

**OPTIMALISASI FERMENTASI BIOETANOL CAMPURAN BATANG
PISANG (*Musa paradisiaca*) DAN BONGGOL JAGUNG (*Zea mays*)
DENGAN VARIASI PERLAKUAN DAN WAKTU**

**Khairul Hidayah¹, Endang Widi Winarni², Rendy Wikrama Wardana³,
Hayuni Retno Widarti⁴, M. Lutfi Firdaus⁵**

Universitas Bengkulu^{1,2,3,5}, Universitas Negeri Malang⁴

Khairulhidayah234@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar bioetanol dari ampas batang pisang dan bonggol jagung dengan variasi perlakuan dan waktu fermentasi menggunakan starter atau biakan awal untuk mempercepat reaksi fermentasi. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi perlakuan dan waktu fermentasi selama 9, 12, dan 15 hari. Data kuantitatif dianalisis dengan mengukur rata-rata kadar dan volume bioetanol yang dihasilkan pada setiap perlakuan dan waktu fermentasi, kemudian disajikan dalam bentuk grafik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar bioetanol tertinggi diperoleh pada perlakuan A (ragi 100%) dengan kadar 20% setelah fermentasi selama 15 hari. Simpulan, semakin lama waktu fermentasi, kadar bioetanol cenderung meningkat; namun, pengaruh waktu fermentasi tidak selalu konsisten karena kadar bioetanol dipengaruhi oleh bahan yang digunakan, lama fermentasi, dan kondisi mikroorganisme selama proses fermentasi.

Kata Kunci: Ampas Batang Pisang, Bioetanol, Bonggol Jagung, Teknologi Ramah Lingkungan

ABSTRACT

This study aims to determine the ethanol content from banana stem and corn cob residues with variations in treatment and fermentation time using a starter culture to accelerate the fermentation process. The method used was an experimental design with treatment variations and fermentation times of 9, 12, and 15 days. Quantitative data were analyzed by measuring the average ethanol content and volume produced for each treatment and fermentation time, then presented in graphical form. The results showed that the highest ethanol content was obtained in treatment A (100% yeast) with 20% ethanol after 15 days of fermentation. In conclusion, the longer the fermentation time, the higher the ethanol content; however, the effect of fermentation time was not always consistent because ethanol content is influenced by the materials used, fermentation duration, and the condition of microorganisms during the fermentation process.

Keywords: *Banana Stem Residues, Bioethanol, Corn Cob Residues, Environmentally Friendly Technology*

PENDAHULUAN

Sumber energi konvensional merupakan bahan bakar fosil yang tidak terbarukan dan memiliki berbagai permasalahan. Energi yang berasal dari fosil jelas tidak dapat diperbarui dan akan habis pada beberapa tahun mendatang (Arisandi et al., 2022). Salah satu penggunaan minyak bumi sebagai bahan bakar di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya, sementara produksi minyak bumi terus menurun. Penggunaan energi fosil memberikan kontribusi signifikan terhadap pemanasan global dan perubahan iklim. Oleh karena itu, penggunaan energi masa depan mengacu pada energi alternatif yang memberikan manfaat lebih baik bagi kehidupan manusia dan lingkungan, sehingga dibutuhkan energi alternatif untuk mengurangi dampak dari keterbatasan sumber energi konvensional.

Energi yang berasal dari bahan organik sering disebut energi biomassa. Biomassa memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan dan dapat diproduksi dari bahan organik, baik berupa produk maupun limbah dari proses fotosintesis. Ketersediaan biomassa tanaman yang melimpah memungkinkan terjadinya proses konversi menjadi energi. Konversi biomassa dapat dilakukan melalui cara biologis, kimia, atau fisika. Salah satu cara konversi biomassa menjadi energi terbarukan adalah melalui konversi lignoselulosa menjadi bioetanol. Dengan pemanfaatan energi biomassa, kekurangan bahan bakar global dapat diatasi karena biomassa dapat menggantikan bahan bakar konvensional sebagai aditif.

Bioetanol merupakan salah satu jenis energi biomassa. Etanol dari bahan nabati, yang dikenal sebagai bioetanol, dihasilkan melalui fermentasi bahan yang mengandung karbohidrat (Hendrawati et al., 2019). Sebagian besar bahan baku pembuatan bioetanol berasal dari bahan pangan, dan bioetanol termasuk kategori bahan bakar alternatif yang mampu meminimalkan emisi karbon (Ananda et al., 2023). Bioetanol merupakan cairan biokimia yang dihasilkan melalui fermentasi gula oleh mikroorganisme. Bahan baku utama bioetanol diperoleh dari tumbuhan yang mengandung pati dan karbohidrat; oleh karena itu, diperlukan bahan baku alternatif yang tidak bersaing dengan bahan makanan untuk meningkatkan nilai tambah dan efisiensi. Fermentasi alkohol adalah salah satu cara untuk menghasilkan etanol melalui bantuan mikroorganisme (Widyastuti, 2019). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan lama waktu fermentasi dapat meningkatkan produksi bioetanol (Juanda et al., 2024). Proses hidrolisis enzimatis lebih umum digunakan karena lebih ramah lingkungan dibandingkan katalis asam, dan glukosa yang dihasilkan kemudian diolah melalui fermentasi dengan penambahan ragi (Saragih et al., 2023).

Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai bahan baku bioetanol adalah limbah batang pisang (*Musa paradisiaca*), yang banyak tumbuh di daerah tropis karena menyukai iklim panas dan sinar matahari penuh. Tanaman ini dapat tumbuh

di tanah yang cukup lembab pada ketinggian hingga 2000 meter di atas permukaan laut, dan hampir semua bagian tanaman pisang dapat dimanfaatkan (Rosariatuti et al., 2018). Penelitian sebelumnya menggunakan kulit pisang sebagai limbah yang mengandung serat selulosa tinggi sehingga dapat dimanfaatkan lebih efisien dibandingkan buah yang memiliki nilai jual tinggi (Wusnah et al., 2019). Kandungan karbohidrat kompleks pada pisang dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana dan kemudian difermentasi menjadi etanol.

Bahan baku lain yang memiliki potensi untuk pembuatan bioetanol adalah bonggol jagung. Tanaman jagung dan tebu sering kurang dimanfaatkan dengan baik (Kasmaniar et al., 2023). Konsumsi jagung dalam jumlah besar menghasilkan limbah tongkol jagung yang dapat mencemari lingkungan. Pemanfaatan bonggol jagung sebagai bahan bioetanol dapat mengurangi limbah pertanian sekaligus dijadikan bahan bakar. Bonggol jagung (*Zea mays*) mengandung selulosa 48%, pentosan 36%, lignin 10%, abu 4%, dan air 2%; kandungan selulosa yang tinggi ini menjadikannya bahan baku potensial untuk produksi bioetanol (Fadly Khaira et al., 2015; Mahira et al., 2024).

Penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya (Lazuardi et al., 2024) yang menggunakan batang pisang kapok sebagai bahan utama pembuatan bioetanol. Penelitian ini menggunakan campuran limbah batang pisang dan bonggol jagung sebagai bahan baku utama. Kombinasi kedua bahan ini belum dikaji secara komprehensif dan belum pernah digunakan secara bersamaan untuk produksi bioetanol. Campuran kedua bahan ini berpotensi menghasilkan kadar bioetanol yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan satu bahan saja, sehingga dimanfaatkan dalam penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen untuk mengukur kadar bioetanol dari campuran batang pisang dan bonggol jagung dengan variasi perlakuan dan waktu fermentasi. Penelitian dilakukan dengan empat perlakuan, yaitu perlakuan A ragi (100%), B urea (100%), C NPK (100%), D Urea (50%) dan NPK (50%), serta tiga variasi waktu (hari ke9, 12, dan 15). Penelitian dilaksanakan di bulan Oktober-Januari 2025 di Sumber Belajar Ilmu Hayati (SBIH) Ruyani, Kota Bengkulu.

Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan meliputi satu set alat distilasi, gelas ukur, spatula, timbangan analitik, wadah plastik, wadah pembiakan, panci, kompor gas, botol vial, corong, pH meter, dan alkoholmeter. Bahan yang digunakan meliputi batang pisang (*Musa paradisiaca*), bonggol jagung (*Zea mays*), HCl 5%, ragi, NPK, urea, gula pasir, dan aquades.

Prosedur Penelitian

Pembuatan bioetanol dari batang pisang dan bonggol jagung melalui beberapa tahapan, yaitu: tahap persiapan, pembuatan starter, hidrolisis, fermentasi, dan destilasi.

Tahap Persiapan

Bahan baku batang pisang dipotong kecil hingga halus, sedangkan bonggol jagung diblender hingga menjadi tepung. Seluruh alat yang akan digunakan juga dipersiapkan.

Tahap Pembuatan Starter

Starter dibuat secara anaerob. Langkah pertama adalah melarutkan 250 g gula pasir dalam 500 mL aquades. Disiapkan 12 botol wadah pembiakan, masing-masing diisi 50 mL larutan gula. Selanjutnya ditambahkan pupuk urea dan NPK sesuai dengan variasi komposisi yang ditentukan dan diaduk hingga tercampur sempurna. Komposisi tersebut yaitu, a) komposisi A adalah 100% ragi (tidak menggunakan penambahan pupuk urea dan NPK); b) komposisi B adalah 100% urea; c) komposisi C adalah 100% NPK; d) komposisi D yaitu urea 50% dan NPK 50%.

Penentuan variasi perlakuan dibuat untuk mengetahui komposisi mana yang efektif dan optimal dalam menghasilkan kadar bioetanol. Selanjutnya ditambahkan ragi sebanyak 50 g dan botol wadah pembiakan ditutup rapat dan disimpan selama 24 jam dalam suhu ruang.

Tahap Hidrolisis

Batang pisang yang telah dihaluskan dimasukkan ke dalam panci, kemudian ditambahkan 1,8 L aquades dan 100 mL HCl 5% sebagai katalis hidrolisis untuk memecah struktur selulosa. Tepung bonggol jagung juga ditambahkan untuk mendukung reaksi hidrolisis.

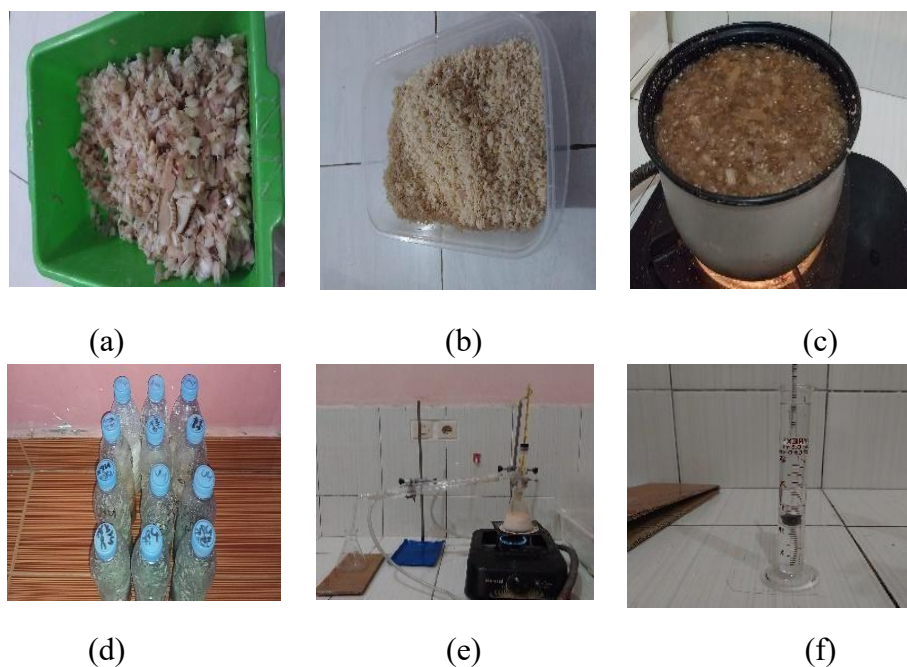
Tahap Fermentasi

Campuran bubur pisang dan bonggol jagung dimasukkan ke dalam 12 botol masing-masing sebanyak 50 g, kemudian ditambahkan starter sesuai perlakuan. Fermentasi dilakukan pada suhu kamar dalam ruangan gelap selama 9, 12, dan 15 hari sesuai variasi waktu yang ditentukan.

Tahap Destilasi

Filtrat hasil fermentasi disaring dan dimasukkan ke dalam labu destilasi untuk pemurnian selama 90 menit. Uap hasil destilasi didinginkan menggunakan kondensor hingga terkondensasi dan tertampung dalam wadah pemisah. Kadar bioetanol diukur menggunakan alkoholmeter, yang prinsip kerjanya berdasarkan

berat jenis campuran alkohol dan air dalam hasil fermentasi. Kadar bioetanol ditunjukkan pada skala atas alkoholmeter (Maharani et al., 2021).



Gambar 1. Proses pembuatan bioetanol, yaitu: (a) bahan baku batang pisang, (b) bahan baku bonggol jagung, (c) proses hidrolisis, (d) proses fermentasi, (e) proses destilasi, (f) pengukuran kadar bioetanol

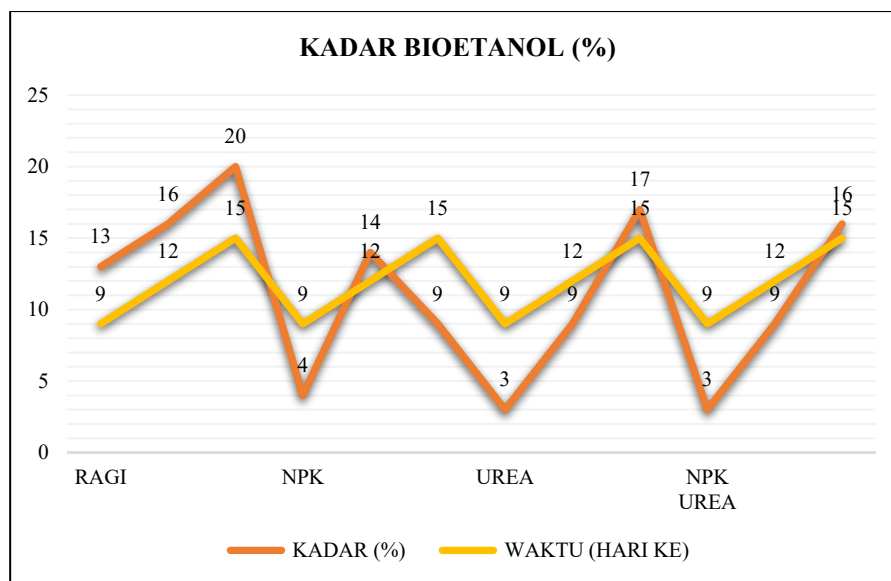
Analisis Data

Data kuantitatif dianalisis dengan menghitung rata-rata kadar dan volume bioetanol yang dihasilkan pada setiap perlakuan dan variasi waktu fermentasi. Kadar bioetanol diperoleh melalui pengukuran menggunakan alkoholmeter, sedangkan volume bioetanol diukur menggunakan gelas ukur. Selain itu, data kuantitatif dianalisis secara deskriptif melalui kajian sistematis untuk menilai pengaruh perlakuan dan waktu fermentasi terhadap produksi bioetanol. Hasil analisis disajikan dalam bentuk grafik agar memudahkan perbandingan antarperlakuan dan variasi waktu.

HASIL PENELITIAN

Penentuan kadar alkohol pada setiap sampel dilakukan dengan tiga kali pengulangan untuk mengevaluasi pengaruh variasi perlakuan dan waktu fermentasi terhadap persentase kadar bioetanol yang dihasilkan. Persentase rata-rata kadar bioetanol yang diperoleh dari fermentasi campuran batang pisang (*Musa paradisiaca*) dan bonggol jagung (*Zea mays*) dengan penambahan nutrisi berupa ragi, NPK, urea, dan kombinasi urea-NPK, dianalisis setelah melalui proses fermentasi dan destilasi.

Hasil rata-rata kadar bioetanol pada masing-masing perlakuan dan variasi waktu fermentasi disajikan dalam Gambar 1, yang memperlihatkan perbandingan efektivitas setiap perlakuan dalam meningkatkan produksi bioetanol.



Gambar 1. Grafik Rata-rata Kadar Bioetanol

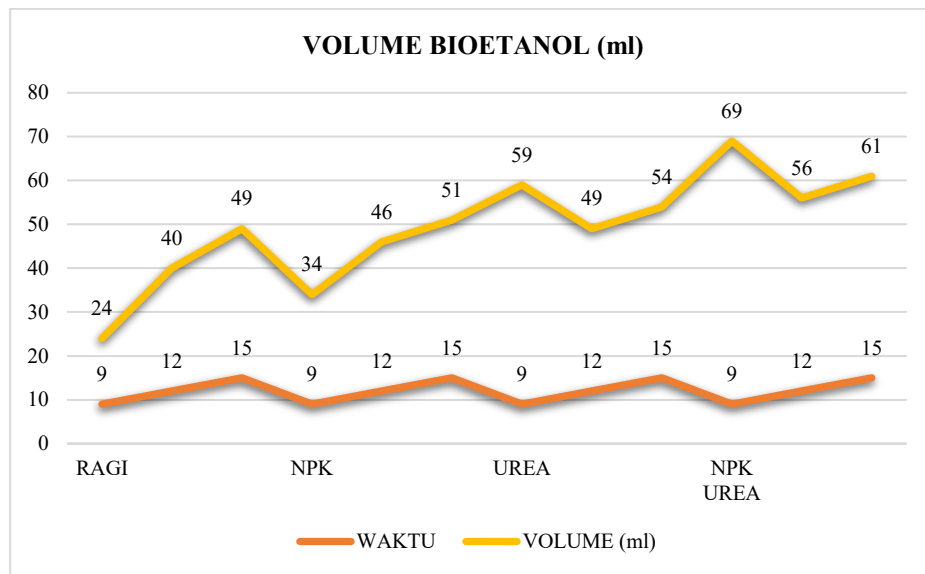
Hasil penelitian menunjukkan adanya perubahan kadar bioetanol selama proses fermentasi pada masing-masing perlakuan. Pada hari ke-9, perlakuan NPK menghasilkan kadar 4%, lebih tinggi dibandingkan perlakuan urea dan kombinasi NPK-urea yang masing-masing 3%, menunjukkan bahwa NPK lebih efektif dalam merangsang aktivitas mikroorganisme pada tahap awal. Perlakuan ragi murni relatif lebih lambat meningkatkan kadar pada tahap ini, kemungkinan karena memerlukan adaptasi awal terhadap media fermentasi.

Memasuki hari ke-12, kadar bioetanol meningkat secara signifikan, dengan perlakuan ragi mencapai 16% dan NPK 14%, menandakan fermentasi berjalan optimal. Perlakuan urea dan kombinasi NPK-urea juga menunjukkan peningkatan, meskipun lebih rendah, yang menunjukkan perbedaan efektivitas masing-masing nutrisi terhadap produksi bioetanol.

Pada hari ke-15, kadar bioetanol tertinggi diperoleh dari perlakuan ragi murni sebesar 20%, diikuti urea 17% dan kombinasi NPK-urea 16%. Sementara itu, kadar pada perlakuan NPK menurun menjadi 9%, kemungkinan akibat degradasi produk atau metabolit samping yang menurunkan aktivitas mikroorganisme setelah fermentasi berlangsung lama. Hasil ini menunjukkan bahwa jenis perlakuan dan durasi fermentasi berperan penting dalam menentukan produktivitas bioetanol, dengan ragi murni memberikan hasil paling konsisten pada tahap akhir.

Selain mengukur kadar bioetanol, penelitian juga mengevaluasi volume bioetanol yang dihasilkan pada setiap perlakuan. Pengukuran volume bertujuan untuk memberikan gambaran lebih menyeluruh mengenai produktivitas fermentasi,

karena kadar bioetanol yang tinggi belum tentu diikuti oleh volume yang besar. Hasil rata-rata volume bioetanol dari setiap perlakuan disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Rata-rata Volume Bioetanol

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada hari ke-9, volume bioetanol tertinggi diperoleh dari perlakuan kombinasi NPK dan urea (69 mL), diikuti oleh perlakuan urea (59 mL), NPK (34 mL), dan ragi murni (24 mL). Hal ini menunjukkan bahwa pada awal fermentasi, kombinasi pupuk mampu merangsang produksi bioetanol secara maksimal.

Pada hari ke-12, volume bioetanol masih menunjukkan kecenderungan peningkatan pada seluruh perlakuan. Namun, perlakuan urea dan kombinasi NPK-urea mengalami sedikit penurunan dibandingkan hari ke-9. Sementara itu, perlakuan ragi dan NPK terus meningkat, menunjukkan bahwa fermentasi masih berlangsung aktif pada perlakuan tersebut.

Pada hari ke-15, volume bioetanol tertinggi tetap diperoleh dari perlakuan kombinasi NPK-urea (61 mL), meskipun peningkatannya tidak sebesar sebelumnya. Perlakuan ragi dan urea masing-masing menghasilkan 49 mL dan 54 mL, sedangkan perlakuan NPK mencapai 51 mL.

PEMBAHASAN

Penentuan kadar bioetanol pada setiap sampel dikenakan perlakuan tiga kali pengulangan untuk melihat pengaruh dari variasi perlakuan dan waktu fermentasi terhadap persentase kadar bioetanol. Fermentasi alkohol merupakan salah satu cara untuk memproduksi alkohol (etanol) melalui bantuan mikroorganisme (Widyastuti, 2019), salah satu bantuan mikroorganisme yaitu ragi. *Saccharomyces cerevisiae* dapat menghasilkan bioetanol sebesar 5,1–91,8% (Qomariyah & Sindhuwati, 2023). Pertumbuhan dan perkembangan dalam proses tersebut memerlukan unsur nitrogen

sebagai nutrisi untuk mikroba. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan urea meningkatkan kadar bioetanol, serta kombinasi urea dan NPK memberikan nutrisi optimal bagi mikroorganisme (Nuraini & Ratni, 2021).

Fermentasi substrat lignoselulosa seperti batang pisang dan bonggol jagung, waktu fermentasi berperan dalam meningkatkan efisiensi konversi gula menjadi etanol. Pada pengulangan awal, kadar bioetanol masih rendah karena mikroorganisme berada dalam fase adaptasi. Namun seiring waktu, fermentasi meningkat, kadar bioetanol juga naik. Seon et al. (2020) menunjukkan durasi fermentasi optimal berkisar antara 48–72 jam, tergantung pada substrat dan kondisi fermentasi. Kadar bioetanol mencapai puncaknya sebelum akhirnya mengalami penurunan akibat penipisan substrat.

Pada perlakuan ragi menghasilkan kadar bioetanol tertinggi pada fermentasi hari ke-15 dengan kadar bioetanol 12%, hal ini karena ragi memiliki enzim yang langsung mengubah gula menjadi etanol. Bioetanol terbentuk melalui proses fermentasi dengan mengubah gula (glukosa) menjadi alkohol (etanol) dengan bantuan mikroorganisme. Penggunaan bahan baku yang berasal dari pati atau selulosa akan terpecah terlebih dahulu menjadi gula sederhana melalui proses hidrolisis dengan bantuan enzim. Pada proses hidrolisis dilakukan selama 2 jam. Setelah itu, gula hasil hidrolisis akan difermentasi dengan ragi menjadi etanol dan gas karbon dioksida. Artinya, satu molekul glukosa akan menghasilkan dua molekul etanol dan dua molekul karbon dioksida. Dalam fermentasi substrat lignoselulosa seperti batang pisang dan bonggol jagung, waktu fermentasi berperan dalam meningkatkan efisiensi konversi gula menjadi etanol. Proses fermentasi dilakukan dengan menyimpan botol ke dalam ruangan gelap pada suhu kamar. Waktu fermentasi dilakukan pada hari ke-9, 12, dan 15. Setelah proses fermentasi selesai, dilakukan proses destilasi (penyulingan) karena etanol memiliki titik didih yang berbeda dari air dan zat lainnya sehingga bioetanol harus dipisahkan dari campuran tersebut melalui proses ini.

Subjek penelitian ini berjumlah 36 sampel dengan variasi perlakuan dan waktu fermentasi yang sudah ditentukan. Hal ini karena dilakukannya tiga kali pengulangan pada setiap sampel untuk meminimalisir adanya kesalahan data dalam penelitian.

Berdasarkan data yang diperoleh dari Grafik 1, menunjukkan adanya pengaruh terhadap waktu fermentasi, yaitu semakin lama waktu fermentasi yang dilakukan maka kadar bioetanol yang dihasilkan semakin meningkat, seperti pada perlakuan A ragi (100%), C urea (100%), dan D NPK (50%) + urea (50%), namun pada perlakuan B (100% NPK) terjadi penurunan kadar bioetanol di hari ke-15. Hal ini menunjukkan bahwa kelebihan nutrisi dapat mempercepat fermentasi awal tetapi juga dapat menyebabkan efek penurunan akibat berlebihan substrat. Durasi fermentasi yang lebih lama memungkinkan ragi untuk mengonversi lebih banyak glukosa menjadi etanol, namun waktu yang terlalu lama dapat menyebabkan penurunan aktivitas ragi akibat akumulasi etanol (Tidar, 2024). Penambahan nutrisi

seperti NPK dan urea dapat mempercepat fermentasi awal, namun jika tidak dikontrol dengan baik dapat mengganggu ketidakseimbangan metabolisme mikroba. Seiring waktu fermentasi meningkat, perlakuan ragi saja menunjukkan pola peningkatan kadar bioetanol yang stabil, menandakan bahwa aktivitas *Saccharomyces cerevisiae* bekerja secara optimal. Durasi fermentasi yang lebih lama memungkinkan ragi untuk mengonversi lebih banyak glukosa menjadi etanol, namun waktu yang terlalu lama dapat menyebabkan penurunan aktivitas ragi akibat akumulasi etanol (Alya et al., 2024).

Volume bioetanol dari setiap perlakuan tidak berpengaruh pada kadar bioetanol yang dihasilkan, namun pengaruh tersebut tidak konsisten terhadap variabel, karena kadar bioetanol dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor lainnya, seperti bahan yang digunakan, lama waktu fermentasi, dan kondisi mikroorganisme pada proses fermentasi.

SIMPULAN

Simpulan dari penelitian ini adalah semakin lama waktu fermentasi, kadar bioetanol juga semakin tinggi. Kadar bioetanol tertinggi dihasilkan dari campuran batang pisang dan bonggol jagung pada perlakuan A (100% ragi), yaitu pada fermentasi hari ke-15 sebesar 20%. Seiring meningkatnya waktu fermentasi, perlakuan ragi saja menunjukkan pola peningkatan kadar bioetanol yang stabil, menandakan bahwa aktivitas *Saccharomyces cerevisiae* bekerja secara optimal, sedangkan kadar bioetanol terendah dihasilkan dari perlakuan 100% urea. Hasil volume bioetanol tertinggi diperoleh dari perlakuan NPK + urea. Volume bioetanol tidak berpengaruh terhadap kadar bioetanol yang dihasilkan, namun pengaruh ini tidak konsisten karena kadar bioetanol dipengaruhi oleh beberapa faktor lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alya, N. M., Nurohmah, P. A., Hidayati, N., & Rahayu, S. (2024). Pembuatan bioetanol tongkol jagung (*Zea mays*) dan batang pisang (*Musa paradisiaca*) sebagai bahan bakar alternatif. *Jurnal Integrasi Sains dan Qur'an (JISQU)*, 3(2), 287–294.
- Ananda, P. D., Masthura, & Daulay, A. H. (2023). Pemanfaatan tongkol jagung dan ampas tebu dalam pembuatan bioetanol sebagai bahan bakar alternatif. *Jurnal Redoks*, 8(2), 135–140. <https://doi.org/10.31851/redoks.v8i2.13097>
- Arisandi, Y., Kartika, D. A., Arosanto, E. S., & Yeni, D. (2022). Transportasi ramah lingkungan sebagai solusi pengganti kendaraan yang menggunakan bahan bakar minyak bumi. *Jurnal Informasi, Teknologi, Engineering, dan Sains*, 2(1), 68–73.
- Fadly Khaira, Z., Yenie, E., Rezeki Muria, Laboratorium Teknologi Bioproses Jurusan Teknik Kimia, S., Teknik, F., & Riau Kampus Binawidya, U. H. (2015). Pembuatan bioetanol dari limbah tongkol jagung menggunakan

- proses simultaneous saccharification and fermentation (SSF) dengan variasi konsentrasi enzim dan waktu fermentasi. *Jom Fteknik*, 2(2), 1.
- Hendrawati, T. Y., Ramadhan, A. I., & Siswahyu, A. (2019). Pemetaan bahan baku dan analisis teknoekonomi bioetanol dari singkong (*Manihot utilissima*) di Indonesia. *Jurnal Teknologi*, 11(1), 37–46. <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.11.1.37-46>
- Juanda, H. B., Muhammad, M., Bahri, S., Jalaluddin, J., & Kamar, I. (2024). Pembuatan Bioetanol Dari Limbah Tanaman Jagung (*Zea Mays L.*) Menggunakan Katalis Asam Sulfat. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Universitas Malikussaleh*, 3(1), 00003. <https://proceedings.unimal.ac.id/sntk/article/view/946>
- Kasmaniar, Y., S., Nelly, Fitriliana, Susanti, Hanum, F., & Rahmatullah, A. (2023). Pengembangan energi terbarukan biomassa dari sumber pertanian, perkebunan, dan hasil hutan: Kajian pengembangan dan kendalanya. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(1), 4957–4964.
- Lazuardi, P. R., Yani, A. P., Wardana, R. W., Uliyandari, M., & Hayat, M. S. (2024). Pemanfaatan kulit pisang kepok kuning (*Musa acuminata balbisiana*) sebagai bahan baku bioetanol konteks teknologi ramah lingkungan. *Pendidikan Biologi dan Sains*, 7(1), 139–148.
- Maharani, M. M., Bakrie, M., & Nurlela, N. (2021). Pengaruh jenis ragi, massa ragi, dan waktu fermentasi pada pembuatan bioetanol dari limbah biji durian. *Jurnal Redoks*, 6(1), 57. <https://doi.org/10.31851/redoks.v6i1.5200>
- Mahira, F., Chusna, A., Cahaya, S., & Aprianita, S. (2024). Optimasi pembuatan bioetanol dari limbah bonggol jagung. *IX*(1), 8140–8145.
- Nuraini, A. I., & Ratni, N. (2021). Pengaruh waktu dan nutrisi pada proses dengan metode SSF. *Jurnal Envirous*, 1(2), 76–82.
- Qomariyah, L., & Sindhuwati, C. (2023). Pengaruh penambahan NPK dan urea pada pembuatan etanol dari air tebu melalui proses fermentasi. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 82–88. <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.186>
- Rosariatuti, R., Sumani, & Herawati, A. (2018). Pemanfaatan batang pisang untuk aneka produk. *Journal of Community Empowering a Services*, 2(1), 21–29.
- Saragih, S. W., Mulyara, B., Purjianto, H., Usna, W. I., Rangkuti, H. P., Panjaitan, A. P., Khanafi, M. K., Fanzani, K. A., Sumbayak, F. S., & Nanda, M. I. D. (2023). Pemanfaatan limbah batang pisang sebagai pupuk organik cair (POC) yang ramah lingkungan di Desa Kapal Merah, Kecamatan Nibung Hangus, Kabupaten Batubara. 1(1), 16–24.
- Seon, G., Kim, H. S., Cho, J. M., Kim, M., Park, W. K., & Chang, Y. K. (2020). Effect of post-treatment process of microalgal hydrolysate on bioethanol production. *Scientific Reports*, 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73816-4>

- Widyastuti, P. (2019). Pengolahan limbah kulit singkong sebagai bahan bakar bioetanol melalui proses fermentasi. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 11(1), 41–46.
- Wusnah, W., Bahri, S., & Hartono, D. (2019). Proses pembuatan bioetanol dari kulit pisang kepok (*Musa acuminata* B.C) secara fermentasi. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 8(1), 48. <https://doi.org/10.29103/jtku.v8i1.1915>