

e-ISSN : 3031-0342
Diterima: : 10 Juni 2024
Disetujui : 15 September 2024
Tersedia online di <https://journal.unram.ac.id/index.php/agent>

KAJIAN PROSES FERMENTASI PEMBUATAN BIOETANOL DARI LIMBAH BUAH ANGGUR MENGGUNAKAN METODE ARRHENIUS

Study of the Fermentation Process for Manufacturing Bioethanol from Grapes Waste Using the Arrhenius Method

Ainun Esa Perwita^{1*}, Rahmat Sabani¹, Murad¹

¹Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri,
Universitas Mataram

email: ainunperwita@gmail.com

ABSTRACT

*The ethanol fermentation process is the activity of breaking down sugar into ethanol and carbon dioxide compounds. This fermentation is carried out under anaerobic (without oxygen) and aerobic (with oxygen) conditions, and in general, microbial bioethanol production uses *Saccharomyces cerevisiae*. The purpose of this study was to examine the fermentation process for the production of bioethanol from grape fruit waste, measure the fermentation reaction rate using the Arrhenius Method and determine the level of ethanol produced during the fermentation process. The research method is experimental method by conducting experiments in the field, with research parameters namely temperature, time, pH, alcohol content during fermentation, calculating activation energy (Ea), reaction rate, Arrhenius factor (A), and determining the value of the gas constant (R). The results of this study are the higher the temperature and the longer the fermentation time, the higher the alcohol content produced, and the longer the fermentation time, the pH decreases. The reaction rate value increases and the activation energy (Ea) value decreases with the higher temperature during fermentation. The alcohol content produced during 10 days of fermentation from the three different storage temperatures, namely, in the first 4 days of fermentation the alcohol content produced was still 0% from 29 ° C and 31 ° C, while at 33 ° C the 4th day had an alcohol content of 2%. Day 6 to day 10 of each temperature experienced an increase in alcohol content from 29°C by 4%, 31°C by 5%, and 33°C by 7%.*

Keywords: *bioethanol; fermentation; grape fruit; waste*

ABSTARK

Proses fermentasi etanol yaitu dilakukan aktivitas penguraian gula menjadi senyawa etanol dan karbondioksida. Fermentasi ini dilakukan secara kondisi anaerobik (tanpa oksigen) dan aerobik (dengan oksigen), dan pada umumnya produksi bioetanol secara mikroba menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. Tujuan penelitian ini untuk mengkaji proses fermentasi terhadap pembuatan bioetanol dari limbah buah anggur, mengukur laju reaksi fermentasi menggunakan Metode Arrhenius serta mengetahui kadar etanol yang dihasilkan selama proses fermentasi. Metode penelitian yaitu metode eksperimental dengan melakukan percobaan di lapangan, dengan parameter penelitian yaitu suhu, waktu, pH, kadar alkohol selama fermentasi, menghitung energi aktivasi (Ea), laju reaksi, faktor Arrhenius (A), dan penentuan nilai tetapan gas (R). Adapun hasil dari penelitian ini yaitu semakin tinggi suhu dan lama waktu fermentasi maka semakin tinggi kadar alkohol yang dihasilkan, serta semakin lama waktu fermentasi maka pH semakin menurun.

Nilai laju reaksi semakin meningkat dan nilai energi aktivasi (E_a) menurun dengan semakin tingginya suhu selama fermentasi. Kadar alkohol yang dihasilkan selama 10 hari fermentasi dari ketiga suhu penyimpanan yang berbeda-beda yaitu, pada fermentasi 4 hari pertama kadar alkohol yang dihasilkan masih 0% dari suhu 29°C dan 31°C, sedangkan pada suhu 33°C hari ke-4 memiliki kadar alkohol 2%. Hari ke-6 sampai hari ke-10 masing-masing suhu mengalami kenaikan kadar alkohol dari suhu 29°C sebesar 4%, suhu 31°C sebesar 5%, dan suhu 33°C sebesar 7%.

Kata kunci : bioetanol; buah anggur; fermentasi; limbah

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kecamatan Batulayar merupakan bagian dari kabupaten Lombok Barat yang sebagian besar masyarakatnya bekerja di sektor pertanian, dan selain bekerja sebagai petani masyarakat di sana juga bekerja sebagai pedagang. Kecamatan Batulayar memiliki sekitar 1,248 toko/warung kelontong dan salah satu toko yang ada di sana yaitu toko buah, dari yang berkapasitas kecil sampai yang lumayan besar (Supratna, 2023). Toko-toko buah tersebut hampir setiap hari menghasilkan beberapa jenis limbah buah yang tidak dapat dipasarkan lagi. Salah satu limbah buah yang banyak ditemukan yaitu limbah buah anggur. Buah anggur sendiri memiliki kadar gula yang cukup tinggi sekitar 15%, sedangkan limbah buah anggur (buah anggur yang mendekati busuk) mengandung kadar gula 20-25% sehingga limbah-limbah buah anggur berpotensi diubah menjadi suatu energi baru terbarukan yaitu berupa bioetanol (Muslimah, 2010).

Bioetanol merupakan jenis bahan bakar yang dapat diperbarui, dan berasal dari bahan yang mengandung karbohidrat. Proses produksi bioetanol sendiri melalui metode fermentasi, yang di mana metode ini akan menghasilkan senyawa alkohol (etanol) (Wiratmaja & Elisa, 2020). Fermentasi adalah proses secara biologis yang melibatkan mikroorganisme seperti ragi dan bakteri yang dapat mengubah bahan organik menjadi produk kimia. Fermentasi ini dilakukan secara kondisi anaerobik (tanpa oksigen) dan aerobik (dengan oksigen), dan pada umumnya produksi bioetanol secara mikroba menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* (Masturi, dkk, 2017).

Selama reaksi fermentasi berlangsung, laju reaksi dinyatakan sebagai laju berkurangnya konsentrasi reaktan atau bertambahnya konsentrasi produk tiap satuan waktu (Amdayani, dkk, 2023). Produk reaksi fermentasi bisa dinyatakan dengan konsentrasi etanol (% v/v) sehingga, laju reaksi fermentasi dapat dinyatakan sebagai besarnya konsentrasi etanol per satuan waktu. Semakin besar kadar etanol yang dihasilkan berarti semakin besar konversi glukosa menjadi etanol (Firmana & Tjahjani, 2014). Laju reaksi fermentasi untuk bioetanol dapat diukur sebagai laju produksi etanol atau alkohol oleh mikroorganisme yaitu *Saccharomyces cerevisiae*.

Perhitungan laju reaksi fermentasi bioetanol dapat menggunakan metode Arrhenius yang melibatkan data laju reaksi eksperimental dan suhu dari suatu percobaan. Persamaan Arrhenius diperkenalkan oleh Svante Arrhenius ilmuwan yang berasal dari Swedia pada tahun 1889 yang menjelaskan fakta bahwa sebagian besar reaksi membutuhkan tambahan energi panas untuk memproses dengan merumuskan konsep aktivasi energi. Persamaan Arrhenius memberikan dasar kuantitatif hubungan antara aktivasi energi dan proses reaksi (Yulianto, 2020). Oleh karena itu, penggunaan Metode Arrhenius ini dapat digunakan untuk menghitung laju reaksi fermentasi bioetanol dari limbah buah anggur, sehingga dapat memperoleh konsentrasi etanol yang diinginkan.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengkaji proses fermentasi terhadap pembuatan bioetanol dari limbah buah anggur.

2. Mengukur laju reaksi fermentasi menggunakan Metode Arrhenius.
3. Mengetahui kadar etanol yang dihasilkan selama proses fermentasi.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu inkubator, alkoholmeter, pH meter, gelas ukur 2000 ml, blender, kain peras, ember, toples, kaos tangan, solatip, dan timbangan. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu limbah buah anggur, air, gula, dan ragi tape (*Saccharomyces cerevisiae*).

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan melakukan percobaan di lapangan.

Parameter Penelitian

1. Suhu Fermentasi

Selama proses fermentasi bahan disimpan di dalam inkubator yang sudah diatur suhunya, dalam penelitian ini menggunakan tiga suhu yang berbeda-beda yaitu suhu 29°C, 31°C, dan 33°C. Secara umum mikroorganisme dapat tumbuh dan mengubah glukosa menjadi etanol secara efisien pada suhu 28-35°C (Rijal, dkk, 2019).

2. Waktu Fermentasi

Lama waktu fermentasi dapat mempengaruhi konversi gula oleh *Saccharomyces cerevisiae* menjadi etanol. Terlalu lama atau terlalu singkat waktu fermentasi dapat mempengaruhi kadar etanol yang akan dihasilkan selama proses fermentasi. Penelitian ini menggunakan waktu selama 10 hari untuk melakukan fermentasi.

3. pH

pH sangat mempengaruhi proses fermentasi dalam pembuatan bioetanol. *Saccharomyces cerevisiae* memiliki rentang pH optimal, sehingga pengukuran pH dilakukan setiap hari selama proses fermentasi. Pengambilan

data pH menggunakan alat ukur berupa pH meter.

4. Kadar Alkohol

Pengukuran kadar alkohol selama fermentasi bertujuan untuk memberikan informasi tentang kemajuan fermentasi dan pemantauan kadar alkohol selama proses fermentasi. Data kadar alkohol selama fermentasi diperoleh dari pengukuran menggunakan alkohol meter.

5. Menghitung Energi Aktivasi (E_a)

Energi aktivasi (E_a) merupakan jumlah energi minimum yang digunakan untuk mengaktifkan suatu reaksi sebagai akibat dari pertemuan molekul-molekul di dalam tumbukan atau getaran. Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung energi aktivasi yaitu dengan persamaan Arrhenius sebagai berikut:

$$k = A e^{-E_a/RT} \dots\dots\dots (1)$$

Dalam bentuk logaritma:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

k = konstanta laju reaksi

A = faktor arrhenius

E_a = energi aktivasi (J/mol)

R = tetapan gas (8,314 J/mol K)

T = suhu mutlak dalam kelvin (K)

Dari persamaan Arrhenius dapat dibuat suatu kurva linier bila konstanta laju diketahui pada berbagai suhu. Persamaan tersebut menunjukkan bentuk persamaan garis lurus yaitu $y = b - mx$, dimana y menyatakan $\ln k$, b menyatakan $\ln A$, x menyatakan $1/T$, dengan kemiringan m adalah E_a/R . Jika $\ln k$ di plot terhadap $1/T$ akan diperoleh kurva linier dengan kemiringan (slope) = E_a/R dan perpotongan dengan y sebagai interceptnya adalah $\ln A$ (Mon, dkk, 2012).

6. Menghitung Laju Reaksi (k)

Laju reaksi fermentasi bioetanol merupakan seberapa cepat *Saccharomyces cerevisiae* dapat mengkonversi gula menjadi etanol. Perhitungan laju reaksi (k) dapat dilakukan dengan penentuan orde reaksi menggunakan grafik orde nol atau orde satu yang di mana akan memperoleh

nilai R^2 dan nilai terbesar dapat dipilih sebagai orde reaksi. Pada pendekatan Arrhenius nilai k diplotkan dengan $1/T$ dan $\ln k$ yang merupakan intersep dan slope dari persamaan (2) atau dapat dikatakan nilai k merupakan bentuk eksponensial dari nilai $\ln k$ (Pertiwi, dkk, 2020).

7. Menghitung Faktor Arrhenius (A)

Faktor Arrhenius (A) merupakan jumlah frekuensi tumbukan antar molekul-molekul selama reaksi berlangsung dan nilai faktor Arrhenius cenderung mengikuti pola perubahan nilai E_a . Nilai faktor Arrhenius (A) diperoleh dari data yang diplotkan pada grafik Arrhenius, dimana sumbu y adalah $\ln k$ dan sumbu x adalah $1/T$ dan dilakukan regresi linear pada data yang sudah diplotkan. Nilai intersepsi pada sumbu y adalah $\ln A$, dan nilai A dapat dihitung dengan memperoleh eksponensial dari nilai intersepsi (Poerwadi, dkk, 2019).

8. Penentuan Nilai Tetapan Gas (R)

Nilai tetapan gas atau yang sering disebut konstanta gas didapat dari persamaan keadaan paling sederhana, yang di mana nilai dari tetapan gas ideal sudah diketahui yaitu sebesar 8,314 J/mol K.

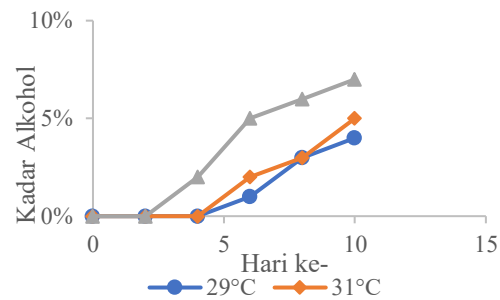
Analisis Data

Data yang diperoleh dari penelitian ini dianalisis menggunakan persamaan Arrhenius untuk menyelesaikan model matematis menggunakan Microsoft Excel, kemudian ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu Fermentasi

Fermentasi merupakan proses yang sangat dipengaruhi oleh suhu. Suhu penyimpanan selama fermentasi adalah salah satu faktor penting yang mempengaruhi aktivitas ragi, laju reaksi fermentasi, dan hasil akhir bioetanol.



Gambar 1. Grafik Hubungan Kadar Alkohol dengan Suhu Fermentasi

Berdasarkan Gambar 1, dapat dilihat perbedaan kadar alkohol yang dihasilkan selama fermentasi dengan suhu yang berbeda. Kadar alkohol yang tertinggi dihasilkan pada suhu 33°C yaitu sebesar 7%, sedangkan pada suhu 29°C memiliki kadar alkohol paling rendah sebesar 4%, dan pada suhu 31°C memiliki kadar alkohol sebesar 5%. Perbedaan kadar alkohol yang dihasilkan selama fermentasi dengan suhu penyimpanan yang berbeda karena pada suhu tinggi ragi *Saccharomyces cerevisiae* bekerja pada tingkat aktivitas yang sangat tinggi, yang bisa mempercepat proses fermentasi secara signifikan. Suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju metabolisme ragi *Saccharomyces cerevisiae* yang akan mengonsumsi substrat (glukosa) lebih cepat, dan mengkonversinya menjadi produk etanol dengan laju yang lebih cepat sehingga memperoleh kadar alkohol lebih tinggi dibanding dengan suhu 29°C dan 31°C.

Hal tersebut didukung oleh penelitian dari Fitria & Lindasari (2021) yang menyatakan pada temperatur yang tinggi pembentukan etanol lebih cepat tercapai karena reaksi dari bakteri atau ragi *Saccharomyces cerevisiae* cenderung lebih cepat. Temperatur yang tinggi juga akan mempercepat penurunan konsentrasi yang disebabkan oleh terganggunya pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* sehingga kadar etanol menurun seiring bertambahnya waktu. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kumar KK & Senan (2020), dapat dilihat bahwa dengan variabel temperatur 28-36°C selama fermentasi diperoleh konsentrasi etanol sebesar 6,28% pada temperatur 32°C.

Waktu Fermentasi

Proses fermentasi dipengaruhi banyak faktor diantaranya adalah suhu, pH, konsentrasi ragi dan waktu fermentasi (Firman & Tjahjani, 2014). Dapat dilihat pada Gambar 1 bahwa pada hari ke-10 memiliki kadar alkohol yang paling tinggi dari masing-masing suhu, dari suhu 29°C memiliki kadar alkohol sebesar 4%, suhu 31°C sebesar 5%, dan suhu 33°C yaitu 7%. Pada hari ke-0 sampai hari ke-4 dari suhu 29°C dan suhu 31°C masih belum memiliki kadar alkohol yaitu sebesar 0%, sedangkan untuk suhu 33°C sudah memiliki kadar alkohol sebesar 2%. Untuk hari ke-6 kadar alkohol yang diperoleh pada suhu 29°C sebesar 1%, pada suhu 31°C sebesar 2%, dan suhu 33°C memperoleh kadar alkohol sebesar 5%. Sedangkan pada hari ke-8 untuk suhu 29°C kadar alkoholnya yaitu sebesar 3%, dan suhu 31°C sebesar 3%, sedangkan pada suhu 33°C sebesar 6%.

Perbedaan jumlah kadar alkohol yang diperoleh dari 10 hari fermentasi ini dipengaruhi oleh pertumbuhan ragi dan keadaan lingkungan penyimpanan selama fermentasi. Dalam fase pertumbuhan ragi *Saccharomyces cerevisiae* terdapat fase adaptasi (*lag phase*) yang di mana fase ini ragi *Saccharomyces cerevisiae* terlebih dahulu menyesuaikan diri dengan lingkungan barunya. Kemudian fase perbanyak sel yang di mana fase ini mikroba merombak substrat menjadi nutrisi untuk pertumbuhannya, dan berikutnya fase eksponensial atau pertumbuhan (*log phase*) yang di mana ragi *Saccharomyces cerevisiae* telah dapat menyesuaikan diri dengan lingkungannya dan terjadi pembelahan sel yang sangat cepat secara eksponensial dan menghasilkan alkohol. Dari fase pertumbuhan ragi *Saccharomyces cerevisiae* inilah diketahui waktu yang dibutuhkan ragi *Saccharomyces cerevisiae* mengubah glukosa menjadi etanol atau alkohol (Rifdah, dkk, 2022).

Waktu fermentasi yang terlalu lama juga dapat menurunkan kadar alkohol yang akan dihasilkan, karena terlalu lama fermentasi maka nutrisi dalam substrat akan habis dan ragi *Saccharomyces cerevisiae*

tidak dapat lagi memfermentasi bahan. Hal ini disebabkan jumlah nutrisi yang tersedia tidak seimbang dengan jumlah ragi *Saccharomyces cerevisiae* yang lebih banyak, sehingga ragi *Saccharomyces cerevisiae* kekurangan makanan yang mengakibatkan kinerja ragi *Saccharomyces cerevisiae* menurun dan tidak menghasilkan alkohol dengan maksimal. Semakin lama fermentasi dilakukan tidak menentukan banyak kadar alkohol yang dihasilkan, dan malah sebaliknya (Khazalina, 2020).

pH

Selama fermentasi dilakukan pengukuran pH terhadap substrat yang disimpan dengan suhu yang berbeda menggunakan pH meter, yang di mana pengukuran dilakukan 2 hari sekali selama 10 hari fermentasi yaitu dari hari ke-0, hari ke-2, hari ke-4, dan seterusnya.

Tabel 1. Kadar pH Selama Fermentasi dengan Suhu yang Berbeda-Beda.

Waktu Fermentasi (Hari)	Suhu Fermentasi		
	29°C	31°C	33°C
	pH		
0	3,34	3,34	3,34
2	3,31	3,32	3,30
4	3,29	3,30	3,28
6	3,26	3,27	3,25
8	3,23	3,25	3,21
10	3,20	3,22	3,18

Pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa pH mengalami penurunan setiap harinya baik dari suhu penyimpanan 29°C, 31°C, dan 33°C. Pada hari ke-0 dari suhu 29°C, 31°C, dan 33°C sama-sama memiliki pH sebesar 3,34. Sedangkan pada hari ke-2 sampai hari ke-10 dari masing-masing suhu mengalami penurunan yaitu pada suhu 29°C pH terakhir sebesar 3,20, suhu 31°C pH sebesar 3,22, dan suhu 33°C pH sebesar 3,18.

Penurunan pH selama fermentasi disebabkan oleh ragi *Saccharomyces cerevisiae* yang tidak hanya mengubah glukosa menjadi etanol, tetapi juga menghasilkan asam organik sebagai produk sampingan termasuk asam laktat, asam asetat, dan asam format. Produksi asam-asam ini mengakibatkan peningkatan konsentrasi

ion hidrogen (H^+) dalam substrat yang menyebabkan penurunan pH. Suhu penyimpanan yang lebih tinggi mempercepat metabolisme mikroba sehingga pada suhu $33^{\circ}C$ lebih mengalami penurunan pH dibandingkan dengan pH suhu $29^{\circ}C$ dan $31^{\circ}C$. Tetapi Jika dibandingkan dengan pH 3 berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dari Cika, dkk (2022), ragi *Saccharomyces cerevisiae* lebih cenderung efisien pada pH 5, karena pada pH 3 kondisi menjadi terlalu asam dan dapat menyebabkan stres pada sel ragi, sehingga menghambat pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme selama fermentasi.

Pada penelitian yang dilakukan Rijal, dkk (2019) ragi *Saccharomyces cerevisiae* hidup pada kondisi pH 3-6 dengan temperatur maksimal $40-50^{\circ}C$, dan secara umum mikroorganisme dapat tumbuh dan mengubah glukosa menjadi etanol secara efisien pada pH 3,5-6,0 dan suhu $28-35^{\circ}C$. Kondisi ini didukung oleh penelitian dari Babu, dkk (2019) menyebutkan bahwa produksi bioetanol dengan variabel pH 5 hingga pH 8 didapatkan kadar bioetanol tertinggi pada pH 6 dengan waktu fermentasi 48 jam dimana lama waktu fermentasi tersebut kadar bioetanol yang dihasilkan cenderung naik yang menandakan bahwa ragi masih tumbuh dan belum mengalami fase kematian sehingga diambil pH 5- 6 sebagai kondisi optimum untuk fermentasi bioetanol dari kulit nanas. Kondisi ini didukung penelitian Kumar KK & Senan (2020), dengan variabel pH dari 4 hingga 8 terhadap kulit nanas didapatkan konsentrasi etanol tertinggi pada pH 6 dengan konsentrasi etanol 11,36%.

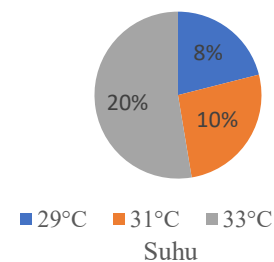
Kadar Alkohol

Kadar alkohol selama fermentasi diukur menggunakan alkohol meter, yang dimana terdapat 3 sampel substrat yang disimpan atau difermentasi pada inkubator dengan suhu penyimpanan yaitu pada suhu $29^{\circ}C$, $31^{\circ}C$, dan $33^{\circ}C$ sehingga kadar alkohol yang dihasilkan setiap suhu berbeda-beda. Hasil dari kadar alkohol atau etanol selama fermentasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah Kadar Alkohol Selama Waktu Fermentasi dengan Suhu yang Berbeda-Beda.

Waktu Fermentasi (Hari)	Suhu Fermentasi		
	$29^{\circ}C$	$31^{\circ}C$	$33^{\circ}C$
	Kadar Alkohol (%)		
0	0	0	0
2	0	0	0
4	0	0	2
6	1	2	5
8	3	3	6
10	4	5	7

Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa semakin lama waktu fermentasi maka kadar alkohol yang dihasilkan semakin tinggi, dan semakin tinggi suhu penyimpanan semakin tinggi pula kadar alkohol yang diperoleh. Fermentasi pada 4 hari pertama kadar alkohol yang dihasilkan masih 0% dari suhu $29^{\circ}C$ dan $31^{\circ}C$, sedangkan pada suhu $33^{\circ}C$ hari ke-4 memiliki kadar alkohol 2%. Hari ke-6 sampai hari ke-10 masing-masing suhu mengalami kenaikan kadar alkohol dari suhu $29^{\circ}C$ sebesar 4%, suhu $31^{\circ}C$ sebesar 5%, dan suhu $33^{\circ}C$ sebesar 7%.



Gambar 2. Grafik Kadar Alkohol dengan Suhu Fermentasi Berbeda-beda

Perbedaan kadar alkohol yang dihasilkan selama fermentasi dengan suhu penyimpanan yang berbeda-beda disebabkan oleh beberapa faktor yaitu dari kondisi lingkungan seperti suhu penyimpanan seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, lama waktu fermentasi, kandungan glukosa pada bahan, dan pH selama fermentasi. Menurut Hasanah, dkk (2021) di dalam melakukan fermentasi terdapat faktor yang mempengaruhi fermentasi atau pertumbuhan khamir, salah satunya adalah waktu. Dalam pembuatan etanol, lama waktu fermentasi dapat mempengaruhi kadar etanol yang dihasilkan. Proses fermentasi dapat dipengaruhi oleh faktor suhu, pH,

konsentrasi ragi dan waktu fermentasi sehingga faktor-faktor tersebut harus diperhatikan untuk memperoleh kadar alkohol yang diinginkan (Firman dan Tjahjani 2014).

Menghitung Energi Aktivasi (Ea)

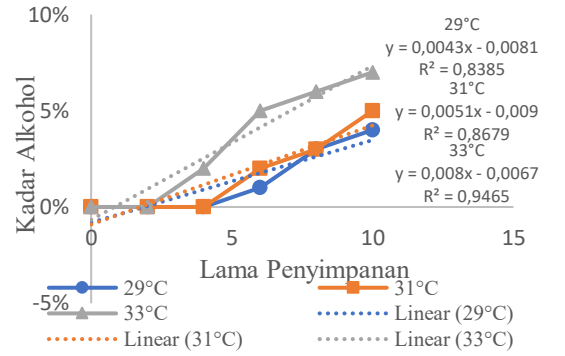
Energi aktivasi (Ea) merupakan energi minimum yang diperlukan untuk memulai reaksi kimia. Energi aktivasi (Ea) berperan sebagai parameter penentu kecepatan laju reaksi. Reaksi dengan energi aktivasi tinggi akan memiliki laju reaksi yang lebih lambat dibandingkan reaksi dengan energi aktivasi rendah, pada suhu yang sama. Perhitungan nilai (Ea) dapat menggunakan persamaan Arrhenius, yang dimana dari persamaan Arrhenius dapat dibuat suatu kurva linier. Apabila $\ln k$ dihubungkan dengan $1/T$ maka diperoleh nilai dari energi aktivasi (Hustiany, 2016).

Perhitungan nilai energi aktivasi (Ea) dimulai dengan membuat grafik orde reaksi, untuk menentukan orde reaksi yang digunakan, dan dapat dilakukan regresi linier pada suhu yang sama pada orde reaksi nol, orde reaksi satu, dan orde reaksi dua, dan dibandingkan koefisien determinan (R^2) setiap persamaan, dan orde reaksi dengan R^2 yang mendekati angka satu merupakan orde reaksi yang dapat digunakan. Dari penelitian ini cukup menggunakan orde reaksi nol, karena memiliki nilai R^2 mendekati angka satu dibanding orde reaksi lainnya. Sehingga diperoleh persamaan regresi linier untuk orde nol yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Persamaan Regresi Linier Kadar Alkohol Orde Reaksi Nol.

Suhu (°C)	Persamaan	R^2
	Orde nol	Orde nol
29	$y = 0,0043x - 0,0081$	0,8385
31	$y = 0,0051x - 0,009$	0,8679
33	$y = 0,008x - 0,0067$	0,9465

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat plot data hasil pengamatan kadar alkohol selama fermentasi dengan suhu yang berbeda, dapat dilihat pada Gambar 3.



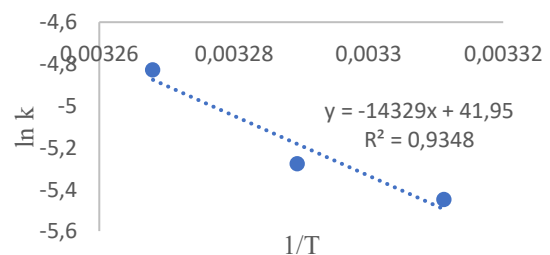
Gambar 3. Grafik Hubungan Kadar Alkohol Selama Fermentasi dengan Suhu Berbeda

Korelasi antara nilai kadar alkohol dengan lama waktu fermentasi pada suhu 29°C membentuk persamaan regresi linier $y = 0,0043x - 0,0081$ ($R^2 = 0,8385$). Pada suhu penyimpanan atau fermentasi 31°C membentuk persamaan regresi linier $y = 0,0051x - 0,009$ ($R^2 = 0,8679$). Sedangkan pada suhu 33°C membentuk persamaan regresi linier $y = 0,008x - 0,0067$ ($R^2 = 0,9465$). Untuk mengetahui hubungan $\ln k$ dan $1/T$ dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hubungan Antara $\ln k$ dengan $1/T$.

Suhu (°C)	Suhu T (K)	Persamaan		
		Slope (k)	$1/T$	$\ln k$
29	302	0,0043	0,003311258	-5,449140256
31	304	0,0051	0,003289474	-5,278514739
33	306	0,008	0,003267974	-4,828313737

Berdasarkan Tabel 4 dibuat plot persamaan Arrhenius hubungan antara nilai $\ln k$ dengan $1/T$ untuk memperoleh persamaan regresi linier yang digunakan untuk menghitung nilai energi aktivasi (Ea), dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Plot Arrhenius Hubungan $\ln k$ dan $1/T$

Dari Gambar 4 dapat dilihat nilai dari persamaan regresi linier yang diperoleh yaitu $y = -14329x + 41,95$ ($R^2 = 0,9348$). Persamaan regresi linier tersebut memiliki nilai

kemiringan kurva (*slope*) negatif, yang menunjukkan bahwa saat suhu meningkat (yang berarti $1/T$ menurun) maka nilai $\ln k$ akan meningkat. Hal ini konsisten dengan konsep bahwa laju reaksi meningkat dengan meningkatnya suhu. Nilai *slope* (14329) dari kemiringan kurva linier merupakan nilai $-E_a/R$ dari persamaan Arrhenius, sehingga dapat dihitung nilai energi aktivasi (E_a) untuk kadar alkohol pada bioetanol yaitu nilai *slope* (14329) dikalikan dengan nilai tetapan gas (8,314 J/mol K) dan diperoleh nilai energi aktivasi (E_a) sebesar 119 Joule/mol.

Energi aktivasi (E_a) berbanding terbalik dengan laju reaksi dan suhu. Semakin tinggi energi aktivasi akan menyebabkan laju reaksinya semakin melambat. Hal tersebut terjadi karena energi aktivasi merupakan energi minimum yang diperlukan untuk terjadinya suatu reaksi. Semakin tinggi energi minimum yang diperlukan untuk bereaksi, maka semakin lambat reaksi yang terjadi. Sehingga dibutuhkan suhu yang semakin meningkat agar energi aktivasi yang dibutuhkan dapat menurun. Semakin besar harga $1/T$ rata-rata, maka semakin kecil harga $\ln k$. Ini membuktikan bahwa semakin tinggi suhu maka energi aktivasinya semakin kecil. Semakin kecil energi aktivasi maka laju reaksinya semakin besar.

Menurut hasil penelitian dari Salim (2020) yang memperoleh nilai energi aktivasi (E_a) sebesar 127,071 kJ/mol. Harga ini menggambarkan energi minimum yang dibutuhkan oleh reaktan dengan katalis Ni-Zeolit alam untuk membentuk senyawa antara sebelum reaktan diubah menjadi produk. Kebutuhan energi yang lebih banyak ini dapat disebabkan oleh adanya keheterogenan dari penyusun atau pembentuk zeolit alam. Penelitian dari Puti, dkk (2022) juga memperoleh perhitungan nilai energi aktivasi yang menunjukkan bahwa molekul reaktan harus memiliki energi minimum sebesar 17,9366 kJ/mol atau 17936,6 Joule/mol agar dapat membentuk produk ester.

Menghitung Laju Reaksi (k)

Pada dasarnya laju reaksi (k) sangat dipengaruhi oleh suhu, semakin tinggi suhu maka semakin tinggi pula nilai dari laju reaksi yang diperoleh. Hal ini berbanding terbalik dengan energi aktivasi, yang di mana semakin tinggi nilai energi aktivasi maka laju reaksi semakin lambat dan sebaliknya jika nilai energi aktivasi semakin rendah maka laju reaksi semakin cepat. Hal ini dapat diperjelas melalui energi kinetik yang dimiliki reaktan asam lemak bebas dan etanol serta katalis semakin tinggi dengan naiknya temperatur (Haryanto, dkk, 2020).

Perhitungan nilai laju reaksi (k) dapat menggunakan persamaan Arrhenius, yang pertama harus menentukan orde reaksi yang akan digunakan. Orde reaksi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3 dan diperoleh persamaan regresi linier dengan nilai R^2 yang mendekati angka satu, sehingga menggunakan orde reaksi nol yang dapat dilihat pada Tabel 3. Setelah memperoleh persamaan regresi linier dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai $\ln k$ yang digunakan untuk membuat grafik plot Arrhenius hubungan $\ln k$ dengan $1/T$ untuk memperoleh persamaan regresi linier yang digunakan untuk menghitung nilai laju reaksi (k), dapat dilihat pada Tabel 4. Sedangkan untuk grafik hubungan antara $\ln k$ dengan $1/T$ dapat dilihat pada Gambar 4. Dari nilai regresi linier tersebut diperoleh nilai laju reaksi (k) dengan menggunakan persamaan Arrhenius yang dimana intercept sebagai $\ln A$ dan nilai *slope* sebagai E_a/R . sehingga diperoleh $\ln k = 41,95 - 14329/T$, dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Laju Reaksi (k) pada Pembentukan Kadar Alkohol Selama Penyimpanan dengan Suhu Berbeda-Beda.

$\ln A$	E_a/R	Suhu ($^{\circ}K$)	$\ln k$	k
41,95	14329	302	-	0,0040
			5,497019868	98969
		304	-	0,0056
			5,184868421	00673
		306	-	0,0076
			4,876797386	21383

Dari Tabel 5 dapat dilihat nilai laju reaksi (k) dari masing-masing suhu, pada

suhu 29°C (302°K) memperoleh nilai laju reaksi (k) sebesar 0,0041 mol/L. Untuk suhu 31°C (304°K) dengan nilai laju reaksi (k) sebesar 0,0056 mol/L. Sedangkan untuk suhu 33°C (306°K) memiliki nilai laju reaksi (k) sebesar 0,0076 mol/L. Dari ketiga suhu tersebut dapat dilihat bahwa suhu 33°C memiliki nilai laju reaksi (k) yang paling tinggi dibanding dengan suhu 29°C dan 31°C. Hal ini sesuai dengan pernyataan Haryanto, dkk (2020), bahwa semakin tinggi suhu yang dilakukan dalam penyimpanan atau fermentasi maka mempercepat laju reaksi (k) atau memperoleh nilai yang tinggi.

Menghitung Faktor Arrhenius (A)

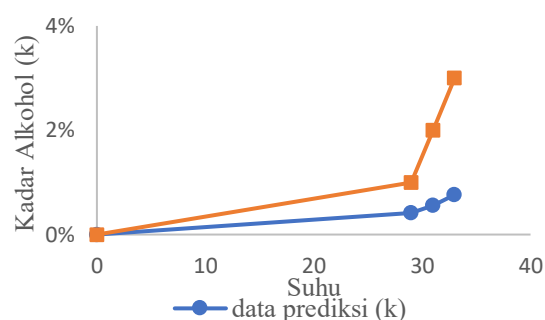
Perhitungan faktor Arrhenius (A) sama dengan memperoleh nilai energi aktivasi (E_a) dan laju reaksi (k), karena nilai faktor Arrhenius (A) diperoleh dari data yang diplotkan pada kurva hubungan antara $\ln k$ dengan $1/T$ yang dapat dilihat pada Gambar 5. Dari grafik tersebut diperoleh regresi linier sebesar $y = -14329x + 41,95$ ($R^2 = 0,9348$), dengan nilai $\ln A$ (intercept) sebesar 41,95 dan nilai E_a/R (slope) sebesar -14329, untuk memperoleh nilai (A) digunakan nilai $\ln A$ (intercept) yaitu 41,95 di eksponensialkan dan memperoleh nilai faktor Arrhenius (A) yaitu sebesar 1,56 mol/L.

Nilai konstanta laju reaksi berbanding lurus dengan nilai (A) dan dengan demikian berbanding lurus dengan frekuensi tumbukan. Menurut penelitian dari Haryanto, dkk (2020) semakin tinggi temperatur menyebabkan molekul-molekul senyawa semakin cepat, dan energi kinetik molekul reaktan semakin besar sehingga tumbukan antar molekul juga meningkat.

Perbandingan Antara Kadar Alkohol dan Laju Reaksi (k)

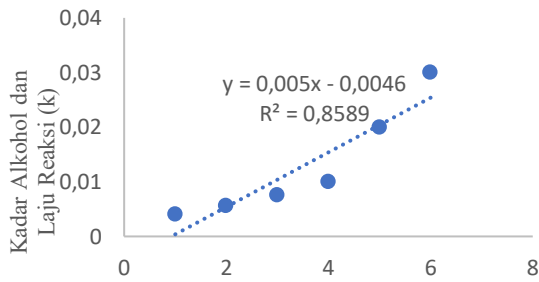
Laju reaksi (k) sangat dipengaruhi oleh suhu selama fermentasi, dan mempengaruhi hasil alkohol yang akan dihasilkan. Suhu fermentasi rendah dapat memperlambat terjadinya laju reaksi, sehingga kadar alkohol yang dihasilkan rendah. Begitupun sebaliknya suhu yang tinggi dapat mempercepat laju reaksi sehingga kadar alkohol yang dihasilkan juga

meningkat. Hal ini sama dengan pendapat dari Haryanto, dkk (2020) laju reaksi sangat dipengaruhi oleh suhu, semakin tinggi suhu menyebabkan gerakan molekul-molekul senyawa semakin cepat, sehingga semakin tinggi pula nilai laju reaksi (k) dan mempengaruhi kadar alkohol yang dihasilkan. Hubungan antara kadar alkohol yang diukur langsung selama penelitian atau disebut data observasi, dengan laju reaksi (k) sebagai data prediksi karena dihitung secara matematis, yang dapat digunakan untuk mengetahui apakah pola kenaikan kadar alkohol (data observasi) akan sama dengan pola kenaikan laju reaksi (k) dari (data prediksi). Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan Antara Kadar Alkohol dan Laju Reaksi (k)

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa baik kadar alkohol dan laju reaksi (k) memiliki nilai yang tinggi seiring naiknya suhu selama fermentasi. Pada suhu 0°C kadar alkohol dan laju reaksi (k) sama-sama memiliki nilai 0%, pada suhu 29°C baik pada kadar alkohol dan laju reaksi (k) sama-sama mengalami kenaikan yaitu kadar alkohol sebesar 1% dan laju reaksi (k) sebesar 0,41%. Untuk suhu 31°C kadar alkohol mengalami kenaikan 2% dan laju reaksi (k) sebesar 0,56%. Sedangkan untuk suhu 33°C kadar alkohol diperoleh sebesar 3% dan laju reaksi (k) sebesar 0,76%. Dari hal tersebut dapat dilihat bahwa kadar alkohol dan laju reaksi sama-sama akan mengalami kenaikan dengan semakin naik suhu fermentasi.



Gambar 6. Grafik Untuk Kadar Alkohol dan Laju Reaksi (k)

Dari grafik tersebut diperoleh persamaan garis regresi yaitu sebesar $y = 0,005x - 0,0046$ yang menunjukkan hubungan linier antara dua variabel. Nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,8589 menunjukkan bahwa sekitar 85,89% variabilitas dalam data dapat dijelaskan oleh model linier. Terjadi hubungan yang berkaitan antara kadar alkohol dan laju reaksi (k), ketika kadar alkohol meningkat atau menurun, laju reaksi akan mengalami peningkatan dan juga penurunan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Fermentasi bioetanol dari limbah buah anggur merupakan proses mengubah glukosa menjadi senyawa etanol dengan bantuan ragi *Saccharomyces cerevisiae* dan dilakukan secara anaerob (tanpa oksigen), dan proses tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, pH, dan waktu fermentasi.

Laju reaksi (k) mengikuti pola $y = -14329x + 41,95$ dari grafik plot Arrhenius yang memperoleh nilai *slope* negatif, yang menunjukkan bahwa saat suhu tinggi maka nilai $\ln k$ akan meningkat dan laju reaksi ikut meningkat. Sehingga diperoleh konstanta laju reaksi maksimal pada suhu 33°C sebesar 0,0076 mol/L dan minimum pada suhu 29°C sebesar 0,0041 mol/L, dan memperoleh nilai $R^2 = 0,9348$ yang menunjukkan data sesuai dengan model linier karena mendekati angka 1.

Kadar alkohol yang dihasilkan selama 10 hari fermentasi dari ketiga suhu penyimpanan yang berbeda-beda yaitu, pada suhu 33°C memiliki nilai kadar alkohol paling tinggi sebesar 7%, dan terendah pada

suhu 29°C sebesar 4%, dan suhu 31°C sebesar 5%.

Saran

Selama proses fermentasi pH yang dimiliki terlalu rendah sehingga dapat mempengaruhi laju reaksi dan kadar alkohol yang dihasilkan, serta waktu fermentasi terlalu singkat sehingga proses fermentasi tidak optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya menyampaikan pula terima kasih kepada bapak dan ibu dosen pembimbing atas bantuan, saran, dan bimbingan selama ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. M. 2018. Solid Waste Issue: Sources, Composition, Disposal, Recycling, And Valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*, Vol 27, 1275-1290.
- Adetunji, A. I., Oberholster, P. J., Erasmus, M. 2023. From Garbage to Treasure: A Review on Biorefinery of Organic Solid Wastes into Valuable Biobased Products. *Journal Bioresource Technology Reports*, 1-18.
- Amdayani, S., Dibyantini, R. E., Dalimunthe, M. 2023. *Laju Reaksi Berbasis STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics)*. Jawa Tengah: Eureka Media Aksara.
- Babu, P. R., Mastani, M., Charan, K., Vaishnav, V. 2019. Optimization of Ethanol Production from Pineapple Peel by *Saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Advanced Scientific Research and Management*, 4(5), 355-358.
- Bahri, S., Aji, A., Yani, F. 2018. Pembuatan Bioetanol dari Kulit Pisang Kepok Dengan Cara Fermentasi Menggunakan Ragi Roti. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 7(2), 85-100.
- Baptista, S. L., Romani, A., Cunha, J. T., Domingues, L. 2023. Multi-Feedstock Biorefinery Concept: Valorization of Winery Wastes by Engineered Yeast.

- Journal of Environmental Management*, Vol 326, 1-13.
- Cika, A. F. P., Uztamila, Y., Effendy, S. A., Syarif, A., Hajar, I. 2022. Pengaruh pH Fermentasi dan Putaran Pengadukan pada Fermentasi Molasses Terhadap Produksi Bioetanol. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, 2(1), 41-47.
- Firmana, A. A. N., & Tjahjani, S. 2014. Karakterisasi Hasil dan Penentuan Laju Reaksi Fermentasi Bonggol Pisang (*Musa paradisiaca*) Menjadi Etanol dengan *Saccharomyces cerevisiae*. *UNESA Journal of Chemistry*, 3(3), 21-26.
- Fitria, N., & Lindasari, E. 2021. Optimasi Perolehan Bioetanol dari Kulit Nanas (*Ananas comosus*) dengan Penambahan Urea, Variasi Konsentrasi Inokulasi Starter dan Waktu Fermentasi. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 9(1), 1-10.
- Haryanto, A., Gita, A. C., Saputra, T. W., Telaumbanua, M. 2020. First Order Kinetics of Biodiesel Synthesis Using Used Frying Oil through Transesterification Reaction. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 9(1), 1-11.
- Hasanah, N., Side, S., Sudding. 2021. Pengaruh Lama Fermentasi terhadap Kadar Etanol dari Limbah Serabut Kelapa Sawit Hasil Pretreatment Alkali dan Hidrolisis Asam. *Jurnal Chemica*, 22(1), 54-64.
- Hassan, A. M. M., Asif, M., Al-Mansur, M. A., Uddin, M. R., Alsufyani, S. J., Yasmin, F., Khandaker, M. U. 2023. Characterization of Municipal Solid Waste for Effective Utilization as An Alternative Source for Clean Energy Production. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 16(4), 1-6.
- Hawusiwa, E. S., Wardani, A. K., Ningtyas, D. W. 2015. Pengaruh Konsentrasi Pasta Singkong (*Manihot Esculenta*) dan Lama Fermentasi pada Proses Pembuatan Minuman Wine Singkong. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 3(1), 147-155.
- Hendrawan, Y., Sumarlan, S. H., Rani, C. P. 2017. Pengaruh pH dan Suhu Fermentasi Terhadap Produksi Etanol Hasil Hidrolisis Jerami Padi. *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 5(1), 1-8.
- Herliati., Sefaniyah., Indri, A. 2018. Pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai Bahan Baku pembuatan Bioetanol. *Jurnal Teknologi*, 6(1), 1-12.
- Hustiany, R. 2016. Aplikasi Persamaan Arrhenius dan Linear Untuk Pengujian Stabilitas Retensi Impact Compound Flavor Kweni Terenkapsulasi. *Jurnal Ziraa'ah Majalah Ilmiah Pertanian*, 41(3), 393-402.
- Khazalina, T. 2020. *Saccharomyces cerevisiae* dalam Pembuatan Produk Halal Berbasis Bioteknologi Konvensional dan Rekayasa Genetika. *Journal of Halal Product and Research*, 3(2), 88-94.
- Kumar, G. KK., & Senan, P. V. 2020. Bioethanol Production from Local Fruit Waste and Its Optimization. *Indian Journal of Experimental Biology*, 58, 879-882.
- Masturi., Cristina, A., Istiana, N., Sunarno., Dwijananti, P. 2017. Ethanol Production from Fermentation of Arum Manis Mango Seeds (*Mangifera indica* L.) Using *Saccharomyces crevisiaea*. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 6(1), 56–60.
- Moede, F. H., Gonggo, S. T., Ratman. 2017. Pengaruh Lama Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Bioetanol dari Pati Ubi Jalar Kuning (*Ipomea Batata* L). *Jurnal Akademik Kimia*, 6(2), 86-91.
- Mon, I., Yerimadesi., Hardeli. 2012. *Kimia Fisika Kinetika Kimia*. Sumatra Barat: UNP Press Padang.
- Muslimah, R. 2010. Uji Organoleptik Fruitghurt Hasil Fermentasi Limbah Buah Anggur (*Vitis Vinifera*) Oleh *Lactobacillus Bulgaricus*. *Skripsi*. Program Studi Pendidikan Biologi. Fakultas Keguruan dan Pendidikan. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Nadliroh, K., & Fauzi, A. S. 2021. Optimasi Waktu Fermentasi Produksi Bioetanol dari Sabut Kelapa Muda Melalui

- Distilator Refluks. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 9(2), 124-133.
- Pertiwi, R., Suhartatik, N., Mustofa, A. 2020. Estimasi Umur Simpan *Snack Bars* Beras Ketan Hitam (*Oryza sativa var. glutinosa*) dan Labu Kuning (*Cucurbita moschata*) dengan Metode ASS (*Accelerated Storage Studies*). *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 13(2), 104-110.
- Poerwadi, B., Ismuyanto, B., Rosyadi, A. R., Wibowo, A. I. 2019. Kinetika Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Microwave pada Produksi Biodisel dari Minyak Jarak. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, 3(1), 6-11.
- Putri, Q. U., Augustin, D., Hasanudin, H. 2022. Kinetika Esterifikasi Asam Lemak Bebas dari Sludge Industri Crude Palm Oil (CPO) Menggunakan Katalis Komposit Montmorillonite/Karbon Tersulfonasi dari Tetes Tebu. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 18(1), 48-57.
- Rakhmat, I. I., Juliastuti, H., Yuslianti, E. R., Handayani, D. R., Fauzan, K. B., Mutiadewi, N. S., Candra, B. D. 2021. *Sayuran dan Buah Berwarna Ungu Untuk Meredam Radikal Bebas*. Yogyakarta: DEEPUBLISH.
- Rifdah., Kalsum, U., Anugrah, I. S. 2022. Pengaruh *Saccharomyces cerevisiae* Terhadap Kadar Etanol dari Kulit Nanas Secara Fermentasi. *Jurnal Patra Akademik*, 13(2), 115-126.
- Rijal, M., Rumbu, A., Mahulauw, A. 2019. Pengaruh Konsentrasi *Saccharomyces cereviceae* Terhadap Produksi Bioetanol Berbahan Dasar Batang Jagung. *Jurnal Biology Scince & Education*, 8(1), 59-70.
- Riza, M. 2016. Pemanfaatan Limbah Kulit Ubi Kayu (*Manihot utilisima* Pohl.) dan Kulit Nanas (*Ananas comosus* L.) pada Produksi Bioetanol Menggunakan *Aspergillus niger*. *Jurnal The 3rd Universty Research Colloquim*, 604-614.
- Salehi, R., Taghizadeh-Alisaraei, A., Shahidi, F., Jahanbakhshi, A. 2020. Potentiometric of Bioethanol Production from Cantaloupe Waste (*Magassi Neishabouri Cultivar*). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(1), 51-55.
- Salim, I. 2020. Penentuan Energi Aktivasi (Ea) dan Orde Reaksi pada Reaksi Katalitik Hidrorengkah n-Heksadekana Menggunakan Katalis Nikel-Zeolit Alam. *AVOGADRO Jurnal Kimia*, 4(2), 83-94.
- Siskayanti, R., Muliati, L., Abdan, M. F., Jamilah, R. N., Wathoni, G. M. F. 2023. Pembuatan Bioetanol dari Kulit Nanas Menggunakan *Saccaromyces cerevisiae* Terimobilisasi Butiran Alginate. *Jurnal REDOKS*, 8(1), 70-80.
- Supratna, L. 2023. *Kecamatan Batulayar dalam Angka 2023*. Lombok Barat: BPS Kabupaten Lombok Barat.
- Susmiati, Y. 2018. Prospek Produksi Bioetanol dari Limbah Pertanian dan Sampah Organik. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 7(2), 67-80.
- Udayana, I. G. B., Budi, L. S., Nurwantara, M. P. 2021. Strategi Produk Olahan Buah Anggur Sebagai Produk Unggulan di Kabupaten Buleleng Provinsi Bali. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 31(3), 296-304.
- Wiratmaja, I. G., & Elisa, E. 2020. Kajian Peluang Pemanfaatan Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Utama Kendaraan Masa Depan di Indonesia. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 8(1), 1-8.
- Yulianto, T. 2020. *Ensiklopedia Toko Besar Dunia Ilmuwan 3*. Jawa Tengah: ALPRIN.
- Yumas, M., & Rosniati. 2014. Pengaruh Konsentrasi Starter dan Lama Fermentasi Pulp Kakao Terhadap Konsentrasi Etanol. *Jurnal Biopropal Industri*, 5(1), 13-22.