

Pemanfaatan Limbah Kulit Nanas, Bonggol Jagung dan Air Cucian Beras sebagai Bahan Pembuatan Bioetanol

Mutiara Nurmawati Dewi^{1)*}, Santiko Wibowo²⁾, Fandy Valentino³⁾, Antonius Danny Nugroho⁴⁾

Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia

*Email: mutiara.nurmawatidewi@lecturer.pnj.ac.id¹⁾, santiko.wibowo@mesin.pnj.ac.id²⁾
fandy.valentino@lecturer.pnj.ac.id³⁾, antonius.danny@lecturer.pnj.ac.id⁴⁾

Abstract: Increased energy demand and the environmental impact of fossil fuel use have driven the development of renewable energy, one of which is bioethanol. This study aims to examine the use of pineapple peel, corn cobs, and rice washing water as raw materials for bioethanol and the effect of substrate composition and fermentation time on the results obtained. The research was conducted through laboratory experiments with substrate composition variations of 1:1:1 and 2:1:1 and fermentation times of 7 and 11 days. The process included hydrolysis, anaerobic fermentation, simple distillation, and testing of bioethanol combustion heat conversion using a thermoelectric module. The results showed that the 2:1:1 composition and 7-day fermentation produced the highest volume of bioethanol. The bioethanol produced had a stable flame and could be converted into small-scale electrical energy. This study demonstrates the potential for utilizing organic waste as a sustainable renewable energy source.

Abstrak : Peningkatan kebutuhan energi dan dampak lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil mendorong pengembangan energi terbarukan, salah satunya bioetanol. Penelitian ini bertujuan mengkaji pemanfaatan limbah kulit nanas, bonggol jagung, dan air cucian beras sebagai bahan baku bioetanol serta pengaruh variasi komposisi substrat dan waktu fermentasi terhadap hasil yang diperoleh. Penelitian dilakukan secara eksperimen laboratorik dengan variasi komposisi substrat 1:1:1 dan 2:1:1 serta waktu fermentasi 7 dan 11 hari. Proses meliputi hidrolisis, fermentasi anaerob, distilasi sederhana, dan pengujian konversi panas pembakaran bioetanol menggunakan modul termoelektrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi 2:1:1 dan fermentasi 7 hari menghasilkan volume bioetanol tertinggi. Bioetanol yang dihasilkan memiliki nyala api stabil dan mampu dikonversi menjadi energi listrik skala kecil. Penelitian ini menunjukkan potensi pemanfaatan limbah organik sebagai sumber energi terbarukan berkelanjutan.

Keywords : Bioethanol, Organic Waste, Pineapple Peel, Corn Cobs, Rice Washing Water

PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi global yang sejalan dengan pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan aktivitas industri telah mempercepat eksploitasi sumber energi fosil. Ketergantungan yang berlebihan terhadap bahan bakar fosil tidak hanya mempercepat penurunan cadangan energi tak terbarukan, tetapi juga berkontribusi signifikan terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca dan

degradasi lingkungan (IEA, 2022). Kondisi ini mendorong berbagai negara untuk mengembangkan sumber energi terbarukan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan sebagai bagian dari transisi energi global.

Bioetanol merupakan senyawa cair hasil biokimia yang diperoleh dari sumber karbohidrat melalui proses fermentasi glukosa dengan bantuan mikroorganisme, kemudian dimurnikan lebih lanjut melalui destilasi (Bachtiar et al., 2021; Luth et al., 2020). Bioetanol adalah salah satu bahan bakar nabati yang paling banyak dikaji karena potensinya sebagai substitusi parsial maupun total bahan bakar fosil pada sektor transportasi (Bria et al., 2024). Bioetanol memiliki keunggulan berupa emisi karbon yang lebih rendah, sifat biodegradable, serta dapat diproduksi dari berbagai sumber biomassa (Balat & Balat, 2009). Secara konvensional, produksi bioetanol masih bergantung pada bahan baku generasi pertama seperti tebu, jagung, dan singkong. Namun, pemanfaatan bahan pangan tersebut menimbulkan kekhawatiran terkait kompetisi penggunaan lahan dan ketahanan pangan, sehingga mendorong pengembangan bioetanol generasi kedua yang berbasis limbah lignoselulosa dan residu organik (Naik et al., 2010).

Limbah pertanian dan rumah tangga merupakan sumber biomassa yang melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal (Fathoni & Bate'e, 2025). Limbah pertanian dan rumah tangga yang bisa dimanfaatkan lagi diantaranya adalah kulit nanas, bonggol jagung, dan air cuciam beras (Imelda et al., n.d.; Khoiri et al., 2020; Tuhuteru et al., 2021). Kulit nanas mengandung gula sederhana dan senyawa organik yang mudah difermentasi (Salim et al., 2024), sedangkan bonggol jagung merupakan limbah lignoselulosa dengan kandungan selulosa dan hemiselulosa yang tinggi, yang berpotensi dikonversi menjadi gula fermentabel melalui proses hidrolisis (Sun & Cheng, 2002). Di sisi lain, air cuciam beras yang umumnya dibuang sebagai limbah cair rumah tangga masih mengandung pati, protein, dan mineral yang dapat berperan sebagai sumber nutrisi bagi mikroorganisme selama proses fermentasi (Basuki et al., n.d.; Fadillah, 2022). Kombinasi ketiga jenis limbah ini menawarkan potensi sinergis dalam penyediaan substrat karbon dan nutrisi yang berkelanjutan.

Berbagai penelitian sebelumnya umumnya berfokus pada pemanfaatan satu jenis limbah sebagai bahan baku bioetanol, seperti kulit buah, residu jagung, atau limbah cair berpati, dengan pendekatan yang terpisah. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa setiap jenis limbah memiliki keterbatasan tersendiri, baik dari sisi ketersediaan gula fermentabel, kebutuhan pretreatment yang kompleks, maupun efisiensi fermentasi yang relatif rendah.

Celah penelitian (research gap) terletak pada kurangnya kajian yang mengevaluasi potensi sinergi dari kombinasi berbagai jenis limbah organik dengan karakteristik kimia yang berbeda dalam satu proses produksi bioetanol. Sebagian besar penelitian terdahulu belum mengkaji bagaimana interaksi antar substrat tersebut dapat memengaruhi ketersediaan gula fermentabel, dinamika fermentasi, dan hasil

bioetanol yang dihasilkan. Selain itu, pemanfaatan air cucian beras sebagai sumber nutrisi tambahan dalam sistem fermentasi berbasis limbah lignoselulosa juga masih jarang dieksplorasi secara komprehensif.

Berdasarkan research gap tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan limbah kulit nanas, bonggol jagung, dan air cucian beras yang dikombinasikan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi bioetanol generasi kedua berbasis limbah organik terpadu serta menawarkan pendekatan yang lebih efisien dan berkelanjutan dalam pengelolaan limbah dan produksi energi terbarukan.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif deskriptif. Penelitian dilakukan untuk mengkaji pengaruh komposisi substrat campuran dan waktu fermentasi terhadap produksi bioetanol dari limbah kulit nanas, bonggol jagung, dan air cucian beras, serta mengevaluasi potensi bioetanol sebagai sumber energi panas yang dikonversi menjadi energi listrik menggunakan generator termoelektrik skala laboratorium.

Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis data terukur berupa volume bioetanol, waktu fermentasi, dan tegangan listrik yang dihasilkan. Pendekatan kualitatif digunakan untuk mengamati karakteristik fisik bioetanol, stabilitas nyala api, aroma alkohol, serta indikator visual berupa nyala LED.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh limbah organik yang berpotensi digunakan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol. Sampel penelitian terdiri atas limbah kulit nanas, bonggol jagung, dan air cucian beras yang digunakan sebagai substrat fermentasi. Jumlah sampel ditentukan berdasarkan variasi perlakuan yang diberikan, yaitu: 2 variasi komposisi substrat (1:1:1 dan 2:1:1) dan 2 variasi waktu fermentasi (7 hari dan 11 hari), sehingga diperoleh 4 unit sampel percobaan. Instrumen Penelitian

Indikator penelitian ditetapkan untuk mengevaluasi keberhasilan proses produksi bioetanol dan konversi energi, sebagaimana disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Populasi dan Sampel Penelitian

Variabel	Indikator
Produksi bioetanol	Volume destilat (ml)
Proses fermentasi	Waktu fermentasi, pembentukan gas
Kualitas bioetanol	Aroma alkohol, kejernihan destilat
Pembakaran bioetanol	Stabilitas nyala api
Konversi energi	Tegangan listrik (V), nyala LED

Tabel 2. Alat Penelitian

Alat	Fungsi
Wadah fermentasi	Wadah fermentasi substrat campuran
Blender	Menghaluskan bahan baku
Kompot dan Panci	Hidrolisis bahan
Selang	Penyalur uap pada distilasi sederhana
Gelas Ukur	Mengukur volume cairan
Termometer	Mengukur suhu fermentasi
Saringan	Memisahkan ampas padat dari cairan hasil hidrolisis
Alat Destilasi Sederhana	Memisahkan etanol dari larutan
Modul termoelektrik	Mengubah panas hasil pembakaran menjadi energi listrik
LED	Indikator visual keluaran listrik.

Data dianalisis menggunakan analisis deskriptif dan komparatif, dengan membandingkan hasil antar variasi komposisi substrat dan waktu fermentasi.

Tabel 3. Bahan Penelitian

Bahan	Kegunaan
Kulit nanas	Sumber gula sederhana
Bonggol jagung	Sumber selulosa
Air cucian beras	Sumber pati
Ragi Tape	Mikroorganisme fermentasi

Langkah-langkah dan pendekatan penelitian meliputi :

1. Persiapan yaitu bahan, kulit nanas dan bonggol jagung dibersihkan, dipotong, dan dihaluskan. Air cucian beras disiapkan sebagai sumber nutrisi tambahan.
2. Hidrolisis awal yaitu campuran kulit nanas dan bonggol jagung direbus untuk membantu pemecahan struktur lignoselulosa sehingga meningkatkan ketersediaan gula fermentabel.
3. Fermentasi yaitu larutan hasil hidrolisis dicampur dengan air cucian beras dan ragi, kemudian difermentasi secara anaerob selama 7 dan 11 hari pada suhu ruang.
4. Distilasi yaitu larutan hasil fermentasi disaring untuk memisahkan ampas, kemudian didistilasi secara sederhana untuk memperoleh bioetanol.
5. Pengujian konversi energi listrik yaitu bioetanol hasil distilasi dibakar sebagai sumber panas untuk generator termoelektrik skala laboratorium berbasis modul TEC1-2706. Tegangan listrik yang dihasilkan diukur dan diamati melalui nyala LED.

Pendekatan penelitian dilakukan secara eksperimental terkontrol, di mana setiap variasi perlakuan dibandingkan untuk mengetahui kondisi paling efektif dalam menghasilkan bioetanol dan energi listrik skala kecil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi penelitian berupa limbah organik yang mengandung karbohidrat tidak diperlakukan sebagai bahan terpisah, melainkan dikombinasikan menjadi satu campuran substrat untuk pembuatan bioetanol. Sampel penelitian terdiri atas kulit nanas, bonggol jagung, dan air cucian beras yang digunakan secara simultan (kombinasi) dalam satu sistem fermentasi. Kondisi awal masing-masing komponen sampel sebelum dicampurkan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kondisi Awal Komponen Sampel Penelitian

Komponen Sampel	Karakteristik Awal	Peran dalam Campuran
Kulit nanas	Berwarna kuning kecokelatan, beraroma khas nanas	Sumber gula sederhana (glukosa dan fruktosa)
Bonggol Jagung	Bertekstur keras, berwarna putih kekuningan	Sumber selulosa dan hemiselulosa
Air cucian beras	Cairan keruh berwarna putih	Sumber pati dan nutrisi fermentasi

Ketiga komponen tersebut kemudian dicampurkan menjadi satu substrat fermentasi, sehingga saling melengkapi dalam menyediakan sumber karbon bagi mikroorganisme selama proses fermentasi bioetanol.

Perbandingan Kondisi Sebelum dan Sesudah Penelitian

Permasalahan awal dalam penelitian ini adalah belum optimalnya pemanfaatan limbah kulit nanas, bonggol jagung, dan air cucian beras yang berpotensi mencemari lingkungan. Setelah dilakukan penelitian melalui proses hidrolisis dan fermentasi, terjadi perubahan kondisi yang signifikan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan kondisi sebelum dan sesudah fermentasi

Parameter	Sebelum Fermentasi	Sesudah Fermentasi
Aroma	Tidak beraroma alkohol	Muncul aroma khas alkohol
Warna	Keruh	Lebih jernih
Aktivitas gas	Tidak ada	Terbentuk gelembung gas
pH	Netral	Lebih asam

Perubahan tersebut menunjukkan terjadinya proses fermentasi, di mana gula diubah menjadi etanol dan karbon dioksida oleh mikroorganisme.

Cairan hasil fermentasi selanjutnya didistilasi untuk memisahkan etanol. Hasil distilasi ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan kondisi sebelum dan sesudah fermentasi

Parameter	Hasil Pengamatan
Bentuk	Cairan
Warna	Bening
Aroma	Khas Alkohol
Volume distilat	Terukur menggunakan gelas ukur



Gambar 1. Alat Destilasi Sederhana

Pengaruh Komposisi Substrat

Variasi komposisi substrat campuran memengaruhi ketersediaan gula fermentabel yang berperan penting dalam proses fermentasi bioetanol. Untuk mengetahui pengaruh perbedaan rasio kulit nenas, bonggol jagung, dan air cucian beras terhadap hasil produksi bioetanol, dilakukan pengukuran volume destilat pada setiap variasi perlakuan. Variasi komposisi substratnya yaitu 1:1:1 dan 2:1:1. Data hasil penelitian tersebut dirangkum dalam Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Komposisi substrat 1:1:1

Bahan	Massa
Kulit nenas	100 g
Bonggol Jagung	100 g
Air Cucian beras	100 g \approx 100 ml
Total	300 g

Tabel 8. Komposisi substrat 2:1:1

Bahan	Massa
Kulit Nenas	200 g
Bonggol Jagung	100 g
Air Cucian beras	100 g \approx 100 ml
Total	400 g

Pada variasi komposisi substrat 1:1:1 (100 g kulit nanas : 100 g bonggol jagung : 100 g air cucian beras), volume destilat yang diperoleh relatif rendah, yaitu sekitar ± 20 mL. Hal ini menunjukkan keterbatasan ketersediaan gula fermentabel dalam substrat campuran, yang disebabkan oleh proporsi bonggol jagung yang cukup besar sebagai bahan lignoselulosa.

Sebaliknya, pada variasi komposisi substrat 2:1:1 (200 g kulit nanas : 100 g bonggol jagung : 100 mL air cucian beras), volume destilat meningkat secara signifikan hingga mencapai ± 100 mL. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa dominasi kulit nanas dalam substrat campuran dapat menyediakan gula sederhana yang lebih mudah difermentasi oleh mikroorganisme, sehingga meningkatkan efisiensi produksi bioetanol, sebagaimana dilaporkan bahwa sumber substrat yang kaya gula sederhana meningkatkan availabilitas fermentable sugar selama fermentasi bioethanol (Alberto et al., 2024).

Perbedaan volume destilat yang dihasilkan pada kedua variasi komposisi tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah gula fermentabel tetapi juga oleh karakteristik kimia masing-masing substrat dalam campuran. Bonggol jagung merupakan bahan lignoselulosa yang tersusun atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin, sehingga kandungan gulanya tidak dapat langsung dimanfaatkan oleh mikroorganisme fermentatif tanpa melalui proses pretreatment dan hidrolisis yang optimal. Biomassa lignoselulosa bersifat resisten terhadap degradasi dan memerlukan langkah awal untuk melepaskan monomer gula yang dapat difermentasikan, seperti glukosa dan xilosa.

Sebaliknya, peningkatan proporsi kulit nanas pada komposisi 2:1:1 berperan dalam meningkatkan konsentrasi gula sederhana yang tersedia sejak awal fermentasi. Kulit nanas diketahui mengandung glukosa, fruktosa, dan sukrosa yang bersifat mudah larut dan cepat dimetabolisme oleh mikroorganisme, sehingga proses konversi gula menjadi etanol dapat berlangsung lebih efisien. Kondisi ini mempercepat pembentukan etanol dan berdampak langsung pada peningkatan volume destilat yang dihasilkan setelah proses distilasi (Alberto et al., 2024).

Selain itu, keberadaan air cucian beras dalam kedua variasi komposisi berfungsi sebagai sumber nutrisi tambahan seperti nitrogen, vitamin, dan mineral yang mendukung pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme selama proses fermentasi. Nutrien ini memainkan peran penting dalam mempertahankan metabolisme ragi dan mikroba fermentatif lain sehingga proses konversi gula menjadi etanol berlangsung lebih stabil dan efisien (Nur Rahmah Mauliana, Devy Susanty, Nurlela, n.d.). Dukungan nutrisi dari air cucian beras, dikombinasikan dengan sumber gula sederhana dari kulit nanas, menciptakan lingkungan fermentasi yang lebih kondusif pada komposisi 2:1:1 dibandingkan dengan komposisi 1:1:1, karena nutrisi tersebut membantu mikroorganisme berkembang dan mempertahankan fase aktif fermentasi lebih lama (Nur Rahmah Mauliana, Devy Susanty, Nurlela, n.d.).

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan teori fermentasi yang menyatakan bahwa mikroorganisme, khususnya ragi, mampu mengkonversi gula menjadi etanol dan karbon dioksida melalui jalur metabolik yang bergantung pada ketersediaan gula fermentabel dan nutrisi pendukung seperti nitrogen dan mineral (Yuliarti, 2025). Kulit nanas berperan sebagai sumber gula sederhana yang mudah difermentasi, sementara bonggol jagung dan air cucian beras berkontribusi sebagai sumber karbohidrat kompleks dan nutrisi yang dapat diuraikan dan dimanfaatkan selama proses hidrolisis dan fermentasi. Dengan demikian, hasil penelitian ini konsisten dengan temuan sebelumnya bahwa keberadaan nutrisi dalam medium fermentasi dapat meningkatkan aktivitas ragi dan efisiensi produksi bioetanol dari bahan baku limbah organik.

Menurut (Sun & Cheng, 2002), bahan lignoselulosa seperti bonggol jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku bioetanol setelah melalui tahap hidrolisis. Selain itu, kandungan pati pada air cucian beras turut mendukung ketersediaan substrat selama fermentasi. Dengan demikian, hasil penelitian ini mendukung teori dan penelitian terdahulu mengenai pemanfaatan limbah organik sebagai bahan baku bioetanol.

Temuan utama dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi limbah kulit nanas, bonggol jagung, dan air cucian beras mampu menghasilkan bioetanol secara sederhana pada skala laboratorium. Kombinasi bahan tersebut menunjukkan aktivitas fermentasi yang baik, yang ditandai dengan terbentuknya gas serta aroma alkohol yang cukup kuat selama proses fermentasi berlangsung.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komposisi substrat campuran berpengaruh signifikan terhadap efisiensi produksi bioetanol, di mana dominasi bahan bergula dalam campuran mampu mengompensasi keterbatasan substrat lignoselulosa. Temuan ini mengindikasikan adanya efek sinergis antara limbah bergula, lignoselulosa, dan limbah berpati dalam satu sistem fermentasi terpadu. Oleh karena itu, pengaturan rasio substrat menjadi faktor kunci dalam upaya peningkatan hasil bioetanol berbasis limbah organik.

Pengaruh Waktu Fermentasi terhadap Produksi Bioetanol

Pengaruh waktu fermentasi terhadap hasil produksi bioetanol dianalisis dengan membandingkan proses fermentasi selama 7 hari dan 11 hari pada komposisi substrat yang sama. Variasi waktu fermentasi ini bertujuan untuk mengevaluasi perubahan volume destilat, karakteristik fisik, serta indikasi kualitas bioetanol yang dihasilkan.

Tabel 9. Pengaruh Waktu Fermentasi terhadap Hasil Destilasi Bioetanol

Waktu Fermentasi	Volume Destilat	Laju Peneteasan	Karakteristik Aroma
7 hari	Lebih tinggi	Relatif stabil dan cepat	Aroma alkohol cukup kuat
11 hari	Lebih rendah	Lebih Lambat	Aroma alkohol lebih pekat dan menyengat

Berdasarkan data pada Tabel 9, fermentasi selama 7 hari menghasilkan volume destilat yang lebih besar dibandingkan fermentasi selama 11 hari. Hal ini menunjukkan bahwa pada rentang waktu tersebut, mikroorganisme masih berada pada fase aktif dalam mengonversi gula fermentabel menjadi etanol.

Sebaliknya, pada fermentasi selama 11 hari, volume destilat yang dihasilkan mengalami penurunan, meskipun aroma alkohol tercium lebih kuat dan pekat. Penurunan volume destilat ini diduga disebabkan oleh berlangsungnya reaksi lanjutan akibat waktu fermentasi yang terlalu panjang, di mana sebagian etanol yang terbentuk dapat teroksidasi atau mengalami konversi menjadi senyawa lain, seperti aldehid dan asam organik. Kondisi ini menyebabkan berkurangnya jumlah etanol yang dapat diperoleh pada tahap distilasi, sekaligus memengaruhi laju penetesannya yang menjadi lebih lambat.

Keberhasilan proses fermentasi pada penelitian ini menunjukkan adanya sinergi antar bahan penyusun substrat campuran. Kulit nanas berperan sebagai sumber karbon cepat berupa gula sederhana yang mudah difermentasi, air cucian beras menyediakan nutrisi dan pati terlarut sebagai cadangan karbon, sementara bahan tambahan lainnya mendukung pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme selama fermentasi. Sinergi ini menciptakan kondisi fermentasi yang lebih stabil dan mendukung pembentukan bioetanol secara optimal.

Pengujian Pemanfaatan Panas Pembakaran Bioetanol sebagai Sumber Energi Listrik Menggunakan Modul Termoelektrik TEC1-2706



Gambar 2. Mini Generator

Pengujian pemanfaatan panas pembakaran bioetanol sebagai sumber energi listrik dilakukan untuk mengevaluasi potensi bioetanol hasil fermentasi sebagai sumber energi alternatif. Dalam

pengujian ini, panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bioetanol dimanfaatkan sebagai sumber energi termal yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik menggunakan modul termoelektrik TEC1-2706. Kinerja sistem dievaluasi berdasarkan kemampuan modul dalam menghasilkan tegangan listrik serta indikator visual berupa nyala LED sebagai beban.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul termoelektrik TEC1-2706 mampu mengonversi panas hasil pembakaran bioetanol menjadi energi listrik, yang dibuktikan dengan menyalnya LED pada rangkaian. Tegangan keluaran yang terukur berada pada kisaran 0,5–2,5 V, menunjukkan bahwa panas pembakaran bioetanol dapat dimanfaatkan secara langsung sebagai sumber energi listrik skala kecil.

Selain itu, bioetanol yang dihasilkan dari komposisi substrat 2:1:1 menghasilkan nyala api yang lebih stabil dan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposisi 1:1:1. Perbedaan ini berkaitan dengan kandungan gula fermentabel yang lebih tinggi pada komposisi 2:1:1, sehingga menghasilkan bioetanol dengan karakteristik pembakaran yang lebih baik.

Panas pembakaran yang lebih besar menyebabkan perbedaan suhu (ΔT) antara sisi panas dan sisi dingin modul termoelektrik meningkat. Peningkatan ΔT ini berpengaruh langsung terhadap kinerja modul termoelektrik melalui efek Seebeck, sehingga energi listrik yang dihasilkan menjadi lebih besar dan intensitas nyala LED tampak lebih terang pada penggunaan bioetanol dengan komposisi 2:1:1 dibandingkan dengan komposisi 1:1:1.

Implikasi dari temuan ini adalah terbukanya peluang pemanfaatan limbah organik sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Pemanfaatan limbah tersebut tidak hanya berpotensi mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga memberikan nilai tambah secara ekonomi. Namun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, yaitu belum dilakukannya pengukuran kadar etanol secara kuantitatif menggunakan alat analisis seperti alkoholmeter atau kromatografi gas. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan analisis kadar etanol secara kuantitatif, mengevaluasi variasi waktu fermentasi, serta mengkaji perbandingan penggunaan bahan baku secara tunggal dan kombinasi guna memperoleh hasil yang lebih optimal dan komprehensif.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa limbah kulit nanas, bonggol jagung, dan air cucian beras berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol. Proses fermentasi dan distilasi yang dilakukan berhasil menghasilkan cairan dengan karakteristik bioetanol, sehingga menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah organik dapat menjadi salah satu alternatif energi terbarukan yang ramah lingkungan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fermentasi selama 7 hari dengan komposisi substrat 2:1:1 merupakan kondisi yang paling efektif dan efisien untuk produksi bioetanol skala kecil, karena mampu menghasilkan volume destilat yang relatif tinggi dengan proses fermentasi yang berlangsung optimal.

Selain dimanfaatkan sebagai bahan bakar cair, bioetanol yang dihasilkan juga berpotensi digunakan sebagai sumber energi panas untuk pembangkitan energi listrik skala kecil. Pengujian pemanfaatan panas pembakaran bioetanol menggunakan modul termoelektrik TEC1-2706 menunjukkan bahwa panas pembakaran bioetanol dapat dikonversi menjadi energi listrik, yang ditandai dengan dihasilkannya tegangan listrik pada kisaran 0,5–2,5 V dan menyalanya LED sebagai indikator beban. Hal ini membuktikan bahwa bioetanol hasil fermentasi limbah organik tidak hanya berpotensi sebagai bahan bakar alternatif, tetapi juga sebagai sumber energi untuk aplikasi konversi energi sederhana.

Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa bioetanol berbasis limbah organik memiliki potensi ganda, yaitu sebagai bahan bakar terbarukan dan sebagai sumber energi panas yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut untuk pembangkitan energi listrik skala kecil, khususnya pada sistem termoelektrik sederhana.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberto, M., Ibarra-muñoz, L. A., Cristina, A., Ch, F., Dom, J., Tagle-pedroza, A. S., Ulises, J., Salvador, S., Julio, C., Silv, S., & Balagurusamy, N. (2024). *Perspectives and Progress in Bioethanol Processing and Social Economic Impacts*.
- Bachtiar, S., Wahyuningtiyas, R., Sari, N. K., Studi, P., Kimia, T., Teknik, F., & Anyar, G. (2021). *Bioethanol From Wheat Flour Waste BY*. 16(1), 29–34.
- Balat, M., & Balat, H. (2009). Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel. *Applied Energy*, 86(11), 2273–2282. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.03.015>
- Basuki, E., Widyastuti, S., Prarudiyanto, A., Saloko, S., Cicilia, S., & Amaro, M. (n.d.). *Buku Ajar Kimia Pangan* (F. Hijriyanti & T. M. U. Press (eds.)). Mataram University Press.
- Bria, P. M., Maria, S., & Kolo, D. (2024). *Sintesis Bioetanol Dari Limbah Kulit Pisang Kepok Dan Limbah Sabut Pinang Sebagai Energi Terbarukan*. 9, 55–61.
- Fadillah, E. (2022). *Pembuatan Bioetanol Dari Air Limbah Cucian Beras Menggunakan Metode Hidrolisis Enzimatik Dan Fermentasi*. 1(2), 2–6.
- Fathoni, A., & Bate'e, T. N. T. (2025). *Studi Literatur Potensi Pemanfaatan Limbah Dapur sebagai Bahan Baku Bioetanol Skala Rumah Tangga*. 4(4), 5823–5833.
- IEA. (2022). *World Energy Outlook*.
- Imelda, D., Elvistia, F., Putra, A. H., & Syafitrianto, T. (n.d.). *Pemanfaatan Air Cucian Beras untuk Pembuatan Biethanol melalui Proses Hidrolisis dan Fermentasi*. 11(3), 206–209.

- Khoiri, A., Syeh, B. A., Kharisma, H. D., Anwari, L., & Sari, D. A. (2020). *REVIEW*. 5(2), 272–276.
- Luth, M. S. H., Saleh, E. R. M., & Nurjanna Albaar. (2020). *Potensi Produksi Bioetanol dari Limbah Pertanian Lokal di Maluku Utara (Potential of Bioethanol Production from Local Agricultural Waste in. 13, 454–463. <https://doi.org/10.29239/j.agrikan.13.2>*.
- Naik, S. N., Goud, V. V, Rout, P. K., & Dalai, A. K. (2010). *Production of first and second generation biofuels : A comprehensive review. 14, 578–597. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.003>*
- Nur Rahmah Mauliana, Devy Susanty, Nurlela, N. A. (n.d.). *Bioethanol from Rice Washing Wastewater with Variations in Addition of NPK and Fermentation. 8(1), 42–49.*
- Salim, M. A., Zulnazri, Azhari, ZA, N., & Bahri, S. (2024). *Pemanfaatan Limbah Kulit Nanas Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol Menggunakan Ragi Saccharomyces Cereviceace Muhammad Alfis Salim, Zulnazri*, Azhari, Nasrul ZA, Syamsul Bahri. 3(Juni), 433–441.*
- Sun, Y., & Cheng, J. (2002). *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production : a review q. 83, 1–11.*
- Tuhuteru, S., Edward, R., Rumbiak, Y., & Huby, R. T. (2021). *Pelatihan Pengolahan Limbah Kulit Buah Nanas Menjadi Pupuk Organik Cair di Distrik Bokondini Abstrak. 2(2), 45–52.*