



Perbandingan Karakteristik Nyala Api Bioetanol dari Limbah Kulit Singkong dan Kulit Pisang melalui Fermentasi dan Distilasi

Comparative Flame Characteristics of Bioethanol from Cassava Peel and Banana Peel Waste through Fermentation and Distillation

Muhammad Febriyana Ilham Pratama^{1*}, Wawan Purwanto¹, Dwi Sudarno Putra¹, Ahmad Arif¹

Abstrak

Limbah kulit singkong dan kulit pisang berpotensi menjadi bahan baku bioetanol dan mendukung pengolahan limbah organik. Penelitian ini bertujuan membandingkan karakteristik nyala api bioetanol dari kedua limbah tersebut melalui hidrolisis, fermentasi, dan distilasi. Penelitian menggunakan ragi Farmipan sebagai sumber *Saccharomyces cerevisiae* dengan variasi massa 4 g dan 8 g, serta volume bahan bakar 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Parameter yang diamati meliputi kadar gula terlarut, tinggi, luas, dan durasi nyala api. Kulit singkong menghasilkan kadar gula terlarut 66°Brix, sedangkan kulit pisang 16°Brix. Bioetanol kulit pisang 8 g menghasilkan tinggi nyala tertinggi pada seluruh volume. Luas nyala tertinggi diperoleh pada kulit pisang 8 g untuk 1 mL dan kulit singkong 8 g untuk 2–3 mL. Durasi terlama diperoleh pada kulit pisang 4 g untuk 1–2 mL dan kulit singkong 4 g untuk 3 mL. Temuan ini merupakan data awal karena kadar etanol, nilai kalor, rendemen, dan emisi belum diukur.

Kata Kunci

bioetanol; limbah kulit singkong; limbah kulit pisang; *Saccharomyces cerevisiae*; karakteristik nyala api

Abstract

Cassava peel and banana peel wastes have potential as bioethanol feedstocks. This study compared the flame characteristics of bioethanol from these wastes through hydrolysis, fermentation, and distillation. The experiment used Farmipan yeast containing *Saccharomyces cerevisiae* at 4 g and 8 g, with fuel volumes of 1 mL, 2 mL, and 3 mL. The observed parameters were soluble sugar, flame height, flame area, and flame duration. Cassava peel produced 66°Brix soluble sugar, whereas banana peel produced 16°Brix. Banana peel bioethanol with 8 g yeast produced the highest flame height at all volumes. The highest flame area was obtained from banana peel 8 g at 1 mL and cassava peel 8 g at 2–3 mL. The longest duration was obtained from banana peel 4 g at 1–2 mL and cassava peel 4 g at 3 mL. These findings are preliminary because ethanol content, calorific value, yield, and emissions were not measured.

Keywords

bioethanol; cassava peel waste; banana peel waste; *Saccharomyces cerevisiae*; flame characteristics

¹ Departemen Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

* muhammadfebriyanto456@gmail.com

Dikirimkan: 19 Mei 2026. Diterima: 04 Juli 2026. Diterbitkan: 11 Juli 2026.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi yang terus meningkat, bersamaan dengan keterbatasan bahan bakar fosil, mendorong pengembangan bahan bakar alternatif berbasis sumber daya terbarukan. Dalam bidang otomotif dan pendidikan vokasi, bioetanol telah banyak dikaji sebagai salah satu bahan bakar alternatif karena dapat dicampurkan dengan bahan bakar minyak dan berpotensi memengaruhi proses pembakaran serta emisi gas buang. Beberapa penelitian pada JTPVI

menunjukkan bahwa campuran bahan bakar berbasis bioetanol telah digunakan untuk mengkaji emisi gas buang, ketahanan mesin, serta variasi bahan bakar pada sepeda motor [1]–[3]. Kajian-kajian tersebut memperlihatkan bahwa bioetanol masih menjadi topik penting dalam penelitian bahan bakar alternatif, terutama karena berkaitan dengan isu energi, emisi, dan pemanfaatan sumber daya terbarukan.

Bioetanol dapat diproduksi melalui fermentasi bahan organik yang mengandung gula, pati, atau *lignoselulosa*. Secara umum, bioetanol generasi pertama banyak dihasilkan dari bahan pangan, seperti jagung, tebu, dan singkong. Namun, pemanfaatan bahan pangan sebagai bahan baku energi dapat menimbulkan persaingan dengan kebutuhan konsumsi. Oleh karena itu, pengembangan bioetanol generasi kedua lebih diarahkan pada pemanfaatan limbah biomassa, terutama limbah *lignoselulosa* dari pertanian, rumah tangga, dan industri pangan [4]. Biomassa *lignoselulosa* tersusun atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selulosa dan hemiselulosa dapat dikonversi menjadi gula sederhana melalui proses *pretreatment* dan hidrolisis, sedangkan keberadaan lignin dapat menghambat proses penguraian bahan sehingga tahapan *pretreatment* menjadi penting sebelum fermentasi [5].

Kulit singkong merupakan salah satu limbah organik yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku bioetanol karena masih mengandung karbohidrat, pati, dan komponen *lignoselulosa*. Limbah ini banyak dihasilkan dari aktivitas pengolahan singkong, baik pada skala rumah tangga maupun industri pangan. Jika tidak dimanfaatkan, kulit singkong berpotensi menjadi limbah organik yang menumpuk dan menimbulkan masalah lingkungan. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kulit singkong dapat dikonversi menjadi etanol melalui tahapan hidrolisis dan fermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*, tetapi hasilnya dipengaruhi oleh kondisi proses, seperti perlakuan hidrolisis, waktu fermentasi, dan proses pemurnian yang digunakan [6].

Selain kulit singkong, kulit pisang juga memiliki potensi sebagai bahan baku bioetanol karena mengandung karbohidrat dan komponen *lignoselulosa* yang dapat dikonversi menjadi gula fermentabel. Kulit pisang mudah ditemukan sebagai limbah dari pasar, rumah tangga, dan industri makanan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa produksi bioetanol dari kulit pisang dipengaruhi oleh jenis ragi, kondisi hidrolisis, katalis, waktu fermentasi, dan tahap distilasi [7]. Dengan demikian, kulit singkong dan kulit pisang memiliki karakteristik bahan yang berbeda, sehingga keduanya perlu dikaji secara komparatif apabila digunakan sebagai bahan baku bioetanol.

Proses fermentasi bioetanol umumnya menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* karena mikroorganisme ini mampu mengubah gula sederhana menjadi etanol. Namun, kinerja fermentasi tidak hanya ditentukan oleh keberadaan ragi, tetapi juga dipengaruhi oleh konsentrasi gula, pH, suhu, ketersediaan nutrisi, kadar *inhibitor*, dan kondisi medium fermentasi [8]. Massa ragi juga menjadi faktor penting karena jumlah ragi yang terlalu sedikit dapat memperlambat fermentasi, sedangkan jumlah ragi yang terlalu banyak tidak selalu meningkatkan hasil etanol akibat kompetisi nutrisi dan perubahan kondisi medium [9]. Oleh karena itu, variasi massa ragi perlu diperhatikan dalam penelitian bioetanol, terutama ketika bahan baku yang digunakan memiliki komposisi awal yang berbeda.

Sebelum fermentasi, proses hidrolisis diperlukan untuk memecah pati, selulosa, atau hemiselulosa menjadi gula sederhana yang dapat difermentasi. Pada bahan yang kaya pati, perlakuan termal maupun penggunaan enzim dapat membantu mengubah pati menjadi glukosa. Sementara itu, pada bahan *lignoselulosa*, keberhasilan hidrolisis dipengaruhi oleh struktur bahan, ukuran partikel, suhu, pH, jenis katalis, dosis enzim, dan durasi proses. Setelah fermentasi, distilasi dilakukan untuk memisahkan etanol dari campuran hasil fermentasi yang masih mengandung air dan senyawa lain. Faktor-faktor seperti suhu pemanasan, rentang distilasi, dan fraksi distilat yang dikumpulkan dapat memengaruhi karakteristik produk yang dihasilkan [10].

Kualitas awal bioetanol tidak hanya dapat diamati dari proses produksinya, tetapi juga dari karakteristik nyala api yang muncul ketika bahan bakar diuji secara sederhana. Parameter seperti tinggi nyala api, luas nyala api, warna nyala, temperatur nyala, dan durasi pembakaran dapat memberikan gambaran awal mengenai perilaku pembakaran bahan bakar. Penelitian tentang nyala api campuran bahan bakar berbasis bioetanol menunjukkan bahwa komposisi bahan bakar dapat memengaruhi bentuk, tinggi, dan durasi nyala api [11]. Kajian lain juga memperlihatkan bahwa karakteristik nyala api bioetanol dipengaruhi oleh sifat bahan bakar, komposisi campuran, dan kondisi pembakaran [12]. Meskipun demikian, karakteristik nyala api belum cukup untuk menyimpulkan mutu bahan bakar secara menyeluruh tanpa pengujian lanjutan seperti kadar etanol, nilai kalor, densitas, kadar air, viskositas, temperatur nyala, laju konsumsi bahan bakar, dan emisi.

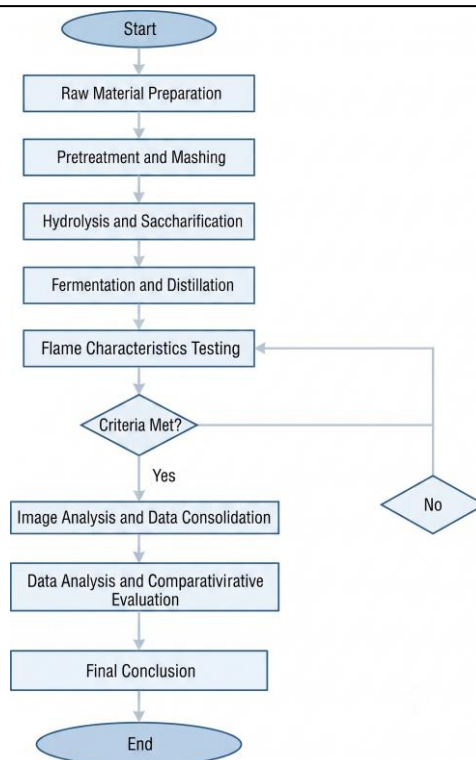
Berdasarkan penelitian terdahulu, produksi bioetanol dari kulit singkong dan kulit pisang telah banyak dikaji, terutama pada aspek kadar etanol, rendemen, lama fermentasi, dan proses hidrolisis. Namun, kajian yang secara langsung membandingkan karakteristik nyala api bioetanol dari kedua limbah tersebut pada variasi massa ragi dan volume bahan bakar yang sama masih terbatas. Celah ini penting karena perbedaan bahan baku, perlakuan fermentasi, dan volume bahan bakar dapat menghasilkan pola nyala yang berbeda. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk membandingkan karakteristik nyala api bioetanol dari limbah kulit singkong dan kulit pisang melalui proses hidrolisis, fermentasi, dan distilasi.

Penelitian ini menggunakan variasi massa ragi *Saccharomyces cerevisiae* sebesar 4 g dan 8 g, serta variasi volume bahan bakar sebesar 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Parameter yang diamati meliputi kadar gula terlarut hasil hidrolisis, tinggi nyala api, luas nyala api, dan durasi nyala api. Kontribusi penelitian ini dibatasi sebagai data awal mengenai perbedaan karakteristik nyala api bioetanol dari limbah kulit singkong dan kulit pisang. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak dimaksudkan untuk menyimpulkan mutu bioetanol secara menyeluruh, tetapi dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan yang melibatkan pengujian kadar etanol, rendemen, densitas, kadar air, nilai kalor, viskositas, laju konsumsi bahan bakar, temperatur nyala, dan emisi pembakaran.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk membandingkan karakteristik nyala api bioetanol dari limbah kulit singkong dan kulit pisang. Tahapan penelitian meliputi akuisisi bahan baku, *pretreatment*, hidrolisis dan sakarifikasi, fermentasi, penyaringan, distilasi, pengujian karakteristik nyala api, analisis citra, konsolidasi data, serta analisis deskriptif kuantitatif. Alur lengkap penelitian ditampilkan pada [Gambar 1](#). Diagram tersebut memperlihatkan urutan kerja penelitian, mulai dari persiapan bahan sampai penarikan kesimpulan berdasarkan parameter yang benar-benar diuji. Tahapan produksi bioetanol berbasis biomassa umumnya melibatkan *pretreatment*, hidrolisis, fermentasi, dan pemisahan produk, sehingga alur tersebut digunakan sebagai dasar penyusunan prosedur penelitian ini [13], [14].

Penelitian dilakukan dengan variasi jenis bahan baku, massa ragi, dan volume bahan bakar. Jenis bahan baku yang digunakan adalah kulit singkong dan kulit pisang. Ragi komersial Farmipan yang mengandung *Saccharomyces cerevisiae* digunakan dengan variasi massa 4 g dan 8 g. Volume bahan bakar pada pengujian nyala api divariasikan menjadi 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Parameter utama yang diamati meliputi tinggi nyala api, luas nyala api, dan durasi nyala api. Etanol murni dan Pertamina digunakan sebagai bahan pembanding untuk melihat posisi karakteristik nyala api bioetanol hasil fermentasi-distilasi terhadap bahan bakar pembanding.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Produksi dan Pengujian Karakteristik Nyala Api Bioetanol dari Limbah Kulit Singkong dan Kulit Pisang

Rancangan penelitian disusun berdasarkan kombinasi perlakuan jenis bahan baku, massa ragi, dan volume bahan bakar. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis bahan baku, massa ragi, dan volume bahan bakar. Variabel terikat adalah tinggi nyala api, luas nyala api, dan durasi nyala api. Variabel kontrol meliputi massa awal bahan, jenis ragi, lama fermentasi, volume fermentasi, alat distilasi, wadah pembakaran, kondisi ruangan, jarak pengambilan gambar, posisi kamera, dan prosedur pengukuran nyala api. Setiap perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali ulangan untuk memperoleh nilai rata-rata pengujian.

Rancangan perlakuan penelitian disajikan pada [Tabel 1](#). Tabel ini digunakan untuk memperjelas kode sampel, jenis bahan baku, massa bahan, massa ragi, lama fermentasi, volume uji, dan parameter yang diamati pada setiap perlakuan.

Tabel 1. Rancangan Perlakuan Penelitian

Kode Sampel	Jenis Bahan Baku	Massa Bahan	Massa Ragi	Lama Fermentasi	Volume Uji	Parameter Uji
KS-4	Kulit singkong	6 kg	4 g	7 hari	1, 2, 3 mL	Tinggi, luas, dan durasi nyala api
KS-8	Kulit singkong	6 kg	8 g	7 hari	1, 2, 3 mL	Tinggi, luas, dan durasi nyala api
KP-4	Kulit pisang	6 kg	4 g	7 hari	1, 2, 3 mL	Tinggi, luas, dan durasi nyala api
KP-8	Kulit pisang	6 kg	8 g	7 hari	1, 2, 3 mL	Tinggi, luas, dan durasi nyala api
E	Etanol murni	-	-	-	1, 2, 3 mL	Tinggi, luas, dan durasi nyala api
P	Pertamax	-	-	-	1, 2, 3 mL	Tinggi, luas, dan durasi nyala api

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah kulit singkong dan kulit pisang. Kulit singkong diperoleh dari UMKM di sekitar lokasi penelitian, sedangkan kulit pisang diperoleh dari penjual gorengan di sekitar lokasi penelitian. Sampel bahan dipilih berdasarkan kondisi fisik yang masih layak digunakan, tidak busuk, tidak berjamur, dan tidak tercampur kotoran atau bahan lain. Kulit singkong dan kulit pisang yang telah dikumpulkan kemudian dibersihkan dan ditimbang sebanyak 6 kg untuk setiap jenis bahan. Pemilihan sumber bahan tersebut dilakukan karena keduanya mudah diperoleh sebagai limbah organik dari aktivitas pengolahan pangan di sekitar lokasi penelitian.

Bahan tambahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi ragi komersial Farmipan sebagai sumber *Saccharomyces cerevisiae*, enzim alpha-amylase, glucoamylase, dan air bersih. Bahan pembanding yang digunakan dalam pengujian nyala api adalah etanol murni dan Pertamina. Alat yang digunakan meliputi blender, pisau, timbangan digital, gelas ukur, wadah fermentasi tertutup, kompor pemanas, termometer, alat distilasi sederhana, wadah penampung distilat, wadah pembakaran, penggaris atau skala ukur, stopwatch, kamera, dan perangkat lunak CorelDRAW untuk membantu pengukuran luas nyala api berdasarkan citra.

Tahap *pretreatment* dilakukan untuk membersihkan bahan, memperkecil ukuran partikel, dan mempermudah proses hidrolisis. Kulit singkong dan kulit pisang dicuci menggunakan air bersih untuk menghilangkan tanah dan kotoran yang menempel. Setelah itu, bahan dipotong kecil-kecil dengan ukuran relatif seragam. Pada kulit singkong, dilakukan perendaman menggunakan air bersih selama 24 jam untuk membantu melunakkan jaringan bahan dan mengurangi kandungan racun alami yang terdapat pada kulit singkong. Selama proses perendaman, air rendaman tidak diganti. Setelah perendaman selesai, kulit singkong digunakan pada tahap berikutnya. Pada kulit pisang, bahan langsung digunakan setelah pencucian, penimbangan, dan pemotongan tanpa perlakuan perendaman khusus. Setelah *pretreatment* selesai, masing-masing bahan dihaluskan menggunakan blender hingga diperoleh bubur atau sari pati bahan. Tahap pengecilan ukuran dan *pretreatment* penting dilakukan karena dapat meningkatkan aksesibilitas bahan terhadap proses hidrolisis [15].

Proses hidrolisis dan sakarifikasi dilakukan untuk mengubah pati dan karbohidrat kompleks menjadi gula sederhana yang dapat difermentasi. Bubur atau sari pati kulit singkong dan kulit pisang dimasukkan ke dalam wadah pemanas, kemudian dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam sambil diaduk secara berkala agar pemanasan berlangsung merata. Kadar gula terlarut hasil hidrolisis diukur dalam satuan °Brix sebagai informasi awal kandungan gula terlarut sebelum fermentasi.

Pada sampel kulit singkong, enzim alpha-amylase ditambahkan sebanyak 1 mL per 1 L sari pati kulit singkong ketika suhu hidrolisis mencapai 100°C. Setelah penambahan alpha-amylase, larutan didinginkan hingga suhu 60°C, kemudian ditambahkan enzim glucoamylase sebanyak 1 mL per 1 L sari pati kulit singkong. Penambahan alpha-amylase dan glucoamylase dilakukan untuk membantu pemecahan pati menjadi gula sederhana. Perlakuan enzim ini diberikan pada kulit singkong karena kulit singkong memiliki kandungan pati yang lebih dominan dibandingkan kulit pisang. Setelah proses hidrolisis selesai, sampel didinginkan hingga mencapai suhu ruang sebelum memasuki tahap fermentasi.

Tahap fermentasi dilakukan menggunakan ragi komersial Farmipan dengan variasi massa ragi 4 g dan 8 g. Sampel hasil hidrolisis dimasukkan ke dalam wadah fermentasi tertutup dengan volume fermentasi sebesar 3 L. Ragi ditambahkan sesuai perlakuan, kemudian campuran diaduk hingga homogen. Fermentasi dilakukan selama 7 hari pada suhu ruang yang terukur sekitar 35°C hingga 40°C. Proses fermentasi dilakukan dalam wadah tertutup untuk meminimalkan kontak dengan udara luar dan mengurangi risiko kontaminasi. Wadah fermentasi dibersihkan sebelum digunakan dan ditutup rapat selama proses fermentasi berlangsung. Variasi massa ragi digunakan karena jumlah ragi dapat memengaruhi proses

fermentasi, tetapi pengaruhnya tetap bergantung pada ketersediaan gula, kondisi medium, suhu, dan waktu fermentasi [16]. Parameter pH akhir dan kadar etanol tidak diukur sehingga tidak digunakan sebagai dasar utama dalam penarikan kesimpulan.

Setelah fermentasi selesai, larutan hasil fermentasi dipisahkan dari ampas kasar melalui proses penyaringan. Filtrat hasil fermentasi kemudian didistilasi untuk memisahkan distilat dari campuran hasil fermentasi. Distilasi dilakukan menggunakan alat distilasi sederhana yang terdiri atas wadah pemanas, kondensor, dan wadah penampung distilat. Pemanasan dilakukan pada rentang suhu 78°C sampai 85°C, dengan suhu distilasi yang diamati sekitar 80°C. Suhu diamati menggunakan termometer selama proses distilasi berlangsung. Distilat dikumpulkan hingga 100 mL untuk setiap perlakuan. Rendemen tidak dihitung sehingga tidak digunakan sebagai dasar pembahasan utama.

Pengujian karakteristik nyala api dilakukan terhadap bioetanol kulit singkong, bioetanol kulit pisang, etanol murni, dan Pertamina. Setiap bahan bakar diuji menggunakan volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Sampel bahan bakar dimasukkan ke dalam wadah pembakaran yang sama untuk setiap perlakuan. Pengujian dilakukan pada kondisi ruangan dengan aliran udara seminimal mungkin agar bentuk nyala api tidak banyak dipengaruhi oleh angin. Jarak kamera terhadap titik api dibuat tetap, yaitu 30 cm, dan posisi kamera diletakkan sejajar dengan nyala api. Skala ukur berupa penggaris diletakkan di dekat nyala api sebagai acuan pengukuran tinggi nyala dan kalibrasi luas nyala. Pengendalian volume bahan bakar, geometri wadah, dan kondisi lingkungan pengujian diperlukan karena faktor-faktor tersebut dapat memengaruhi bentuk, durasi, dan penyebaran nyala api pada pengujian bahan bakar berbasis bioetanol [17].

Tinggi nyala api diukur berdasarkan jarak vertikal dari dasar nyala sampai ujung tertinggi nyala api dengan satuan milimeter. Durasi nyala api diukur menggunakan stopwatch sejak api mulai menyala sampai api padam. Luas nyala api dihitung berdasarkan dokumentasi gambar nyala api. Gambar nyala api dianalisis menggunakan CorelDRAW dengan skala kalibrasi berdasarkan penggaris yang terlihat pada gambar. Area nyala api ditentukan dengan menyeleksi bagian nyala yang tampak jelas, kemudian dihitung dalam satuan mm². Setiap hasil pengukuran dicatat dalam tabel data untuk masing-masing perlakuan.

Data hasil penelitian dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Data yang dianalisis meliputi kadar gula terlarut dalam satuan °Brix, suhu proses hidrolisis, suhu proses distilasi, tinggi nyala api, luas nyala api, dan durasi nyala api. Data tinggi nyala api, luas nyala api, dan durasi nyala api disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Karena setiap perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali ulangan, data hasil pengujian disajikan dalam bentuk nilai rata-rata. Penarikan kesimpulan dibatasi pada parameter yang benar-benar diuji dan disajikan, yaitu kadar gula terlarut, suhu proses, tinggi nyala api, luas nyala api, dan durasi nyala api. Parameter kadar etanol, densitas, nilai kalor, rendemen, pH akhir, viskositas, titik nyala, laju konsumsi bahan bakar, temperatur nyala, dan emisi tidak digunakan sebagai dasar penentuan mutu bioetanol karena tidak disajikan sebagai data hasil pengujian dalam penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Pendukung Proses Hidrolisis dan Distilasi

Sebelum pengujian karakteristik nyala api dilakukan, limbah kulit singkong dan kulit pisang diproses melalui tahapan *pretreatment*, hidrolisis, fermentasi, penyaringan, dan distilasi. Data pendukung proses yang diperoleh dalam penelitian ini meliputi kadar gula terlarut hasil hidrolisis, suhu hidrolisis, durasi hidrolisis, suhu penambahan enzim pada sampel kulit singkong, suhu distilasi, rentang suhu pengamatan distilasi, dan volume distilat. Data tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Pendukung Proses Hidrolisis dan Distilasi Bioetanol Kulit Pisang dan Kulit Singkong

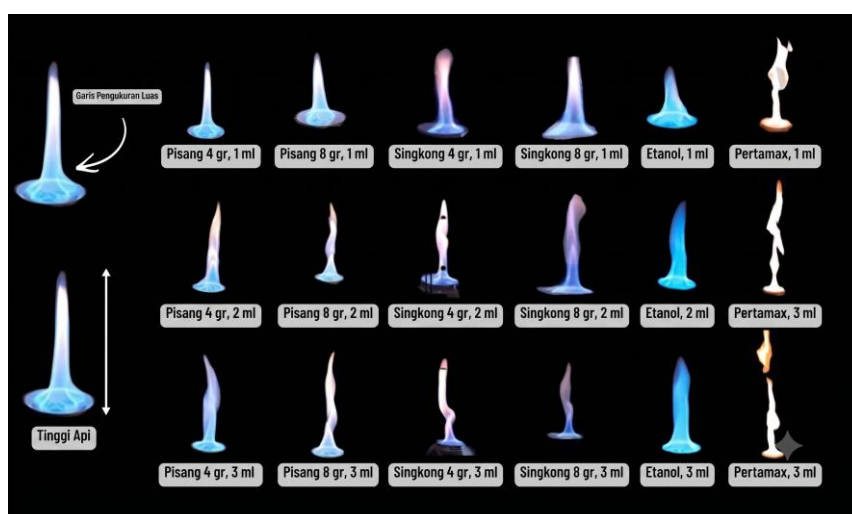
No	Parameter	Kulit Pisang	Kulit Singkong
1	Kadar gula terlarut hasil hidrolisis	16°Brix	66°Brix
2	Suhu hidrolisis	100°C	100°C
3	Durasi hidrolisis	1 jam	1 jam
4	Suhu penambahan alpha-amylase	-	100°C
5	Suhu penambahan glucoamylase	-	60°C
6	Suhu distilasi	80°C	80°C
7	Rentang suhu pengamatan distilasi	78–85°C	78–85°C
8	Volume distilat	100 mL	100 mL

Berdasarkan [Tabel 2](#), kadar gula terlarut hasil hidrolisis pada kulit singkong lebih tinggi dibandingkan kulit pisang. Kulit singkong menghasilkan kadar gula terlarut sebesar 66°Brix, sedangkan kulit pisang menghasilkan 16°Brix. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sari pati kulit singkong memiliki kadar gula terlarut lebih besar setelah proses hidrolisis. Namun, karena kadar etanol tidak diukur dalam penelitian ini, nilai °Brix hanya digunakan sebagai data pendukung proses, bukan sebagai dasar untuk menyimpulkan kadar etanol bioetanol yang dihasilkan.

Pada sampel kulit singkong, penambahan alpha-amylase dilakukan ketika suhu hidrolisis mencapai 100°C, sedangkan glucoamylase ditambahkan setelah suhu larutan turun menjadi 60°C. Perlakuan enzim ini diberikan untuk membantu pemecahan pati menjadi gula sederhana. Perbedaan perlakuan hidrolisis antara kulit singkong dan kulit pisang dicatat sebagai informasi proses karena karakteristik nyala api yang diperoleh dapat berkaitan dengan karakteristik bahan baku dan perlakuan hidrolisis yang digunakan.

Karakteristik Visual Nyala Api

Pengamatan visual nyala api dilakukan untuk mendokumentasikan bentuk, warna, tinggi, dan penyebaran nyala pada setiap jenis bahan bakar. Sampel yang diuji meliputi bioetanol kulit pisang dengan ragi 4 g dan 8 g, bioetanol kulit singkong dengan ragi 4 g dan 8 g, etanol murni, serta Pertamina. Setiap sampel diuji pada variasi volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Dokumentasi visual nyala api pada setiap perlakuan disajikan pada [Gambar 2](#).



Gambar 2. Karakteristik Visual Nyala Api Bioetanol Kulit Pisang, Bioetanol Kulit Singkong, Etanol Murni, dan Pertamina pada Variasi Volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL

Berdasarkan [Gambar 2](#), setiap bahan bakar menunjukkan bentuk dan penyebaran nyala api yang berbeda. Bioetanol kulit pisang dan bioetanol kulit singkong menghasilkan tampilan nyala yang bervariasi pada setiap volume pengujian. Etanol murni dan Pertamina digunakan sebagai bahan pembanding untuk memperlihatkan posisi visual nyala bioetanol hasil fermentasi-distilasi terhadap bahan bakar pembanding.

Pengamatan visual pada [Gambar 2](#) digunakan sebagai dokumentasi awal untuk memperlihatkan perbedaan karakteristik nyala api antarperlakuan. Namun, interpretasi utama dalam penelitian ini tidak hanya didasarkan pada tampilan visual, tetapi juga diperkuat melalui data kuantitatif berupa tinggi nyala api, luas nyala api, dan durasi nyala api. Oleh karena itu, warna dan bentuk nyala api tidak digunakan sebagai satu-satunya dasar untuk menyimpulkan mutu atau efisiensi pembakaran bahan bakar.

Karakteristik Tinggi Nyala Api

Tinggi nyala api diukur untuk mengetahui perbedaan ketinggian nyala dari masing-masing bahan bakar pada volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Data tinggi nyala api disajikan pada [Tabel 3](#) sebagai nilai rata-rata dari tiga ulangan pengujian.

***Tabel 3.** Rata-Rata Tinggi Nyala Api Berbagai Jenis Bahan Bakar pada Variasi Volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL*

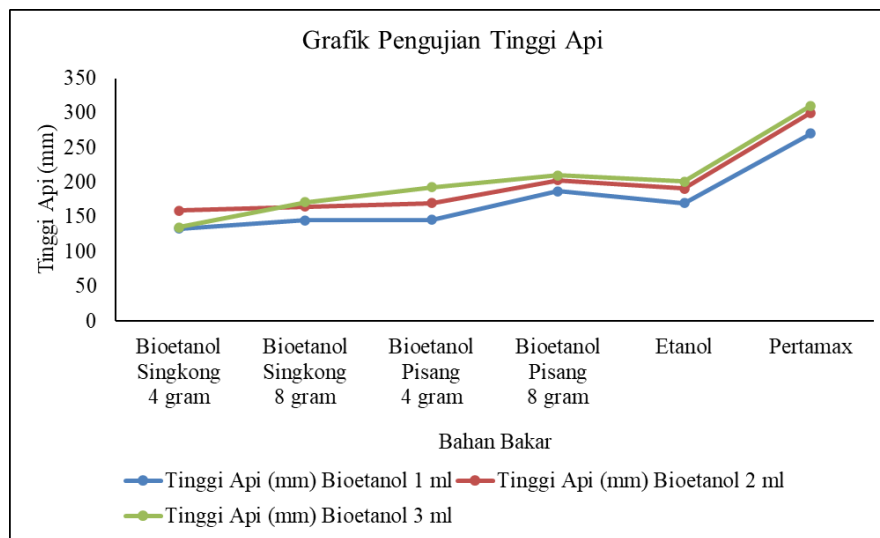
No.	Jenis Bahan Bakar	Massa Ragi	1 mL (mm)	2 mL (mm)	3 mL (mm)
1	Bioetanol kulit singkong	4 g	133	159	135
2	Bioetanol kulit singkong	8 g	145	165	171
3	Bioetanol kulit pisang	4 g	146	170	193
4	Bioetanol kulit pisang	8 g	187	203	210
5	Etanol murni	-	170	191	201
6	Pertamax	-	270	300	310

Berdasarkan [Tabel 3](#), tinggi nyala api pada sampel bioetanol menunjukkan perbedaan pada setiap jenis bahan baku dan massa ragi. Bioetanol kulit pisang dengan ragi 8 g menghasilkan rata-rata tinggi nyala api tertinggi di antara sampel bioetanol pada seluruh variasi volume, yaitu 187 mm pada volume 1 mL, 203 mm pada volume 2 mL, dan 210 mm pada volume 3 mL. Sementara itu, bioetanol kulit singkong dengan ragi 4 g menghasilkan rata-rata tinggi nyala api sebesar 133 mm pada volume 1 mL, 159 mm pada volume 2 mL, dan 135 mm pada volume 3 mL.

Pada sampel bioetanol kulit singkong, perlakuan ragi 8 g menghasilkan rata-rata tinggi nyala api lebih besar dibandingkan ragi 4 g pada seluruh variasi volume. Bioetanol kulit singkong 8 g menghasilkan rata-rata tinggi nyala api sebesar 145 mm, 165 mm, dan 171 mm pada volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Pola serupa terlihat pada bioetanol kulit pisang, yaitu sampel dengan ragi 8 g menghasilkan rata-rata tinggi nyala api lebih besar dibandingkan sampel dengan ragi 4 g pada seluruh volume pengujian.

Jika dibandingkan dengan bahan pembanding, Pertamina menghasilkan rata-rata tinggi nyala api paling besar pada seluruh variasi volume, yaitu 270 mm pada volume 1 mL, 300 mm pada volume 2 mL, dan 310 mm pada volume 3 mL. Etanol murni menghasilkan rata-rata tinggi nyala api sebesar 170 mm, 191 mm, dan 201 mm pada volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Dengan demikian, data tinggi nyala api dalam penelitian ini digunakan untuk membandingkan karakteristik nyala, bukan untuk menyimpulkan efisiensi pembakaran atau nilai kalor bahan bakar.

Pola tinggi nyala api pada setiap jenis bahan bakar juga ditampilkan secara grafis pada [Gambar 3](#). Grafik ini membantu memperlihatkan perbedaan tinggi nyala api antarperlakuan pada volume bahan bakar yang berbeda.



Gambar 3. Grafik Rata-Rata Tinggi Nyala Api Berbagai Jenis Bahan Bakar pada Variasi Volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL

Berdasarkan [Gambar 3](#), tinggi nyala api pada beberapa sampel meningkat ketika volume bahan bakar bertambah dari 1 mL ke 3 mL. Pada kelompok bioetanol, sampel kulit pisang dengan ragi 8 g berada pada posisi tertinggi dibandingkan sampel bioetanol lainnya pada seluruh variasi volume. Pertamina tetap menunjukkan rata-rata tinggi nyala api paling besar dibandingkan seluruh bahan bakar yang diuji.

Karakteristik Luas Nyala Api

Luas nyala api digunakan untuk mengetahui area penyebaran nyala pada masing-masing bahan bakar. Luas nyala api dihitung berdasarkan dokumentasi gambar nyala api yang dianalisis menggunakan CorelDRAW dengan skala kalibrasi penggaris. Data luas nyala api disajikan pada [Tabel 4](#) sebagai nilai rata-rata dari tiga ulangan pengujian.

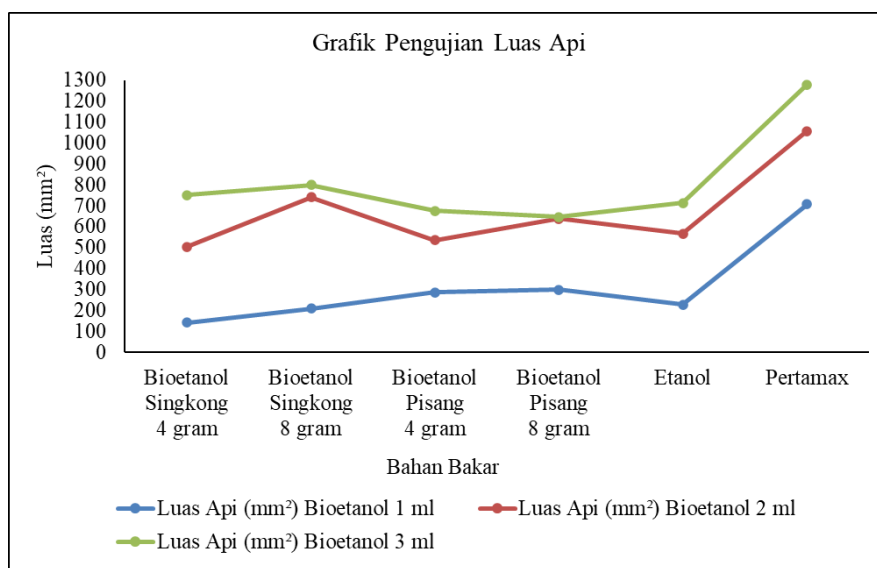
Tabel 4. Rata-Rata Luas Nyala Api Berbagai Jenis Bahan Bakar pada Variasi Volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL

No.	Jenis Bahan Bakar	Massa Ragi	1 mL (mm ²)	2 mL (mm ²)	3 mL (mm ²)
1	Bioetanol kulit singkong	4 g	142	504	752
2	Bioetanol kulit singkong	8 g	210	741	800
3	Bioetanol kulit pisang	4 g	287	536	676,7
4	Bioetanol kulit pisang	8 g	300	639	646
5	Etanol murni	-	228	567	714
6	Pertamax	-	707	1056	1278

Berdasarkan [Tabel 4](#), luas nyala api pada sampel bioetanol menunjukkan pola yang berbeda pada setiap volume bahan bakar. Pada volume 1 mL, rata-rata luas nyala api terbesar pada kelompok bioetanol ditunjukkan oleh bioetanol kulit pisang 8 g sebesar 300 mm². Pada volume 2 mL dan 3 mL, rata-rata luas nyala api terbesar ditunjukkan oleh bioetanol kulit singkong 8 g, masing-masing sebesar 741 mm² dan 800 mm². Selanjutnya, bioetanol kulit

singkong 4 g menghasilkan rata-rata luas nyala api sebesar 142 mm² pada volume 1 mL, 504 mm² pada volume 2 mL, dan 752 mm² pada volume 3 mL. Sementara itu, bioetanol kulit pisang 4 g menghasilkan rata-rata luas nyala api sebesar 287 mm², 536 mm², dan 676,7 mm² pada volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Data tersebut menunjukkan bahwa luas nyala api tidak memiliki pola peningkatan yang sama pada seluruh jenis bahan baku dan massa ragi.

Jika dibandingkan dengan bahan pembanding, Pertamina menghasilkan rata-rata luas nyala api paling besar pada seluruh variasi volume, yaitu 707 mm² pada volume 1 mL, 1056 mm² pada volume 2 mL, dan 1278 mm² pada volume 3 mL. Etanol murni menghasilkan rata-rata luas nyala api sebesar 228 mm², 567 mm², dan 714 mm² pada volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Oleh karena itu, hasil luas nyala api dalam penelitian ini digunakan untuk membandingkan area penyebaran nyala, bukan untuk menyimpulkan efisiensi pembakaran secara menyeluruh. Pola luas nyala api pada setiap jenis bahan bakar ditampilkan pada [Gambar 4](#). Grafik ini memperjelas perbandingan area nyala api pada setiap perlakuan dan volume bahan bakar.



Gambar 4. Grafik Rata-Rata Luas Nyala Api Berbagai Jenis Bahan Bakar pada Variasi Volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL

Berdasarkan [Gambar 4](#), Pertamina memiliki rata-rata luas nyala api paling besar pada seluruh variasi volume. Pada kelompok bioetanol, bioetanol kulit pisang dengan ragi 8 g menunjukkan rata-rata luas nyala api terbesar pada volume 1 mL, sedangkan bioetanol kulit singkong dengan ragi 8 g menunjukkan rata-rata luas nyala api terbesar pada volume 2 mL dan 3 mL. Grafik ini juga menunjukkan bahwa peningkatan volume bahan bakar tidak selalu menghasilkan pola luas nyala yang sama pada setiap sampel bioetanol.

Karakteristik Durasi Nyala Api

Durasi nyala api diukur untuk mengetahui lama waktu bahan bakar mempertahankan nyala sejak api mulai menyala sampai padam. Data durasi nyala api disajikan pada [Tabel 5](#) sebagai nilai rata-rata dari tiga ulangan pengujian. Berdasarkan [Tabel 5](#), durasi nyala api pada sampel bioetanol menunjukkan perbedaan pada setiap volume bahan bakar. Pada volume 1 mL dan 2 mL, rata-rata durasi nyala api terlama pada kelompok bioetanol ditunjukkan oleh bioetanol kulit pisang 4 g, yaitu 37 detik dan 64 detik. Pada volume 3 mL, rata-rata durasi nyala api terlama ditunjukkan oleh bioetanol kulit singkong 4 g, yaitu 80 detik.

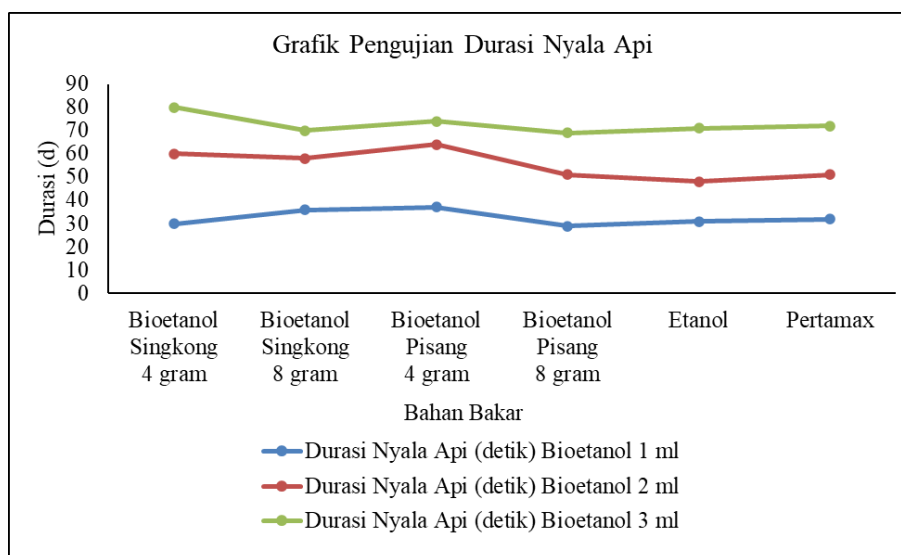
Tabel 5. Rata-Rata Durasi Nyala Api Berbagai Jenis Bahan Bakar pada Variasi Volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL

No.	Jenis Bahan Bakar	Massa Ragi	1 mL (detik)	2 mL (detik)	3 mL (detik)
1	Bioetanol kulit singkong	4 g	30	60	80
2	Bioetanol kulit singkong	8 g	36	58	70
3	Bioetanol kulit pisang	4 g	37	64	74
4	Bioetanol kulit pisang	8 g	29	51	69
5	Etanol murni	-	31	48	71
6	Pertamax	-	32	51	72

Bioetanol kulit singkong 4 g menghasilkan rata-rata durasi nyala api sebesar 30 detik pada volume 1 mL, 60 detik pada volume 2 mL, dan 80 detik pada volume 3 mL. Sementara itu, bioetanol kulit singkong 8 g menghasilkan rata-rata durasi nyala api sebesar 36 detik, 58 detik, dan 70 detik pada volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Pada bioetanol kulit pisang, sampel dengan ragi 4 g menghasilkan rata-rata durasi 37 detik, 64 detik, dan 74 detik, sedangkan sampel dengan ragi 8 g menghasilkan rata-rata durasi 29 detik, 51 detik, dan 69 detik.

Pada bahan perbandingan, etanol murni menghasilkan rata-rata durasi nyala api sebesar 31 detik, 48 detik, dan 71 detik pada volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Pertamax menghasilkan rata-rata durasi nyala api sebesar 32 detik, 51 detik, dan 72 detik pada volume yang sama. Durasi nyala api yang lebih lama belum dapat digunakan sebagai satu-satunya indikator mutu bahan bakar karena penelitian ini belum mengukur kadar etanol, nilai kalor, kadar air, laju konsumsi bahan bakar, temperatur nyala, dan emisi pembakaran.

Pola durasi nyala api pada setiap jenis bahan bakar ditampilkan pada [Gambar 5](#). Grafik ini memperlihatkan perbedaan lama nyala pada setiap perlakuan dan volume bahan bakar.



Gambar 5. Grafik Rata-Rata Durasi Nyala Api Berbagai Jenis Bahan Bakar pada Variasi Volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL

Berdasarkan [Gambar 5](#), durasi nyala api menunjukkan perbedaan pada setiap jenis bahan bakar dan volume pengujian. Pada kelompok bioetanol, bioetanol kulit pisang dengan ragi 4 g menghasilkan rata-rata durasi nyala api paling lama pada volume 1 mL dan 2 mL, sedangkan bioetanol kulit singkong dengan ragi 4 g menghasilkan rata-rata durasi nyala api paling lama

pada volume 3 mL. Dengan demikian, tidak terdapat satu perlakuan bioetanol yang selalu menghasilkan nilai tertinggi pada seluruh parameter nyala api.

Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik nyala api bioetanol dari limbah kulit singkong dan kulit pisang tidak dapat dijelaskan hanya dari satu parameter. Berdasarkan [Tabel 3](#) sampai [Tabel 5](#), tidak terdapat satu perlakuan bioetanol yang selalu menghasilkan nilai tertinggi pada seluruh parameter nyala api. Bioetanol kulit pisang dengan ragi 8 g menghasilkan rata-rata tinggi nyala api tertinggi pada seluruh variasi volume, sedangkan bioetanol kulit singkong dengan ragi 8 g menghasilkan rata-rata luas nyala api tertinggi pada volume 2 mL dan 3 mL. Sementara itu, durasi nyala api terlama diperoleh pada bioetanol kulit pisang dengan ragi 4 g untuk volume 1 mL dan 2 mL, serta bioetanol kulit singkong dengan ragi 4 g untuk volume 3 mL. Pola ini menunjukkan bahwa tinggi, luas, dan durasi nyala api merepresentasikan aspek pembakaran yang berbeda, sehingga tidak dapat disederhanakan menjadi satu indikator tunggal mutu bahan bakar.

Perbedaan karakteristik nyala tersebut perlu dibaca dalam konteks bahan baku dan proses produksi bioetanol. Bioetanol dari biomassa *lignoselulosa* umumnya dipengaruhi oleh komposisi bahan, efektivitas *pretreatment*, hidrolisis, fermentasi, dan pemisahan produk [\[4\]](#), [\[5\]](#). Pada penelitian berbasis kulit singkong, konversi bahan menjadi etanol dipengaruhi oleh proses hidrolisis dan fermentasi karena kulit singkong masih mengandung pati dan fraksi *lignoselulosa* yang perlu dipecah menjadi gula fermentabel [\[6\]](#). Pada bahan kulit pisang, proses produksi bioetanol juga dipengaruhi oleh kondisi hidrolisis, jenis ragi, dan distilasi karena struktur bahan dan kandungan karbohidratnya berbeda dari kulit singkong [\[7\]](#). Dengan demikian, perbedaan hasil nyala api pada penelitian ini lebih tepat dipahami sebagai hasil dari kombinasi karakteristik bahan baku dan kondisi proses, bukan sebagai bukti bahwa salah satu bahan baku secara mutlak lebih baik daripada yang lain.

Data pendukung pada [Tabel 2](#) menunjukkan bahwa kulit singkong menghasilkan kadar gula terlarut hasil hidrolisis sebesar 66°Brix, sedangkan kulit pisang menghasilkan 16°Brix. Nilai ini mengindikasikan bahwa cairan hasil hidrolisis kulit singkong memiliki kadar gula terlarut lebih tinggi sebelum fermentasi. Namun, nilai °Brix tidak dapat langsung digunakan untuk menyimpulkan kadar etanol karena fermentasi masih dipengaruhi oleh kemampuan *Saccharomyces cerevisiae* dalam memanfaatkan substrat, kondisi suhu, pH, nutrisi, *inhibitor*, dan dinamika medium fermentasi [\[8\]](#). Variasi massa ragi juga tidak selalu menghasilkan kenaikan etanol secara linier karena jumlah ragi yang lebih besar dapat berkaitan dengan kompetisi nutrisi dan perubahan kondisi medium fermentasi [\[9\]](#). Oleh karena itu, meskipun kulit singkong memiliki nilai °Brix lebih tinggi, data tersebut belum cukup untuk menyimpulkan bahwa bioetanol kulit singkong memiliki kadar etanol lebih tinggi daripada bioetanol kulit pisang.

Interpretasi terhadap [Tabel 2](#) juga perlu mempertimbangkan bahwa perlakuan hidrolisis antara kulit singkong dan kulit pisang tidak sepenuhnya sama. Pada sampel kulit singkong, penambahan alpha-amylase dan glucoamylase dilakukan untuk membantu pemecahan pati menjadi gula sederhana, sedangkan kulit pisang tidak memperoleh perlakuan enzim yang sama. Kondisi ini penting karena proses hidrolisis, jenis katalis atau enzim, dan kondisi fermentasi dapat memengaruhi pembentukan gula fermentabel serta hasil distilasi bioetanol [\[10\]](#), [\[13\]](#), [\[14\]](#). Dengan demikian, perbedaan kadar gula terlarut dan karakteristik nyala api tidak hanya dapat dikaitkan dengan perbedaan bahan baku, tetapi juga dengan perbedaan perlakuan proses yang diberikan sebelum fermentasi.

Berdasarkan [Tabel 3](#) dan [Gambar 3](#), bioetanol kulit pisang dengan ragi 8 g menghasilkan rata-rata tinggi nyala api tertinggi di antara seluruh sampel bioetanol pada volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Hasil ini menunjukkan bahwa sampel tersebut memiliki karakter nyala yang lebih tinggi pada kondisi pengujian yang dilakukan. Namun, tinggi nyala api belum dapat ditafsirkan

sebagai indikator langsung nilai kalor, kadar etanol, atau efisiensi pembakaran. Pada bahan bakar berbasis etanol, karakteristik nyala dapat dipengaruhi oleh kadar air, volatilitas, komposisi campuran, dan kondisi pembakaran [17]. Penelitian mengenai *hydrous ethanol* juga menunjukkan bahwa kandungan air dalam etanol dapat memengaruhi kecepatan pembakaran laminar dan stabilitas nyala [18]. Karena penelitian ini belum mengukur kadar etanol dan kadar air, tinggi nyala api hanya dapat diposisikan sebagai parameter visual-kuantitatif awal, bukan bukti kualitas energi bahan bakar secara menyeluruh.

Pola pada [Tabel 4](#) dan [Gambar 4](#) memperlihatkan bahwa luas nyala api tidak selalu mengikuti pola yang sama dengan tinggi nyala api. Bioetanol kulit pisang 8 g menghasilkan rata-rata luas nyala api tertinggi pada volume 1 mL, sedangkan bioetanol kulit singkong 8 g menghasilkan rata-rata luas nyala api tertinggi pada volume 2 mL dan 3 mL. Hal ini menunjukkan bahwa tinggi nyala dan luas nyala merekam karakter nyala yang berbeda. Tinggi nyala lebih menekankan dimensi vertikal api, sedangkan luas nyala menggambarkan penyebaran area visual api. Dalam kajian pembakaran bahan bakar cair, karakteristik nyala dipengaruhi oleh komposisi bahan bakar, suplai udara, penguapan bahan bakar, dan geometri pembakaran [19]. Studi mengenai *ethanol-gasoline pool fire* juga menunjukkan bahwa karakteristik nyala, termasuk *flame height*, tidak hanya ditentukan oleh jenis bahan bakar, tetapi juga oleh kondisi lingkungan dan komposisi campuran [20]. Oleh karena itu, perbedaan luas nyala pada penelitian ini perlu dipahami sebagai variasi area visual nyala pada kondisi pengujian, bukan sebagai ukuran langsung efisiensi pembakaran.

Durasi nyala api pada [Tabel 5](#) dan [Gambar 5](#) menunjukkan pola yang berbeda dari tinggi dan luas nyala api. Bioetanol kulit pisang 4 g menghasilkan rata-rata durasi terlama pada volume 1 mL dan 2 mL, sedangkan bioetanol kulit singkong 4 g menghasilkan durasi terlama pada volume 3 mL. Durasi pembakaran yang lebih lama tidak selalu berarti bahan bakar memiliki mutu lebih baik. Durasi yang panjang dapat berkaitan dengan laju penguapan dan laju konsumsi bahan bakar yang lebih lambat, tetapi penelitian ini tidak mengukur massa awal-akhir bahan bakar, laju konsumsi bahan bakar, temperatur nyala, atau nilai kalor. Penelitian *pool fire* pada bahan bakar campuran menunjukkan bahwa bentuk nyala, *burning behavior*, dan durasi pembakaran dapat berubah sesuai komposisi bahan bakar dan kondisi wadah pembakaran [21]. Karena itu, durasi nyala dalam penelitian ini lebih tepat diposisikan sebagai parameter waktu pembakaran pada volume tertentu, bukan sebagai indikator tunggal kualitas bahan bakar.

Jika dibandingkan dengan bahan pembanding, Pertamina menghasilkan rata-rata tinggi dan luas nyala api terbesar pada semua variasi volume. Perbedaan ini wajar karena Pertamina merupakan bahan bakar komersial berbasis hidrokarbon dengan karakter volatilitas dan komposisi berbeda dari distilat bioetanol hasil fermentasi. Etanol murni juga menunjukkan karakter nyala yang berbeda dari sampel bioetanol kulit singkong dan kulit pisang. Penelitian mengenai campuran etanol-bensin menunjukkan bahwa penambahan etanol dapat mengubah karakter pembakaran dan emisi karena perbedaan sifat oksigenasi, volatilitas, dan strategi pembakaran [22], [23]. Namun, hasil penelitian ini tidak dimaksudkan untuk membandingkan performa bioetanol secara langsung dengan bahan bakar komersial, melainkan untuk menempatkan karakteristik nyala bioetanol hasil fermentasi-distilasi dalam konteks bahan pembanding yang lebih dikenal.

Hasil pada penelitian ini juga memperlihatkan bahwa karakteristik visual pada [Gambar 2](#) perlu dibaca bersama data kuantitatif pada [Tabel 3](#) sampai [Tabel 5](#). Dokumentasi visual membantu memperlihatkan bentuk, warna, dan penyebaran nyala api, tetapi visual saja tidak cukup untuk menentukan mutu bahan bakar. Dalam produksi bioetanol dari limbah buah atau limbah pertanian, penilaian produk umumnya perlu dilengkapi dengan data kadar etanol, rendemen, densitas, kadar air, dan nilai kalor agar karakter bahan bakar dapat dinilai lebih utuh

[24], [25]. Dengan demikian, pengamatan visual nyala api dalam penelitian ini berfungsi sebagai dokumentasi pendukung, sedangkan interpretasi utama tetap dibatasi pada tinggi, luas, dan durasi nyala api.

Kontribusi penelitian ini terletak pada penyediaan data awal mengenai perbandingan karakteristik nyala api bioetanol dari dua jenis limbah organik yang mudah diperoleh, yaitu kulit singkong dan kulit pisang. Kajian bioetanol terbaru menekankan bahwa pemanfaatan limbah biomassa perlu didukung oleh analisis proses produksi dan teknik karakterisasi yang memadai agar potensi bahan baku dapat dinilai secara lebih objektif [26]. Dalam konteks ini, penelitian ini memperluas data awal mengenai bioetanol dari limbah organik dengan membandingkan tinggi, luas, dan durasi nyala pada variasi massa ragi dan volume bahan bakar yang sama. Namun, kontribusi tersebut tetap bersifat pendahuluan karena belum mencakup karakterisasi mutu bahan bakar secara lengkap.

Secara praktis, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar awal untuk merancang pengujian lanjutan bioetanol dari limbah kulit singkong dan kulit pisang. Jika penelitian berikutnya ingin menilai mutu bahan bakar secara lebih kuat, pengujian perlu dilengkapi dengan kadar etanol, densitas, kadar air, viskositas, titik nyala, nilai kalor, laju konsumsi bahan bakar, temperatur nyala, dan emisi pembakaran. Studi pada mesin berbahan bakar bioetanol menunjukkan bahwa evaluasi bahan bakar alternatif umumnya membutuhkan parameter performa dan emisi agar interpretasi pembakaran menjadi lebih komprehensif [27]. Oleh karena itu, hasil penelitian ini sebaiknya ditempatkan sebagai data awal karakteristik nyala api, bukan sebagai kesimpulan akhir mengenai kelayakan, efisiensi, atau mutu bioetanol sebagai bahan bakar.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah kulit singkong dan kulit pisang dapat diproses melalui tahapan *pretreatment*, hidrolisis, fermentasi menggunakan ragi komersial Farmipan yang mengandung *Saccharomyces cerevisiae*, dan distilasi untuk menghasilkan sampel bahan bakar yang dapat diuji karakteristik nyala apinya. Hasil hidrolisis menunjukkan bahwa kulit singkong memiliki kadar gula terlarut lebih tinggi, yaitu 66°Brix, dibandingkan kulit pisang sebesar 16°Brix. Namun, karena kadar etanol tidak diukur, nilai °Brix hanya dapat digunakan sebagai data pendukung proses dan tidak dapat dijadikan dasar untuk menyimpulkan kadar etanol produk hasil distilasi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa karakteristik nyala api berbeda pada setiap jenis bahan baku, massa ragi, dan volume bahan bakar. Bioetanol kulit pisang dengan ragi 8 g menghasilkan tinggi nyala api tertinggi pada seluruh variasi volume. Pada parameter luas nyala api, bioetanol kulit pisang dengan ragi 8 g menghasilkan nilai tertinggi pada volume 1 mL, sedangkan bioetanol kulit singkong dengan ragi 8 g menghasilkan nilai tertinggi pada volume 2 mL dan 3 mL. Pada parameter durasi nyala api, bioetanol kulit pisang dengan ragi 4 g menghasilkan durasi terlama pada volume 1 mL dan 2 mL, sedangkan bioetanol kulit singkong dengan ragi 4 g menghasilkan durasi terlama pada volume 3 mL. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tidak ada satu perlakuan bioetanol yang unggul pada seluruh parameter. Temuan ini lebih tepat diposisikan sebagai data awal perbandingan karakteristik nyala api, bukan sebagai kesimpulan akhir mengenai mutu, kelayakan, atau efisiensi pembakaran bioetanol.

Saran

Penelitian ini masih terbatas pada pengujian kadar gula terlarut hasil hidrolisis, suhu proses, tinggi nyala api, luas nyala api, dan durasi nyala api. Parameter mutu bioetanol seperti kadar etanol, densitas, kadar air, nilai kalor, viskositas, titik nyala, laju konsumsi bahan bakar, temperatur nyala, rendemen, dan emisi pembakaran belum diuji. Selain itu, rasio bahan dan air

pada beberapa tahap proses belum disajikan secara rinci. Perbedaan perlakuan hidrolisis antara kulit singkong dan kulit pisang juga perlu diperhatikan karena dapat membatasi interpretasi perbandingan kedua bahan baku. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan pengujian kadar etanol, rendemen, densitas, kadar air, nilai kalor, viskositas, titik nyala, laju konsumsi bahan bakar, temperatur nyala, dan emisi pembakaran agar karakteristik produk dapat dinilai secara lebih komprehensif. Pengukuran pH awal, pH akhir, kadar gula sebelum fermentasi, dan kadar gula sisa setelah fermentasi juga perlu dilakukan untuk memperjelas perubahan substrat selama proses fermentasi. Selain itu, penelitian berikutnya perlu menyajikan rasio bahan dan air, dosis enzim, pH hidrolisis, suhu fermentasi, lama fermentasi, dan metode pemurnian secara lebih rinci agar proses dapat direplikasi dengan lebih baik. Pengujian campuran bioetanol dengan bahan bakar komersial atau pengujian pada alat pembakaran sederhana juga dapat dilakukan sebagai tahap lanjutan untuk menilai potensi pemanfaatan bahan bakar secara lebih praktis.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] M. P. Pasaribu, H. Maksum, Wagino, and T. Sugiarto, "Pengaruh Bioetanol dari Limbah Kulit Pisang dengan Campuran Bahan Bakar Sepeda Motor terhadap Emisi Gas Buang," JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia, vol. 3, no. 1, pp. 595–602, 2025, doi: 10.24036/jtpvi.v3i1.240.
- [2] A. A. Pratama, W. Purwanto, T. Sugiarto, and H. D. Saputra, "Analisis Ketahanan Mesin Sepeda Motor Empat Langkah dengan ECU Juken BRT dan Busi Iridium pada Bahan Bakar Bioetanol," JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia, vol. 3, no. 3, pp. 845–854, 2025, doi: 10.24036/jtpvi.v3i3.350.
- [3] M. S. Firmansyah, W. Purwanto, H. Maksum, A. Arif, and M. Y. Setiawan, "Analisis Emisi Gas Buang (CO, CO₂ dan HC) pada Sepeda Motor FI dengan Variasi Saat Pengapian, Saat Penginjeksian dan Jenis Bahan Bakar," JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia, vol. 1, no. 2, pp. 145–158, 2023, doi: 10.24036/jtpvi.v1i2.6.
- [4] H. Zhang, P. Zhang, T. Wu, and H. Ruan, "Bioethanol Production Based on *Saccharomyces cerevisiae*: Opportunities and Challenges," Fermentation, vol. 9, no. 8, article 709, 2023, doi: 10.3390/fermentation9080709.
- [5] S. Beluhan, K. Mihajlovski, B. Šantek, and M. Ivančić Šantek, "The Production of Bioethanol from Lignocellulosic Biomass: *Pretreatment* Methods, Fermentation, and Downstream Processing," Energies, vol. 16, no. 19, article 7003, 2023, doi: 10.3390/en16197003.
- [6] A. A. Soka-Adeaga et al., "Ethanol Production from Cassava Peels Using *Saccharomyces cerevisiae* via Ethanologenic Fermentation Process," Arab Gulf Journal of Scientific Research, vol. 42, no. 4, pp. 1664–1684, 2024, doi: 10.1108/AGJSR-06-2023-0264.
- [7] Z. Zulnazri, A. Maulana, A. Muarif, N. Sylvia, and R. Dewi, "Production of Bioethanol from Banana Peel (*Musa paradisiaca* L.) Using Sulfuric Acid Catalyst," Jurnal Teknologi Kimia Unimal, vol. 12, no. 1, pp. 97–111, 2023, doi: 10.29103/jtku.v12i1.11654.
- [8] K. N. Tsegaye, M. Alemnew, and N. Berhane, "*Saccharomyces cerevisiae* for Lignocellulosic Ethanol Production: A Look at Key Attributes and Genome Shuffling," Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, vol. 12, article 1466644, 2024, doi: 10.3389/fbioe.2024.1466644.
- [9] D. Mulyadi, R. Mulyani, and L. Hidayah, "Pengaruh Konsentrasi Ragi (*Saccharomyces cerevisiae*) pada Proses Fermentasi Limbah Kulit Buah Sukun (*Artocarpus altilis*) dalam Pembuatan Bioetanol," Jurnal Energi Baru dan Terbarukan, vol. 4, no. 3, pp. 154–161, 2023, doi: 10.14710/jebt.2023.17708.

-
- [10] T. J. Tse, D. J. Wiens, and M. J. T. Reaney, "Production of Bioethanol—A Review of Factors Affecting Ethanol Yield," *Fermentation*, vol. 7, no. 4, article 268, 2021, doi: 10.3390/fermentation7040268.
- [11] S. Tambunan and M. Muhaji, "Analisis Karakteristik Nyala Api Campuran Bahan Bakar Pertalite dan Bioetanol Beras Ketan Putih (*Oryza sativa glutinosa*)," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 12, no. 2, pp. 143–150, 2024.
- [12] S. Bakhri, D. Wahyudi, and A. Muhammad, "Uji karakteristik nyala api pembakaran premix bioetanol dari ampas tebu," *TURBO: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 10, no. 2, pp. 209–215, Dec. 2021, doi: 10.24127/trb.v10i2.1694
- [13] P. Mardina, C. Irawan, M. Putra, S. Priscilla, Misnawati, and I. Nata, "Bioethanol Production from Cassava Peel Treated with Sulfonated Carbon Catalyzed Hydrolysis," *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, vol. 24, no. 1, pp. 1–8, 2021, doi: 10.14710/jksa.24.1.1-8.
- [14] A. A. Soka-Adeaga, G. R. E. E. Ana, A. O. Olorunnisola, and E. Hoseinzadeh, "Optimizing Bioethanol Production from Cassava Peels through Agitation Timing Variation in Separate Hydrolysis and Co-Fermentation," *Environmental Health Engineering and Management Journal*, vol. 10, no. 4, pp. 389–400, 2023, doi: 10.34172/EHEM.2023.42.
- [15] P. Olorunshola, K. Jude, S. Chuku, M. Uzoma, E. Bakpo, and A. Numbere, "Bioethanol Production from Agricultural Food Waste – Banana Peels and Sugarcane Bagasse," *Journal of Botanical Research*, vol. 7, no. 2, pp. 1–15, 2025, doi: 10.30564/jbr.v7i2.12494.
- [16] L. M. Shitophyta, R. S. Zhirmayanti, H. A. Khoirunnisa, S. Amelia, and F. Rauf, "Production of Bioethanol from Kepok Banana Peels (*Musa acuminata* × *Musa balbisiana*) Using Different Types of Yeast," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 7, no. 3, pp. 897–903, 2023, doi: 10.33379/gtech.v7i3.2621.
- [17] J. Ryšavý, E. A. D. Vicente, O. Molchanov, Y. A. Cipoli, K. Krpec, C. A. Alves, M. Feliciano, I. Dargham, J.-K. Kuo, and C.-C. Wang, "Experimental Study of Thermo-Environmental Properties of Single and Double-Chambered Bioethanol Burners," *Journal of Aerosol Science: X*, vol. 26, article 100359, 2025, doi: 10.1016/j.jaecs.2025.100359.
- [18] Y. Liu, P. Wang, X. Chen, Y. Zhang, B. Zhou, and W. Zeng, "Effects of Water Content on the Combustion Characteristics of *Hydrous ethanol*/RP-3 Mixed Fuel," *ACS Omega*, vol. 10, no. 11, pp. 11463–11473, 2025, doi: 10.1021/acsomega.4c11580.
- [19] L. Wang, Z. Huang, L. Ren, B. Tao, and J. Pan, "Experimental Investigation of Combustion and Emission Characteristics of *Ethanol-gasoline* Blends across Varying Operating Parameters," *ACS Omega*, vol. 10, pp. 16079–16089, 2025, doi: 10.1021/acsomega.4c09398.
- [20] A. Rimkus, S. Pukalskas, G. Mejezas, and S. Nagurnas, "Impact of Bioethanol Concentration in Gasoline on SI Engine Sustainability," *Sustainability*, vol. 16, no. 6, article 2397, 2024, doi: 10.3390/su16062397.
- [21] P. Zhu, S. P. Huang, Q. Y. Liu, X. L. Zhu, and Q. Shao, "Effects of low ambient pressure on the flame characteristics of *ethanol-gasoline* blended pool fire," *Fuel*, vol. 362, Art. no. 130809, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.fuel.2023.130809
- [22] J. Dong, Z. Wu, J. Han, J. Li, J. Liu, Y. Yan, and L. Wang, "Experimental study on mixed combustion characteristics of methanol/diesel pool fires in engine rooms of hybrid ships," *Energies*, vol. 18, no. 8, Art. no. 1991, pp. 1–33, Apr. 2025, doi: 10.3390/en18081991.
- [23] G. H. Klein, V. D. Longo, L. C. Romani, L. F. Saldanha, A. C. Fornari, S. F. Bazoti, A. F. Camargo, S. L. Alves Jr., and H. Treichel, "Utilization of Banana Peel Waste for the Production of Bioethanol and Other High-Value-Added Compounds," *Food and Humanity*, vol. 3, article 100376, 2024, doi: 10.1016/j.foohum.2024.100376.
- [24] D. S. Deepa Dhas, A. G. Pushpa Thiraviam, M. Muthuramamoorthy, A. Alodhayb, and S. Arokiyaraj, "Bioethanol Production from Red Banana Waste via *Saccharomyces cerevisiae*
-

- under Optimized Conditions,” *BioResources*, vol. 20, no. 4, pp. 10685–10705, 2025, doi: 10.15376/biores.20.4.10685-10705.
- [25] M. F. S. M. Ghazali and M. Mustafa, “Bioethanol as an Alternative Fuels: A Review on Production Strategies and Technique for Analysis,” *Energy Conversion and Management: X*, vol. 26, article 100933, 2025, doi: 10.1016/j.ecmx.2025.100933.
- [26] B. Paluri and D. Patel, “Combustion and Performance Characteristics of SI Engine with Bioethanol Blended Fuels,” *International Journal of Energy Research*, vol. 46, no. 15, pp. 24454–24464, 2022, doi: 10.1002/er.8759.
- [27] T. Dinh Xuan, D. Vu Minh, B. P. Hoa, K. N. Duc, and V. Nguyen Duy, “Influence of Ethanol-Gasoline Blended Fuel on Performance and Emission Characteristics of the Test Motorcycle Engine,” *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 72, no. 8, pp. 895–904, 2022, doi: 10.1080/10962247.2022.2064003.

Halaman ini sengaja di kosongkan