

Pengaruh Konsentrasi KOH dan Ukuran Partikel terhadap Rendemen *Humic-Like Substances* dari *Hydrochar* Ampas Tebu melalui Proses Hidrotermal-Alkali

Nurul Azizah¹⁾ dan Ratna Sri Harjanti^{1,*)}

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

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

Abstrak

Ampas tebu sebagai limbah padat industri gula memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber *humic-like substances* melalui proses ekstraksi alkali. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi KOH dan ukuran partikel terhadap rendemen serta karakteristik *humic-like substances* yang diekstrak dari ampas tebu. Penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi KOH 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; dan 1,25 M, serta variasi ukuran partikel 12, 16, 20, 40, dan 60 *mesh*. Produk hasil ekstraksi dianalisis melalui uji kelarutan dalam suasana asam dan basa serta karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Selanjutnya, *humic-like substances* diaplikasikan pada tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) sebagai uji pendahuluan pembenah tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rendemen *humic-like substances* mengalami peningkatan seiring dengan pengecilan ukuran partikel hingga 60 *mesh* menghasilkan rendemen 29,89% dan peningkatan konsentrasi KOH hingga 1,00 M menghasilkan rendemen 29,82%, kemudian menurun pada konsentrasi 1,25 M dengan rendemen 26,19%. Uji kelarutan menunjukkan produk larut dalam suasana basa dan mengendap pada kondisi asam (pH 1–2). Analisis FTIR mengindikasikan keberadaan gugus fungsi utama, seperti hidroksil (O-H), karboksilat/karbonil (C=O), kerangka aromatik (C=C), dan C-O, yang mendukung karakteristik *humic-like substance*. Uji pendahuluan menunjukkan bahwa perlakuan 1,4 gram menghasilkan tinggi tanaman tertinggi sebesar 11 cm serta memberikan indikasi awal peningkatan pH tanah dari 5,2 menjadi 7,1 pada sampel yang diamati. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa ampas tebu layak diolah sebagai bahan baku *humic-like substances* yang berpotensi dimanfaatkan sebagai pembenah tanah.

Kata kunci: ampas tebu; ekstraksi hidrotermal; *humic-like substances*; KOH; ukuran partikel

Abstract

Sugarcane bagasse, a solid waste from the sugar industry, has potential as a source of *humic-like substances* through alkaline extraction. This study aims to analyze the effects of KOH concentration and particle size on the yield and characteristics of *humic-like substances* extracted from sugarcane bagasse. The study evaluated KOH concentrations of 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, and 1.25 M, and particle sizes of 12, 16, 20, 40, and 60 *mesh*. The extracted products were analyzed through acid-base solubility tests and characterized using *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Furthermore, the *humic-like substances* were applied to water spinach (*Ipomoea aquatica*) as a preliminary soil conditioner test. The results showed that the yield increased with smaller particle sizes, reaching 29.89% at 60 *mesh*, and increased with KOH concentration up to 1.00 M (29.82% yield), before decreasing at 1.25 M (26.19%). Solubility tests confirmed that the product dissolves in alkaline media and precipitates under acidic conditions (pH 1–2). FTIR analysis indicated key functional groups, including hydroxyl (O–H), carboxyl/carbonyl (C=O), aromatic skeleton (C=C), and C–O, supporting *humic-like substance* characteristics. Preliminary plant tests revealed that a 1.4 g treatment yielded the highest plant height (11 cm) and increased soil pH from 5.2 to 7.1. These findings indicate that sugarcane bagasse is a viable raw material for *humic-like substances* with potential application as a soil conditioner.

Keywords: extraction; *humic-like substances*; KOH; particle size; sugarcane bagasse

PENDAHULUAN

Industri gula merupakan salah satu agroindustri strategis di Indonesia yang terus beroperasi untuk memenuhi kebutuhan gula nasional. Tingginya produksi gula berbanding lurus dengan bertambahnya jumlah limbah padat yang dihasilkan. Berdasarkan data Badan Statistik, produksi gula Indonesia mencapai 2,24 juta ton pada tahun 2021. Dalam proses penggilingan tebu, dihasilkan pula berbagai limbah padat seperti ampas tebu (32%), tetes (4%), blotong (2-3%), dan abu ketel (0,3%) (Firmansyah et al., 2023). Jutaan ton ampas tebu yang dihasilkan setiap tahun umumnya hanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler pabrik gula. Apabila tidak dikelola secara optimal, penumpukan limbah ini berpotensi menurunkan nilai ekonomisnya sekaligus menimbulkan pencemaran lingkungan (Dharma et al., 2017). Padahal, ampas tebu memiliki kandungan selulosa (32–45%) dan lignin (17–32%) yang tinggi sehingga kaya akan karbon dan fragmen aromatik yang potensial dikonversi menjadi *humic-like substances* atau asam humat artifisial (Kumar et al., 2021). Produksi asam humat komersial sejauh ini masih didominasi oleh sumber daya fosil tidak terbarukan seperti batubara muda (*leonardite*) dan lignit (Shao et al., 2023).

Pengolahan ampas tebu menjadi *humic-like substances* dapat diawali dengan merubah ampas tebu menjadi *hydrochar* melalui teknik karbonisasi hidrotermal. Teknik ini memanfaatkan air pada suhu dan tekanan tinggi untuk mendepolimerisasi struktur lignoselulosa ampas tebu yang kaku sehingga menghasilkan material yang lebih porus dan reaktif. Proses kemudian dilanjutkan dengan ekstraksi hidrotermal-alkali menggunakan larutan kalium hidroksida (KOH). Larutan KOH menciptakan kondisi alkali yang melarutkan *humic-like substances*, memutus ikatan eter dan ester pada struktur lignoselulosa, serta membentuk garam kalium humat yang larut air. Penggunaan KOH juga diharapkan meninggalkan residu unsur hara kalium (K) yang esensial bagi pembenah tanah dan pertumbuhan tanaman (Bento et al., 2019).

Keberhasilan konversi ini sangat dipengaruhi oleh parameter ukuran partikel ampas tebu dan konsentrasi larutan KOH. Ukuran partikel menentukan luas permukaan spesifik biomassa; semakin kecil ukuran partikel, semakin luas bidang kontak antara biomassa dan pelarut sehingga penetrasi larutan berlangsung lebih efektif (Moreno-Chocant et al., 2024). Sementara itu, konsentrasi KOH menentukan ketersediaan ion hidroksida (OH^-) yang berperan mendegradasi struktur lignoselulosa dan mengeskrak *humic-like substances* (Shao et al., 2023). Penelitian terdahulu telah menguji ekstraksi

asam humat dari *sewage sludge* (Qiu *et al.*, 2021), lignit (Li *et al.*, 2023), serta tongkol jagung (Wang *et al.*, 2025). Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan rute hidrotermal dua tahap dengan *hydrochar* ampas tebu sebagai material antara, yang dilanjutkan ekstraksi hidrotermal-alkali KOH serta evaluasi secara sekuensial terhadap konsentrasi KOH dan ukuran partikel untuk menentukan kondisi dengan rendemen HLS tertinggi.

Tujuan penelitian ini adalah menentukan kondisi perlakuan konsentrasi KOH dan ukuran partikel yang menghasilkan rendemen *humic-like substances* tertinggi, menganalisis profil gugus fungsional produk melalui pengujian FTIR, serta mengetahui efektivitas aplikasinya sebagai pembenah tanah terhadap pertumbuhan tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan penetralan pH tanah.

METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Analisa Gula, Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Politeknik LPP Yogyakarta. Bahan utama yang digunakan meliputi ampas tebu kering (*bagasse*), kalium hidroksida (KOH), asam klorida (HCl), dan akuades. Peralatan utama terdiri dari reaktor hidrotermal (100 mL), *furnace*, oven, timbangan analitik, pengayak (*mesh screen* 12, 16, 20, 40, 60 *mesh*), *spectrophotometer* FTIR, pompa vakum, dan pH meter.

Tahap awal diawali dengan pembersihan ampas tebu dari pengotor fisik, dikeringkan pada suhu 60°C hingga berat konstan, dihaluskan, dan diayak menjadi ukuran 12, 16, 20, 40, dan 60 *mesh*. Sebanyak 7 gram ampas tebu dimasukkan ke reaktor hidrotermal bersama 70 mL akuades (rasio biomassa:air = 1:10 b/v). Reaktor dipanaskan di dalam *furnace* pada suhu 200°C selama 240 menit sebagai *pretreatment* hidrotermal air. Setelah dingin, campuran disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 42 dan pompa vakum. Padatan *hydrochar* dikeringkan pada suhu 60°C hingga berat konstan.

Tahap ekstraksi hidrotermal-alkali dilakukan dengan mencampurkan 4,5 gram *hydrochar* dan 67,5 mL larutan KOH (rasio padatan:larutan = 1:15 b/v) dalam reaktor hidrotermal pada suhu 200°C selama 240 menit. Optimasi dilakukan secara bertahap: tahap pertama menguji variasi konsentrasi KOH (0,25; 0,50; 0,75; 1,00; dan 1,25 M) pada ukuran partikel tetap 60 *mesh*. Konsentrasi KOH dengan rendemen tertinggi pada rentang perlakuan yang diperoleh kemudian digunakan pada tahap kedua untuk menguji variasi ukuran partikel (12, 16, 20, 40, dan 60 *mesh*). Filtrat hasil ekstraksi dipisahkan dari residu, lalu diasamkan dengan HCl 0,1 N hingga mencapai pH 1–2 dan didiamkan selama 24 jam.

Endapan *humic-like substances* yang terbentuk disaring, dicuci akuades hingga netral, dan dikeringkan pada oven 60°C.

Rendemen produk dihitung menggunakan Persamaan 1:

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

dengan m_1 adalah berat konstan *humic-like substances* kering (g) dan m_0 adalah berat *hydrochar* kering yang digunakan (g).

Karakterisasi produk meliputi uji konfirmasi kelarutan (dilarutkan dalam KOH 0,25 M lalu ditetesi HCl 0,1 N hingga pH 1–2), uji kadar abu ampas tebu metode pengabuan kering pada suhu 550°C selama 4 jam, serta uji gugus fungsi spektroskopi FTIR pada rentang bilangan gelombang 4000–400 cm^{-1} . Uji pendahuluan aplikasi tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dilakukan menggunakan 3 polibag (masing-masing diisi 2 kg tanah dan 10 benih) dengan perlakuan kontrol (tanpa HLS), pemberian 0,8 g HLS/200 mL, dan 1,4 g HLS/200 mL. Penyiraman dilakukan sebanyak 50 mL/polibag setiap 3 hari sekali selama 14 hari pengamatan dengan mengukur tinggi tanaman, jumlah tanaman tumbuh, serta perubahan pH tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Konsentrasi KOH terhadap Rendemen *Humic-Like Substances*

Tahap pertama penelitian menguji pengaruh konsentrasi KOH pada ukuran partikel ampas tebu tetap 60 *mesh*, suhu 200°C, dan waktu reaksi 240 menit. Data hasil rendemen disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Rendemen Humic-Like Substances Variasi Konsentrasi KOH

Variasi Konsentrasi KOH	Ukuran Partikel	Berat <i>hydrochar</i> (g)	Berat produk HLS (g)	Rendemen HLS (%)
0,25	60	4,5	0,2084	4,63
0,50	60	4,5	1,0860	24,13
0,75	60	4,5	1,0887	24,19
1,00	60	4,5	1,3420	29,82
1,25	60	4,5	1,1784	26,19

Berdasarkan Tabel 1, rendemen *humic-like substances* meningkat seiring peningkatan konsentrasi KOH dari 0,25 M hingga mencapai puncaknya pada konsentrasi 1,00 M dengan rendemen sebesar 29,82%. KOH berfungsi sebagai agen alkali yang

memutus ikatan eter dan ester pada struktur lignoselulosa, terutama lignin dan hemiselulosa, sehingga mempercepat depolimerisasi biomassa. Pada konsentrasi 0,25 M, ketersediaan ion hidroksida belum mencukupi untuk menguraikan matriks biomassa secara optimal sehingga rendemen sangat rendah (4,63%). Namun, peningkatan KOH menjadi 1,25 M menyebabkan penurunan rendemen menjadi 26,19%. Hal ini diduga akibat terjadinya degradasi berlebih pada sebagian senyawa organik terlarut atau hilangnya fraksi organik selama proses pencucian. Oleh karena itu, konsentrasi KOH 1,00 M ditetapkan sebagai kondisi dengan rendemen tertinggi pada rentang perlakuan yang diuji.

Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Rendemen *Humic-Like Substances*

Tahap kedua menguji variasi ukuran partikel ampas tebu menggunakan kondisi KOH 1,00 M. Hasil rendemen pada berbagai ukuran *mesh* disajikan pada Tabel 2. Hasil pada Tabel 2 memperlihatkan bahwa rendemen humic-like substances meningkat secara konsisten seiring semakin halusnya ukuran partikel ampas tebu. Rendemen terendah diperoleh pada ukuran 12 mesh (24,78%), sedangkan rendemen tertinggi dicapai pada ukuran 60 mesh (29,89%). sedangkan rendemen tertinggi dicapai pada ukuran 60 mesh (29,89%). Pengecilan ukuran partikel meningkatkan luas permukaan spesifik biomassa, yang memperluas bidang kontak antara pelarut KOH dan matriks lignoselulosa. Kondisi ini mempercepat difusi pelarut ke dalam pori biomassa serta mengoptimalkan pelarutan fraksi organik terhumifikasi.

Tabel 2. Hasil Rendemen Humic-Like Substances Variasi Ukuran Partikel

Variasi Ukuran Partikel	Konsentrasi KOH	Berat <i>hydrochar</i> (g)	Berat produk HLS (g)	Rendemen HLS (%)
12	1,00	4,5	1,1149	24,78
16	1,00	4,5	1,1169	24,82
20	1,00	4,5	1,1228	24,96
40	1,00	4,5	1,3102	29,12
60	1,00	4,5	1,3450	29,89

Hasil Uji Konfirmasi Kelarutan *Humic-Like Substances*

Uji kelarutan menunjukkan bahwa produk hasil ekstraksi larut sempurna dalam larutan basa KOH 0,25 M membentuk larutan berwarna hitam gelap homogen tanpa menyisakan residu padat. Pelarutan ini terjadi karena deprotonasi gugus karboksil (-COOH) dan fenolik (-OH). Ketika pH larutan diturunkan hingga pH 1–2 menggunakan

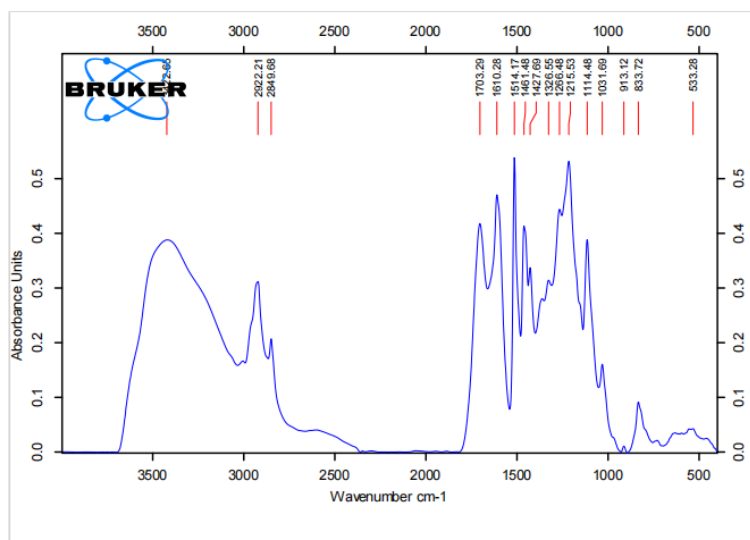
HCl 0,1 N, terjadi koagulasi dan presipitasi berupa endapan padat berwarna gelap. Sifat terlarut dalam basa dan mengendap dalam asam merupakan karakteristik khas kelarutan senyawa asam humat (Putri & Sukri, 2020).

Hasil Uji Kadar Abu

Pengujian kadar abu ampas tebu menghasilkan nilai rata-rata sebesar 5,67% (duplo: 5,73% dan 5,61%). Nilai ini berada pada rentang literatur kadar abu ampas tebu yaitu 1,0–9,0% (Kumar *et al.*, 2021). Kandungan abu yang relatif rendah mengindikasikan bahwa ampas tebu didominasi oleh fraksi organik lignoselulosa yang ideal dijadikan bahan baku pembuatan *humic-like substances* (Pérez *et al.*, 2025).

Hasil Uji *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR)

Analisis FTIR pada produk *humic-like substances* (HLS) dilakukan pada sampel dengan hasil rendemen tertinggi pada rentang perlakuan yang diuji yaitu pada sampel konsentrasi KOH 1,00 M dan ukuran partikel 60 *mesh*. Hasil analisis spektrum FTIR produk *humic-like substances* (HLS) menunjukkan keberadaan pita serapan utama yang berkaitan dengan gugus fungsi penyusun material humat. Gugus fungsi yang teridentifikasi meliputi hidroksil (O-H), alifatik (C-H), karbonil/karboksilat (C=O), kerangka aromatik (C=C), serta ester/eter (C-O). Pada produk HLS ini, terdapat pita serapan kunci pada bilangan gelombang 1703,29 cm^{-1} dan 1514,17 cm^{-1} .



Gambar 1. Spektrum Gugus Fungsi FTIR HLS

Pita serapan melebar pada daerah $3422,65\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya regangan gugus hidroksil (O-H) fenolik atau alkohol, sedangkan puncak pada $2922,21\text{ cm}^{-1}$ berkaitan dengan vibrasi regangan C-H alifatik. Keberadaan gugus karbonil pada daerah $1703,29\text{ cm}^{-1}$ dikaitkan dengan regangan C=O dari gugus karboksilat/karbonil. Sementara itu, serapan pada $1514,17\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan keberadaan regangan kerangka aromatik (C=C) yang menandakan terbentuknya struktur inti terhumifikasi. Selain itu, serapan pada $1215,53\text{ cm}^{-1}$ dan $1031,69\text{ cm}^{-1}$ mendukung keberadaan vibrasi ikatan C-O dan C-O-C. Profil ini selaras dengan struktur asam humat standar hasil sintesis hidrotermal yang dilaporkan oleh Qiu *et al.*, (2021).

Keberadaan gugus fungsi tersebut menunjukkan bahwa produk hasil ekstraksi memiliki karakteristik fungsional yang menyerupai material humat. Meskipun demikian, analisis FTIR bersifat kualitatif sehingga keberadaan gugus fungsi tersebut belum dapat digunakan untuk menentukan tingkat kemurnian produk secara pasti. Oleh karena itu, untuk meningkatkan tingkat karakterisasi produk, penelitian selanjutnya perlu dilengkapi dengan analisis kuantitatif seperti Kapasitas Tukar Kation (KTK), rasio E4/E6, keasaman total, keasaman karboksilat, keasaman fenolik, serta analisis unsur CHNS.

Hasil Uji Aplikasi *Humic-Like Substances* terhadap Pertumbuhan Tanaman Kangkung Air

Hasil pengamatan pertumbuhan tanaman kangkung air selama 14 hari disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Pengamatan Pertumbuhan Tanaman Kangkung Air

Tanggal Pengamatan	Perlakuan HLS	Ukuran Tertinggi Tanaman (cm)	Jumlah Tanaman yang Tumbuh
17 Juni 2026	Kontrol	2.5	2
	0,8 g	3,0	4
	1,4 g	3.5	4
20 Juni 2026	Kontrol	4,0	5
	0,8 g	5,0	6
	1,4 g	6,0	6
23 Juni 2026	Kontrol	5.5	8
	0,8 g	7,0	9
	1,4 g	7.5	10

Tanggal Pengamatan	Perlakuan HLS	Ukuran Tertinggi Tanaman (cm)	Jumlah Tanaman yang Tumbuh
28 Juni 2026	Kontrol	9,0	8
	0,8 g	10	10
	1,4 g	11	10

Pemberian *humic-like substances* menunjukkan kecenderungan positif terhadap pertumbuhan kangkung air. Perlakuan dosis 1,4 gram HLS menghasilkan tinggi tanaman tertinggi (11,0 cm) dan jumlah perkecambahan benih terbanyak (10 tanaman) dibanding kontrol (9,0 cm; 8 tanaman). Pengukuran pH media tanam menunjukkan bahwa perlakuan 1,4 g HLS mampu menaikkan pH tanah dari kondisi masam (pH 5,2) menjadi netral (pH 7,1) pada akhir pengamatan. Peningkatan ini dipicu oleh kemampuan *humic-like substances* dalam mengikat ion H^+ serta memperbaiki kapasitas tukar kation tanah (Putri & Sukri, 2020).

KESIMPULAN DAN SARAN

Ekstraksi *humic-like substances* dari ampas tebu melalui metode hidrotermal dua tahap dipengaruhi oleh konsentrasi KOH dan ukuran partikel biomassa. Kondisi operasi konsentrasi KOH 1,00 M dan ukuran partikel 60 *mesh*, menghasilkan rendemen produk tertinggi masing-masing sebesar 29,82% dan 29,89%. Uji konfirmasi kelarutan dan analisis spektrum FTIR membuktikan bahwa produk yang dihasilkan memiliki karakteristik fisikokimia serta profil gugus fungsi khas asam humat, meliputi gugus hidroksil (O-H), karboksilat (C=O), alifatik (C-H), dan kerangka aromatik (C=C). Uji aplikasi pendahuluan mengindikasikan bahwa pemberian 1,4 g *humic-like substances* efektif mendorong pertumbuhan vegetatif kangkung air hingga mencapai tinggi 11,0 cm serta berpotensi menaikkan pH media tanam dari 5,2 menjadi 7,1.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi variasi suhu dan waktu tinggal (*residence time*) pada reaktor hidrotermal guna mengamati tingkat aromatisitas produk. Selain itu, uji aplikasi pada tanaman perlu diperluas dengan rancangan acak lengkap (RAL) minimal tiga kali ulangan analisis statistik, serta karakterisasi lanjutan meliputi nilai rasio E4/E6, Kapasitas Tukar Kation (KTK), dan kelengkapan analisis unsur hara tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Politeknik LPP Yogyakarta atas dukungan fasilitas laboratorium selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga ditujukan seluruh rekan-rekan tim penelitian atas bimbingan, bantuan teknis, dan dukungannya hingga penelitian ini selesai dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bento, L. R., Melo, C. A., Ferreira, O. P., Moreira, B., Mounier, S., Piccolo, A., Spaccini, R., & Bisinoti, M. C. (2019). Humic extracts of hydrochar and Amazonian Dark Earth: Molecular characteristics and effects on maize seed germination. *Journal Pre-Proofs*.
- Dharma, U. S., Rajabiah, N., & Setyadi, C. (2017). Pemanfaatan Limbah Blotong dan Bagasse Menjadi Biobriket dengan Perikat Berbahan Baku Tetes Tebu dan Setilage. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(1). <http://ojs.umm metro.ac.id/index.php/turbo%>
- Firmansyah, A. H., Zamrudy, W., Naryono, E., Kimia, J. T., Malang, P. N., Soekarno, J., & No, H. (2023). Studi kelayakan pemanfaatan limbah (blotong, ampas tebu, tetes) sebagai biobriket. *Jurnal Teknologi Separasi*, 9(9), 303–317.
- Kumar, A., Kumar, V., & Singh, B. (2021). International Journal of Biological Macromolecules Cellulosic and hemicellulosic fractions of sugarcane bagasse : Potential , challenges and future perspective. *International Journal of Biological Macromolecules*, 169, 564–582. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.175>
- Li, H., Ding, S., & Yuan, J. (2023). Extraction of Humic Acids from Lignite and Its Use as a Biochar Activator. *ACS Omega*, 8, 12206–12216.
- Moreno-Chocont, L. N., Sophia, A., & Guerrero-fajardo, C. A. (2024). Evaluation of the Effect of Particle Size and Biomass-to-Water Ratio on the Hydrothermal Carbonization of Sugarcane Bagasse. *Journal Chemengineering*, 8, 43.
- Pérez, N. P., Alejandro, J., Travieso, R., Shelton, E. D. E., Pedroso, D. T., Machin, E. B., Tuna, C. E., & Silveira, J. L. (2025). Unlocking the potential of sugarcane bagasse : a comprehensive analysis for advanced energy conversion. *Bioresources and Bioprocessing*. <https://doi.org/10.1186/s40643-025-00878-5>
- Putri, N., & Sukri, M. Z. (2020). Aplikasi Asam Humat Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung Manis (*Zea mays saccharata* Sturt .). *AGROPROSS, National Conference Proceedings of Agriculture.*, 8–9.

- Qiu, C., Xu, W., Wang, Y., Yang, J., & Su, X. (2021). Hydrothermal alkaline conversion of sewage sludge : optimization of process parameters and characterization of humic acid. *Environmental Science and Pollution Research*.
- 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), 119.
- Wang, W., Liu, J., Ma, Z., Wang, Y., & Zhang, L. (2025). Enhanced hydrothermal humification of lignocellulosic biomass : Engineering the reaction pathway and economic evaluation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13.