

Karakteristik dan Sifat Fisiko-Kimia Limbah Cair Industri Bioetanol untuk Bahan Baku Biogas: Sebuah Kajian Literatur

Karima Anggita Wijayanti¹, Dhias Cahya Hakika^{2✉}, Martomo Setyawan³, Muhammad Kunta Biddinika⁴

^{1,2,3} Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Indonesia

⁴ Program Studi Magister Informatika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 05-08-2024

Direvisi : 17-08-2024

Diterima : 27-08-2024

Kata Kunci:

Bioetanol; Biogas;
Lingkungan; Pengolahan
Limbah; Vinasse

Keywords :

Bioethanol; Biogas;
Environment; Wastewater
Treatment; Vinasse

ABSTRAK

Limbah cair industri bioetanol atau vinasse merupakan hasil dari proses distilasi molase atau tetes tebu dan memiliki karakteristik berbahaya, seperti pH asam, kadar organik tinggi. Kandungan toksik seperti fenol yang membuatnya tidak dapat dibuang langsung ke badan air. Tujuan dari studi ini untuk meninjau sifat fisiko-kimia vinasse yang berpotensi untuk dikonversi menjadi biogas yang ramah lingkungan. Tinjauan literatur bersumber dari artikel penelitian ilmiah dari laman jurnal internasional bereputasi seperti *Science Direct*, *Scopus*, serta dokumen Tugas Akhir, Tesis, Disertasi yang relevan dengan topik karakteristik dan sifat fisiko – kimia dari berbagai material yang digunakan sebagai bahan baku industri bioethanol. Studi literatur menunjukkan vinasse memerlukan pretreatment sebelum pengolahan lebih lanjut untuk mengurangi dampak negatifnya. Pengolahan anaerobik lebih efektif dibandingkan aerobik dalam menangani limbah dengan COD tinggi untuk menghasilkan biogas yang berguna sebagai energi terbarukan. Dengan demikian, pengolahan vinasse secara anaerobik tidak hanya mengurangi pencemaran lingkungan tetapi juga memberikan manfaat lain dalam bentuk energi.

ABSTRACT

Vinasse, a liquid waste from the bioethanol industry or from molasses distillation, has environmental hazard such as acidic pH, high organic content. Toxic contents like phenols making direct disposal into water bodies like river unacceptable. This study reviews the physicochemical properties of vinasse that could potentially to be converted into biogas as an environmentally friendly. The literature review was sourced from scientific research articles reputable international journal pages such as Science Direct, Scopus, as well as Final Project, Thesis, Dissertation documents relevant to the topic of characteristics and physicochemical properties of various materials used as feedstock for bioethanol industry. Literature study suggest that vinasse requires pretreatment to lessen its adverse impact. Anaerobic treatment is more effective than aerobic treatment in treating high COD effluents to produce biogas for renewable energy. Thus, anaerobic treatment of vinasse not only reduces environmental pollution but also provides other benefits in the form of energy.

Corresponding Author:

Dhias Cahya Hakika

Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Indonesia

Jl. Jend Ahmad Yani, Banguntapan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55191, Indonesia

Email: dhias.hakika@che.uad.ac.id

PENDAHULUAN

Bioetanol dihasilkan menggunakan fermentasi bantuan *Sacharomyces cerevisiae* kemudian melalui proses distilasi untuk memisahkan bioetanol yang terbentuk. Bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan bioetanol adalah singkong, tebu, jagung, gandum, sorgum (Chusna et al., 2024; de Almeida & Colombo, 2021; Fitriani et al., 2013; Khairiah & Ridwan, 2021; Widyastuti, 2019). Produksi bioetanol menggunakan molase memiliki banyak keuntungan diantaranya *yield* bioetanol yang tinggi, waktu fermentasi lebih singkat, dan rendahnya biaya operasi (Umamaheswari 2010). Bioetanol digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar fosil yang semakin meningkat permintaan dipasaran karena ketersediaannya yang semakin menipis (Sica et al. 2024). Alasan penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar nabati yaitu ramah lingkungan. Oleh karena itu produksi bioetanol diprediksi akan terus meningkat.

Produksi bioetanol dalam industri melalui empat tahapan, yaitu persiapan bahan baku, fermentasi, distilasi, dan pengemasan (W. Chen et al. 2014). Pada tahap fermentasi bahan baku bioetanol diinokulasi dengan 10% dari *Sacharomyces cerevisiae*. Proses ini dioperasikan dalam kondisi anaerobik, suhu yang digunakan yaitu 25 – 32°C selama 24 – 36 jam, efisiensi 95%, tahap selanjutnya hasil dari fermentasi akan didistilasi yang dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 90 °C dengan alat penukar panas. Tahap distilasi ini terdiri dari 2 tahapan proses, diantaranya tahap pertama menggunakan kolom analisa yang menghasilkan bioetanol dengan konsentrasi 40-45%. Kemudian dilanjutkan tahap dua menggunakan kolom retrifikasi yang menghasilkan bioetanol dengan konsentrasi mencapai 96%. Bioetanol dengan kadar tersebut biasanya digunakan untuk pembuatan bahan kimia dan minuman. Sedangkan bioetanol untuk bahan bakar harus dengan konsentrasi >99,5% (Syaichurrozi 2016).

Produk samping dari hasil distilasi ini disebut dengan limbah vinasse. Semakin banyak bioetanol yang diproduksi maka semakin banyak pula limbah vinasse yang dihasilkan. Setiap 1 liter bioetanol akan menghasilkan 9-14 liter limbah vinasse. Limbah vinasse dari berbagai industri bioetanol memberikan dampak negatif bagi lingkungan. Beban racun dari limbah vinasse sangat tinggi dan dianggap sebagai sumber utama pencemaran di perairan. Secara karakteristik memiliki warna coklat kehitaman, kandungan COD 299.250 mg/L dan BOD 50.000 mg/L meskipun dapat berbeda-beda tergantung bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan bioetanol (Ryznar-luty and Cibis 2011). Vinasse memiliki nilai biodegradabilitas yang rendah dan pH asam berkisar 3-5 (Siles et al. 2011; Syaichurrozi, Budiyo, and Sumardiono 2013; Budiyo, Syaichurrozi, and Sumardiono 2014; Hakika et al. 2022). Nilai *total solid* (TS) dalam vinasse yaitu 63.000-100.000 mg/L (de Bazúa, Cabrero, and Poggi 1991; Jiménez et al. 2006; Javier Benitez et al. 2003).

Limbah vinasse mengandung bahan organik yang tinggi dan sifatnya sangat asam. Senyawa organik tersebut seperti asam asetat, asam laktat, gliserol, fenol, polifenol, dan melanoid (Budiyo, Syaichurrozi, and Sumardiono 2014). Zat organik seperti asam asetat, asam laktat, dan gliserol mudah didegradasi menggunakan teknologi anaerobik sehingga vinasse dapat menghasilkan biogas dengan mudah (Siles et al. 2011; Syaichurrozi, Budiyo, and Sumardiono 2013). Meskipun banyak literatur yang membahas tentang vinasse, namun belum ada makalah yang membahas tentang kualitas fisiko-kimia dan sifat – sifat limbah vinasse. Oleh karenanya, makalah ini memiliki tujuan utama untuk menganalisis studi yang dilaporkan dalam literatur selama beberapa tahun sebelumnya dengan gambaran umum tentang bioetanol dari berbagai bahan baku dan menyelidiki aspek – aspek karakteristik fisiko-kimia dari limbah vinasse. Untuk mencapai hal tersebut, pencarian literatur awal mengidentifikasi limbah vinasse.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan studi literatur untuk mengumpulkan dan menganalisis informasi ilmiah tentang limbah vinasse. Metode ini dilakukan dengan mencari dan mengidentifikasi suatu permasalahan secara spesifik dari kata kunci dan sumber informasi yang tersedia. Pencarian difokuskan pada artikel penelitian ilmiah dari laman jurnal internasional bereputasi seperti *Science Direct*, *Scopus*, serta dokumen Tugas Akhir, Tesis dan Disertasi yang

relevan dengan topik karakteristik dan sifat fisiko – kimia dari berbagai material yang digunakan sebagai bahan baku industri bioetanol. Fokus kajian mengarah pada literatur dimana sebesar 80% artikel yang digunakan sebagai acuan dan referensi dipublikasikan dalam 10 tahun terakhir (2014-2024). Data yang diperoleh kemudian ditinjau dan dianalisis secara sistematis untuk mendapatkan gambaran komprehensif mengenai karakteristik vinasse serta efektivitas teknologi pengolahan yang digunakan. Hasil analisis ini memberikan dasar untuk menyusun kesimpulan mengenai efisiensi metode anaerobik dalam mengolah limbah vinasse menjadi biogas serta pentingnya *pretreatment* sebelum pengolahan vinasse lebih lanjut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik vinasse tergantung pada bahan baku yang digunakan dalam produksi bioetanol. Berbagai material yang digunakan dalam pembuatan bioetanol di antaranya yaitu tongkol jagung, eceng gondok, molase, buah bit, tebu, dan jerami gandum. Karakteristik vinasse dari berbagai bahan baku tersebut dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik vinasse dari berbagai bahan baku pembuatan bioetanol

Parameter	Tongkol jagung ^{3, 7}	Eceng gondok ⁶	Molase ^{4, 5, 6}	Buah bit ²	Tebu ^{4, 5, 6}	Jerami gandum ¹
pH	3,5 - 6	4 – 4,5	3,25	5,5 – 6,5	3,75	3,6
COD	10.000–30.000	15.000-40.000	104.640-299.250	1000-10.000	68.560	150.000
BOD	40.816	10.000-25.000	36.400	500-1500	29.700	40.816
Lipid (%)	1-2	1-5	0,2	0,18	0,1	1-2
Kalium	300-400	1500-2500	1464	305	100-200	4000-6000
Kalsium	10-20	200-500	143	408	20-30	3000-5000
Magnesium	30-40	100-300	50-100	230-400	102	1000-2000
Fenol (%)	1,38	1-5	0,1-0,5	0,1-0,2	0,02-0,1	0,5-1
Lignin	15	17	-	0,1-0,2	0,1-0,5	10-15
Glukosa (%)	1-2	1-3	10-15	5-7	10-15	1-2
Kadar abu (%)	2	5-10	19,87-50,97	19,25	15,29	1,86
Selulosa (%)	42	20-30	29	-	25-45	30-40
Total Organik Karbon (mg/L)	10.000-20.000	5000-15.000	30.000-100.000	5000-15.000	10.000-20.000	10.000-20.000

Sumber: ¹ Baharuddin et al. (2016); ² Efendi et al. (2012); ³ Fitriani et al. (2013); ⁴ Musa & Siahaan (2022); ⁵ Ryznar-luty & Cibis (2011); ⁶ Syaichurrozi et al. (2013); ⁷ Wirosodarmo et al. (2016)

Dampak lingkungan dan metode pengolahan limbah vinasse

Limbah Vinasse mengandung bahan organik yang tinggi dan sifatnya sangat asam. Kandungan COD dan BOD tinggi sehingga limbah vinasse tidak dapat dibuang langsung ke sungai tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu, sehingga dapat menyebabkan biota air akan mati, dikarenakan oksigen terlarut di sungai digunakan oleh bakteri oksidasi untuk mendegradasi COD dan BOD. Hal ini menyebabkan ketersediaan oksigen semakin sedikit (Sumardiono, Budiyono, and Syaichurrozi 2013). pH limbah vinasse yang sangat asam dapat menyebabkan remobilisasi logam berat didalam tanah (Wirosodarmo, Haji, and Hidayati 2016).

Garam – garam yang larut dalam limbah vinasse dapat menyebabkan salinitas dan sodisitas tanah. Akibatnya struktur tanah menjadi buruk dan konsentrasi garam yang tinggi menyebabkan eutrofikasi pada badan air (Vlyssides et al., 1997; Johnson & Kumar, 2020). Di sisi lain, adanya senyawa fenol di dalam limbah vinasse akan mengganggu proses degradasi. Bakteri oksidasi tidak bisa mendegradasi senyawa fenol, sehingga jika limbah vinasse dibuang langsung ke lingkungan akan sulit terdegradasi (Melendez et al. 2022). Oleh karenanya, industri bioetanol mencari metode yang efektif dan ramah lingkungan serta hemat biaya. Pengolahan vinasse menggunakan metode aerobik mempunyai beberapa kelemahan, diantaranya yaitu membutuhkan lahan yang luas, membutuhkan biaya operasional yang tinggi, dan menghasilkan racun saat pengolahan.

Sebagai alternatif, digunakan metode anaerobik yang dilaporkan lebih efektif untuk mengolah limbah vinasse daripada metode aerobik (Tapas Kumar Dandasena and Sanyogita Shahi 2023). Metode ini menggunakan digester yang pengoperasiannya dalam kondisi anaerobik, dalam hal ini COD yang terkandung di dalam air limbah akan diubah menjadi biogas. Penelitian yang dilakukan oleh Syaichurrozi et al. (2013) menunjukkan bahwa kandungan fenol dalam limbah vinasse akan mengganggu bakteri metanogenik di dalam digester, penyisihan COD hanya mencapai 0,872% sehingga perlu dilakukan *pretreatment* untuk dapat menghilangkan fenol dan memperoleh degradasi COD dan produksi biogas yang maksimal.

Biogas dari limbah vinasse

Metode anaerobik menggunakan bantuan aktivitas bakteri yang akan mengkonversi menjadi biogas (Hussain et al. 2021). Pada penelitian Jain & Kumar (2024) menyatakan 1 gram COD dapat menghasilkan 0,35 liter CH₄ pada kondisi STP (0°C, 1 atm). Sedangkan pada suhu 35°C, 1 atm 1 gram COD menghasilkan 0,395 liter CH₄. Nilai limbah vinasse mempunyai unsur C, H, O, N, dengan perbandingan 76,9 : 192,2 : 45,2 : 1 (Kiani Deh Kiani et al. 2022). Rasio komposisi dalam limbah vinasse ini tergantung pada bahan baku yang digunakan dalam memproduksi bioetanol, (Manzetti and Andersen 2015) menyatakan pengaruh pH, suhu, dan waktu retensi hidraulik (HRT) terhadap produksi hidrogen dan metana dari limbah vinasse. Hasilnya menunjukkan bahwa suhu 55°C merupakan suhu optimal dalam menghasilkan hidrogen. Sedangkan pada suhu 35°C adalah suhu optimal untuk menghasilkan metana. pH optimal yaitu 6,5. Semakin lama HRT maka metana yang dihasilkan juga semakin banyak.

Semakin banyak kandungan COD dalam substrat vinasse, akan semakin banyak biogas total yang dihasilkan, dan penyisihan % COD semakin besar. Jika kandungan COD paling sedikit, dan hasil metana terbaik didapatkan yaitu 0,11 m³ CH₄/kg COD (Silva et al. 2023). Pengaruh konsentrasi substrat, temperatur dan HRT dengan menggunakan reaktor batch yang membagi konsentrasi substrat 0,5 : 1 : 2 : 3 gram COD/L. Variasi suhu 25°C, dan variasi HRT 12 jam dan 24 jam. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan, maka semakin banyak pula volume biogas yang didapatkan. Variasi terbaik yaitu suhu 35°C dan HRT 12 jam, konsentrasi substrat yang diperoleh yaitu 3 gram COD/L (Carrilho and Soares 2024).

Menurut penelitian Parsaee et al. (2019) *pretreatment* vinasse sebelum diolah menggunakan teknologi anaerobik. Hal ini dapat mengurangi konsentrasi senyawa fenolik dalam vinasse. Pretreatment ini menggunakan proses ozonisasi. Penyisihan fenol dapat mencapai 39% dan 65 % selama dilakukan pretreatment berturut – turut pada waktu 15 dan 60 menit. Kemudian vinasse yang dihasilkan digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas. Metana yang dihasilkan dapat meningkat 13,6% namun sayangnya proses ozonisasi ini sangatlah mahal. Hasil penelitian dari Sumardiono et al. (2013) melaporkan penambahan urea dan pengaruh pH terhadap produksi biogas dari vinasse. Dilakukan variasi pH awal 6, 7, dan 8. Diperoleh pH terbaik yaitu 7, biogas yang diperoleh sebesar 3,81 mL/gram. Dalam penelitian tersebut juga digunakan reaktor *batch digester* untuk mengolah vinasse disertai dengan kontrol pH selama proses fermentasi, yang dioperasikan pada suhu 25°C dan pH awal 7. Hasil biogas yang diperoleh yaitu sebanyak 17,876 – 21,229 mL/gram COD.

Parameter operasi

1. pH

Menurut penelitian Tapas Kumar Dandasena & Sanyogita Shahi (2023) pH awal 6,5 lebih baik dibandingkan pH 4,5 dan 5,5. Disamping itu pada penelitian W. Chen et al. (2014) pH awal 7 lebih baik dibandingkan pH 6 dan 8 dan menghasilkan biogas lebih banyak, alasan lain yaitu kondisi ini baik untuk bakteri anaerob untuk bisa beradaptasi selama di dalam digester. Juga pada penelitian Ahmed et al. (2020) pH netral dengan menggunakan NaOH 2M merupakan cara efektif untuk meningkatkan volume total biogas menjadi 11,0754 mL/gram COD. Hal ini menguntungkan bagi bakteri asidogenetik dan bakteri metanogenik di dalam sistem.

2. Total padatan (TS)

Konsentrasi total padatan dalam limbah vinasse berpengaruh pada total padatan yang dihasilkan (Syaichurrozi et al. 2023) semakin besar total padatan pada limbah vinasse maka semakin banyak bahan organik. Oleh karenanya limbah vinasse harus diencerkan dengan air untuk mendapatkan total padatan yang optimal (Singa et al. 2018).

3. Suhu

Pada penelitian Parsaee et al. (2019) bahwa biogas dari vinasse menggunakan suhu 35°C akan menghasilkan lebih banyak dibandingkan pada suhu 25 °C. Pada suhu tersebut lebih banyak menghasilkan aseton dan etanol dibandingkan dengan pada suhu 35°C dapat menghasilkan VFA (asam asetat, propionat, butirat, dan isobutirat) dalam jumlah yang besar. Jadi suhu optimum untuk menghasilkan metana yaitu 35 °C.

4. Waktu Retensi Hidraulik (HRT)

HRT ini menjadi parameter yang penting dalam proses pengolahan limbah vinasse menjadi biogas. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Carrilho dan Soares (2024) menyatakan pada produksi biogas suhu 25 °C dan HRT 12 jam tidak menghasilkan biogas sedangkan pada suhu 25 °C dan HRT 24 jam menghasilkan biogas namun dalam jumlah yang sedikit. Lebih lanjut pada suhu 35 °C dan HRT 12 jam menghasilkan biogas dalam jumlah 2590 ml dan pada suhu 35 °C HRT 24 jam biogas yang dihasilkan sebanyak 3200 ml. Hal ini HRT yang optimum yaitu 24 jam.

5. Senyawa fenol

Limbah vinasse mengandung senyawa fenol dalam jumlah yang besar (Ahmed et al. 2022). Senyawa fenol ini mempunyai karakteristik anti mikroba. Oleh karenanya, sangat sulit untuk didegradasi melalui aktivitas biologis (Chen, Lan, and Xie 2024). Senyawa fenol ini dapat bereaksi dengan membran sel bakteri, dapat menonaktifkan enzim – enzim esensial dan fungsi genetik material (Narayanan, Bhaskar, and Han 2024). Senyawa fenol ini mulai terbentuk pada tahap hidrolisis pada industri bioetanol.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan kajian literatur dapat disimpulkan bahwa limbah vinasse harus melalui tahapan *pretreatment* terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Kandungan yang ada di dalam limbah vinasse seperti COD, TS, warna, suhu tinggi, pH yang sangat asam dan tidak ramah lingkungan. Teknologi pengolahan biogas merupakan alternatif untuk pengolahan limbah vinasse. Kandungan COD yang ada di dalam vinasse akan diubah menjadi biogas. Hal ini terbukti efektif untuk mendegradasi bahan organik yang terkandung dalam limbah vinasse.

Saran

Berdasarkan kajian literatur, sebaiknya dipertahankan suhu yang optimal untuk proses fermentasi vinasse menjadi biogas, yang berada pada kondisi suhu mesofilik (30-40°C). Jenis

digester yang direkomendasikan dapat berupa digester kontinu atau batch yang disesuaikan dengan kebutuhan dan waktu fermentasi. Desain digester harus mempertimbangkan volume limbah cair, suhu operasi, dan waktu retensi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada LPPM UAD yang telah memberikan pendanaan penelitian melalui Skema Penelitian Internal UAD dengan kontrak No. PD-209/SP3/LPPM-UAD/VIII/2023.

REFERENSI

- Ahmed, Pablo M., Carlos G. Nieto-Peñalver, Lucía I.C. de Figueroa, and Hipólito F. Pajot. 2022. "Vinasse Odyssey: Sugarcane Vinasse Remediation and Laccase Production by *Trametes* Sp. Immobilized in Polyurethane Foam." *Biodegradation* 33 (4): 333–48. <https://doi.org/10.1007/s10532-022-09985-y>.
- Ahmed, Pablo M, Lucía I C de Figueroa, and Hipólito F Pajot. 2020. "Dual Purpose of Ligninolytic- Basidiomycetes: Mycoremediation of Bioethanol Distillation Vinasse Coupled to Sustainable Bio-Based Compounds Production." *Fungal Biology Reviews* 34 (1): 25–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbr.2019.12.001>.
- Almeida, M A de, and R Colombo. 2021. "Production Chain of First-Generation Sugarcane Bioethanol: Characterization and Value-Added Application of Wastes." *BioEnergy Research* null: null. <https://doi.org/10.1007/S12155-021-10301-4>.
- Baharuddin, Maswati, Sappewali Sappewali, Karisma Karisma, and Jeni Fitriyani. 2016. "PRODUKSI BIOETANOL DARI JERAMI PADI (*Oryza Sativa* L.) Dan KULIT POHON DAO (*Dracontamelon*) MELALUI PROSES SAKARIFIKASI DAN FERMENTASI SERENTAK (SFS)." *Chimica et Natura Acta* 4 (1): 1. <https://doi.org/10.24198/cna.v4.n1.10441>.
- Bazúa, C D de, M A Cabrero, and H M Poggi. 1991. "Vinasses Biological Treatment by Anaerobic and Aerobic Processes: Laboratory and Pilot-Plant Tests." *Bioresource Technology* 35 (1): 87–93. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0960-8524\(91\)90086-Y](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0960-8524(91)90086-Y).
- Budiyono, I. Syaichurrozi, and S. Sumardiono. 2014. "Effect of Total Solid Content to Biogas Production Rate from Vinasse." *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications* 27 (2): 177–84. <https://doi.org/10.5829/idosi.ije.2014.27.02b.02>.
- Carrilho, Elma Neide Vasconcelos Martins, and Marcio Roberto Soares. 2024. "Chapter 6 - Vinasse, a Byproduct of the Bioethanol Industry—A Valuable Resource for Sustainable Agriculture and Renewable Energy Production." In *Environmental Materials and Waste (Second Edition)*, edited by Majeti Narasimha Vara Prasad, Second Edi, 193–239. Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-443-22069-2.00008-5>.
- Chen, Wei-jen, Jyh-cherng Shieh, Po-shen Chou, and Wei-fan Huang. 2014. "Bioethanol Production from Sugarcane Bagasse." *Oriental Journal of Chemistry* 30 (June 2008).
- Chen, Xuening, Weiqing Lan, and Jing Xie. 2024. "Natural Phenolic Compounds: Antimicrobial Properties, Antimicrobial Mechanisms, and Potential Utilization in the Preservation of Aquatic Products." *Food Chemistry* 440: 138198. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138198>.
- Chusna, Firda Mahira Alfiata, Sinta Cahaya, and Siti Aprianita. 2024. "Optimasi Pembuatan Bioetanol Dari Limbah Bonggol Jagung Beda Waktu Fermentasi Dan Berat Ragi." *Jurnal Serambi Engineering* IX (1): 8140–45.
- Efendi, Firda Putri, Rizkia Hilmi Utami, and Muhammad Imam Mursyidto. 2012. "Morfologi Dan Taksonomi Buah Bit." *Skripsi Universitas Negeri Malang* 39 (1): 1–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biochi.2015.03.025%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/nature1>

- 0402%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/nature21059%0Ahttp://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/nrmicro2577%0Ahttp://.
- Fitriani, Syaiful Bahri, and Nurhaeni. 2013. "Produksi Bioetanol Tongkol Jagung (Zea Mays) Dari Hasil Proses Delignifikasi Fitriani 1 , Syaiful Bahri 2 , Dan Nurhaeni 2 1 Lab. Penelitian Jurusan Kimia Fakultas MIPA, Universitas Tadulako." *Online Jurnal of Natural Science* 2 (3): 66–74.
- Hakika, D. C., S. Sarto, A. Mindaryani, and M. Hidayat. 2022. "Influence of Fenton Pretreatment on Anaerobic Digestion of Sugarcane Vinasse: Effect of H₂O₂ Dosage." In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 963. IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/963/1/012009>.
- Hussain, Syed Ammar, Majher I. Sarker, Hailemichael O. Yosief, and Madhav P. Yadav. 2021. "Evaluation of Diverse Biochemical Stimulants to Enhance Growth, Lipid and Docosahexaenoic Acid (DHA) Production of *Aurantiochytrium* Sp. ATCC PRA-276." *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 36 (September). <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102122>.
- Jain, Sanyam, and Shushil Kumar. 2024. "A Comprehensive Review of Bioethanol Production from Diverse Feedstocks: Current Advancements and Economic Perspectives." *Energy* 296: 131130. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131130>.
- Javier Benitez, F, Francisco J Real, Juan L Acero, Juan Garcia, and Maria Sanchez. 2003. "Kinetics of the Ozonation and Aerobic Biodegradation of Wine Vinasses in Discontinuous and Continuous Processes." *Journal of Hazardous Materials* 101 (2): 203–18. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(03\)00175-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3894(03)00175-4).
- Jiménez, A M, R Borja, A Martín, and F Raposo. 2006. "Kinetic Analysis of the Anaerobic Digestion of Untreated Vinasses and Vinasses Previously Treated with *Penicillium Decumbens*." *Journal of Environmental Management* 80 (4): 303–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.09.011>.
- Johnson, Inigo, and Mathava Kumar. 2020. "Electrochemical Oxidation of Distillery Wastewater by Dimensionally Stable Ti-RuO₂ Anodes." *Environmental Technology & Innovation* 20: 101181. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101181>.
- Khairiah, Hanifah, and Muhammad Ridwan. 2021. "Pengembangan Proses Pembuatan Bioetanol Generasi Ii Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit." *Jurnal Pangan Dan Agroindustri* 9 (4): 233–40. <https://doi.org/10.21776/ub.jpa.2021.009.04.5>.
- Kiani Deh Kiani, Mostafa, Mostafa Parsaee, Seyed Mohammad Safieddin Ardebili, Ileana Pereda Reyes, Lucas Tadeu Fuess, and Keikhosro Karimi. 2022. "Different Bioreactor Configurations for Biogas Production from Sugarcane Vinasse: A Comprehensive Review." *Biomass and Bioenergy* 161: 106446. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106446>.
- Manzetti, Sergio, and Otto Andersen. 2015. "A Review of Emission Products from Bioethanol and Its Blends with Gasoline. Background for New Guidelines for Emission Control." *Fuel* 140: 293–301. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.09.101>.
- Melendez, Jesus R, Bence Mátyás, Sufia Hena, Daniel A Lowy, and Ahmed El Salous. 2022. "Perspectives in the Production of Bioethanol: A Review of Sustainable Methods, Technologies, and Bioprocesses." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 160: 112260. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112260>.
- Musa, Binsar, and David Siahaan. 2022. "PRA-RANCANGAN PABRIK BIOETANOL DARI TETES TEBU (MOLASE) MELALUI FERMENTASI KAPASITAS 30 . 000 TON / TAHUN : PEMURNIAN PRODUK MELALUI PROSES DEHIDRASI DENGAN

METODE ADSORPSI MOLECULAR SIEVE (MS) TUGAS KHUSUS
PERANCANGAN ALAT PROSES Diajukan Untuk Memen.”

- Narayanan, Kannan Badri, Rakesh Bhaskar, and Sung Soo Han. 2024. “Bacteriophages: Natural Antimicrobial Bioadditives for Food Preservation in Active Packaging.” *International Journal of Biological Macromolecules* 276: 133945. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133945>.
- Parsaee, Mostafa, Mostafa Kiani Deh Kiani, and Keikhosro Karimi. 2019. “A Review of Biogas Production from Sugarcane Vinasse.” *Biomass and Bioenergy* 122: 117–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.034>.
- Ryznar-luty, Agnieszka, and Edmund Cibis. 2011. “Biodegradation of Beet Molasses Vinasse by a Mixed Culture of Microorganisms : Effect Aeration Conditions and PH Control” 0742 (November). [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60579-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60579-7).
- Sica, Pietro, Amanda Olbrick Marabesi, Aimee Regali Seleghim, K. C. Das, and Antonio Sampaio Baptista. 2024. “Effects of Vinasse Concentration on Biogas Production: An Experimental Work and Case Study in the Context of RenovaBio in Brazil.” *Bioresource Technology Reports* 25 (September 2023): 101698. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101698>.
- Siles, J A, I García-García, A Martín, and M A Martín. 2011. “Integrated Ozonation and Biomethanization Treatments of Vinasse Derived from Ethanol Manufacturing.” *Journal of Hazardous Materials* 188 (1): 247–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.096>.
- Silva, A F R, Y A R Lebron, V R Moreira, L A Ribeiro, K Koch, and M C S Amaral. 2023. “High-Retention Membrane Bioreactors for Sugarcane Vinasse Treatment: Opportunities for Environmental Impact Reduction and Wastewater Valorization.” *Journal of Environmental Management* 329: 117001. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117001>.
- Singa, Pradeep Kumar, Mohamed Hasnain Isa, Yeek Chia Ho, and Jun Wei Lim. 2018. “Treatment of Hazardous Waste Landfill Leachate Using Fenton Oxidation Process.” *E3S Web of Conferences* 34: 4–9. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183402034>.
- Sumardiono, Siswo, B Budiyo, and Iqbal Syaichurrozi. 2013. “Biogas Production from Bioethanol Waste: The Effect of PH and Urea Addition to Biogas Production Rate.” *Waste Technology* 1 (1): 1–5. <https://doi.org/10.12777/wastech.1.1.2013.1-5>.
- Syaichurrozi, Iqbal. 2016. “Review – Biogas Technology to Treat Bioethanol Vinasse.” *Waste Technology* 4 (1): 16–23. <https://doi.org/10.12777/wastech.4.1.16-23>.
- Syaichurrozi, Iqbal, Budiyo, and Siswo Sumardiono. 2013. “Predicting Kinetic Model of Biogas Production and Biodegradability Organic Materials: Biogas Production from Vinasse at Variation of COD/N Ratio.” *Bioresource Technology* 149: 390–97. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.088>.
- Syaichurrozi, Iqbal, Sarto Sarto, Wahyudi Budi Sediawan, Muslikhin Hidayat, Nono Darsono, Gerald Ensang Timuda, and Deni Shidqi Khaerudini. 2023. “Evolution of Solid Contents in Vinasse Waste during Electrocoagulation Process at Various Current Densities: Experimental and Kinetic Analyses.” *Journal of Water Process Engineering* 53: 103758. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103758>.
- Tapas Kumar Dandasena, and Sanyogita Shahi. 2023. “A Renewable Biofuel-Bioethanol: A Review.” *Journal of Advanced Zoology* 44 (S3): 1698–1706. <https://doi.org/10.17762/jaz.v44is3.2388>.
- Umamaheswari, Muthuswamy. 2010. “BIOETHANOL PRODUCTION FROM CELLULOSIC MATERIALS.” In . <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:86071057>.

- Widyastuti, Pramestika. 2019. "Pengolahan Limbah Kulit Singkong Sebagai Bahan." *Jurnal Kompetensi Teknik* 11 (1): 41–46.
- Wirosoedarmo, Ruslan, Tunggul Sutan Alexander Haji, and Erina Aprilia Hidayati. 2016. "The Influence Of Concentration and Contact Time in Domestic Sewage Treatment Using Activated Carbon the Cob of Corn To Reducing BOD and COD." *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan* 3 (2): 31–39.