

Perbandingan Hasil Delignifikasi Jerami Padi menggunakan *Natural Ternary Deep Eutectic Solvent* dengan Variasi Penambahan Air

Maria Assumpta Nogo Ole^{1*}, Dian Ranggina¹, Harun Pampang¹, Muhammad Arham Yunus¹, Zakiah Darajat¹, Mimin Septiani¹, Andina Sari Maharani¹, Andi Ahmad Maulana Senna Cincing¹, Sherlina Zalfa Pertiwi¹, Dwi Ferel Imanuel Bala¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jl Perintis Kemerdekaan KM.10, Makassar, 90245, Indonesia

Informasi Artikel

Kata kunci:
Jerami padi
Delignifikasi
NATDES
Penambahan air
Gula reduksi

Abstrak

Jerami padi, sebagai hasil samping pertanian yang melimpah di Indonesia, memiliki potensi besar sebagai bahan baku untuk produksi energi terbarukan seperti biohidrogen dan bioetanol. Kandungan lignin dalam biomassa menghambat hidrolisis sehingga perlu dikurangi; untuk itu penelitian ini mengembangkan metode delignifikasi menggunakan *Natural Ternary Deep Eutectic Solvent* (NATDES) yang tersusun dari kolin klorida, asam laktat, dan asam sitrat pada rasio molar 0,1:0,6:0,3 dengan variasi penambahan air 0–20% (v/v). Perlakuan dilakukan pada rasio padatan:pelarut 1:10 (w/v) dalam reaktor pada 121 °C. Analisis FTIR pada residu padatan menunjukkan kadar lignin terendah (0,72%) pada perlakuan dengan 20% air, yang mengindikasikan bahwa penambahan air menurunkan viskositas NATDES dan meningkatkan efisiensi delignifikasi. Analisis gula pereduksi menggunakan metode dinitrosalisilat (DNS) menunjukkan bahwa kadar gula pereduksi terlarut tidak maksimal pada perlakuan 20% air akibat adanya fenolik bebas hasil degradasi lignin; oleh karena itu perlakuan pra-analitik untuk assay DNS perlu dioptimalkan untuk menghilangkan interferensi fenolik, furfural, dan kekeruhan serta memastikan kuantifikasi gula pereduksi yang akurat. Hasil penelitian ini menunjukkan perlunya optimasi kandungan air dalam formulasi NATDES untuk meningkatkan potensi NATDES sebagai pelarut hijau untuk mendukung konversi jerami padi yang lebih bersih dan efisien.

Article Information

Keywords:
Rice straw
Delignification
NATDES
Water addition
Reducing sugar

Abstract

Rice straw, an abundant agricultural by product in Indonesia, holds substantial potential as a feedstock for renewable energy production such as biohydrogen and bioethanol. Lignin content in the biomass impedes hydrolysis and therefore must be reduced; to address this, the present study developed a delignification method using a Natural Ternary Deep Eutectic Solvent (NATDES) composed of choline chloride, lactic acid, and citric acid at a molar ratio of 0.1:0.6:0.3 with water additions varying from 0 to 20% (v/v). Treatments were performed at a solid:solvent ratio of 1:10 (w/v) in a reactor at 121 °C. FTIR analysis of the solid residues indicated the lowest lignin content (0.72%) for the treatment containing 20% water, suggesting that water addition reduces NATDES viscosity and enhances delignification efficiency. Reducing sugar analysis by the dinitrosalicylic acid (DNS) method showed that dissolved reducing sugar levels were not maximal in the 20% water treatment due to the presence of free phenolics resulting from lignin degradation; therefore, pre analytical treatment of samples for the DNS assay—such as centrifugation/filtration, SPE or activated charcoal cleanup, pH adjustment, and spike recovery tests—should be optimized to remove phenolic, furfural, and turbidity interferences and ensure accurate quantification of reducing sugars. These results underscore the need to optimize water content in NATDES formulations and to apply appropriate sample cleanup procedures, and they demonstrate the potential of NATDES as a green solvent to support cleaner and more efficient conversion of rice straw biomass.

1. Pendahuluan

Berdasarkan data BPS pada tahun 2024, luas panen padi di Sulawesi Selatan menempati urutan ke-4 terbesar di Indonesia setelah Jawa Timur, Jawa Tengah dan Jawa Barat yakni sebesar 951.308,60 ha dengan produktivitas sebesar 50,65 kuintal/ha.

*Afiliasi penulis korespondensi: Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, 90245, Indonesia

Email: maria.ole@poliupg.ac.id (Maria Assumpta Nogo Ole)

<https://doi.org/10. ...>

Submisi 20 November 2025; Revisi 30 Desember 2025; Diterima 26 Januari 2026

Publish online 31 Januari 2026

Penulis 2026, di bawah persyaratan lisensi [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Data ini memberikan gambaran terhadap potensi biomassa yang dihasilkan sebagai limbah dari lahan pertanian untuk diolah menjadi bioenergi, seperti jerami padi ([Badan Pusat Statistik, 2025](#)). Pada umumnya, jerami padi hasil samping panen akan dikumpulkan kemudian dibakar. Namun solusi tersebut

mendatangkan masalah baru yaitu pencemaran udara dan peningkatan gas rumah kaca di atmosfer. Solusi lain yang ditawarkan adalah mengembalikan jerami padi ke tanah sebagai pupuk untuk meningkatkan kesuburan tanah serta sebagai makanan ternak (Yanuartono et al., 2017). Akan tetapi solusi tersebut tidak dapat menambah nilai ekonomi dari jerami padi sehingga ditawarkan solusi lain yaitu pengolahan jerami padi menjadi bioenergi seperti biohidrogen, biometan dan bioetanol.

Tantangan dalam pengolahan jerami padi menjadi bioenergi terletak pada kandungan lignin yang merupakan polimer rantai panjang dan tidak dapat diurai menjadi gula. Keberadaan lignin, sebuah polimer aromatik yang kompleks, menjadi penghalang utama karena melindungi matriks karbohidrat, sehingga mengurangi aksesibilitas enzim dan menurunkan efisiensi hidrolisis (Chandel et al., 2018).

Agar dapat mengatasi kendala tersebut, berbagai metode *pretreatment* telah dikembangkan, termasuk penggunaan pelarut hijau berbasis *deep eutectic solvents* (DES). DES merupakan campuran sederhana antara donor dan akseptor ikatan hidrogen yang menghasilkan pelarut dengan titik leleh rendah, stabil, ramah lingkungan, serta mampu berinteraksi secara kuat dengan struktur lignin. Sub kelompok DES yang dikenal sebagai *natural deep eutectic solvents* (NADES), yang tersusun dari komponen alami seperti asam organik, kolin, dan gula, telah menarik perhatian karena sifat biodegradabel, toksisitas rendah, dan efisiensi kimianya dalam memutus ikatan penting dalam lignin, khususnya ikatan β -O-4 dan ikatan ester dalam kompleks lignin-karbohidrat. Kombinasi NADES berbasis *choline chloride* dan *lactic acid* telah efektif melarutkan lignin secara selektif tanpa merusak struktur karbohidrat (Pampang et al., 2025).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa performa pelarutan lignin dapat ditingkatkan melalui pengembangan sistem pelarut tiga komponen atau *natural ternary deep eutectic solvents* (NATDES) dengan penambahan asam sitrat ke dalam sistem biner ChCl-LA . Studi pada tahun 2024 menunjukkan bahwa NATDES berbasis asam laktat : asam sitrat : choline chloride pada rasio 0.6 : 0.3 : 0.1 mampu mengekstraksi lignin kayu akasia hingga 99,6% dengan kemurnian lebih dari 91%, jauh lebih tinggi dibandingkan sistem DES biner (Fernandes et al., 2024). Hasil yang diperoleh dari proses ini dikaitkan dengan efek sinergis dua asam organik yang mampu mempercepat pemutusan ikatan eter aromatik serta meningkatkan difusi pelarut ke dalam matriks dinding sel (Yang et al., 2022). Selain itu, beberapa studi menunjukkan bahwa penggunaan NATDES dapat menurunkan kerusakan terhadap selulosa maupun hemiselulosa, sehingga fraksi karbohidrat tetap lebih stabil setelah perlakuan (Jančíková & Jablonský, 2024).

Penambahan air ke dalam NATDES diharapkan mampu menurunkan viskositas pelarut sehingga meningkatkan difusi ke dalam struktur dinding sel biomassa, sekaligus memperbaiki mobilitas ionik yang berperan dalam pemutusan ikatan lignin-karbohidrat (Rozas et al., 2021). Namun, kelebihan air dapat melemahkan interaksi hidrogen internal pelarut, sehingga mengurangi kapasitas solvasinya terhadap lignin. Beberapa studi

menunjukkan bahwa adanya kadar air optimum memungkinkan NATDES mempertahankan keseimbangan antara fluiditas dan kekuatan solubilitas, sehingga tetap efektif dalam mendisrupsi ikatan aromatik dan meningkatkan efisiensi delignifikasi (Rozas et al., 2021; Vilková et al., 2020).

Secara keseluruhan, penelitian ini dirancang untuk melihat kemampuan pelarut NATDES untuk menurunkan kadar lignin jerami padi. Penambahan air diharapkan dapat meningkatkan aktivitas pelarut terhadap delignifikasi jerami padi sehingga meningkatkan potensi nilai limbah pertanian untuk dikonversi dalam proses hidrolisis menjadi bahan baku energi terbarukan.

2. Metode

2.1. Preparasi Sampel

Limbah jerami padi yang sudah kering dibersihkan dari kotoran yang menempel kemudian dipotong-potong menjadi ukuran yang lebih kecil selanjutnya bahan dibuat menjadi bubuk jerami padi menggunakan mesin penepung dan diayak menggunakan ayakan 60 mesh. Bubuk yang lolos ayakan dikeringkan pada suhu 60°C hingga berat konstan (Ji et al., 2021). Kemudian *powder* jerami padi disimpan dalam wadah tertutup dengan suhu ruangan dan siap untuk digunakan pada *pretreatment* kimiawi.

2.2. Preparasi Pelarut

Pelarut *ternary* dibuat dengan melarutkan ChCl:AL:AS dengan molar rasio 0,1:0,6:0,3 (Fernandes et al., 2024). Bahan diaduk pada kecepatan 200 rpm sambil dipanaskan pada 80°C selama 15 menit hingga campuran homogen. Campuran *ternary* ini disebut NATDES (Yan et al., 2021). Pelarut NATDES selanjutnya dicampur dengan air dengan rasio 1:0, 0,9:0,1 dan 0,8:0,2 (v/v) untuk digunakan sebagai pelarut (Fernandes et al., 2024).

2.3. Pretreatment Jerami Padi

Proses termal dilakukan dengan cara menimbang sejumlah gram bubuk jerami ke dalam wadah dan dicampurkan dengan mililiter NATDES dengan perbandingan 1:10 (w/v). Selanjutnya wadah dimasukkan ke dalam reaktor dan diatur suhu 121°C selama 90 menit (Nargotra et al., 2022; Sharma et al., 2021). Setelah proses termal selesai sampel disaring dengan menghubungkan pompa vakum diikuti pencucian dengan air demineral. Filtrat disimpan di *freezer* dan dianalisis kadar gula reduksi, sedangkan residu dikeringkan hingga berat konstan pada suhu 60°C.

2.4. Analisa Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Spektra FTIR diperoleh menggunakan spektrometer Shimadzu FTIR-8400S dalam mode transmisi pada rentang 4000–400 cm^{-1} , dengan resolusi 4 cm^{-1} dan 64 kali pemindaian per spektra. Sebelum pengukuran, sampel serbuk dikeringkan pada suhu 40–50°C selama 60 menit. Pembuatan pelet dilakukan menggunakan teknik pelet KBr: KBr anhidrat grade-IR dikeringkan pada 105°C, kemudian 2 mg serbuk sampel dicampur secara homogen dengan 100–200 mg KBr kering

menggunakan mortar agat hingga halus dan tercampur merata. Campuran tersebut kemudian dikompresi menjadi pelet bening di bawah tekanan 8–10 ton selama 1–2 menit. (Wood et al., 2012).

Spektrum FTIR direkam pada rentang $4000\text{--}500\text{ cm}^{-1}$ dengan pengambilan rata-rata beberapa pemindaian untuk meningkatkan kualitas sinyal. Nilai spektral diambil di sekitar tiga puncak karakteristik— 1510 cm^{-1} (lignin), 1730 cm^{-1} (hemiselulosa), dan 895 cm^{-1} (selulosa)—dalam bentuk tinggi dan luas puncak. Metode *Partial Least Squares* (PLS) digunakan untuk memodelkan hubungan antara fitur FTIR dan komposisi sampel; kompleksitas model dipilih melalui validasi silang dan kinerja dilaporkan sebagai ukuran kesalahan prediksi serta proporsi variasi yang dijelaskan (Javier-Astete et al., 2021).

2.5. Analisa Gula Pereduksi

Pelarut NATDES yang telah disaring dianalisis kandungan gula pereduksinya menggunakan metode 3,5-dinitrosalisilat (DNS) yang dimodifikasi; absorbansi diukur pada 540 nm dengan spektrofotometer UV/Vis ORION AQUAMATE 8000. Setiap sampel diukur secara duplo dan nilai yang dilaporkan adalah rata-rata dari kedua pengukuran; kuantifikasi dinyatakan sebagai konsentrasi glukosa ($\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) berdasarkan kurva standar glukosa ($0,00\text{--}0,02\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) (Fakayode et al., 2021).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh Perlakuan Terhadap Komposisi Jerami Padi

Peran fundamental NATDES dalam proses delignifikasi berkaitan dengan kemampuannya memutus jaringan ikatan hidrogen dan melarutkan lignin melalui kombinasi sifat fisikokimia seperti viskositas yang relatif rendah, polaritas yang sesuai, serta kemampuan membentuk interaksi kuat dengan struktur aromatik lignin (Grillo et al., 2021).

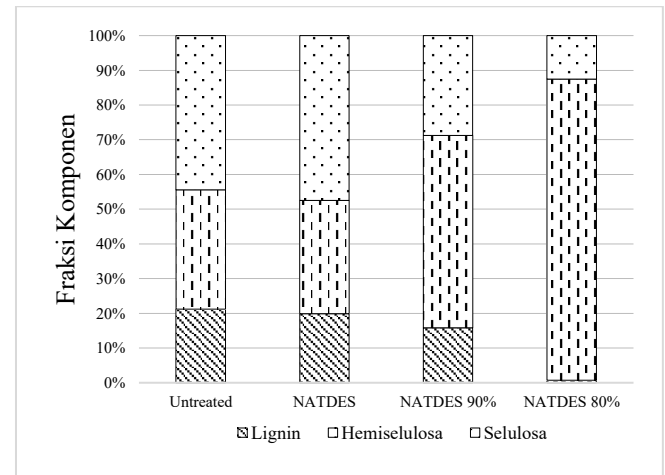
Pada penelitian ini, kadar lignin, selulosa dan hemiselulosa dihitung menggunakan persamaan kalibrasi yang diperoleh dari hubungan regresi antara intensitas pita serapan FTIR khas masing-masing komponen dan konsentrasi aktualnya dalam campuran *ternary*, sebagaimana dikembangkan oleh Kostyukov et al, 2023 (Kostyukov et al., 2023). Pendekatan ini memungkinkan konversi data spektral menjadi nilai komposisi kimia yang terukur. Hasil analisis dengan metode FTIR ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Kadar Selulosa, Hemiselulosa dan Selulosa dengan metode FTIR

Perlakuan	Persen (%)			Delignifikasi
	Lignin	Hemiselulosa	Selulosa	
Mekanis	21,20	34,40	44,40	0,00%
NATDES	19,90	32,60	47,50	6,13%
NATDES 90%	15,84	55,39	28,77	25,28%
NATDES 80%	0,72	86,78	12,50	96,60%

Penambahan air ke dalam sistem NATDES berfungsi sebagai agen pengatur yang mampu menurunkan viskositas, meningkatkan mobilitas molekuler, serta memodifikasi kekuatan jaringan ikatan hidrogen, sehingga meningkatkan

performa pelarut dalam mengekstraksi lignin hingga batas tertentu (Jančíková et al., 2022). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi pelarut, seperti penggunaan NATDES murni, NATDES 90%, dan NATDES 80%, menghasilkan respons delignifikasi yang berbeda, di mana penambahan air dalam jumlah moderat dapat meningkatkan efektivitas *pretreatment*, sedangkan pengenceran berlebih justru mengurangi kemampuan NATDES dalam melepaskan lignin dari matriks lignoselulosa (Majová et al., 2021).



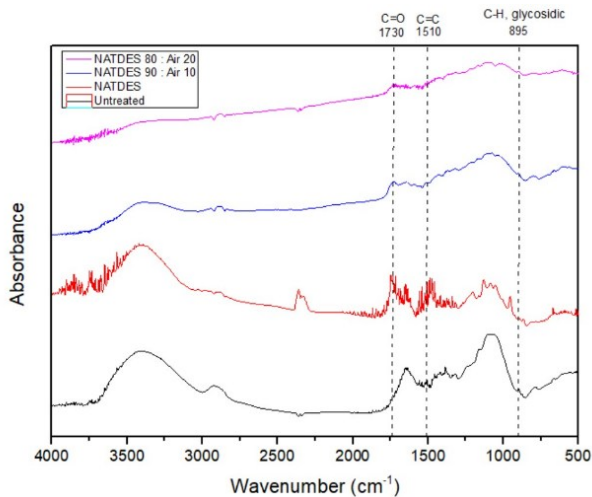
Gambar 1. Hubungan antara perlakuan pelarut terhadap komposisi jerami padi

Gambar 1 menunjukkan perubahan komposisi jerami padi sebelum *treatment* dan setelah *treatment* dengan pelarut NATDES, termasuk variasi konsentrasi pelarut akibat penambahan air. Penyajian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas masing-masing perlakuan dalam memodifikasi kadar lignin dan mengidentifikasi *treatment* paling baik untuk proses delignifikasi jerami padi.

Perbedaan komposisi air dalam NATDES menunjukkan pengaruh yang jelas terhadap perubahan fraksi lignin, hemiselulosa, dan selulosa. Pada sampel awal tanpa perlakuan, kandungannya terdiri dari lignin 21,2%, hemiselulosa 34,4%, dan selulosa 44,4%. Setelah pelarutan dengan NATDES murni, kadar lignin turun menjadi 19,9%, hemiselulosa menjadi 32,6%, sedangkan selulosa meningkat moderat menjadi 47,5%, menunjukkan bahwa pelarutan lignin dan hemiselulosa masih terbatas akibat tingginya viskositas NATDES. Selanjutnya, pada perlakuan penambahan 10% air, pelarut NATDES 90%, mengalami penurunan viskositas sehingga mampu menurunkan kadar lignin hingga 15,84%, hemiselulosa meningkat menjadi 55,39% dan selulosa mengalami penurunan menjadi 28,77%. Hal ini membuktikan bahwa penambahan air 10% membuat difusi pelarut lebih baik, sehingga lebih banyak lignin yang terlarut. Efektivitas delignifikasi tertinggi dicapai pada NATDES 80%, yang menghasilkan kadar lignin terendah (0,72%), selulosa 12,5%, dan hemiselulosa tertinggi (86,78%). Komposisi air 20% terbukti menciptakan kondisi optimum untuk selektivitas delignifikasi, di mana lignin terekstrak lebih intensif sementara hemiselulosa tetap stabil dan terakumulasi secara proporsional. Temuan ini selaras dengan laporan

sebelumnya bahwa air dalam konsentrasi moderat (10–30%) dapat menurunkan viskositas NATDES, meningkatkan mobilitas ionik, serta mempertahankan stabilitas jejaring ikatan hidrogen sehingga meningkatkan kelarutan lignin tanpa merusak struktur hemiselulosa dan selulosa (Grillo et al., 2021; Jančíková et al., 2022; Majová et al., 2021).

Spektrum FTIR pada Gambar 2 menunjukkan perubahan karakteristik kimia jerami padi setelah perlakuan NATDES pada beberapa komposisi air. Sampel *untreated* memperlihatkan puncak yang jelas pada 1730 cm^{-1} , yang dikaitkan dengan vibrasi gugus C=O dari ikatan ester dan asetil pada hemiselulosa. Setelah perlakuan NATDES, intensitas puncak ini menurun signifikan, terutama pada perlakuan NATDES 90%, menunjukkan terjadinya deasetilasi dan pelepasan fraksi hemiselulosa. Hasil ini sejalan dengan penelitian bahwa pelarut berbasis eutektik mampu memutus ikatan ester hemiselulosa sehingga meningkatkan pelepasannya (Xu et al., 2016).



Gambar 2. Spektrum FTIR sebelum dan setelah ekstraksi dengan tiga jenis NATDES. Puncak khas lignin pada 1510 cm^{-1} , hemiselulosa pada 1730 cm^{-1} , dan selulosa pada 895 cm^{-1}

Puncak pada sekitar 1510 cm^{-1} , yang berasosiasi dengan vibrasi C=C cincin aromatik lignin, juga mengalami penurunan intensitas pada semua sampel NATDES. Penurunan ini menunjukkan degradasi atau pelarutan sebagian struktur aromatik lignin. Perlakuan NATDES 80:Air 20 dan 90:10 menunjukkan penurunan yang lebih tajam dibandingkan NATDES tanpa air, mengindikasikan bahwa adanya air meningkatkan mobilitas ionik dan efektivitas NATDES dalam memecah struktur lignin, sebagaimana dilaporkan pada studi serupa mengenai pelarutan lignin menggunakan sistem NATDES (Liu et al., 2021).

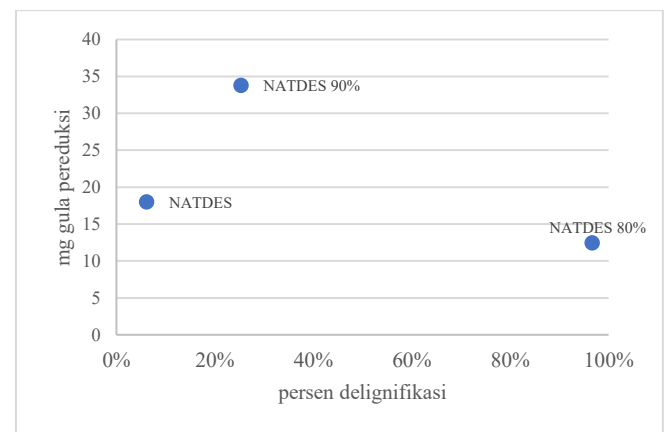
Selain itu, puncak sekitar 895 cm^{-1} yang terkait dengan vibrasi C-H β -glycosidic linkage pada selulosa mengalami peningkatan ketajaman setelah perlakuan, terutama pada NATDES 90:10. Hal ini menandakan bahwa struktur jerami padi menjadi lebih terekspos setelah lignin terlarut dan proporsi relatif selulosa meningkat. Hal ini konsisten dengan teori bahwa

penghilangan lignin dan hemiselulosa meningkatkan intensitas relatif gugus karakteristik selulosa (Bai et al., 2022).

Secara keseluruhan, pola spektrum memperlihatkan bahwa penambahan air dalam NATDES meningkatkan efisiensi delignifikasi. Intensitas puncak lignin (1510 cm^{-1}) berkurang secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa adanya air dalam pelarut NATDES lebih efektif dalam memodifikasi struktur kimia lignoselulosa.

3.2. Hubungan Antara Kelarutan Lignin dengan Konsentrasi Gula Reduksi

Delignifikasi memiliki peran penting dalam peningkatan kadar gula reduksi karena proses ini menentukan sejauh mana komponen lignoselulosa dapat terdepolimerisasi secara efektif. Penghilangan lignin membuka struktur dinding sel dan meningkatkan porositas matriks biomassa, sehingga hemiselulosa dan selulosa amorf menjadi lebih mudah terakses oleh pelarut maupun proses hidrolisis berikutnya. Kondisi ini secara langsung meningkatkan pelepasan gula sederhana seperti glukosa dan xilosa.



Gambar 3. Hubungan antara persen delignifikasi dengan konsentrasi gula pereduksi (mg/L)

Penelitian terbaru mengenai penggunaan *deep eutectic solvent* menunjukkan bahwa keberhasilan ekstraksi biomolekul, termasuk gula, sangat dipengaruhi oleh efisiensi pelarut dalam mengganggu jaringan lignin dan meningkatkan difusi ke dalam struktur biomassa (AlYammahi et al., 2023). Dengan demikian, semakin efektif proses delignifikasi, semakin tinggi pula gula reduksi yang diperoleh, menjadikan parameter ini indikator penting dalam evaluasi kinerja *pretreatment* berbasis NATDES.

Gambar 3 menunjukkan bahwa peningkatan persen delignifikasi tidak selalu berbanding lurus dengan kenaikan gula reduksi, melainkan tergantung pada kondisi struktur biomassa setelah lignin dihilangkan serta komposisi hemiselulosa–selulosa yang tersisa. Pada perlakuan NATDES tanpa penambahan air, delignifikasi masih rendah (6,13%), sehingga gula reduksi yang terbentuk juga relatif kecil (17,99 mg). Ketika konsentrasi air ditingkatkan hingga 10% (NATDES 90%), persen delignifikasi meningkat menjadi 25,28% dan menghasilkan gula reduksi tertinggi, yaitu 33,77 mg. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian lignin terlepas, tetapi

hemiselulosa masih berada dalam jumlah cukup untuk terhidrolisis menjadi gula pereduksi. Selain itu, penambahan air mampu menurunkan viskositas NATDES, mempercepat difusi pelarut ke dalam dinding sel, dan memfasilitasi depolimerisasi hemiselulosa, sehingga gula reduksi meningkat (AlYammahi et al., 2023).

Namun, pada kondisi dengan air 20% (NATDES 80%), delignifikasi mencapai 96,60%, nilai tertinggi dari semua perlakuan, tetapi gula reduksi justru turun drastis menjadi 12,43 mg. Berdasarkan temuan Deshavath dkk. (2020), delignifikasi ekstrem memecah struktur lignin menjadi fragmen fenolik kecil dan mendorong degradasi karbohidrat menjadi produk samping seperti furfural dan 5- hydroxymethylfurfural; produk-produk ini dapat bereaksi atau menyumbang warna pada kondisi reduksi yang digunakan dalam assay DNS sehingga mengubah absorbansi akhir. Selain itu, fragmen lignin dan partikel tersuspensi meningkatkan kekeruhan dan berpotensi mengadsorpsi gula terlarut, sementara perlakuan proses pada suhu tinggi dan waktu yang lama dapat mengubah hemiselulosa/selulosa menjadi oligomer atau produk volatil yang tidak terdeteksi oleh DNS, sehingga total gula terukur menurun meskipun delignifikasi tinggi. Implikasi praktisnya adalah bahwa penurunan sinyal DNS pada kondisi delignifikasi maksimal mungkin merupakan artefak matriks, bukan indikasi berkurangnya ketersediaan gula secara absolut; oleh karena itu hasil DNS sebaiknya divalidasi dengan metode kuantifikasi yang lebih selektif (mis. HPLC atau analisis enzimatis setelah pemurnian). Untuk meminimalkan interferensi, sampel sebaiknya diproses pra-analitik (sentrifugasi/filtrasi, SPE atau karbon aktif untuk menghilangkan fenolik, penyesuaian pH) dan dilakukan uji spike-recovery serta penggunaan standar internal untuk mengevaluasi pemulihan gula (Bench Chem, 2025; Deshavath et al., 2020).

Kesimpulan

Penambahan air dalam formulasi NATDES terbukti memberikan pengaruh signifikan terhadap efektivitas delignifikasi jerami padi. Berdasarkan hasil analisis komposisi lignoselulosa, perlakuan NATDES tanpa penambahan air hanya menghasilkan delignifikasi sebesar 6,13%, sedangkan formulasi NATDES 90% meningkatkan efektivitas menjadi 25,28%. Kondisi optimum dicapai pada perlakuan NATDES 80%, yang menunjukkan penurunan lignin paling tinggi dengan sisa lignin hanya 0,72% dan tingkat delignifikasi mencapai 96,60%. Hasil ini mengindikasikan bahwa penambahan air sebesar 20% mampu menurunkan viskositas NATDES, mempercepat difusi pelarut, dan meningkatkan interaksi pelarut–lignin sehingga proses ekstraksi lignin berlangsung lebih efektif. Dengan demikian, NATDES 80% direkomendasikan sebagai kondisi terbaik untuk mencapai delignifikasi maksimum pada jerami padi dalam penelitian ini.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Ujung Pandang sebagai penyandang dana untuk terlaksananya penelitian ini serta kepada Jurusan Teknik Kimia

Politeknik Negeri Ujung Pandang sebagai penyedia fasilitas laboratorium penelitian.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan yang terkait dengan penelitian ini.

Kontribusi Penulis

Maria Assumpta Nogo Ole: konseptualisasi, penyusunan – persiapan draft asli. Dian Ranggina: penyusunan metode dan persiapan penelitian. Harun Pampang: penelusuran literatur dan finalisasi naskah. Muhammad Arham Yunus: visualisasi dan interpretasi data. Zakiyah Darajat: perhitungan data dan literatur pembahasan. Mimin Septiani: perhitungan data hasil FTIR dan DNS. Andina Sari Maharani: pelaksanaan eksperimen, treatment jerami padi dan analisa FTIR. Andi Ahmad Maulana Senna Cincing: pengambilan sampel dan analisa gula pereduksi. Sherlina Zalfa Pertiwi: preparasi sampel dan proses analisa FTIR dan gula reduksi. Dwi Feryl Imanuel Bala: persiapan bahan baku dan treatment mekanis.

Daftar Pustaka

- AlYammahi, J., Darwish, A. S., Almस्ताfa, G., Lemaoui, T., AlNashef, I. M., Hasan, S. W., Taher, H., & Banat, F. (2023). Natural deep eutectic solvents for Ultrasonic-Assisted extraction of nutritious date Sugar: Molecular Screening, Experimental, and prediction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 98, 106514. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106514>
- Badan Pusat Statistik. (2025). Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas Padi Menurut Provinsi-Tabel Statistik. In Accessed: Jan (Vol. 2).
- Bai, Y., Wang, W., Zhang, Y., Wang, X., Wang, X., & Shi, J. (2022). Effects of Different Delignification and Drying Methods on Fiber Properties of Moso Bamboo. *Polymers*, 14(24), 5464. <https://doi.org/10.3390/polym14245464>
- Bench Chem. (2025). “Common interferences in the dinitrosalicylic acid (DNS) assay” Technical Support Center: Dinitrosalicylic Acid (DNS) Assay. https://pdf.benchchem.com/600/Common_interferences_in_the_dinitrosalicylic_acid_DNS_assay.pdf
- Chandel, A. K., Garlapati, V. K., Singh, A. K., Antunes, F. A. F., & da Silva, S. S. (2018). The path forward for lignocellulose biorefineries: Bottlenecks, solutions, and perspective on commercialization. *Bioresource Technology*, 264, 370–381. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.004>
- Deshavath, N. N., Mukherjee, G., Goud, V. V., Veeranki, V. D., & Sastri, C. V. (2020). Pitfalls in the 3, 5-dinitrosalicylic acid (DNS) assay for the reducing sugars: Interference of furfural and 5-hydroxymethylfurfural. *International Journal of Biological Macromolecules*, 156, 180–185. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.045>

- Fakayode, O. A., Akpabli-Tsigbe, N. D. K., Wahia, H., Tu, S., Ren, M., Zhou, C., & Ma, H. (2021). Integrated bioprocess for bio-ethanol production from watermelon rind biomass: Ultrasound-assisted deep eutectic solvent pretreatment, enzymatic hydrolysis and fermentation. *Renewable Energy*, 180, 258–270. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.08.057>
- Fernandes, C., Aliaño-González, M. J., Cid Gomes, L., Bernin, D., Gaspar, R., Fardim, P., Reis, M. S., Alves, L., Medronho, B., Rasteiro, M. G., & Varela, C. (2024). Lignin extraction from acacia wood: Crafting deep eutectic solvents with a systematic D-optimal mixture-process experimental design. *International Journal of Biological Macromolecules*, 280, 135936. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135936>
- Grillo, G., Calcio Gaudino, E., Rosa, R., Leonelli, C., Timonina, A., Grygiškis, S., Tabasso, S., & Cravotto, G. (2021). Green Deep Eutectic Solvents for Microwave-Assisted Biomass Delignification and Valorisation. *Molecules*, 26(4), 798. <https://doi.org/10.3390/molecules26040798>
- Jančíková, V., & Jablonský, M. (2024). Exploiting Deep Eutectic Solvent-like Mixtures for Fractionation Biomass, and the Mechanism Removal of Lignin: A Review. *Sustainability*, 16(2), 504. <https://doi.org/10.3390/su16020504>
- Jančíková, V., Jablonský, M., Voleková, K., & Šurina, I. (2022). Summarizing the Effect of Acidity and Water Content of Deep Eutectic Solvent-like Mixtures—A Review. *Energies*, 15(24), 9333. <https://doi.org/10.3390/en15249333>
- Javier-Astete, R., Jimenez-Davalos, J., & Zolla, G. (2021). Determination of hemicellulose, cellulose, holocellulose and lignin content using FTIR in *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) K. Schum. and *Guazuma crinita* Lam. *PLOS ONE*, 16(10), e0256559. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256559>
- Ji, Q., Yu, X., Yagoub, A. E.-G. A., Chen, L., Fakayode, O. A., & Zhou, C. (2021). Synergism of sweeping frequency ultrasound and deep eutectic solvents pretreatment for fractionation of sugarcane bagasse and enhancing enzymatic hydrolysis. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105470. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105470>
- Kostruykov, S. G., Matyakubov, H. B., Masterova, Yu. Yu., Kozlov, A. Sh., Pryanichnikova, M. K., Pynenkov, A. A., & Khlyuchina, N. A. (2023). Determination of Lignin, Cellulose, and Hemicellulose in Plant Materials by FTIR Spectroscopy. *Journal of Analytical Chemistry*, 78(6), 718–727. <https://doi.org/10.1134/S1061934823040093>
- Liu, Y., Deak, N., Wang, Z., Yu, H., Hameleers, L., Jurak, E., Deuss, P. J., & Barta, K. (2021). Tunable and functional deep eutectic solvents for lignocellulose valorization. *Nature Communications*, 12(1), 5424. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25117-1>
- Majová, V., Jablonský, M., & Lelovský, M. (2021). Delignification of unbleached pulp by ternary deep eutectic solvents. *Green Processing and Synthesis*, 10(1), 666–676. <https://doi.org/10.1515/gps-2021-0066>
- Nargotra, P., Sharma, V., Sharma, S., Kapoor, N., & Bajaj, B. K. (2022). Development of consolidated bioprocess for biofuel-ethanol production from ultrasound-assisted deep eutectic solvent pretreated *Parthenium hysterophorus* biomass. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12(12), 5767–5782. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01017-0>
- Pampang, H., Ranggina, D., Raditya, A. D., Anugrawan, A. O., Julianto, R., & Ole, M. A. N. (2025). The effect of simultaneous combination of hydrothermal and ultrasound-natural deep eutectic solvent (NADES) to increase the delignification of rice straw. 020009. <https://doi.org/10.1063/5.0298799>
- Rozas, S., Benito, C., Alcalde, R., Atilhan, M., & Aparicio, S. (2021). Insights on the water effect on deep eutectic solvents properties and structuring: The archetypical case of choline chloride + ethylene glycol. *Journal of Molecular Liquids*, 344, 117717. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117717>
- Sharma, V., Nargotra, P., Sharma, S., & Bajaj, B. K. (2021). Efficacy and functional mechanisms of a novel combinatorial pretreatment approach based on deep eutectic solvent and ultrasonic waves for bioconversion of sugarcane bagasse. *Renewable Energy*, 163, 1910–1922. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.101>
- Vilková, M., Plotka-Wasyłka, J., & Andruch, V. (2020). The role of water in deep eutectic solvent-base extraction. *Journal of Molecular Liquids*, 304, 112747. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112747>
- Wood, I. P., Elliston, A., Ryden, P., Bancroft, I., Roberts, I. N., & Waldron, K. W. (2012). Rapid quantification of reducing sugars in biomass hydrolysates: Improving the speed and precision of the dinitrosalicylic acid assay. *Biomass and Bioenergy*, 44, 117–121. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.05.003>
- Xu, G.-C., Ding, J.-C., Han, R.-Z., Dong, J.-J., & Ni, Y. (2016). Enhancing cellulose accessibility of corn stover by deep eutectic solvent pretreatment for butanol fermentation. *Bioresource Technology*, 203, 364–369. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.11.002>
- Yan, D., Ji, Q., Yu, X., Li, M., Abiola Fakayode, O., Yagoub, A. E. G. A., Chen, L., & Zhou, C. (2021). Multimode-ultrasound and microwave assisted natural ternary deep eutectic solvent sequential pretreatments for corn straw biomass deconstruction under mild conditions.

Ultrasonics Sonochemistry, 72.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105414>

Yang, Y., Zhao, L., Ren, J., & He, B. (2022). Effect of Ternary Deep Eutectic Solvents on Bagasse Cellulose and Lignin Structure in Low-Temperature Pretreatment. *Processes*, 10(4), 778. <https://doi.org/10.3390/pr10040778>

Yanuartono, Yanuartono, Purnamaningsih, H., Indarjulianto, S., & Nururrozi, A. (2017). Potensi jerami sebagai pakan ternak ruminansia. *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan*, 27(1), 40–62.
<https://doi.org/10.21776/UB.JIIP.2017.027.01.05>