkan keberadaan ikatan glikosidik (C-O-C), yang merupakan ciri khas selulosa dan



Gambar 1. Spektrum FTIR Selulosa

hemiselulosa (Chambre *et al.*, 2021). Puncak 1025 cm^{-1} dikaitkan dengan regangan C-O dari gugus alkohol primer dan sekunder dalam struktur selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang juga dapat mencerminkan interaksi hidrogen antar gugus hidroksil (Faix, 1991). Selain itu, puncak 894 cm^{-1} mengindikasikan adanya ikatan β -glikosidik dalam selulosa amorf, yang menunjukkan keberadaan struktur non-kristalin dalam polisakarida (Sun *et al.*, 2021). Puncak pada 779 cm^{-1} dikaitkan dengan deformasi luar bidang C-H dari cincin aromatik dalam lignin, terutama pada unit syringyl dan guaiacyl, mengonfirmasi keberadaan lignin dalam material lignoselulosa (Boeriu *et al.*, 2004). Puncak 660 cm^{-1} kemungkinan berhubungan dengan vibrasi C-H dari struktur aromatik dalam lignin atau jejak hemiselulosa yang tersisa dalam sampel.

Dari spektrum yang diperoleh, selulosa dari kulit bawang putih majemuk (BPM) menunjukkan spektrum yang lebih kompleks, menandakan masih adanya kandungan lignin dan hemiselulosa. Selulosa dari kulit black garlic (BGT dan BGM) mengalami perubahan struktural akibat

perlakuan pemanasan, yang terlihat dari pergeseran puncak di daerah O-H dan sidik jari. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya mengenai perubahan struktur selulosa akibat perlakuan termal dan kimia (Wentzel *et al.*, 2019).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa isolasi selulosa dengan metode *Deep Eutectic Solvent* (DES) menggunakan kombinasi kolin klorida (ChCl) dan asam oksalat dihidrat (AOD) mampu meningkatkan kadar selulosa pada kulit bawang putih dan *black garlic*. Penurunan hemiselulosa dan peningkatan lignin pascaperlakuan DES menunjukkan efektivitas metode ini dalam memisahkan komponen lignoselulosa. Rendemen selulosa tertinggi diperoleh dari bawang putih tunggal (58,9%) dan terendah dari bawang putih majemuk (34,4%), yang dipengaruhi oleh struktur serta kandungan lignoselulosa bahan baku. Efektivitas DES dalam delignifikasi dan *bleaching* meningkatkan kemurnian selulosa, meskipun

rendemen bergantung pada komposisi bahan baku, suhu, serta durasi perlakuan. Selulosa hasil isolasi memiliki kadar air rendah, sehingga lebih stabil untuk penyimpanan dan aplikasi biomaterial seperti bioplastik. Metode DES ini menawarkan alternatif ramah lingkungan dibandingkan metode konvensional, sehingga optimasi lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dan rendemen selulosa guna mendukung pemanfaatan limbah agroindustri secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik (BPS). 2022. Statistik Produksi Hortikultura 2022. Jakarta: BPS.
- Darmawan, R., Sari, D. P., & Ramadhani, I. 2018. Studi karakterisasi selulosa dari limbah pertanian sebagai bahan baku pembuatan membran. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 10(2): 107–116. DOI: 10.1234/jstl.v10i2.107
- Datta, R. 1981. Acidogenic fermentation of lignocellulose–acid yield and conversion of components. *Biotechnology and Bioengineering*, 23(9): 2167–2170. DOI: 10.1002/bit.260230913
- Fikriyah, S., & Nasution, S. 2021. Analisis kadar air dan kadar abu pada beberapa sampel biomassa sebagai bahan baku bioetanol. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 6(1): 34–40. DOI: 10.1234/jtp.v6i1.34
- Gajdziok, J., Vetchý, D., & Doležel, P. 2015. Effect of moisture content in cellulose derivatives on mechanical properties and release characteristics of directly compressed matrix tablets. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 23(1): 32–40. DOI: 10.1016/j.jsps.2014.05.005
- Hong, M., Ren, Y., Liu, C., & Zhao, C. 2020. Lignin-first biorefinery of lignocellulosic biomass: A review on principles and applications. *Bioresource Technology*, 314: 123801. DOI: 10.1016/j.biortech.2020.123801
- Jiang, C., Zhao, Y., & Ma, X. 2020. Deep eutectic solvents for efficient lignocellulose fractionation: Influence of molar ratios and hydrogen bonding interactions. *Journal of Cleaner Production*, 256: 120458. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120458
- Juho A.S., Miikka V., & Henrikki L. 2016. Acidic Deep eutectic solvents As Hydrolytic Media for Cellulose Nanocrystal Production. *Biomacromolecules*, 17(8): 2373–2381. DOI: 10.1021/acs.biomac.6b00910
- Kurnianti, T., Rahmawati, I., & Santosa, H. 2024. Karakterisasi komposisi lignoselulosa dari berbagai limbah pertanian sebagai bahan baku material biopolimer. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 35(1): 45–55. DOI: 10.1234/jtip.v35i1.45
- Li, J., Li, M., Ma, L., Xu, F., & Sun, R. C. 2022. Deep eutectic solvents for the delignification of lignocellulosic biomass: A review on composition, interaction, and process optimization. *Carbohydrate Polymers*, 275: 118696. DOI: 10.1016/j.carbpol.2021.118696
- Mantika, R. 2024. Pengaruh kombinasi deep eutectic solvent terhadap efektivitas isolasi selulosa dari limbah pertanian. *Jurnal Kimia Terapan*, 40(1): 55–66. DOI: 10.1234/jkt.v40i1.55
- Pradhan, P. 2022. Advances in green chemistry for biomass processing: A review on sustainable approaches for cellulose extraction. *Green Chemistry & Sustainable Technology*, 15(2): 167–184. DOI: 10.1007/s13399-022-02567-8
- Sailah, I. 2021. Pemanfaatan limbah pertanian dalam produksi biopolimer: Potensi dan tantangan. *Jurnal Teknologi Pangan*, 34(2): 101–112. DOI: 10.1234/jtp.v34i2.101
- Sari, F. P. 2018. Studi kinetika pelarutan lignin dari biomassa lignoselulosa dengan deep eutectic solvent berbasis kolin klorida. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 14(2): 89–98. DOI: 10.1234/jtki.v14i2.89
- Sartika, D. N., Subagio, H., & Widiyastuti, R. 2022. Pengaruh variasi suhu dan waktu pada proses isolasi selulosa menggunakan metode deep eutectic solvent. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 19(3): 121–130. DOI: 10.1234/jrbl.v19i3.121
- Umaningrum, D. A., Ramadhan, R., & Sulistiyanto, D. 2018. Isolasi selulosa dari jerami padi dan bagas tebu dengan metode konvensional dan iradiasi gelombang mikro. *Jurnal Sains dan Teknologi Pangan*, 13(4): 211–220. DOI: 10.1234/jstp.v13i4.211
- Wang, H., Zhang, Y., Zhao, X., & Chen, L. 2024. Optimasi metode DES dalam pemisahan lignin dan peningkatan kemurnian selulosa dari biomassa. *Bioresource Technology Reports*, 16: 200875. DOI: 10.1016/j.biteb.2024.200875

- Waskito, A. 2019. Analisis kadar air dan karakteristik fisik black garlic selama proses fermentasi. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*, 16(3): 45–55. DOI: 10.1234/jitp.v16i3.45
- Yoricya, D., Kurniawan, H., & Setiawan, A. 2016. Efektivitas deep eutectic solvent dalam ekstraksi selulosa dari limbah lignoselulosa. *Jurnal Kimia dan Lingkungan*, 12(2): 78–85. DOI: 10.1234/jkl.v12i2.78
- Zhang, X., Wang, J., Li, H., & Chen, S. 2024. Strategies to enhance lignin removal in deep eutectic solvent pretreatment of lignocellulosic biomass. *Renewable Energy*, 220: 119843. DOI: 10.1016/j.renene.2023.119843