

KARAKTERISASI GUGUS FUNGSI RESIDU HIDROLISIS LIGNOSELULOSA
Gracilaria sp. MENGGUNAKAN *FOURIER TRANSFORM INFRARED* (FTIR)

SKRIPSI

Oleh

Leny Ardini Arianti

22201061039



PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM MALANG
TAHUN 2026

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
KARAKTERISASI GUGUS FUNGSI RESIDU HIDROLISIS LIGNOSELULOSA
***Gracilaria* sp. MENGGUNAKAN *FOURIER TRANSFORM INFRARED* (FTIR)**

Leny Ardini Arianti

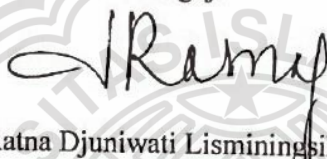
22201061039

Telah dipeertahankan di depan Majelis Penguji Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Malang pada tanggal

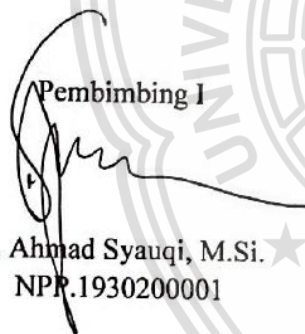
12 Juni 2026

Mengesahkan,

Penguji



Dr. Ratna Djuniwati Lisminingsih, M.Si.
NIP. 196406171988032001



Pembimbing I
Ir. Ahmad Syauqi, M.Si.
NPP.1930200001

Pembimbing II

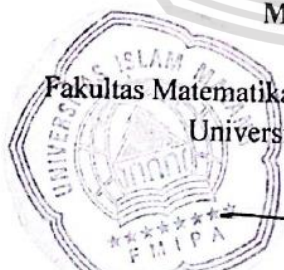


Majida Ramadhan, S.Si., M.Si.
NPP. 192802199332294

Mengetahui,

Dekan

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Malang



Prof. Dr. Husain Latuconsina, S.Pi., M.Si.
NPP. 191405197932145

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Leny Ardini Arianti

NPM : 22201061039

Program Studi : Biologi

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan Pembimbing:

1. Ir. Ahmad Syauqi, M.Si.

2. Majida Ramadhan, S.Si., M.Si.

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul KARAKTERISASI GUGUS FUNGSI RESIDU HIDROLISIS LIGNOSELULOSA *Gracilaria* sp. MENGGUNAKAN *FOURIER TRANSFORM INFRARED (FTIR)* adalah murni hasil pengerjaan saya dan tanpa ada unsur plagiat, manipulasi data, dan mengubah hasil penelitian secara tidak objektif serta mensitasi sesuai dengan sumber yang ada. Saya akan bertanggung jawab atas orisinalitas skripsi saya dan menaati Keputusan Menteri Pendidikan Nasional (Depdiknas) Nomor 17 Tahun 2010 tentang plagiarism di Pendidikan tinggi.

Malang, 5 Januari 2026



Nama : Leny Ardini Arianti

NPM : 22201061039

LEMBAR PERSETUJUAN

Nama : Leny Ardini Arianti

NPM : 22201061039

Judul : KARAKTERISASI GUGUS FUNGSI RESIDU HIDROLISIS
LIGNOSELULOSA *Gracilaria* sp. MENGGUNAKAN *FOURIER TRANSFORM*
INFRARED (FTIR)

Telah disetujui untuk dipresentasikan pada Sidang Skripsi di Program Studi Biologi,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Malang.

Menyetujui,

Pembimbing I

Ir. Ahmad Syauqi, M.Si.
NPP. 1930200001

Pembimbing II

Majida Ramadhan S.Si., M.Si.
NPP. 192802199332294

Mengetahui,

Wakil Dekan I

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Malang

Hamdani Dwi Prasetyo, S.Si., M.Si
NPP. 192901199232146



RIWAYAT HIDUP



Nama	: Leny Ardini Arianti
Tempat, tanggal lahir	: Lombok, 26 Desember 2002
Nama Orang Tua	:
Bapak	: Samudji
Ibu	: Sanaah
Alamat	: Jl. Tirtagangga No. 16, Samaan, Klojen, Kota Malang

Riwayat Pendidikan

Periode	Sekolah/Universitas	Bidang Ilmu
2022-2026	Universitas Islam Malang	S1-Biologi
2019-2022	SMAN 7 Malang	IPA
2016-2019	SMPN 3 Malang	-
2010-2016	SDN Rampal Celaket 1	-

Riwayat Organisasi

Periode	Organisasi	Jabatan
2022-2023	KSR-PMI Unit UNISMA	Anggota Muda
2023-2024	KSR-PMI Unit UNISMA	Sekretaris Divisi Suryareka
2024-2025	KSR-PMI Unit UNISMA	Kepala Divisi Pemenangan Lomba

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kepada Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat dan hidayahnya sehingga skripsi penulis yang berjudul “Identifikasi Senyawa Turunan dari Proses Hidrolisis Lignoselulosa *Gracilaria* Sp. dengan Spektrometer Inframerah” dapat selesai dengan baik. Ucapan terima kasih ditujukan kepada:

1. Ir. Ahmad Syauqi, M.Si., selaku Pembimbing 1 yang telah mendukung, memberi pengarahan selama penelitian berlangsung, tambahan pengetahuan dan saran-saran yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi.
2. Majida Ramadhan, S.Si., M.Si., selaku pembimbing II yang telah mendukung, memberi pengarahan terkait penulisan skripsi, tambahan pengetahuan dan saran yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi.
3. Dr. Ratna Djuniwati Lisminingsih, M.Si. selaku dosen penguji yang telah bersedia memberikan evaluasi dan saran dalam penyusunan skripsi.
4. Orang Tua penulis yang memberikan seluruh dukungannya baik berupa materi, motivasi, semangat, dan doanya yang selalu mengiringi setiap langkah penulis dalam menjalankan dan menuntaskan skripsi ini.
5. Teman-teman penulis yang telah membantu dan memberi dukungan selama penyusunan skripsi ini.
6. Diri sendiri karena telah berjuang dari awal hingga menyelesaikan skripsi ini dengan penuh semangat, ikhlas, dan kuat.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan bagi kesempurnaan skripsi ini untuk pengembangan ilmu pengetahuan.

Malang, 17 – Januari - 2026

Penulis

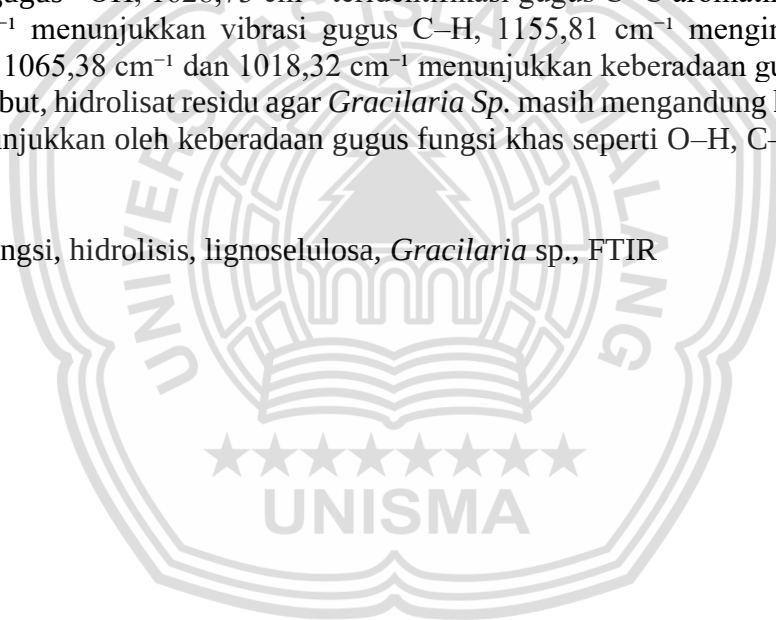
ABSTRAK

Leny Ardini Arianti (NPM.22201061039) **Karakterisasi Gugus Fungsi Residu Hidrolisis Lignoselulosa *Gracilaria* sp. menggunakan Fourier Transform Infrared (Ftir)**

Pembimbing (1) Ir. Ahmad Syauqi, M.Si.; (2) Majida Ramadhan, S.Si., M.Si.

Lignoselulosa diketahui sebagai bahan baku yang sangat potensial karena mudah diperoleh, murah dan didapatkan dari residu produksi agar-agar *Gracilaria* Sp.. Lignoselulosa merupakan komponen polisakarida yang terdiri atas tiga tipe polimer yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Lignoselulosa dapat diperoleh melalui proses hidrolisis. Peningkatan produksi agar-agar yang setiap tahunnya bertambah akan menyebabkan residu yang dihasilkan juga meningkat, akibatnya jumlah residu rumput laut makin bertambah. Ampas sisa pengolahan rumput laut sebagian besar terdiri atas selulosa sebesar 77,34%. Dari permasalahan tersebut maka perlu untuk dilakukan penelitian untuk mengarakterisasi gugus fungsi lignoselulosa yang terdapat pada hidrolisat residu agar *Gracilaria* Sp. menggunakan spektrofotometer inframerah (FTIR). Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksploratif dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Variabel terkontrol mencakup kondisi hidrolisis dan kondisi ketika FTIR. Variabel terikat adalah spektrum gugus fungsi yang terdeteksi. Hasil pengujian menggunakan FTIR diperoleh beberapa pita serapan yang muncul yaitu $3358,73\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus -OH , $1628,73\text{ cm}^{-1}$ teridentifikasi gugus $\text{C}=\text{C}$ aromatik, $1431,92\text{ cm}^{-1}$ dan $1323,52\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi gugus C-H , $1155,81\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya gugus C-O-C , $1065,38\text{ cm}^{-1}$ dan $1018,32\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan keberadaan gugus C-O . Berdasarkan hasil tersebut, hidrolisat residu agar *Gracilaria* Sp. masih mengandung komponen lignoselulosa yang ditunjukkan oleh keberadaan gugus fungsi khas seperti O-H , C-O-C , dan $\text{C}=\text{C}$ aromatik.

Kata Kunci: Gugus fungsi, hidrolisis, lignoselulosa, *Gracilaria* sp., FTIR



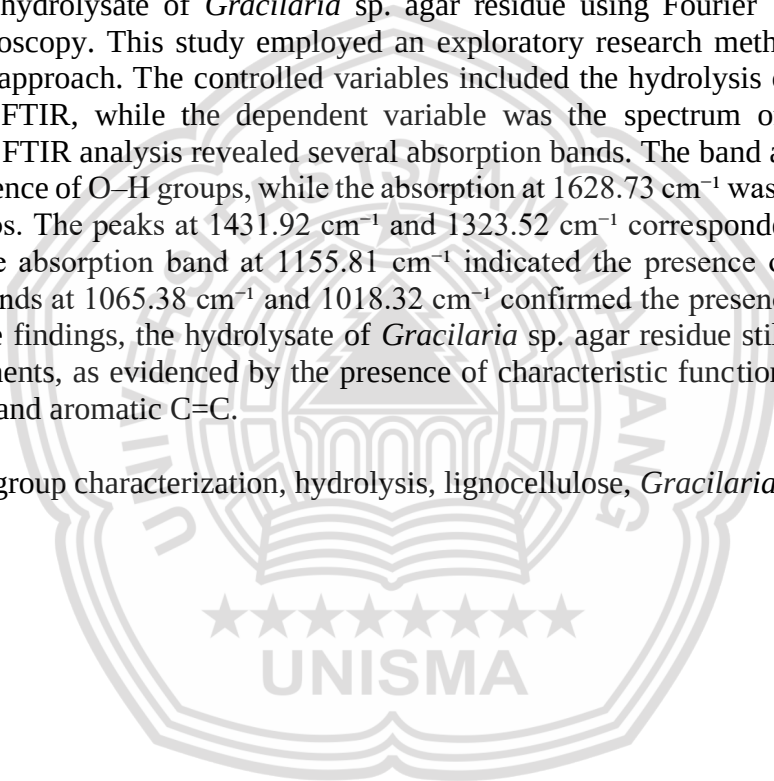
ABSTRACT

Leny Ardini Arianti (NPM.22201061039) **Characterization of Functional Groups in Lignocellulosic Hydrolysis Residues of *Gracilaria* sp. using Fourier Transform Infrared (FTIR)**

(1) Ir. Ahmad Syauqi, M.Si.; (2) Majida Ramadhan, S.Si., M.Si.

Lignocellulose is recognized as a highly promising raw material due to its abundance, low cost, and availability as a by-product of agar production from *Gracilaria* sp. Lignocellulose is a polysaccharide complex composed of three main polymer types, namely cellulose, hemicellulose, and lignin. It can be obtained through a hydrolysis process. The increasing annual production of agar results in a corresponding increase in the amount of generated residue, leading to the accumulation of seaweed waste. The residual biomass from seaweed processing mainly consists of cellulose, accounting for 77.34% of its composition. Based on this issue, it is necessary to conduct research to characterize the lignocellulosic functional groups present in the hydrolysate of *Gracilaria* sp. agar residue using Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy. This study employed an exploratory research method with a qualitative descriptive approach. The controlled variables included the hydrolysis conditions and condition during FTIR, while the dependent variable was the spectrum of detected functional groups. The FTIR analysis revealed several absorption bands. The band at 3358.73 cm^{-1} indicated the presence of O–H groups, while the absorption at 1628.73 cm^{-1} was attributed to aromatic C=C groups. The peaks at 1431.92 cm^{-1} and 1323.52 cm^{-1} corresponded to C–H vibrational modes. The absorption band at 1155.81 cm^{-1} indicated the presence of C–O–C groups, whereas the bands at 1065.38 cm^{-1} and 1018.32 cm^{-1} confirmed the presence of C–O groups. Based on these findings, the hydrolysate of *Gracilaria* sp. agar residue still contains lignocellulosic components, as evidenced by the presence of characteristic functional groups such as O–H, C–O–C, and aromatic C=C.

Keyword: Functional group characterization, hydrolysis, lignocellulose, *Gracilaria* sp., FTIR



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lignoselulosa merupakan salah satu komponen yang tersusun di dalam dinding sel tumbuhan. Lignoselulosa diketahui sebagai bahan baku yang sangat potensial karena mudah diperoleh, murah dan didapatkan dari residu produksi agar-agar. Lignoselulosa merupakan komponen polisakarida yang terdiri atas tiga tipe polimer yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Menurut penelitian, lignoselulosa merupakan biomassa terbarukan yang sangat potensial sebagai bahan baku bioproduk dan bioenergi karena selulosa dan hemiselulosa dapat diubah menjadi gula fermentasi, sedangkan lignin dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan kimia aromatik dan material berkelanjutan (Fatriasari, 2022).

Lignoselulosa dapat bermanfaat sebagai sumber energi melalui proses hidrolisis. Hidrolisis adalah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pelarut berair untuk memecahkan ikatan kimia dari substansinya (Arianie & Idiawati, 2011). Hidrolisis biomassa merupakan tahapan utama dalam proses pembuatan produk-produk berbasis glukosa. Semakin efektif hidrolisis, maka akan semakin banyak glukosa yang dihasilkan. Hidrolisis pelepah sawit dengan penambahan konsentrasi H_2SO_4 0,6M dengan waktu hidrolisis 100 menit mampu menghasilkan gula total sebesar 10,7% dan gula reduksi pada sampel bahan hidrolisat sebesar 19,49% (Rilek *et al.*, 2017). Secara teori, hidrolisis asam pekat menghasilkan glukos yang tinggi yakni 90% lebih tinggi dibandingkan hidrolisis asam encer (Roni, 2015). Hidrolisis juga dapat dilakukan oleh mikroorganisme seperti bakteri dan fungi yang digunakan sebagai sumber energi (Sutini *et al.*, 2019).

Salah satu sumber lignoselulosa adalah makroalga *Gracilaria* sp. yakni bahan baku pembuatan agar-agar. Produksi rumput laut *Gracilaria* sp. mencapai 9,2 juta ton pertahun (Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia [KKP] 2024). Rumput laut *Gracilaria* sp. pada umumnya diolah dalam bentuk agar-agar bubuk. Peningkatan produksi agar-agar yang setiap tahunnya bertambah akan menyebabkan residu yang dihasilkan juga meningkat, akibatnya jumlah residu rumput laut makin bertambah. Ampas adalah sisa produk yang telah kehilangan sari atau patinya. Ampas agar-agar *Gracilaria* Sp. adalah bahan yang tidak digunakan lagi oleh pengolah agar-agar yang biasanya hanya ditumpuk di luar gedung produksi yang mengganggu lingkungan sekitar karena menimbulkan bau tidak sedap (Dang *et al.*, 2023). Ampas sisa pengolahan rumput laut sebagian besar terdiri atas selulosa sebesar 77,34% (Nurhayati & Kusumawati, 2014). Adanya proses perebusan pada ekstraksi agar dapat

menyebabkan terjadinya degradasi kandungan polisakarida yang ada di makroalga *Gracilaria* Sp., sehingga limbah yang dihasilkan memiliki kandungan polisakarida dengan struktur yang lebih sederhana. Menurut penelitian Adini *et al.*, (2015), kandungan karbohidrat total untuk limbah agar 72,17% sedangkan rumput laut *Gracilaria* Sp. 52,87%.

Hidrolisis polisakarida *Gracilaria* Sp., bertujuan untuk memecah struktur polisakarida menjadi molekul glukosa melalui penggunaan asam (Li & Liu, 2022). Serat kasar yang terdapat pada tumbuhan dapat dihidrolisis menjadi glukosa dengan menggunakan enzim atau asam. Tujuan hidrolisis adalah untuk membantu konversi selulosa menjadi gula sederhana. Selulosa dapat diubah melalui proses hidrolisis asam menjadi glukosa, sedangkan hemiselulosa menjadi galaktosa, arabinose, xilosa, glukosa, dan glukosa (Saputra *et al.*, 2012). Rumput laut jenis *Gracilaria* sp. mengandung agropektin, mineral, selulosa, hemiselulosa dan lignin. Rumput laut mengandung unsur makro (N, P, K, Ca, Mg dan C) dan unsur mikro (Fe, Cu, Zn, Boron, Na, Cl dan Mn). Lignoselulosa *Gracilaria* sp. mempunyai banyak kandungan lignin yang dapat diperoleh melalui proses hidrolisis.

Untuk mengetahui keberadaan lignoselulosa maka perlu mengarakterisasi gugus fungsinya menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*). FTIR merupakan salah satu instrument yang menggunakan prinsip spektroskopi yang digunakan untuk mengarakterisasi gugus fungsi. Dari permasalahan tersebut maka perlu untuk dilakukan penelitian untuk mengetahui keberadaan gugus fungsi senyawa turunan dari proses hidrolisis lignoselulosa yang berbentuk limbah cair. Analisis senyawa tersebut dengan mengarakterisasi gugus fungsi yang didapatkan dengan menggunakan spektrofotometer inframerah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas masalah yang diteliti dalam penelitian ini bagaimana karakteristik gugus fungsi lignoselulosa yang terdapat pada limbah hidrolisat residu agar *Gracilaria* Sp. menggunakan spektrofotometer inframerah (FTIR)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas masalah yang diteliti dalam penelitian ini adalah untuk mengarakterisasi gugus fungsi lignoselulosa yang terdapat pada limbah hidrolisat residu agar *Gracilaria* Sp. menggunakan spektrofotometer inframerah (FTIR).

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakterisasi gugus fungsi dari limbah hidrolisis lignoselulosa yang terdapat pada residu agar (*Gracillaria* Sp.) yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut sebagai sumber energi.
2. Penelitian ini dapat membuka peluang untuk mengurangi jumlah limbah produksi rumput laut yang terbuang secara sia-sia dan mengarah pada pemanfaatan limbah tersebut secara produktif.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

4.2 Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared*(FTIR), residu hidrolisat residu agar *Gracilaria sp.* masih mengandung gugus fungsi O–H, C=C aromatik, C–H, C–O–C, dan C–O. Adapun gugus fungsi yang menunjukkan keberadaan komponen lignoselulosa adalah gugus fungsi khas seperti O–H, C–O–C, dan C=C aromatik. Spektrum FTIR mengindikasikan adanya gugus fungsi akibat proses hidrolisis, terutama berupa pemutusan sebagian ikatan glikosidik pada selulosa dan hemiselulosa. Dengan demikian, keberadaan gugus fungsi O–H, C–H, C–O–C, dan C=C mengindikasikan bahwa struktur lignoselulosa yakni selulosa, hemiselulosa dan lignin belum terdegradasi secara sempurna, sehingga masih tersisa dalam bentuk residu padat.

4.3 Saran

Untuk penelitian selanjutnya guna memperoleh informasi yang lebih mendalam mengenai komposisi kimia limbah hidrolisis lignoselulosa *Gracilaria sp.*, disarankan tidak hanya menggunakan analisis FTIR yang bersifat kualitatif, tetapi juga dilengkapi dengan metode analisis yang mampu mengidentifikasi senyawa secara spesifik dan kuantitatif. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah penggunaan uji kromatografi seperti **Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (HPLC)** untuk mengidentifikasi dan mengukur secara akurat kandungan gula hasil hidrolisis, seperti glukosa, galaktosa, dan xilosa. Selain itu, penggunaan **Kromatografi Gas–Spektrometri Massa (GC-MS)** juga direkomendasikan untuk mengidentifikasi senyawa turunan lignin.



DAFTAR PUSTAKA

- Adini, S., Kusdiyantini, E., & Budiharjo, A. (2015). Produksi bioetanol dari rumput laut dan limbah agar *Gracilaria Sp.* dengan metode sakarifikasi yang berbeda. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 16(2), 65–75. <https://doi.org/10.14710/bioma.16.2.65-75>
- Agustin, Y. E., & Padmawijaya, K. S. (2016). Sintesis bioplastik dari kitosan-pati kulit pisang kepok dengan penambahan zat aditif. *Jurnal Teknik Kimia*, 10(2), 43–51.
- Agustini, L., & Efiyanti, L. (2015). Pengaruh perlakuan delignifikasi terhadap hidrolisis selulosa dan produksi etanol dari limbah berlignoselulosa. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33(1), 69–80.
- Arianie, L., & Idiawati, N. (2011). Penentuan lignin dan kadar glukosa dalam hidrolisis organosolv dan hidrolisis asam. *Jurnal Berkala Ilmiah Sains dan Terapan Kimia*, 5(2), 140–150.
- Baghaei, B., & Skrifvars, M. (2020). All-cellulose composites: A review of recent studies on structure, properties and applications. *Molecules*, 25(12), 2836. <https://doi.org/10.3390/molecules25122836>
- Bina, M. R. (2023). Kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin silase ransum komplit dengan taraf jerami sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) yang berbeda. *Journal of Equatorial Animals*, 2(1).
- Cai, C., Zhang, C., Li, N., *et al.* (2023). Changing the role of lignin in enzymatic hydrolysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 183, 113445.
- Chemistry LibreTexts. (2025). Chemistry LibreTexts. <https://chem.libretexts.org/>
- Cokrowati, N., Yatin, N., Rahmadani, T. B. C., Rusman, R., Ahmad, A., Sukriadi, S., & Pebriata, M. N. (2024). Seaweed diversity at Batu Lawang Beach, Sengkol Village, Pujut District, Central Lombok Regency. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(3), 692–701.
- Dang, B. T., Ramaraj, R., Huynh, K. P., Le, M. V., Tomoaki, I., Pham, T. T., Hoang Luan, V., Thi Le Na, P., & Tran, D. P. H. (2023). Current application of seaweed waste for

composting and biochar: A review. *Bioresource Technology*, 375, 128830.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128830>

Dewi, W. O. N. T., Dewi, F., Ardiansyah, A., Hijria, H., & Ilmawati, W. O. S. (2021). Analisis kandungan hemiselulosa, selulosa, dan lignin pelepah aren (*Arenga pinnata* Merr.) berdasarkan variasi umur.

Fatma, Z. (2018). Identifikasi bahan kimia obat (BKO) deksametason pada jamu untuk rematik yang beredar di pasaran (Skripsi, Universitas Perintis Indonesia).

Fadhlullah, M., Prasetyati, S. B., Pudoli, I., & Lo, C. (2022). Preliminary economic potential evaluation of seaweed *Gracilaria* sp. biomass waste as bioindustry feedstock through a biorefinery approach: A case study in Karawang, Indonesia. *3BIO: Journal of Biological Science, Technology and Management*, 4(1), 62–72.
<https://doi.org/10.5614/3bio.2022.4.1.6>

Fatriasari, W. (2022). *Teknologi Konversi Biomassa Untuk Pengembangan Bioproduk Berbasis Selulosa dan Lignin Sebagai Sumber Energi Terbarukan dan Material Berkelanjutan*. BRIN Press.

Fengel, D., & Wegener, G. (1989). *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions* (2nd ed.). Berlin, Germany: Walter de Gruyter.

Fikratul, I. (2016). Pembuatan nori dengan pemanfaatan kolang-kaling sebagai bahan substitusi rumput laut jenis *Eucheuma cottonii* (Skripsi, Universitas Andalas).

Firdaus, M. M. (2020). Pengembangan bahan ajar kimia “E-Chemerbook” berbasis Android untuk menumbuhkan life skill peserta didik (Skripsi, Universitas Muhammadiyah Semarang).

Fuadi, A. M., & Pranoto, H. (2016). Pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan baku pembuatan glukosa. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 3(1), 1–5.

Guiry, M. D., & Guiry, G. M. (2024). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>

- Giang, N. T. (2018). A new synthesis process of lignosulfonate using lignin recovered from black liquor of pulp and paper mills. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 54(4B), 1. repository.unri.ac
- Hasanussulhi, M. (2021). Identifikasi jenis-jenis makro alga pada zona intertidal. *Jurnal Ilmiah Unstan Rote*, 1–7.
- Hendrawan, Y., Sumarlan, S. H., & Rani, C. P. (2017). Pengaruh pH dan suhu fermentasi terhadap produksi etanol hasil hidrolisis jerami padi. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 5(1), 1–8.
- Herawati, H. (2018). Potensi hidrokoloid sebagai bahan tambahan pada produk pangan dan nonpangan bermutu. *Jurnal Litbang Pertanian*, 37(1), 17–25.
- Ibrahim M. 1998 Clean Fractionation of Biomass Steam Explosion and Extraction, Faculty of The Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Imsya, A., Laconi, E. B., Wiryawan, K. G., & Widyastuti, Y. (2014). Biodegradasi lignoselulosa dengan *Phanerochaete chrysosporium*. *Jurnal Peternakan Sriwijaya*, 3(2), 12–19.
- Irfana, I. (2020). Pengaruh komposisi karbon aktif-PVDF terhadap sifat elektroda (Skripsi, UIN Maulana Malik Ibrahim).
- Istikowati, W. T., Sutiya, B., & Sunardi, S. (2018). Perubahan Struktur Lignin Kayu Medang (*Neolitsea latifolia* Blume) yang Terdegradasi Jamur *Trametes versicolor* Berdasarkan Data FTIR.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. (2024). Menteri Trenggono fokus bangun hulu perikanan. <https://www.kkp.go.id/news/news-detail/menteri-trenggono-fokus-bangun-hulu-perikanan-untuk-sokong-hilirisasi-ZY15.html>
- Khairunnisa, F. (2022). Sintesis dan karakterisasi hidrogel berbasis lignin (Skripsi, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta).

- Khalil, H. A., Davoudpour, Y., Islam, M. N., Mustapha, A., Sudesh, K., Dungani, R., & Jawaid, M. (2014). Production and modification of nanofibrillated cellulose using various mechanical processes: a review. *Carbohydrate polymers*, 99, 649-665.
- Komarawidjaja, W. (2005). Rumput laut *Gracilaria Sp.* sebagai fitoremediasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 6(2).
- Kumar, S., Gupta, R., Kumar, G., Sahoo, D., & Kuhad, R. C. (2013). Bioethanol production from *Gracilaria verrucosa*, a red alga, in a biorefinery approach. *Bioresource Technology*, 135, 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.120>
- Li, F., & Liu, K. (2022). Sulfated agarans from *Gracilaria*. *Journal of Food Biochemistry*, 46(12), e14401. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14401>
- Machado, B., Costa, S. M., Costa, I., Silva, T. H., & Costa, C. (2024). The potential of algae as a source of cellulose and its derivatives for biomedical applications. *Cellulose*, 31, 3353–3376. <https://doi.org/10.1007/s10570-024-05816-w>
- Mauliza, Z., Jalaluddin, J., Dewi, R., Kurniawan, E., & Hakim, L. (2022). Kinetika hidrolisa kulit singkong menjadi glukosa menggunakan katalis HCl. *Chemical Engineering Journal Storage*, 2(3), 21–34.
- Meinita, M. D. N., Marhaeni, B., Hong, Y.-K., & Jeong, G.-T. (2017). Enzymatic saccharification of agar waste from *Gracilaria verrucosa* and *Gelidium latifolium* for bioethanol production. *Journal of Applied Phycology*, 29(6), 3201–3209. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1205-4>
- Mohammad, A. R., Mukhtar, M., & Bahri, S. (2024). Analisis hemiselulosa, selulosa dan lignin eceng gondok. *Jambura Journal of Tropical Livestock Science*, 2(2).
- Mulyadi, I. (2019). Isolasi dan karakterisasi selulosa. *Jurnal Saintika Unpam*, 1(2), 177–182.
- Nandiyanto, A. B. D., Ragadhita, R., & Fiandini, M. (2024). How to calculate and determine chemical kinetics: Step-by-step interpretation of experimental data to get reaction rate and order. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 9(3), 759–774.

- Nasar, M. S., Soomro, S. A., & Aziz, S. (2022). *Characterization and optimization of lignin extraction from lignocellulosic biomass via green nanocatalyst. Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(22), 28523–28531. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03598-4>
- Neely, W. B. (2018). Hydrolysis. In *Environmental exposure from chemicals* (pp. 157–174). CRC Press.
- Nur, A. N. (2021). Bidelignifikasi pucuk tebu (Skripsi, Universitas Andalas).
- Nurhayati, N., & Kusumawati, R. (2014). Sintesis selulosa asetat dari limbah pengolahan agar. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 9(2), 97–107.
- Oceans, Reefs & Aquariums. 2025. Gracilaria. Akses pada 08 Mei 2026. <https://www.orafarm.com/product/pom-pom-gracilaria/>
- OpenAI. (2026). *ChatGPT*. <https://chatgpt.com>
- Panggabean, J. E., *et al.* (2018). Ekstraksi karaginan rumput laut merah. *Media Teknologi Hasil Perikanan*, 6(3), 65–70.
- Pangau, J. R., Sangian, H. F., & Lumi, B. M. (2017). Karakterisasi bahan selulosa dengan iradiasi pretreatment gelombang mikro terhadap serbuk kayu cempaka wasian (*Elmerillia ovalis*) di Sulawesi Utara. *Jurnal Mipa Unsrat Online*, 6(1), 53-58.
- Prayoga, W. N. A., & Aziz, A. A. (2024). Isolasi dan karakterisasi MCC dari ampas tebu (Skripsi, UNTIRTA).
- Ravindran, R., Jaiswal, A. K., Abu-Ghannam, N., & Jaiswal, S. (2024). The potential of algae as a source of cellulose and its derivatives for biomedical applications. *Cellulose*, 31, 1307–1334. <https://doi.org/10.1007/s10570-024-05816-w>
- Rilek, N. M., Hidayat, N., & Sugiarto, Y. (2017). Hidrolisis lignoselulosa pelepah sawit. *Industria*, 6(2), 76–82.
- Roni, K. A. (2015). Pembuatan bioetanol dari tanah gambut. *Berkala Teknik*, 5(1), 801–813.

- Saputra, D. R., Ridlo, A., & Widowati, I. (2012). Bioetanol dari *Sargassum duplicatum*. *Journal of Marine Research*, 1(2), 145–151.
- Schechter, I. (1997). Laser induced plasma spectroscopy. *Reviews in Analytical Chemistry*, 16(3), 173–298.
- Scheibel, D. M., Gitsov, I. P. I., & Gitsov, I. (2024). Enzymes in green chemistry. *Molecules*, 29(5), 989. <https://doi.org/10.3390/molecules29050989>
- Shukla, R., Kumar, M., Chakraborty, S., Gupta, R., Kumar, S., Sahoo, D., & Kuhad, R. C. (2016). Process development for the production of bioethanol from waste algal biomass of *Gracilaria verrucosa*. *Bioresource Technology*, 220, 584–589. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.096>
- Sjostrom, E. (1998). *Kimia kayu: Dasar-dasar dan penggunaan*. UGM Press.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2014). *Principles of Instrumental Analysis* (6th ed.). Cengage Learning.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2007). *Instrumental analysis*. Cengage Learning.
- Surya, C. Y. F. (2021). Hidrolisis lignoselulosa dan karakterisasi lignin dari material limbah kelapa dengan metode hidrolisis asam sulfat. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*.
- Sutini, S., Widiastuty, Y. R., & Ramadhani, A. N. (2019). Hidrolisis lignoselulosa untuk produksi gula. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 3(2), 59–68.
- Syahbirin, G., Darwis, A. A., Suryani, A., & Syafii, W. (2009). *Pemanfaatan lignin kraft dari lindi hitam pabrik pulp untuk pembuatan natrium lignosulfonat dan sulfonat hidroksimetil*. IPB Repository. repository.ipb.ac
- Sun, Y., & Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource technology*, 83(1), 1–11.
- Sun, Z., Fridrich, B., de Santi, A., Elangovan, S., & Barta, K. (2018). Bright side of lignin depolymerization: Toward new platform chemicals. *Chemical Reviews*, 118(2), 614–678. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b005>

- Traore, L., Sambare, O., Savadogo, S., Ouedraogo, A., & Thiombiano, A. (2020). Effets combinés des facteurs anthropiques et climatiques sur l'état des populations de trois espèces ligneuses vulnérables. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(5), 1763-1785.
- Tiffany, M. H., Samang, A. M. B., & Al Islamiyah, S. (2023). Polisakarida sebagai bahan surfaktan. *Jurnal Informasi Sains dan Teknologi*, 6(1), 78–89.
- Utomo, Y., & Fadila, E. N. (2020). Isolasi Lignin dari Sekam Padi (Oriza Sativa L) Serta Pemanfaatannya Sebagai Adsorben Ion Cd (II). *JC-T (Journal Cis-Trans): Jurnal Kimia Dan Terapannya*, 4(2), 19-26.
- Widyastuti, S. (2010). Sifat karagenan rumput laut. *Jurnal Agroteksos*, 20(1), 41–50.
- Xueyu, D., Li, J., & Lindström, M. E. (2014). Modification of industrial softwood kraft lignin using Mannich reaction with and without phenolation pretreatment. *Industrial Crops and Products*, 52, 729–735. repository.unri.ac
- Yuana, H., Syauqi, A., & Ramadhan, M. (2023). Analisis glukosa eceng gondok. *Jurnal Ilmiah Sains Alami*, 6(1), 32–40.
- Yuan, Y., Jiang, B., Chen, H., *et al.* (2021). Effects of lignin structural characteristics on enzymatic hydrolysis. *Biotechnology for Biofuels*, 14, 205.
- Zhang, J. Y., Ge, L., Qin, W., Huang, & Li, Z. (2018). Synthesis of a lignin-based surfactant through amination, sulfonation, and acylation. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 39(8), 1140–1143. repository.unri.ac
- Zhang, S., Xiao, J., Wang, G., & Chen, G. (2020). Enzymatic hydrolysis of lignin. *Bioresource Technology*, 304, 122975.
- Zhang, C., Shao, Y., Zhang, L., Zhang, S., Westerhof, R. J., Liu, Q., & Hu, X. (2020). Impacts of temperature on lignin pyrolysis. *Science of the Total Environment*, 699, 134381. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134381>