

## Kajian Pembuatan Bioetanol dari Limbah Kulit Nanas (*Ananas comosus*. L)

### *Study on Making Bioethanol from Pineapple Peel Waste (Ananas comosus. L)*

Yuni Kurniati\*, Iis Elfy Khasanah, Kurniawati Firdaus

Departemen Teknik Kimia, Universitas Internasional Semen Indonesia

Jl. Veteran (PT. Semen Indonesia Persero Tbk) Gresik Jawa Timur 61122, Indonesia

\*E-mail: [yuni.kurniati@uisi.ac.id](mailto:yuni.kurniati@uisi.ac.id)

#### Abstrak

Etanol merupakan bahan bakar dengan nilai oktan tinggi dan ramah lingkungan. Bioetanol yang dapat dibuat dari bahan biomassa seperti kulit nanas dinilai tidak mengganggu ketahanan pangan. Kandungan karbohidrat dan glukosa yang cukup tinggi akan menjadikan nanas dapat diubah menjadi gula reduksi yang dapat difermentasi sehingga menghasilkan etanol. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *review* jurnal, dan bertujuan untuk mengetahui mekanisme, variabel yang berperan, dan kondisi optimum fermentasi dalam pembuatan bioetanol dari kulit nanas. Fokus analisa dilakukan terhadap hidrolisis yakni jenis, konsentrasi bahan penghidrolisis, pH, temperatur, serta konsentrasi ragi dalam fermentasi. Analisa terhadap penelitian sebelumnya diperoleh hidrolisis terbaik yaitu dengan hidrolisis enzimatis menggunakan enzim selulase dengan konsentrasi 1%-2%. pH optimum fermentasi didapatkan pada rentang pH 5 hingga pH 6, temperatur fermentasi sebesar 30 °C dengan konsentrasi *Saccharomyces cerevisiae* sebesar 1,5%–2% dan waktu fermentasi optimum terjadi pada rentang waktu 48 jam hingga 96 jam. Tingginya jumlah gula reduksi menghasilkan jumlah etanol yang tinggi pula.

**Kata kunci:** Bioetanol, fermentasi, kulit nanas

#### Abstract

Ethanol is a fuel with a high octane number and is environmentally friendly. Bioethanol which can be made from biomass materials such as pineapple peel, is considered not to interfere with food security. With a fairly high carbohydrate and glucose content, pineapple can be converted into reducing sugars that can be fermented to produce ethanol. This study was conducted using the journal review method and aims to determine the mechanism, the variables that play the role, and the optimum conditions of fermentation in the manufacture of bioethanol from pineapple peel. The focus of the analysis was on hydrolysis, namely the type, concentration of the hydrolyzing agent, pH, temperature, and concentration of yeast in fermentation. The analysis from previous studies, the best hydrolysis was obtained by enzymatic hydrolysis using cellulase enzymes with a concentration of 1%-2%. The optimum pH of fermentation was found at pH 5 to pH 6, the fermentation temperature was 30 °C with a *Saccharomyces cerevisiae* concentration of 1.5% – 2%, and the optimum fermentation time occurred in the range of 48 to 96 hours. The high amount of reducing sugar produces a high amount of ethanol as well.

**Keywords:** Bioethanol, fermentation, pineapple peel

#### Pendahuluan

Minyak bumi saat ini merupakan sumber energi utama baik dalam industri, transportasi ataupun rumah tangga. Tingginya kebutuhan minyak bumi tidak diimbangi dengan jumlah produksi sehingga seiring berjalannya waktu mengakibatkan terjadinya krisis energi. Untuk mengurangi pemakaian minyak sebagai sumber energi, hal yang harus dilakukan yaitu mengurangi ketergantungan terhadap minyak yang semula pada tahun 2011 sebesar 50% dengan capaian pada tahun 2025 ketergantungan minyak menjadi 23% [1]. Pengganti kebutuhan minyak dapat dialihkan dengan memanfaatkan energi terbarukan.

Energi baru terbarukan (EBT) yang diharapkan sebagai pengganti minyak bumi adalah energi alternatif yang dapat dipulihkan kembali secara alami dan prosesnya berkelanjutan disebut dengan *biofuel*. Salah satu contohnya yaitu bioetanol. Bioetanol merupakan etanol yang dibuat dari biomassa yang mengandung komponen pati atau selulosa. Bioetanol memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan bahan bakar minyak (BBM) yaitu diantaranya memiliki oksigen lebih tinggi sebesar 35% sedangkan BBM sebesar 16,66% sehingga dapat terbakar secara sempurna, memiliki angka oktan tinggi sebesar 118 sedangkan BBM sebesar 88 dan memiliki kandungan

emisi gas CO<sub>2</sub> sebesar 0,89% sedangkan BBM sebesar 2,5% sehingga penggunaannya ramah lingkungan [2].

Nanas (*Ananas comosus* L.) merupakan salah satu komoditas buah unggulan ke tiga Indonesia. Indonesia sebagai penghasil nanas terbesar di Asia Tenggara setelah Filipina dan Thailand. Produksi nanas Indonesia pada tahun 2015 sebesar 1,76 juta ton, pada tahun 2016 sebesar 1,85 juta ton dan pada tahun 2020 diperkirakan mencapai 2,08 juta ton [3]. Nurhayati [4] menyebutkan bahwa tepung kulit nanas memiliki beberapa kandungan yaitu 88,9503% bahan kering, abu sebesar 3,8257%, serat kasar 27,0911%, protein kasar sebanyak 8,7809% dan 1,1544% lemak kasar serta mengandung gula reduksi sebanyak 13,65%.

Gula reduksi adalah golongan gula yang mampu mereduksi senyawa-senyawa tergolong penerima elektron. Semua monosakarida dan disakarida (kecuali sukrosa) berperan sebagai gula pereduksi. Ada tidaknya sifat pereduksi dari suatu molekul gula ditentukan oleh ada tidaknya gugus hidroksil yang bersifat reaktif [5].

Adapun dalam limbah nanas kandungan gula reduksi sebesar 8,2%. Gula non-reduksi sebesar 8,8% dan total gula sebesar 9,75% dalam 100 gram substrat. Beberapa kandungan tersebut mengindikasikan bahwa kulit nanas dapat dijadikan sebagai bioetanol [6].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mekanisme pembuatan bioetanol melalui proses hidrolisis, mengetahui komponen-komponen variabel yang memiliki peran besar terhadap pembuatan bioetanol dari kulit nanas, serta mengetahui waktu optimum dan konsentrasi optimum ragi pada proses fermentasi dalam pembuatan bioetanol dari kulit nanas.

Penelitian mengenai pemanfaatan nanas sebagai bioetanol sebelumnya sudah dilakukan dimana dalam pembuatan bioetanol dari kulit nanas meliputi tiga proses diantaranya yaitu hidrolisis, fermentasi, dan distilasi.

## Teori

Pada prinsipnya proses pembuatan bioetanol dilakukan dengan beberapa tahap, diantaranya yaitu hidrolisis, fermentasi, dan distilasi. Hidrolisis merupakan reaksi kimia antara air dengan suatu zat yang menghasilkan zat baru dan dekomposisi suatu larutan menggunakan air. Hidrolisis selulosa dapat dilakukan dengan menggunakan larutan asam, larutan basa, ataupun secara enzimatik. Pada hidrolisis asam, larutan asam yang digunakan yaitu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan HCl, sedangkan pada hidrolisis basa, larutan yang biasanya digunakan yaitu NaOH. Salah satu enzim yang bisa digunakan pada hidrolisis enzim adalah enzim selulosa. Keuntungan dari penggunaan hidrolisis enzimatis dibanding hidrolisis asam yaitu bekerja secara spesifik sehingga tidak menghasilkan produk yang tidak diinginkan, kondisi proses yang lebih lunak, tidak menggunakan bahan yang menimbulkan korosif

dan ramah lingkungan [7]. Fermentasi merupakan suatu proses konversi gula menjadi asam organik atau alkohol. Mikroorganisme yang digunakan dalam proses fermentasi yaitu *Saccharomyces cerevisiae*. Mikroorganisme ini dapat tumbuh pada fermentasi etanol secara efisien pada pH 3,5-6,0 dan temperatur 28 °C – 35 °C [2]. Setelah difermentasi, selanjutnya dilakukan proses distilasi menggunakan kolom *reflux* untuk memperoleh etanol yang murni. Proses ini dilakukan pada temperatur lebih dari 78 °C [8].

Selulosa merupakan suatu senyawa organik yang keberadaannya cukup melimpah mudah diemikan. Selulosa adalah biopolimer linear yang terdiri dari molekul-molekul anhidro D-Glukosa yang dihubungkan atau berikatan dengan β-1,4 glikosidik dengan ikatan hidrogen untuk struktur linier dan tidak bercabang. Polimer selulosa tersusun dari karbon, hidrogen, dan oksigen dengan rumus molekul (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub> [9].

Selulosa merupakan komponen utama pada biomassa lignoselulosa yang bisa dihidrolisis menjadi glukosa (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) untuk dikonversi menjadi bahan bakar nabati. Sumber selulosa biasanya terdapat pada limbah produksi pertanian. Untuk menghasilkan gula, selulosa melalui proses hidrolisis. Pada proses hidrolisis, selulosa dirubah menjadi selubiosa (C<sub>6</sub>H<sub>11</sub>O<sub>5</sub>)<sub>2</sub>O yang akhirnya menjadi glukosa [10].

Bioetanol merupakan bahan bakar nabati yang dapat dijadikan sebagai alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbarui [10]. Bioetanol merupakan *biofuel* cair yang dapat diproduksi dari bahan baku seperti biji-bijian, *molasses*, buah – buahan dan limbah atau biomassa dari tubuhan sehingga dapat diperbarui [11].

## Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan *review* artikel ilmiah dengan mencari literatur dari beberapa jurnal atau berbagai sumber. Proses pencarian jurnal dengan mengakses beberapa situs resmi seperti Google Scholar, Science Direct, e-book, Springer, Elsevier, dan Researchgate dalam rentang waktu 20 tahun terakhir (2000-2020). Data yang diperoleh dari artikel ilmiah yaitu mengenai pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan variabel yang digunakan yaitu mekanisme pembuatan bioetanol melalui hidrolisis, variabel yang memiliki peran dalam proses pembuatan, dan konsentrasi optimum *Saccharomyces Cerevisiae* serta waktu optimum fermentasi. Data yang diperoleh tersebut selanjutnya dilakukan *review*, analisis, dan membuat pembahasan hasil

## Hasil

### 1. Kandungan Kulit Nanas

Kulit nanas merupakan salah satu biomassa lignoselulosa yang mengandung air, serat kasar, karbohidrat, protein, dan gula reduksi. Keberadaan

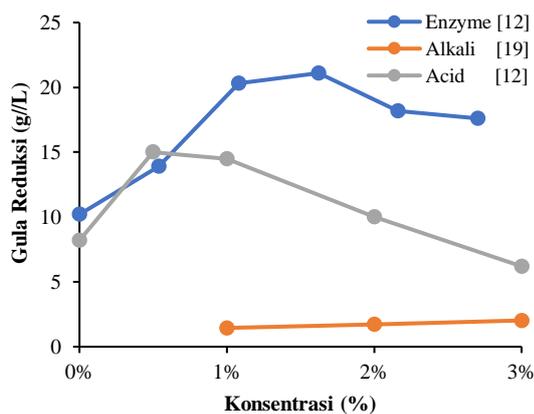
**Tabel 1. Komposisi kulit nanas dari beberapa peneliti**

Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Ash (%)	Sumber
24,16	20,4	6,5	11,8	[12]
14,0	20,2	1,5	0,6	[13]
21,98	74,96	2,68	0,38	[14]
22,30	42,17	8,89	-	[15]
38	23	13	-	[16]
21,98	21,97	2,68	-	[17]

komponen selulosa, hemiselulosa dan lignin tersebut mempengaruhi jumlah gula reduksi dan bioetanol yang dihasilkan. Beberapa kandungan karbohidrat dari beberapa penelitian ditunjukkan pada Tabel 1.

**2. Pengaruh Jenis Hidrolisis dan Konsentrasi Terhadap Gula Reduksi**

Hidrolisis pada pembuatan bioetanol dari kulit nanas merupakan tahapan yang bertujuan untuk mengekstrak selulosa dan hemiselulosa menjadi glukosa dan xilosa yang merupakan produk gula pereduksi yang dapat diubah menjadi etanol. Terjadinya hidrolisis meliputi beberapa tahapan, diantaranya yaitu peningkatan luas permukaan, delignifikasi, penurunan kristalinitas, dan penurunan derajat polimerisasi [18]. Adapun nilai gula reduksi dalam berbagai konsentrasi dan bahan hidrolisis dari beberapa peneliti tersaji pada Gambar 1.



**Gambar 1. Hubungan pengaruh jenis dan konsentrasi hidrolisis terhadap gula reduksi**

Dari Gambar 1 dapat dilihat hidrolisis dengan menggunakan enzim yang berupa selulosa dan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) [12] dapat memberikan nilai gula reduksi lebih tinggi daripada hidrolisis menggunakan basa NaOH [19]. Gula reduksi tertinggi didapatkan melalui hidrolisis menggunakan enzim selulosa dengan konsentrasi 1% hingga 2%. Pada penelitian dengan menggunakan enzim [13], hidrolisis menggunakan enzyme *Trichoderma harzianum*, selulosa, dan campuran *Trichoderma harzianum* dan selulosa dengan konsentrasi 2% didapatkan nilai gula reduksi tertinggi pada hidrolisis dengan

menggunakan selulosa dan dari penelitiannya yang lain, hidrolisis dengan menggunakan enzim konsentrasi 2% *Trichoderma harzianum* menghasilkan gula reduksi lebih tinggi daripada tidak adanya hidrolisis [13]. Adapun tingginya konsentrasi enzim tidak meningkatkan jumlah gula reduksi pada hidrolisis yang terjadi seperti pada penelitian Rosdee et al. [20]. Hidrolisis yang dilakukan dengan enzim endo-1,4-xylanase dengan konsentrasi 0,5%; 1%; dan 2%, didapatkan nilai gula reduksi tertinggi pada konsentrasi 0,5%. Sehingga dapat dikatakan kenaikan konsentrasi enzim tidak dapat meningkatkan kinerja enzimatik, karena enzim yang berlebih tidak dapat mendepolimerisasi biomassa biosakarida [20].

Hidrolisis dengan menggunakan asam pada konsentrasi tertentu dapat meningkatkan gula reduksi. Hidrolisis dengan menggunakan katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> didapatkan nilai gula reduksi tertinggi menggunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5% dan mengalami penurunan gula reduksi seiring penambahan konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [9]. Hidrolisis dengan asam dapat menghasilkan pembentukan gula furfural dan hidroksil metal furfural yang merupakan penghambat fermentasi sehingga tingginya penggunaan asam akan menyebabkan tingginya degradasi [12].

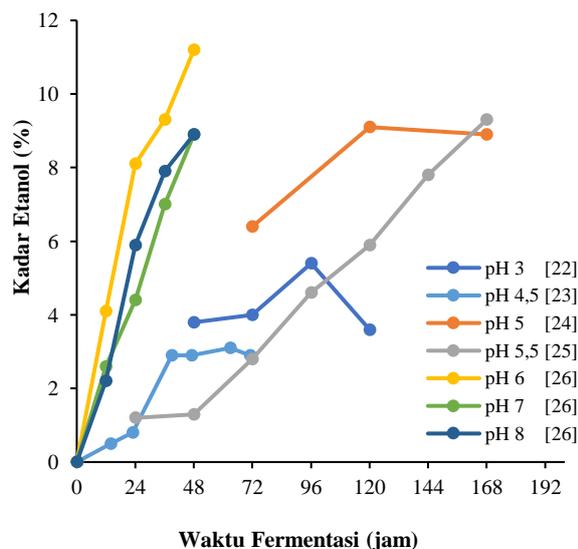
Gambar 1 menunjukkan bahwa proses hidrolisis dengan menggunakan alkali dari NaOH. Konsentrasi NaOH yang digunakan sebesar 1%; 2%; dan 3%, hal ini dapat meningkatkan gula reduksi, namun peningkatan gula reduksi yang didapatkan cenderung kecil seiring meningkatnya jumlah alkali yang digunakan [19]. Penelitian lain menyebutkan bahwa hidrolisis dengan menggunakan alkali dari NaOH pada pretreatment dengan konsentrasi 0%; 1%; 3%; dan 5% mendapatkan hasil terbaik pada perlakuan dengan NaOH pada konsentrasi 0%. Hal ini juga ditunjukkan dengan adanya penambahan konsentrasi NaOH yang mengakibatkan berkurangnya nilai gula reduksi [13]. Rendahnya gula reduksi hidrolisis dengan katalis alkali dikarenakan substrat kulit nanas memiliki kandungan lignin yang cukup kecil, sedangkan hidrolisis dengan menggunakan alkali cocok guna mendegradasi struktur lignin sehingga didapatkan penggunaan enzim dan asam lebih baik dalam hidrolisis kulit nanas dengan hidrolisis terbaik dilihat jumlah gula reduksi didapatkan dari hidrolisis menggunakan enzim [13].

**3. Fermentasi Bioetanol Dari Kulit Nanas**

Fermentasi merupakan proses yang menentukan dalam produksi bioetanol. Fermentasi ini dilakukan dengan bantuan mikroba *Saccharomyces cerevisiae*. Mekanisme proses fermentasi terdiri dari dua tahap yaitu glikolisis dan fermentasi alkohol. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi fermentasi yaitu sebagai berikut:

**a. pH Fermentasi**

Dalam fermentasi, pH digunakan dalam menciptakan kondisi lingkungan sebagai tempat tumbuh *Saccharomyces cerevisiae* dalam mengubah glukosa menjadi etanol. Ketidaksiharian pH dengan lingkungan fermentasi dapat merugikan pertumbuhan ragi [20]. pH rendah dapat memperlambat proses fermentasi adapun pada pH lebih tinggi akan meningkatkan aktivitas fermentasi namun dapat menghasilkan produk samping yang berupa gliserin [21]. Hasil analisa pH dari beberapa peneliti terdahulu disajikan dalam pada Gambar 2.



**Gambar 2. Pengaruh pH dan waktu fermentasi terhadap kadar etanol**

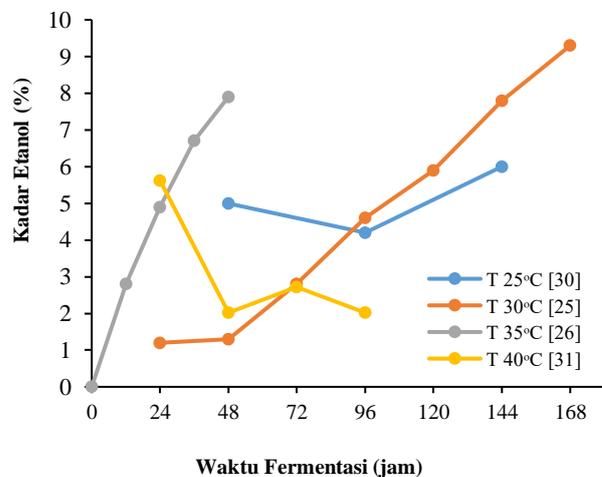
Dari Gambar 2 ditunjukkan bahwa kenaikan kadar etanol dari berbagai pH dapat terjadi pada berbagai waktu. Beberapa penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 2 menjelaskan bahwa pH optimum berada pada rentang pH 5 - pH 6. Hal ini ditunjukkan oleh penelitian Pornpunyapat and Chotigeat [24], dalam produksi bioetanol dari kulit nanas dengan pH 5 menghasilkan kadar etanol tertinggi sebesar 9,1% pada waktu fermentasi 120 jam dimana kadar bioetanol setelah fermentasi lebih dari 120 jam mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan waktu optimum pada proses fermentasi. Kondisi yang terjadi setelah waktu optimum tersebut yaitu kadar etanol mengalami penurunan, karena nutrisi yang ada di dalam larutan jumlahnya semakin habis sehingga banyak mikroba yang mati [27]

Pada penelitian yang dilakukan oleh Itelima et al. [25], fermentasi dengan pH 5,5 menghasilkan kadar

bioetanol cukup tinggi yaitu sebesar 9,3% pada waktu fermentasi 168 jam. Penelitian lain juga 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 - pH 6 sebagai kondisi optimum untuk fermentasi bioetanol dari kulit nanas [26]. Kondisi ini didukung penelitian Kumar Kk dan Senan V. [28] dengan variabel pH dari 4 hingga 8 terhadap kulit nanas didapatkan konsentrasi etanol tertinggi pada pH 6 dengan konsentrasi etanol 11,36%.

**b. Temperatur Fermentasi**

Temperatur tinggi produksi etanol oleh *Saccharomyces cerevisiae* berjalan lebih cepat namun akan menghambat pertumbuhan sel *Saccharomyces cerevisiae* sehingga akan terjadi penurunan produksi etanol secara drastis sehingga kadar etanol yang dihasilkan rendah [29]. Pengaruh fermentasi terhadap kadar etanol yang dihasilkan dari berbagai peneliti dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut:



**Gambar 3. Pengaruh temperatur dan waktu fermentasi terhadap kadar etanol**

Pada gambar 3 dapat dilihat kadar etanol tertinggi didapatkan pada temperatur 30 °C dengan waktu fermentasi selama 168 jam dan diikuti temperatur 35 °C pada waktu fermentasi 48 jam. Kedua temperatur hingga pada batas akhir waktu fermentasi masih menunjukkan kenaikan kadar etanol, hal tersebut dikarenakan kondisi lingkungan fermentasi yang sesuai dengan perkembangan mikroba sebagai ragi yang membantu proses fermentasi dalam produksi bioetanol. Pada temperatur yang tinggi, pembentukan etanol lebih cepat tercapai karena reaksi dari mikroba lebih cepat dan terjadi penurunan konsentrasi secara drastis yang diakibatkan terganggunya pertumbuhan *Saccharomyces*

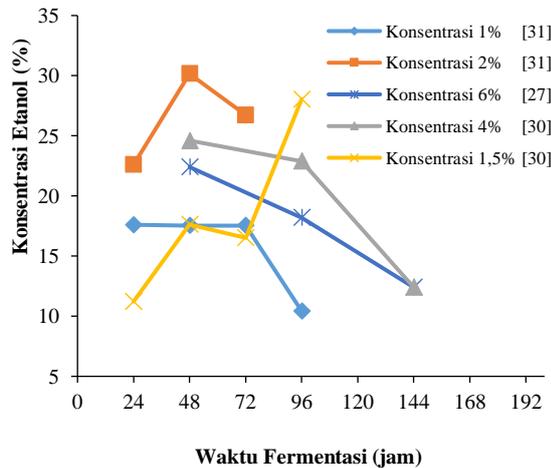
*cerevisiae* sehingga didapatkan penurunan kadar etanol seiring bertambahnya waktu [31].

Pada temperatur 40 °C, didapatkan kadar etanol paling tinggi yaitu sebesar 5% dengan waktu fermentasi 24 jam dan mengalami penurunan seiring berjalannya waktu fermentasi. Hal tersebut terjadi karena pada temperatur yang tinggi pembentukan etanol lebih cepat tercapai karena reaksi dari bakteri *Saccharomyces cerevisiae* cenderung lebih cepat dan mengalami penurunan konsentrasi yang disebabkan oleh terganggunya pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* sehingga kadar etanol menurun seiring bertambahnya waktu [31].

Kondisi optimum ini didukung oleh beberapa peneliti diantaranya dari Babu et al. [26] konsentrasi etanol tertinggi didapatkan temperatur 30 °C. Penelitian yang dilakukan Kumar Kk dan Senan V. [28] dengan variabel temperatur 28 °C – 36 °C didapatkan konsentrasi etanol tertinggi pada temperatur 32 °C dengan konsentrasi etanol sebesar 6,28%.

**c. Konsentrasi *Saccharomyces Cerevisiae* dan Waktu Fermentasi Terhadap Konsentrasi Etanol**

Penggunaan massa ragi dan waktu fermentasi juga berpengaruh terhadap konsentrasi etanol yang dihasilkan. Adapun pengaruh massa ragi dan waktu fermentasi dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4. Pengaruh massa ragi dan waktu fermentasi terhadap konsentrasi bioetanol**

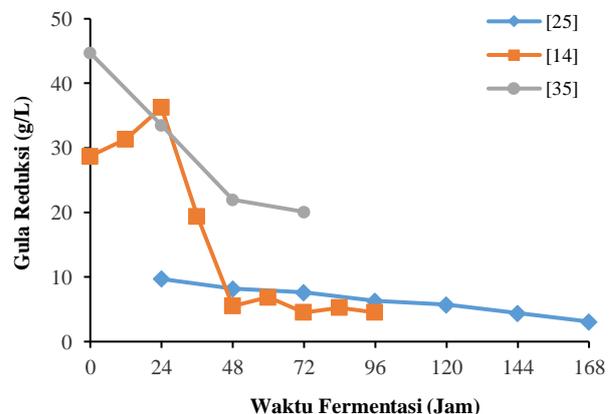
Dapat dilihat pada Gambar 4 menunjukkan bertambahnya massa ragi akan meningkatkan konsentrasi bioetanol yang dihasilkan, namun semakin banyaknya massa ragi yang digunakan konsentrasi bioetanol akan menurun. Dari beberapa penelitian yang pada Gambar 4 menunjukkan bahwa massa *Saccharomyces cerevisiae* optimum pada 1,5%-2%. Penambahan ragi dengan konsentrasi etanol yang dihasilkan mengalami peningkatan dikarenakan aktivitas *Saccharomyces cerevisiae* dalam mengubah glukosa menjadi etanol juga semakin banyak. Penambahan ragi ini menyebabkan konsentrasi etanol yang dihasilkan menurun, hal ini

disebabkan karena jumlah nutrien yang ada didalam larutan tidak sebanyak jumlah ragi pada konsentrasi yang lebih besar, sehingga banyak ragi yang mati dan etanol yang dihasilkan menurun. Kondisi optimum ini didukung oleh penelitian Arimba et al. [32] menggunakan konsentrasi optimum *Saccharomyces cerevisiae* 1,5% dan konsentrasi bioetanol yang dihasilkan 44% dan juga penelitian Hilma et al. [30] konsentrasi *Saccharomyces cerevisiae* 2% dengan hasil konsentrasi etanol 26,3%.

Selain konsentrasi ragi, lamanya waktu fermentasi juga berpengaruh terhadap konsentrasi etanol yang dihasilkan. Waktu fermentasi akan menunjukkan waktu optimum dan hasil bioetanol yang optimal. Semakin lama waktu yang dibutuhkan pada proses fermentasi maka kadar bioetanol yang dihasilkan yaitu meningkat. Namun fermentasi mempunyai waktu optimum sendiri, sehingga setelah mencapai waktu optimum konsentrasi etanol yang di hasilkan akan mengalami penurunan, hal tersebut dikarenakan mikroba menuju pada fase kematian. Dapat dilihat Gambar 4 waktu optimum pada 48 jam – 96 jam. Kondisi ini didukung oleh penelitian Arimba et al. [32] dan Susanti et al [33], untuk menghasilkan konsentrasi etanol yang tinggi dengan waktu optimum selama 96 jam, serta penelitian Hilma et al. [30] dengan waktu optimum 48 jam.

**d. Pengaruh Gula Reduksi Terhadap Konsentrasi Etanol**

Gula reduksi merupakan golongan gula komponen dari bahan dasar yang memiliki gugus aldehid dan keton yang memungkinkan gula bertindak sebagai agen pereduksi [34]. Adapun pengaruh waktu fermentasi terhadap gula reduksi disajikan pada Gambar 5.



**Gambar 5. Grafik pengaruh waktu fermentasi terhadap gula reduksi**

Nilai gula reduksi mengalami penurunan seiring dengan berjalannya waktu. Kondisi tersebut terjadi dikarenakan pada saat fermentasi, gula yang terdapat pada media dimanfaatkan oleh *Saccharomyces cerevisiae* secara terus menerus sebagai sumber karbon dalam memproduksi bioetanol [36]. Dimana

kondisi ini berbanding terbalik dengan pengaruh waktu fermentasi terhadap konsentrasi etanol yang dihasilkan. Semakin lama waktu fermentasi semakin meningkat konsentrasi etanol yang dihasilkan. Hal tersebut terjadi dikarenakan pada saat fermentasi, *Saccharomyces cerevisiae* memanfaatkan gula yang terdapat pada media sebagai sumber karbon dalam sintesis energi [36]. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai gula reduksi tidak selalu menghasilkan konsentrasi etanol yang tinggi pula. Adanya sisa gula reduksi yang tidak terkonversi dapat disebabkan karena adanya perbedaan konsentrasi dan tekanan osmosa antara lingkungan dengan media pertumbuhan yang besar sebagai akibat dari gula reduksi diluar sel terlalu tinggi [37].

### Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini adalah bahwa pembuatan bioetanol dari kulit nanas dilakukan melalui dua tahapan yaitu hidrolisis dan fermentasi. Hidrolisis oleh enzim selulosa melalui tahapan peningkatan luas permukaan, delignifikasi, penurunan kristalinitas, dan penurunan derajat polimerisasi, sedangkan proses fermentasi melalui tahapan glikolisis dan fermentasi alkohol.

Variabel yang berpengaruh pada jenis hidrolisis yang digunakan yaitu dengan selulosa konsentrasi 1% - 2%, pH optimum yaitu pada rentang pH 5 - pH 6 pada temperatur 30 °C, massa *Saccharomyces cerevisiae* optimum yaitu 1,5% - 2% dengan waktu optimum fermentasi 48 - 96 jam dan tingginya gula reduksi tidak mempengaruhi hasil jumlah etanol secara signifikan.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Perpustakaan dan LPPM (Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat) UISI yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini dengan fasilitas yang disediakan.

### Daftar Pustaka

- [1] Anonim, (2018, Maret 20). "Kebutuhan listrik disesuaikan, target bauran energi terbarukan tahun 2025 tetap dijaga 23%," Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/kebutuhan-listrik-disesuaikan-target-bauran-energi-terbarukan-tahun-2025-tetap-dijaga-23>.
- [2] M. Rijal, A. Mahulauw, and A. Rumberu, "Pengaruh konsentrasi *Saccharomyces cerevisiae* terhadap produksi bioetanol berbahan dasar batang jagung," *Biosel Biol. Sci. Educ.*, vol. 8, no. 1, pp. 59, 2019.
- [3] F. Harahap *et al.*, *Kultur Jaringan Nanas*. Surabaya: Media Sahabat Cendekia, 2019.
- [4] Nurhayati, "Penampilan ayam pedaging yang mengkonsumsi pakan mengandung kulit nanas disuplementasi dengan yoghurt," *Agripet*, vol. 13, no. 2, pp : 15-20, 2013.
- [5] F. G. Winarno, *Kimia Pangan Dan Gizi*, 11th ed. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2004.
- [6] R. Hemalatha and S. Anbuselvi, "Physicochemical constituents of pineapple pulp and waste," *J. Chem. Pharm. Res.*, vol. 5, no. 2, pp. 240–242, 2013.
- [7] A. M. Fuadi, K. Harisma, and A. Setiawan, "Pengaruh suhu dan pH terhadap banyaknya *yield* yang dihasilkan pada proses hidrolisis enzimatis dari limbah kertas," *Symposium Nasional RAPI XIV-2015 FT UMS*, 2015, pp. 179–185.
- [8] G. P. Arimba, Jasman, Hasanuddin, and Syahrul, "Pemurnian bioetanol limbah kulit nanas menggunakan alat destilasi sederhana model kolom refluks," *J. Zarah*, vol. 7, no. 1, pp. 22–28, 2019.
- [9] H. Suryanto, "Review serat alam : komposisi, struktur, dan sifat mekanis," *NASPA J.*, vol. 42, no. 4, pp. 1, 2016.
- [10] A. B. Arif, W. Diyono, A. Budiyo, and N. Richana, "Analisis rancangan faktorial tiga faktor untuk optimalisasi produksi bioetanol dari molases tebu," *Inform. Pertan.*, vol. 25, no. 1, pp. 145, 2016.
- [11] U. G. Akpan, S. Kovo, M. Abdullahi, and J. J. Ijah, "The production of ethanol from maize cobs and groundnut shells," *AU J. Technol.*, vol. 9, no. 2, pp. 106–110, 2005.
- [12] M. Jahid, A. Gupta, and D. K. Sharma, "Production of bioethanol from fruit wastes (banana, papaya, pineapple and mango peels) under milder conditions," *J. Bioprocess. Biotech.*, vol. 08, no. 03, 2018.
- [13] J. T. Casabar, Y. Unpaprom, and R. Ramaraj, "Fermentation of pineapple fruit peel wastes for bioethanol production," *Biomass Convers. Biorefinery*, vol. 9, no. 4, pp. 761–765, 2019.
- [14] A. Choonut, M. Saejong, and K. Sangkharak, "The production of ethanol and hydrogen from pineapple peel by *Saccharomyces cerevisiae* and enterobacter aerogenes," *Energy Procedia*, vol. 52, pp. 242–249, 2014.
- [15] T. Boonwong, S. Karnnassuta, and T. Srinorakutara, "Agricultural wastes potential (pineapple crown, durian peel and sugarcane leaves) on reducing sugar production by using sulfuric acid pretreatment following enzymatic hydrolysis," *KKU Res. J.*, vol. 19, no. 3, pp. 361–370, 2014.
- [16] N. Chatchanun, C. Patiwat, C. Peerapong, and R. Chalerm, "Simple and enhanced production of lignocellulosic ethanol by diluted acid hydrolysis process of pineapple peel (*Ananas comosus*) waste," *African J. Biotechnol.*, vol. 13, no. 38, pp. 3928–3934, 2014.
- [17] L. Nulhakim, B. Anggo, R. R. Febriana, H. Lukmana, F. Erriana, A. D. Pratwi. dan P. N. Azizah, "Pembuatan bioetanol dari kulit nanas

- oleh *Saccharomyces cerevisiae* terimobilisasi dalam butiran alginat,” *Seminar Nasional AVoER XI*, pp. 1-5, 2019.
- [18] M. J. Taherzadeh and K. Karimi, "Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: A review", *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 9, no. 9. 2008.
- [19] A. Safwan Alikasturi *et al.*, "Extraction of glucose by using alkaline hydrolysis from *Musa sapientum* peels, *Ananas comosus* and *Mangifera indica* linn," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 10, pp. 22148–22153, 2018,
- [20] N. A. S. M. Rosdee, N. Masngut, S. M. Shaarani, S. Jamek, and M. S. M. Sueb, "Enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass from pineapple leaves by using endo-1,4-xylanase: Effect of pH, temperature, enzyme loading and reaction time", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 736, no. 2.
- [21] T. Roukas, "Continuous ethanol production from nonsterilized carob pod extract by immobilized *Saccharomyces cerevisiae* on mineral kissiris using a two-reactor system," *Appl. Biochem. Biotechnol. - Part A Enzym. Eng. Biotechnol.*, vol. 59, no. 3, pp. 299–307, 1996.
- [22] D. L. Pramita, E. Yenie, and S. R. Muria, "Pembuatan bioetanol dari kulit nenas menggunakan enzim selulose dan yeast *Saccharomyces cerevisiae* dengan proses Simultaneous Sacharificatian and Fermentation (SSF) terhadap variasi konsentrasi inokulum dan waktu fermentasi," *J. Online Mhs. Fak. Tek. Univ. Riau*, pp. 12–49, 2014.
- [23] M. Budiarni and T. Gultom, "Pengaruh variasi waktu fermentasi dan berat ragi terhadap kadar alkohol pada pembuatan bioetanol limbah padat tapioka (onggok)," Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, 2013.
- [24] J. Pornpunyapat, W. Chotigeat, and P. Chetpattananondh, "Bioethanol production from pineapple peel juice using *Saccharomyces cerevisiae*," *Adv. Mater. Res.*, vol. 875–877, pp. 242–245, 2014.
- [25] J. Itelima, F. Onwuliri, E. Onwuliri, I. Onyimba, and S. Oforji, "Bio-ethanol production from banana, plantain and pineapple peels by simultaneous saccharification and fermentation process," *Int. J. Environ. Sci. Dev.*, no. April, pp. 213–216, 2013.
- [26] P. R. Babu, M. Mastan, K. Charan, and V. K. Vaishnav, "Optimization of ethanol production from pineapple peel by *Saccharomyces cerevisiae*," *Int. J. Adv. Sci. Res. Manag.*, vol. 4, no. 5, 2019.
- [27] M. Octria, A. Kiagus, K. A. Roni, and Atikah, "Bioetanol production optimization from pineapple leather fil," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 1–5, 2017.
- [28] G. K. K. Kumar and P. V. Senan, "Bioethanol production from local fruit waste and its optimization," *Indian J. Exp. Biol.*, vol. 58, pp. 879–882, 2020.
- [29] M. M. Khandaker, K. B. Qiamuddin, A. Majrashi, T. Dalorima, M. H. Sajili, and A. B. M. Sharif Hossain, "Bio-ethanol production from fruit and vegetable waste by using *Saccharomyces cerevisiae*," *Biosci. Res.*, vol. 15, no. 3, pp. 1703–1711, 2018.
- [30] R. Hilma, U. Akbar, and Prasetya, "Optimum condition of bioethanol production via acidic hydrolysis from pineapple (*Ananas comosus* Merr.) peel waste in Kualu Village-Kampar," 1930.
- [31] N. Fitria and E. Lindasari, "Optimasi perolehan bioetanol dari kulit nenas (*Ananas cosmosus*) dengan penambahan urea, variasi konsentrasi inokulasi starter dan waktu fermentasi," *J. Reka Lingkungan.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2020.
- [32] G. P. Arimba, Jasman, Hasanuddin, and Syahrul, "Pemurnian bioetanol limbah kulit nenas menggunakan alat distilasi sederhana model kolom refluks," *J. Zarah*, vol. 7, no. 1, pp. 22–28, 2019.
- [33] A. D. Susanti, P. T. Prakoso, and H. Prabawa, "Pembuatan bioetanol dari kulit nenas melalui hidrolisis dengan asam," *Ekulilibrium*, vol. 12, no. 1, pp. 11–16, 2013.
- [34] T. Kunz, E. J. Lee, V. Schiwek, T. Seewald, and F. J. Methner, "Glucose- a reducing sugar? reducing properties of sugars in beverages and food," *BrewingScience*, vol. 64, no. 7–8, pp. 61–67, 2011.
- [35] A. Sherif, A. Hussen, and D. Firemichael, "Hydolysis of multi substrate biomass using para-toluenesulphonic acid for bioethanol production: A promising option over the sulfuric acid treatment," *Biomass and Bioenergy*, vol. 144, pp. 105922, 2021.
- [36] N. I. Febriani, A. Ridlo, and A. Susanto, "Potensi yeast dalam fermentasi alginofit sargassum polycystum C.A Agardh dengan hidrolisis asam sulfat untuk pembuatan bioetanol," *Diponegoro J. Mar. Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 91–98, 2014.
- [37] Wignyanto, Suharjono, and Novita, "Pengaruh konsentrasi gula reduksi sari hati nenas dan inokulum *Saccharomyces cerevisiae* Pada fermentasi etanol," *J. Teknol. Pertan.*, vol. 2, no. 1, pp. 68–77, 2001.