

PENGARUH VARIASI WAKTU FERMENTASI TERHADAP KADAR BIOETANOL CAMPURAN KULIT JERUK DAN KULIT NANAS

Abdul Qodril Azizy¹, Dian Anisa Rokhmah Wati²

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Hasyim Asy'ari Jombang, Indonesia
kodriplkn@gmail.com

ABSTRACT

*This study investigates the effect of fermentation time on the bioethanol yield derived from orange peels, pineapple peels, and their combined substrates, while also evaluating the potential utilization of fruit peel waste as a sustainable bioenergy resource. Fermentation durations of 2, 4, and 6 days were systematically examined to determine the optimal condition for maximizing bioethanol production. An experimental quantitative approach was employed under controlled laboratory conditions. The bioethanol production process comprised feedstock preparation, acid hydrolysis using hydrochloric acid (HCl), fermentation facilitated by *Saccharomyces cerevisiae*, and subsequent distillation at 78°C. Fermentation time was treated as the independent variable, whereas bioethanol concentration served as the dependent variable. The ethanol content was measured using a refractometer and analyzed through a descriptive quantitative framework. The results demonstrate that fermentation time significantly influences bioethanol production. The highest bioethanol concentrations were achieved at 2 days of fermentation, yielding 11% for orange peels, 12% for pineapple peels, and 15% for the mixed substrate. Prolonged fermentation led to a decline in ethanol yield, which can be attributed to reduced microbial activity and substrate depletion. Despite these findings, the resulting bioethanol did not meet the Indonesian National Standard (SNI) for fuel-grade ethanol, indicating the necessity for further purification processes and optimization of fermentation conditions,*

Keywords: *bioethanol, orange peel, pineapple peel, fermentation time.*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu fermentasi terhadap kadar bioetanol dari kulit jeruk, kulit nanas, dan campuran keduanya, serta mengkaji pemanfaatan limbah kulit buah sebagai sumber energi alternatif. Variasi waktu fermentasi yang digunakan yaitu 2 hari, 4 hari, dan 6 hari untuk menentukan kondisi optimum dalam menghasilkan kadar bioetanol tertinggi. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen kuantitatif di laboratorium. Proses pembuatan bioetanol meliputi tahap preparasi bahan, hidrolisis menggunakan larutan HCl, fermentasi dengan bantuan *Saccharomyces cerevisiae*, serta destilasi pada suhu 78°C. Variabel bebas adalah waktu fermentasi, sedangkan variabel terikatnya kadar bioetanol. Pengukuran kadar bioetanol dilakukan menggunakan refraktometer dan dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu fermentasi berpengaruh terhadap kadar bioetanol. Kadar tertinggi diperoleh pada fermentasi 2 hari, yaitu 11% pada kulit jeruk, 12% pada kulit nanas, dan 15% pada campuran keduanya. Semakin lama fermentasi, kadar bioetanol cenderung menurun akibat berkurangnya aktivitas mikroorganisme dan substrat. Namun, hasil

yang diperoleh belum memenuhi standar SNI, sehingga diperlukan pemurnian lanjutan dan optimasi proses.

Kata kunci: bioetanol, kulit jeruk, kulit nanas, waktu fermentasi.

A. Pendahuluan

Kebutuhan terhadap sumber energi baru terbarukan yang ramah lingkungan semakin meningkat seiring menipisnya cadangan bahan bakar fosil. Salah satu biomassa potensial yang melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal adalah sampah organik berupa limbah kulit buah-buahan. Kulit jeruk dan kulit nanas merupakan limbah lignoselulosa yang kaya akan kandungan karbohidrat, selulosa, serta gula sederhana (glukosa, fruktosa, dan sukrosa) yang sangat strategis untuk dikonversi menjadi bioetanol melalui proses biokonversi.

Secara individu, limbah kulit jeruk mengandung selulosa yang dapat dihidrolisis menjadi glukosa yang bernilai ekonomi tinggi. Di sisi lain, kulit nanas memiliki komponen gula reduksi langsung yang cukup tinggi yaitu sekitar 13,65%, menjadikannya substrat yang sangat responsif bagi pertumbuhan mikroorganisme. Dibandingkan memproses limbah secara terpisah, penggabungan atau pencampuran antara kulit jeruk dan

kulit nanas diproyeksikan mampu memberikan efek sinergis dalam menyediakan nutrisi media yang lebih kaya dan seimbang bagi khamir *Saccharomyces cerevisiae*.

Dalam proses fermentasi bioetanol, variabel waktu pembiakan merupakan salah satu parameter paling krusial yang menentukan volume dan kadar alkohol yang dihasilkan. Durasi fermentasi yang tepat diperlukan agar mikroorganisme dapat merombak monosakarida hasil hidrolisis secara maksimal tanpa mengalami hambatan metabolisme. Berdasarkan latar belakang tersebut, artikel jurnal ini secara spesifik mengkaji dan membatasi fokus permasalahan pada pengaruh variasi waktu fermentasi (2 hari, 4 hari, dan 6 hari) terhadap kadar bioetanol yang dihasilkan dari campuran kulit jeruk dan kulit nanas demi mendapatkan performa produksi bahan bakar alternatif yang paling optimal.

Berdasarkan uraian diatas, maka penyusun tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Variasi Waktu Fermentasi Terhadap

Kadar Bioetanol Campuran Kulit Jeruk Dan Kulit Nanas”. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan limbah kulit jeruk dan kulit nanas sebagai sumber utama selulosa dalam pembuatan bioetanol. Pengaruh waktu fermentasi terhadap kadar bioetanol akan didiskusikan dalam studi ini. Kadar bioetanol yang diperoleh juga ditinjau dari campuran kulit jeruk dan kulit nanas yang ditambahkan.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen kuantitatif laboratorium yang bertujuan untuk menganalisis hubungan sebab-akibat antara variasi waktu pembusukan/fermentasi terhadap parameter kadar alkohol yang dihasilkan dari bahan kombinasi. Eksperimen dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Hasyim Asy'ari Tebuireng Jombang. Objek utama penelitian ini difokuskan pada spesimen campuran yang terdiri dari 25 gram kulit jeruk peras dan 25 gram kulit nanas, sehingga diperoleh total massa bahan baku sebesar 50 gram per sampel. Bahan baku tersebut dihancurkan menggunakan *blender* dengan menambahkan 100 ml aquades untuk

mendapatkan konsistensi bubur (*slurry*), lalu disaring hingga diperoleh cairan filtrat murni.

Proses pengerjaan diawali dengan tahap hidrolisis, di mana filtrat campuran ditambahkan larutan Asam Klorida (HCl) 0,1 M sebanyak 25 ml dan aquades 25 ml. Keasaman larutan dijaga secara ketat pada skala pH 4–5. Campuran kemudian dipanaskan di atas kompor portable dengan suhu konstan 60–70°C selama 30 menit menggunakan kontrol termometer dan *stopwatch* untuk memecah selulosa menjadi glukosa.

Setelah tahap hidrolisis selesai, proses dilanjutkan dengan tahap fermentasi. Hasil hidrolisis yang telah disaring dimasukkan ke dalam wadah botol fermentasi kedap udara. Ke dalam media ditambahkan nutrisi tambahan berupa 0,5 gram urea, 1 gram NPK, serta agen pengurai ragi *Saccharomyces cerevisiae* sebanyak 1,5 gram. Pada tahap ini, variasi waktu fermentasi anaerob diatur secara berkala masing-masing selama 2 hari, 4 hari, dan 6 hari.

Setelah masa fermentasi berakhir sesuai variasi waktu yang ditentukan, cairan dipisahkan dari endapan ampas kemudian dimasukkan ke

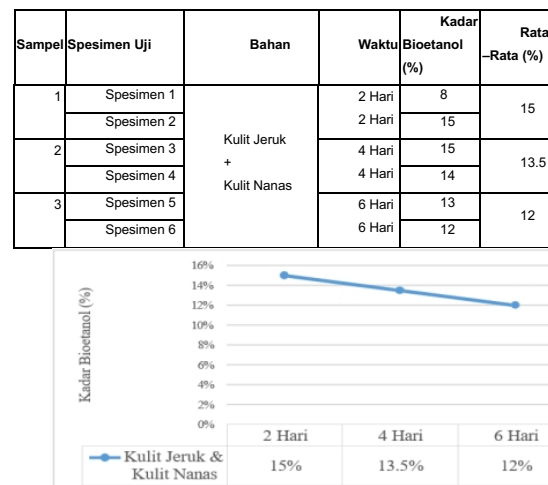
dalam labu destilasi untuk melalui tahap pemurnian. Proses penyulingan dikontrol secara ketat pada suhu titik didih etanol yaitu 78°C selama durasi 2 jam. Pada tahap akhir, produk destilat campuran yang didapat diteteskan sebanyak 2 tetes menggunakan pipet ke atas prisma alat *refraktometer* alkohol. Hasil kadar bioetanol murni dicatat berdasarkan batas warna putih yang tampak pada skala prisma refraktometer. Seluruh data eksperimen yang terkumpul kemudian diproses menggunakan microsoft excel dan dijabarkan melalui teknik analisis deskriptif kuantitatif.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengujian terhadap kadar bioetanol dari spesimen campuran kulit jeruk dan kulit nanas dilakukan secara terukur di laboratorium dengan menerapkan metode pengulangan sebanyak dua kali (*duplo*) pada setiap variasi durasi waktu fermentasi yaitu 2 hari, 4 hari, dan 6 hari. Langkah pengulangan ini diambil secara metodologis untuk menjamin tingkat validitas, akurasi, dan konsistensi data kuantitatif yang diperoleh, serta untuk meminimalkan potensi kesalahan acak selama proses eksperimen berlangsung.

Selain menguji persentase kadar kepekatan alkohol akhir menggunakan alat optik refraktometer, variabel volume total dari hasil cairan destilat murni yang tertampung serta persentase nilai rendemen akhir juga turut dihitung secara matematis berdasarkan rasio massa bahan baku mula-mula sebesar 50 gram. Rekap data kuantitatif komprehensif yang memuat karakteristik fisik dan kimiawi dari produk bioetanol kombinasi tersebut disajikan secara rinci dalam Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Kadar Bioetanol (%)



(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 1: Grafik Kadar Bioetanol

Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Waktu Fermentasi terhadap Kadar Bioetanol Campuran

Berdasarkan analisis tabulasi data pada Tabel 1 serta pembacaan visual grafik pada Gambar 4.1, terlihat

secara empiris adanya pengaruh yang sangat nyata dan signifikan dari pergeseran variabel waktu fermentasi terhadap seluruh parameter output bioetanol campuran yang dihasilkan. Pada perlakuan awal dengan durasi fermentasi selama 2 hari, proses biokonversi mencapai titik puncaknya. Pada fase ini, volume cairan destilat yang berhasil tersuling dari labu destilasi berada pada kuantitas tertinggi, yaitu mencapai rata-rata 18 ml (Sampel A sebesar 18,5 ml dan Sampel B sebesar 17,5 ml). Kuantitas volume yang melimpah ini dibarengi pula dengan kualitas kemurnian alkohol yang sangat pekat, di mana batas skala refraktometer alkohol secara konsisten menunjukkan angka 15,0% pada kedua sampel pengujian, sehingga menghasilkan nilai efisiensi rendemen akhir yang paling optimal sebesar 5,40%.

Namun, ketika kondisi fermentasi diperpanjang melebihi batas 2 hari, tren data kuantitatif justru menunjukkan penurunan performa secara linear dan berkala. Pada variasi waktu fermentasi 4 hari, volume destilat yang diperoleh menyusut menjadi rata-rata 14,5 ml, dengan tingkat kemurnian alkohol yang mulai menurun ke angka rata-

rata 13,5% (di mana Sampel A mencatatkan angka 14% dan Sampel B turun ke angka 13%), yang berakibat pada merosotnya nilai rendemen etanol menjadi 3,91%.

Tren penurunan ini terus berlanjut secara konstan hingga menyentuh titik terendah pada ujung variasi eksperimen, yaitu pada waktu fermentasi 6 hari. Pada durasi waktu yang paling lama ini, volume destilat yang berhasil diekstrak melalui pipa kondensor mengalami penyusutan drastis hingga hanya tersisa rata-rata 11 ml (Sampel A sebesar 11,5 ml dan Sampel B sebesar 10,5 ml). Penurunan kuantitas tersebut juga diikuti dengan jatuhnya kadar bioetanol ke tingkat paling rendah yaitu sebesar 12,0% untuk kedua replikasi sampel, sehingga efisiensi rendemen akhir yang tersisa hanya berada pada angka minimal yaitu sebesar 2,64%. Fluktuasi penurunan yang terjadi dari hari ke-2 hingga hari ke-6 ini menegaskan bahwa penambahan durasi waktu pembusukan secara berlebihan tidak linear dengan peningkatan hasil, melainkan justru mendegradasi senyawa alkohol yang telah terbentuk di dalam media campuran.

Pembahasan
Pengaruh Variasi Waktu
Fermentasi terhadap Kadar
Bioetanol dari Kulit Jeruk dan kilit
nanas

Melalui pembacaan visualisasi tren pada Gambar 4.1, fluktuasi perubahan nilai kadar bioetanol campuran mengindikasikan adanya korelasi mekanis yang kuat antara durasi waktu kontak dengan kapasitas pertumbuhan mikroorganisme di dalam media fermentasi.

Tingginya nilai kadar bioetanol campuran pada titik awal grafik yaitu waktu fermentasi 2 hari (15,0%) membuktikan terjadinya proses metabolisme yang sangat ideal dan progresif pada jam-jam pertama penguraian. Secara teoritis, tingginya nilai ini dipicu oleh efek sinergis penggabungan nutrisi dari kedua substrat buah. Limbah kulit nanas bertindak sebagai penyumbang komponen gula reduksi instan (glukosa alami) yang dapat langsung diserap oleh mikroba tanpa membutuhkan proses pemecahan rantai kimia yang kompleks. Di sisi lain, limbah kulit jeruk menyuplai senyawa selulosa melimpah yang sebelumnya telah berhasil dihidrolisis menjadi monomer gula sederhana

melalui penambahan katalis asam HCl 0,1 M.

Kelimpahan stok substrat gula sederhana pada fase awal ini dimanfaatkan secara maksimal oleh agen pengurai khamir *Saccharomyces cerevisiae* untuk memasuki fase pertumbuhan eksponensial (log phase). Dalam kondisi lingkungan anaerob yang stabil, ragi memproduksi enzim zimase secara masif untuk merombak glukosa melalui jalur glikolisis Embden-Meyerhof-Parnas (EMP) menjadi produk utama berupa senyawa etil alkohol (C_2H_5OH) dan emisi gas karbondioksida (CO_2). Efisiensi konversi yang tinggi ini menyebabkan akumulasi senyawa alkohol di dalam cairan destilat menjadi sangat pekat, sehingga volume destilat yang menguap pada titik didih $78^{\circ}C$ mencapai angka tertinggi (rata-rata 18 ml) dengan efisiensi rendemen sebesar 5,40%.

Sebaliknya, pola penurunan grafik secara konstan pada hari ke-4 (13,5%) hingga menyentuh titik terendah pada hari ke-6 (12,0%) mengonfirmasi teori penuaan media biokonversi akibat pembatasan waktu. Perpanjangan durasi fermentasi melampaui batas optimum justru

memberikan dampak negatif yang ditinjau dari tiga faktor pembatas:

Faktor utama yang mendasari penurunan grafik ini adalah fenomena deplesi substrat (substrate depletion). Ketika proses masuk ke hari ke-4 dan hari ke-6, persediaan glukosa hasil hidrolisis di dalam botol bioreaktor telah terkuras habis dikonsumsi oleh koloni ragi yang populasinya membelah diri secara masif. Akibat ketiadaan sumber karbon sebagai pasokan nutrisi utama, mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* mengalami kelaparan dan terpaksa berpindah dari fase stasioner menuju fase kematian massal (death phase). Berhentinya aktivitas pembelahan dan metabolisme ragi ini secara otomatis menghentikan produksi senyawa bioetanol baru di dalam wadah.

Faktor kedua berkaitan erat dengan kondisi inhibisi produk (product inhibition) serta toksisitas alkohol. Senyawa bioetanol kadar tinggi yang terbentuk pada hari ke-2 lambat laun akan terakumulasi menjadi zat racun yang merusak kelangsungan hidup mikroba itu sendiri. Paparan alkohol dengan kepekatan tinggi dalam waktu lama mampu merusak tingkat permeabilitas membran dinding sel

ragi serta mendenaturasi struktur protein intraseluler khamir. Kondisi ini memicu terjadinya fenomena lisis (sel ragi pecah dan mati), yang berakibat pada penurunan kemampuan konversi enzimatis secara drastis.

Faktor ketiga adalah terjadinya reaksi oksidasi sekunder oleh mikroba kontaminan. Lamanya jeda waktu penyimpanan dalam kondisi cair memungkinkan sebagian senyawa etanol (C_2H_5OH) yang bersifat volatil mengalami degradasi biokimia. Etanol berisiko bereaksi dengan sisa oksigen terikat atau bakteri asam asetat kontaminan, sehingga bergeser wujud menjadi senyawa asam organik (seperti asam asetat atau cuka). Terbentuknya senyawa asam baru ini menaikkan titik didih campuran, sehingga pada saat proses destilasi dijalankan pada suhu kontrol $78^{\circ}C$, fraksi alkohol murni yang berhasil menguap melewati kondensor menurun drastis, yang dibuktikan dengan menyusutnya volume destilat pada hari ke-6 menjadi hanya 11 ml dengan rendemen sisa 2,64%. Pola tren penurunan ini sejalan dengan temuan literatur terdahulu dari Kumar (2019) dan Oktaniya (2017) yang menyatakan bahwa durasi fermentasi yang melewati batas optimum akan

menurunkan efektivitas kemurnian alkohol akibat kematian sel mikroba dan degradasi senyawa etanol.

Jika dibandingkan dengan parameter regulasi nasional, mutu bioetanol campuran yang dihasilkan dari penelitian ini masih belum memenuhi spesifikasi industri. Berdasarkan ketetapan Standar Nasional Indonesia (SNI 7390:2012) untuk regulasi Fuel-Grade Ethanol (etanol sebagai substitusi bahan bakar cair kendaraan), tingkat kemurnian minimal yang diwajibkan secara hukum adalah sebesar 94%. Sementara itu, capaian optimum pada riset campuran ini baru menyentuh angka 15,0%. Rendahnya nilai ini disebabkan oleh keterbatasan mekanisme alat destilasi satu tahap (simple distillation), di mana molekul air (H_2O) ikut menguap bersama fraksi alkohol akibat pembentukan ikatan azeotrop. Oleh karena itu, draf riset ini merekomendasikan bahwa produk bioetanol dari kombinasi kulit jeruk dan kulit nanas ini masih wajib melewati tahapan dehidrasi menggunakan material adsorben zeolit sintetik atau diproses ulang menggunakan metode destilasi fraksinasi bertingkat (rectification column) guna mengeliminasi sisa

kandungan air tanah secara total sebelum diaplikasikan pada mesin.

D. Kesimpulan

Berdasarkan visualisasi data grafik dan pembahasan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa variasi waktu fermentasi memberikan pengaruh nyata yang signifikan terhadap kadar bioetanol dari kombinasi campuran kulit jeruk dan kulit nanas. Durasi fermentasi selama 2 hari merupakan titik optimum yang menghasilkan performa terbaik dengan rata-rata kadar bioetanol tertinggi sebesar 15,0%, volume destilat 18 ml, dan nilai rendemen sebesar 5,40%. Penambahan durasi fermentasi hingga hari ke-4 dan hari ke-6 justru menunjukkan grafik penurunan kadar masing-masing menjadi 13,5% dan 12,0% akibat terjadinya deplesi nutrisi glukosa serta kematian sel khamir akibat toksisitas alkohol. Kualitas produk bioetanol campuran ini belum memenuhi standar mutu bahan bakar nasional menurut SNI 7390:2012 (minimal 94%), sehingga diperlukan optimasi variabel proses serta penggunaan metode pemurnian lanjutan

DAFTAR PUSTAKA

Energi Baru & Terbarukan, Vol. 1,
No. 2, pp 45 – 53.

- Anwari. (2024). Pengembangan Mesin Kompresor Angin 90 Watt Berbasis Sel Surya Menggunakan *Solar Tracker Single Axis*. Banyuwangi: Universitas PGRI Banyuwangi.
- Kumar. (2019). *Bioconversion of lignocellulosic biomass for bioethanol production: An overview*. Renewable Energy, vol. 131, pp. 921–929.
- Oktaniya. (2017). *Hubungan antara kadar etanol, kadar gula reduksi dan jumlah sel dalam produksi bioetanol dari fermentasi air kelapa dengan penambahan pupuk NPK*. SAGU. 16(1).
- Alam. (2022). *Pengaruh Hidrolisis Terhadap Produksi Bioetanol Dari Limbah Kulit Jeruk Dan Daun Jambu Biji*. Cokroaminoto Journal of Chemical Science Volume 4 Nomor 2 Halaman 5-8.
- Chamidy. (2023). Pengaruh Waktu, Jumlah Yeast dan Konsentrasi Substrat pada Fermentasi Limbah Kulit Nanas Menjadi Bioetanol Skala Home Industry. Jurnal serambi engineering. Volume VIII, No.4, Hal 7430 – 7436.
- Sutrisno. (2021). *Bioethanol Limbah Kulit Jeruk Manis (Citrus Sinensis L. Osbeck) Sebagai Peningkatan Nilai Oktan*. Jurnal Teknik Mesin, Vol. 18, No. 2, Hal 60-64.
- Wandono. (2020). *Efektivitas Limbah Kulit Kering Nanas Madu (Ananas Comosus I.Merr) untuk Pembuatan Bioetanol dengan Proses Fermentasi dan Distilasi*. Jurnal