

Potensi Ampas Tebu sebagai Sumber Bahan Baku Pembuatan *Humic-Like Substances* melalui Proses Hidrotermal-Alkali

Arvita Asrah¹⁾ 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 biomassa lignoselulosa yang berpotensi dikonversi menjadi produk *humic-like substances* (HLS) melalui proses hidrotermal-alkali. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi secara sekuensial konsentrasi KOH dan ukuran partikel terhadap rendemen HLS, mengidentifikasi karakteristik produk, serta melakukan uji aplikasi pendahuluan pada bayam hijau (*Amaranthus viridis* L.). Pada tahap pertama, 5 g ampas tebu berukuran 60 mesh direaksikan dengan 75 mL KOH 0,25-1,25 M pada 200 °C selama 240 menit. Konsentrasi yang menghasilkan rendemen tertinggi selanjutnya digunakan untuk menguji ukuran partikel 12-60 mesh. Filtrat dipresipitasi dengan HCl 0,1 N hingga pH 1-2, kemudian endapan dicuci dan dikeringkan. Rendemen meningkat dari 3,60% pada KOH 0,25 M menjadi 13,28% pada 0,75 M, kemudian menurun pada konsentrasi yang lebih tinggi. Pada KOH 0,75 M, rendemen meningkat dari 9,06% pada 12 mesh menjadi 13,28% pada 60 mesh. Produk menunjukkan sifat larut dalam basa dan mengendap kembali pada kondisi asam. FTIR pada sampel representatif KOH 1,00 M menunjukkan pita O-H, C-H alifatik, C=O, C=C aromatik, dan C-O yang konsisten dengan karakteristik bahan humik. Uji tanaman tanpa replikasi menunjukkan kecenderungan tinggi tanaman yang lebih besar pada dosis HLS lebih tinggi. Dengan demikian, KOH 0,75 M dan ukuran 60 mesh merupakan kondisi dengan rendemen tertinggi pada rentang perlakuan yang diuji, sedangkan identitas dan efektivitas produk memerlukan karakterisasi serta pengujian lanjutan.

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

Abstract

Sugarcane bagasse is a lignocellulosic biomass that can potentially be converted into humic-like substances (HLS) through an alkaline hydrothermal process. This study sequentially evaluated KOH concentration and particle size on HLS yield, characterized the recovered product, and conducted a preliminary application test on green spinach (Amaranthus viridis L.). In the first stage, 5 g of 60-mesh bagasse was treated with 75 mL KOH at 0.25-1.25 M and 200 °C for 240 min. The KOH concentration giving the highest yield was then used to evaluate particle sizes of 12-60 mesh. The filtrate was acidified with 0.1 N HCl to pH 1-2, and the precipitate was washed and dried. Yield increased from 3.60% at 0.25 M KOH to 13.28% at 0.75 M, then decreased at higher concentrations. At 0.75 M KOH, yield increased from 9.06% at 12 mesh to 13.28% at 60 mesh. The product dissolved under alkaline conditions and re-precipitated under acidic conditions. FTIR analysis of a representative 1.00 M KOH product showed O-H, aliphatic C-H, C=O, aromatic C=C, and C-O bands consistent with humic-like characteristics. A non-replicated preliminary plant test showed a tendency toward greater plant height at higher HLS doses. Thus, 0.75 M KOH and 60 mesh gave the highest yield within the tested ranges, while product identity and agronomic effectiveness require further characterization and replicated testing.

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

PENDAHULUAN

Ampas tebu merupakan residu lignoselulosa utama dari industri gula yang masih banyak dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler. Kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin menjadikan biomassa ini menarik untuk divalorisasi menjadi produk bernilai

tambah. Lignin khususnya memiliki struktur aromatik dan gugus fenolik yang dapat menjadi prekursor pembentukan material humik melalui transformasi termokimia maupun ekstraksi kimia. Pemanfaatan ampas tebu untuk menghasilkan bahan humik juga sejalan dengan pendekatan *biorefinery* dan ekonomi sirkular karena memperluas pemanfaatan residu industri gula di luar fungsi energinya (Ajala et al., 2021; Carvalho et al., 2021).

Humic-like substances (HLS) adalah istilah yang digunakan dalam artikel ini untuk menyebut fraksi organik hasil proses hidrotermal yang menunjukkan perilaku kelarutan dan gugus fungsi menyerupai bahan humik. Penggunaan istilah HLS dipilih karena produk diperoleh secara artifisial dari biomassa dan identifikasinya pada penelitian ini masih didasarkan pada presipitasi asam, uji kelarutan, serta FTIR, bukan pada penetapan kemurnian atau struktur molekul secara menyeluruh. Secara prinsip, fraksi humik larut dalam suasana basa akibat deprotonasi gugus karboksilat dan fenolik, kemudian mengalami presipitasi ketika pH diturunkan hingga kondisi asam (Boguta et al., 2019; Cheng et al., 2019).

Dalam sistem hidrotermal-alkali, KOH berfungsi sebagai medium basa sekaligus agen ekstraksi. Peningkatan alkalinitas dapat mempercepat pembukaan struktur lignoselulosa dan meningkatkan kelarutan fraksi organik, tetapi kondisi yang terlalu kuat dapat meningkatkan degradasi lanjutan maupun pelarutan fraksi non-humik sehingga massa endapan setelah pengasaman tidak selalu meningkat. Selain kondisi kimia, ukuran partikel menentukan luas permukaan kontak dan jarak difusi antara biomassa dan pelarut. Karena itu, konsentrasi KOH dan ukuran partikel merupakan dua parameter proses yang relevan untuk dievaluasi dalam ekstraksi HLS dari ampas tebu (Astuti et al., 2016; Cheng et al., 2019; Marzban et al., 2024).

Penelitian terdahulu telah mengevaluasi ekstraksi asam humat dari lignit menggunakan KOH-hidrotermal dan menunjukkan bahwa konsentrasi alkali, suhu, waktu, serta ukuran partikel memengaruhi hasil ekstraksi (Cheng et al., 2019; Wang et al., 2021; Zhao et al., 2024). Sementara itu, kajian pada ampas tebu lebih banyak membahas pemanfaatan lignin, pretreatment, atau jalur konversi biomassa secara umum (Ajala et al., 2021; Carvalho et al., 2021; Marzban et al., 2024). Nilai tambah penelitian ini terletak pada penerapan proses hidrotermal-alkali langsung pada ampas tebu tanpa tahap pretreatment terpisah, disertai evaluasi sekuensial konsentrasi KOH dan ukuran partikel serta uji aplikasi tanaman sebagai observasi awal. Penelitian bertujuan menentukan kondisi dengan rendemen HLS tertinggi pada rentang perlakuan yang diuji, mengidentifikasi karakteristik

fisik-kimia produk, dan mengevaluasi kecenderungan respons awal tanaman terhadap aplikasi HLS.

METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Rekayasa Kimia Industri Politeknik LPP Yogyakarta pada Desember 2025-Maret 2026. Bahan utama berupa ampas tebu dari pabrik gula, KOH, HCl, dan akuades. Peralatan utama meliputi reaktor hidrotermal, oven, grinder, ayakan 12-60 mesh, sistem filtrasi vakum, pH meter, moisture analyzer, furnace, neraca analitik, dan FTIR.

Preparasi dan ekstraksi hidrotermal-alkali

Ampas tebu dikeringkan pada 60 °C selama 24 jam hingga berat konstan, digiling, dan diayak. Eksperimen dilakukan secara sekuensial. Tahap pertama mengevaluasi konsentrasi KOH pada ukuran tetap 60 mesh. Sebanyak 5 g ampas tebu dicampur dengan 75 mL KOH 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; atau 1,25 M, kemudian diproses dalam reaktor hidrotermal pada 200 °C selama 240 menit. Konsentrasi dengan rendemen tertinggi pada tahap pertama digunakan sebagai kondisi tetap untuk tahap kedua, yaitu evaluasi ukuran partikel 12, 16, 20, 40, dan 60 mesh pada suhu dan waktu yang sama.

Setelah reaksi, campuran didinginkan dan difiltrasi. Filtrat diasamkan dengan HCl 0,1 N hingga pH 1-2 dan didiamkan selama 24 jam. Endapan dipisahkan menggunakan filtrasi vakum, dicuci dengan akuades hingga mendekati netral, kemudian dikeringkan pada 60 °C hingga berat konstan. Rendemen dihitung sebagai massa produk kering dibagi massa awal ampas tebu kering (5 g) dikalikan 100%. Karena desain penelitian bersifat sekuensial dan tidak menggunakan rancangan faktorial, hasil digunakan untuk menentukan kondisi dengan rendemen tertinggi pada rentang yang diuji dan tidak untuk menilai interaksi KOH-ukuran partikel.

Karakterisasi dan uji aplikasi pendahuluan

Kadar air bahan baku dan produk dianalisis menggunakan moisture analyzer, sedangkan kadar abu bahan baku ditentukan secara gravimetri pada 550 °C. Uji kelarutan dilakukan dengan melarutkan produk dalam KOH 0,25 M, kemudian mengasamkannya kembali dengan HCl 0,1 N hingga pH < 2. FTIR digunakan pada rentang 4000-400 cm⁻¹ untuk mengidentifikasi gugus fungsi. Sampel FTIR merupakan produk dari KOH 1,00 M yang dipilih sebagai sampel representatif berdasarkan karakter visual yang lebih gelap; sampel tersebut bukan kondisi dengan rendemen tertinggi.

Uji tanaman dilakukan sebagai observasi pendahuluan menggunakan empat perlakuan, yaitu kontrol dan HLS 0,2; 0,4; dan 0,6 g dalam 100 mL air. Setiap perlakuan hanya menggunakan satu polybag berisi 2 kg tanah, sehingga hasil tidak dianalisis secara inferensial. Berdasarkan data pengamatan yang tersedia, tinggi tanaman bayam hijau dicatat pada hari ke-5, 10, 15, 20, dan 25. Hasil uji tanaman disajikan sebagai kecenderungan deskriptif dan tidak digunakan untuk menyatakan efektivitas atau dosis optimum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik awal bahan dan kadar air produk

Ampas tebu kering yang digunakan memiliki kadar air 1,60% dan kadar abu rata-rata 5,67% (duplo 5,73% dan 5,61%). Nilai tersebut menggambarkan kondisi bahan setelah pengeringan dan fraksi anorganik awal biomassa. Kadar abu 5,67% merupakan kadar abu ampas tebu, bukan kadar abu produk HLS, sehingga tidak dapat digunakan untuk menyimpulkan kemurnian produk.

Kadar air produk berubah terhadap konsentrasi KOH, yaitu 13,82% pada 0,25 M; 11,46% pada 0,50 M; 9,24% pada 0,75 M; 7,69% pada 1,00 M; dan 8,31% pada 1,25 M. Penurunan sampai 1,00 M menunjukkan bahwa kondisi proses dan tahap pengeringan menghasilkan produk dengan kandungan air yang berbeda. Namun, kadar air bukan indikator langsung tingkat humifikasi atau kemurnian HLS, sehingga interpretasinya dibatasi sebagai karakteristik fisik produk.

Rendemen HLS pada variasi konsentrasi KOH

Tabel 1. Rendemen HLS pada variasi konsentrasi KOH

KOH (M)	Ukuran partikel (mesh)	Massa produk (g)	Rendemen (%)
0,25	60	0,180	3,60
0,50	60	0,622	12,44
0,75	60	0,664	13,28
1,00	60	0,614	12,28
1,25	60	0,439	8,780

Rendemen meningkat tajam dari 3,60% pada KOH 0,25 M menjadi 12,44% pada 0,50 M dan mencapai nilai tertinggi 13,28% pada 0,75 M. Setelah itu, rendemen menurun menjadi 12,28% pada 1,00 M dan 8,78% pada 1,25 M. Pola ini menunjukkan bahwa peningkatan alkalinitas sampai tingkat tertentu mendukung pelepasan fraksi alkali-soluble dan acid-precipitable dari matriks lignoselulosa. Pada konsentrasi lebih tinggi, penurunan

rendemen dapat berkaitan dengan degradasi lebih lanjut menjadi fragmen bermassa molekul lebih rendah yang tetap larut setelah pengasaman, maupun perubahan komposisi fraksi terlarut. Karena tidak dilakukan analisis komposisi fase cair, mekanisme tersebut diposisikan sebagai interpretasi yang masih memerlukan konfirmasi (Cheng et al., 2019; Marzban et al., 2024).

KOH 0,75 M selanjutnya digunakan pada tahap evaluasi ukuran partikel karena memberikan rendemen tertinggi pada rentang konsentrasi yang diuji. Istilah "kondisi dengan rendemen tertinggi" digunakan, bukan "optimum", karena eksperimen tidak menggunakan desain faktorial atau respons permukaan dan tidak dilengkapi ulangan untuk pengujian signifikansi.

Rendemen HLS pada variasi ukuran partikel

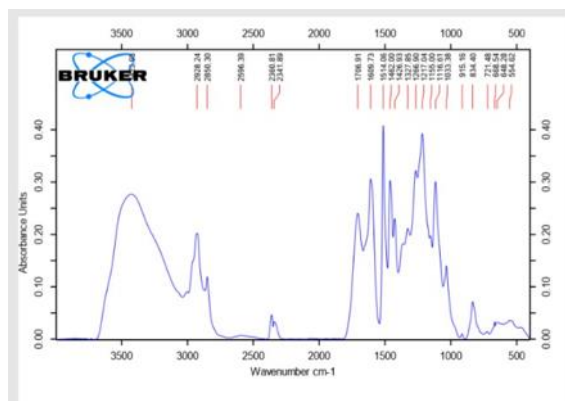
Tabel 2. Rendemen HLS pada variasi ukuran partikel

KOH (M)	Ukuran partikel (mesh)	Massa produk (g)	Rendemen (%)
0,75	12	0,453	9,06
0,75	16	0,454	9,08
0,75	20	0,592	11,84
0,75	40	0,628	12,56
0,75	60	0,664	13,28

Rendemen meningkat seiring pengecilan ukuran partikel, dari 9,06% pada 12 mesh menjadi 13,28% pada 60 mesh. Partikel yang lebih halus memiliki luas permukaan kontak lebih besar dan jarak difusi lebih pendek sehingga penetrasi larutan KOH ke matriks lignoselulosa lebih mudah. Kondisi tersebut dapat meningkatkan pelarutan fraksi organik yang kemudian dipulihkan melalui presipitasi asam. Walaupun kecenderungannya konsisten pada data ini, tidak adanya ulangan menyebabkan perbedaan antarukuran partikel belum dapat dinyatakan signifikan secara statistik (Astuti et al., 2016; Cheng et al., 2019).

Sifat kelarutan dan karakteristik FTIR

Produk kering dapat larut kembali dalam KOH dan membentuk larutan coklat kehitaman, kemudian mengendap setelah pH diturunkan hingga < 2 menggunakan HCl. Perilaku tersebut konsisten dengan dasar fraksinasi bahan humik, yaitu kelarutan yang tinggi pada kondisi basa dan presipitasi pada kondisi asam. Uji ini hanya mengonfirmasi perilaku kelarutan dan tidak dapat digunakan untuk menyatakan kemurnian HLS secara absolut (Boguta et al., 2019).



Gambar 1. Spektrum produk hasil ekstraksi pada KOH 1 M

Tabel 3. Pita FTIR utama produk HLS representatif

Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Interpretasi
3423,98	O-H stretching	Hidroksil fenolik/ alcohol
2928,24; 2850,30	C-H alifatik	Rantai alifatik
1706,91	C=O stretching	Karbonil/ karboksilat
1609,73; 1514,06	C=C aromatik	Struktur aromatik/ lignin
1327,85 - 1266,90	C-O stretching	Fenolik/ karboksilat
1217,04 - 1033,38	C-O	Alkohol. Eter, polisakarida

Spektrum FTIR menunjukkan pita O-H pada sekitar 3424 cm⁻¹, C-H alifatik pada 2928 dan 2850 cm⁻¹, C=O pada sekitar 1707 cm⁻¹, C=C aromatik pada sekitar 1609 dan 1514 cm⁻¹, serta C-O pada daerah 1328-1033 cm⁻¹. Kombinasi gugus hidroksil, karbonil/karboksilat, aromatik, dan C-O konsisten dengan gugus fungsi yang umum dilaporkan pada bahan humik. Namun, FTIR bersifat kualitatif dan tidak dapat membuktikan kemurnian atau kadar HLS. Selain itu, sampel FTIR berasal dari perlakuan KOH 1,00 M, sedangkan rendemen tertinggi diperoleh pada 0,75 M; karena itu hasil FTIR digunakan sebagai karakterisasi produk representatif, bukan sebagai bukti bahwa KOH 1,00 M merupakan kondisi terbaik (Carvalho et al., 2021; Du et al., 2025).

Uji Aplikasi pendahuluan pada bayam hijau

Pada hari ke-25, tinggi tanaman pada kontrol mencapai 8,0 cm, sedangkan perlakuan 0,2; 0,4; dan 0,6 g HLS/100 mL masing-masing mencapai 10,0; 15,6; dan 19,6 cm. Data menunjukkan kecenderungan peningkatan tinggi tanaman pada dosis HLS yang lebih tinggi.

Tabel 4. Tinggi tanaman bayam hijau pada uji aplikasi pendahuluan

Hari ke-	kontrol (cm)	0,2 g/100 mL (cm)	0,4 g/100 mL (cm)	0,6 g/100 mL (cm)
5	2,0	3,0	4,8	6,0
10	3,5	5,2	7,5	9,3

Hari ke-	kontrol (cm)	0,2 g/100 mL (cm)	0,4 g/100 mL (cm)	0,6 g/100 mL (cm)
15	5,0	7,0	10,2	12,8
20	6,5	8,2	12,9	16,1
25	8,0	10,0	15,6	19,6

Secara teoritis, bahan humik dapat memengaruhi ketersediaan hara, perkembangan akar, dan proses fisiologis tanaman (Ampong et al., 2022; Canellas & Olivares, 2014). Namun, setiap perlakuan pada penelitian ini hanya menggunakan satu polybag, sehingga variasi biologis tidak dapat diperkirakan dan hubungan sebab-akibat tidak dapat disimpulkan. Oleh karena itu, hasil ini hanya diposisikan sebagai observasi pendahuluan dan perlu diverifikasi dengan rancangan acak, ulangan memadai, serta analisis statistik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Ekstraksi hidrotermal-alkali langsung dari ampas tebu menunjukkan perubahan rendemen terhadap konsentrasi KOH dan ukuran partikel. Rendemen tertinggi pada rentang konsentrasi yang diuji diperoleh pada KOH 0,75 M sebesar 13,28%, sedangkan pada tahap ukuran partikel rendemen tertinggi diperoleh pada 60 mesh, juga sebesar 13,28%. Produk menunjukkan perilaku larut dalam basa dan mengendap pada kondisi asam. FTIR pada produk representatif KOH 1,00 M mengidentifikasi gugus O-H, C-H alifatik, C=O, C=C aromatik, dan C-O yang konsisten dengan karakteristik *humic-like substances*, tetapi belum membuktikan kemurnian produk. Uji tanaman pendahuluan menunjukkan kecenderungan tinggi tanaman lebih besar pada dosis HLS yang lebih tinggi, namun hasil tersebut belum dapat dinyatakan sebagai bukti efektivitas karena tidak menggunakan replikasi.

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan rancangan faktorial dengan sedikitnya tiga ulangan untuk mengevaluasi efek utama dan interaksi konsentrasi KOH serta ukuran partikel. Karakterisasi produk perlu dilengkapi dengan kadar abu produk, rasio E4/E6, total *acidity*, *carboxylic/phenolic acidity*, analisis unsur CHNS, dan bila memungkinkan pembandingan HLS komersial atau standar. Uji tanaman perlu menggunakan jumlah ulangan yang memadai, volume aplikasi yang seragam, parameter pertumbuhan yang terukur, serta analisis statistik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik LPP Yogyakarta atas dukungan fasilitas laboratorium, kepada tenaga laboratorium yang membantu pelaksanaan analisis, serta kepada rekan tim penelitian yang mendukung kegiatan eksperimen.

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>
- Ampong, K., Thilakaranthna, M. S., & Gorim, L. Y. (2022). Understanding the Role of Humic Acids on Crop Performance and Soil Health. In *Frontiers in Agronomy* (Vol. 4). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621>
- Astuti, P., Idiawati, N., & Destiarti, L. (2016). *Validais Metode Pengukuran Kadar Asam Humat Hasil Ekstraksi Kalium Hidroksiada dengan Spektrofotometri Ultraviolet*. 5(2), 69–77.
- Boguta, P., D’Orazio, V., Senesi, N., Sokołowska, Z., & Szewczuk-Karpisz, K. (2019). Insight into the interaction mechanism of iron ions with soil humic acids. The effect of the pH and chemical properties of humic acids. *Journal of Environmental Management*, 245, 367–374. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.098>
- Canellas, L. P., & Olivares, F. L. (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. In *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* (Vol. 1, Number 1). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1186/2196-5641-1-3>
- Carvalho, J. A., de Souza Miranda, M., Pego, M. F. F., Francisquini, E., Resende, D. R., & Bianchi, M. L. (2021). Sugarcane bagasse lignin obtained by different extraction methods. *Cellulose Chemistry and Technology*, 55(1–2), 55–62. <https://doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol.2021.55.06>
- Cheng, G., Niu, Z., Zhang, C., Zhang, X., & Li, X. (2019). Extraction of humic acid from lignite by KOH-hydrothermal method. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/app9071356>
- Du, H., Liu, K., Xu, T., Xu, C., Lin, M., Fang, Z., Kim, S. W., Seo, J. Y., Chen, J., Ma, H., Hsiao, B. S., DeVetter, L. W., Piao, Z., Si, C., Chen, C., Yang, Q., Lee, S. Y., Yao, Y., & Pan, X. (2025). Lignocellulosic Films: Preparation, Properties, and Applications. *Chemical Reviews*, 125(24), 11666–11814. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5c00267>
- Marzban, N., Libra, J. A., Rotter, V. S., Herrmann, C., Ro, K. S., Filonenko, S., Hoffmann, T., & Antonietti, M. (2024). Maximizing the value of liquid products and

minimizing carbon loss in hydrothermal processing of biomass: an evolution from carbonization to humification. *Biochar*, 6(1), 1–17.
<https://doi.org/10.1007/s42773-024-00334-1>

Wang, M., Li, Y., Zhang, Y., Hu, X., Li, Q., Su, Y., & Zhao, W. (2021). Exploration of the H₂O₂ Oxidation Process and Characteristic Evaluation of Humic Acids from Two Typical Lignites. *ACS Omega*, 6(37), 24051–24061.
<https://doi.org/10.1021/acsomega.1c03257>

Zhao, Q., Zheng, J., Yan, X., Bekchanov, D., Chai, L., Lin, Z., Zhang, L., & Su, X. (2024). Alkali-assisted hydrothermal preparation of artificial humic acid from litchi wood and electrochemical performance of its hydrochar. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(5). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.113828>