

Pemanfaatan Limbah Kulit Nanas Menjadi Bioetanol dengan Variasi Konsentrasi Ragi dan Lama Fermentasi

Febri Liani Br Simanjuntak*, Muhammad Yerizam, Aneasari Meidinariasty

Program Studi Teknologi Kimia Industri, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang

*Koresponden email: febriliani969@gmail.com

Diterima: 29 September 2024

Disetujui: 4 Oktober 2024

Abstract

Pineapple peel waste can pollute the environment if not properly managed. On the other hand, pineapple peel waste can be used as a raw material for the production of bioethanol. The aim of this study was to evaluate the effect of variations in yeast concentration and the duration of the fermentation process on the bioethanol content of pineapple peel waste. In the fermentation process with variations in yeast concentration of 1.5%, 2% and 4%, the type of yeast used is *Saccharomyces cerevisiae*, the addition of nutrients in the form of NPK and urea by 0.5% each, as well as variations in the length of fermentation for 4 days, 5 days, 6 days, 7 days and 8 days. This study showed that the bioethanol content obtained was significantly influenced by yeast concentration and fermentation time. The sample with the highest ethanol content was produced with the addition of 4% yeast and fermentation for 5 days, the bioethanol content produced was 59% based on calculations using the standard ethanol curve equation and 57.23% based on analysis using GC-MS.

Keywords: *bioethanol, pineapple peel waste, saccharomyces cerevisiae, fermentation*

Abstrak

Limbah kulit nanas dapat mencemari lingkungan jika tidak dilakukan pengelolaan dengan baik pada limbah tersebut. Pada sisi lain, limbah kulit nanas ini bisa dimanfaatkan menjadi bahan baku pembuatan bioetanol. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi ragi serta lama proses fermentasi terhadap kadar bioetanol dari limbah kulit nanas. Dalam proses fermentasi dengan variasi konsentrasi ragi 1,5%, 2%, dan 4%, jenis ragi yang digunakan adalah *Saccharomyces cerevisiae*, dilakukan juga penambahan nutrisi berupa NPK dan urea masing-masing sebesar 0,5%, serta variasi lama fermentasi selama 4, 5, 6, 7, dan 8 hari. Penelitian ini menunjukkan bahwa kadar bioetanol yang diperoleh secara signifikan dipengaruhi oleh konsentrasi ragi dan waktu fermentasi. Sampel dengan kandungan etanol tertinggi dihasilkan pada sampel dengan penambahan ragi 4% dan fermentasi selama 5 hari, kadar bioetanol yang dihasilkan sebesar 59% berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan kurva standar baku etanol, dan sebesar 57,23% berdasarkan analisis menggunakan GC-MS.

Kata Kunci: *bioetanol, limbah kulit nanas, saccharomyces cerevisiae, fermentasi*

1. Pendahuluan

Nanas merupakan komoditas terbesar ketiga di Indonesia, di mana Indonesia menjadi negara dengan produksi nanas terbesar di Asia sesudah Filipina dan Thailand [1]. Semakin meningkatnya produksi nanas, semakin besar pula jumlah limbah yang dihasilkan [2]. Hal ini dikarenakan pemanfaatan buah nanas umumnya lebih sering pada daging buahnya saja, menyebabkan banyak bagian dari buah nanas seperti kulit nanas diabaikan dan berakhir sebagai limbah yang dapat mencemari lingkungan. Limbah nanas yang tidak dimanfaatkan menghasilkan bau yang tidak sedap, menurunkan kadar oksigen karena mikroorganisme membutuhkan oksigen untuk tumbuh selama proses dekomposisi, serta melepaskan gas metana (CH₄) dan CO₂ yang meningkatkan emisi gas rumah kaca dan berkontribusi terhadap pemanasan global [3].

Pada sisi lain, limbah pertanian berbiaya rendah seperti limbah buah-buahan, salah satunya kulit nanas (*Ananas comosus*) sangat berpotensi digunakan menjadi bahan baku produksi bioetanol, karena mengandung gula yang tinggi dan dapat difermentasi serta selulosa dan hemiselulosa yang mudah terhidrolisis [4]. Berdasarkan penelitian Wijana et al. [5] dikatakan bahwa kulit nanas memiliki kandungan 81,71% air, 20,87% serat kasar, 17,53% karbohidrat yang mencakup 13,65% gula reduksi, dan juga 4,41% protein. Kulit nanas juga memiliki kandungan hemiselulosa sebesar 11,1%, selulosa 22,4% dan lignin 6,5% [6]. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa tingginya kandungan karbohidrat dan gula pada kulit nanas membuatnya sangat berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi bioetanol.

Bioetanol atau etanol adalah senyawa alkohol yang berasal dari hasil fermentasi biomassa melalui bantuan mikroorganisme, dibuat dari tanaman berpati yang mengandung karbohidrat, glukosa, dan selulosa [7]. Bioetanol merupakan salah satu sumber energi terbarukan dengan pengurangan emisi gas CO₂ dan merupakan alternatif yang lebih baik untuk bahan bakar fosil [4]. Pembuatan bioetanol dasarnya melibatkan beberapa langkah, termasuk hidrolisis, fermentasi dan distilasi [1]. Proses setelah hidrolisis adalah proses fermentasi menggunakan bantuan mikroorganisme. Fermentasi adalah suatu proses biokimia di mana perubahan atau reaksi kimia terjadi dengan bantuan mikroorganisme penyebab fermentasi yang berinteraksi dengan zat nutrisi yang cocok untuk pertumbuhannya, sehingga sebagian atau seluruh hasil dari fermentasi dapat diubah menjadi alkohol dalam waktu tertentu [8]. Fermentasi kali ini dilakukan dengan bantuan mikroba *Saccharomyces cerevisiae*. Dalam produksi alkohol secara komersial, ragi ini lebih sering digunakan daripada bakteri dan jamur karena dapat menghasilkan alkohol dengan jumlah besar dan mikroorganisme dengan toleransi tinggi terhadap kadar alkohol, dengan produksi optimal mencapai 8-20% [9].

Menurut Kurniati et al. [1] konsentrasi ragi dan waktu proses fermentasi adalah salah satu faktor yang memengaruhi fermentasi menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae* terhadap kadar bioetanol yang didapat. Pernyataan ini selaras dengan penelitian Rijal et al. [10] yang menyatakan bahwa faktor penentu kadar bioetanol yang didapatkan adalah variasi konsentrasi ragi dan lama fermentasi yang memainkan peran penting untuk menentukan kadar serta volume bioetanol selama fermentasi. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki tujuan untuk dapat mengetahui konsentrasi ragi dan lama fermentasi yang optimal untuk produksi bioetanol dari limbah kulit nanas. Langkah ini tidak hanya membantu dalam mengurangi jumlah sampah dan limbah, tetapi juga dapat memberikan manfaat tambahan seperti menciptakan sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode fermentasi dengan dua variasi perlakuan. Perlakuan pertama adalah variasi konsentrasi ragi, dengan variasi 1,5%(w/v), 2%(w/v), dan 4%(w/v). Perlakuan kedua adalah variasi waktu fermentasi, dengan variasi 4, 5, 6, 7, dan 8 hari.

2.1 Persiapan Peralatan dan Bahan

Pada penelitian ini digunakan peralatan meliputi: galon 5 liter sebagai fermentor, blender, pisau, panci, gelas kimia 1000 ml, *waterbath*, rangkaian alat distilasi, alat refraktometer. Bahan yang digunakan meliputi: limbah kulit nanas, *aquadest*, enzim selulase, ragi roti (*Saccharomyces cerevisiae*), urea, NPK, Etanol 96%.

2.2 Pretreatment

Limbah kulit nanas dipotong-potong dan dibersihkan terlebih dahulu menggunakan air. Kemudian bahan tersebut dihaluskan menggunakan blender sehingga memiliki tekstur seperti bubur. Panaskan bubur kulit nanas di atas kompor hingga suhu 70°C untuk sterilisasi. Bubur kulit nanas yang telah dipanaskan kemudian didinginkan hingga suhu ruang dan dipisahkan sebanyak 1000 ml untuk dihidrolisis pada tahap selanjutnya.

2.3 Hidrolisis Enzimatis

Sebelum melakukan proses hidrolisis, dilakukan pengukuran pH hasil pretreatment (pH 5). Kemudian sampel hasil pretreatment sebanyak 1 liter dimasukkan ke dalam gelas kimia dan ditambahkan enzim selulase konsentrasi 1%(v/v). Menutup rapat sampel dengan aluminium foil, kemudian memanaskan sampel menggunakan *waterbath* selama 10 jam dengan suhu 60°C.

2.4 Fermentasi Hasil Hidrolisis

Sebelum melakukan fermentasi, dilakukan pengukuran pH sampel (pH 5 – 6). Sampel hasil hidrolisis kemudian difermentasi dengan menambahkan ragi *Saccharomyces cerevisiae*. Jumlah massa ragi ditentukan berdasarkan persentase massa terhadap volume sampel, dengan variasi ragi sebanyak 1,5%, 2%, dan 4%. Setiap variabel ragi kemudian ditambahkan NPK dan urea sebagai nutrisi, masing-masing sebesar 0,5%(w/v). Proses fermentasi berlangsung secara anaerob pada suhu ruang dengan variasi waktu 4 sampai 8 hari.

2.5 Distilasi Hasil Fermentasi

Hasil fermentasi kemudian didistilasi pada temperatur 78°C. Distilat yang didapatkan kemudian di simpan ke dalam botol vial untuk kemudian dilakukan analisis.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian mengenai pemanfaatan limbah kulit nanas menjadi bioetanol dengan variasi konsentrasi penambahan ragi yaitu 1,5% (w/v), 2% (w/v), dan 4% (w/v), dan penambahan nutrisi berupa NPK dan urea, serta variasi waktu fermentasi selama 4 sampai 8 hari, maka didapatkan beberapa hasil analisis, yang meliputi analisis kadar air, volume distilat dan indeks bias. Hasil analisis terdapat pada **Tabel 1**. Pada penelitian ini, analisis kadar etanol dilakukan dengan kurva standar baku etanol terhadap indeks bias menggunakan alat refraktometer dan analisis kadar etanol dengan alat GC-MS. Berdasarkan grafik kurva standar baku etanol terhadap indeks bias didapatkan persamaan garis:

$$y = 0,0003x + 1,3342 \quad (1)$$

Persamaan ini kemudian digunakan untuk mencari kadar etanol (x) pada sampel yang telah dicek indeks biasnya (y). Hasil analisis menggunakan data dari kurva standar baku etanol terhadap indeks bias dapat dilihat pada **Tabel 2**. Data hasil analisis kadar etanol menggunakan alat GC-MS dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 1. Data Hasil Analisis Bioetanol

Konsentrasi Ragi (%)	Waktu Fermentasi (hari)	Volume Distilat (ml)	Indeks Bias	Kadar Air (%)	Parameter Fisik	pH
SNI (Standar Nasional Indonesia)			1,3633	1	Jernih tanpa endapan	6,5–9
1,5%	4	6	1,339	0,8671	Jernih tanpa endapan	7
	5	9	1,347	0,8290		
	6	5	1,338	0,8718		
	7	5	1,336	0,8721		
	8	5	1,335	0,8802		
2%	4	7	1,341	0,8427		
	5	9	1,348	0,7996		
	6	7	1,342	0,8389		
	7	6	1,339	0,8485		
4%	8	6	1,339	0,8667		
	4	9	1,347	0,8301		
	5	10	1,352	0,7749		
	6	9	1,349	0,7815		
	7	8	1,346	0,8321		
	8	8	1,344	0,8370		

Tabel 2. Data Hasil Analisis Menggunakan Kurva Baku Etanol

Konsentrasi Ragi (%)	Lama Fermentasi (hari)	Indeks Bias	Kadar Bioetanol (%)
1,5%	4	1,339	16
	5	1,347	43
	6	1,338	13
	7	1,336	6
	8	1,335	3
2%	4	1,341	23
	5	1,348	46
	6	1,342	26
	7	1,339	16
4%	8	1,339	16
	4	1,347	43
	5	1,352	59
	6	1,349	49
	7	1,346	39
	8	1,344	33

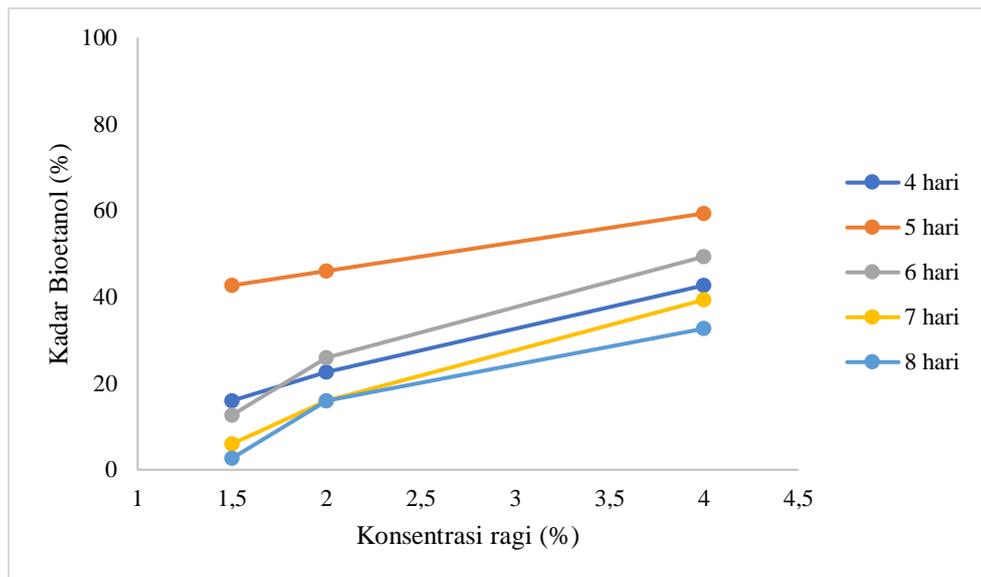
Tabel 3. Data Hasil Analisis Menggunakan Alat GC-MS

Sampel	Waktu Retensi	% Area	Kadar Etanol (%)
Standar	1,199	81,38	96
Sampel (4% ragi, 5 hari)	1,382	48,52	57,23

Kromatogram hasil analisis menggunakan GC-MS terdapat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Pengaruh konsentrasi ragi dan lama fermentasi terhadap kadar bioetanol (%) yang dihasilkan berdasarkan data pada Tabel 2, dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

3.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi Ragi (%) terhadap Kadar Bioetanol (%)

Penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi ragi sebesar 1,5%, 2%, dan 4% untuk fermentasi limbah kulit nanas. Proses fermentasi dilakukan pada suhu ruang selama rentang waktu 4 sampai 8 hari.



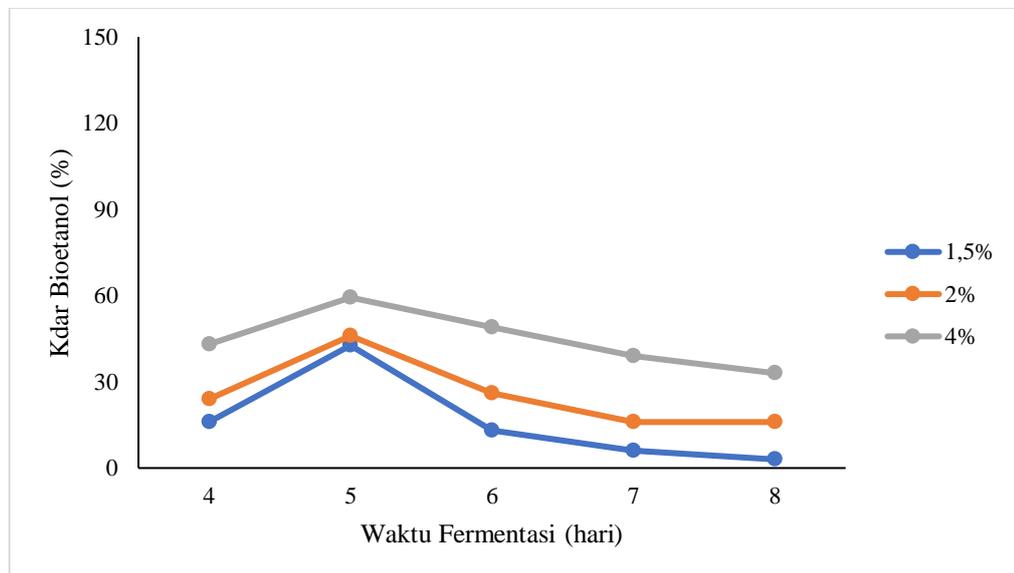
Gambar 1. Grafik Pengaruh Konsentrasi Ragi (%) terhadap Kadar Bioetanol (%)

Hasil penelitian pada Gambar 1 menunjukkan peningkatan konsentrasi ragi berpengaruh pada peningkatan kadar bioetanol yang dihasilkan. Pada grafik dapat dilihat bahwa konsentrasi ragi 4% menghasilkan kadar bioetanol tertinggi, sedangkan konsentrasi ragi 1,5% dan 2% menghasilkan bioetanol dengan kadar yang lebih rendah. Ini sejalan dengan pernyataan oleh Kurniati et al. [1] yang menyatakan bahwa penambahan ragi menyebabkan peningkatan konsentrasi etanol karena aktivitas ragi untuk mengonversi glukosa menjadi etanol bertambah. Hal ini disebabkan karena penambahan ragi dengan konsentrasi yang terlalu rendah akan memperlambat fermentasi karena massa yang diperlukan untuk memecah glukosa menjadi etanol lebih sedikit [11]. Namun, penambahan ragi dalam proses fermentasi pada konsentrasi tertentu juga dapat mengurangi konsentrasi etanol. Ini terjadi karena jumlah nutrisi dalam larutan tidak seimbang dengan konsentrasi ragi yang lebih tinggi, sehingga banyak ragi kekurangan nutrisi dan berakhir pada fase kematian [1].

Hal serupa disampaikan oleh Mukti & Aryani, [12] yang menyatakan bahwa kelebihan jumlah ragi dalam substrat dapat mengakibatkan persaingan hidup yang intens, mengakibatkan penurunan efisiensi dalam mengubah glukosa menjadi alkohol karena banyak ragi mengalami kematian. Hal ini mengindikasikan bahwa ragi *Saccharomyces cerevisiae* pada konsentrasi tertentu akan melakukan fermentasi secara optimal apabila didukung oleh beberapa faktor, yaitu salah satunya ketersediaan nutrisi pada substrat. Adapun konsentrasi optimum ragi *Saccharomyces cerevisiae* yang didapat pada penelitian ini adalah pada fermentasi dengan konsentrasi ragi 4%(w/v), dengan kadar bioetanol yang dihasilkan sebesar 57,23%. Kondisi ini didukung berdasarkan penelitian oleh Rijal et al. [10] dan Salian et al. [13] dengan kadar bioetanol tertinggi didapatkan dari penggunaan konsentrasi ragi *Saccharomyces cerevisiae* sebesar 4%.

3.2 Pengaruh Variasi Lama Fermentasi terhadap Kadar Bioetanol (%) yang Dihasilkan

Dalam konteks ini, lama fermentasi *Saccharomyces cerevisiae* memainkan peran penting dalam menentukan hasil akhir produksi etanol. Proses fermentasi yang berlangsung lama akan menghasilkan kadar bioetanol yang tinggi [1]. Hal tersebut dikarenakan semakin lama fermentasi berlangsung, maka bahan baku yang akan diubah menjadi etanol semakin banyak [12]. Lama fermentasi memberi waktu bagi ragi untuk tumbuh dan melakukan fermentasi glukosa menjadi etanol.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Variasi Waktu Fermentasi terhadap Kadar Bioetanol

Pada penelitian kali ini, lama fermentasi divariasikan menjadi 4, 5, 6, 7, dan 8 hari. Pada **Gambar 2** dapat dianalisis bahwa kadar bioetanol tertinggi terdapat pada sampel dengan fermentasi 5 hari, di mana kadar bioetanol yang didapatkan sebesar 59% dan menghasilkan kadar terendah pada fermentasi 8 hari yaitu sebesar 3%. Pada rentang waktu 4-5 hari terjadi kenaikan kadar bioetanol, dan kemudian mengalami penurunan di waktu fermentasi selama 6 hari hingga 8 hari. Pada rentang waktu 72-120 jam (5 hari), ragi berada dalam fase stasioner, di mana kadar gula yang terdapat dalam media menurun karena diubahnya glukosa menjadi alkohol dan asam organik, yang menyebabkan terjadinya penurunan pH dan jumlah sel khamir [9]. Dari penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa pada fermentasi 5 hari (fase stasioner) banyak glukosa telah diubah menjadi etanol, sehingga fermentasi selama 5 hari ini menghasilkan kadar etanol dengan konsentrasi yang tinggi. Selain itu, terjadinya penurunan jumlah sel khamir pada fase ini, mengakibatkan konversi glukosa menjadi etanol oleh sel khamir pun ikut menurun pada hari berikutnya, sehingga pada hari ke-6 hingga 8 terjadi penurunan kadar alkohol.

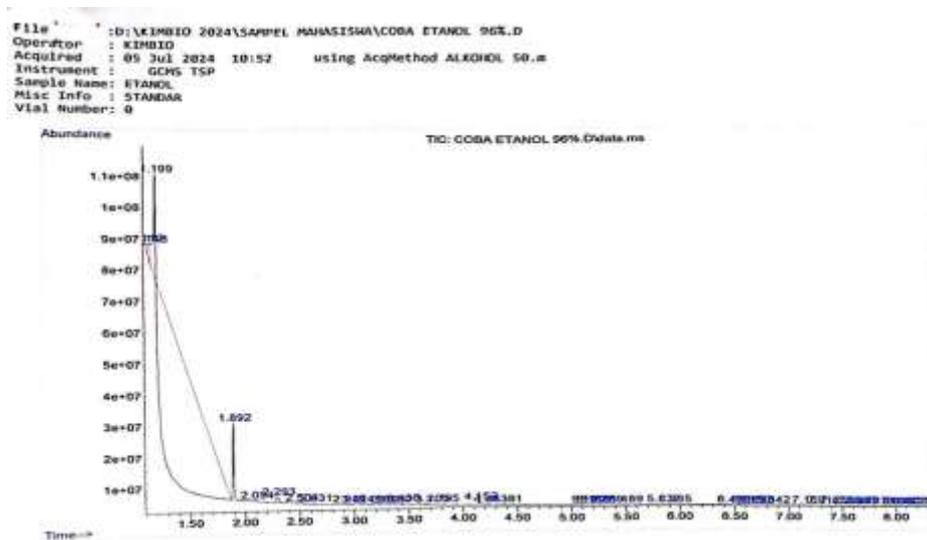
Penurunan jumlah ragi yang terjadi pada fase ini, diakibatkan ragi mengalami kekurangan nutrisi, sehingga menurunkan kinerja ragi dan menyebabkan kematian pada ragi. Pernyataan ini didukung oleh penelitian Hasanah et al. [14] yang menyatakan bahwa pertumbuhan pada sel mikroba terjadi dengan mengonsumsi nutrisi dan mengeluarkan produk hasil metabolisme, hal ini menyebabkan menurunnya laju pertumbuhan mikroba dan akan berhenti setelah waktu tertentu dikarenakan berkurangnya nutrisi dalam medium. Selain itu, semakin lama waktu fermentasi, alkohol akan diubah menjadi senyawa lain. Alkohol akan teroksidasi menjadi asam asetat jika dibiarkan dalam waktu fermentasi yang lama [12]. Hal ini mengakibatkan pada waktu fermentasi 8 hari, diperoleh kadar bioetanol terendah. Berdasarkan penjelasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa ragi memiliki waktu optimum untuk melakukan fermentasi alkohol. Semakin lama fermentasi berlangsung, kadar bioetanol cenderung meningkat. Hal tersebut berlaku apabila jumlah nutrisi yang tersedia dalam substrat memenuhi kebutuhan ragi dalam pertumbuhannya, karena fermentasi yang berlangsung dalam rentang waktu yang terlalu lama dapat mengakibatkan ragi tidak bekerja secara optimal atau bahkan mengalami kematian karena kekurangan nutrisi.

Pada penelitian ini, waktu optimum fermentasi etanol dari limbah kulit nenas menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae* terjadi pada hari ke-5. Waktu optimal fermentasi selama 5 hari ini, sebelumnya sudah dibuktikan oleh beberapa peneliti, yaitu penelitian oleh Hasanah et al. [14] pada fermentasi tape singkong (*Manihot utilissima Pohl*), penelitian oleh Mukti & Aryani, [12] pada fermentasi buah talok (kersen), penelitian oleh Yunus et al. [15] pada fermentasi nira aren, penelitian oleh Seftian et al. [16] pada

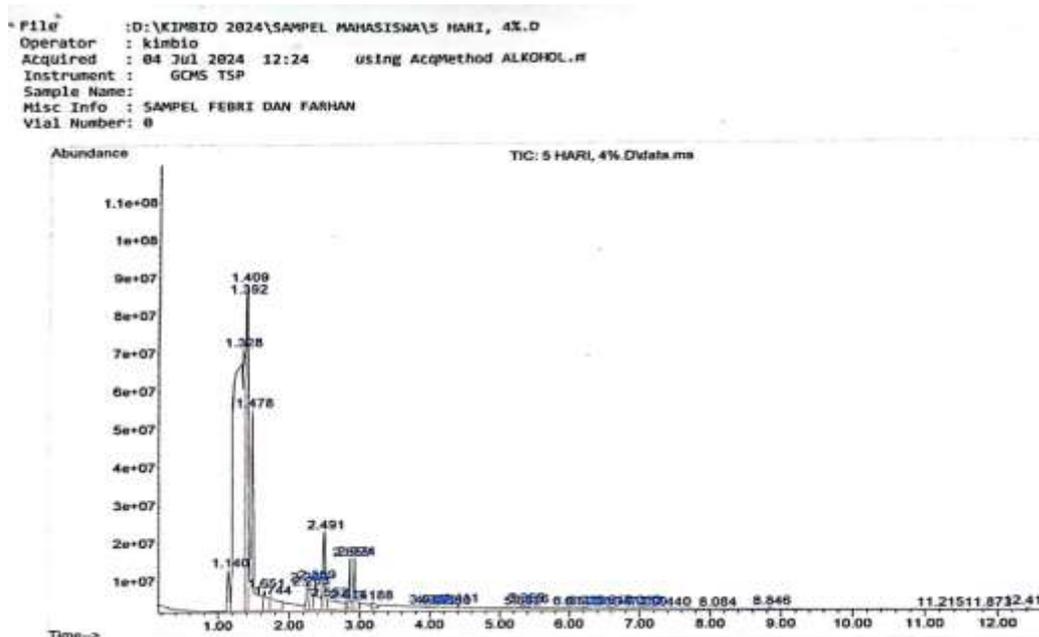
fermentasi kulit pisang, penelitian oleh Muksin & Arpiwi, [17] pada fermentasi kulit pisang, penelitian oleh Moede et al. [18] pada fermentasi pati ubi jalar kuning, penelitian oleh Yumas & Rosniati, [19] pada fermentasi pulp kakao dan penelitian oleh Moeksin & Francisca, [11] pada fermentasi bengkuang. Pada penelitian lain dengan menggunakan bahan yang sama yaitu kulit nanas, didapatkan waktu fermentasi optimum yang berbeda, yaitu pada penelitian Susanti et al. [8] diperoleh kadar etanol tertinggi yaitu 31,39% terjadi pada sampel dengan waktu fermentasi selama 4 hari.

Perubahan pertumbuhan dan aktivitas *Saccharomyces cerevisiae* menyebabkan laju konversi glukosa juga berubah, setelah 96 jam akan terjadi penurunan konversi glukosa karena aktivitas khamir berkurang yang disebabkan oleh pertumbuhan khamir yang cepat tidak diiringi dengan ketersediaan nutrisi yang cukup, sehingga khamir akan mati akibat kekurangan nutrisi [8]. Kondisi yang berbeda pada setiap penelitian menjadi beberapa faktor yang menyebabkan perbedaan hasil penelitian yang didapatkan, mengingat bahwa kondisi fermentasi alkohol dipengaruhi oleh banyak faktor seperti pH, temperatur, jenis mikroorganisme yang digunakan, nutrisi, kadar gula pada substrat dan faktor-faktor lain yang juga dapat mempengaruhi proses fermentasi alkohol.

3.3 Analisis Kadar Bioetanol Menggunakan Alat GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*)



Gambar 3. Grafik Analisis Standar Etanol 96% Menggunakan GC-MS



Gambar 4. Grafik Analisis GC-MS terhadap Sampel Fermentasi 5 Hari dan Konsentrasi Ragi 4%

Setelah hasil distilasi larutan fermentasi diperoleh, hal yang kemudian dilakukan adalah analisis indeks bias menggunakan alat refraktometer. Berdasarkan data indeks bias yang diperoleh, diambil satu sampel dengan nilai indeks bias tertinggi untuk kemudian dilakukan analisis menggunakan alat GC-MS. Sebelum mulai menganalisis kadar etanol menggunakan GC-MS, terlebih dahulu kadar etanol (%) dalam tiap sampel dianalisis dengan kurva baku standar etanol terhadap indeks bias. Sampel yang memiliki kadar etanol (%) tertinggi akan memiliki nilai indeks bias yang mendekati indeks bias etanol sesuai SNI, yaitu 1,3633. Setelah dilakukan analisis nilai indeks bias dan kadar etanol pada tiap sampel, didapatkan sampel dengan fermentasi 5 hari dan konsentrasi ragi 4% memiliki indeks bias yang mendekati indeks bias etanol, yaitu 1,352. Kemudian sampel ini dianalisis menggunakan GC-MS untuk mengetahui kadar etanol (%) lebih spesifik yang terkandung dalam sampel. Untuk menghitung kadar etanol pada sampel hasil analisis GC-MS dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan dari penelitian Sudarma & Parwata, [20] sebagai berikut:

$$\text{Kadar etanol} = \frac{\text{Luas area sampel}}{\text{Luas area standar}} \times \text{standar 96\%} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan (2) berikut, didapatkan kadar etanol pada sampel sebesar 57,23%.

4. Kesimpulan

Konsentrasi optimum ragi *Saccharomyces cerevisiae* yang didapatkan pada penelitian kali ini adalah pada fermentasi dengan konsentrasi ragi 4%(w/v), dengan kadar bioetanol yang dihasilkan dari kurva baku sebesar 59%. Pada penelitian ini, waktu optimum fermentasi etanol dari limbah kulit nanas menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae* terjadi pada hari ke-5, dengan perolehan kadar bioetanol berdasarkan kurva baku sebesar 59%. Kadar bioetanol (%) terbaik menggunakan analisis GC-MS terdapat pada sampel 5 hari fermentasi dan konsentrasi ragi sebesar 4%, yaitu sebesar 57,23%.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Negeri Sriwijaya dan seluruh staf Jurusan Teknik Kimia Program Studi Teknologi Kimia Industri yang telah memberikan dukungan moral dan ilmu pengetahuan bagi pelaksanaan penelitian ini.

6. Referensi

- [1] Y. Kurniati, I. E. Khasanah, dan K. Firdaus, "Kajian Pembuatan Bioetanol dari Limbah Kulit Nanas (*Ananas comosus*. L)," *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol.10, no. 2, pp. 95–101, 2021.
- [2] A. Syauqi dan S. S. Inasari, "Pemanfaatan Limbah Kulit Nanas (*Ananas Comosus* L.) Menjadi Bioetanol dengan Penambahan Ragi (*Saccharomyces Cerevisiae*) yang Berbeda," *Buletin Loupe*, vol. 6, no. 2, pp. 67–73, 2020.
- [3] A. P. Kusuma, S. Chuzaemi dan Mashudi, "Pengaruh Lama Waktu Fermentasi Limbah Buah Nanas (*Ananas comosus* L. Merr) Terhadap Kualitas Fisik dan Kandungan Nutrien Menggunakan *Aspergillus niger*," *Jurnal Nutrisi Ternak Tropis*, vol. 2, no. 1, pp. 1–9, 2019.
- [4] K. Jambulingam, S. A, dan S. T, "*Bioethanol Production from Pineapple Peels Waste by Heat Treatment and Enzyme Hydrolysis: an Eco-Friendly and Economical Method. Research Journal of Biotechnology*," *Research Journal of Biotechnology*, vol.16, no. 12, pp. 64-71, 2021.
- [5] S. Wijana, A. Kumalaningsih, U. Setyowati, Efendi dan N. Hidayat, "Optimalisasi Penambahan Tepung Kulit Nanas dan Proses Fermentasi pada Pakan Ternak terhadap Peningkatan Kualitas Nutrisi," *Universitas Brawijaya*, 1991.
- [6] M. Jahid, A. Gupta, dan D. K. Sharma, "*Production of Bioethanol from Fruit Wastes (Banana, Papaya, Pineapple and Mango Peels) Under Milder Conditions*," *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*, vol. 8, no. 3, 2018.
- [7] D. Rahmi, Zulnazri, R. Dewi, N. Sylvia, dan S. Bahri, "Pemanfaatan Limbah Kulit Nanas Menjadi Bioetanol dengan Menggunakan Ragi (*Saccharomyces cerevisiae*)," *Chemical Engineering Journal Storage*, pp. 147–160, 2022.
- [8] A. D. Susanti, P. T. Prakoso, dan H. Prabawa, "Pembuatan Bioetanol dari Kulit Nanas melalui Hidrolisis dengan Asam," *Ekuilibrum*, vol. 12, no. 1, pp. 11-16, 2013.
- [9] M. R. Miyono dan R. P. Warstyo, "*Review Proses Produksi Bioetanol dari Kulit Pisang*," *Universitas Internasional Semen Indonesia*, 2021.

- [10] M. Rijal, A. Rumabaru, dan A. Mahulauw, "Pengaruh Konsentrasi *Saccharomyces cerevisiae* Terhadap Produksi Bioetanol Berbahan Dasar Batang Jagung," *Jurnal Biology Science & Education*, vol. 8, no. 1, pp. 59–70, 2019.
- [11] R. Moeksin, dan S. Francisca, "Pembuatan Etanol dari Bengkuang dengan Variasi Berat Ragi, Waktu, dan Jenis Ragi," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 17, no. 2, pp. 25-30, 2010.
- [12] N. L. Mukti dan W. Aryani, "Pengaruh Waktu Fermentasi dan Jumlah Ragi terhadap Persentase Hasil dalam Pembuatan Bioetanol dari Buah Talok (kersen) Menggunakan Ragi Tape dan Ragi Roti (*Saccharomyces cerevisiae*)," *Jurnal Inovasi Proses*, vol. 1, no. 1, pp. 18-27, 2016.
- [13] Salian, V. Viena, dan Irhamni, "Pembuatan Bioetanol dari Campuran Kulit Nenas dan Pepaya Secara Fermentasi dengan Variasi Massa Ragi Roti," *Serambi Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 3236–3242, 2022.
- [14] H. Hasanah, A. Jannah, dan A. G. Fasya, "Pengaruh Lama Fermentasi terhadap Kadar Alkohol Tape Singkong (*Manihot utilissima Pohl*)," *Alchemy*, vol. 2, no. 1, pp. 68-79, 2012.
- [15] Yunus, Hamsina, dan M. Tang, "Produksi Bioetanol dari Nira Aren," *Saintis*, vol. 1, no. 1, pp. 33-39, 2020.
- [16] D. Seftian, F. Antonius dan M. Faizal, "Pembuatan Etanol dari Kulit Pisang Menggunakan Metode Hidrolisis Enzimatis dan Fermentasi," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 18, no. 1, pp. 10-16, 2012.
- [17] I. K. Muksin dan N. L. Arpiwi, "Bioetanol dari Kulit Pisang (*Musa paradisiaca L.*) dengan Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak," *Jurnal Metamorfosa*, vol. 6, no. 1, pp. 106-112, 2019.
- [18] F. H. Moede, S. T. Gonggo, dan Ratman, "Pengaruh Lama Waktu Fermentasi terhadap Kadar Bioetanol dari Pati Ubi Jalar Kuning (*Ipomea batata L.*)," *Jurnal Akademika Kimia*, vol. 6, no. 2, pp. 86-91, 2017.
- [19] M. Yumas dan Rosniati, "Pengaruh Konsentrasi Starter dan Lama Fermentasi Pulp Kako terhadap Konsentrasi Etanol," *Biopropal Industri*, vol. 5, no. 1, pp. 13-22, 2014.
- [20] N. Sudarma dan I. M. O. A. Parwata, "Penentuan Kadar Etanol pada Arak dengan Metode Kromatografi Gas," *Bali Medika Jurnal*, pp. 126–135.