

Ekstraksi *Humic Like Substances* dari Hydrochar Ampas Tebu melalui Proses Hidrotermal Alkali dengan Variasi Waktu dan Suhu

Ika Nella Agustin¹⁾, Ratna Sri Harjanti^{1,*}

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

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

Abstrak

Ampas tebu merupakan residu lignoselulosa industri gula yang berpotensi dikonversi menjadi *humic like substance* (HLS) sebagai produk bernilai tambah. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi rendemen dan karakteristik HLS yang diekstraksi dari hydrochar ampas tebu melalui proses hidrotermal alkali dengan variasi waktu dan suhu. Ampas tebu berukuran 60 mesh diproses dengan air pada suhu 200 °C selama 4 jam untuk menghasilkan hydrochar. Sebanyak 4,4-4,5 gram hydrochar kemudian diekstraksi menggunakan 0,25 M KOH pada rasio padatan:larutan 1:15. Percobaan dilakukan secara bertahap: variasi waktu 80-240 menit pada 200 °C, kemudian variasi suhu 120-200 °C pada waktu terbaik. Filtrat dipresipitasi dengan HCl 0,1 N hingga pH 1-2, didiamkan selama 24 jam, dicuci, dan dikeringkan. Rendemen tertinggi pada rentang perlakuan yang diuji diperoleh pada suhu 200 °C selama 80 menit, yaitu 16,82% terhadap massa awal ampas tebu. FTIR menunjukkan pita yang berkaitan dengan gugus O-H, C=O, C=C aromatic, dan C-O sehingga mendukung kemiripan karakteristik produk dengan material humat, tanpa membuktikan kemurnain HLS. Produk memiliki kadar air 1,68% dan kadar abu 5,67%, serta menunjukkan sifat larut dalam basa dan mengendap pada kondisi asam. Uji aplikasi pendahuluan selama enam hari menunjukkan perlakuan HLS 4% menghasilkan tinggi tanaman 10 cm, 10 tanaman tumbuh dan pH media 6,8 dibandingkan control 7,5 cm, 6 tanaman, dan pH 5,3. Hasil aplikasi tersebut bersifat eksplorasi karena belum menggunakan replica yang memadai dan analisis statistik. Secara keseluruhan, rute hydrochar-hidrotermal alkali berpotensi menghasilkan HLS dari ampas tebu dan layak dikaji lebih lanjut sebagai pembenah tanah.

Kata kunci: ampas tebu; humic like substances; hidrotermal; KOH; hydrochar

Abstract

Sugarcane bagasse is a lignocellulosic residue that can be converted into humic-like substances (HLS). This study evaluated HLS yield and characteristics from sugarcane bagasse hydrochar under varied hydrothermal-alkaline reaction times and temperatures. Bagasse passing a 60-mesh sieve was treated with water at 200 °C for 4 h to produce hydrochar. Then, 4.4-4.5 g hydrochar was extracted with 0.25 M KOH at a solid-to-liquid ratio of 1:15. The experiment was conducted sequentially: reaction time was varied from 80 to 240 min at 200 °C, followed by temperature variation from 120 to 200 °C at the best reaction time. The filtrate was precipitated with 0.1 N HCl to pH 1-2, aged for 24 h, washed, and dried. The highest yield within the tested range was obtained at 200 °C for 80 min, corresponding to 16.82% of the initial bagasse mass. FTIR spectra showed bands associated with O-H, C=O, aromatic C=C, and C-O groups, supporting similarity to humic materials without establishing HLS purity. The product contained 1.68% moisture and 5.67% ash, dissolved under alkaline conditions, and precipitated under acidic conditions. In a six-day preliminary plant test, 4% HLS treatment produced a plant height of 10.0 cm, 10 emerged plants, and soil pH 6.8, compared with 7.5 cm, six plants, and pH 5.3 in the control. These observations are exploratory because adequate replication and statistical analysis were not performed. Overall, the hydrochar-based hydrothermal-alkaline route shows potential for producing HLS from sugarcane bagasse as a soil conditioner.

Keywords: sugarcane bagasse; humic-like substances; hydrothermal-alkaline; hydrochar

PENDAHULUAN

Industri gula menghasilkan residu padat dalam jumlah besar berupa ampas tebu (*bagasse*). Setiap satu ton tebu yang digiling diperkirakan menghasilkan sekitar 250-300 kg ampas tebu, yang umumnya dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler atau belum diolah menjadi produk bernilai tambah (Lee et al., 2022; Ungureanu et al., 2022). Secara kimiawi, ampas tebu merupakan biomassa lignoselulosa yang tersusun atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Struktur lignin yang aromatik dan keberadaan gugus beroksigen menjadikan biomassa ini relevan sebagai prekursor material humat, tetapi sifat rekalsitran matriks lignoselulosa membatasi penetrasi pelarut apabila ekstraksi dilakukan langsung pada bahan mentah (Ajala et al., 2021).

Humic-like substances (HLS) merupakan material yang menunjukkan karakteristik kimia dan kelarutan menyerupai senyawa humat. Material ini berpotensi digunakan sebagai pembenah tanah karena gugus karboksil, fenolik, dan gugus beroksigen lainnya dapat berperan dalam interaksi dengan unsur hara dan sifat kimia media tanam (Hidayat, n.d; Amelioran et al., n.d.). Pengembangan HLS dari biomassa limbah juga menawarkan pendekatan valorisasi yang lebih sirkular dibandingkan ketergantungan pada sumber humat fosil.

Salah satu pendekatan untuk membuka struktur biomassa adalah perlakuan hidrotermal. Pada kondisi suhu dan tekanan tinggi dalam medium air, komponen lignoselulosa dapat mengalami hidrolisis, depolimerisasi, dehidrasi, dan reaksi sekunder yang menghasilkan material antara berupa *hydrochar*. *Hydrochar* memiliki struktur yang berbeda dari biomassa awal dan dapat digunakan sebagai material antara sebelum ekstraksi alkali (Farobie et al., 2026; Rustamaji et al., 2022) Pada tahap berikutnya, KOH membantu melarutkan fraksi organik yang bersifat alkali-soluble, sedangkan pengasaman filtrat hingga pH rendah memungkinkan fraksi yang bersifat acid-precipitable dipisahkan sebagai produk HLS (Hriciková et al., 2023).

Suhu dan waktu tinggal merupakan dua variabel penting dalam proses hidrotermal-alkali. Kondisi yang terlalu ringan dapat membatasi pelepasan fraksi organik, sedangkan kondisi yang terlalu berat dapat mendorong degradasi, fragmentasi, atau reaksi kondensasi sekunder sehingga jumlah fraksi yang dapat dipresipitasi tidak selalu meningkat secara linear (Farobie et al., 2026; Rustamaji et al., 2022). Penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa karakteristik *hydrochar* dan hasil ekstraksi biomassa sangat dipengaruhi oleh

kondisi proses, sehingga pemetaan jendela operasi diperlukan untuk setiap jenis bahan baku (Salsabila, Thahirah, Saskia, 2022; Malool et al., 2021).

Kontribusi spesifik penelitian ini adalah menempatkan hydrochar ampas tebu sebagai material antara pada rute hidrotermal dua tahap dan mengevaluasi secara sekuensial waktu reaksi serta suhu pada tahap ekstraksi KOH. Pendekatan ini diarahkan untuk memperoleh kondisi dengan rendemen HLS tertinggi pada rentang perlakuan yang diuji, sekaligus menilai kemiripan karakteristik gugus fungsi, sifat kelarutan, dan respons aplikasi awal produk. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi rendemen HLS terhadap variasi waktu dan suhu ekstraksi hidrotermal-alkali, mengidentifikasi gugus fungsi produk menggunakan FTIR, menguji sifat kelarutan asam-basa, serta mengamati respons awal aplikasi HLS pada tanaman kangkung.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium yang bertujuan mengkaji pengaruh variasi suhu dan waktu pada proses hidrotermal-alkali terhadap rendemen dan karakteristik *Humic Like Substances* (HLS) yang diekstraksi dari hydrochar ampas tebu. Desain penelitian disusun dalam dua tahap eksperimen berurutan (*sequential one-factor-at-a-time*). Tahap pertama mengevaluasi pengaruh waktu ekstraksi (80, 120, 160, 200, dan 240 menit) pada suhu tetap 200°C, sedangkan tahap kedua mengevaluasi pengaruh suhu ekstraksi (120, 140, 160, 180, dan 200°C) pada waktu tetap yang memberikan rendemen tertinggi di tahap sebelumnya. Rancangan bertahap ini dipilih untuk menentukan kondisi operasi optimum yang menghasilkan rendemen tertinggi pada rentang perlakuan yang diuji.

Ampas tebu dibersihkan, dikeringkan hingga bobot stabil, digiling, dan diayak hingga lolos 60 mesh. Pembentukan hydrochar dilakukan melalui 7 g ampas tebu dicampur dengan 70 mL akuades (rasio 1:10 b/v) dan diproses dalam reaktor hidrotermal pada 200 °C selama 4 jam. Setelah pendinginan, padatan dipisahkan menggunakan filtrasi vakum dan dikeringkan pada 60 °C hingga bobot konstan.

Tahap ekstraksi hidrotermal-alkali dilakukan menggunakan 4,4-4,5 g hydrochar dan 66-67,5 mL larutan KOH 0,25 M (rasio padatan:larutan 1:15 b/v). Setelah perlakuan sesuai variasi waktu atau suhu, campuran didinginkan dan disaring. Filtrat dipresipitasi secara bertahap menggunakan HCl 0,1 N hingga pH 1-2 dan didiamkan selama 24 jam. Endapan kemudian disaring, dicuci dengan akuades hingga bebas sisa asam, dan dikeringkan pada 60 °C hingga bobot konstan.

Rendemen HLS dihitung berdasarkan perbandingan massa produk kering yang berhasil diendapkan terhadap massa awal bahan baku ampas tebu menggunakan basis berat kering (dry basis), sebagaimana dirumuskan pada Persamaan (1).

$$\text{Rendemen (\%)} = (m_{\text{HLS}} / m_{\text{ampas}}) \times 100\% \quad (1)$$

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui pengujian laboratorium terhadap sampel ampas tebu, hydrochar, dan produk HLS pada setiap variasi perlakuan. Karakterisasi gugus fungsi dilakukan menggunakan instrumen Fourier Transform Infrared (FTIR) untuk mengidentifikasi keberadaan gugus hidroksil (O–H), karbonil (C=O), aromatik (C=C), dan ikatan C–O sebagai indikator kemiripan produk dengan senyawa humat. Analisis kadar air dilakukan menggunakan Moisture Analyzer pada suhu pengeringan 105°C hingga bobot sampel konstan, sedangkan analisis kadar abu dilakukan dengan metode gravimetri melalui pembakaran sampel dalam furnace pada suhu 550°C hingga diperoleh residu abu yang konstan. Persentase kadar abu dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\text{Kadar Abu (\%)} = [(m_2 - m_0) / (m_1 - m_0)] \times 100\% \quad (2)$$

dengan m_0 adalah massa cawan kosong (g), m_1 adalah massa cawan beserta sampel sebelum pengabuan (g), dan m_2 adalah massa cawan beserta abu setelah pengabuan (g).

Uji kelarutan dilakukan dengan melarutkan produk dalam KOH, kemudian mengasamkan larutan menggunakan HCl hingga pH 1-2 untuk mengamati pembentukan endapan kembali. Hasil FTIR dan uji kelarutan digunakan sebagai bukti pendukung kemiripan produk dengan material humat, bukan sebagai bukti kemurnian atau kadar HLS secara kuantitatif.

Uji aplikasi pendahuluan dilakukan untuk mengevaluasi potensi produk HLS sebagai pembenah tanah terhadap pertumbuhan tanaman kangkung (*Ipomoea reptans*). Pengujian menggunakan rancangan tiga variasi dosis, yaitu dosis kontrol 0% (tanpa HLS), dosis 2% (0,8 g sampel per 40 mL akuades), dan dosis 4% (1,4 g sampel per 35 mL akuades), masing-masing pada media tanah dengan pH awal 5,2 dan 10 butir benih per polybag. Pengamatan dilakukan selama 6 hari terhadap tinggi tanaman, jumlah tanaman tumbuh, dan pH tanah, sebagaimana dirangkum pada Tabel 3. Mengingat periode pengamatan yang relatif singkat, data yang diperoleh bersifat indikasi awal dan belum ditujukan sebagai pembuktian efektivitas secara statistik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Suhu terhadap Rendemen HLS

Hasil ekstraksi pada waktu 80 menit dengan variasi suhu menunjukkan adanya perubahan rendemen HLS pada setiap kondisi suhu. Data hasil penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rendemen HLS pada variasi suhu

Suhu (°C)	Waktu (menit)	Rendemen (%)
120	80	16,2954
140	80	16,0750
160	80	14,7159
180	80	13,7045
200	80	16,8204

Pada suhu 120 °C diperoleh rendemen sebesar 16,29%. Rendemen kemudian mengalami penurunan menjadi 16,08% pada 140 °C dan 14,72% pada 160 °C. Rendemen terendah diperoleh pada suhu 180 °C sebesar 13,70%. Selanjutnya, pada suhu 200 °C terjadi peningkatan rendemen hingga mencapai 16,82%. Dengan demikian, suhu 200 °C memberikan nilai tertinggi pada rentang perlakuan yang diuji, tetapi pola data menunjukkan bahwa respons rendemen bukan merupakan fungsi linier terhadap peningkatan suhu.

Perubahan tersebut kemungkinan mencerminkan kompetisi antara pelepasan fraksi organik dari matriks hydrochar, fragmentasi senyawa, dan reaksi sekunder selama pemanasan. Literatur hydrothermal carbonization menunjukkan bahwa suhu dapat mengubah derajat depolimerisasi, dehidrasi, aromatisasi, dan kondensasi material biomassa (Farobie et al., 2026; Du et al., 2019). Namun, karena penelitian ini tidak menganalisis komposisi kimia fase cair pada setiap suhu, alasan spesifik penurunan pada 140-180 °C dan kenaikan kembali pada 200 °C belum dapat ditetapkan secara definitif.

Pengaruh Waktu terhadap Rendemen HLS

Variasi waktu dilakukan pada suhu 200 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu ekstraksi, rendemen HLS cenderung mengalami penurunan.

Tabel 2. Rendemen HLS pada variasi waktu

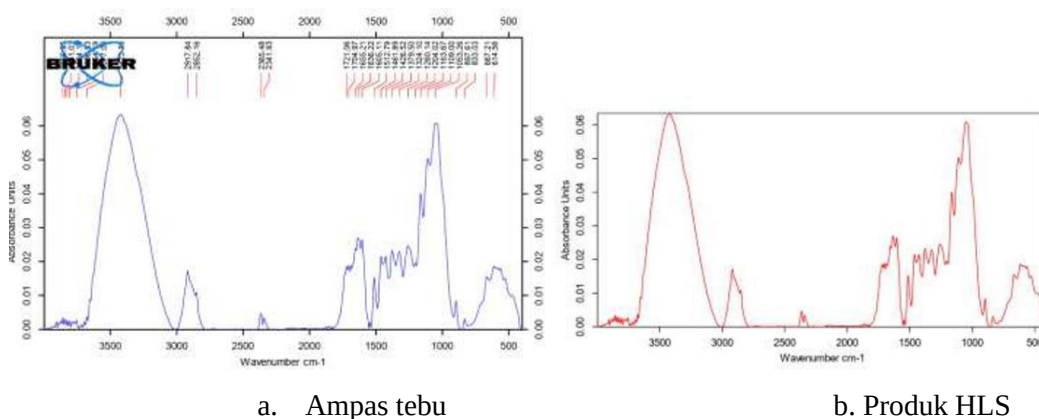
Waktu (menit)	Suhu (°C)	Rendemen (%)
80	200	16,8204
120	200	10,1818
160	200	8,8181
200	200	9,1409
240	200	4,6311

Rendemen tertinggi sebesar 16,82% diperoleh pada waktu 80 menit. Setelah waktu diperpanjang menjadi 120 menit, rendemen turun menjadi 10,18%. Rendemen kembali menurun menjadi 8,82% pada 160 menit, sedikit meningkat menjadi 9,14% pada 200 menit, dan kemudian mencapai nilai terendah sebesar 4,63% pada 240 menit.

Penurunan rendemen setelah 80 menit dapat dikaitkan dengan bertambahnya tingkat keparahan proses. Pada kondisi hidrotermal, waktu tinggal yang lebih lama dapat memperpanjang reaksi depolimerisasi dan degradasi, tetapi juga memungkinkan terbentuknya produk sekunder yang tetap larut atau mengalami kondensasi ulang sehingga tidak seluruhnya mengendap saat pengasaman (Farobie et al., 2026; Du et al., 2019). Karena komposisi fase cair dan residu tidak dianalisis, mekanisme tersebut diperlakukan sebagai interpretasi yang masih memerlukan verifikasi. Berdasarkan parameter rendemen saja, 80 menit dipilih sebagai waktu terbaik dalam rentang yang diuji.

Karakteristik Gugus Fungsi Produk HLS Berdasarkan FTIR

Spektrum FTIR digunakan untuk membandingkan profil gugus fungsi ampas tebu dengan produk hasil ekstraksi. Ampas tebu menunjukkan pita lebar sekitar 3423 cm^{-1} yang berkaitan dengan O-H, pita sekitar 2917 cm^{-1} untuk C-H alifatik, pita karbonil di sekitar 1721 cm^{-1} , serta pita di sekitar 1636 cm^{-1} yang berkaitan dengan struktur aromatik/terkonjugasi. Pada produk HLS, pita karbonil sekitar 1721 cm^{-1} dan pita aromatik sekitar 1605 cm^{-1} tetap teramati, disertai pita pada daerah O-H dan C-O. Pola tersebut mendukung keberadaan gugus fungsi yang lazim dijumpai pada material humat (Rao et al., 2024)



Gambar 1. Spektrum FTIR: (a) ampas tebu dan (b) produk HLS

Kemiripan pola FTIR tidak dapat digunakan untuk menyatakan bahwa produk merupakan asam humat murni atau untuk menentukan derajat humifikasi. Oleh karena itu,

hasil FTIR dalam penelitian ini ditempatkan sebagai karakterisasi kualitatif. Pengujian lanjutan seperti E4/E6, *total acidity*, *carboxylic acidity*, *phenolic acidity*, kapasitas tukar kation, serta analisis unsur CHNS diperlukan untuk memperkuat identifikasi dan kualitas produk.

Kadar Air dan Kadar Abu Produk HLS

Produk HLS yang diperoleh setelah pengeringan memiliki kadar air 1,68% dan kadar abu 5,67%. Kadar air yang rendah menunjukkan bahwa produk berada dalam kondisi relatif kering setelah proses pengeringan dan mendukung konsistensi penimbangan serta penanganan sampel. Kadar abu menunjukkan masih adanya fraksi anorganik dalam produk, yang dapat berasal dari mineral bawaan biomassa maupun residu anorganik yang terbawa selama proses ekstraksi dan pemurnian. Nilai kadar air dan kadar abu tersebut merupakan parameter karakteristik fisik awal dan belum dapat digunakan secara langsung untuk menyatakan kemurnian atau mutu agronomis HLS. Evaluasi tahap pencucian serta karakterisasi mineral lebih lanjut diperlukan untuk menjelaskan sumber fraksi anorganik tersebut.

Uji Kelarutan dan Pengendapan Produk HLS

Produk hasil ekstraksi larut dalam kondisi basa menggunakan KOH dan membentuk larutan berwarna cokelat gelap. Setelah larutan diasamkan dengan HCl hingga pH 1-2, terbentuk gumpalan padat yang memisah dari fase cair dan mengendap. Perilaku tersebut konsisten dengan karakteristik operasional fraksi humat yang bersifat larut dalam basa dan dapat dipresipitasi pada kondisi asam (Hriciková et al., 2023). Uji ini tetap bersifat kualitatif dan tidak memberikan informasi mengenai kemurnian atau komposisi fraksi yang diendapkan.

Uji Pendahuluan Aplikasi HLS terhadap Pertumbuhan Kangkung

Uji pendahuluan dilakukan selama enam hari untuk mengetahui respons awal tanaman kangkung terhadap pemberian HLS. Hasil pengamatan menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan pertumbuhan seiring dengan peningkatan dosis HLS.

Tabel 3. Pertumbuhan tinggi tanaman pada uji pendahuluan HLS

Tanggal	Dosis HLS	Tinggi (cm)	Tanaman tumbuh	pH tanah
21 Juni	0%	3,0	3	5,2
21 Juni	2%	4,0	5	5,2
21 Juni	4%	4,0	7	5,2
24 Juni	0%	6,0	5	5,2

Tanggal	Dosis HLS	Tinggi (cm)	Tanaman tumbuh	pH tanah
24 Juni	2%	7,5	7	5,5
24 Juni	4%	9,0	9	6,2
26 Juni	0%	7,5	6	5,3
26 Juni	2%	8,0	8	6,1
26 Juni	4%	10,0	10	6,8

Pada akhir pengamatan, perlakuan HLS 4% menghasilkan tinggi tanaman sebesar 10,0 cm dengan 10 tanaman tumbuh. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan perlakuan kontrol yang menghasilkan tinggi 7,5 cm dengan enam tanaman tumbuh.

Selain pertumbuhan tanaman, pemberian HLS juga menunjukkan kecenderungan meningkatkan pH tanah. Tanah pada awal penelitian memiliki pH 5,2. Pada akhir pengamatan, pH tanah pada perlakuan HLS 4% meningkat menjadi 6,8, sedangkan kontrol hanya mencapai 5,3.

Peningkatan pertumbuhan tanaman dapat berkaitan dengan kemampuan material humat dalam memengaruhi ketersediaan unsur hara serta kondisi kimia di sekitar perakaran. Material humat secara umum dilaporkan dapat memengaruhi ketersediaan hara, sifat kimia tanah, dan respons pertumbuhan tanaman (Amelioran et al., n.d; Azis Kusuma et al., n.d; Lubis et al.,). HLS juga berpotensi berperan sebagai biostimulan yang dapat mendukung aktivitas fisiologis tanaman. Meskipun demikian, hasil tersebut masih merupakan indikasi awal. Penelitian hanya dilakukan selama enam hari dan belum dilengkapi dengan jumlah ulangan yang memadai maupun analisis statistik. Oleh karena itu, hasil ini belum dapat digunakan untuk menyatakan bahwa HLS secara statistik meningkatkan pertumbuhan tanaman.

KESIMPULAN DAN SARAN

Proses hidrotermal dua tahap yang menggunakan hydrochar ampas tebu sebagai material antara dapat menghasilkan fraksi *humic-like substances* yang larut dalam basa dan mengendap pada kondisi asam. Pada desain sekuensial yang digunakan, waktu 80 menit pada 200 °C memberikan rendemen tertinggi sebesar 16,82%; pada waktu tetap 80 menit, suhu 200 °C juga memberikan rendemen tertinggi dalam rentang 120-200 °C. FTIR menunjukkan keberadaan gugus O-H, C=O, C=C aromatik, dan C-O yang mendukung kemiripan karakteristik produk dengan material humat, tetapi belum membuktikan kemurnian HLS. Produk memiliki kadar air 1,68% dan kadar abu 5,67%; kadar abu tersebut menunjukkan masih adanya fraksi anorganik yang perlu ditelusuri lebih lanjut. Uji aplikasi

pendahuluan menunjukkan kecenderungan pertumbuhan dan peningkatan pH media yang lebih tinggi pada perlakuan HLS, namun hasil tersebut belum dapat dinyatakan sebagai bukti efektivitas karena keterbatasan replikasi, durasi pengamatan, dan standarisasi volume aplikasi.

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan replikasi yang memadai dan analisis statistik, menstandarisasi basis perhitungan rendemen serta volume aplikasi tanaman, dan memperluas karakterisasi produk menggunakan E4/E6, total acidity, carboxylic acidity, phenolic acidity, kapasitas tukar kation, analisis unsur CHNS, serta karakterisasi mineral. Tahap pencucian dan pemurnian juga perlu dievaluasi untuk menelusuri sumber fraksi anorganik yang tercermin dari kadar abu produk. Perbandingan dengan HLS komersial atau bahan acuan diperlukan agar kualitas produk dapat dievaluasi secara lebih objektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik LPP Yogyakarta atas dukungan fasilitas laboratorium serta kepada pihak yang membantu pelaksanaan pengujian dan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajala, E. O., Ighalo, J. O., Ajala, M. A., Adeniyi, A. G., & Ayanshola, A. M. (2021). Sugarcane bagasse: a biomass sufficiently applied for improving global energy, environment and economic sustainability. *Bioresources and Bioprocessing*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00440-z>
- Azis Kusuma, A., Rosniawaty, S., & Maxiselly, Y. (n.d.). *Pengaruh asam humat dan pupuk kandang sapi terhadap pertumbuhan tanaman kakao (Theobroma cacao L.) belum menghasilkan klon Sulawesi 1*. <https://journal.unpad.ac.id/kultivasi/vol18/iss1/4>
- Du, F. L., Du, Q. S., Dai, J., Tang, P. D., Li, Y. M., Long, S. Y., Xie, N. Z., Wang, Q. Y., & Huang, R. B. (2019). A comparative study for the organic byproducts from hydrothermal carbonizations of sugarcane bagasse and its bio-refined components cellulose and lignin. *PLoS ONE*, 13(6), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197188>
- Farobie, O., Anis, L. A., Fatriasari, W., Amrullah, A., Nandiyanto, A. B. D., Karnjanakom, S., & Yao, J. (2026). VALORIZATION OF *Ulva lactuca* VIA HYDROTHERMAL CARBONIZATION: EFFECTS OF TEMPERATURE,

- TIME, AND CONCENTRATION ON HYDROCHAR. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 29(2), 161–177. <https://doi.org/10.17844/f3kztf96>
- Hidayat, M. R. (n.d.). *TEKNOLOGI PRETREATMENT BAHAN LIGNOSELULOSA DALAM PROSES PRODUKSI BIOETANOL (Pretreatment Technologies of Lignocellulosic Materials in Bioethanol Production Process)*.
- Hriciková, S., Kožárová, I., Hudáková, N., Reitznerová, A., Nagy, J., & Marcinčák, S. (2023). Humic Substances as a Versatile Intermediary. *Life*, 13(4), 1–25. <https://doi.org/10.3390/life13040858>
- Lee, S. H., Lum, W. C., Boon, J. G., Kristak, L., Antov, P., Pedzik, M., Rogozinski, T., Taghiyari, H. R., Lubis, M. A. R., Fatriasari, W., Yadav, S. M., Chotikhun, A., & Pizzi, A. (2022). Particleboard from agricultural biomass and recycled wood waste: a review. *Journal of Materials Research and Technology*, 20, 4630–4658. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.08.166>
- Malool, M. E., Keshavarz Moraveji, M., & Shayegan, J. (2021). Optimized production, Pb(II) adsorption and characterization of alkali modified hydrochar from sugarcane bagasse. *Scientific Reports*, 11(1), 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01825-y>
- Rao, S., Madhushree, M., & Bhat, K. S. (2024). Characteristics of surface modified sugarcane bagasse cellulose: application of esterification and oxidation reactions. *Scientific Reports*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75846-8>
- Salsabila, Thahirah, Saskia, Z. (2022). *Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu (Bagasse) Sebagai Bahan Baku Pemuatan Karbon Aktif*. 16(1), 1–23.