

# Efektivitas pembuatan bioetanol sebagai sumber *green energy* dari buah mangga klonal 21 (*Mangifera indica* L.) dengan pengaruh lama fermentasi dan massa ragi

*Effectiveness of making bioethanol as a source of green energy from clonal mango fruit 21 (*Mangifera indica* L.) with the effect of fermentation time and yeast mass*

**Deny Utomo<sup>1</sup>, Rendika Octa Pratama<sup>1</sup>**

Program Studi Ilmu Dan Teknologi Pangan, Universitas Yudharta Pasuruan, Jawa Timur

\*Email korespondensi: denyutomo@yudharta.ac.id

## Informasi artikel:

Dikirim: 26/06/2024; disetujui: 25/09/2024; diterbitkan: 30/09/2024

## ABSTARCT

*Mango fruit is a horticultural commodity in Pasuruan district which has various types and varieties that are abundant, but this fruit is rarely processed into an innovation. Mango fruit can be made into bioethanol, so it will be a useful renewable energy. Indonesia has great potential to develop green energy because of the abundance of natural resources that can be utilized. This study aims to determine the effect and optimal proportion of bioethanol to the mass of yeast and the length of time fermentation. The research method used a factorial Randomized Block Design with 3 treatment factors, namely yeast mass (1%, 3%, 5%) and factor 2 fermentation time (48 hours and 96 hours). The factors and treatments were 6 treatment combinations, each treatment was carried out 3 times. The variables studied included chemical parameters (ethanol content value, sugar content value, pH value and water content) and visual combustion parameters. Data analysis for chemical parameters was analyzed using ANOVA statistics, followed by Fisher's test. The best treatment of chemical analysis using the De Garmo Effectiveness Index method. The best treatment was found in the treatment combination R<sub>3</sub>T<sub>2</sub> (5% yeast mass and fermentation time 96 hours) with chemical parameters including ethanol content of 50%, sugar content of 17%, pH 4.3 and moisture content of 0.98%.*

**Keywords:** mango fruit, bioethanol, fermentation

## ABSTRAK

Buah mangga menjadi komoditas hortikultura di kabupaten Pasuruan yang memiliki beragam jenis dan varietas yang melimpah, namun buah ini jarang diolah menjadi suatu inovasi. Buah mangga dapat dibuat menjadi bioetanol maka akan menjadi suatu energi terbarukan yang bermanfaat. Indonesia memiliki potensi besar untuk mengembangkan energi hijau karena berlimpahnya sumber alam yang dapat dimanfaatkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dan proporsi optimal bioetanol terhadap massa ragi dan lama waktu fermentasi. Metode penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan 3 faktor perlakuan yaitu massa ragi (1%, 3%, 5%) dan faktor 2 waktu fermentasi (48 jam dan 96 jam). Adapun faktor dan perlakuan tersebut adalah 6 kombinasi perlakuan, setiap perlakuan dilakukan 3 kali. Variabel yang diteliti meliputi parameter kimia (nilai kadar etanol, nilai kadar gula, nilai pH dan kadar air) dan parameter visual pembakaran. Analisa data untuk parameter kimia dianalisis menggunakan statistik ANOVA, dilanjut uji Fisher. Perlakuan terbaik analisa kimia

menggunakan metode indeks efektifitas. Perlakuan terbaik terdapat pada kombinasi perlakuan R<sub>3</sub>T<sub>2</sub> (massa ragi 5% dan waktu fermentasi 96 jam) dengan parameter kimia meliputi kadar etanol 50%, kadar gula 17%, pH 4,3 dan kadar air 0,98%.

**Kata kunci** : buah mangga, bioetanol, fermentasi

## PENDAHULUAN

Krisis energi menjadi sorotan seluruh dunia internasional dengan terbatasnya pasokan bahan bakar yang menyebabkan kenaikan harga bahan bakar minyak seperti solar, bensin, dan minyak tanah. Tunggal *et al.* (2022) menyatakan di Indonesia setiap tahun mengalami peningkatan jumlah kendaraan, sehingga konsumsi bahan bakar akan mengalami peningkatan. Konsumsi bahan bakar jenis bensin di tahun 2022 sudah mencapai 35,8 juta kilo liter (Yudiartono *et al.*, 2022). Pemerintah telah menetapkan Peraturan Presiden Nomor 40 Tahun 2023 mengenai Percepatan Swasembada Gula Nasional dan Penyediaan Bioetanol sebagai Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*). Produksi *biofuel* juga sejalan dengan agenda pembangunan berkelanjutan 2030 yang ditetapkan PBB pada tahun 2015 (Prasoulas *et al.*, 2020). Pemerintah Indonesia telah mendorong pengembangan industri bioetanol melalui berbagai kebijakan dan insentif termasuk program pencampuran bioetanol dalam bahan bakar kendaraan bermotor sebagai langkah untuk mengurangi impor bahan bakar minyak. Program ini mampu mengatasi masalah ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan mengurangi emisi polutan udara.

Kendaraan bermotor di Indonesia setiap tahun mengalami jumlah peningkatan yang dipengaruhi oleh permintaan kebutuhan dan minat daya beli kendaraan bermotor. Penggunaan bahan bakar bensin meningkat pesat di Indonesia pada tahun 2023, khususnya bagi kendaraan sepeda motor. Penjualan kendaraan sepeda motor di Indonesia berdasarkan data Badan Pusat Statistik Tahun 2023, ada peningkatan penjualan dari Tahun 2019 sampai tahun 2022 sebanyak 139.998.975 unit sepeda motor. Kendaraan di Indonesia umumnya menggunakan bahan bakar bensin sebagai

sumber utama untuk proses pembakaran di dalam mesin (Tunggal *et al.*, 2022).

Bioetanol menjadi jenis bahan bakar yang diproduksi melalui proses fermentasi dari bahan organik, berbagai studi menunjukkan bahwa bahan nabati yang berpotensi menghasilkan biofuel biasanya berasal dari tanaman pertanian (Putrika, 2023). Menurut Rahman (2024) teknologi bioetanol merupakan bagian penting dari upaya transisi ke energi terbarukan. Teknologi bioetanol digunakan untuk memproduksi bioetanol untuk menghasilkan bahan bakar terbarukan yang terbuat dari biomassa memanfaatkan sumber-sumber hayati seperti tanaman kaya karbohidrat (gula dan pati) dan lignoselulosa (serat kayu) yang melalui proses fermentasi, distilasi, dan dehidrasi untuk menghasilkan etanol. Berbeda dengan bahan bakar minyak bumi, bioetanol mudah terurai secara hayati dan menghasilkan lebih sedikit polutan yang terbawa udara (Taufiqurrohman dan Yusuf, 2022). Bioetanol memiliki potensi untuk menjadi alternatif yang berkelanjutan dalam memenuhi kebutuhan energi global meski masih menghadapi tantangan seperti biaya produksi dan dampak pada pasokan pangan.

Indonesia berpotensi besar untuk mengembangkan energi hijau (*Green energy*) karena berlimpahnya sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan. Menurut Malihah (2022) bahwa penerapan energi hijau di Indonesia bertujuan untuk mengurangi dampak perubahan iklim, mengurangi polusi dan menciptakan sumber energi yang lebih berkelanjutan seperti pembangkit listrik tenaga surya, tenaga air, tenaga angin, bioenergi dan biomassa dari limbah pertanian sehingga mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Upaya untuk mengadopsi energi hijau telah dilakukan di Indonesia melalui kebijakan pemerintah untuk mencapai visi Indonesia Emas 2045 yang erat kaitannya dengan *Sustainable Development Goals*

(SDGs) atau pembangunan berkelanjutan.

Di beberapa negara, produksi bioetanol telah dilakukan dengan memanfaatkan bahan baku yang berasal dari hasil pertanian dan perkebunan (Azzahra, 2021). Buah mangga menjadi salah satu komoditas hortikultura di Kabupaten Pasuruan yang memiliki beragam jenis dan varietas yang melimpah, namun buah-buahan ini cenderung rentan rusak dan memiliki masa simpan yang pendek (Fitmawati *et al.*, 2022). Kadar gula buah mangga dengan nilai Brix 18% lebih tinggi daripada buah tropis lain seperti buah naga dan buah semangka, sehingga semakin tinggi kandungan gula dalam bahan baku maka semakin tinggi potensi hasil etanol yang dapat diproduksi (Akbar *et al.*, 2021). Sampai saat ini penelitian tentang bioetanol menggunakan bahan baku daging buah mangga sangat sedikit dikarenakan pada penelitian sebelumnya berfokus menggunakan bahan baku limbah kulit dan biji mangga. Penelitian yang telah dilakukan oleh Aleman-Ramirez *et al.* (2020) terhadap ampas buah mangga menghasilkan konsentrasi tertinggi bioetanol tertinggi sebesar 44,67%.

Permasalahannya adalah proporsi optimal kadar etanol yang belum diketahui untuk menghasilkan bioetanol sesuai standart SNI. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proporsi optimal bioetanol terhadap massa ragi dan lama fermentasi serta mengoptimalkan bahan baku yang tersedia secara lokal untuk meningkatkan ekonomi lokal.

## METODE

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah buah mangga klonal 21 yang diambil dari kelompok wanita tani desa Oro-oro ombo kulon, Kecamatan Rembang Kabupaten Pasuruan - Jawa Timur. Bahan yang digunakan dalam pembuatan bioetanol diantaranya; buah mangga klonal 21, ragi roti (*Saccharomyces cerevisiae*), NPK 10 gram, Aquades 100 ml, buffer pH, aluminium foil dan spirtus.

### Alat

Alat yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah peralatan fermentasi diantaranya; alat fermentor, selang  $\frac{1}{4}$  inch dan gunting. Alat yang digunakan untuk pemisahan alkohol menggunakan peralatan destilator sederhana. Sedangkan peralatan untuk pengujian diantaranya; pH meter, refraktometer alkohol dan refraktometer kadar gula. Peralatan tambahan seperti; timbangan analitik, beaker glass, corong, fermentor, batang pengaduk, wadah, erlenmeyer, thermometer dan bunsen.

### Metode penelitian

Metode yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 2 faktor. Faktor pertama yaitu massa ragi 1%, 3% ,5% dan faktor kedua yaitu lama fermentasi 48 jam, 96 jam. Adapun faktor dan perlakuan tersebut adalah 6 kombinasi perlakuan. Setiap perlakuan dilakukan 3 kali ulangan sehingga diperoleh 18 kali percobaan. Desain kombinasi perlakuan diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1. Desain penelitian

Kombinasi perlakuan	Ulangan		
	1	2	3
R1T1 (massa ragi 1%: waktu fermentasi 48 jam )	U1	U2	U3
R1T2 (massa ragi 1%: waktu fermentasi 96 jam )	U1	U2	U3
R2T1 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 48 jam )	U1	U2	U3
R2T2 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 96 jam )	U1	U2	U3
R3T1 (massa ragi 5%: waktu fermentasi 48 jam )	U1	U2	U3
R3T2 (massa ragi 5%: waktu fermentasi 96 jam )	U1	U2	U3

Keterangan: 1% (3 gram), 3% (9 gram), 5% (15 gram)

Penelitian ini terdiri dari tiga tahapan, dimulai dari tahapan pembuatan bahan untuk fermentasi yang disesuaikan dengan perlakuan penelitian, kemudian tahap destilasi dan tahap analisis.

Tahap awal, pembuatan bahan utama yang digunakan untuk proses fermentasi yaitu mangga klonal 21 dicuci terlebih dahulu, setelah itu buah kulit mangga dan potong daging buah proses penghancuran bahan dengan cara di blender dan menghasilkan jus mangga sebanyak 300 ml kemudian ditambahkan 100 ml aquades sebagai pengencer kemudian tambahkan ragi (*Saccharomyces cerevisiae*) sesuai perlakuan dan ditambahkan NPK Nitrogen (N) Fosfor (P) dan Kalium (K) sebanyak 10 gram, kemudian di aduk hingga homogen. Setelah itu dimasukkan ke dalam alat fermentor dan disimpan dengan rentang waktu perlakuan penelitian. Tahap kedua, buah mangga yang sudah melalui proses fermentasi disaring untuk dipisahkan ampas dan air fermentasi sampai mencapai 250 ml air fermentasi untuk melalui tahap distilasi dengan suhu 78-80°C dengan lama waktu 3-4 jam (Zelin et al., 2021).

### Analisa data

Pengumpulan data parameter kimia pembuatan bioetanol buah mangga klonal 21 meliputi; analisa nilai kadar etanol, nilai kadar gula, nilai pH dan nilai kadar air. Masing-masing sampel dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan untuk memastikan keakuratan hasil analisa.

Analisis statistik kimia menggunakan uji normalitas menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov (K-S) berbantuan software statistik Minitab, selanjutnya mengolah data statistik menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dan untuk menentukan notasi menggunakan *Fisher Method* taraf kepercayaan 95% ( $\alpha=0.05$ ). Untuk mencari perlakuan terbaik pada analisa kimia menggunakan uji Indeks Efektifitas *De Garmo* termodifikasi oleh (Hayati et al., 2019).

### Prosedur analisa

#### a. Analisa kadar etanol

1. Pastikan refractometer dalam keadaan bersih dan kering.
2. Kalibrasi refractometer alkohol.
3. Bersihkan bagian prisma menggunakan kain atau tisu.
4. Persiapkan sampel bioetanol yang akan di analisa.
5. Teteskan cairan sampel bioetanol ke bagian prisma menggunakan pipet sebanyak 2-3 tetes.
6. Cairan yang sudah memenuhi prisma ditiutup dan dilihat melalui eyepiece (lensa mata) dengan bantuan cahaya sinar matahari.
7. Nilai indeks akan muncul berupa angka yang berada di lensa ujung lain refraktometer.

#### b. Analisa kadar gula

1. d Pastikan refractometer gula ( $^{\circ}$ Brix) dalam keadaan bersih dan kering.
2. Kalibrasi refractometer gula.
3. Bersihkan bagian prisma menggunakan kain atau tisu.
4. Persiapkan sampel bioetanol yang akan di analisa.
5. Teteskan cairan sampel bioetanol ke bagian prisma menggunakan pipet sebanyak 2-3 tetes.
6. Cairan yang sudah memenuhi prisma ditiutup dan dilihat melalui eyepiece (lensa mata) dengan bantuan cahaya sinar matahari.
7. Nilai indeks akan muncul berupa angka yang berada di lensa ujung lain refraktometer.

#### c. Analisa pH

1. Kalibrasi pH meter menggunakan buffer pH standart 4,01 dan 7,01.
2. Nyalakan pH meter pilih menu kalibrasi.
3. Letakkan elektroda pH pada buffer pH 7,01 biarkan pH meter membaca.
4. nilai sesuai kalibrasi kemudian bersihkan dengan aquades dan keringkan.
5. Letakkan kembali pH meter ke buffer 4,01 sampai pembacaan stabil dan muncul keterangan start.

6. Bersihkan elektroda dengan aquades dan keringkan.
7. Siapkan sampel bioetanol.
8. Letakkan elektroda pH meter ke sampel, tunggu hingga pemacaan nilai pH stabil.
9. Bersihkan dan keringkan kembali pH meter yang sudah digunakan.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

Keterangan:

A= Berat Sampel Awal (ml)

B= Berat Sampel Akhir (ml)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisa pengaruh fermentasi

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada proses fermentasi terhadap buah mangga klonal 21 sesuai dengan perlakuan yang telah ditentukan, dapat dilihat pada tabel 2.

#### d. Analisa kadar air

Menurut Sulaiman et al. (2021) bahwa prosedur pelaksanaan pengujian kadar air bioetanol dilakukan perhitungan, yaitu :

Tabel 2. Kadar etanol sesudah fermentasi

Variabel fermentasi	Waktu (jam)	Kadar etanol (%)
1%	48	14
(3 gram)	96	16
3%	48	17
(9 gram)	96	19
5%	48	15
(15 gram)	96	20

Tabel diatas menunjukkan bahwa bahwa semakin lama waktu fermentasi dapat mempengaruhi kadar etanol yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Fadillah (2022) yang menyatakan bahwa jumlah mikroba bertumbuh seiring pertambahan waktu fermentasi. Menurut Yuliani et al. (2023) faktor fermentasi dipengaruhi oleh beragam faktor antara lain pH, massa ragi, dan waktu fermentasi. Hal ini juga dipengaruhi proses metabolisme mikroorganisme (biasanya ragi atau bakteri) yang mengubah gula menjadi etanol dan karbon dioksida.

Kadar etanol yang maksimal didapatkan pada penambahan starter 5% dengan waktu fermentasi 96 jam. Kadar etanol mengalami peningkatan dengan bertambahnya starter disetiap perlakuan. Waktu fermentasi yang dilakukan selama 48 jam dan 96 jam masih memungkinkan bagi *Saccharomyces cerevisiae* untuk mengkatalis reaksi pembentukan etanol pada setiap starter. Menurut Qomariyah dan Sindhuwati (2023) hal ini dipengaruhi karena nutrien yang dicampurkan pada saat

fermentasi yaitu NPK berfungsi sebagai nutrisi bagi mikroba dalam proses fermentasi sehingga perkembangan mikroba pada saat terjadinya fermentasi sangat menunjang bagi pertumbuhan bakteri *Saccharomyces cerevisiae*.

### Kadar etanol

Berdasarkan hasil analisis ANOVA (*Analysis of Variance*) menunjukkan adanya pengaruh signifikan terhadap penambahan ragi *saccharomyces cerevisiae* dan lama waktu fermentasi yang dihasilkan. Rata-rata kadar etanol pada berbagai perlakuan disajikan pada tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa adanya pengaruh beda nyata dengan notasi yang berbeda. Rata-rata kadar etanol dalam pembuatan bioetanol mangga klonal 21 dengan pengaruh lama waktu fermentasi dan massa ragi berkisar antara 41,5% - 50,5%. Nilai tertinggi kadar etanol didapatkan pada perlakuan R<sub>2</sub>T<sub>2</sub> (massa ragi 3%: waktu fermentasi 96 jam) sebesar 50,5%. Sedangkan perlakuan terendah kadar etanol didapatkan pada perlakuan R<sub>1</sub>T<sub>2</sub> (massa ragi 3%: waktu

fermentasi 96 jam) sebesar 41,5%. Semakin besar massa ragi *Saccharomyces cerevisiae* maka semakin besar produksi etanol. Hal ini sesuai dengan yang pernyataan Mulyadi *et*

*al.*, (2023) menyatakan bahwa ragi mengubah glukosa menjadi etanol sehingga semakin banyak ragi yang digunakan, semakin besar kadar etanol yang dihasilkan.

Tabel 3. Kadar etanol (%) sesudah destilasi

Perlakuan	Rata-Rata Kadar Etanol (%)
R2T2 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 96 jam )	50,5 ± 4,50a
R3T2 (massa ragi 5%: waktu fermentasi 96 jam )	50,0 ± 5,00a
R1T1 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 48 jam )	47,5 ± 2,50ab
R3T1 (massa ragi 5%: waktu fermentasi 48 jam )	47,0 ± 2,00abc
R2T1 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 48 jam )	43,0 ± 0,00bc
R1T2 (massa ragi 1%: waktu fermentasi 96 jam )	41,5 ± 5,50c

Etanol yang dihasilkan dari fermentasi memiliki kadar etanol yang rendah, sehingga perlu dimurnikan dengan memisahkan air dan etanol melalui proses distilasi (Atikah, 2022) . Hal ini menunjukkan bahwa pada perlakuan saat fermentasi kadar etanol hanya diperoleh 14-20% setelah melalui proses distilasi kadar etanol mengalami peningkatan dengan rata-rata 41,5-50,5%. Hal ini sejalan dengan penelitian Akmadha *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa terjadinya fermentasi menghasilkan kadar etanol yang masih rendah, maka perlu dilakukan pemsiahan etanol dan air dengan cara distilasi. Kadar etanol yang ditemukan dalam penelitian sebelumnya pada kulit dan biji mangga berkisar berkisar 28%, menunjukkan bahwa kandungan etanol pada bagian tersebut lebih rendah dibandingkan dengan yang diperoleh dari daging buah mangga. Hal ini terjadi karena daging buah memiliki lebih banyak air dibandingkan kulit mangga sehingga mendukung aktivitas mikroorganisme dan fermentasi yang lebih efektif.

Menurut pendapat Rapiyanta *et al.* (2021) menyatakan bahwa pengendalian suhu selama proses distilasi dan kondensasi sangat mempengaruhi kadar etanol yang dihasilkan. Jika suhu diatur secara manual, kemungkinan besar akan terjadi ketidakstabilan yang berakibat pada rendahnya kadar etanol dalam produk. Proses distilasi tidak dapat dilakukan hanya satu kali untuk mencapai tingkat kemurnian

yang diinginkan, sedangkan untuk menaikkan kadar etanol antara 60%-90% membutuhkan 3 kali tahap destilasi atau lebih proses destilasi bertingkat (Batutah, 2017).

Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kadar etanol pada pembuatan bioetanol dari buah mangga klonal 21 dengan pengaruh massa ragi dan lama fermentasi, belum memenuhi standart SNI 7390-2022 yang menetapkan bahwa kadar etanol 94-99,5%.

### Kadar gula

Berdasarkan hasil analisis ANOVA (Analysis of Variance), penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh signifikan terhadap penambahan ragi *Saccharomyces cerevisiae* dan lama waktu fermentasi yang dihasilkan. Penambahan ragi ini berperan penting dalam proses fermentasi, di mana ragi *Saccharomyces cerevisiae* dikenal efektif dalam mengubah gula menjadi alkohol dan gas karbon dioksida. Selain itu, lama waktu fermentasi juga menjadi faktor krusial yang mempengaruhi hasil akhir dari proses fermentasi tersebut. Semakin lama waktu fermentasi, semakin banyak gula yang diubah, yang pada akhirnya mempengaruhi kadar gula yang tersisa dalam produk akhir. Rata-rata kadar gula pada berbagai perlakuan disajikan pada Tabel 4, yang menunjukkan variasi kadar gula berdasarkan kombinasi penambahan ragi dan durasi fermentasi yang berbeda. Data ini memberikan wawasan penting mengenai optimasi kondisi fermentasi

untuk mencapai hasil yang diinginkan.

Tabel 4 menunjukkan adanya pengaruh beda nyata dengan notasi yang berbeda. Rata-rata kadar gula dalam pembuatan bioetanol mangga klonal 21 dengan pengaruh lama waktu fermentasi dan massa ragi berkisar antara 15,50% - 17,25%. Nilai tertinggi kadar gula didapatkan pada perlakuan R<sub>1</sub>T<sub>1</sub> (massa ragi 1%: waktu fermentasi 48 jam) sebesar 17,25%.

Sedangkan perlakuan terendah kadar gula didapatkan pada perlakuan R<sub>1</sub>T<sub>2</sub> (massa ragi 1%: waktu fermentasi 96 jam) sebesar 15,50%. Semakin tinggi kadar etanol maka semakin tinggi kadar gula, hal ini terjadi karena meningkatnya kadar etanol dengan kadar gula terjadi karena senyawa asam dan sebagian komponen air telah terpisah dari larutan etanol pada proses destilasi (Chandra *et al.*, 2018).

Tabel 4. Kadar gula berbagai kombinasi perlakuan

Perlakuan	Rata-rata Kadar gula (%)
R1T1 (massa ragi 1%: waktu fermentasi 48 jam )	17,25 ± 0,25a
R2T2 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 96 jam )	17,00 ± 0,00ab
R3T2 (massa ragi 5%: waktu fermentasi 96 jam )	17,00 ± 1,00ab
R3T1 (massa ragi 5%: waktu fermentasi 48 jam )	16,50 ± 0,50ab
R2T1 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 48 jam )	16,00 ± 1,00ab
R1T2 (massa ragi 1%: waktu fermentasi 96 jam )	15,50 ± 1,50b

Selama proses terjadinya fermentasi penurunan terhadap jumlah kadar gula berkisar antara 6-10%, hal ini sesuai dengan pernyataan Fitriyah *et al.* (2022) bahwa jumlah gula berkurang karena sel *Saccharomyces cerevisiae* menggunakan gula sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan dan sebagai media untuk memproduksi etanol, kandungan gula mempengaruhi aktivitas *Saccharomyces cerevisiae* sehingga hasil pengamatan sesuai dengan teori tersebut. Hal itu bisa terjadi dikarenakan semakin banyak *Saccharomyces cerevisiae* yang digunakan maka akan semakin banyak glukosa yang terkandung dalam air fermentor sehingga akan mengalami proses pemecahan glukosa menjadi etanol dan gas CO<sub>2</sub>.

Pada penelitian sebelumnya terhadap kulit mangga menghasilkan kadar etanol yang lebih rendah hal ini terjadi karena kulit mangga kadnungan gula lebih rendah daripada daging buah mangga, sehingga proses fermentasi menghasilkan etanol dari gula (seperti glukosa dan fruktosa) melalui aktivitas mikroorganisme seperti ragi. Karena daging buah mangga lebih tinggi kadar gula, maka lebih banyak substrat tersedia untuk fermentasi yang berarti lebih

banyak etanol yang dihasilkan dibandingkan dengan kulit mangga.

Menurut Ketut dan Dira (2017) bahwa kadar gula mengalami peningkatan setelah destilasi terjadi disebabkan beberapa faktor, salah satunya adalah fermentasi yang tidak sempurna dimana gula belum sepenuhnya diubah menjadi etanol selain itu kesalahan dalam proses distilasi atau kontaminasi selama proses juga dapat menyebabkan residu gula tetap ada dalam produk akhir.

#### Nilai pH

Berdasarkan hasil analisis ANOVA (*Analysis of Variance*) menunjukkan tidak adanya pengaruh signifikan terhadap penambahan ragi *Saccharomyces cerevisiae* dan lama waktu fermentasi yang dihasilkan. Rata-rata nilai pH berbagi perlakuan ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel diatas menunjukkan bahwa berbeda tidak nyata dengan notasi yang sama. Hasil penelitian terhadap bioetanol buah mangga klonal 21 menunjukkan rata-rata pH setelah proses distilasi yang dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali dengan hasil berkisar antara 4,2 - 4,8. Nilai tertinggi pH didapatkan pada perlakuan R<sub>1</sub>T<sub>1</sub> (massa ragi 1%: waktu 48 jam) sebesar 4,8. Sedangkan

perlakuan terendah nilai pH didapatkan pada perlakuan R<sub>1</sub>T<sub>2</sub> (massa ragi 1%:waktu 96 jam) dengan nilai pH 4,2. Semakin lama proses fermentasi berlangsung maka nilai pH akan semakin menurun. Menurut Fadarina *et al.*, (2018) hal ini terjadi karena

fermentasi melibatkan biosintesis piruvat yang menghasilkan produk asam. Penurunan pH ini sejalan dengan peningkatan produksi etanol, menunjukkan bahwa produksi gas dalam proses ini berkontribusi terhadap nilai pH.

Tabel 5. Nilai pH berbagai kombinasi perlakuan

Perlakuan	Rata-Rata Kadar pH
R1T1 (massa ragi 1%: waktu fermentasi 48 jam )	4,8 ± 0,00a
R2T1 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 48 jam )	4,7 ± 0,40a
R3T1 (massa ragi 5%: waktu fermentasi 48 jam )	4,5 ± 0,30a
R2T2 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 96 jam )	4,3 ± 0,40a
R3T2 (massa ragi 5%: waktu fermentasi 96 jam )	4,3 ± 0,45a
R1T2 (massa ragi 1%: waktu fermentasi 96 jam )	4,2 ± 0,70a

Kokkinakis *et al.* (2020) menyatakan alkohol bersifat asam, sehingga jika waktu fermentasi diperpanjang, konsentrasi alkohol yang terbentuk akan meningkat. Hal ini mengakibatkan penurunan pH substrat seiring waktu fermentasi berlangsung. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian pada pembuatan bioetanol dari mangga dengan massa ragi dan waktu fermentasi yang memiliki hasil pH 4,2- 4,8.

Menurut Iqbal dan Pasang (2017) pada bioetanol yang berkadar 30-35% etanol cenderung bersifat asam dengan pH rendah, berkisar antara 4,12 hingga 4,59. Sementara itu, kadar etanol yang mengandung 83-96% biasanya bersifat netral dengan pH antara 7,0 hingga 7,38. Perubahan nilai pH selama proses fermentasi dapat dipengaruhi oleh produk yang dihasilkan. Perubahan pH ini mencerminkan aktivitas metabolisme dari khamir, yang melakukan glikolisis untuk mendapatkan energi dan bahan-bahan rantai karbon guna menghasilkan senyawa-

senyawa baru dan memperbanyak sel (Munoz *et al.*, 2022).

Penelitian yang sudah dilaksanakan menunjukkan nilai pH pada pembuatan bioetanol dari buah mangga klonal 21 dengan pengaruh massa ragi dan lama fermentasi, belum memenuhi standart SNI 7390-2022 yang menetapkan bahwa nilai pH 6,5-9,0.

#### Nilai kadar air

Kadar air bioetanol bertujuan mengetahui derajat kemurnian bioetanol yang dihasilkan (Yunus *et al.*, 2020) . Proses ini sangat penting karena tingginya kandungan air bioetanol dapat mempengaruhi efisiensi pembakaran.

Hasil analisis ANOVA (*Analysis of Variance*) menunjukkan adanya pengaruh nyata terhadap penambahan ragi *Saccharomyces cerevisiae* dan lama waktu fermentasi yang dihasilkan. Rata-rata nilai kadar air pada berbagai perlakuan disajikan pada tabel 6.

Tabel 6. Kadar air berbagai kombinasi perlakuan

Perlakuan	Rata-rata Kadar air (%)
R3T2 (massa ragi 5%: waktu fermentasi 96 jam )	0,98 ± 0,01a
R1T1 (massa ragi 1%: waktu fermentasi 48 jam )	0,97 ± 0,01ab
R2T1 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 48 jam )	0,97 ± 0,01ab
R3T1 (massa ragi 5%: waktu fermentasi 48 jam )	0,97 ± 0,00ab
R2T2 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 96 jam )	0,97 ± 0,01ab
R1T2 (massa ragi 1%: waktu fermentasi 96 jam )	0,95 ± 0,02b

Tabel diatas menunjukkan bahwa berbeda nyata dengan notasi yang berbeda. Rata-rata kadar air pada bioetanol mangga klonal 21 dengan pengaruh lama waktu fermentasi dan massa ragi berkisar antara 0,95%-0,98%. Nilai tertinggi kadar air didapatkan pada perlakuan R<sub>3</sub>T<sub>2</sub> (massa ragi 5%: waktu 96 jam) sebesar 0,98%. Sedangkan perlakuan terendah kadar air didapatkan pada perlakuan R<sub>1</sub>T<sub>2</sub> (massa ragi 1%: waktu 48 jam) sebesar 0,95%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan massa ragi dan lama waktu fermentasi maka semakin tinggi nilai kadar air pada sampel, Hal ini sejalan dengan pernyataan (Utari et al., 2024).

Penambahan ragi dalam jumlah besar dapat mempengaruhi kadar air dalam proses fermentasi. Menurut Hazmi et al. (2023) hal ini terjadi dikarenakan ragi mengonsumsi gula dan menghasilkan etanol serta air sebagai produk sampingan sehingga dengan lebih banyak ragi maka lebih banyak gula yang dikonversi yang dapat mempengaruhi jumlah air yang dihasilkan atau terkandung dalam produk akhir. Selain itu peningkatan massa ragi biasanya meningkatkan jumlah asam yang diproduksi yang dapat menurunkan pH fermentasi (Weiss et al.,

2016) . Peningkatan produksi etanol sering kali diikuti oleh peningkatan produksi asam yang dapat menurunkan pH.

Menurut Saputri et al. (2024) menyatakan bahwa semakin sering dilakukan pengulangan proses destilasi maka semakin rendah kadar air yang tersisa dalam produk, sehingga menghasilkan etanol yang lebih murni. Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kadar air pada pembuatan bioetanol dari buah mangga klonal 21 dengan pengaruh massa ragi dan lama fermentasi, sudah memenuhi standart SNI 7390-2022 yang menetapkan bahwa kadar air 0,7%.

### Visual pembakaran

Pembakaran bioetanol merupakan contoh pemanfaatan bahan bakar terbarukan yang bersih dan efisien, serta memberikan alternatif untuk meminimalkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta menekan dampak negatif terhadap lingkungan (Bonenkamp et al., 2020).

Hasil bioetanol yang diperoleh dari penelitian ini dilakukakan proses uji kelayakan bakar dengan ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Uji bakar bioetanol berbagai kombinasi perlakuan

Kombinasi perlakuan	Kadar etanol (%)	Uji bakar	Nyala api (detik)
R1T1 (massa ragi 1%: waktu fermentasi 48 jam )	47,5	Menyala	13
R1T2 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 96 jam )	41,5	Menyala	15
R2T1 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 48 jam )	43	Menyala	15
R2T2 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 96 jam )	50,5	Menyala	15
R3T1 (massa ragi 5%: waktu fermentasi 48 jam )	47	Menyala	14
R3T2 (massa ragi 5%: waktu fermentasi 96 jam )	50	Menyala	15

Tabel diatas menunjukan hasil yang diperoleh saat dilakukan uji pembakaran bioetanol dengan presentase kadar etanol 41,5%-50,5% menunjukkan bahwa semua perlakuan dapat mengalami proses pembakaran dengan menghasilkan nyala api, dengan karakteristik api yang menampilkan warna biru yang tipis dan api tidak stabil, api yang dihasilkan sangat kecil, rata-rata tinggi api pada setiap perlakuan yang

dihasilkan hanya berkisar 20 mm, lama waktu nyala api ±15 detik.

Kadar air yang tinggi dapat mempengaruhi nyala api karena air berfungsi sebagai pendingin dan penghambat penguapan bahan bakar yang mudah terbakar. Untuk bahan yang mengandung air dan bahan bakar seperti campuran air dan etanol pada pembuatan bioetanol, kemampuan untuk menyala sangat bergantung pada konsentrasi

kadar etanol. Untuk campuran air dan etanol jika konsentrasi etanol turun di bawah sekitar 40% maka campuran tersebut umumnya tidak akan mudah terbakar karena air dalam jumlah besar menghambat pembentukan uap etanol yang cukup untuk menyalakan api (Fadholi, 2019). Jika campuran tersebut memiliki konsentrasi kadar etanol yang cukup tinggi biasanya lebih dari 40-50% maka masih ada cukup uap etanol untuk memicu pembakaran.

### Rendemen bioetanol

Rendemen menjadi ukuran efisiensi hasil produksi bioetanol dari suatu bahan baku tertentu, dengan dinyatakan sebagai

persentase volume atau massa bioetanol yang diperoleh dibandingkan dengan jumlah bahan baku yang digunakan. Rendemen yang tinggi menunjukkan proses produksi yang efisien dan optimal, sedangkan rendemen yang rendah menunjukkan bahwa bahan baku tidak dimanfaatkan secara maksimal (Nasrun *et al.*, 2015).

Perhitungan rendemen destilasi didapatkan dari jumlah bioetanol hasil distilat kemudian dibagi jumlah larutan hasil fermentasi yang sudah dilakukan penyaringan larutan yang siap didestilasi sebanyak 250 ml, kemudian dikalikan 100% akan didapatkan hasilnya yaitu 0,028%-0,036% rendemen. Berikut adalah hasil rendemen:

Tabel 8. Hasil rendemen

Kombinasi perlakuan	Rendmen (%)
R1T1 (massa ragi 1%: waktu fermentasi 48 jam )	0,036
R1T2 (massa ragi 1%: waktu fermentasi 96 jam )	0,032
R2T1 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 48 jam )	0,036
R2T2 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 96 jam )	0,032
R3T1 (massa ragi 5%: waktu fermentasi 48 jam )	0,028
R3T2 (massa ragi 5%: waktu fermentasi 96 jam )	0,032

Kadar air yang tinggi dapat menurunkan rendemen etanol karena air mengurangi konsentrasi etanol dalam campuran yang berarti lebih sedikit etanol yang dihasilkan. Kadar etanol yang tinggi dalam hasil fermentasi menunjukkan rendemen yang baik, berarti lebih banyak gula yang berhasil dikonversi menjadi etanol (Qomariyah dan Sindhuwati, 2023). Dengan kadar gula yang lebih tinggi maka bahan baku yang tersedia untuk dikonversi menjadi etanol dapat menghasilkan rendemen etanol yang lebih tinggi. Pada Tabel diatas menunjukkan dengan semakin besar massa ragi dan semakin lama waktu

fermentasi yang digunakan memiliki kesamaan nilai rendemen yang dihasilkan, Hal ini dikarenakan bioetanol hasil destilasi memiliki kesamaan tidak jauh berbeda dengan jumlah (ml) antar variabel.

### Perlakuan terbaik

Penentuan perlakuan terbaik pada penelitian ini terhadap bioetanol dari buah mangga klonal 21 dengan perbedaan massa ragi dan lama waktu fermentasi menggunakan metode indeks efektifitas *De Garmo*. Metode ini dilakukan pada parameter uji kimia yang meliputi kadar etanol, kadar gula, pH, kadar air.

Tabel 9. Indeks efektivitas perlakuan terbaik

Kombinasi perlakuan	Bobot parameter	Peringkat
R3T2 (massa ragi 5%: waktu fermentasi 96 jam )	0,87	1*
R2T2 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 96 jam )	0,79	2
R1T1 (massa ragi 1%: waktu fermentasi 48 jam )	0,77	3
R3T1 (massa ragi 5%: waktu fermentasi 48 jam )	0,61	4
R2T1 (massa ragi 3%: waktu fermentasi 48 jam )	0,41	5
R1T2 (massa ragi 1%: waktu fermentasi 96 jam )	0,00	6

Pada tabel diatas menunjukkan bahwa bobot parameter indeks efektifitas *De Garmo* perlakuan terbaik terdapat pada kombinasi perlakuan yaitu R<sub>3</sub>T<sub>2</sub> (massa ragi 5%: waktu fermentasi 96 jam) dengan parameter kimia meliputi kadar etanol 50%, kadar gula 17%, pH 4,3%, kadar air 0,98%. Hasil tersebut belum sesuai dengan ketentuan standart mutu departemen energi dan SDM RI-SNI 7390-2012 yang sudah menetapkan dan menyatakan bahwa standart bioetanol adalah kadar etanol 99,5%, kadar air 0,7% dan pH 6,5-9,0.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pengaruh lama fermentasi dan massa ragi pada pembuatan bioetanol yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kombinasi perlakuan massa ragi dan lama waktu fermentasi berpengaruh nyata terhadap parameter nilai kadar etanol, kadar gula dan kadar air tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap nilai pH. Perlakuan terbaik dengan hasil signifikan diperoleh dari kombinasi perlakuan R<sub>3</sub>T<sub>2</sub> (massa ragi 5%: waktu fermentasi 96 jam) dengan parameter kimia meliputi kadar etanol 50%, kadar gula 17%, pH 4,3 dan kadar air 0,98%. Hasil penelitian ini belum dapat diadopsi pada skala industri dikarenakan kadar etanol belum memenuhi standart SNI 7390:2022 dalam pembuatan bioetanol. Berdasarkan pengamatan uji bakar menunjukkan semua perlakuan mengalami proses pembakaran dengan menghasilkan nyala api dan rendemen bioetanol menunjukkan semua perlakuan memiliki kesamaan hasil rendemen yang tidak jauh berbeda.

### SARAN

Diperlukan penelitian lebih lanjut melalui proses destilasi bertingkat untuk memperoleh kadar etanol yang optimal dari sampel bioetanol. Proses ini akan membantu memisahkan etanol dari senyawa lain secara lebih efisien, sehingga menghasilkan etanol

dengan kemurnian yang lebih tinggi. Selain itu, pengujian menggunakan gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) sangat penting untuk mengidentifikasi dan menganalisis senyawa kimia lain yang mungkin terdapat dalam sampel bioetanol. Dengan demikian, kita dapat memahami komposisi kimiawi bioetanol secara lebih mendalam dan memastikan kualitas serta keamanannya untuk berbagai aplikasi. Penelitian ini tidak hanya akan meningkatkan efisiensi produksi bioetanol, tetapi juga memberikan wawasan yang lebih luas tentang potensi penggunaan bioetanol sebagai sumber energi terbarukan.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat dilaksanakan dengan tepat waktu dan baik berkat bantuan dari beberapa pihak di antaranya kelompok wanita tani (KWT) Desa Oro-oro ombo Kec.Rembang Kab.Pasuruan, Jawa Timur, penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Dr. Deny Utomo, S.Pi., M.P. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan pikiran, dan Fakultas Pertanian Universitas Yudharta Pasuruan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M., Ropiudin, & Ritonga, A. M. (2021). Pengaruh konsentrasi mikroba *saccharomyces cerevisiae* dalam pembuatan bioethanol menggunakan ahan cacahan tongkol jagung manis. *Journal of Agricultural and Biosystem Engineering Research*, 2(1), 45–53.
- Akmdha, Herdian, F., & Sindhuwati, C. (2021). Pengaruh tekanan kolom distilasi terhadap tingkat emurnian etanol dan suhu top product menggunakan simulasi chemcad. *Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 196–201. <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.212>
- Aleman-Ramirez, J. L., Pérez-Sariñana, B. Y., Torres-Arellano, S., Saldaña-Trinidad, S., Longoria, A., & Sebastian, P. J. (2020). Bioethanol production from

- Ataulfo mango supplemented with vermicompost leachate. *Catalysis Today*, 353, 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2019.07.028>
- Atikah, A. (2022). Efektifitas bentonit sebagai adsorben pada proses peningkatan kadar bioetanol. *Jurnal Distilasi*, 2(2), 23–32.
- Azzahra, R. F. (2021). Production of bioethanol from coffee skin waste as. *Jurnal Kinetika*, 12(3), 58–63.
- Bonenkamp, Middelburg, Hosil, & Wolffenbuttel. (2020). From bioethanol containing fuels towards a fuel economy that includes methanol derived from renewable sources and the impact on European Union decision-making on transition pathways. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109667>
- Chandra, R., Zacarias, C. C., Delgado, P., & Saldivar, R. P. (2018). A biorefinery approach for dairy wastewater treatment and product recovery towards establishing a biorefinery complexity index. *Journal of Cleaner Production*, 184, 1184–1196. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.124>
- Fadarina, Nurianti, R., Lestari, D. I., & Hasan, A. (2018). Perancangan dan unjuk kerja sistem pengendalian proses pada microferm fermentor. *Jurnal Kinetika*, 9(2), 16–24.
- Fadholi, A. H. (2019). Uji karakteristik nyala api dari bioetanol kulit durian (*Durio zibethinus*). *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 8(3), 73–80.
- Fadillah, E. (2022). Pembuatan bioetanol dari air limbah cucian beras menggunakan metode hidrolisis enzimatis dan fermentasi. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, 1(2), 150–154.
- Fitmawati, Roza, R. M., Emrizal, Juliantari, E., & ALMURDANI, M. (2022). The potency of wild mango (*Mangifera magnifica*) as a new source of antidiabetic agents with concurrent antioxidant activity. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(10), 5159–5164. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231023>
- Fitriyah, A., Uztamila, Y., Effendy, S., Syarif, A., & Hajar, I. (2022). Pengaruh pH fermentasi dan putaran pengadukan pada fermentasi molasses terhadap produksi bioetanol. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 2(1), 561–567. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.107>
- Hayati, R., Efendi, & Rahmadana, F. (2019). Determination of the best treatment of the harvesting, physicochemical properties, organoleptic test using the effectiveness index method on the Aceh local rice genotype M7. *International Conference on Agriculture and Bioindustry*, 425, 1–5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/425/1/012012>
- Hazmi, M., Puji Rahayu, R., Puji Restanto, D., Fodesta, F., & Murtiyaningsih, H. (2023). Studi potensi bioetanol umbi ganyong melalui dua jenis ragi dan lama fermentasi. *Jurnal Penelitian IPTEKS*, 8(2), 116–127. <https://doi.org/10.32528/ipteks.v8i2.20896>
- Iqbal, T., & Pasang, A. (2017). Destilasi dehidrasi bioetanol dari nira aren. *Buletin Palma*, 39(1), 197–205.
- Ketut, S. N., & Dira, E. (2017). *Teori dan aplikasi pembuatan bioethanol dari selulose (bambu)*. Jakad Media Publishing.
- Kokkinakis, M., Tsakiris, I., Tzatzarakis, M., & Vakonaki, E. (2020). Carcinogenic, ethanol, acetaldehyde and noncarcinogenic higher alcohols, esters, and methanol compounds found in traditional alcoholic beverages a risk assessment approach. *Toxicol Reports*, 7(21), 1057–1056. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.08.017>
- Malihah, L. (2022). Tantangan dalam upaya mengatasi dampak perubahan iklim dan mendukung pembangunan ekonomi berkelanjutan. *Jurnal Kebijakan Pembangunan*, 17(2), 219–232. <https://doi.org/10.47441/jkp.v17i2.272>
- Mulyadi, D., Mulyani, R., & Hidayah, L. (2023). Pengaruh konsentrasi ragi (*Saccharomyces cerevisiae*) pada proses

- fermentasi limbah kulit sukun dalam pembuatan bioetanol. *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 4(3), 154–161. <https://doi.org/10.14710/jebt.2023.17708>
- Munoz, R. C., Ahmad, M. Z., & Malankowska, M. (2022). A new relevant membrane application: CO2 direct air capture. *Chemical Engineering Journal*, 446(2), 7–22. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.137047>
- Nasrun, Jalaluddin, & Mahfuddhah. (2015). Pengaruh jumlah ragi dan waktu fermentasi terhadap kadar bioetanol yang dihasilkan dari fermentasi kulit pepaya. *Jurnal Teknologi Kimia*, 4(10), 1–10.
- Prasoulas, G., Konti, A., Kalantzi, S., & Kekos, D. (2020). Bioethanol production from food waste applying the multienzyme system produced on-site by fusarium oxysporum F3 and mixed microbial cultures. *Journal Fermentation*, 39(6), 2–11. <https://doi.org/10.3390/fermentation6020039>
- Putrika, A. (2023). Jenis jenis tumbuhan yang berpotensi sebagai sumber bahan bakar alternatif masa depan. *Jenisjenis Tumbuhan Yang Berpotensi Sebagai Sumber Bahan Bakar Alternatif Masa Depan*, 237.
- Qomariyah, L., & Sindhuwati, C. (2023). Pengaruh penambahan NPK dan urea pada pembuatan etanol dari air tebu melalui proses fermentasi. *Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 82–88. <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.186>
- Rahman, H. (2024). Teknologi konversi crude glycerol menjadi bioetanol: solusi berkelanjutan untuk transisi energi terbarukan. *Jurnal Technology of Renewable Energy and Development*, 4, 51–66.
- Rapiyanta, P. T., Sutopo, B., & Soesanti, I. (2021). Pengaturan suhu destilator pada proses destilasi bioetanol berbasis kendali proporsional menggunakan plc. *Jurnal Pradigma*, 15(1), 1–9. <https://doi.org/10.31294/p.v14i1.3374>
- Saputri, A. S., Halim, A. D., & Masthura. (2024). Pemanfaatan limbah kulit singkong menjadi bioetanol dengan variasi waktu fermentasi. *Sains Dan Teknologi*, 9(1), 31–36. <https://doi.org/10.31851/redoks.v9i1.14154>
- Sulaiman, D., Syahdan, & Ulva, S. M. (2021). Characteristics of bioethanol from musa salaccensis zool. *International Journal of Science and Society*, 16–23.
- Taufiqurrohman, M., & Yusuf, M. (2022). Pemanfaatan energi terbarukan dalam pengolahan daur ulang limbah. *Jurnal Manajemen Pendidikan Dan Teknologi Informasi*, 1(1), 46–57.
- Tunggal, D. H., Muhammad, A., Baihaqi, M. A., Abdillah, H., & Supraptiningsih, L. K. (2022). Pengaruh nilai ron pada bahan bakar jenis bensin terhadap emisi gas buang. *Jurnal Penelitian*, 6(2), 562–571. [https://doi.org/10.36841/cermin\\_unars.v6i2.2446](https://doi.org/10.36841/cermin_unars.v6i2.2446)
- Utari, D., Daulay, A. H., & Masthura. (2024). Optimasi waktu fermentasi untuk peningkatan kualitas bioetanol dari limbah ampas tebu. *Jurnal Sains Teknologi*, 9(1), 17–22. <https://doi.org/10.31851/redoks.v9i1.14160>
- Weiss, K., Kroschewski, & Auerbach. (2016). Effects of air exposure, temperature and additives on fermentation characteristics, yeast count, aerobic stability and volatile organic compounds in corn silage. *Journal of Dairy Science*, 99(10), 8053–8069.
- Yudiartono, Y., Windarta, J., & Adiarso, A. (2022). Analisis prakiraan kebutuhan energi nasional jangka panjang untuk mendukung program peta jalan transisi energi menuju karbon netral. *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 3(3), 202–217. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.14264>
- Yuliani, H. E., Ningrum, S. A., Amin, H. N., Sari, G. M., Dewi, E. R. S., & Nurwahyunani, A. (2023). Utilization of pineapple waste as a raw material for bioethanol. *International Journal of Humanities, Social Sciences and Business*, 2(2), 251–261. <https://doi.org>

/10.54443/injoss.v2i2.76

- Yunus, Hamsina, & Tang, M. (2020).  
Produksi bioetanol dari nira aren.  
*Jurnal Saintis*, 1(1), 3–39.
- Zelin, Z., Farida, E. N., & Salafudin. (2021).  
Perbandingan teknologi antara  
bioethanol dan biopropanol serta  
tantangan dan harapan untuk  
Indonesia. *Jurnal Teknologi*, 3(1), 1-  
12.