

Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi Hidrotermal-Alkali terhadap Rendemen dan Karakteristik *Humic-Like Substances* dari Ampas Tebu setelah Praperlakuan HCl

Ajeng Syahputri¹⁾ dan Ratna Sri Harjanti^{1,*}

¹⁾ Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Politeknik LPP Yogyakarta

^{*)} Corresponding author: rsh@polteklpp.ac.id

Abstrak

Ampas tebu merupakan limbah padat industri gula yang mengandung lignoselulosa sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pembentukan asam humat. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi ampas tebu, menganalisis pengaruh variasi suhu dan waktu reaksi hidrotermal menggunakan larutan KOH terhadap pembentukan asam humat, serta menentukan kondisi yang menghasilkan rendemen tertinggi. Ampas tebu dikeringkan dan dihaluskan, kemudian dilakukan *pretreatment* menggunakan HCl 0,1 N pada suhu 200°C selama 4 jam. Residu selanjutnya diproses secara hidrotermal menggunakan KOH 0,25 M dengan variasi suhu 120°C, 140°C, 160°C, 180°C, dan 200°C serta waktu reaksi 80, 120, 160, 200, dan 240 menit. Produk diendapkan menggunakan HCl hingga pH 2, dikeringkan, dan dianalisis berdasarkan rendemen serta karakteristik gugus fungsi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ampas tebu memiliki kadar air 9,00% dan kadar abu rata-rata 5,67%. Rendemen tertinggi sebesar 14,21% diperoleh pada suhu 180°C selama 80 menit. Analisis FTIR menunjukkan adanya gugus hidroksil (O–H), karbonil (C=O), aromatik (C=C), dan C–O yang menyerupai karakteristik gugus fungsi asam humat. Uji awal pada tanaman sawi menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik pada perlakuan HLS dibandingkan tanpa perlakuan sebagai indikasi awal potensi pemanfaatan produk. Berdasarkan hasil penelitian, ampas tebu berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pembentukan HLS melalui proses hidrotermal menggunakan KOH, dengan kondisi tertinggi pada suhu 180°C selama 80 menit.

Kata kunci: ampas tebu; asam humat; hidrotermal; FTIR; rendemen

Abstract

Sugarcane bagasse is a solid waste product of the sugar industry containing lignocellulose, making it a potential raw material for humic acid production. This study aimed to characterize sugarcane bagasse, analyze the effects of varying hydrothermal reaction temperatures and times (using KOH solution) on humic acid formation, and determine the conditions yielding the highest product recovery. The sugarcane bagasse was dried and pulverized, followed by pretreatment with 0.1 N HCl at 200°C for 4 hours. The residue was then hydrothermally processed using 0.25 M KOH at temperatures of 120°C, 140°C, 160°C, 180°C, and 200°C, and reaction times of 80, 120, 160, 200, and 240 minutes. The product was precipitated using HCl to pH 2, dried, and analyzed for yield and functional group characteristics via Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The results showed that the sugarcane bagasse had a moisture content of 9.00% and an average ash content of 5.67%. The highest yield of 14.21% was obtained at 180°C with a reaction time of 80 minutes. FTIR analysis revealed the presence of hydroxyl (O–H), carbonyl (C=O), aromatic (C=C), and C–O groups, which resemble the functional group characteristics of humic acid. Preliminary tests on mustard greens showed improved growth with the humic acid treatment compared to the control, indicating the product's potential utility. In conclusion, sugarcane bagasse has the potential to serve as a raw material for humic acid production via a hydrothermal process using KOH, with optimal conditions identified as 180°C for 80 minutes.

Keywords: sugarcane bagasse; humic acid; hydrothermal; FTIR; yield

PENDAHULUAN

Ampas tebu merupakan limbah padat yang dihasilkan setelah proses ekstraksi nira pada industri gula. Dari setiap satu ton tebu yang diolah, umumnya dihasilkan sekitar 0,25–0,30ton ampas tebu. Selama ini, sebagian besar ampas tebu dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler di pabrik gula, tetapi pemanfaatannya belum sepenuhnya optimal. Padahal, ampas tebu masih memiliki potensi untuk diolah menjadi produk bernilai tambah sehingga dapat meningkatkan nilai ekonomi sekaligus mengurangi dampak lingkungan akibat akumulasi limbah (Ungureanu, 2022).

Potensi tersebut didukung oleh kandungan ampas tebu sebagai biomassa lignoselulosa yang tersusun atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Ampas tebu memiliki kandungan selulosa sekitar 26–47%, hemiselulosa 19–33%, dan lignin 14–23%. Komposisi tersebut memungkinkan ampas tebu dikonversi menjadi berbagai produk bernilai tambah. Selain sebagai sumber energi, ampas tebu juga telah dikembangkan sebagai bahan baku berbagai produk seperti material komposit dan produk berbasis biomassa lainnya karena kandungan lignoselulosanya yang cukup tinggi (Guna et al., 2019). Salah satu pemanfaatannya adalah sebagai bahan baku pembentukan HLS karena kandungan lignin pada ampas tebu berpotensi mendukung pembentukan senyawa humat melalui proses hidrotermal (Mahmud & Rahman, 2021). Ketiga komponen lignoselulosa tersebut dapat menjadi sumber senyawa organik yang mengalami berbagai transformasi selama proses hidrotermal dalam pembentukan HLS (Arbidans, 2025).

HLS merupakan senyawa organik kompleks yang memiliki berbagai gugus fungsi aktif dan banyak dimanfaatkan dalam bidang pertanian, lingkungan, serta pengolahan limbah. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memproduksi HLS adalah proses hidrotermal. Proses tersebut berlangsung pada kondisi suhu dan tekanan tertentu dalam medium air sehingga dapat menguraikan struktur kompleks biomassa menjadi senyawa yang lebih sederhana. Penambahan larutan alkali dapat meningkatkan kelarutan senyawa humat yang kemudian dapat dipisahkan melalui pengendapan menggunakan asam (Cheng et al., 2019). Pemanfaatan biomassa lignoselulosa sebagai bahan baku HLS menjadi alternatif karena produksi HLS secara konvensional umumnya menggunakan bahan fosil seperti lignit dan batubara yang bersifat tidak terbarukan (Shao et al., 2023). Dalam proses hidrotermal, komponen lignoselulosa dapat mengalami berbagai reaksi seperti depolimerisasi, kondensasi, dan aromatisasi yang mendukung pembentukan struktur senyawa humat.

Suhu dan waktu reaksi menjadi parameter penting dalam proses hidrotermal karena peningkatan keduanya dapat mempercepat penguraian struktur lignoselulosa dan mendukung pembentukan senyawa humat. Namun, kondisi yang terlalu tinggi atau waktu reaksi yang terlalu lama dapat menyebabkan dekomposisi senyawa humat sehingga rendemen menurun. Oleh karena itu, diperlukan penentuan kondisi reaksi yang optimum untuk memperoleh rendemen HLS yang maksimal (Han et al., 2024).

Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa proses hidrotermal dapat digunakan untuk mengonversi biomassa lignoselulosa menjadi material yang memiliki karakteristik menyerupai senyawa humat. Beberapa pendekatan menggunakan kondisi asam atau basa selama proses hidrotermal, sedangkan penelitian lain memanfaatkan hydrochar sebagai material antara untuk memperoleh fraksi humat. Namun, kajian mengenai rute dua tahap yang memisahkan pretreatment hidrotermal asam dan ekstraksi hidrotermal-alkali, khususnya menggunakan HCl encer sebagai pretreatment ampas tebu dan KOH pada tahap berikutnya, masih terbatas. Selain itu, informasi mengenai respons rendemen HLS terhadap kombinasi rentang suhu dan waktu pada tahap hidrotermal-alkali setelah pretreatment asam masih perlu dikembangkan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan rute hidrotermal dua tahap berupa pretreatment ampas tebu menggunakan HCl encer yang dilanjutkan dengan ekstraksi hidrotermal-alkali menggunakan KOH, serta evaluasi secara bertahap terhadap suhu dan waktu reaksi tahap alkali untuk menentukan kondisi yang menghasilkan rendemen HLS tertinggi.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengkarakterisasi ampas tebu sebagai bahan baku, menganalisis pengaruh variasi suhu dan waktu reaksi hidrotermal menggunakan larutan KOH terhadap pembentukan asam humat, serta menentukan kondisi tertinggi proses hidrotermal yang menghasilkan rendemen HLS maksimal.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan ampas tebu sebagai objek penelitian. Bahan yang digunakan meliputi ampas tebu, HCl 0,1 N, KOH 0,25 M, dan akuades. Ampas tebu dikeringkan pada suhu 60°C hingga berat konstan, dihaluskan, dan diayak menggunakan ayakan 60 mesh. Sebanyak 7 g ampas tebu kemudian diberi pretreatment menggunakan HCl 0,1 N dengan perbandingan 1:10 (b/v) pada suhu 200°C

selama 4 jam. Residu hasil pretreatment dicuci dan dikeringkan sebelum digunakan pada tahap hidrotermal alkali.

Residu kemudian diekstraksi menggunakan KOH 0,25 M dengan perbandingan 1:15 (b/v). Hidrotermal alkali dilakukan pada variasi suhu 120, 140, 160, 180, dan 200°C dengan waktu reaksi 80, 120, 160, 200, dan 240 menit. Tahap pertama dilakukan untuk menentukan suhu terbaik pada waktu 80 menit, kemudian suhu terbaik digunakan untuk menentukan waktu reaksi optimum. Filtrat diasamkan menggunakan HCl 0,1 N hingga pH 2, didiamkan selama 24 jam, kemudian endapan dipisahkan, dicuci hingga netral, dan dikeringkan pada suhu 60°C.

Parameter yang dianalisis meliputi rendemen, kadar air, kadar abu, dan karakteristik gugus fungsi menggunakan FTIR. Rendemen dihitung berdasarkan perbandingan massa produk kering terhadap massa awal ampas tebu menggunakan Persamaan (1).

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{m_1}{m_0} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

dengan adalah massa produk setelah dikeringkan (g) dan adalah massa awal ampas tebu sebelum hidrotermal (g). Kadar abu dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{(W_2 - W_0)}{(W_1 - W_0)} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada ampas tebu dan produk HLS berdasarkan pita serapan inframerah. Kondisi tertinggi ditentukan berdasarkan perlakuan yang menghasilkan rendemen tertinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Ampas tebu

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa ampas tebu memiliki kadar air sebesar 9,00% dan kadar abu rata-rata sebesar 5,67%. Kadar abu yang relatif rendah menunjukkan bahwa kandungan bahan organik pada ampas tebu masih lebih dominan dibandingkan komponen mineralnya. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa ampas tebu sesuai digunakan sebagai bahan baku dalam pembentukan HLS melalui proses hidrotermal.

Tabel 1. karakteristik ampas tebu

Parameter	Hasil
Kadar air	9,00%
Kadar abu	5,67%.

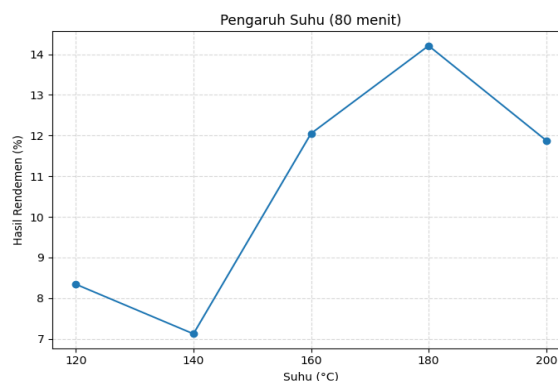
Perubahan Fisik Ampas Tebu setelah Pretreatment HCl

Pretreatment menggunakan HCl 0,1 N menyebabkan perubahan Perubahan warna dan tekstur mengindikasikan terjadinya perubahan struktur biomassa selama pretreatment; namun pengaruh pretreatment terhadap komposisi lignoselulosa belum dapat ditentukan karena tidak dilakukan analisis komposisi sebelum dan sesudah perlakuan. Struktur biomassa yang menjadi lebih terbuka selanjutnya memungkinkan larutan KOH berinteraksi lebih mudah dengan komponen organik pada tahap hidrotermal alkali. Menurut penelitian Maheswari *et al* (2020), perlakuan alkali pada biomassa dapat meningkatkan efisiensi pemisahan lignin sehingga struktur lignoselulosa menjadi lebih mudah untuk diproses lebih lanjut.

Pengaruh Suhu terhadap Rendemen HLS

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi suhu memengaruhi rendemen HLS yang dihasilkan pada waktu reaksi tetap 80 menit. Pada suhu 120°C, rendemen yang diperoleh sebesar 8,34%, kemudian meningkat pada suhu 140°C dan 160°C hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 14,21% pada suhu 180°C. Namun, ketika suhu dinaikkan menjadi 200°C, rendemen mengalami penurunan menjadi 11,88%. Data tersebut menunjukkan bahwa peningkatan suhu hingga kondisi tertentu dapat meningkatkan rendemen HLS, sedangkan suhu yang lebih tinggi dapat menyebabkan penurunan rendemen.

Peningkatan rendemen hingga 180°C diduga terjadi karena energi panas yang diberikan mampu mempercepat penguraian sebagian komponen lignoselulosa dan membantu pelarutan senyawa organik ke dalam larutan KOH. Sebaliknya, penurunan rendemen pada 200°C diduga disebabkan oleh terjadinya degradasi sebagian senyawa organik akibat pemanasan yang lebih tinggi.



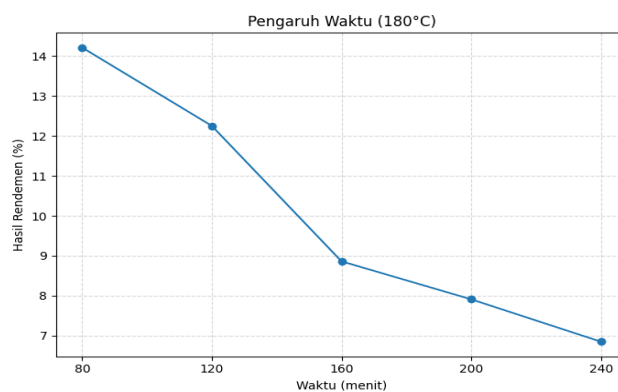
Gambar 1. variasi suhu pada waktu 80 menit

Kondisi tersebut dapat menyebabkan sebagian prekursor pembentuk HLS mengalami dekomposisi sehingga jumlah HLS yang dihasilkan menurun. Menurut Portilla-Amaguan *et al.* (2024), hemiselulosa mulai mengalami penguraian pada suhu sekitar 180°C, sedangkan selulosa dan lignin mengalami degradasi yang lebih signifikan pada suhu di atas 200°C. Hu *et al.* (2022), menyatakan bahwa proses hidrotermal pada biomassa dapat mendorong transformasi senyawa organik yang berperan dalam pembentukan senyawa humat. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan Proskurnin dan Volkov (2023) yang mengaitkan peningkatan suhu dengan perubahan struktur dan gugus fungsi senyawa humat.

Pengaruh Waktu Reaksi terhadap Rendemen HLS

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi waktu reaksi memengaruhi rendemen HLS yang dihasilkan pada suhu tetap 180°C. Rendemen tertinggi diperoleh pada waktu reaksi 80 menit sebesar 14,21%. Selanjutnya, peningkatan waktu reaksi menjadi 120, 160, 200, dan 240 menit menunjukkan kecenderungan penurunan rendemen. Hasil tersebut menunjukkan bahwa waktu reaksi yang lebih lama tidak selalu meningkatkan rendemen HLS dan pada kondisi penelitian ini, waktu 80 menit menghasilkan rendemen tertinggi pada rentang perlakuan yang diuji.

Penurunan rendemen seiring bertambahnya waktu reaksi diduga terjadi karena pemanasan yang berlangsung lebih lama dapat menyebabkan senyawa organik hasil transformasi lignoselulosa mengalami reaksi lanjutan atau degradasi. Pada tahap awal, proses hidrotermal-alkali dapat membantu penguraian struktur lignoselulosa dan pelarutan komponen organik ke dalam larutan KOH.



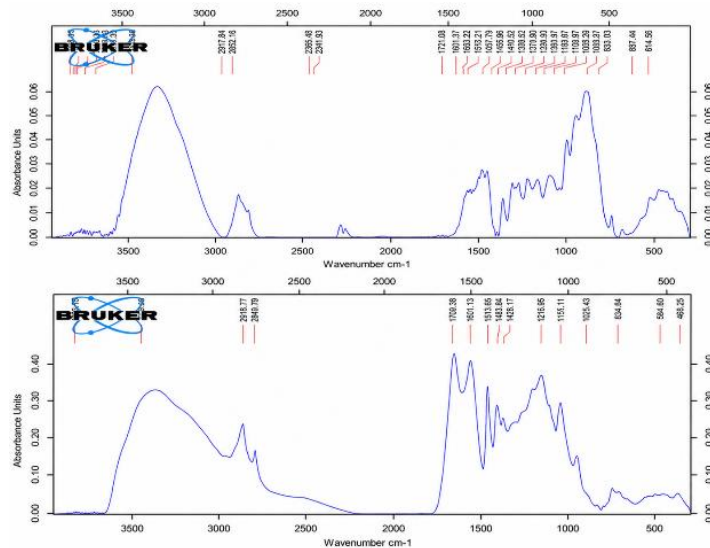
Gambar 2. variasi waktu pada suhu 180°C

Namun, ketika waktu reaksi diperpanjang, sebagian senyawa yang telah terbentuk dapat mengalami transformasi lebih lanjut sehingga fraksi HLS yang diperoleh melalui

proses pengendapan menjadi lebih rendah. Oleh karena itu, berdasarkan rentang waktu yang diuji, waktu reaksi 80 menit pada suhu 180°C merupakan kondisi yang menghasilkan rendemen HLS tertinggi pada rentang perlakuan yang diuji.

Karakteristik HLS Berdasarkan FTIR

Analisis FTIR dilakukan untuk membandingkan gugus fungsi pada ampas tebu dan HLS hasil penelitian. Kedua spektrum tersebut ditampilkan dalam satu gambar, sehingga perbandingan dapat dilihat secara langsung.



Gambar 3 grafik hasil FTIR ampas tebu dan asam humat

Pada ampas tebu, gugus O–H teridentifikasi pada sekitar 3423 cm^{-1} , sedangkan pada HLS berada pada 3414 cm^{-1} . Gugus C–H alifatik pada ampas tebu terdapat pada 2918 dan 2852 cm^{-1} , sedangkan pada HLS terdapat pada 2919 dan 2849 cm^{-1} . Pergeseran bilangan gelombang tersebut menunjukkan adanya perubahan lingkungan kimia gugus fungsi setelah proses pretreatment dan hidrotermal.

Pada daerah karbonil, ampas tebu menunjukkan pita serapan pada 1721–1705 cm^{-1} , sedangkan HLS menunjukkan pita pada 1702 cm^{-1} yang berkaitan dengan gugus C=O. Selain itu, pita pada daerah 1636–1605 cm^{-1} pada ampas tebu bergeser menjadi 1610 cm^{-1} pada HLS yang menunjukkan keberadaan ikatan C=C aromatik. Keberadaan gugus C=O dan C=C aromatik tersebut mendukung karakteristik kimia produk sebagai asam humat. Menurut Hu *et al* (2022), karakteristik FTIR senyawa humat umumnya ditunjukkan oleh keberadaan pita serapan O–H, C–H alifatik, C=O, dan C=C aromatik pada beberapa daerah bilangan gelombang.

Gugus C–O juga ditemukan pada kedua sampel. Pada ampas tebu terdapat pita pada 1260, 1204, 1164, 1109, dan 1053 cm^{-1} , sedangkan pada HLS terdapat pada 1216, 1115, dan 1025 cm^{-1} . Perbedaan posisi pita menunjukkan adanya perubahan struktur kimia komponen organik selama proses pengolahan.

Uji Pendahuluan pada Tanaman Sawi

Uji pendahuluan dilakukan sebagai uji awal untuk melihat kecenderungan respons tanaman terhadap pemberian HLS. Pengujian dilakukan pada tanaman sawi selama 30 hari dengan penyiraman setiap tiga hari sekali. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan dengan HLS menghasilkan 7 tanaman yang tumbuh, sedangkan tanpa pemberian HLS menghasilkan 5 tanaman. Hasil tersebut menunjukkan adanya kecenderungan pertumbuhan yang lebih baik pada tanaman yang diberikan HLS. Namun, pengujian ini hanya merupakan uji awal dan belum dapat digunakan untuk menyimpulkan efektivitas HLS terhadap pertumbuhan tanaman, karena belum dilakukan ulangan dan pengukuran parameter pertumbuhan secara lengkap. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan dengan ulangan dan parameter pertumbuhan yang lebih lengkap.

KESIMPULAN DAN SARAN

Ampas tebu berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pembentukan HLS melalui proses pretreatment HCl dan hidrotermal alkali menggunakan KOH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi suhu dan waktu reaksi memengaruhi rendemen asam humat. Kondisi tertinggi diperoleh pada suhu 180°C selama 80 menit dengan rendemen sebesar 14,21%. Hasil FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsi O–H, C–H, C=O, C=C aromatik, dan C–O yang mendukung karakteristik asam humat. Uji pendahuluan pada tanaman sawi menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik pada perlakuan dengan HLS dibandingkan tanpa pemberian asam humat.

Penelitian selanjutnya disarankan melakukan ulangan percobaan dan pengujian aplikasi HLS pada tanaman dengan parameter pertumbuhan yang lebih lengkap agar efektivitas produk dapat dievaluasi secara lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik LPP Yogyakarta yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima

kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan arahan, bantuan, serta dukungan selama proses penelitian hingga penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arbidans, L. (2025). *Hydrothermal Humification of Extracted Spruce Greenery Biomass as a Tool for End-of-Waste Approach for Production of Artificial Humic Substances*. 29(1), 1073–1091.
- Cheng, G., Niu, Z., Zhang, C., Zhang, X., & Li, X. (2019). *applied sciences Extraction of Humic Acid from Lignite by*. <https://doi.org/10.3390/app9071356>
- Guna, V., Ilangovan, M., Hu, C., & Venkatesh, K. (2019). Industrial Crops & Products Valorization of sugarcane bagasse by developing completely biodegradable composites for industrial applications. *Industrial Crops & Products*, 131(December 2018), 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.011>
- Han, S., Zhang, B., Wang, M., & Guo, R. (2024). Journal of Environmental Chemical Engineering Optimization of alkaline hydrothermal treatment for humic acids production from corn straw digestate using the response surface methodology. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(2), 112465. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112465>
- Hu, Z., Huo, W., Chen, Y., Zhang, Q., Hu, M., & Zheng, W. (2022). *Humic Substances Derived From Biomass Waste During Aerobic Composting and Hydrothermal Treatment : A Review*. 10(May), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.878686>
- Maheswari, R. U., Mavukkandy, M. O., Adhikari, U., Naddeo, V., Sikder, J., & Arafat, H. A. (2020). Biomass and Bioenergy Synergistic effect of humic acid on alkali pretreatment of sugarcane bagasse for the recovery of lignin with phenomenal properties. *Biomass and Bioenergy*, 134(January), 105486. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105486>
- Mahmud, A., & Rahman, F. (2021). Heliyon Sugarcane bagasse - A source of cellulosic fiber for diverse applications. *Heliyon*, 7(August), e07771. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07771>
- Portilla-amaguan, A., Barraza-burgos, J., Guerrero-perez, J., Borugadda, V. B., & Dalai, A. K. (2024). *Hydrothermal Carbonization of Green Harvesting Residues (GHRs) from Sugar Cane : Effect of Temperature and Water / GHR Ratio on Mass and Energy Yield*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c01875>
- Proskurnin, M. A., & Volkov, D. S. (2023). *Temperature Dependences of IR Spectral*

Bands of Humic Substances of Silicate-Based Soils.

Shao, Y., Zhao, J., Long, Y., & Lu, W. (2023). *Two-step hydrothermal conversion of biomass waste to humic acid using hydrochar as intermediate*. 17(10).

Ungureanu, N. (2022). *Sustainable Valorization of Waste and By-Products from Sugarcane Processing*. 1–27.