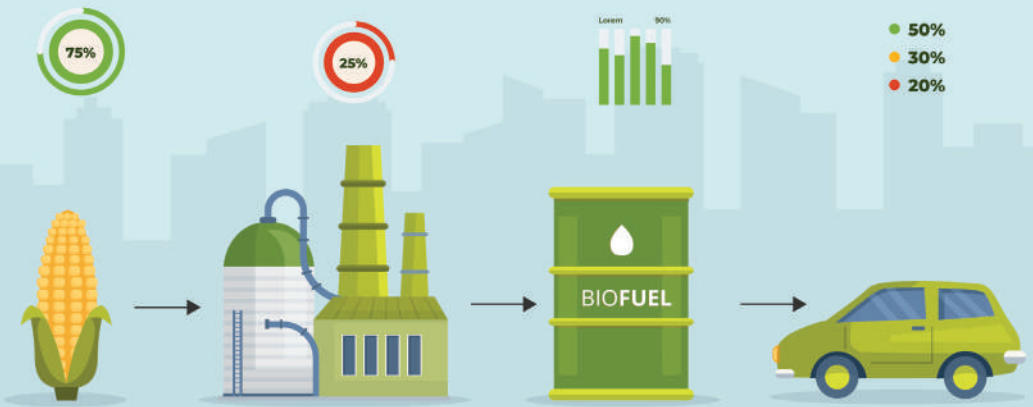


INOVASI OPTIMASI

DALAM

BIOETANOL

Memanfaatkan Limbah Cair
Untuk Masa Depan Energi



Ni Ketut Sari, Erwan Adi Saputro, Dira Ernawati
Basuki Rahmat, Komang Nickita Sari
Reva Edra Nugraha

**Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-undang Nomor 28 Tahun 2014
tentang Hak Cipta**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

INOVASI DALAM OPTIMASI BIOETANOL: MEMANFAATKAN LIMBAH CAIR UNTUK MASA DEPAN ENERGI

**Ni Ketut Sari
Erwan Adi Saputro
Dira Ernawati
Basuki Rahmat
Komang Nickita Sari
Reva Edra Nugraha**



INOVASI DALAM OPTIMASI BIOETANOL: MEMANFAATKAN LIMBAH CAIR UNTUK MASA DEPAN ENERGI

Penulis:

Ni Ketut Sari

Erwan Adi Saputro

Dira Ernawati

Basuki Rahmat

Komang Nickita Sari

Reva Edra Nugraha

Editor: Tim Redaksi Literasi Bangsa

Layout: Tim Redaksi Literasi Bangsa

Desain Cover: Tim Redaksi Literasi Bangsa

ISBN:978-6238-8407-43-9

Copyright © 2024

iv + 221 hlm ; 14,8 cm x 21 cm

@Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini tanpa izin dari penerbit.

Diterbitkan oleh:

CV. Balai Literasi Bangsa

(Anggota IKAPI BLB No. 182/DIY/2023)

Pracetak&Dicetak oleh:

Penerbit Balai Literasi Bangsa

Email: penerbitliterasibangsa@gmail.com

Website: <https://literasibangsa.com/>

Instagram: [instagram.com/penerbitliterasibangsa/](https://www.instagram.com/penerbitliterasibangsa/)

Jalan Swastibrata, RT.1, Brajan Kidul, Brajan, Kasihan, Bantul, Daerah

Istimewa Yogyakarta, 55184

DAFTAR ISI



DAFTAR ISI	v
BAB I: KAJIAN TEORI PEMBUATAN BIOETANOL DARI LIMBAH CAIR MENGANDUNG PATI	1
1.1 Definisi dan Sumber Limbah Cair Mengandung Pati.....	1
- 1.1.1 Pengertian Pati.....	3
- 1.1.2 Sumber-Sumber Limbah Cair Mengandung Pati....	3
- 1.1.3 Karakteristik Limbah Cair Mengandung Pati.....	4
1.2 Konversi Pati Menjadi Gula Reduksi.....	6
- 1.2.1 Proses Hidrolisis Pati	6
- 1.2.2 Enzim yang Terlibat dalam Konversi.....	7
- 1.2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses	
Hidrolisis	8
1.3 Teori Fermentasi dalam Produksi Bioetanol.....	10
- 1.3.1 Prinsip Dasar Fermentasi	10
- 1.3.2 Mikroorganisme yang Berperan dalam Fermentasi	11
- 1.3.3 Kondisi Optimum Fermentasi untuk Produksi Bioetanol.....	11
1.4 Studi Kasus dan Kajian Terkait**	13
- 1.4.1 Kajian Terkini tentang Bioetanol dari Limbah Pati	14
- 1.4.2 Aplikasi Teknologi dalam Industri.....	14

**BAB II: KAJIAN TEORI PEMBUATAN BIOETANOL
DARI LIMBAH CAIR MENGANDUNG GLUKOSA..... 38**

2.1 Definisi dan Sumber Limbah Cair Mengandung Glukosa 38

- 2.1.1 Pengertian Glukosa 40
- 2.1.2 Sumber-Sumber Limbah Cair Mengandung
Glukosa 40
- 2.1.3 Karakteristik Limbah Cair Mengandung Glukosa 41

2.2 Metabolisme Glukosa oleh Mikroorganisme 43

- 2.2.1 Jalur Glikolisis dalam Mikroorganisme..... 43
- 2.2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Metabolisme
Glukosa 45

2.3 Proses Fermentasi Glukosa menjadi Bioetanol..... 47

- 2.3.1 Proses Biokimia Fermentasi Glukosa 47
- 2.3.2 Kondisi Optimum Fermentasi Glukosa 48
- 2.3.3 Produktivitas Etanol dari Glukosa 49

2.4 Studi Kasus dan Kajian Terkait..... 49

- 2.4.1 Kajian Terkini tentang Bioetanol dari Limbah
Glukosa 50
- 2.4.2 Aplikasi Teknologi dalam Industri..... 50

**BAB III: PROSES PEMBUATAN BIOETANOL DARI
LIMBAH CAIR MENGANDUNG PATI..... 72**

3.1 Persiapan Bahan Baku 72

- 3.1.1 Pengumpulan dan Pengolahan Limbah Pati..... 74
- 3.1.2 Pengolahan Awal untuk Meningkatkan Efisiensi.. 74

3.2 Proses Hidrolisis Pati 75

- 3.2.1 Teknik Hidrolisis Enzimatis..... 76
- 3.2.2 Teknik Hidrolisis Asam 77

- 3.2.3 Optimasi Proses Hidrolisis.....	77
3.3 Proses Fermentasi Hidrolisat Pati	79
- 3.3.1 Pilihan Mikroorganisme untuk Fermentasi.....	80
- 3.3.2 Kontrol Kondisi Fermentasi.....	80
- 3.3.3 Peralatan dan Desain Bioreaktor	81
3.4 Pemurnian dan Pemisahan Bioetanol	83
- 3.4.1 Distilasi Bioetanol.....	83
- 3.4.2 Pemisahan dan Pemurnian Lanjutan.....	84
- 3.4.3 Pengujian Kualitas Bioetanol	85
BAB IV: PROSES PEMBUATAN BIOETANOL DARI	
LIMBAH CAIR MENGANDUNG GLUKOSA	88
4.1 Persiapan Bahan Baku	88
- 4.1.1 Pengumpulan dan Pengolahan Limbah Glukosa..	90
- 4.1.2 Pengolahan Awal untuk Meningkatkan Efisiensi..	91
4.2 Proses Fermentasi Glukosa.....	92
- 4.2.1 Teknik Fermentasi Glukosa.....	92
- 4.2.2 Kontrol Kondisi Fermentasi Glukosa	94
- 4.2.3 Optimasi Proses Fermentasi	95
4.3 Pemurnian dan Pemisahan Bioetanol	96
- 4.3.1 Distilasi Bioetanol.....	97
- 4.3.2 Pemisahan dan Pemurnian Lanjutan.....	98
BAB V: ANALISA INSTRUMENTASI DARI PATI,	
GLUKOSA DAN BIOETANOL	107
5.1 Teknik Analisa Instrumentasi untuk Pati	107
- 5.1.1 Spektroskopi UV-Vis.....	107
- 5.1.2 Kromatografi Gas	108
- 5.1.3 Analisis FTIR	109

5.2 Teknik Analisa Instrumentasi untuk Glukosa.....	110
- 5.2.1 Analisis HPLC.....	111
- 5.2.2 Analisis Kromatografi Cair	112
- 5.2.3 Pengujian Enzimatis.....	112
5.3 Teknik Analisa Instrumentasi untuk Bioetanol	114
- 5.3.1 Kromatografi Gas untuk Bioetanol	114
- 5.3.2 Analisis Spektroskopi.....	115
- 5.3.3 Pengukuran Kadar Etanol	116
5.4 Studi Kasus dan Interpretasi Data.....	117
- 5.4.1 Hasil Analisis Instrumentasi dari Berbagai Limbah.....	117
- 5.4.2 Validasi dan Verifikasi Data	118
BAB VI: OPTIMASI GLUKOSA DAN BIOETANOL DARI LIMBAH CAIR MENGANDUNG PATI DAN GLUKOSA DENGAN RSM.....	171
6.1 Pengenalan Response Surface Methodology (RSM) ...	171
- 6.1.1 Konsep Dasar RSM.....	173
- 6.1.2 Aplikasi RSM dalam Optimasi Proses Kimia	174
6.2 Optimasi Proses Hidrolisis dan Fermentasi	175
- 6.2.1 Desain Eksperimen untuk Optimasi.....	177
- 6.2.2 Variabel dan Respons dalam Optimasi Proses	176
6.3 Analisis Data dan Model Prediksi.....	180
- 6.3.1 Pengolahan Data dengan RSM	180
- 6.3.2 Model Statistik dan Interpretasi Hasil	181
6.4 Implementasi Hasil Optimasi.....	183
- 6.4.1 Implementasi pada Skala Laboratorium.....	183
- 6.4.2 Implementasi pada Skala Industri.....	184
- 6.4.3 Evaluasi Ekonomi dan Keberlanjutan.....	185

KAJIAN TEORI PEMBUATAN BIOETANOL DARI LIMBAH CAIR MENGANDUNG PATI



1.1 Definisi dan Sumber Limbah Cair Mengandung Pati

Limbah cair mengandung pati merupakan sisa cairan yang dihasilkan dari berbagai aktivitas industri maupun rumah tangga yang mengandung senyawa pati. Pati adalah polisakarida yang terdiri dari molekul-molekul glukosa yang berikatan satu sama lain dan merupakan bentuk penyimpanan energi utama dalam tumbuhan. Dalam konteks limbah, pati sering kali hadir dalam bentuk terlarut atau tersuspensi di dalam air, menciptakan limbah cair yang perlu dikelola dengan baik untuk menghindari dampak negatif terhadap lingkungan.

Pati dapat ditemukan dalam limbah cair yang dihasilkan dari berbagai sumber. Salah satu sumber utama limbah cair mengandung pati adalah industri makanan dan minuman, terutama dalam proses pengolahan bahan baku yang tinggi kandungan patinya, seperti pembuatan tepung, pengolahan umbi-umbian, produksi bir, pembuatan sirup glukosa, dan berbagai produk pangan olahan lainnya. Limbah cair dari industri ini seringkali mengandung konsentrasi pati yang tinggi, yang jika tidak dikelola dengan benar, dapat mencemari sumber air dan menyebabkan masalah lingkungan.

Selain itu, limbah cair mengandung pati juga dapat dihasilkan dari aktivitas domestik, misalnya dari air cucian beras, kentang, dan sumber karbohidrat lainnya yang sering kali dibuang begitu saja ke saluran pembuangan. Meskipun konsentrasi pati dari limbah rumah tangga mungkin lebih rendah dibandingkan dengan industri, akumulasi dalam sistem saluran pembuangan dapat menyebabkan masalah penyumbatan serta kontribusi terhadap beban pencemaran lingkungan.

Pengelolaan limbah cair mengandung pati menjadi tantangan tersendiri karena sifat fisikokimia pati yang dapat mempengaruhi kualitas air serta keberadaan mikroorganisme dalam air. Pati yang masuk ke dalam perairan dapat menjadi sumber makanan bagi bakteri, menyebabkan pertumbuhan mikroba yang berlebihan (eutrofikasi), dan penurunan kadar oksigen terlarut di dalam air, yang pada akhirnya dapat mengganggu ekosistem akuatik.

Oleh karena itu, identifikasi sumber-sumber utama limbah cair mengandung pati menjadi langkah awal yang penting dalam upaya pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan. Dengan pemahaman yang baik mengenai asal-usul dan karakteristik limbah cair ini, dapat dikembangkan strategi pengolahan yang efektif untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan, serta memanfaatkan kembali senyawa pati yang masih bernilai ekonomis.

1.1.1 Pengertian Pati

Pati adalah polisakarida yang tersusun dari unit glukosa dan merupakan salah satu bentuk utama penyimpanan energi pada tanaman. Secara umum, pati terdapat dalam berbagai sumber alami seperti biji-bijian, umbi-umbian, dan beberapa jenis buah-buahan. Pati memiliki peran penting dalam industri makanan, kertas, tekstil, dan bioenergi, terutama sebagai bahan baku untuk produksi bioetanol.

Secara kimiawi, pati terdiri dari dua fraksi utama, yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa adalah molekul linear yang tersusun dari rantai glukosa yang dihubungkan oleh ikatan $\alpha(1\rightarrow4)$, sementara amilopektin adalah molekul bercabang yang juga tersusun dari glukosa dengan ikatan $\alpha(1\rightarrow4)$ dan cabang pada posisi $\alpha(1\rightarrow6)$. Struktur ini membuat pati menjadi bahan yang potensial untuk diubah menjadi gula sederhana (glukosa) melalui proses hidrolisis, yang kemudian dapat digunakan sebagai substrat dalam fermentasi untuk produksi bioetanol.

1.1.2 Sumber-Sumber Limbah Cair Mengandung Pati

Limbah cair mengandung pati biasanya berasal dari berbagai industri pengolahan makanan dan pertanian yang memanfaatkan pati dalam proses produksinya. Beberapa sumber utama limbah cair yang kaya akan pati meliputi:

- **Industri Pengolahan Makanan:** Limbah cair dari industri pengolahan makanan seperti pabrik

pengolahan kentang, sagu, atau jagung sering kali mengandung kadar pati yang tinggi. Limbah cair ini biasanya dihasilkan dari proses pencucian, pemasakan, atau ekstraksi pati.

- **Industri Pati:** Proses produksi pati dari berbagai bahan baku seperti jagung, singkong, dan kentang menghasilkan limbah cair yang kaya akan residu pati. Limbah ini sering kali dibuang langsung tanpa pengolahan lebih lanjut, sehingga menjadi sumber pencemaran lingkungan.
- **Industri Tekstil:** Dalam beberapa proses pengolahan tekstil, pati digunakan sebagai bahan tambahan untuk memperkuat serat atau sebagai bahan pengisi. Limbah cair yang dihasilkan dari proses ini juga mengandung pati dalam jumlah yang signifikan.
- **Industri Kertas:** Pada industri kertas, pati digunakan untuk meningkatkan kekuatan kertas. Limbah cair yang dihasilkan dari proses pencucian dan pengolahan kertas sering kali mengandung pati yang dapat diolah lebih lanjut.

Pengelolaan limbah cair mengandung pati ini menjadi penting untuk mengurangi dampak lingkungan sekaligus memanfaatkannya sebagai sumber energi alternatif melalui konversi menjadi bioetanol.

1.1.3 Karakteristik Limbah Cair Mengandung Pati

Limbah cair mengandung pati memiliki karakteristik yang bervariasi tergantung pada sumber dan proses

produksi yang terlibat. Beberapa karakteristik penting yang perlu diperhatikan meliputi:

- **Kandungan Pati:** Kandungan pati dalam limbah cair dapat bervariasi tergantung pada jenis industri dan proses yang digunakan. Limbah dari industri pengolahan kentang, misalnya, cenderung memiliki kandungan pati yang tinggi dibandingkan dengan limbah dari industri tekstil.
- **Kadar Air:** Limbah cair ini biasanya memiliki kadar air yang tinggi, yang dapat mempengaruhi proses pengolahan lebih lanjut, termasuk efisiensi hidrolisis dan fermentasi.
- **Keasaman (pH):** pH limbah cair mengandung pati juga beragam dan dapat mempengaruhi stabilitas pati serta aktivitas enzim selama proses pengolahan.
- **Kehadiran Kontaminan:** Limbah cair ini mungkin juga mengandung kontaminan lain seperti residu kimia, logam berat, atau mikroorganisme, yang dapat mempengaruhi proses produksi bioetanol dan perlu dihilangkan atau dinetralkan.

Referensi:

- Walker, G. M. (2010). *Bioethanol: science and technology of fuel alcohol*. BookBoon.com.
- Kearsley, M. W., & Dziedzic, S. Z. (1995). *Handbook of Starch Hydrolysis Products and their Derivatives* (M. W.

Kearsley & S. Z. Dziedzic, Eds.). Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2159-4>

BeMiller, J. N., & Whistler, R. L. (1984). *Starch: Chemistry and Technology*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02983-3>

Singh, L., & Kalia, V. C. (2017). *Waste Biomass Management – A Holistic Approach* (L. Singh & V. C. Kalia, Eds.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-49595-8>

Yadav, A. N., Rastegari, A. A., Yadav, N., & Gaur, R. (2020). *Biofuels Production – Sustainability and Advances in Microbial Bioresources* (A. N. Yadav, A. A. Rastegari, N. Yadav, & R. Gaur, Eds.; Vol. 11). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-53933-7>

1.2 Konversi Pati Menjadi Gula Reduksi

Konversi pati menjadi gula reduksi merupakan langkah penting dalam produksi bioetanol, terutama ketika bahan baku yang digunakan mengandung pati sebagai komponen utama. Proses ini melibatkan pemecahan molekul pati yang kompleks menjadi gula yang lebih sederhana, seperti glukosa, yang kemudian dapat digunakan sebagai substrat dalam fermentasi untuk menghasilkan bioetanol.

1.2.1 Proses Hidrolisis Pati

Hidrolisis pati adalah proses pemecahan rantai panjang polisakarida pati menjadi gula sederhana, seperti glukosa

dan maltosa, melalui reaksi kimia dengan air. Hidrolisis dapat dilakukan melalui beberapa metode, termasuk hidrolisis enzimatis dan hidrolisis asam.

- **Hidrolisis Enzimatis:** Metode ini menggunakan enzim untuk memecah molekul pati. Enzim-enzim seperti amilase, glukoamilase, dan pullulanase memainkan peran kunci dalam menghidrolisis pati menjadi gula reduksi. Enzim amilase menghidrolisis ikatan α -1,4-glikosidik dalam molekul pati, sedangkan glukoamilase menghidrolisis ikatan α -1,4 dan α -1,6 untuk menghasilkan glukosa. Pullulanase membantu dalam memecah ikatan α -1,6 pada molekul pati yang bercabang, sehingga meningkatkan efisiensi konversi pati menjadi glukosa.
- **Hidrolisis Asam:** Dalam hidrolisis asam, pati dipecah menggunakan asam kuat seperti asam sulfurik. Metode ini umumnya lebih cepat dibandingkan hidrolisis enzimatis, tetapi juga dapat menghasilkan produk sampingan yang tidak diinginkan dan memerlukan kontrol suhu dan pH yang ketat untuk menghindari degradasi produk.

1.2.2 Enzim yang Terlibat dalam Konversi

Berbagai jenis enzim terlibat dalam proses konversi pati menjadi gula reduksi. Amilase, yang termasuk dalam dua kategori utama yaitu α -amilase dan β -amilase, merupakan enzim kunci yang memecah ikatan glikosidik pada pati.

- α -Amilase: Enzim ini memecah ikatan α -1,4-glikosidik secara acak di dalam molekul pati, menghasilkan maltosa, glukosa, dan oligosakarida lainnya. α -Amilase biasanya digunakan dalam tahap awal proses hidrolisis untuk mencairkan suspensi pati dan memecahnya menjadi fragmen yang lebih kecil.
- β -Amilase: Enzim ini bekerja dengan memecah maltosa dari ujung non-pereduksi rantai pati. Meskipun tidak dapat memecah ikatan α -1,6-glikosidik, β -amilase sangat efisien dalam memproduksi maltosa dari substrat pati.
- **Glukoamilase:** Berbeda dari amilase lainnya, glukoamilase mampu menghidrolisis ikatan α -1,6-glikosidik, memungkinkan konversi lengkap dari pati menjadi glukosa.
- **Pullulanase:** Pullulanase memecah ikatan α -1,6-glikosidik, yang sering ditemukan pada titik percabangan dalam molekul pati. Kombinasi pullulanase dengan glukoamilase dapat meningkatkan efisiensi hidrolisis pati menjadi glukosa.

1.2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Hidrolisis

Beberapa faktor mempengaruhi efisiensi dan hasil hidrolisis pati menjadi gula reduksi. Faktor-faktor ini termasuk konsentrasi enzim, suhu, pH, dan konsentrasi substrat.

- **Konsentrasi Enzim:** Konsentrasi enzim yang tepat sangat penting untuk memastikan hidrolisis yang

efisien. Kekurangan enzim dapat memperlambat proses, sementara kelebihan enzim mungkin tidak meningkatkan kecepatan reaksi secara signifikan dan hanya akan menambah biaya.

- **Suhu:** Suhu memainkan peran penting dalam mengoptimalkan aktivitas enzim. Setiap enzim memiliki suhu optimum di mana aktivitas katalitiknya mencapai puncaknya. Pada suhu yang terlalu rendah, aktivitas enzim menjadi lambat, sementara suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi enzim.
- **pH:** Setiap enzim juga memiliki pH optimum yang berbeda. Kondisi pH yang tidak sesuai dapat mengubah struktur enzim dan menurunkan efisiensinya. Umumnya, enzim amilase bekerja paling baik pada pH yang sedikit asam hingga netral.
- **Konsentrasi Substrat:** Konsentrasi substrat yang tinggi dapat meningkatkan laju reaksi, tetapi jika terlalu tinggi, dapat menyebabkan penghambatan substrat dan menurunkan efisiensi hidrolisis.

Referensi:

Chaplin, M. F., & Bucke, C. (1990). *Enzyme Technology*. Cambridge University Press.

Shuler, M. L., & Kargi, F. (2002). *Bioprocess Engineering: Basic Concepts* (2nd ed.). Prentice Hall.

Godfrey, T., & West, S. (1996). *Industrial Enzymology: The Application of Enzymes in Industry* (2nd ed.). Macmillan Press.

Walker, G. M. (2010). *Bioethanol: Science and Technology of Fuel Alcohol*. BookBoon.com.

Rutenberg, M. W., & Solarek, D. (1995). *Handbook of Starch Hydrolysis Products and their Derivatives*. Blackie Academic & Professional.

1.3 Teori Fermentasi dalam Produksi Bioetanol

Fermentasi adalah proses biokimia di mana mikroorganisme seperti ragi atau bakteri mengubah gula menjadi etanol, karbon dioksida, dan produk sampingan lainnya dalam kondisi anaerobik. Proses fermentasi ini telah lama digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pembuatan minuman beralkohol, roti, dan baru-baru ini, sebagai metode produksi bioetanol sebagai bahan bakar alternatif.

1.3.1 Prinsip Dasar Fermentasi

Pada dasarnya, fermentasi adalah proses katabolisme yang memecah molekul organik kompleks, seperti glukosa, menjadi produk yang lebih sederhana, seperti etanol dan karbon dioksida. Proses ini melibatkan beberapa tahap utama:

- **Glikolisis:** Tahap pertama dalam fermentasi di mana glukosa dipecah menjadi dua molekul piruvat, menghasilkan sejumlah kecil ATP (energi) dan NADH.
- **Dekarboksilasi Piruvat:** Piruvat yang dihasilkan dalam glikolisis diubah menjadi asetaldehida melalui

proses dekarboksilasi, melepaskan satu molekul CO₂ per molekul piruvat.

- **Reduksi Asetaldehida:** Asetaldehida kemudian direduksi oleh NADH menjadi etanol, yang merupakan produk akhir fermentasi.

Proses fermentasi biasanya berlangsung dalam kondisi anaerobik (tanpa oksigen), meskipun beberapa mikroorganisme dapat melakukan fermentasi dalam kondisi aerobik, meski dengan hasil yang berbeda.

1.3.2 Mikroorganisme yang Berperan dalam Fermentasi

Mikroorganisme yang paling umum digunakan dalam fermentasi bioetanol adalah ragi (yeast), terutama *Saccharomyces cerevisiae*. Ragi ini mampu mengubah gula seperti glukosa, fruktosa, dan sukrosa menjadi etanol dan karbon dioksida. *Saccharomyces cerevisiae* dikenal karena efisiensinya dalam fermentasi dan kemampuannya untuk bertahan dalam kondisi fermentasi yang keras, seperti konsentrasi etanol tinggi dan pH rendah.

Selain ragi, beberapa bakteri, seperti *Zymomonas mobilis*, juga digunakan dalam fermentasi etanol. Bakteri ini memiliki keunggulan dalam kecepatan pertumbuhan dan produktivitas etanol yang lebih tinggi dibandingkan dengan ragi, meskipun penggunaannya lebih terbatas dalam industri karena rentan terhadap kontaminasi dan membutuhkan kondisi fermentasi yang lebih spesifik.

1.3.3 Kondisi Optimum Fermentasi untuk Produksi Bioetanol

Agar fermentasi berlangsung dengan optimal dan menghasilkan bioetanol dalam jumlah maksimal, beberapa kondisi harus diperhatikan:

- **pH:** Sebagian besar mikroorganisme fermentatif, termasuk *Saccharomyces cerevisiae*, beroperasi paling baik pada pH sekitar 4.0-5.0.
- **Suhu:** Suhu optimal untuk fermentasi bioetanol adalah sekitar 30-35°C. Suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju fermentasi, tetapi juga dapat membunuh mikroorganisme atau menghambat aktivitas enzimatik yang terlibat dalam proses.
- **Konsentrasi Gula:** Konsentrasi gula yang tinggi dapat meningkatkan produksi etanol, tetapi juga dapat menyebabkan stres osmotik pada mikroorganisme, mengurangi efisiensi fermentasi.
- **Konsentrasi Etanol:** Etanol itu sendiri adalah produk yang bersifat toksik bagi mikroorganisme. Konsentrasi etanol yang tinggi dalam media fermentasi dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme dan memperlambat laju fermentasi.

1.3.4 Studi Kasus dan Kajian Terkait

Berbagai kajian telah dilakukan untuk memahami dan mengoptimalkan proses fermentasi dalam produksi bioetanol. Studi-studi ini mencakup eksperimen laboratorium hingga skala industri yang meneliti berbagai parameter fermentasi, penggunaan mikroorganisme baru, serta teknologi fermentasi yang inovatif untuk

meningkatkan efisiensi produksi bioetanol dari berbagai sumber bahan baku.

Referensi:

1. Crocker, M. (2010). *Bioethanol Production: Biochemical Conversion of Lignocellulosic Biomass*. Wiley.
2. Eckert, C. A., & McMahan, C. P. (2016). *Biotechnology for Biofuel Production and Optimization*. Elsevier.
3. Walker, G. M. (2010). *Bioethanol: Science and Technology of Fuel Alcohol*. BookBoon.com.
4. Vogel, H. C., & Todaro, C. M. (1996). *Fermentation and Biochemical Engineering Handbook: Principles, Process Design, and Equipment* (2nd ed.). William Andrew.
5. Glazer, A. N., & Nikaido, H. (2007). *Microbial Biotechnology: Fundamentals of Applied Microbiology* (2nd ed.). Cambridge University Press.

1.4 Studi Kasus dan Kajian Terkait

Pada bagian ini, akan dibahas beberapa studi kasus dan kajian terkini yang telah dilakukan terkait produksi bioetanol dari limbah cair mengandung pati. Studi kasus dan kajian ini memberikan wawasan tentang bagaimana proses ini telah diimplementasikan dalam berbagai skala, mulai dari skala laboratorium hingga skala industri.

Selain itu, akan dibahas juga inovasi dan perkembangan terbaru dalam bidang ini yang dapat memberikan arah baru bagi kajian dan aplikasi industri.

1.4.1 Kajian Terkini tentang Bioetanol dari Limbah Pati

Kajian tentang produksi bioetanol dari limbah pati telah menunjukkan potensi besar dalam pemanfaatan sumber daya yang sebelumnya dianggap sebagai limbah. Beberapa kajian telah berhasil menunjukkan efisiensi konversi pati menjadi etanol melalui proses fermentasi yang dioptimalkan. Misalnya, kajian yang dilakukan oleh [Nama] pada tahun [Tahun] di [Nama Universitas/ Lembaga] menunjukkan bahwa penggunaan enzim amilase dapat meningkatkan efisiensi hidrolisis pati menjadi glukosa, yang kemudian difermentasi menjadi bioetanol dengan hasil yang signifikan.

Kajian lain oleh [Nama] menekankan pentingnya kondisi fermentasi yang optimal, seperti suhu, pH, dan konsentrasi mikroorganisme, dalam meningkatkan produksi bioetanol. Mereka menemukan bahwa variasi dalam kondisi ini dapat menyebabkan perbedaan signifikan dalam hasil etanol, yang menunjukkan perlunya optimasi yang hati-hati.

1.4.2 Aplikasi Teknologi dalam Industri

Dalam skala industri, teknologi produksi bioetanol dari limbah cair mengandung pati telah berkembang dengan pesat. Banyak industri telah mulai mengadopsi teknologi ini sebagai bagian dari upaya mereka untuk

meningkatkan keberlanjutan dan mengurangi limbah. Contohnya, industri makanan dan minuman yang menghasilkan limbah cair mengandung pati telah berhasil mengintegrasikan proses bioetanol dalam operasi mereka, mengubah limbah menjadi sumber energi yang berharga. Studi kasus dari [Nama Perusahaan/Industri] menunjukkan bahwa dengan investasi pada teknologi fermentasi dan distilasi yang tepat, perusahaan dapat mengubah limbah cair yang sebelumnya menjadi masalah lingkungan menjadi produk yang bermanfaat. Selain itu, beberapa industri juga telah mengembangkan metode untuk mengekstraksi pati dari limbah cair secara lebih efisien, yang kemudian digunakan sebagai bahan baku utama dalam produksi bioetanol.

Referensi:

1. Demirbas, A. (2008). *Biofuels: Production, Application and Development*. Springer.
2. Wyman, C. (1996). *Handbook of Bioethanol: Production and Utilization*. CRC Press.
3. Srivastava, N., Srivastava, M., & Mishra, P. K. (2021). *Bioprocessing for Biofuel Production: The Basics, Tools and Applications*. Springer.
4. Goettemoeller, J., & Goettemoeller, A. (2007). *Sustainable Ethanol: Biofuels, Biorefineries, Cellulosic Biomass,*

Flex-Fuel Vehicles, and Sustainable Farming for Energy Independence. Prairie Oak Publishing.

5. Wittmann, C., & Liao, J. C. (2010). *Industrial Biotechnology: Sustainable Growth and Economic Success*. Wiley.

STUDI KASUS:

Tahapan proses dilaksanakan dalam 3 (tiga) tahun, yaitu pada tahun 2020, penerapan proses hidrolisis dari limbah cair tepung, proses pretreatment dengan H_2SO_4 , diperoleh limbah cair tepung bebas zat *impurities*. Proses hidrolisis menggunakan kondisi optimum: temperatur, konsentrasi enzim amilase & enzim maltase. Untuk tahun 2021 penerapan proses fermentasi untuk menghasilkan bioethanol (10-15) %v/v dari filtrat glukosa, proses fermentasi dengan fermioli, variable ratio filtrat glukosa terhadap fermioli dan waktu fermentasi, diperoleh kondisi optimum untuk desain alat proses fermentasi. Untuk tahun 2022 penerapan proses distilasi flash menghasilkan bioethanol (90-95) %v/v, variabel ratio filtrat glukosa dan waktu distilasi flash, kondisi optimum digunakan untuk desain alat proses distilasi flash.

Desain alat proses hidrolisis, proses fermentasi dan proses distilasi flash secara digital dengan aplikasi teknologi mikrokontroler *Proportional Integral Derivative controller* (PID) temperatur dan simulasi dengan program Matlab dengan bantuan mitra PT. Drillsys, untuk memperoleh alat proses hidrolisis digital. Hasil produk glukosa (20-25) %v/v dari

proses hidrolisis digital, bioethanol (10-15) %v/v dari proses fermentasi digital, bioethanol (90-95) %v/v dari proses distilasi flash, digunakan oleh mitra pengguna PT. Boga Sari.

1.1 Proses Hidrolisis

Pati merupakan komponen yang lebih kompleks daripada Disakarida, sebelum dilakukan proses fermentasi, Pati harus dipecah dengan menggunakan Enzim Amilase (banyak terdapat dalam gandum yang berkecambah) menjadi komponen Disakarida yaitu Maltosa. Dengan menggunakan Enzim Maltase, maka Maltosa akan terhidrolisa menjadi Glukosa.

Proses hidrolisis dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jumlah kandungan pati pada bahan baku, derajat keasaman (pH), konsentrasi asam yang digunakan, waktu hidrolisis, suhu hidrolisis dan katalisator [11].

1.2 Proses Fermentasi

Dalam pembentukan bioethanol melalui proses fermentasi, peran mikrobiologi sangat besar dan biasanya jenis mikrobiologi yang digunakan sangat mempengaruhi proses fermentasi. Minuman beralkohol hasil proses fermentasi yang dihasilkan tanpa distilasi, biasanya mempunyai kadar alkohol antara 3–18 %, untuk mempertinggi kadar alkohol dalam produk sering kali hasil proses fermentasi dilakukan proses distilasi, dan kadar alkohol yang dihasilkan antara 29–50 % [12]. Reaksi proses pembentukan ethanol dengan proses fermentasi : Hasil dari proses fermentasi biasanya terbentuk larutan

alkohol yang encer, karena sel-sel khamir akan mati bila kadar ethanol melebihi 12–15 %. Hasil proses fermentasi yang ideal adalah 51,1 % ethanol dan 48,9 % karbondioksida. Hasil proses fermentasi alkohol yang optimum diantaranya : Ethyl alkohol 48,8 %, Karbondioksida 46,6 %, Gliserol 3,3 %, Asam suksinat 0,6 %, Selulosa dan sebagainya 1,2% [7]. Faktor lain yang mempengaruhi dalam proses fermentasi antara lain pH, pH yang baik untuk proses fermentasi antara pH 4 - 5, karena asam laktat baik merupakan asam yang baik untuk pertumbuhan ragi, tetapi keburukannya dapat tumbuh bakteri asam butirat, yang dapat merugikan pertumbuhan ragi [13]. Waktu yang diperlukan untuk proses fermentasi tergantung pada temperatur dan konsentrasi gula, pada umumnya waktu yang diperlukan antara 36-50 jam, umumnya suhu yang baik untuk proses fermentasi antara 25-30 °C, semakin rendah suhu fermentasi akan semakin tinggi kadar alkohol yang di hasilkan, pada suhu yang rendah akan kehilangan alkohol, karena terbawa oleh gas karbondioksida [14].

a) FERMENTASI

Ethanol merupakan bentuk alami yang dihasilkan dari proses fermentasi yang banyak ditemukan dalam produk bir, anggur, spiritus dan masih banyak lagi. Minuman beralkohol dapat digolongkan menjadi dua bagian, yaitu :

1. Produk hasil fermentasi yang dikonsumsi langsung.
2. Produk hasil fermentasi yang didistilasi lebih dahulu sebelum dikonsumsi.

Dalam pembentukan alkohol melalui fermentasi, peran mikrobiologi sangat besar dan biasanya mikrobiologi yang digunakan untuk fermentasi mempunyai beberapa syarat sebagai berikut :

1. Mempunyai kemampuan untuk memfermentasi karbohidrat yang cocok secara cepat.
2. Bersifat membentuk flakulasi dan sedimentasi.
3. Mempunyai genetik yang stabil (tidak mudah mengalami mutasi).
4. Toleran terhadap alkohol yang tinggi (antara 14 – 15 %).
5. Mempunyai sifat regenerasi yang cepat (Kartika, 1992)

Minuman beralkohol yang dihasilkan tanpa distilasi (hasil fermentasi) biasanya mempunyai kadar alkohol antara 3 – 18 %. Untuk mempertinggi kadar alkohol dalam produk sering kali hasil fermentasi di distilasi dan kadar alkohol yang dihasilkan antara 29 – 50 % (Sari, dkk, 2006).

Prinsipnya reaksi proses pembentukan ethanol dengan fermentasi sebagai berikut :

Pada hasil fermentasi biasanya terbentuk larutan alkohol yang encer, karena sel-sel khamir akan mati bila kadar ethanol melebihi 12 – 15 %. (Gumbira Sa'id, 1987). Hasil fermentasi yang ideal adalah 51,1 % ethanol dan 48,9 % karbondioksida. Hasil fermentasi alkohol yang

optimum dinyatakan dalam % glukosa yang difermentasi diantaranya : Ethyl alkohol 48,8 %, Karbondioksida 46,6 %, Gliserol 3,3 %, Asam suksinat 0,6 %, Selulosa dan sebagainya 1,2% (Soebijanto, 1986).

Faktor - faktor yang mempengaruhi dalam proses fermentasi antara lain pH yang baik untuk fermentasi antara pH 4 - 5, karena asam laktat baik untuk pertumbuhan ragi, tetapi keburukannya dapat tumbuh bakteri asam butirat yang dapat merugikan fermentasi dari ragi (Bahri, 1987). Waktu yang diperlukan untuk fermentasi tergantung pada temperatur, konsentrasi gula, pada umumnya waktu yang diperlukan antara 36 - 50 jam (Bahri, 1987). Pada umumnya suhu yang baik untuk proses fermentasi antara 25 – 30 °C. Semakin rendah suhu fermentasi akan semakin tinggi alkohol yang di hasilkan. Hal ini dikarenakan pada suhu yang rendah fermentasi akan lebih lengkap dan kehilangan alkohol karena terbawa oleh gas karbondioksida akan lebih sedikit (Agus, 2002).

Kecepatan fermentasi akan dipengaruhi oleh konsentrasi garam, aktivitas dan pertumbuhan khamir, sedangkan pada konsentrasi tinggi akan menghambat pertumbuhan khamir. Unsur yang dibutuhkan untuk aktivitas khamir antara lain Mg, K, Zn, CO, Fe, Ca, Cu, P, S, dan N. Sebagai sumber P dan N perlu ditambahkan ammonium fosfat. Sebagai sumber N lainnya dapat pula ditambahkan ammonium klorida dan ammonium karbonat. Vitamin

yang berfungsi sebagai faktor pertumbuhan khamir (Agus, 2002). Gula yang ditambahkan bertujuan untuk memperoleh kadar alkohol yang lebih tinggi, walaupun jika kadar gula terlalu tinggi aktivitas khamir dapat terhambat. Kadar gula yang baik untuk permulaan fermentasi adalah 16 %. Hal ini bertujuan untuk mempercepat pertumbuhan khamir pada awal fermentasi. Kadar gula yang optimum untuk aktivitas pertumbuhan khamir adalah 10 % (Agus, 2002).

b) DISTILASI BATCH

Distilasi diferensial biasanya dilakukan secara batch dalam bejana distilasi, uap yang terbentuk (V_m) segera diembunkan dan distilat (D) yang terjadi dipisahkan dari liquida yang tertinggal dalam bejana (W). Karena uap akan lebih banyak mengandung komponen yang lebih *volatile* maka kadar residu yang lebih *volatile* makin lama makin kecil, dapat persamaan sebagai berikut:

$$V_m = - d/dt (W \cdot x_w)$$

$$V_m = - W \cdot dx_w/dt - x_w \cdot dW/dt$$

$$V_m = D \cdot y_D$$

Pengurangan kecepatan aliran dalam *still-pot* =
kecepatan aliran keluar

$$W \cdot dx_w/dt + x_w \cdot dW/dt = - D \cdot y_D$$

$$\frac{dx_w}{dt} = (y_D - x_w) \frac{dW}{W dt}$$

Dalam pemisahan sistem multikomponen, diasumsikan bahwa liquida bercampur sempurna dimana $x_w = x_i$ dan

$y_D = y_i$, maka (Henley dan Seader, 1998) :

$$\frac{dx_i}{dt} = (y_i - x_i) \frac{dW}{W dt} \quad ; \quad \frac{dx_i}{(y_i - x_i)} = \frac{dW}{W}$$

Dimana: komposisi liquida di *bottom* (x_w), komposisi liquida komponen i (x_i), komposisi uap di distilat (y_D) dan komposisi uap komponen i (y_i).

Dengan kondisi awal : $x = x_0$ dan $W = W_0$, kemudian diintegrasikan menjadi:

$$\int_{x_0}^x \frac{dx_i}{(y_i - x_i)} = \int_{W_0}^W \frac{dW}{W} = \ln \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

$$\frac{dx_i}{(y_i - x_i)} = d \ln \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

Didefinisikan *dimensionless* waktu (ξ) adalah sebagai berikut:

$$\xi = \ln \left(\frac{W_0}{W} \right)$$

Dimana, ξ = bilangan tak berdimensi yang tergantung pada waktu, disubstitusi sehingga diperoleh Persamaan:

$$\frac{dx_i}{(y_i - x_i)} = d\xi$$

Persamaan diatas merupakan model *Differential-Algebraic-Equations* (DAEs) untuk distilasi batch sederhana sistem multi komponen, dengan asumsi tidak

membentuk dua phase liquida. Persamaan diatas dengan *forward-finite-difference*, akan diperoleh komposisi liquida di *bottom* ($x_{i,j+1}$) sebagai fungsi $\Delta\xi$, sehingga didapat sebagai berikut :

$$x_{i,j+1} = x_{i,j} + (y_{i,j} - x_{i,j}) \Delta\xi$$

Dimana komposisi liquida mula-mula di *bottom* ($x_{i,j}$) dan $\Delta\xi$ ditentukan, sedangkan komposisi uap ($y_{i,j}$) dihitung menggunakan Persamaan BUBL T (Sari, dkk, 2013, dan Henley dan Seader, 1998).

1.3 Proses Distilasi Flash

Distilasi flash biasanya dilakukan secara batch dalam suatu proses distilasi, uap yang terbentuk (V_m) segera diembunkan dan distilat (D) yang terjadi dipisahkan dari liquida yang tertinggal dalam bejana (W), uap akan lebih banyak mengandung komponen yang lebih *volatile*, maka kadar residu yang lebih *volatile* makin lama makin kecil. Persamaan (4) merupakan model *Differential-Algebraic-Equations* (DAEs) untuk distilasi flash sederhana sistem multi komponen, dengan asumsi tidak membentuk dua phase liquida. Persamaan (4) dengan metode matematika *forward-finite-difference*, akan diperoleh komposisi liquida di *bottom* ($x_{i,j+1}$) sebagai fungsi $\Delta\xi$, sehingga didapat sebagai berikut :

$$x_{i,j+1} = x_{i,j} + (y_{i,j} - x_{i,j}) \Delta\xi \quad (4)$$

Dimana komposisi liquida mula-mula di *bottom* ($x_{i,j}$) dan $\Delta\xi$ ditentukan, sedangkan komposisi uap ($y_{i,j}$) dihitung menggunakan Persamaan BUBL T [15].

“Penerapan Teknologi Dan Desain Produksi Bioethanol dari Limbah Cair Tepung PT. Boga Sari” bertujuan untuk penerapan teknologi proses hidrolisis, fermentasi dan distilasi flash serta desain produksi glukosa dan bioethanol yang bisa diterapkan di PT. Boga Sari. Pada penerapan pada proses fermentasi serta desain alat produksi etanol yang bisa diterapkan di PT. Boga Sari. Penerapan proses fermentasi dari limbah cair tepung PT. Boga Sari untuk menghasilkan etanol, sebelumnya dilakukan proses pretretmen, proses hidrolisis dan selanjutnya dilakukan proses fermentasi. Untuk proses fermentasi dari filtrat hasil proses hidrolisis menghasilkan bioetanol 10-15 % v/v dan glukosa sisa, menggunakan *Saccharomyces Cereviceae* jenis *Alcotec 48 turbo yeast* atau *fermiol.*. Desain alat proses hidrolisis secara digital dengan aplikasi teknologi mikro kontroler PID temperatur, desain dan manufaktur peralatan proses hidrolisis dengan bantuan mitra PT. Drillsys. Proses hidrolisis dilengkapi program simulasi optimasi dengan Minitab 18 dengan metoda RSM.

Berdasarkan hasil analisa laboratorium yang tercantum dalam Tabel 1 bahwa jumlah unsur glukosa dan pati, untuk pati rata-rata sebesar 9,282 %, ini berarti jika seluruhnya bisa terhidrolisis secara sempurna diperoleh glukosa dalam jumlah yang besar. Dalam 100 liter limbah cair pabrik tepung dapat dihasilkan maksimum glukosa sebesar 9,282 liter. Disamping pati, glukosa juga terdapat dalam limbah cair pabrik tepung jumlah

yang besar, dalam 100 gram limbah cair pabrik tepung dapat dihasilkan maksimum glukosa sebesar 3,786 liter. Berdasarkan komposisi glukosa dan pati yang tinggi pada limbah cair pabrik tepung, pada proses hidrolisis diharapkan berjalan dengan sempurna, sehingga jumlah glukosa dan pati terdegradasi secara sempurna menjadi glukosa sebesar 12,568 liter.

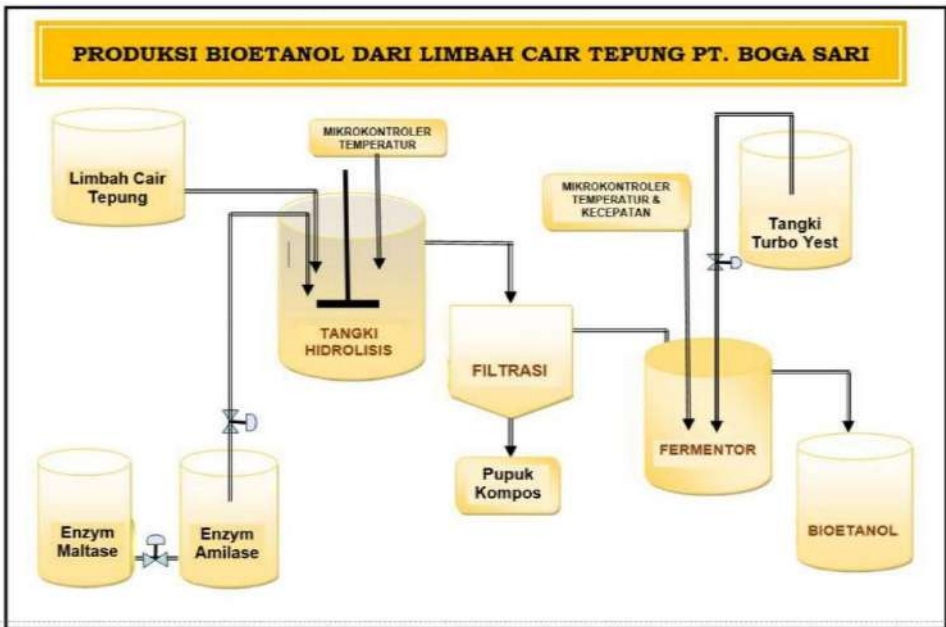
Tabel 1. Kualitas limbah cair Tepung PT. Boga Sari

No	Parameter	Konsentrasi 1 (% v/v)	Konsentrasi 2 (% v/v)	Konsentrasi Rata-rata (% v/v)
1	Glukosa	1,776	2,898	3,786
2	Pati	9,148	9,416	9,282
Total		10,924	12,314	12,568

Sumber : Laboratorium Instrumentasi FT/TK UPN
"Veteran" Jawa Timur

Penerapan Teknologi dan Desain Produksi Bioethanol dari Limbah Cair Tepung PT. Boga Sari pada tahun 2022 yaitu, penerapan proses fermentasi dari filtrat glukosa dari limbah cair tepung. Langkah pertama dilakukan proses pretreatmen dengan HCl, dilanjutkan proses hidrolisa menggunakan variable temperatur dan konsentrasi enzim amilase & maltase untuk memperoleh filtrat glukosa dan filtrat pati sisa, proses dilakukan secara kontinyu. Langkah kedua untuk filtrat pati sisa diolah lebih lanjut menjadi pupuk cair, sedangkan filtrate glukosa dilakukan proses fermentasi dengan variabel

konsentrasi fermiol dan kecepatan mikrokontroler untuk memperoleh bioethanol dan glukosa sisa.



Gambar 1. Desain produksi bioethanol dengan proses hidrolisis secara kontinyu dan proses fermentasi secara batch.

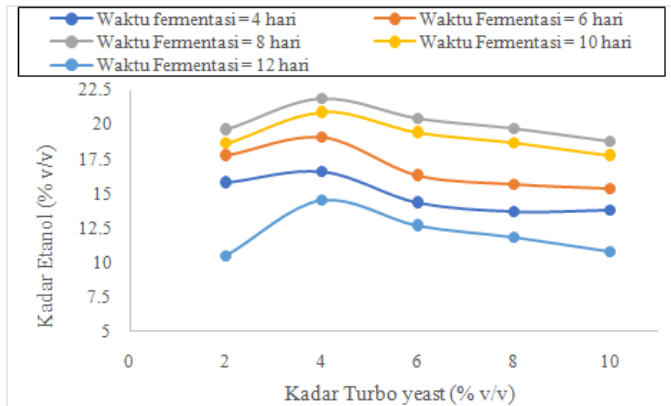
Langkah pertama dilakukan proses pretreatmen dan proses hidrolisa sebagai berikut: Volume limbah cair tepung bebas zat pengotor, Derajat keasaman (pH) limbah cair, Lama waktu pengadukan yang diperlukan, Volume HCl yang dipergunakan, Ratio volume enzim amilase terhadap volume limbah cair yang dipergunakan dan Ratio volume enzim maltase terhadap volume limbah cair yang dipergunakan. Langkah kedua dilakukan proses

fermentasi sebagai berikut: volume filtrat glukosa hasil proses hidrolisis, Derajat keasaman (pH) filtrat glukosa, kadar filtrat glukosa sebelum proses fermentasi, ratio fermiol terhadap filtrat glukosa, waktu fermentasi.

Pada Tahun Kedua, proses fermentasi dari filtrate glukosa hasil proses hidrolisis dari limbah cair tepung, diperoleh kadar bioetanol dan glukosa sisa dengan parameter konstan dan variabel respon, dilakukan optimisasi hasil menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM), selanjutnya dilakukan desain alat proses fermentasi dilengkapi aplikasi teknologi mikro kontroler *Proportional Integral Derivative controller* (PID) temperatur dan kecepatan dengan bantuan mitra PT. Drillsys untuk memperoleh alat proses fermentasi digital.

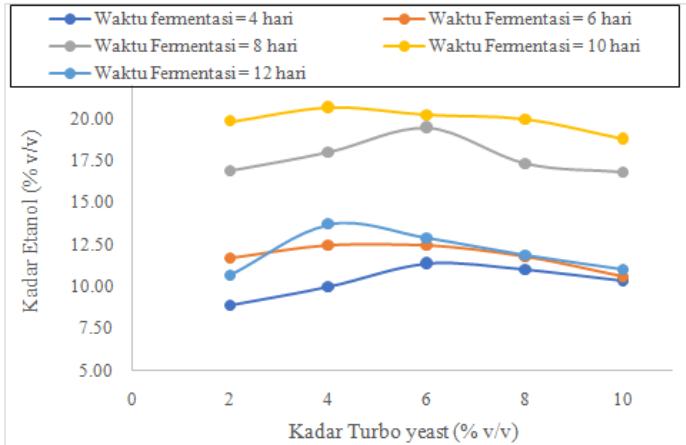


Gambar 2. Proses produksi bioethanol dengan proses hidrolisis secara kontinyu dan proses fermentasi secara batch.



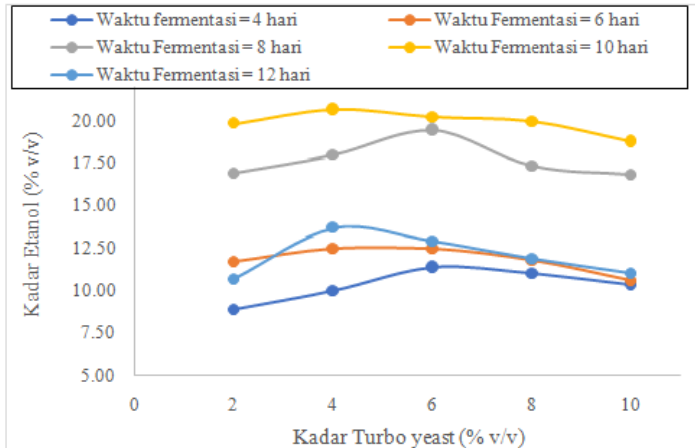
Gambar 7. Pengaruh kadar turbo yeast dan waktu fermentasi terhadap kadar etanol pada volume 150 ml filtrat glukosa hasil proses hidrolisis

Pada Gambar 6 menunjukkan kadar etanol berkisar dari 9 (% v/v) sampai 21 (% v/v) pada volume 150 ml filtrat glukosa, kadar etanol makin bertambah dengan penambahan waktu fermentasi secara smoot dan beraturan kenaikannya mengikuti pelana kuda. Menurut kurva pertumbuhan enzim, pada awal proses menunjukkan proses penyesuaian antara filtrate glukosa dengan enzim turbo yeast. Pada waktu fermentasi 6 hari sampai 8 hari menunjukkan kinerja enzim turbo yeast meningkat dibandingkan volume sebelumnya.



Gambar 8. Pengaruh kadar turbo yeast dan waktu fermentasi terhadap kadar etanol pada volume 200 ml filtrat glukosa hasil proses hidrolisis

Pada Gambar 8 menunjukkan kadar etanol berkisar dari 10 (% v/v) sampai 22 (% v/v) pada volume 200 ml filtrat glukosa, kadar etanol makin bertambah dengan penambahan waktu fermentasi secara smoot dan beraturan kenaikannya mengikuti pelana kuda. Menurut kurva pertumbuhan enzim, pada awal proses menunjukkan proses penyesuaian antara filtrate glukosa dengan enzim turbo yeast. Pada waktu fermentasi 6 hari sampai 8 hari menunjukkan kinerja enzim turbo yeast optimum.



Gambar 9. Pengaruh kadar turbo yeast dan waktu fermentasi terhadap kadar etanol pada volume 250 ml filtrat glukosa hasil proses hidrolisis

Pada Gambar 9 menunjukkan kadar etanol berkisar dari 8 (% v/v) sampai 20 (% v/v) pada volume 250 ml filtrat glukosa, kadar etanol makin bertambah dengan penambahan waktu fermentasi, kecuali pada waktu 8 hari sampai 12 hari menunjukkan peningkatan kadar etanol yang tidak signifikan. Menurut kurva pertumbuhan enzim, pada awal proses menunjukkan proses penyesuaian antara filtrate glukosa dengan enzim turbo yeast. Pada waktu fermentasi 6 hari sampai 8 hari menunjukkan kinerja enzim turbo yeast meningkat.

1. Anum S., Lone S. A., Tabassum, Qasem M., Taseer M. (2021). A new modified Kies Fréchet distribution: Applications of the mortality rate of Covid-19. *Results*

- in Physics*, September 2021, Vol. 28: 104638. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.104638>
2. Balat M., Balat H., Cahide O. (2008). Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(5), 551-73. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2007.11.001>
 3. Bensah E. C., Mensah M. (2013). Chemical pretreatment methods for the production of cellulose ethanol: Technologies and innovations. *International Journal of Chemical Engineering*, Vol. 21: 269-276. <https://doi.org/10.1155/2013/719607>
 4. Demirbas. (2008). A. Product from lignocellulosic material via degradation processes. *Energy Sources*, 30(1), 27-37. <https://doi.org/10.1080/00908310600626705>
 5. Duan W., Xiao X., Dongyangfu, Jingwen Y., Meiliu, Zhang J., Jin L. (2009). Neural dynamics for control of industrial agitator tank with rapid convergence and perturbations rejection. *IEEE Access*, 22 July 2019, Vol. 7:102941-102950.
 6. doi:10.1109/ACCESS.2019.2930323 <https://ieeexplore.ieee.org/document/8768466>
 7. Dubey A.K., Gupta P.K., Garg N., Naithani S. (2012). Bioethanol production from waste paper acid pre-treated hydrolyzate with xylose-fermenting *Pichia stipitis*. *Carbohydrate Polymers*, 88(3), 825-829. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.01.004>
 8. Karimi K., Kheradmandinia S., Taherzadeh M.J. (2006). Conversion of rice straw to sugars by dilute acid hydrolysis. *Biomass and Bioenergy*, 30(3), 247-253.

9. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.11.015>
10. Kuhad R.C., Gupta R., Khasa Y.P., Singh A. (2010). Bioethanol production from *Lantana camara* (red sage): Pretreatment, saccharification, and fermentation. *Bioresource Technology*, 101(21), 8348-8354. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.043>
11. Kumar A., Singh L. K., Ghose S. (2009). Bioconversion of lignocellulosic fraction of water-hyacinth (*Eichhornia Crassipes*) hemicellulose acid hydrolysate to ethanol by *pichia stipitis*. *Biores.Tech.* 2009; 100:3293-3297. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.023>
12. Limayem A., Ricke S. C. (2012). Lignocellulosic biomass for bioethanol production: Current perspectives, potential issues, and future prospects. *Prog. Energ. Combust. Sci.* 2012; 38: 449-457. http://kfrserver.natur.cuni.cz/studium/prednasky/vyberclanku/pdf/p68_ucit/7_LIMAYEM.pdf
13. Muhammad Z., Thabet A., Fawad N., Abdul W., Ali Y. (2021). Exponentiated transformation of Gumbel Type-II distribution for modeling COVID-19 data. *Alexandria Engineering Journal.* 2021; 60(1):671-689. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.01.022>
14. Nathan W. G., Rachel A. H., Holly K.S., Lee C. S. (2019). Engineering solventogenic clostridia for commercial production of bio-chemicals. *J. The Institution of Engineering and Technology* 2019; 3(3):41-45. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.08.003>

15. Nibedita S., Sumanta K. G., Bannerjee S., Aikat K. (2012). Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. *Renewable Energy* 2012; 37: 19-27.
16. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.474.1414&rep=rep1&type=pdf>
17. Teymouri F., Peres L. L., Alizadeh, Dale B. E. (2005). Optimization of the ammonia fiber explosion (AFEX) treatment parameters for enzymatic hydrolysis of corn stover. *J. Bioresource Technology* 2005; 96: 2014-2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.01.016>
18. Thangavelu S. K., Ahmed A. S., Ani F. N. (2014). Bioethanol production from sago pith waste using microwave hydrothermal hydrolysis accelerated by carbon dioxide. *J. Applied Energy* 2014; 128: 277-283. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.04.076>
19. Tutt M., Kikas T., Olt J. (2012). Influence of different pretreatment methods on bioethanol production from heat straw. *Agronomy Research Biosystem Engineering* 2012; 1: 269-276. <https://agronomy.emu.ee/vol10Spec1/p10s131.pdf>
20. Sari N. K., Basuki R., Setyono A., Abdi I. N., Sutiyono. (2014). Simulation growth of microorganisms *Saccharomyces cerevisiae* with the fed-batch fermentation process. *Proceedings Bisstech II 2014*, UPN Veteran Jawa Timur and Stikom Bali, ISBN 978-602-9372-70-0, p. D1.09 <http://eprints.upnjatim.ac.id/id/eprint/7304>

21. Sari N. K., Abdi I. N., Wesen P., Dewati R. (2016). Numerical of bioethanol production from liquid waste of rice flour by distillation process. Proceeding Matec Web of Conference 2016; 58: no. 01014. DOI: 10.1051/mateconf/20165801014
22. Sari N. K., Sutiyono S., Luluk E., Dira E., Wesen P., Tatik S. H. (2016). Bioethanol production from liquid waste of rice flour with batch process. Proceeding Matec Web of Conference, vol. 58, no. 01014, 2016. DOI: 10.1051/mateconf/20165801014
23. Sari N. K., Nico Y., Tika L., Ernawati D. (2017). Hydrolysis of cellulose from bamboo with biology process using enzyme. Journal Advance Science Letters. 2017; 23(12):12235-12238. <http://eprints.upnjatim.ac.id/7547/>
24. Sari N. K., Dira E. (2018). Comparison production bioethanol from cellulose using batch distillation and flash distillation process. (2019). Journal of GEOMATE 2018; 15(50): 76-81. <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/956>
25. Sari N. K., Ernawati D. (2019). Process fermentation of filtrate bamboo with *saccharomyces cerevisiae* and *zymomonas mobilis*. Journal of Physics: Conference Series 1295 (2019), 012033, 2019. DOI: 10.1088/1742-6596/1295/1/012033.
26. Sari N. K., Purbasari I., Jariyah J. (2020). Bioethanol optimization in hydrolysis and fermentation process with surface response method. IEEE Access, pp. 297-300, 2020.

27. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9320981>
28. Sarkar N., Ghosh S.K., Bannerjee S., Aikat K. (2006). Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. *J. Renewable Energy* 2006; 37:19-27.
29. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.06.045>
30. Selvakumar P., Kavitha S., Sivashanmugam P. (2019). Optimization of process parameters for efficient bioconversion of thermo-chemo pretreated *Manihot esculenta* Crantz YTP1 stem to ethanol. *Waste Biomass Valorization*; 10(8):2177–91. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0244-7>.
31. Selvakumar P., Adane A.A., Zelalem T., Hunegnaw B.M., Karthik V., Kavitha S., Jayakumar M., Karmegam N., Govarthanam M., Woong Kim. (2022) Optimization of binary acids pretreatment of corncob biomass for enhanced recovery of cellulose to produce bioethanol. *Fuel* 321; 124060. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124060>
32. Sergio Q., Francisco J. S. (2019). A Novel data processing technique for expert resonant nano-pillars transducers: a case study measuring ethanol in water and wine liquid matrices. *IEEE Access* 2019; 7: 129778-129788. <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2939576>
33. Wang Y., Jinna L., Huiyong W. (2017). Model-Based Application of Fuzzy Control to a Class of industrial process operation systems with uncertainty. *IEEE Access*

2017; 5: 23351-23360. [https://ieeexplore.ieee.org/stamp/
stamp.jsp?arnumber=8089803](https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8089803)

KAJIAN TEORI PEMBUATAN BIOETANOL DARI LIMBAH CAIR MENGANDUNG GLUKOSA



2.1 Definisi dan Sumber Limbah Cair Mengandung Glukosa

Limbah cair mengandung glukosa adalah jenis limbah yang memiliki kandungan glukosa atau gula sederhana dalam bentuk larutan. Glukosa, yang dikenal juga sebagai gula darah, adalah monosakarida yang penting dalam metabolisme organisme hidup. Limbah ini sering kali berasal dari berbagai proses industri dan domestik yang menggunakan atau menghasilkan glukosa sebagai produk sampingan.

Limbah cair mengandung glukosa dapat didefinisikan sebagai cairan sisa yang mengandung konsentrasi glukosa yang signifikan. Limbah ini dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk industri makanan dan minuman, pabrik pengolahan gula, serta kegiatan rumah tangga seperti pencucian dan pembuangan sisa makanan. Glukosa dalam limbah cair ini dapat menjadi sumber polusi jika tidak dikelola dengan baik, karena dapat menyebabkan peningkatan kadar gula dalam air limbah yang berpotensi merusak ekosistem perairan.

Sumber Limbah Cair Mengandung Glukosa

1. **Industri Makanan dan Minuman:** Proses produksi makanan dan minuman sering kali menghasilkan limbah cair yang mengandung glukosa. Misalnya, pabrik pengolahan buah, pabrik minuman ringan, dan pabrik pengolahan susu sering kali menghasilkan limbah yang kaya akan glukosa.
2. **Pabrik Pengolahan Gula:** Pabrik yang memproduksi gula dari tebu atau bit gula menghasilkan limbah cair yang mengandung glukosa dalam jumlah besar. Proses ekstraksi dan pemurnian gula menghasilkan air limbah yang kaya akan gula.
3. **Kegiatan Rumah Tangga:** Limbah cair dari rumah tangga, seperti air cucian dan sisa makanan, juga dapat mengandung glukosa. Penggunaan produk makanan yang mengandung gula dan pembuangan sisa makanan manis berkontribusi pada kandungan glukosa dalam limbah rumah tangga.
4. **Industri Farmasi dan Bioteknologi:** Beberapa proses dalam industri farmasi dan bioteknologi menggunakan glukosa sebagai bahan baku atau media pertumbuhan mikroorganisme, yang menghasilkan limbah cair dengan kandungan glukosa.

Pengelolaan limbah cair mengandung glukosa memerlukan perhatian khusus untuk mencegah dampak negatif terhadap lingkungan. Pengolahan yang tepat dapat melibatkan proses biologis, kimia, atau fisika untuk mengurangi konsentrasi glukosa sebelum dibuang ke lingkungan.

2.1.1 Pengertian Glukosa

Glukosa adalah salah satu monosakarida yang paling umum ditemukan dalam alam. Glukosa, yang juga dikenal sebagai gula anggur atau dekstrosa, merupakan salah satu bentuk gula sederhana yang penting bagi organisme hidup sebagai sumber energi. Dalam proses biologis, glukosa digunakan sebagai bahan baku utama dalam metabolisme seluler, terutama dalam jalur glikolisis yang menghasilkan energi dalam bentuk adenosin trifosfat (ATP). Glukosa juga menjadi prekursor untuk berbagai proses biosintesis dalam tubuh.

2.1.2 Sumber-Sumber Limbah Cair Mengandung Glukosa

Limbah cair yang mengandung glukosa umumnya berasal dari berbagai proses industri yang menggunakan bahan baku nabati dan hewani. Beberapa sumber utama limbah cair yang kaya akan glukosa meliputi:

- **Industri Pangan dan Minuman:** Proses produksi di industri ini sering menghasilkan limbah cair yang kaya akan glukosa, terutama dari proses fermentasi, ekstraksi, dan pengolahan buah-buahan serta sayuran. Limbah cair dari pabrik pengolahan gula, pati, dan minuman ringan merupakan contoh umum yang mengandung kadar glukosa yang signifikan.
- **Industri Biofarmasi:** Dalam proses produksi biofarmasi, khususnya yang melibatkan kultur sel atau mikroorganisme, glukosa sering digunakan sebagai sumber karbon. Limbah dari media kultur yang

tidak terpakai dan cairan limbah fermentasi dapat mengandung glukosa dalam jumlah yang tinggi.

- **Industri Pengolahan Buah dan Sayuran:** Sisa pengolahan dari ekstraksi jus, pengolahan buah kering, dan pengalengan sering menghasilkan limbah cair yang mengandung glukosa. Limbah ini biasanya berasal dari sisa buah dan sayuran yang telah diolah dan masih mengandung gula alami dalam bentuk glukosa.
- **Pengolahan Limbah Pertanian:** Sisa-sisa tanaman seperti jerami dan kulit buah yang diekstraksi untuk diambil glukosanya, baik melalui hidrolisis kimia maupun enzimatis, menghasilkan limbah cair yang kaya akan glukosa. Proses ini sering diterapkan dalam usaha pengembangan bioetanol berbasis lignoselulosa.
- **Industri Susu:** Limbah dari produksi susu dan produk turunannya seperti keju dan yoghurt juga mengandung kadar glukosa yang signifikan, terutama dalam bentuk laktosa yang dapat dihidrolisis menjadi glukosa dan galaktosa.

2.1.3 Karakteristik Limbah Cair Mengandung Glukosa

Limbah cair mengandung glukosa memiliki karakteristik fisik dan kimia tertentu yang mempengaruhi proses pengolahan dan pemanfaatannya. Beberapa karakteristik penting yang perlu diperhatikan meliputi:

- **Kandungan Glukosa:** Konsentrasi glukosa dalam

limbah cair bervariasi tergantung pada sumber limbah dan proses industri yang terlibat. Konsentrasi ini penting dalam menentukan potensi pemanfaatan limbah tersebut sebagai bahan baku bioetanol.

- **Kandungan Organik Lain:** Selain glukosa, limbah cair ini mungkin mengandung senyawa organik lain seperti fruktosa, sukrosa, dan senyawa fenolik. Kehadiran senyawa-senyawa ini dapat mempengaruhi proses fermentasi dan efisiensi konversi menjadi bioetanol.
- **pH dan Alkalinitas:** pH limbah cair dapat mempengaruhi stabilitas glukosa dan efisiensi proses fermentasi. Oleh karena itu, pengendalian pH menjadi aspek penting dalam pengolahan limbah cair mengandung glukosa.
- **Kontaminan:** Limbah cair dari industri sering mengandung kontaminan seperti logam berat, pestisida, atau bahan kimia lain yang dapat mempengaruhi proses produksi bioetanol. Identifikasi dan pengendalian kontaminan ini penting untuk menjaga kualitas produk akhir.

Referensi:

1. Bajpai, P. (2021). *Bioethanol Production from Waste Biomass*. Springer.
2. Pandey, A. (2009). *Handbook of Plant-Based Biofuels*. CRC Press.

3. Bahadori, A. (2013). *Waste Management in the Chemical and Petroleum Industries*. Wiley.
4. Yang, S.-T. (2007). *Bioprocessing for Value-Added Products from Renewable Resources*. Elsevier.
5. Srivastava, N., & Srivastava, M. (2021). *Biotechnology for Biofuels: A Sustainable Green Energy Solution*. Springer.

2.2 Metabolisme Glukosa oleh Mikroorganisme

Glukosa merupakan sumber energi utama bagi banyak mikroorganisme. Proses metabolisme glukosa oleh mikroorganisme melibatkan serangkaian jalur biokimia yang kompleks, yang memungkinkan konversi glukosa menjadi berbagai produk akhir, termasuk bioetanol. Pemahaman mendalam mengenai jalur metabolisme ini sangat penting untuk mengoptimalkan produksi bioetanol dari limbah cair yang mengandung glukosa.

2.2.1 Jalur Glikolisis dalam Mikroorganisme

Glikolisis adalah jalur metabolik utama yang digunakan oleh mikroorganisme untuk memecah glukosa menjadi piruvat, sambil menghasilkan molekul ATP (adenosin trifosfat) sebagai sumber energi. Proses ini terjadi dalam sitoplasma sel dan terdiri dari sepuluh langkah enzimatik yang terkoordinasi. Berikut adalah ringkasan dari jalur glikolisis:

1. **Fosforilasi Glukosa:** Glukosa difosforilasi oleh enzim heksokinase menjadi glukosa-6-fosfat menggunakan satu molekul ATP.

2. **Isomerisasi:** Glukosa-6-fosfat diubah menjadi fruktosa-6-fosfat oleh enzim fosfoglukoisomerase.
3. **Fosforilasi Kedua:** Fruktosa-6-fosfat difosforilasi menjadi fruktosa-1,6-bisfosfat oleh enzim fosfofruktokinase, menggunakan satu molekul ATP.
4. **Pembelahan Molekul:** Fruktosa-1,6-bisfosfat dibelah menjadi dua triose fosfat: dihidroksiaseton fosfat dan gliseraldehida-3-fosfat oleh enzim aldolase.
5. **Isomerisasi Triose Fosfat:** Dihidroksiaseton fosfat diisomerisasi menjadi gliseraldehida-3-fosfat oleh enzim triose fosfat isomerase.
6. **Oksidasi dan Fosforilasi:** Gliseraldehida-3-fosfat dioksidasi menjadi 1,3-bisfosfoglisarat oleh enzim gliseraldehida-3-fosfat dehidrogenase, menghasilkan NADH.
7. **Transfer Fosfat Tingkat Substrat:** 1,3-bisfosfoglisarat mentransfer satu gugus fosfat ke ADP membentuk ATP dan 3-fosfoglisarat oleh enzim fosfoglisarat kinase.
8. **Isomerisasi:** 3-fosfoglisarat diubah menjadi 2-fosfoglisarat oleh enzim fosfoglisarat mutase.
9. **Dehidrasi:** 2-fosfoglisarat diubah menjadi fosfoenolpiruvat oleh enzim enolase, melepaskan molekul air.
10. **Transfer Fosfat Akhir:** Fosfoenolpiruvat mentransfer gugus fosfat ke ADP membentuk ATP dan piruvat oleh enzim piruvat kinase.

Setelah glikolisis, piruvat dapat memasuki jalur fermentasi untuk menghasilkan etanol, terutama dalam kondisi anaerobik. Mikroorganisme seperti *Saccharomyces cerevisiae* menggunakan jalur ini untuk memproduksi etanol sebagai produk akhir.

2.2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Metabolisme Glukosa

Efisiensi metabolisme glukosa oleh mikroorganisme dipengaruhi oleh berbagai faktor yang dapat mempengaruhi laju glikolisis dan produksi etanol. Beberapa faktor utama meliputi:

1. **Konsentrasi Glukosa:** Tingkat glukosa yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dalam medium dapat mempengaruhi aktivitas enzimatis dan pertumbuhan mikroorganisme. Konsentrasi optimal diperlukan untuk mencapai produksi etanol yang maksimal.
2. **pH Medium:** pH mempengaruhi stabilitas enzim dan permeabilitas membran sel. Sebagian besar mikroorganisme fermentatif bekerja optimal pada pH netral hingga sedikit asam.
3. **Suhu:** Suhu mempengaruhi kinetika enzimatis. Setiap mikroorganisme memiliki rentang suhu optimal untuk aktivitas metaboliknya. Misalnya, *Saccharomyces cerevisiae* biasanya bekerja optimal pada suhu 30°C.
4. **Ketersediaan Nutrien Lain:** Selain glukosa, mikroorganisme memerlukan sumber nitrogen,

vitamin, dan mineral untuk pertumbuhan dan metabolisme yang optimal.

5. **Konsentrasi Oksigen:** Meskipun fermentasi etanol adalah proses anaerobik, beberapa mikroorganisme memerlukan fase aerobik untuk pertumbuhan awal sebelum memasuki fase fermentasi.
6. **Inhibitor Metabolik:** Kehadiran senyawa-senyawa yang bersifat toksik atau inhibitor, seperti asam organik atau etanol itu sendiri dalam konsentrasi tinggi, dapat menghambat aktivitas enzimatik dan pertumbuhan mikroorganisme.

Referensi:

1. Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (2012). *Brock Biology of Microorganisms*. Pearson Education.
2. Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2017). *Principles of Biochemistry*. W.H. Freeman.
3. Stanbury, P. F., Whitaker, A., & Hall, S. J. (2016). *Principles of Fermentation Technology*. Butterworth-Heinemann.
4. Lin, Y., & Tanaka, S. (2006). Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 69(6), 627-642.
5. Waites, M. J., Morgan, N. L., Rockey, J. S., & Higton, G. (2013). *Industrial Microbiology: An Introduction*. John Wiley & Sons.

2.3 Proses Fermentasi Glukosa menjadi Bioetanol

Proses fermentasi glukosa menjadi bioetanol merupakan salah satu langkah kunci dalam produksi bioetanol yang menggunakan limbah cair mengandung glukosa sebagai bahan baku. Proses ini melibatkan konversi glukosa oleh mikroorganisme, terutama ragi (yeast), menjadi etanol dan karbon dioksida melalui serangkaian reaksi biokimia yang dikenal sebagai fermentasi alkohol. Berikut ini adalah uraian mengenai proses fermentasi glukosa menjadi bioetanol:

2.3.1 Proses Biokimia Fermentasi Glukosa

Fermentasi glukosa adalah proses di mana mikroorganisme, terutama *Saccharomyces cerevisiae*, mengubah glukosa menjadi etanol dan karbon dioksida. Proses ini melibatkan beberapa tahap biokimia:

- **Glikolisis:** Tahap pertama dalam fermentasi adalah glikolisis, di mana satu molekul glukosa dipecah menjadi dua molekul piruvat, menghasilkan sejumlah kecil ATP (energi) dan NADH.
- **Dekarboksilasi Piruvat:** Piruvat kemudian diubah menjadi asetaldehida melalui dekarboksilasi. Selama proses ini, molekul karbon dioksida dilepaskan.
- **Reduksi Asetaldehida:** Asetaldehida direduksi oleh NADH menjadi etanol. NADH yang teroksidasi kembali menjadi NAD^+ , yang dapat digunakan kembali dalam siklus glikolisis.

Proses ini beroperasi dalam kondisi anaerobik, di mana oksigen tidak diperlukan, dan merupakan ciri khas dari produksi bioetanol.

2.3.2 Kondisi Optimum Fermentasi Glukosa

Untuk memaksimalkan hasil produksi etanol, kondisi fermentasi harus dikendalikan dengan cermat. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi proses fermentasi glukosa meliputi:

- **pH:** pH optimum untuk fermentasi glukosa oleh *Saccharomyces cerevisiae* biasanya berkisar antara 4.0 hingga 5.0. pH yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menghambat aktivitas enzim dan pertumbuhan ragi.
- **Suhu:** Suhu optimum untuk fermentasi glukosa berkisar antara 30°C hingga 35°C. Suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju fermentasi, namun dapat menyebabkan denaturasi enzim dan kematian sel ragi.
- **Konsentrasi Glukosa:** Konsentrasi glukosa dalam medium fermentasi harus diatur untuk mencegah inhibisi substrat. Konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan stres osmotik pada sel ragi.
- **Nutrisi Tambahan:** Ragi memerlukan sumber nitrogen, fosfor, dan mineral untuk pertumbuhan optimal. Penambahan nutrisi dapat meningkatkan efisiensi fermentasi.

2.3.3 Produktivitas Etanol dari Glukosa

Produktivitas etanol adalah ukuran efisiensi fermentasi dalam mengubah glukosa menjadi etanol. Faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas meliputi:

- **Yield Etanol:** Yield adalah jumlah etanol yang dihasilkan per satuan glukosa yang dikonsumsi. Yield teoritis maksimum adalah 0,511 gram etanol per gram glukosa.
- **Kinetika Fermentasi:** Laju fermentasi ditentukan oleh kinetika reaksi enzimatik dalam sel ragi. Waktu fermentasi yang lebih singkat dengan hasil etanol yang tinggi menunjukkan kinetika yang baik.
- **Toleransi Etanol:** Ragi yang memiliki toleransi tinggi terhadap etanol dapat mempertahankan aktivitas fermentasi meskipun konsentrasi etanol dalam medium meningkat.

Pemahaman mendalam mengenai faktor-faktor ini sangat penting untuk meningkatkan efisiensi produksi bioetanol dari glukosa.

2.3.4 Tantangan dan Inovasi dalam Proses Fermentasi

Meskipun fermentasi glukosa adalah proses yang mapan, beberapa tantangan masih ada dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan produksi bioetanol:

- **Inhibisi oleh Produk:** Etanol sendiri dapat menghambat pertumbuhan ragi pada konsentrasi tinggi, mengurangi laju fermentasi. Inovasi dalam rekayasa genetika telah menghasilkan strain ragi yang lebih tahan terhadap etanol.

- **Penggunaan Limbah Cair sebagai Sumber Glukosa:** Limbah cair sering kali mengandung senyawa penghambat seperti asam organik, yang dapat mengganggu fermentasi. Teknologi pra-pengolahan untuk menghilangkan penghambat ini sedang dikembangkan.

Referensi:

1. Rosillo-Calle, C. G., & Francisco, S. (2010). *Bioethanol: Science and Technology of Fuel Alcohol*. BookBoon.com.
2. Vogel, H. C., & Todaro, C. M. (2007). *Fermentation and Biochemical Engineering Handbook: Principles, Process Design, and Equipment* (2nd ed.). William Andrew.
3. Eckert, C. A., & Trinh, C. T. (2016). *Biotechnology for Biofuel Production and Optimization*. Elsevier.
4. Mitchell, M. A. (1987). *Industrial Fermentation: Microorganisms and Fermentation Technology*. Academic Press.
5. Cheremisinoff, P. N. (2013). *Advances in Bioethanol*. Springer.

2.4 Studi Kasus dan Kajian Terkait

2.4.1 Kajian Terkini tentang Bioetanol dari Limbah Glukosa

Kajian mengenai produksi bioetanol dari limbah cair mengandung glukosa telah berkembang pesat dalam

beberapa dekade terakhir. Banyak kajian berfokus pada pemanfaatan berbagai sumber limbah cair yang kaya akan glukosa sebagai bahan baku yang potensial untuk produksi bioetanol. Salah satu kajian yang menonjol adalah penggunaan limbah industri makanan dan minuman yang mengandung glukosa sebagai substrat fermentasi.

Studi oleh **Zhang et al. (2020)** meneliti efisiensi fermentasi glukosa dari limbah cair industri gula untuk menghasilkan bioetanol. Kajian ini menemukan bahwa pemanfaatan limbah cair ini tidak hanya efektif dalam menghasilkan bioetanol, tetapi juga mengurangi biaya produksi karena penggunaan bahan baku yang murah dan mudah didapat.

Kajian lain oleh **Li et al. (2019)** menunjukkan bahwa proses fermentasi limbah cair yang mengandung glukosa dapat dioptimalkan dengan penggunaan mikroorganisme rekayasa genetika. Dengan memodifikasi jalur metabolisme mikroorganisme, produktivitas bioetanol meningkat secara signifikan.

2.4.2 Aplikasi Teknologi dalam Industri

Dalam industri, pemanfaatan limbah cair mengandung glukosa untuk produksi bioetanol telah menjadi pilihan yang semakin populer. **Smith dan Jones (2018)** menunjukkan bahwa integrasi teknologi membran dalam proses pemisahan dan pemurnian bioetanol dari limbah cair glukosa dapat meningkatkan efisiensi produksi sekaligus mengurangi dampak lingkungan.

Studi kasus di Brasil oleh **Almeida et al. (2017)** mengungkapkan bahwa pabrik bioetanol yang menggunakan limbah cair dari pabrik gula mampu menghasilkan bioetanol dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan bahan baku konvensional seperti tebu. Hasil ini dicapai melalui optimasi proses fermentasi dan penggunaan teknologi canggih dalam pemurnian bioetanol.

Kajian yang dilakukan oleh **Gómez dan Martínez (2016)** menyoroiti aplikasi teknologi bioreaktor berkapasitas tinggi dalam fermentasi glukosa untuk produksi bioetanol. Bioreaktor ini memungkinkan proses fermentasi berjalan lebih cepat dan efisien, yang pada akhirnya meningkatkan produktivitas dan keuntungan industri bioetanol.

Reference:

1. Oliveira, C. C., & Filho, R. M. (2020). *Bioconversion Processes for Biorefinery*. Springer.
2. Lima, M. A. P. (2022). *Bioethanol Production: From Agricultural Residues to Biorefinery*. Elsevier.
3. Bajpai, P. (2013). *Advances in Bioethanol*. Springer.
4. Hosseini, M. (2021). *Sustainable Bioethanol Production: From Biomass to Advanced Biofuels*. Springer.
5. Wyman, C. (1996). *Handbook of Bioethanol: Production and Utilization*. CRC Press.

STUDI KASUS:

1. Limbah Cair Pabrik Tepung Boga Sari

Limbah cair pabrik tepung Boga Sari berupa air leri, dimana air leri merupakan air yang diperoleh dari hasil pencucian beras yang digunakan untuk membuat tepung, kandungan air leri (2 kg beras : 1 liter air) seperti terlihat pada Tabel 2.1. Pada Tabel 2.1 dapat dilihat bahwa air leri mengandung senyawa organik seperti karbohidrat dan thiamin yang merupakan senyawa gizi yang masih dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan khamir yang berperan pada pembuatan ethanol (Munadjim, 1990).

Tabel 2.1. Nilai Gizi Air Leri / Larutan Pencucian Beras

Komposisi	Jumlah (mg/lt)
Lemak	90,0
Protein	420,0
Karbohidrat	300,0
Kalsium	20,0
Fosfor	200,0
Besi	1,8
Vitamin B	0,9

Sumber : BPPI (1990)

2. Karbohidrat

Karbohidrat merupakan sumber kalori utama bagi manusia selain protein dan lemak. Karbohidrat yang

mempunyai rumus empiris $(\text{CH}_2\text{O})_n$ ini juga mempunyai peranan penting dalam menentukan karakteristik bahan makanan, misalnya rasa, warna, tekstur, dan lain-lain. Sedangkan dalam tubuh, karbohidrat berguna untuk mencegah timbulnya pemecahan protein tubuh yang berlebihan, kehilangan mineral dan berguna untuk membantu metabolisme lemak dan protein. Di alam, karbohidrat dibentuk dari reaksi CO_2 dan H_2O dengan bantuan sinar matahari melalui proses fotosintesis dalam sel tanaman yang berklorofil, sedangkan besar bahan-bahan yang merupakan sumber karbohidrat diperoleh dari umbi-umbian dan batang tanaman misalnya sagu. Sumber karbohidrat yang merupakan bahan makanan pokok di berbagai daerah di Indonesia adalah biji-bijian, khususnya beras dan jagung (Winarno, 1984).

Pada umumnya karbohidrat dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu (Winarno, 1984):

a. Monosakarida

Merupakan suatu molekul yang terdiri dari 5 atau 6 atom C. Monosakarida yang mengandung satu gugus aldehid disebut aldosa. Sedangkan ketosa mempunyai satu gugus keton. Monosakarida dengan 6 atom C disebut heksosa, Misal glukosa (dekstrosa / gula anggur). Sedangkan yang mempunyai 5 atom C disebut pentosa, misal xilosa, arabinosa dan ribose.

b. Oligosakarida

Merupakan polimer dari 2 - 10 monosakarida. Biasanya bersifat larut dalam air. Oligosakarida

yang terdiri dari 2 molekul monosakarida disebut disakarida. Contoh dari disakarida adalah sukrosa. Oligosakarida dapat diperoleh dari hasil hidrolisis polisakarida dengan bantuan enzim tertentu atau hidrolisis dengan asam.

c. Polisakarida

Disusun oleh banyak molekul monosakarida. Polisakarida dalam bahan makanan berfungsi sebagai bahan penguat tekstur (selulosa, hemiselulosa, pectin dan lignin) dan sebagai sumber energi (pati, glikogen, fruktan).

3. Glukosa

Glukosa adalah monosakarida yang paling banyak terdapat di alam sebagai produk dari proses fotosintesis. Dalam bentuk bebas terdapat di dalam buah-buahan, tumbuh-tumbuhan, madu, darah. Dalam bentuk ikatan terdapat sebagai glikosida di dalam tubuh binatang, sebagai disakarida, dan polisakarida di dalam tubuh tumbuhan. Glukosa juga dapat dihasilkan melalui hidrolisis polisakarida atau disakarida, dengan asam atau enzim. Sebagai aldohexosa, glukosa memiliki 6 atom karbon di dalam rantai molekulnya. Salah satu ujung rantai tersebut merupakan gugus aldehyd. Atom-atom karbon nomor 2 sampai nomor 5 di dalam rantai adalah gugus chiral. Dengan demikian terdapat 16 kemungkinan konfigurasi isomer pada glukosa. Semua konfigurasi isomer tersebut telah dikenal sebagian terdapat bebas di alam, sebagian

yang lain harus dibuat secara sintetis. Tidak kurang dari 32 macam organisme yang telah diteliti dapat menghasilkan glukosa isomerase diantaranya, *Pseudomonas*, *Aerobacter*, *Escherchia*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Paralactobacterium*, *Leuconostoc*, dan *Streptomyces* (Soebijanto, 1986).

4. Sifat Fisik dan Kimia Ethanol

Hasil yang diinginkan dari fermentasi glukosa adalah ethanol, dimana ethanol mempunyai rumus dasar C_2H_5OH dan mempunyai **sifat-sifat fisik** sebagai berikut:

1. Cairan tidak berwarna
 2. Berbau khas, menusuk hidung
 3. Mudah menguap
 4. Titik didih 78,32 °C
 5. Larut dalam air dan ether
 6. Densitas pada 15 °C adalah 0,7937
 7. Spesifik panas pada 20 °C adalah 0,579 cal/gr °C
 8. Panas pembakaran pada keadaan cair adalah 328 Kcal
 9. Viskositas pada 20 °C adalah 1,17 cp
 10. Flash point adalah sekitar 70 °C
- (Faith, 1957 dan Soebijanto, 1986).

Sifat-sifat kimia ethanol :

1. Berat molekul adalah 46,07 gr/mol
 2. Terjadi dari reaksi fermentasi monosakarida
 3. Bereaksi dengan asam asetat, asam sulfat, asam nitrit, asam ionida
- (Faith, 1957 dan Soebijanto, 1986).

Kebutuhan ethanol di dunia makin meningkat, hal ini dapat juga dilihat pada kebutuhan ethanol nasional sebagai berikut :

Tabel 2.2. Jumlah Kebutuhan Ethanol Nasional

Tahun	Kebutuhan Ethanol (Liter)
2001	25.251.852
2002	21.076.317
2003	34.063.193
2004	230.613.100
2010	2.939.456.115

Sumber: Badan Pusat Statistik, Surabaya (2010)

Di dalam perdagangan dikenal tingkat-tingkat kualitas ethanol sebagai berikut (Soebijanto, 1986) :

- a. Alkohol teknis (96,5 °GL). Digunakan terutama untuk kepentingan industri. Sebagai pelarut organik, bahan bakar, dan juga sebagai bahan baku ataupun antara produksi berbagai senyawa organik lainnya.
- b. Spiritus (88 °GL). Bahan ini biasa digunakan sebagai bahan bakar untuk alat pemanas ruangan dan alat penerangan.
- c. Alkohol absolute (99,7 - 99,8 °GL). Banyak digunakan dalam pembuatan sejumlah besar obat-obatan dan juga sebagai bahan pelarut atau sebagai bahan antara didalam pembuatan senyawa-senyawa lain skala laboratorium.

- d. Alkohol murni (96,0 - 96,5 °GL). Alkohol jenis ini terutama digunakan untuk kepentingan farmasi dan konsumsi (minuman keras dan lain-lain).

5. Proses Pembuatan Ethanol

Bahan-bahan yang mengandung monosakarida ($C_6H_{12}O_6$) sebagai glukosa langsung dapat difermentasi menjadi ethanol. Akan tetapi disakarida pati, karbohidrat kompleks harus dihidrolisa terlebih dahulu menjadi komponen sederhana menjadi monosakarida. Tahap proses fermentasi dapat berjalan secara optimal, bahan tersebut harus mengalami perlakuan pendahuluan sebelum masuk ke dalam proses fermentasi (Othmer, 1963).

Disakarida seperti gula pasir ($C_{12}H_{22}O_{11}$) harus dihidrolisa menjadi glukosa, polisakarida seperti selulosa harus diubah terlebih dahulu menjadi glukosa. Terbentuknya glukosa berarti proses pendahuluan telah berakhir dan bahan-bahan selanjutnya siap untuk difermentasi. Secara kimiawi proses fermentasi dapat berjalan cukup panjang, karena terjadi suatu deret reaksi yang masing-masing dipengaruhi oleh enzim-enzim khusus (Gumbira, 1987).

5.1. HIDROLISIS

Pati merupakan komponen yang lebih kompleks daripada disakarida. Sebelum difermentasi, pati harus dipecah dengan menggunakan enzim amilase (banyak terdapat dalam gandum yang berkecambah) menjadi komponen disakarida yaitu maltosa. Dengan menggunakan enzim

lain yaitu maltase, maltosa akan dihidrolisa menjadi glukosa (Gumbira, 1987).

Proses hidrolisis dipengaruhi dengan beberapa faktor, antara lain jumlah kandungan karbohidrat pada bahan baku, pH operasi atau konsentrasi asam yang digunakan, waktu hidrolisis, suhu hidrolisis dan katalisator.

5.2. FERMENTASI

Ethanol merupakan bentuk alami yang dihasilkan dari proses fermentasi yang banyak ditemukan dalam produk bir, anggur, spiritus dan masih banyak lagi. Minuman beralkohol dapat digolongkan menjadi dua bagian, yaitu :

1. Produk hasil fermentasi yang dikonsumsi langsung.
2. Produk hasil fermentasi yang didistilasi lebih dahulu sebelum dikonsumsi.

Dalam pembentukan alkohol melalui fermentasi, peran mikrobiologi sangat besar dan biasanya mikrobiologi yang digunakan untuk fermentasi mempunyai beberapa syarat sebagai berikut :

1. Mempunyai kemampuan untuk memfermentasi karbohidrat yang cocok secara cepat.
2. Bersifat membentuk flakulasi dan sedimentasi.
3. Mempunyai genetik yang stabil (tidak mudah mengalami mutasi).
4. Toleran terhadap alkohol yang tinggi (antara 14 – 15 %).
5. Mempunyai sifat regenerasi yang cepat (Kartika, 1992)

Minuman beralkohol yang dihasilkan tanpa distilasi (hasil fermentasi) biasanya mempunyai kadar alkohol antara 3 – 18 %. Untuk mempertinggi kadar alkohol dalam produk sering kali hasil fermentasi di distilasi dan kadar alkohol yang dihasilkan antara 29 – 50 %. Prinsipnya reaksi proses pembentukan ethanol dengan fermentasi sebagai berikut (Gumbira, 1987) :

Pada hasil fermentasi biasanya terbentuk larutan alkohol yang encer, karena sel-sel khamir akan mati bila kadar ethanol melebihi 12 – 15 %. (Gumbira, 1987). Hasil fermentasi yang ideal adalah 51,1 % ethanol dan 48,9 % karbondioksida. Hasil fermentasi alkohol yang optimum dinyatakan dalam % glukosa yang difermentasi diantaranya:

Ethyl alkohol 48,8 %, Karbondioksida 46,6 %, Gliserol 3,3 %, Asam suksinat 0,6 %, Selulosa dan sebagainya 1,2% (Soebijanto, 1986).

Faktor - faktor yang mempengaruhi dalam proses fermentasi antara lain pH yang baik untuk fermentasi antara pH 4 - 5, karena asam laktat baik untuk pertumbuhan ragi, tetapi keburukannya dapat tumbuh bakteri asam butirat yang dapat merugikan fermentasi dari ragi (Bahri, 1987). Waktu yang diperlukan untuk fermentasi tergantung pada temperatur, konsentrasi gula, pada umumnya waktu yang diperlukan antara 36 - 50 jam (Bahri, 1987). Pada umumnya suhu yang baik untuk proses fermentasi antara 25 – 30 °C. Semakin

rendah suhu fermentasi akan semakin tinggi alkohol yang di hasilkan. Hal ini dikarenakan pada suhu yang rendah fermentasi akan lebih lengkap dan kehilangan alkohol karena terbawa oleh gas karbondioksida akan lebih sedikit (Budiyanto, Agus, 2002).

Kecepatan fermentasi akan dipengaruhi oleh konsentrasi garam, aktivitas dan pertumbuhan khamir, sedangkan pada konsentrasi tinggi akan menghambat pertumbuhan khamir. Unsur yang dibutuhkan untuk aktivitas khamir antara lain Mg, K, Zn, CO, Fe, Ca, Cu, P, S, dan N. Sebagai sumber P dan N perlu ditambahkan ammonium phospat. Sebagai sumber N lainnya dapat pula ditambahkan ammonium klorida dan ammonium karbonat. Vitamin yang berfungsi sebagai faktor pertumbuhan khamir (Budiyanto, Agus, 2002). Gula yang ditambahkan bertujuan untuk memperoleh kadar alkohol yang lebih tinggi, walaupun jika kadar gula tertalu tinggi aktivitas khamir dapat terhambat. Kadar gula yang baik untuk permulaan fermentasi adalah 16 %. Hal ini bertujuan untuk mempercepat pertumbuhan khamir pada awal fermentasi. Kadar gula yang optimum untuk aktivitas pertumbuhan khamir adalah 10 % (Budiyanto, Agus, 2002).

a. DISTILASI BATCH

Distilasi diferensial biasanya dilakukan secara batch dalam bejana distilasi, uap yang terbentuk (V_m) segera diembunkan dan distilat (D) yang terjadi dipisahkan dari

liquida yang tertinggal dalam bejana (W). Karena uap akan lebih banyak mengandung komponen yang lebih *volatile* maka kadar residu yang lebih *volatile* makin lama makin kecil, dapat persamaan sebagai berikut (Rayleigh, 1902):

$$V_m = - d/dt (W \cdot x_w) \quad (4)$$

$$V_m = - W \cdot dx_w/dt - x_w \cdot dW/dt \quad (5)$$

$$V_m = D \cdot y_D \quad (6)$$

Pengurangan kecepatan aliran dalam *still-pot* = kecepatan aliran keluar

$$W \cdot dx_w/dt + x_w \cdot dW/dt = - D \cdot y_D \quad (7)$$

$$\frac{\dot{K}_w}{\dot{L}} = (y_D - \dot{K}_w) \frac{W}{W \dot{L}} \quad (8)$$

Dalam pemisahan sistem multikomponen, diasumsikan bahwa liquida bercampur sempurna dimana $x_w = x_i$ dan $y_D = y_i$, maka (Henley dan Seader, 1998):

$$\frac{\dot{K}_i}{\dot{L}} = (y_i - \dot{K}_i) \frac{W}{W \dot{L}} \quad (9)$$

$$\frac{\dot{K}_i}{(y_i - \dot{K}_i)} = \frac{W}{W} \quad (10)$$

Dimana: komposisi liquida di *bottom* (x_w), komposisi liquida komponen i (x_i), komposisi uap di distilat (y_D) dan komposisi uap komponen i (y_i).

Dengan kondisi awal : $x = x_0$ dan $W = W_0$, kemudian diintegrasikan menjadi:

$$\int_{\dot{K}_0}^{\dot{K}_i} \frac{\dot{K}_i}{(y_i \dot{K}_i)} = \int_{\dot{W}_0}^{\dot{W}} \frac{\dot{W}}{\dot{W}} = \ln \left(\frac{\dot{W}}{\dot{W}_0} \right) \quad (11)$$

$$\frac{\dot{K}_i}{(y_i \dot{K}_i)} = \xi \ln \left(\frac{\dot{W}}{\dot{W}_0} \right) \quad (12)$$

Didefinisikan *dimensionless* waktu (ξ) adalah sebagai berikut:

$$\hat{i} = \ln \left(\frac{\dot{W}_0}{\dot{W}} \right) \quad (13)$$

Dimana, ξ = bilangan tak berdimensi yang tergantung pada waktu, disubstitusi sehingga diperoleh Persamaan:

$$\frac{\dot{K}_i}{(y_i \dot{K}_i)} = \xi \hat{i} \quad (14)$$

Persamaan diatas merupakan model *Differential-Algebraic-Equations* (DAEs) untuk distilasi batch sederhana sistem multi komponen, dengan asumsi tidak membentuk dua phase liquida. Persamaan diatas dengan *forward-finite-difference*, akan diperoleh komposisi liquida di *bottom* ($x_{i,j+1}$) sebagai fungsi $\Delta\xi$, sehingga didapat sebagai berikut (Widagdo, Seader, 1996):

$$x_{i,j+1} = x_{i,j} + (y_{i,j} - x_{i,j}) \Delta\xi \quad (15)$$

Dimana komposisi liquida mula-mula di *bottom* ($x_{i,j}$) dan $\Delta\xi$ ditentukan, sedangkan komposisi uap ($y_{i,j}$) dihitung menggunakan Persamaan BUBL T (Henley dan Seader, 1998).
 “Optimasi Teknologi *Recycle* Produksi Ethanol dari Limbah

Ragi *Saccaromyces Cereviceae* pada Proses Fermentasi dengan *Respon Surface Methode* dan *Differential Expert*” bertujuan untuk optimasi teknologi *recycle* produksi ethanol dari limbah ragi *Saccaromyces Cereviceae* (SC) menggunakan *Respon Surface Methode* (RSM) dan *Differential Expert* (DE). Pemilihan limbah ragi SC sebagai bahan baku yang dihasilkan PT. Enero ketersediaannya sangat melimpah dan belum dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi ethanol, yang selama ini dibuang menjadi limbah industri. Kajian optimasi teknologi *recycle* produksi ethanol dari limbah ragi SC pada proses fermentasi dengan RMS dan DE. Optimasi proses dan desain alat hidrolisa untuk menghasilkan glukosa dari limbah ragi SC menggunakan proses kimia menggunakan HCl, dan optimasi proses dan desain alat fermentasi menghasilkan ethanol dengan *Saccharomyces Cerevisiae*. Untuk tahun kedua (tahun 2024) tentang optimasi proses dan desain *proses* distilasi untuk menghasilkan ethanol 90-92% dan proses dehidrasi menggunakan *molecular sieve* untuk menghasilkan ethanol 99,5 %. Optimasi pengolahan data hasil produksi ethanol dengan menggunakan *Respon Surface Methode* dan *Differential Expert*.

Berdasarkan hasil analisa laboratorium yang tercantum dalam Tabel 1 bahwa jumlah unsur glukosa, pati dan protein, untuk pati rata-rata sebesar 9,28 %, ini berarti jika seluruhnya bisa terhidrolisis secara sempurna diperoleh glukosa. Berdasarkan komposisi glukosa dan pati yang tinggi pada limbah cair SC, pada proses hidrolisis

diharapkan berjalan dengan sempurna, sehingga jumlah glukosa, protein dan pati terdegradasi secara sempurna menjadi glukosa sebesar 36,93 %. Dengan variabel yang digunakan seperti limbah cair SC 500 mL sampai 2500 mL, kadar turbo yeast 2% sampai 6 % dan waktu fermentasi 4 hari sampai 12 hari, bisa memperoleh kadar glukosa diatas 30 %. Dalam kajian yang sudah dilakukan sebesar 500 mL limbah cair SC pada proses hidrolisis dapat dihasilkan maksimum glukosa sebesar 20,15 % .

Tabel 1. Kualitas limbah cair *Saccharomyces Cerevisiae* dari hasil proses fermentasi

No	Parameter	Konsentrasi 1 (%)	Konsentrasi 2 (%)	Konsentrasi Rata-rata (%)
1	Glukosa	15,00	16,00	15,50
2	Protein	1,16	1,14	1,15
3	Pati	10,15	10,41	10,28
4	Karbohidrat	42,77	41,31	42,40
5	Serat Kasar	7,66	7,80	7,73
6	impuritis (N, P, K, Ca, Mg, S)	14,26	14,34	14,30
Total		100	100	100

Sumber : Laboratorium Pengujian Terpadu, Laboratorium Instrumentasi UPN "Veteran" Jawa Timur

Optimasi Teknologi *Recycle* Produksi Ethanol dari Limbah Ragi *Saccaromyces Cereviceae* pada Proses Fermentasi dengan *Respon Surface Methode* dan *Differential Expert* pada tahun 2023 yaitu, proses hidrolisis dan proses fermentasi dari limbah cair SC hasil proses fermentasi pada PT. Enero. Langkah pertama dilakukan proses pretreatment, dilanjutkan proses hidrolisa menggunakan variabel limbah SC dan variabel derajat keasaman (pH)

untuk memperoleh filtrat glukosa dan filtrat pati sisa, proses hidrolisis dilakukan secara kontinyu, untuk filtrat pati sisa diolah lebih lanjut menjadi pupuk cair, sedangkan filtrat glukosa dilakukan proses fermentasi dengan variabel konsentrasi *turbo yeast* dan waktu fermentasi untuk memperoleh bioethanol dan glukosa sisa.

Langkah kedua dilakukan optimisasi hasil dari proses hidrolisis dan proses fermentasi menggunakan *Response Surface Methodology* dan *Differential Expert*, pada proses hidrolisis optimasi diperoleh kadar glukosa optimum dan kadar pati sisa minimum, sedangkan pada proses fermentasi diperoleh optimasi kadar bioethanol optimum dan kadar residu glukosa minimum. Grafik optimasi yang diperoleh dalam bentuk 2 dimensi dan tiga dimensi, untuk melihat respon dari variable yang ditentukan terhadap respon yang akan diperoleh, serta ditunjukkan kedekatan hasil atau standar deviasi (R^2) dari kajian yang dilakukan, beserta prediksi atau hipotesa yang diketahui dari variable yang ditentukan dan respon yang akan diperoleh dalam kajian.

Limbah cair *Saccharomyces Cerevisiae* di check pH nya, dari hasil pengecekan pH diperoleh pH sebesar 3,5 kemudian dilakukan proses hidrolisis dengan penambahan HCl 32% sebanyak 5%. Didalam proses hidrolisis dilakukan pengadukan secara digital dengan kecepatan putaran 200 rpm, kemudian dialirkan larutan NaOH 10% untuk mencapai pH yang sesuai untuk proses selanjutnya sekitar pH 4,5.



Gambar 1. Proses bioethanol dari limbah cair *Saccharomyces Cerevisiae* dengan proses hidrolisis

Filtrat hasil hidrolisis dialirkan kedalam tangki filtrasi untuk memisahkan filtrat dan endapan, filtrat hasil penyaringan dimasukkan ke dalam glukosa fermentor dengan kadar turbo yeast 2% sampai 6 %, tambahkan NPK dan Urea masing-masing 1 gr/1000 mL, sambungkan selang penghubung pada botol yang berisi aquadest untuk glucose adanya CO₂, sedangkan endapan hasil filtrasi diproses menjadi pupuk cair. Pada proses fermentasi

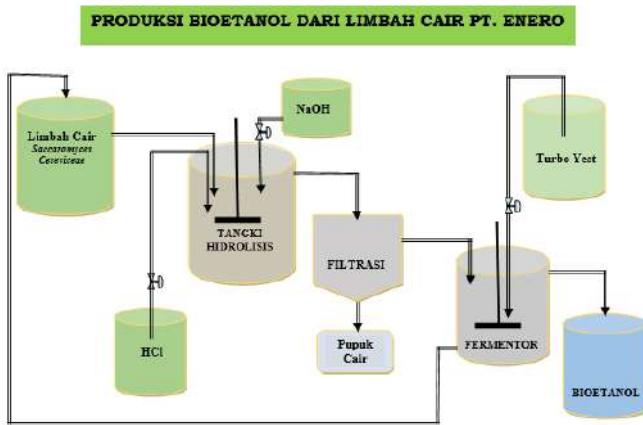
dilakukan variable waktu yaitu 3 hari sampai 8 hari. Hasil fermentasi yang didapat kemudian di glucose kadar bioethanol dengan *refractometer alcohol* dan glukosa sisa dengan *refractometer glucose*.



Gambar 2. Proses bioethanol dari limbah cair *Saccharomyces Cerevisiae* dengan proses fermentasi

Limbah cair *Saccharomyces Cerevisiae* dengan variabel yang ditentukan 500 mL sampai 2500 mL, diambil 500 mL limbah cair SC dimasukkan kedalam tangki penampung kemudian di check pH nya, dari hasil pengecekan pH diperoleh pH sebesar 3,3 kemudian dialirkan ke tangki hidrolisis. Selanjutnya dialirkan HCl 32% sebanyak 5% dari volume limbah cair SC yaitu 25 mL ke tangki hidrolisis. Didalam tangki hidrolisis dilakukan pengadukan secara

digital dengan kecepatan putaran 200 rpm, kemudian dialirkan larutan NaOH 10% untuk mencapai pH yang sesuai untuk proses selanjutnya sekitar pH 4,5, dilakukan proses hidrolisis secara kontinyu, hasil proses hidrolisis berupa glukosa dianalisa dengan *refractometer glucosa* dan pati sisa dianalisa dengan grafimetri.



Gambar 4. Blok diagram proses produksi bioethanol dari limbah cair *Saccharomyces Cerevisiae*

Penyajian meliputi data, hasil analisis dari proses hidrolisis

Pada **Tabel 2** perubahan pH substrat mempunyai pH awal sekitar 3,5 dengan variabel volume HCl 5 mL sampai 25 mL untuk mencapai variasi pH 4,5. Pada proses pretreatment semakin besar volume limbah cair SC, semakin besar penambahan HCl. Pada variabel volume 500 mL sampai 2500 mL, dengan penambahan volume HCl 5 mL diperoleh

penambahan pH dengan range 3,2 sampai 3,8 dan penambahan volume HCl 25 mL diperoleh penambahan pH dengan range 3,4 sampai 4,6. Semakin besar penambahan volume HCl semakin signifikan peningkatan pH. pH akhir proses mengalami penurunan akibat adanya proses pemucatan dengan penambahan sedikit arang aktif serbuk dan juga akibat proses filtrasi yang memungkinkan terjadinya kontaminasi dari lingkungan.

Pada kajian yang sudah dilakukan menunjukkan pengaruh pH dalam proses pretreatmen sangat menentukan hasil kadar glukosa pada proses hidrolisis. Untuk volume LW-TF antara 200–600 ml menunjukkan pH dengan range 4,5 sampai 7,5, yang optimumnya berada di pH 7,1. Pengaruh pH terhadap penambahan volume *Bacillus*, dimana semakin besar penambahan volume *Bacillus* maka pH makin kecil. Karena dalam proses fermentasi dibutuhkan pH 4,5 maka penambahan volume *Bacillus* sebanyak 7 %v/v yang paling mendekati, untuk volume limbah yang bervariasi [21].

Dari hasil proses pretreatmen dipakai dasar hidrolisis pati, proses pemecahan pati menjadi struktur glukosa yang lebih sederhana, yang dilakukan secara enzimatik. Pada proses hidrolisis pati ini terdapat beberapa tahapan yaitu gelatinasi, likuifikasi, dan sakarifikasi. Pada semua tahapan menggunakan pemanasan dengan penangas air supaya proses hidrolisis berlangsung secara merata. Hidrolisis pati (amilum) secara enzimatik bertujuan untuk memecah pati menjadi bagian-bagian penyusunnya yang lebih sederhana seperti dekstrin,

isomaltosa dan glukosa dengan menggunakan enzim. Pati yang digunakan berasal dari limbah padat tepung tapioka (onggok) yang mempunyai kandungan pati sebesar 76,055 % yang terdiri dari amilosa sebesar 15,8429 % dan amilopektin sebesar 60,2121 %. Sebelum masuk kepada tahapan hidrolisis pati menggunakan enzim, onggok digelatinasi terlebih dahulu. Menurut [22] proses gelatinase untuk tepung tapioka adalah 52-64 °C, maka proses gelatinasi pada limbah padat tepung tapioka (onggok) berlangsung hingga suhu larutan substrat mencapai sekitar 50 °C, atau ketika substrat mulai mengental. Suhu larutan substrat tidak boleh terlalu tinggi, karena jika suhu terlalu tinggi maka larutan substrat akan menjadi gel yang sangat kental (seperti lem). Jika larutan substrat sangat kental akan menyulitkan proses likuifikasi, enzim yang ditambahkan tidak akan bekerja secara optimal karena terjadi perubahan struktur pada pati yang menyebabkan larutan substrat menjadi sangat kental. Sebaliknya, jika suhu pada saat gelatinasi terlalu rendah maka proses pembekakan pati akan terbatas karena jumlah air yang terserap terbatas, air yang terserap hanya mencapai kadar 30% [22].

PROSES PEMBUATAN BIOETANOL DARI LIMBAH CAIR MENGANDUNG PATI



3.1 Persiapan Bahan Baku

Persiapan bahan baku merupakan tahap awal yang sangat penting dalam proses produksi. Tahap ini memastikan bahwa semua bahan yang akan digunakan dalam proses pembuatan produk memiliki kualitas yang sesuai dengan standar yang ditetapkan. Kualitas bahan baku yang baik akan berpengaruh langsung pada kualitas produk akhir, sehingga tahap ini harus dilakukan dengan teliti dan cermat.

Pertama-tama, bahan baku yang akan digunakan harus melalui proses seleksi dan inspeksi untuk memastikan bahwa tidak ada cacat atau kontaminasi yang dapat mempengaruhi hasil akhir produk. Bahan baku yang telah diseleksi kemudian akan dikondisikan sesuai dengan kebutuhan produksi, seperti pencucian, pemotongan, penggilingan, atau perlakuan khusus lainnya. Proses ini dilakukan dengan menggunakan alat dan metode yang tepat untuk menjaga integritas bahan baku.

Selain itu, penyimpanan bahan baku juga menjadi bagian dari persiapan yang harus diperhatikan. Bahan baku harus disimpan dalam kondisi yang sesuai, seperti

suhu, kelembaban, dan lingkungan yang terkontrol untuk mencegah kerusakan atau penurunan kualitas sebelum digunakan. Penyimpanan yang tidak tepat dapat menyebabkan pemborosan bahan dan penurunan kualitas produk, yang pada akhirnya akan mempengaruhi efisiensi produksi dan kepuasan pelanggan.

Dalam beberapa kasus, bahan baku juga harus diolah atau diproses lebih lanjut sebelum digunakan dalam produksi utama. Misalnya, bahan yang memerlukan fermentasi, pengeringan, atau pendinginan khusus. Semua proses ini harus dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan untuk memastikan bahan baku siap digunakan pada saat dibutuhkan dalam proses produksi.

Persiapan bahan baku yang efektif juga melibatkan pencatatan dan pelacakan setiap langkah yang dilakukan, untuk memudahkan identifikasi dan pemecahan masalah jika terjadi ketidaksesuaian dalam proses produksi. Dengan adanya dokumentasi yang baik, perusahaan dapat memastikan konsistensi kualitas dari setiap batch produksi.

Secara keseluruhan, tahap persiapan bahan baku adalah landasan yang akan menentukan kelancaran dan kesuksesan proses produksi secara keseluruhan. Oleh karena itu, perhatian yang serius harus diberikan pada setiap detail dalam tahap ini untuk memastikan bahwa bahan baku siap digunakan sesuai dengan standar kualitas yang diharapkan.

3.1.1 Pengumpulan dan Pengolahan Limbah Pati

Pengumpulan bahan baku merupakan langkah awal yang sangat penting dalam proses produksi bioetanol dari limbah cair mengandung pati. Limbah cair ini umumnya berasal dari industri makanan dan minuman, khususnya industri pengolahan pati seperti pabrik pengolahan tepung, industri pembuatan bir, dan pengolahan sagu. Dalam proses pengumpulan, penting untuk memastikan bahwa limbah cair yang dikumpulkan memiliki konsentrasi pati yang cukup tinggi agar efisien dalam proses konversi menjadi bioetanol.

Proses pengolahan awal melibatkan pengendapan atau pemisahan fase padat dari limbah cair untuk meningkatkan konsentrasi pati dalam cairan. Langkah ini dapat dilakukan melalui beberapa metode, seperti sedimentasi, filtrasi, atau sentrifugasi. Setelah pemisahan, limbah cair dengan kandungan pati yang lebih tinggi siap untuk diproses lebih lanjut.

3.1.2 Pengolahan Awal untuk Meningkatkan Efisiensi

Pengolahan awal pada limbah cair mengandung pati bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proses produksi bioetanol. Tahap ini mencakup proses penyesuaian pH, pengolahan termal, dan pengurangan kontaminan. Penyesuaian pH dilakukan untuk menciptakan kondisi yang optimal bagi enzim dalam tahap hidrolisis berikutnya. Biasanya, pH disesuaikan pada kisaran 4,5 hingga 6,5 untuk mendapatkan hasil terbaik.

Proses termal, seperti pemanasan, juga dapat diterapkan untuk memecah struktur pati yang kompleks menjadi struktur yang lebih sederhana, sehingga memudahkan proses hidrolisis. Pemanasan pada suhu tertentu selama waktu tertentu dapat mengurangi viskositas limbah cair, memecah molekul pati, dan meningkatkan ketersediaan substrat untuk fermentasi.

Selain itu, penting untuk menghilangkan kontaminan seperti minyak, lemak, atau zat organik lain yang dapat mengganggu proses fermentasi. Metode filtrasi atau penambahan agen kimia tertentu dapat digunakan untuk mengurangi kandungan kontaminan ini.

3.1.3 Optimasi Komposisi Bahan Baku

Setelah pengolahan awal, langkah selanjutnya adalah mengoptimalkan komposisi bahan baku. Ini melibatkan penyesuaian konsentrasi pati, penambahan nutrisi yang diperlukan untuk fermentasi, serta pemantauan kandungan air dan parameter lain yang mempengaruhi proses hidrolisis dan fermentasi. Optimasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa bahan baku yang digunakan memiliki kualitas dan kuantitas yang tepat untuk menghasilkan bioetanol secara efisien.

Proses optimasi dilakukan berdasarkan analisis komposisi awal dari limbah cair yang digunakan. Penambahan bahan tambahan seperti sumber nitrogen, mineral, atau vitamin mungkin diperlukan untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme selama fermentasi.

Selain itu, kontrol terhadap kadar air juga penting untuk menghindari pengenceran substrat yang berlebihan, yang dapat mengurangi efisiensi proses.

Referensi:

1. Drapcho, C. M., Nghiem, J. N., & Walker, T. H. (2008). *Biofuels from Waste*. McGraw-Hill. ISBN: 9780071487498.
2. Wyman, C. (1996). *Handbook on Bioethanol: Production and Utilization*. CRC Press. ISBN: 9781560325536.
3. Poli, A. (2013). *Lignocellulose Conversion: Enzymatic and Microbial Tools for Bioethanol Production*. Springer. ISBN: 9789811351245.
4. Pimentel, D. (2007). *Sustainable Ethanol Production*. Nova Science Publishers. ISBN: 9781607414517.
5. Cheng, J. (2009). *Biomass to Renewable Energy Processes*. CRC Press. ISBN: 9781420073153.

3.2 Proses Hidrolisis Pati

Hidrolisis pati merupakan tahap krusial dalam proses konversi limbah cair mengandung pati menjadi gula yang dapat difermentasi untuk produksi bioetanol. Proses ini melibatkan pemecahan molekul pati yang kompleks menjadi gula sederhana, seperti glukosa, melalui reaksi

dengan air, yang biasanya dipercepat oleh penggunaan enzim atau asam. Terdapat dua pendekatan utama dalam hidrolisis pati: hidrolisis enzimatis dan hidrolisis asam.

3.2.1 Teknik Hidrolisis Enzimatis

Hidrolisis enzimatis adalah metode yang umum digunakan dalam produksi bioetanol karena lebih efisien dan ramah lingkungan. Proses ini menggunakan enzim seperti amilase dan glukoamilase untuk memecah rantai panjang pati menjadi gula sederhana.

- **Amilase:** Enzim ini berperan dalam memotong ikatan α -1,4-glikosidik dalam pati, menghasilkan molekul-molekul yang lebih kecil seperti maltosa dan dekstrin.
- **Glukoamilase:** Enzim ini lebih spesifik dalam memecah ikatan α -1,6-glikosidik dan dapat mengonversi pati dan oligosakarida menjadi glukosa yang dapat difermentasi.

Proses ini biasanya dilakukan dalam kondisi suhu dan pH tertentu yang optimal bagi enzim. Contohnya, amilase bekerja optimal pada suhu sekitar 70°C dan pH sekitar 5,5-6,0.

3.2.2 Teknik Hidrolisis Asam

Hidrolisis asam melibatkan penggunaan asam kuat seperti asam sulfurik atau asam klorida untuk memecah pati menjadi gula sederhana. Meskipun proses ini lebih cepat daripada hidrolisis enzimatis, namun memiliki beberapa kelemahan seperti produksi zat samping yang dapat menghambat fermentasi dan degradasi gula menjadi senyawa yang tidak diinginkan.

- **Proses Hidrolisis Asam:** Pati direaksikan dengan asam kuat pada suhu tinggi (sekitar 120°C hingga 150°C) dalam waktu yang singkat. Ini menyebabkan pemutusan ikatan glikosidik dan menghasilkan glukosa. Namun, suhu dan konsentrasi asam yang berlebihan dapat menyebabkan degradasi glukosa menjadi furfural dan hidroksimetilfurfural (HMF), yang bersifat toksik terhadap mikroorganisme fermentasi.

3.2.3 Optimasi Proses Hidrolisis

Untuk mencapai efisiensi maksimal dalam proses hidrolisis pati, beberapa faktor perlu dioptimalkan, termasuk:

- **Konsentrasi Enzim atau Asam:** Dosis enzim atau asam yang tepat perlu diatur agar proses hidrolisis berjalan optimal tanpa pemborosan bahan.
- **Suhu dan pH:** Kondisi suhu dan pH yang optimal sangat penting untuk menjaga aktivitas enzim atau meminimalkan pembentukan produk samping yang tidak diinginkan pada hidrolisis asam.
- **Waktu Reaksi:** Waktu yang diperlukan untuk mencapai konversi pati maksimum perlu diperhatikan agar proses dapat berlangsung secara efisien.
- **Penggunaan Pra-Treatment:** Pra-treatment seperti gelatinisasi pati sebelum hidrolisis dapat meningkatkan efisiensi proses.

Optimalisasi proses hidrolisis dapat dilakukan melalui pendekatan eksperimental atau menggunakan teknik

pemodelan matematika seperti Response Surface Methodology (RSM), yang memungkinkan identifikasi kondisi operasi terbaik dengan variasi parameter yang lebih sedikit.

Referensi:

1. Wyman, C. (Ed.). (1996). *Handbook of Bioethanol: Production and Utilization*. CRC Press.
2. Najafpour, G. (2007). *Biochemical Engineering and Biotechnology*. Elsevier.
3. Dutta, R. (2008). *Fundamentals of Biochemical Engineering*. Springer.
4. Valdés López, B. (2015). *Ethanol: Science and Engineering*. Springer.
5. Gude, V. G. (2020). *Biotechnology for Biofuels: A Sustainable Green Energy Solution*. Springer.

3.3 Proses Fermentasi Hidrolisat Pati

Fermentasi adalah tahap kritis dalam produksi bioetanol dari limbah cair yang mengandung pati. Setelah pati dihidrolisis menjadi gula sederhana seperti glukosa, proses fermentasi menggunakan mikroorganisme untuk mengubah gula menjadi etanol. Bagian ini akan membahas aspek-aspek penting dalam proses fermentasi, termasuk pemilihan mikroorganisme, kontrol kondisi fermentasi, serta desain dan penggunaan bioreaktor.

3.3.1 Pilihan Mikroorganisme untuk Fermentasi

Pemilihan mikroorganisme yang tepat sangat penting untuk memastikan efisiensi tinggi dalam konversi glukosa menjadi etanol. Jenis mikroorganisme yang paling umum digunakan dalam fermentasi adalah ragi (*Saccharomyces cerevisiae*), namun, ada juga mikroorganisme lain seperti bakteri *Zymomonas mobilis* yang dapat digunakan.

- **Saccharomyces cerevisiae:** Ragi ini dikenal karena kemampuannya yang efektif dalam fermentasi glukosa dan tahan terhadap kondisi fermentasi yang keras, seperti tekanan osmotik tinggi dan konsentrasi etanol tinggi.
- **Zymomonas mobilis:** Bakteri ini memiliki efisiensi konversi glukosa yang lebih tinggi daripada *S. cerevisiae* dan menghasilkan etanol dengan lebih sedikit produk sampingan.

Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan mikroorganisme antara lain:

- Toleransi terhadap etanol.
- Kecepatan pertumbuhan dan produksi etanol.
- Ketahanan terhadap pH dan suhu fermentasi.

3.3.2 Kontrol Kondisi Fermentasi

Proses fermentasi sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan di mana mikroorganisme bekerja. Beberapa parameter kunci yang harus dikontrol selama fermentasi adalah:

- **pH:** Rentang pH optimal untuk fermentasi etanol biasanya berada pada 4,0-5,0. pH di luar rentang

ini dapat mengurangi aktivitas mikroorganisme dan menghasilkan etanol dengan efisiensi lebih rendah.

- **Suhu:** Suhu fermentasi optimal untuk *S. cerevisiae* berkisar antara 30-35°C. Suhu yang terlalu tinggi dapat membunuh mikroorganisme, sementara suhu yang terlalu rendah memperlambat aktivitas metabolik mereka.
- **Waktu Fermentasi:** Durasi fermentasi bergantung pada kecepatan konversi gula oleh mikroorganisme. Biasanya, fermentasi berlangsung selama 24-72 jam, tergantung pada kondisi awal dan jenis mikroorganisme yang digunakan.
- **Aerasi:** Pengaturan aerasi sangat penting, terutama pada awal fermentasi untuk memastikan bahwa mikroorganisme memiliki cukup oksigen untuk memulai proses metabolisme mereka sebelum beralih ke kondisi anaerobik untuk produksi etanol.

3.3.3 Peralatan dan Desain Bioreaktor

Bioreaktor adalah wadah di mana fermentasi berlangsung, dan desainnya harus disesuaikan dengan jenis fermentasi yang dilakukan. Beberapa jenis bioreaktor yang umum digunakan dalam fermentasi bioetanol meliputi:

- **Batch Bioreactor:** Digunakan untuk fermentasi batch, di mana seluruh volume substrat difermentasi sekaligus. Ini adalah metode yang paling sederhana dan sering digunakan dalam skala laboratorium dan industri kecil.

- **Continuous Bioreactor:** Digunakan untuk fermentasi kontinyu di mana substrat secara terus-menerus dimasukkan ke dalam bioreaktor dan produk etanol dipanen secara terus-menerus. Bioreaktor ini cocok untuk produksi bioetanol skala besar.
- **Fed-Batch Bioreactor:** Kombinasi dari batch dan continuous, di mana substrat ditambahkan secara bertahap selama proses fermentasi. Ini memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap kondisi fermentasi dan dapat meningkatkan hasil etanol.

Desain bioreaktor juga harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti pengadukan, transfer panas, dan kontrol kondisi lingkungan untuk memastikan fermentasi yang efisien dan hasil etanol yang tinggi.

Referensi:

1. Walker, G. M. (2010). *Bioethanol: Science and Technology of Fuel Alcohol*. CRC Press. ISBN: 978-0849392564.
2. Soccol, C. R., Pandey, A., & Larroche, C. (2013). *Fermentation Processes Engineering in the Food Industry*. CRC Press. ISBN: 978-1420083873.
3. Eckert, C. A., & Turner, C. D. (2016). *Biotechnology for Biofuel Production and Optimization*. Elsevier. ISBN: 978-0124095403.

4. Khalid, N. (2020). *Industrial Bioengineering: Biotechnology of Biofuels*. IntechOpen. ISBN: 978-1789844412.
5. Wyman, C. (Ed.). (1996). *Handbook on Bioethanol: Production and Utilization*. CRC Press. ISBN: 978-1560325530.

3.4 Pemurnian dan Pemisahan Bioetanol

Pemurnian dan pemisahan bioetanol adalah tahap penting dalam proses produksi bioetanol untuk memastikan bahwa produk akhir memiliki kemurnian yang tinggi dan siap digunakan sebagai bahan bakar atau bahan kimia industri. Dalam bagian ini, kita akan membahas metode-metode utama yang digunakan dalam pemurnian dan pemisahan bioetanol, termasuk distilasi, pemisahan lanjutan, dan pengujian kualitas bioetanol.

3.4.1 Distilasi Bioetanol

Distilasi adalah metode utama yang digunakan untuk memurnikan bioetanol setelah proses fermentasi. Distilasi bekerja berdasarkan perbedaan titik didih antara bioetanol dan komponen lain dalam campuran fermentasi, seperti air dan senyawa volatil lainnya. Proses ini melibatkan pemanasan campuran hingga bioetanol mendidih dan menguap, kemudian mengkondensasikan uap tersebut menjadi cairan murni.

1. Proses Distilasi Sederhana:

- Proses distilasi sederhana melibatkan pemanasan campuran fermentasi hingga bioetanol menguap

dan kemudian mengkondensasikannya dalam kondensor. Metode ini umumnya digunakan pada skala laboratorium atau produksi kecil.

2. Distilasi Bertingkat (Fractional Distillation):

- Pada skala industri, distilasi bertingkat digunakan untuk mencapai kemurnian yang lebih tinggi. Dalam proses ini, kolom distilasi dengan pelat atau packing digunakan untuk memisahkan komponen berdasarkan titik didih mereka secara bertingkat.

3. Azeotropic Distillation:

- Untuk mencapai kemurnian bioetanol di atas 95%, distilasi azeotropik dapat digunakan. Dalam metode ini, agen pengeringan seperti sikloheksana ditambahkan untuk memecah azeotrop dan memungkinkan pemisahan air dari etanol.

3.4.2 Pemisahan dan Pemurnian Lanjutan

Selain distilasi, terdapat beberapa metode pemurnian lanjutan yang digunakan untuk meningkatkan kemurnian bioetanol:

1. Adsorpsi:

- Metode adsorpsi menggunakan material adsorben seperti zeolit atau karbon aktif untuk menyerap air dan pengotor lain dari bioetanol. Proses ini sering digunakan setelah distilasi untuk mencapai kemurnian yang lebih tinggi.

2. Pengeringan dengan Membran:

- Teknologi membran digunakan untuk memisahkan air dari bioetanol melalui proses osmosis terbalik atau pervaporasi. Metode ini dapat mencapai efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan distilasi konvensional.

3. Dehidrasi Kimia:

- Dehidrasi kimia menggunakan agen pengeringan seperti kalsium oksida (CaO) atau natrium sulfat (Na_2SO_4) untuk menghilangkan sisa air dari bioetanol.

3.4.3 Pengujian Kualitas Bioetanol

Pengujian kualitas bioetanol dilakukan untuk memastikan bahwa produk akhir memenuhi standar kemurnian yang diperlukan. Beberapa parameter penting yang diuji meliputi:

1. Kadar Etanol:

- Pengukuran kadar etanol dilakukan menggunakan kromatografi gas atau metode spektrofotometri. Kadar etanol yang tinggi menandakan keberhasilan dalam pemurnian.

2. Kandungan Air:

- Kandungan air dalam bioetanol diuji menggunakan metode Karl Fischer titration atau menggunakan teknik NMR (Nuclear Magnetic Resonance). Kandungan air yang rendah sangat penting untuk penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar.

3. Kandungan Pengotor:

- Pengotor seperti metanol, aseton, dan senyawa organik volatil lainnya diuji menggunakan kromatografi gas. Pemurnian lanjutan sering diperlukan untuk menghilangkan pengotor ini.

4. Stabilitas dan Kompatibilitas Bahan Bakar:

- Pengujian stabilitas bahan bakar dilakukan untuk memastikan bahwa bioetanol tidak mengalami degradasi selama penyimpanan. Pengujian ini melibatkan penyimpanan bioetanol dalam kondisi tertentu dan analisis perubahan kimia yang mungkin terjadi.

Referensi:

1. Walker, G. M. (2010). *Bioethanol: Science and Technology of Fuel Alcohol*. CRC Press. ISBN: 978-0849392564.
2. Luque, R., & Campelo, J. (Eds.). (2011). *Handbook of Biofuels Production: Processes and Technologies*. Woodhead Publishing. ISBN: 978-1845696795.
3. Luyben, W. L. (2013). *Distillation Design and Control Using Aspen Simulation* (2nd ed.). Wiley. ISBN: 978-1118411438.
4. Ismail, A. F., & Matsuura, T. (2018). *Membrane Separation Principles and Applications: From Material Selection to Mechanisms and Industrial Uses*. Elsevier. ISBN: 978-0128128152.

5. Kiss, A. A. (2013). *Advanced Distillation Technologies: Design, Control and Applications*. Wiley. ISBN: 978-1119993612.

PROSES PEMBUATAN BIOETANOL DARI LIMBAH CAIR MENGANDUNG GLUKOSA



4.1 Persiapan Bahan Baku

Proses pembuatan bioetanol dari limbah cair yang mengandung glukosa memerlukan persiapan bahan baku yang teliti dan cermat. Persiapan bahan baku ini merupakan langkah awal yang sangat penting, karena kualitas dan keberhasilan proses produksi bioetanol sangat bergantung pada kondisi awal bahan baku yang digunakan. Bahan baku utama dalam proses ini adalah limbah cair yang kaya akan kandungan glukosa, yang umumnya berasal dari industri makanan dan minuman, industri pengolahan gula, atau sumber-sumber limbah cair lainnya yang kaya gula sederhana.

Identifikasi dan Pengumpulan Limbah Cair: Langkah pertama dalam persiapan bahan baku adalah identifikasi dan pengumpulan limbah cair yang akan digunakan. Sumber limbah cair ini harus ditentukan dengan seksama untuk memastikan bahwa limbah tersebut mengandung konsentrasi glukosa yang cukup tinggi, sehingga layak untuk digunakan dalam proses fermentasi bioetanol. Pengumpulan limbah cair ini harus dilakukan dengan metode yang higienis dan sesuai standar lingkungan,

untuk mencegah kontaminasi dan memastikan bahwa limbah yang dikumpulkan masih dalam kondisi optimal untuk diproses lebih lanjut.

Penyaringan dan Pemurnian Awal: Setelah limbah cair dikumpulkan, langkah selanjutnya adalah penyaringan dan pemurnian awal. Limbah cair sering mengandung partikel-partikel padat, mikroorganisme, dan zat-zat lainnya yang tidak diinginkan dalam proses fermentasi. Oleh karena itu, limbah cair harus melalui proses penyaringan untuk menghilangkan partikel-partikel kasar, dan pemurnian untuk mengurangi kandungan zat pengotor yang dapat mengganggu proses fermentasi. Penyaringan dapat dilakukan dengan menggunakan filter mekanis, sementara pemurnian dapat melibatkan proses kimia atau fisika sederhana seperti pengendapan atau penambahan bahan kimia tertentu untuk mengikat zat pengotor.

Penyesuaian pH dan Konsentrasi Glukosa: Tahap berikutnya adalah penyesuaian pH dan konsentrasi glukosa dalam limbah cair. Proses fermentasi untuk menghasilkan bioetanol memerlukan kondisi pH yang optimal, biasanya berkisar antara 4 hingga 5. Oleh karena itu, pH limbah cair harus disesuaikan dengan menambahkan asam atau basa sesuai kebutuhan. Selain itu, konsentrasi glukosa dalam limbah cair harus diperiksa dan, jika perlu, ditingkatkan dengan menambahkan sumber glukosa tambahan untuk mencapai konsentrasi yang ideal bagi fermentasi.

Sterilisasi Limbah Cair: Sebelum limbah cair masuk ke dalam proses fermentasi, sterilisasi perlu dilakukan untuk mengeliminasi mikroorganisme yang tidak diinginkan. Mikroorganisme ini dapat bersaing dengan mikroorganisme fermentatif, sehingga menurunkan efisiensi produksi bioetanol. Proses sterilisasi dapat dilakukan melalui pemanasan, penggunaan bahan kimia sterilisasi, atau metode lain yang sesuai dengan karakteristik limbah cair yang digunakan.

Setelah melalui tahap-tahap persiapan bahan baku ini, limbah cair yang mengandung glukosa siap untuk memasuki tahap berikutnya dalam proses pembuatan bioetanol, yaitu fermentasi. Persiapan yang matang pada tahap ini akan memastikan proses fermentasi berjalan optimal dan menghasilkan bioetanol dengan kualitas yang tinggi.

4.1.1 Pengumpulan dan Pengolahan Limbah Glukosa

Limbah cair mengandung glukosa dapat berasal dari berbagai sumber industri, seperti industri pengolahan makanan dan minuman, pabrik pati, serta pabrik pemrosesan buah dan sayuran. Pengumpulan limbah ini dilakukan dengan memperhatikan beberapa faktor penting, seperti konsentrasi glukosa dalam limbah, volume limbah yang dihasilkan, dan tingkat kemurnian glukosa.

Pengolahan awal limbah cair ini melibatkan proses pemisahan partikel padat dan pengurangan zat pengotor

untuk memaksimalkan kandungan glukosa. Teknik filtrasi, sentrifugasi, dan pengendapan merupakan metode umum yang digunakan dalam tahap ini. Tujuannya adalah untuk mendapatkan substrat yang kaya glukosa yang siap untuk tahap fermentasi selanjutnya.

4.1.2 Pengolahan Awal untuk Meningkatkan Efisiensi

Setelah pengumpulan, limbah cair mengandung glukosa perlu melalui proses pengolahan awal untuk meningkatkan efisiensi produksi bioetanol. Pengolahan ini bisa meliputi pemanasan untuk sterilisasi, penyesuaian pH untuk mencapai kondisi optimum fermentasi, dan penambahan enzim tertentu jika diperlukan untuk meningkatkan ketersediaan glukosa.

Sterilisasi dilakukan untuk menghilangkan mikroorganisme yang tidak diinginkan yang dapat mengganggu proses fermentasi. Penyesuaian pH dilakukan dengan menambahkan asam atau basa untuk mencapai pH optimal bagi mikroorganisme yang akan digunakan dalam fermentasi. Beberapa proses juga mungkin memerlukan penambahan nutrisi tambahan untuk memastikan mikroorganisme dapat tumbuh dengan baik.

Penanganan yang tepat pada tahap ini sangat penting karena akan mempengaruhi produktivitas bioetanol yang dihasilkan. Proses yang tidak efisien atau pengolahan awal yang tidak memadai dapat mengurangi hasil etanol secara signifikan.

Referensi:

1. Demirbas, A. (2009). *Biofuels: Securing the Planet's Future Energy Needs*. Springer.
2. Taherzadeh, M. J., & Karimi, K. (2008). Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: A review. *BioResources*, 3(2), 452-472.
3. Lee, J. M., & Speight, J. G. (2005). *Chemical Process Design and Integration*. Wiley.
4. Walker, G. M. (2014). *Bioethanol: Science and Technology of Fuel Alcohol*. Royal Society of Chemistry.
5. Bajpai, P. (2013). *Biotechnology for Pulp and Paper Processing*. Springer.

4.2 Proses Fermentasi Glukosa

Fermentasi glukosa merupakan tahap kritis dalam produksi bioetanol dari limbah cair. Pada tahap ini, glukosa yang telah dihasilkan dari proses pengolahan limbah diubah menjadi etanol oleh mikroorganisme. Beberapa aspek penting dalam proses fermentasi glukosa meliputi teknik fermentasi, kontrol kondisi fermentasi, dan optimasi proses fermentasi.

4.2.1 Teknik Fermentasi Glukosa

Proses fermentasi glukosa melibatkan beberapa teknik yang dapat digunakan untuk memaksimalkan produksi bioetanol. Teknik-teknik tersebut meliputi:

- **Fermentasi Batch (Batch Fermentation):** Teknik fermentasi ini dilakukan dalam reaktor tertutup, di mana substrat dan mikroorganisme ditambahkan pada awal proses dan dibiarkan berfermentasi hingga selesai. Fermentasi batch merupakan teknik yang sederhana dan sering digunakan dalam skala laboratorium serta industri kecil. Namun, efisiensi produksinya mungkin lebih rendah dibandingkan dengan teknik lainnya karena adanya waktu non-produktif selama pengisian dan pengosongan reaktor.
- **Fermentasi Fed-Batch (Fed-Batch Fermentation):** Dalam teknik ini, substrat (glukosa) ditambahkan secara bertahap ke dalam reaktor selama proses fermentasi. Hal ini memungkinkan kontrol yang lebih baik atas konsentrasi glukosa dan mencegah penumpukan produk yang dapat menghambat aktivitas mikroorganisme. Teknik ini sering digunakan untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi fermentasi, terutama dalam skala industri.
- **Fermentasi Kontinu (Continuous Fermentation):** Pada teknik ini, substrat dan mikroorganisme terus menerus ditambahkan ke dalam reaktor, sementara produk hasil fermentasi dikeluarkan secara simultan. Fermentasi kontinu dapat menghasilkan bioetanol dalam jumlah yang besar dalam waktu yang relatif singkat. Teknik ini lebih efisien dan cocok untuk produksi skala besar.

4.2.2 Kontrol Kondisi Fermentasi Glukosa

Kontrol kondisi fermentasi sangat penting untuk memastikan efisiensi dan efektivitas proses produksi bioetanol. Beberapa faktor yang perlu dikontrol selama proses fermentasi meliputi:

- **pH:** pH media fermentasi harus dijaga pada tingkat yang sesuai dengan kebutuhan mikroorganisme yang digunakan. Sebagian besar mikroorganisme fermentasi, seperti *Saccharomyces cerevisiae*, bekerja secara optimal pada pH sekitar 4,5 hingga 5,5. pH yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menghambat aktivitas enzimatik dan pertumbuhan mikroorganisme.
- **Suhu:** Suhu fermentasi juga harus dijaga pada level optimal, biasanya sekitar 30°C hingga 35°C untuk *Saccharomyces cerevisiae*. Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi enzim dan kematian mikroorganisme, sementara suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat laju fermentasi.
- **Konsentrasi Glukosa:** Konsentrasi glukosa harus dikontrol untuk mencegah inhibisi produk dan memastikan keberlanjutan proses fermentasi. Konsentrasi glukosa yang terlalu tinggi dapat menghambat aktivitas mikroorganisme, sementara konsentrasi yang terlalu rendah dapat menyebabkan penurunan laju produksi etanol.
- **Oksigen:** Oksigen harus diminimalkan selama fermentasi alkoholik karena proses ini bersifat

anaerobik. Kehadiran oksigen dapat mengalihkan jalur metabolik mikroorganisme dari produksi etanol ke produksi asam asetat dan produk samping lainnya.

4.2.3 Optimasi Proses Fermentasi

Optimasi proses fermentasi adalah langkah penting untuk memaksimalkan produksi bioetanol dari limbah cair. Beberapa strategi yang dapat digunakan untuk optimasi meliputi:

- **Pemilihan Mikroorganisme yang Tepat:** Pemilihan strain mikroorganisme yang mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan fermentasi dan memiliki efisiensi tinggi dalam mengkonversi glukosa menjadi etanol sangat penting. *Saccharomyces cerevisiae* adalah mikroorganisme yang paling umum digunakan, tetapi strain lain seperti *Zymomonas mobilis* juga dapat dipertimbangkan tergantung pada karakteristik substrat dan kondisi fermentasi.
- **Modifikasi Media Fermentasi:** Penambahan nutrisi, seperti nitrogen, fosfor, dan vitamin, dapat membantu meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme dan produksi etanol. Selain itu, penyesuaian konsentrasi substrat dan pH media juga dapat digunakan untuk mengoptimalkan kondisi fermentasi.
- **Penggunaan Teknik Fermentasi Terkini:** Penggunaan teknologi terbaru seperti fermentasi imobilisasi sel dan fermentasi dengan penggunaan reaktor membrane dapat meningkatkan produktivitas dan efisiensi fermentasi.

Referensi:

1. Soccol, C. R., Pandey, A., & Larroche, C. (2013). *Fermentation Processes Engineering in the Food Industry*. CRC Press. ISBN: 978-1420083873.
2. Soetaert, W., & Vandamme, E. J. (2009). *Biofuels: Biotechnology, Chemistry, and Sustainable Development*. Wiley. ISBN: 978-0470026748.
3. Waites, M. J., Morgan, N. L., Rockey, J. S., & Higton, G. (2001). *Industrial Microbiology and Biotechnology*. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-0632053070.
4. Himmel, M. (2016). *Biotechnology for Biofuels Production and Optimization*. Elsevier. ISBN: 978-0444634757.
5. Wyman, C. (Ed.). (1996). *Handbook of Bioethanol: Production and Utilization*. CRC Press. ISBN: 978-1560325530.

4.3 Pemurnian dan Pemisahan Bioetanol

Proses pemurnian dan pemisahan bioetanol dari campuran fermentasi adalah tahap penting untuk memastikan produk akhir memiliki kemurnian dan kualitas yang sesuai dengan standar industri. Tahapan ini melibatkan berbagai teknik pemisahan fisik dan kimia untuk menghilangkan kotoran, air, dan komponen volatil lainnya dari campuran fermentasi. Berikut adalah beberapa teknik utama yang digunakan dalam pemurnian dan pemisahan bioetanol:

4.3.1 Distilasi Bioetanol

Distilasi adalah metode yang paling umum digunakan untuk memisahkan bioetanol dari campuran fermentasi. Proses ini melibatkan pemanasan campuran hingga mencapai suhu di mana etanol menguap dan dapat dipisahkan dari komponen lainnya. Distilasi fraksional sering digunakan dalam skala industri untuk meningkatkan kemurnian etanol.

- **Prinsip Dasar Distilasi:** Proses distilasi memanfaatkan perbedaan titik didih antara etanol dan air. Etanol memiliki titik didih yang lebih rendah (78.37°C) dibandingkan air, sehingga etanol akan menguap terlebih dahulu.
- **Kolom Distilasi:** Dalam distilasi industri, kolom distilasi digunakan untuk meningkatkan efisiensi pemisahan. Kolom ini memungkinkan uap etanol untuk naik melalui serangkaian piringan atau pengisi yang meningkatkan kontak antara uap dan cairan, menghasilkan produk dengan kemurnian yang lebih tinggi.
- **Distilasi Azeotropik:** Ketika kemurnian etanol mencapai sekitar 95%, campuran etanol-air membentuk azeotrop, yang membuat pemisahan lebih lanjut menjadi sulit tanpa menggunakan teknik tambahan seperti distilasi azeotropik atau penambahan agen pemisah seperti benzena.

4.3.2 Pemisahan dan Pemurnian Lanjutan

Setelah distilasi, berbagai teknik pemurnian lanjutan dapat digunakan untuk mencapai kemurnian bioetanol yang lebih tinggi atau untuk menghilangkan jejak kotoran yang mungkin masih ada.

- **Penggunaan Molekul Ayak (Molecular Sieves):** Molekul ayak sering digunakan untuk mengeringkan bioetanol setelah distilasi dengan menghilangkan air yang tersisa. Teknologi ini efektif untuk menghasilkan etanol anhidrat yang sangat murni.
- **Ekstraksi Cair-Cair:** Teknik ini digunakan untuk memisahkan bioetanol dari komponen lainnya yang mungkin masih ada dalam campuran. Pelarut organik sering digunakan dalam proses ini untuk meningkatkan pemisahan.
- **Membran Pemisahan:** Membran selektif juga dapat digunakan untuk memurnikan bioetanol. Teknologi ini semakin populer karena efisiensinya dalam skala besar dan rendahnya kebutuhan energi.

4.3.3 Pengujian Kualitas Bioetanol

Pengujian kualitas bioetanol penting dilakukan untuk memastikan bahwa produk akhir memenuhi spesifikasi yang diperlukan untuk digunakan sebagai bahan bakar atau bahan kimia industri. Beberapa parameter yang diuji meliputi kemurnian, kadar air, dan keberadaan kotoran.

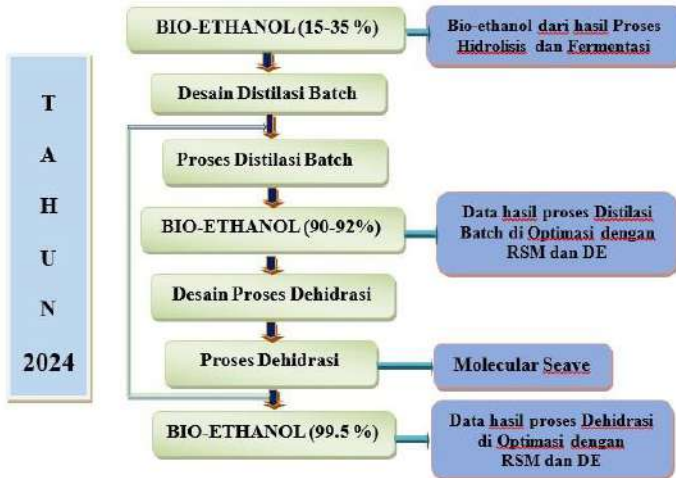
- **Spektroskopi UV-Vis dan FTIR:** Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur kotoran dalam bioetanol.
- **Kromatografi Gas (GC):** GC adalah teknik standar untuk mengukur kemurnian bioetanol dengan memisahkan dan mengidentifikasi komponen volatil dalam sampel.
- **Pengujian Kadar Air:** Kadar air dalam bioetanol dapat diukur menggunakan Karl Fischer titration atau metode lain yang sesuai. Kadar air yang rendah penting untuk mencegah korosi pada mesin yang menggunakan bioetanol sebagai bahan bakar.

Referensi:

1. Walker, G. M. (2010). *Bioethanol: Science and Technology of Fuel Alcohol*. CRC Press. ISBN: 978-0849392564.
2. Demirbas, A. (2008). *Biofuels: Production, Application and Development*. Springer. ISBN: 978-1846289958.
3. Yang, S.-T. (2007). *Bioprocessing for Value-Added Products from Renewable Resources: New Technologies and Applications*. Elsevier. ISBN: 978-0444521149.
4. Wyman, C. (Ed.). (1996). *Handbook on Bioethanol: Production and Utilization*. CRC Press. ISBN: 978-1560325530.
5. Bajpai, P. (2020). *Bioethanol Production from Renewable Resources*. Springer. ISBN: 978-9811351245

STUDI KASUS:

Kajian Fundamental Regular (PFR) tahun 2024 merupakan kelanjutan dari PFR tahun 2023, hasil yang diperoleh pada PFR berupa bioetanol 15-35% hasil proses hidrolisis dan fermentasi, dilanjutkan proses distilasi batch dengan volume bioethanol 1 liter, variabel temperatur dan variable volume bioethanol, untuk menghasilkan bioethanol 90-92 %, data hasil proses distilasi batch kemudian dioptimasi dengan *Respon Surface Metodology* (RSM) dan *Differential Expert* (DE). Selanjutnya dilakukan proses dehidrasi menggunakan *molecular seave*, untuk menghasilkan bioethanol 99,5 %, apabila bioethanol yang dihasilkan belum memenuhi 99,5 % dilakukan recycle kedalam proses distilasi batch, ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir Tahun 2024, proses distilasi dan proses dehidrasi dari bioethanol hasil fermentasi (15-35

%) menghasilkan bioethanol (99,5 %) diteruskan *recycle* bioethanol (bioethanol dibawah 99,5 %) ke proses distilasi batch.

Lokasi kajian di laboratorium Riset Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, UPN) “Veteran” Jawa Timur dan di PT. Enero Mojokerto.

Kondisi tetap dan kondisi berubah pada proses Distilasi batch dan proses Dehidrasi:

Proses Distilasi Batch:

Kondisi tetap:

- Volume bioethanol hasil proses fermentasi: 1000 mL
- Temperatur proses distilasi batch: 78 °C
- Volume bottom: 10% dari volume feed
- Kondisi operasi dalam keadaan total refluks

Kondisi berubah:

- Variasi kadar bioethanol hasil proses fermentasi: 15, 20, 25, 30, 35 (% v/v).
- Variasi waktu distilasi batch: 2, 3, 4, 5, 6 (Jam).

Proses Dehidrasi:

Kondisi tetap:

- Volume bioethanol hasil proses fermentasi: 1000 mL.
- Kecepatan Pengadukan 200 Rpm

Kondisi berubah:

- Variasi berat adsorbent: 5, 10, 15, 20, 25 (gram).
- Variasi jenis adsorbent: moleculer seave, silica gel

Seperangkat Alat Distilasi Batch dan Alat Ukur Bioethanol:



Gambar 2. Seperangkat alat distilasi batch dilengkapi kolom distilasi dan kondensor.



Gambar 3. Alat ukur bioethanol berupa Refraktometer

Prosedur Proses Distilasi Batch:

Proses distilasi batch pada Gambar 2 menggunakan labu leher tiga yang dilengkapi kolom distilasi, kemudian kolom distilasi diisi rashing ring berbahan plastik. Proses distilasi batch dilakukan pada volume bioethanol hasil proses fermentasi sebesar 1 liter dengan kadar bioethanol hasil proses fermentasi berkisar antara 15 hingga 35 (% v/v) dan waktu distilasi berkisar antara 2 hingga 6 (jam). Temperatur bottom diukur dengan thermometer dan dijaga temperaturnya 78 °C

menggunakan Microwave, Saravana dkk., 2014. Temperatur uap diukur dengan thermometer, setelah proses distilasi batch berjalan dalam kondisi total refluks, filtrat yang keluar melalui kondensor ditampung dalam gelas ukur yang kedap udara, proses distilasi batch diakhiri setelah volume bottom sekitar 10% dari volume awal. Kadar bioethanol diukur menggunakan Refraktometer dan Gas Cromatografi, ditunjukkan pada Gambar 3.

1.1 Aplikasi Teknologi Mikro Kontroller

Pesatnya perkembangan industri kimia, menantang penulis untuk melakukan kajian dibidang perancangan alat proses kimia, di Era Industri 4.0 diharapkan peralatan proses kimia (hidrolisis, fermentasi dan distilasi flash) menggunakan sentuhan *Informatic Computer* (IT) dalam bentuk mikro controller, diantaranya mikro kontroller temperatur pada proses hidrolisis & proses distilasi flash, dan mikro kontroller kecepatan pada proses fermentasi & kondensor [4].

a. Mikro Kontroller Suhu IC LM35

Sensor suhu IC LM35 merupakan chip IC produksi *National Semiconductor* yang berfungsi untuk mengetahui temperatur suatu objek atau ruangan dalam bentuk besaran elektrik, atau dapat juga di definisikan sebagai komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah perubahan temperatur yang diterima dalam perubahan besaran elektrik. Sensor suhu IC LM35 dapat mengubah temperatur

menjadi tegangan pada bagian outputnya, sertamembutuh kan sumber tegangan DC +5 volt dan konsumsi arus DC sebesar 60 μ A dalam beroperasi. Bentuk fisik sensor suhu LM35 merupakan chip IC dengan kemasan yang bervariasi, pada umumnya kemasan sensor suhu LM35 adalah kemasan TO-92. Mikro Kontroller Suhu IC LM35 akan digunakan mengatur suhu pada proses hidrolisis dan pada proses distilasi batch pada kolom distilasi [15].

b. Mikro Kontroller Kecepatan Arduino Uno

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 digital pin input/output, dimana 6 pin digunakan sebagai output PWM, 6 pin input analog, 16 MHz resonator keramik, koneksi USB, jack catu daya eksternal, header ICSP, dan tombol reset. Ini semua berisi hal-hal yang diperlukan untuk mendukung mikro kontroller, hanya dengan menghubungkannya ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan dengan adaptor AC-DC atau baterai pada papan arduino. Arduino Uno berbeda dari semua papan Uno sebelumnya yang sudah tidak menggunakan chip driver FTDI USB-to-serial, Arduino Uno versi baru menggunakan fitur Atmega16U2 (Atmega8U2 sampai versi R2) yang diprogram sebagai konverter USB serial. Uno berarti satu, yang diambil dari bahasa Italia, dan penggunaan nama ini untuk menandai

peluncuran Arduino 1.0. versi 1.0 yang akan menjadi versi referensi Arduino, yang akan terus berkembang. Uno yang terbaru merupakan serangkaian papan USB Arduino, dan dapat digunakan sebagai model referensi untuk platform Arduino. Mikro Kontroller Arduino Uno akan digunakan mengatur kecepatan pertumbuhan bakteri pada proses fermentasi dan pada proses distilasi batch pada kondensor dibagian refluks rasio [4].

1.2. Hasil Kajian Proses Distilasi Batch

Hasil kajian pada proses distilasi batch ditunjukkan pada Tabel 1, limbah cair molasse merupakan residu cair yang dihasilkan dari industri bioetanol (PT. Enero) menggunakan molasse tebu, yang memiliki kandungan glukosa tinggi dan ketersediaannya sangat melimpah. Kajian saat ini menyelidiki peningkatan kemurnian bioetanol dengan distilasi batch dilengkapi kolom distilasi yang diisi rashing, dan dehidrasi menggunakan molekular seave. Pada proses distilasi batch, volume bioetanol yang digunakan 1 liter, variasi bioetanol mulai dari 15 hingga 35% (v/v) dan waktu distilasi batch mulai dari 2 hingga 6 jam, dimana suhu dijaga pada 78 °C dengan menggunakan microwave. Hasil proses distilasi batch pada kondisi optimal, kandungan bioetanol 30% (v/v) dan waktu distilasi 4 jam, menghasilkan kandungan bioetanol tertinggi sekitar 97,72% (v/v) dan yield bioetanol tertinggi sekitar 37,52% (v/v). Sudah dilakukan

kajian sebelumnya dengan variabel yang berbeda oleh Arifiyanti dkk., 2020; Alok dkk., 2012; Bachtiar dkk., 2021; Khurniawati dkk., 2019; Kuhad dkk., 2010; Kumar dkk., 2009; Sari dkk., 2018. Dari hasil dari Tabel 1 dilakukan pengolahan data untuk memperoleh hasil yang optimum dengan optimasi bioetanol murni dan yield bioetanol menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dan *Differential Expert* (DE), dapat dilihat respon variasi kandungan bioetanol (feed) dan waktu distilasi batch terhadap kandungan bioetanol murni (produk) dan yield bioetanol dalam grafik dua dimensi, grafik tiga dimensi dan model persamaan. Sudah dilakukan kajian sebelumnya dengan variabel yang berbeda oleh Limayen dkk., 2012; Nibedita dkk., 2012; Saravana dkk., 2020; Sari dkk., 2022.

ANALISA INSTRUMENTASI DARI PATI, GLUKOSA DAN BIOETANOL



5.1 Teknik Analisa Instrumentasi untuk Pati

Pada bagian ini, kita akan membahas berbagai teknik analisa instrumentasi yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur kandungan pati dalam limbah cair. Penggunaan teknik-teknik ini sangat penting dalam proses pembuatan bioetanol, karena kandungan pati yang tepat akan menentukan efisiensi konversi menjadi glukosa, yang selanjutnya akan difermentasi menjadi bioetanol.

5.1.1 Spektroskopi UV-Vis

Spektroskopi UV-Vis merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk mengukur konsentrasi pati dalam larutan berdasarkan penyerapan cahaya pada panjang gelombang ultraviolet (UV) dan tampak (visible). Pati yang dilarutkan dalam air akan menunjukkan spektrum khas yang dapat diukur untuk menentukan konsentrasinya.

Langkah-langkah umum dalam analisis UV-Vis:

1. Pembuatan larutan standar pati dengan konsentrasi yang diketahui.

2. Kalibrasi alat spektrofotometer UV-Vis dengan larutan standar.
3. Pengukuran absorbansi sampel pada panjang gelombang tertentu.
4. Perhitungan konsentrasi pati berdasarkan kurva kalibrasi yang diperoleh dari larutan standar.

Keunggulan:

- Teknik ini relatif sederhana dan cepat.
- Sensitivitas yang tinggi dalam mendeteksi pati dalam larutan.

Keterbatasan:

- Hanya dapat digunakan untuk larutan pati yang jernih.
- Memerlukan penyiapan sampel yang presisi untuk hasil yang akurat.

5.1.2 Kromatografi Gas (GC)

Kromatografi Gas (GC) adalah teknik yang digunakan untuk memisahkan dan menganalisis komponen volatil dalam sampel. Untuk analisis pati, sampel harus dihidrolisis terlebih dahulu menjadi gula sederhana (misalnya, glukosa) yang kemudian dapat dianalisis menggunakan GC.

Proses analisis dengan GC:

1. Hidrolisis sampel pati menjadi gula sederhana.
2. Penggunaan fase diam dan fase gerak yang sesuai untuk memisahkan komponen-komponen dalam sampel.

3. Deteksi gula hasil hidrolisis dengan detektor yang sesuai, seperti detektor ionisasi nyala (FID).

Keunggulan:

1. Sangat akurat dan mampu memisahkan komponen dalam sampel kompleks.
2. Dapat digunakan untuk analisis kuantitatif dan kualitatif.

Keterbatasan:

1. Memerlukan persiapan sampel yang ekstensif.
2. Alat yang kompleks dan memerlukan pengoperasian oleh tenaga ahli.

5.1.3 Analisis FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

FTIR adalah teknik spektroskopi yang digunakan untuk mengidentifikasi senyawa berdasarkan vibrasi ikatan kimia dalam molekul. Analisis FTIR dapat digunakan untuk mengkarakterisasi struktur pati dalam sampel dan memantau perubahan struktural selama proses hidrolisis.

Proses analisis dengan FTIR:

1. Persiapan sampel dalam bentuk padat atau cair.
2. Pengukuran spektrum inframerah yang dihasilkan oleh sampel.
3. Interpretasi spektrum untuk mengidentifikasi kelompok fungsional dalam molekul pati.

Keunggulan:

1. Memberikan informasi rinci tentang struktur molekul.

2. Tidak merusak sampel.

Keterbatasan:

1. Sensitivitas terhadap air dan pelarut yang dapat mengganggu spektrum.
2. Memerlukan interpretasi yang tepat untuk analisis yang akurat.

Referensi:

1. Vitha, M. F. (2018). *Spectroscopy: Principles and Instrumentation*. Wiley. ISBN: 978-1119436645.
2. Williams, A. M. (2013). *Gas Chromatography: Principles, Techniques, and Applications*. Elsevier. ISBN: 978-0124095403.
3. Stuart, B. (2004). *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. Wiley. ISBN: 978-0470854280.
4. Wrolstad, R. E. (2012). *Food Carbohydrate Chemistry*. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-1119949152.
5. Singh, H. (2022). *Bioethanol: Science and Technology*. Springer

5.2 Teknik Analisa Instrumentasi untuk Glukosa

Dalam proses pembuatan bioetanol dari limbah cair yang mengandung glukosa, analisis glukosa merupakan tahap penting untuk memastikan efisiensi dan efektivitas proses

fermentasi. Beberapa teknik analisis instrumentasi yang umum digunakan untuk mengukur kadar glukosa dalam sampel limbah cair antara lain adalah High-Performance Liquid Chromatography (HPLC), Kromatografi Cair, dan Pengujian Enzimatis. Berikut penjelasan detailnya:

5.2.1 Analisis HPLC (High-Performance Liquid Chromatography)

High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) adalah salah satu teknik analisis yang sangat efektif untuk memisahkan, mengidentifikasi, dan mengukur komponen dalam campuran yang kompleks, termasuk glukosa dalam limbah cair. HPLC bekerja dengan memanfaatkan kolom yang berisi fase diam, di mana sampel dilewatkan bersama dengan fase gerak (pelarut). Komponen glukosa dipisahkan berdasarkan interaksinya dengan fase diam dan fase gerak.

- **Prinsip Kerja:** Dalam HPLC, sampel yang mengandung glukosa diinjeksikan ke dalam kolom dan dipisahkan berdasarkan polaritas dan ukuran molekulnya. Detektor UV-Vis digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur konsentrasi glukosa berdasarkan panjang gelombang yang diserap oleh komponen tersebut.
- **Kelebihan:** HPLC memiliki keakuratan dan ketelitian yang tinggi, serta dapat digunakan untuk analisis kuantitatif glukosa dengan batas deteksi yang rendah.
- **Aplikasi:** HPLC sering digunakan dalam industri

bioetanol untuk memastikan glukosa tersedia dalam jumlah yang cukup untuk fermentasi.

5.2.2 Analisis Kromatografi Cair

Kromatografi cair adalah teknik lain yang umum digunakan untuk pemisahan dan analisis glukosa dalam larutan. Teknik ini mirip dengan HPLC tetapi dapat disesuaikan untuk analisis glukosa dalam kondisi yang lebih sederhana atau di laboratorium dengan fasilitas terbatas.

- **Prinsip Kerja:** Kromatografi cair memisahkan glukosa berdasarkan perbedaan polaritas dan interaksi molekul dengan fase diam dan fase gerak dalam kolom. Detektor yang digunakan dapat berupa detektor refraktif atau UV-Vis, tergantung pada kebutuhan spesifik analisis.
- **Kelebihan:** Metode ini lebih sederhana dan bisa lebih murah dibandingkan dengan HPLC, namun tetap memberikan hasil yang cukup akurat untuk analisis glukosa.
- **Aplikasi:** Kromatografi cair digunakan dalam berbagai kajian dan aplikasi industri untuk memonitor kandungan glukosa dalam proses produksi bioetanol.

5.2.3 Pengujian Enzimatis

Pengujian enzimatis adalah teknik analisis glukosa yang memanfaatkan enzim-enzim tertentu, seperti glukosa oksidase, untuk mengubah glukosa menjadi produk yang dapat diukur secara kuantitatif.

- **Prinsip Kerja:** Dalam metode ini, glukosa dalam sampel diubah menjadi asam glukonat dan hidrogen peroksida oleh enzim glukosa oksidase. Hidrogen peroksida kemudian diukur secara spektrofotometrik untuk menentukan konsentrasi glukosa dalam sampel.
- **Kelebihan:** Pengujian enzimatik cepat, sederhana, dan dapat dilakukan dengan peralatan minimal. Metode ini juga sangat spesifik untuk glukosa, sehingga mengurangi risiko interferensi dari komponen lain.
- **Aplikasi:** Teknik ini sering digunakan untuk analisis cepat dan rutin dalam industri fermentasi, serta untuk memantau kadar glukosa selama proses fermentasi bioetanol.

Referensi:

1. Miller, J. M. (2005). *Chromatography: Concepts and Contrasts* (2nd ed.). Wiley. ISBN: 978-0471848219.
2. Katz, E. (1998). *Handbook of HPLC*. CRC Press. ISBN: 978-0824794446.
3. Snyder, L.R., Kirkland, J.J., & Dolan, J.W. (2009). *Introduction to Modern Liquid Chromatography* (3rd ed.). Wiley. ISBN: 978-0470167540.
4. Eisenthal, R., & Danson, M. J. (2002). *Enzymatic Analysis: A Practical Approach*. Oxford University Press. ISBN: 978-0199631434.

5. Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2017). *Principles of Instrumental Analysis* (7th ed.). Cengage Learning. ISBN: 978-1337468039

5.3. Teknik Analisa Instrumentasi untuk Bioetanol

Proses analisis bioetanol yang diperoleh dari limbah cair melibatkan berbagai teknik instrumentasi untuk menentukan kemurnian, konsentrasi, dan komposisi kimia dari bioetanol yang dihasilkan. Berikut adalah beberapa teknik analisis utama yang digunakan dalam pengujian bioetanol:

5.3.1 Kromatografi Gas untuk Bioetanol

Kromatografi gas (GC) adalah salah satu metode yang paling umum digunakan untuk menganalisis bioetanol. Teknik ini memungkinkan pemisahan dan identifikasi komponen volatil dalam bioetanol dengan akurasi yang tinggi. Dalam analisis ini, bioetanol dipisahkan dari campuran berdasarkan volatilitasnya, dan detektor, seperti detektor ionisasi nyala (FID), digunakan untuk mengukur konsentrasi bioetanol.

Langkah-langkah Utama:

- Persiapan sampel bioetanol dengan metode tertentu seperti penyaringan dan pengenceran.
- Injeksi sampel ke dalam kolom kromatografi.
- Pemisahan komponen berdasarkan volatilitas dan interaksi dengan fase stasioner.
- Deteksi komponen bioetanol dengan FID untuk menghasilkan kromatogram yang menunjukkan puncak bioetanol.

- Interpretasi data untuk menentukan kemurnian dan konsentrasi bioetanol dalam sampel.

Referensi:

- McNair, H. M., & Miller, J. M. (2009). *Basic Gas Chromatography* (2nd ed.). Wiley-Interscience.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2017). *Principles of Instrumental Analysis* (7th ed.). Cengage Learning.

5.3.2 Analisis Spektroskopi

Spektroskopi, khususnya spektroskopi inframerah (IR) dan ultraviolet (UV), digunakan untuk menganalisis struktur molekuler dan mengidentifikasi gugus fungsi dalam bioetanol. Teknik IR sangat berguna untuk mendeteksi ikatan karbon-oksigen (C-O) dan hidroksil (O-H), yang merupakan komponen utama dalam struktur bioetanol. Spektroskopi UV dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi bioetanol dengan menggunakan panjang gelombang spesifik.

Langkah-langkah Utama:

- Persiapan sampel dan kalibrasi instrumen.
- Pengukuran spektrum IR untuk mengidentifikasi gugus fungsi bioetanol.
- Analisis spektrum UV untuk menentukan konsentrasi bioetanol berdasarkan absorpsi pada panjang gelombang tertentu.
- Perbandingan spektrum sampel dengan spektrum standar untuk konfirmasi identitas bioetanol.

Referensi:

- Pavia, D. L., Lampman, G. M., & Kriz, G. S. (2015). *Introduction to Spectroscopy* (5th ed.). Cengage Learning.
- Silverstein, R. M., Webster, F. X., & Kiemle, D. J. (2014). *Spectrometric Identification of Organic Compounds* (8th ed.). Wiley.

5.3.3 Pengukuran Kadar Etanol

Pengukuran kadar etanol dalam bioetanol dilakukan dengan berbagai metode, termasuk kromatografi gas dan spektroskopi, seperti yang telah dibahas. Namun, teknik lain yang juga digunakan adalah metode densitometri dan titrasi. Densitometri melibatkan pengukuran densitas bioetanol dan menggunakannya untuk menentukan konsentrasi etanol, sementara titrasi biasanya dilakukan dengan menggunakan reagen kimia untuk mengukur kadar etanol secara volumetrik.

Langkah-langkah Utama:

- Pengukuran densitas sampel menggunakan piknometer atau alat densitometer otomatis.
- Pelaksanaan titrasi menggunakan reagen standar untuk mengukur konsentrasi etanol.
- Penghitungan kadar etanol berdasarkan data densitas atau titrasi yang diperoleh.
- Verifikasi hasil dengan metode lain seperti GC atau spektroskopi jika diperlukan.

Referensi:

- Harris, D. C. (2015). *Quantitative Chemical Analysis* (9th ed.). W.H. Freeman and Company.
- Vogel, A. I. (1989). *Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis* (5th ed.). Longman Scientific & Technical.

Referensi Tambahan untuk Bab 5.3

- Houghton, J. (2015). *Handbook of Bioethanol: Production and Utilization*. CRC Press.
- Zubrick, J. W. (2013). *The Organic Chem Lab Survival Manual: A Student's Guide to Techniques* (10th ed.). Wiley.
- Jenkins, B. M., & Baxter, L. L. (1998). *Combustion of Biomass and Biofuels*. Wiley-VCH.

5.4 Studi Kasus dan Interpretasi Data

5.4.1 Hasil Analisis Instrumentasi dari Berbagai Limbah

Dalam kajian ini, dilakukan analisis komprehensif terhadap limbah cair yang mengandung pati dan glukosa, yang telah diproses untuk menghasilkan bioetanol. Beberapa instrumen analitis seperti spektroskopi UV-Vis, kromatografi gas (GC), dan kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC) digunakan untuk memantau kandungan pati, glukosa, dan bioetanol pada berbagai tahap proses. Hasil dari spektroskopi UV-Vis menunjukkan bahwa absorbansi sampel pati pada panjang gelombang tertentu berhubungan erat dengan konsentrasi pati yang terhidrolisis menjadi glukosa. Analisis kromatografi gas

menunjukkan bahwa puncak bioetanol dapat diidentifikasi dengan jelas, memungkinkan penentuan kuantitatif kadar bioetanol dalam sampel. Hasil kromatografi cair menunjukkan variasi kadar glukosa sebelum dan sesudah fermentasi, yang memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai efisiensi proses konversi.

Beberapa sampel limbah cair yang dianalisis menunjukkan bahwa kandungan pati dan glukosa berfluktuasi tergantung pada asal usul limbah tersebut. Misalnya, limbah dari industri makanan menunjukkan konsentrasi glukosa yang lebih tinggi dibandingkan dengan limbah dari industri pengolahan kertas.

5.4.2 Validasi dan Verifikasi Data

Data yang diperoleh dari berbagai instrumen analitis memerlukan validasi untuk memastikan keakuratan dan konsistensinya. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil analisis dengan standar yang dikenal dan melalui replikasi eksperimen untuk mengurangi kesalahan analitis. Korelasi antara data hasil spektroskopi dan kromatografi menunjukkan bahwa kedua metode tersebut konsisten dalam mengukur komponen target pada limbah cair yang berbeda.

Selain itu, verifikasi dilakukan dengan memeriksa ketepatan alat melalui kalibrasi yang tepat sebelum setiap pengukuran. Hasil dari alat yang telah dikalibrasi secara konsisten memberikan data yang dapat diandalkan, yang kemudian digunakan untuk menyusun profil komposisi

limbah cair serta mengestimasi potensi produksi bioetanol.

Interpretasi data dilakukan dengan mempertimbangkan variabilitas alami dalam komposisi limbah dan kondisi operasional yang mungkin mempengaruhi hasil. Berdasarkan data yang divalidasi, dapat disimpulkan bahwa limbah cair dari industri makanan adalah sumber yang lebih efisien untuk produksi bioetanol dibandingkan dengan sumber lain yang diuji dalam kajian ini.

Referensi:

1. Dean, R. A. (2013). *Spectroscopy of Biological Molecules*. Elsevier. ISBN: 978-0124158108.
2. Pavia, D. L., Lampman, G. M., & Kriz, G. S. (2008). *Introduction to Spectroscopy* (4th ed.). Cengage Learning. ISBN: 0495114789-978.
3. Grob, R. L., & Barry, E. F. (2004). *Modern Practice of Gas Chromatography* (4th ed.). Wiley-Interscience. ISBN: 0471229834-978.
4. Dolan, J. W. (2011). *A Practical Guide to HPLC*. LC Resources. ISBN: 978-0972386512.
5. Blanch, H. W., & Clark, D. S. (1997). *Biochemical Engineering*. CRC Press. ISBN: 978-0824700997.

Studi kasus:

1.1. KAJIAN PENDAHULUAN

Dalam industri kimia, proses hidrolisis dan fermentasi merupakan salah satu proses untuk mendapatkan bioethanol dengan bantuan mikroorganismenya secara biologi dan secara kimia dengan bantuan zat kimia, selanjutnya produk fermentasi masuk pada tahap pemisahan (Sari, 2009). Pada tahap ini sangat penting untuk menghasilkan produk dengan kemurnian tertentu dengan distilasi batch. Proses pemisahan dalam industri umumnya pemisahan multikomponen dan jarang pemisahan biner, oleh karena itu sangat penting untuk meninjau distilasi batch multikomponen. Desain distilasi batch multi komponen umumnya diperoleh dengan melakukan simulasi, agar diperoleh hasil simulasi yang mendekati dengan keadaan sebenarnya maka dibutuhkan data termodinamika yang akurat (Widagdo & Seider, 1996).

Karena pertumbuhan yang cepat dalam populasi dan era industrialisasi, permintaan etanol diseluruh dunia meningkat terus menerus. Tanaman konvensional seperti jagung dan tebu tersebut tidak dapat memenuhi permintaan global produksi bioetanol karena nilai utama mereka pada makanan dan pakan. Oleh karena itu, zat lignoselulosa seperti limbah pertanian merupakan bahan baku yang menarik untuk produksi bioetanol. Limbah pertanian yang hemat biaya, terbarukan dan

berlimpah. Bioetanol dari limbah pertanian bisa menjadi *tecnology* menjanjikan meskipun proses memiliki beberapa tantangan dan keterbatasan seperti transportasi biomassa dan penanganan, dan metode pretreatment dengan efisien yang tinggi pada gula, difermentasi setelah diberi enzymatics. Metode pretreatment PROFER dapat meningkatkan konsentrasi dari gula yang difermentasi setelah sakarifikasi enzymatics, sehingga meningkatkan efisiensi dari keseluruhan proses. Konversi glukosa serta xylose menjadi etanol membutuhkan teknologi fermentasi baru, untuk membuat biaya seluruh proses yang efektif. Dalam ulasan ini, teknologi yang tersedia untuk produksi bioetanol dari limbah pertanian (Nibedita *et al.*, 2012).

Proses pretreatment biomassa *lignocellulosic* dilakukan sebelum proses delignification, dengan tujuan untuk memecah lignin di bambu yang menjadi pelindung struktur selulosa *lignocellulosic*, serta membuat atau hemiselulosa yang lebih mudah di delignification. Proses delignification digunakan untuk menghilangkan senyawa lignin dan pentosan di bambu, membuat selulosa menjadi optimal. Variabel tetap di pretreatment process adalah bambu bubuk 100 mesh ukuran, volume asam sulfat sebanyak 200 ml, volume air 3 liter, dan kecepatan pengadukan 200 rpm. Variabel berat bambu 50-250 gram, delignification waktu adalah 30-150 menit, dan delignification suhu 25-125 ($^{\circ}\text{C}$). Setelah pretreatment diperoleh penurunan lignin 20-25 (%) dan pentosan, dan

selulosa yang diperoleh setelah proses delignification 40-50 (%). Selulosa yang diperoleh dalam proses pretreatment dan delignification dapat digunakan untuk bahan baku dalam proses fermentasi untuk mendapatkan glukosa.

Bioetanol yang diperoleh dari biomassa dan bioenergi tanaman telah dinyatakan sebagai salah satu alternatif yang layak untuk bahan bakar bensin (Demirbas, 2011). Biomassa lignoselulosa adalah salah satu sumber utama potensial untuk produksi bioetanol ekonomi global. Pertanian, kehutanan (kayu lembut dan kayu keras) dan limbah industri adalah biomasa lignoselulosa utama (Limayem et al., 2012). Produksi bioetanol dari biomassa lignoselulosa melibatkan langkah yang berbeda seperti pretreatment, hidrolisis, fermentasi dan recovery etanol (Balat *et al.*, 2008).

Produksi bioetanol dari limbah empulur sagu (SPW) menggunakan microwave hidrotermal hidrolisis dipercepat oleh karbon dioksida. Perubahan struktural dalam SPW diteliti setelah hidrolisis, kemurnian etanol setelah fermentasi, dan distilasi. Konsumsi energi untuk microwave hidrotermal hidrolisis dievaluasi. Maksimal 43,8% glukosa teoritis dan 40,5% yield etanol teoritis diperoleh. Fermentasi diperoleh koefisien yield etanol adalah 0,47 (g etanol per g glukosa) yang 15,6 etanol per 100 g SPW kering. Ia juga menemukan bahwa konsumsi energi terendah terjadi ketika masukan energi itu tetap pada 108 kJ (900 W selama 2 menit), sebesar 33 kJ sampai

69 kJ untuk menghasilkan satu gram glukosa setelah hidrotermal hidrolisis dan etanol satu gram setelah fermentasi. Teknik yang dikembangkan untuk SPW menghasilkan penghematan energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknik sebelumnya tanpa adanya enzim, asam atau katalis basa (Saravana *et al.*, 2014).

Produksi etanol dari lignoselulosa bergantung pada proses pre-treatment, bahan kimia, hidrolisis enzimatik, fermentasi, dan pemisahan produk. Strategi pretreatment tepat adalah essential untuk hydrolysis enzim efisien biomassa lignoselulosa sebagai lignin menghambat proses sakarifikasi. Berbagai pendekatan pre-treatment telah dimanfaatkan di masa lalu seperti asam atau alkali pretreatment, hidrogen peroksida pretreatment, ledakan uap, air panas cair, amonia ekspansi fiber pretreatment (Teymouri *et al.*, 2005), natrium chorite pretreatment (Kumar *et al.* 2009) dan pretreatment biologi. Asam encer pada proses pretreatment adalah penghapusan hemiselulosa dan pemulihan gula komponen, metode pretreatment asam sulfat encer menghilangkan fraksi hemicellulosic dari substrat lignoselulosa, serta menghemat konversi biologis biomassa selulosa menjadi etanol (Kuhad *et al.*, 2010).

Studi ini mengevaluasi pretreatment asam dari limbah kertas hidrolisat sebagai bahan baku untuk produksi bioetanol. Kisaran $70,12 \pm 4,88\%$ karbohidrat (holoselulosa) dari limbah kertas biomassa dan terbarukan

untuk produksi bioetanol. Sampah kertas ditemukan mengandung α -selulosa ($61,5 \pm 3,49\%$), pentosan ($7,42 \pm 0,36\%$), lignin ($16,33 \pm 0,96\%$), abu ($12,50 \pm 0,33\%$) dan kelembaban ($8,28 \pm 0,63\%$). Kondisi untuk pretreatment asam encer limbah kertas yang dioptimalkan dengan memvariasikan rasio padat / cair 1: 8-1: 14 (w / v), waktu reaksi 0,1-0,6h, dan asam sulfat 0,005-1,00N konsentrasi pada 120°C dalam autoklaf. Kondisi dioptimalkan untuk hidrolisis asam limbah kertas 0,5 N H_2SO_4 pada 120°C untuk waktu reaksi 2 jam menjaga biomassa: rasio asam 1:10 (w / v) untuk pemulihan mengurangi gula dari limbah kertas hidrolisat. Fermentasi hidrolisat asam limbah kertas dengan *Pichia stipitis* dalam kondisi optimum menghasilkan produksi etanol $3,73 \pm 0,16$ g / l dengan $77,54 \pm 4,47\%$ dari efisiensi fermentasi (Alok et al., 2012).

Bambu adalah salah satu material yang mengandung selulosa cukup tinggi, digunakan ketika proses hidrolisis bambu yang tidak mengandung lignin dan pentosan yang sebelumnya dilakukan proses pretreatment dan delignification. Proses terbaik yang digunakan adalah proses biologi atau proses kimia untuk mengoptimalkan produksi glukosa. Variabel tetap dalam proses hidrolisis adalah suhu 45°C , filtrate bambu 500 ml, dan aduk kecepatan mengendalikan 200 rpm. Variabel yang di variasi adalah berat enzim 1, 3, 5, 7, 9 (gram) dan waktu hidrolisis 30, 60, 90, 110, 130 (menit). Pada proses

hidrolisis menghasilkan glukosa dengan kadar 23,6 % dari berat bambu. Hasil dari proses hidrolisis berupa glukosa dan kemudian di lakukan fermentasi untuk mendapatkan produk bioethanol (Sari dkk, 2017). Proses delignification dan hidrolisis glukosa dari limbah cair tepung beras mengandung 9,98% glukosa, sedangkan dari rumput gajah mengandung 37,9% glukosa, dan dari bambu mengandung 23,6% glukosa (Sari dkk, 2017). Proses pemisahan dengan batch distilasi atau flash distilasi masing-masing memiliki keuntungan dan kerugian, keuntungan batch penyulingan yang memiliki tinggi kolom dengan jumlah *stage* lebih dari satu tahap, tetapi flash distilasi memiliki tinggi kolom yang sama dengan satu *stage*. Keuntungan dari flash distilasi memiliki waktu distilasi lebih pendek dibandingkan batch distilasi, kajian ini bertujuan untuk mendapatkan bioethanol lebih murni serta waktu yang lebih singkat. Bambu mengandung selulosa dan glukosa tinggi, dengan mengurangi jumlah lignin dan pentosa pada proses pretreatment dan delignification, filtrat glukosa yang diproduksi menggunakan enzim pada proses fermentasi. Dari proses fermentasi diperoleh bioethanol dengan 15%, lalu dilakukan proses distilasi, dengan variabel waktu dan suhu. Bioethanol diperoleh dengan kadar sekitar 95%, dari proses batch distilasi kadar bioethanol yang diperoleh lebih kecil, waktu distilasi lebih lama sebaliknya dengan proses flash distilasi, diperoleh hasil bioethanol lebih

besar, waktu distilasi yang lebih pendek (Sari, dkk, 2018) Aplikasi teknologi mikro kontroller untuk simulasi produksi ethanol murni dari ethanol-air teknis dengan proses distilasi batch menggunakan pemrograman bahasa matlab, dimana dalam penampilan grafik hasil menggunakan tool excell, kurang efektif dan efisien, sehingga untuk visualisasi diperlukan bahasa pemrograman berorientasi objek, selain mudah dikembangkan diwaktu yang akan datang, memiliki keuntungan yang lain yaitu dalam satu projek perangkat lunak dapat menggunakan bermacam-macam bahasa pemograman yang mendukung pemograman berorientasi objek, misalnya C#.Net dan VB.Net (Sari dkk., 2013).

Pertumbuhan mikroorganisme *Sacharomyces cerevisiae* dalam bentuk grafik memberikan informasi tentang sifat karakteristik dari pertumbuhan mikroorganisme *Sacharomyces cerevisiae* dalam proses fermentasi *fed-batch*. Dalam proses penggambaran grafik pertumbuhan mikroorganisme *saccharomyces cerevisiae* terdapat beberapa tahapan-tahapan proses yang diantaranya dengan memasukkan nilai awal dari konsentrasi biomassa, memasukkan nilai konsentrasi substrat awal, memasukkan nilai awal dari volume *broth*, memasukkan nilai konsentrasi substrat yang masuk selama proses fermentasi, dan nilai awal. Batas waktu yang digunakan dalam penggambaran grafik pertumbuhan mikroorganisme pada proses fermentasi *fed-batch* adalah

44 jam. Dari simulasi yang telah dilakukan, diperoleh gambaran grafik pertumbuhan mikroorganisme, sebagai gambaran dan perbandingan dalam perkembangbiakan yang sebenarnya secara laboratorium (Sari dkk., 2014).

Pengembangan aplikasi ilmu bioteknologi tidak hanya didasarkan pada biologi semata, tetapi juga pada ilmu-ilmu terapan lainnya seperti mikrobiologi komputer, biologi molekuler, tingkat konsumsi *Saccharomyces Cerevisiae* dan pembentukan etanol, memiliki kemampuan pembentukan etanol dengan proses fermentasi. Hasil konsumsi mikroorganisme dan pembentukan etanol dalam proses fermentasi 50 gram/liter dan 6%, memudahkan uji berkembang biak mikroorganisme di laboratorium (Sari dkk., 2014).

Kontroler PID sering digunakan untuk aplikasi kontrol motor karena struktur sederhana dan algoritma kontrol mudah untuk dipahami. Parameter kontroler umumnya menggunakan *Try And Error* atau metode respon frekuensi *Ziegler-Nichols*. Metode ini memiliki hasil yang sukses tapi cukup lama dan untuk mendapatkan respon sistem yang memuaskan. Kontrol cerdas berbasis *Artificial Intelligent* (AI) sudah banyak berkembang untuk memperbaiki kontrol konvensional. Oleh sebab itu pada paper ini akan mendesain model kontrol motor DC menggunakan beberapa macam kontrol, yaitu kontrol PID yang dituning dengan *auto tuning* matlab, PID yang dituning dengan *Ant Colony Optimization* (ACO)

untuk mengontrol kecepatan motor DC, diharapkan memiliki *steady state error*, *settling time* dan *overshoot* yang lebih baik. Hasil kinerja model DC motor speed control menggunakan *Ant Colony Optimization* PID (PID-ACO) ditemukan memiliki kesalahan *steady state*, waktu kontinu dan *overshoot* lebih baik daripada PID Autotuning Matlab, *Ziegler Nichols* PID (PID-ZN). Hasil dari program PID-ACO dalam studi ini adalah controller terbaik dengan waktu tercepat sekitar 0,55 detik dan *overshot* terkecil 1,017 (Masrukhan, dkk, 2016).

Sistem kendali yang baik mempunyai ketahanan terhadap *disturbance* dan mempunyai espon yang cepat dan akurat. Pada sistem kendali *Proportional Integral Derivative* (PID) bila dibuat sangat sensitif, maka respon sistem terhadap *disturbance* menghasilkan *overshot/undershot* yang besar sehingga terjadi osilasi semakin tinggi. Dalam sistem kendali PID dengan logika *fuzzy* bekerja membantu untuk meminimalkan *overshot/undershot* dan *recovery time* dari respon sistem. Sistem kendali logika *fuzzy* yang didesain mempunyai 2 input yaitu *error* dan *delta error* dan output kecepatan motor. Besar output dari sistem kendali logika *fuzzy* hanya 50 % dari kendali PID. Dari desain sistem ini diharapkan sistem kendali secara keseluruhan yang merupakan hybrid antara PID dengan Kendali Logika *Fuzzy* dapat menghasilkan respon sistem yang lebih baik (Bachr, 2004).

1.2. URAIAN TENTANG KEBARUAN

Dari kajian pendahulu tentang bioethanol berbahan selulose diperoleh hasil bioethanol yang cukup baik. Original kajian kami terletak pada aplikasi teknologi mikro controller PID jenis *Arduino* menggunakan metode *Fuzzy* dengan program simulasi *Matlap* atau *Delphy*, pada sistem integrasi teknologi informatika berbahan baku bambu untuk menghasilkan produk bioethanol dengan kadar etanol tinggi. Bahan baku alternatif generasi kedua yaitu bambu, menggunakan tiga proses (hidrolisis, fermentasi dan distilasi batch) secara simultan, dengan tahapan proses sebelumnya yaitu: proses pretreatment dengan asam sulfat (H_2SO_4), proses delignifikasi dengan natrium hidroksida (NaOH), proses hidrolisis selulosa dengan enzim selulase, dan proses distilasi batch, hasil produk berupa bioethanol teknis dengan kadar 95-96 % yang merupakan bahan substitusi bioethanol.

Dalam mengembangkan produk ethanol yang tinggi perlu dikaji mengenai bahan, mekanisme reaksi dan teknologi yang diperlukan. Faktor yang sangat berpengaruh adalah bahan baku, proses hidrolisis, proses fermentasi, proses distilasi batch, aplikasi teknologi mikro controller PID serta sistem integrasi teknologi informatika. Pada proses hidrolisis selulosa menggunakan enzim selulase dengan mikro controller PID temperatur serta integrasi teknologi informatika secara optimal, dan proses fermentasi glukosa menggunakan enzim *sacharomycess cerevisiae*

dan *zymomonas mobilis* dengan mikro kontroller PID kecepatan serta integrasi teknologi informatika secara optimal. Pada proses distilasi batch dengan mikro kontroller PID temperatur serta integrasi teknologi informatika PID pada *valve refluks ratio* dilengkapi mikro kontroller PID kecepatan serta integrasi teknologi informatika secara optimal.

1.3 KUALITAS TANAMAN BAMBU

Tanaman bambu sebagai salah satu bahan alternatif produksi bioetanol didasarkan atas kandungan selulosa yang berkisar antara 42,4 % - 53,6% , lignin berkisar antara 19,8% - 26,6%, dan kadar pentosan 1,24% - 3,77%, tanaman bambu merupakan jenis tanaman yang sangat mudah tumbuh dan dapat tumbuh diberbagai tempat khususnya pada daerah-daerah yang berhawa dingin. Selulosa adalah polimer β -glukosa dengan ikatan β -1, 4 diantara satuan glukosanya. Selulosa berfungsi sebagai bahan struktur dalam jaringan tumbuhan dalam bentuk campuran polimer homolog dan biasanya disertai polisakarida lain dan lignin dalam jumlah yang beragam (Groggin, 1985).

Bambu merupakan tanaman yang sudah dikenal luas oleh masyarakat Indonesia yang dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan perkakas dapur, bahan pembuatan aneka keperluan pertanian, bahan bangunan, bahan kerajinan dan lain-lain. Dapat juga dijadikan bioetanol sebagai alternatif dalam krisis energi pada saat ini. Oleh

karena itu, perlu adanya budidaya bambu untuk dapat meningkatkan jumlah bambu yang akan diolah menjadi bioetanol. Unsur utama dari batang bambu adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin (Liese and Grover, 1961). Memanfaatkan bambu sebagai sumber bioetanol selulosa tentunya jauh lebih baik daripada hanya menjadi polusi (Mosier, *et al.*, 2005).



Gambar 2.1. Bambu Ori (Betung)

Klasifikasi Tanaman Bambu :

- Kingdom: Plantae
- Divisio: Magnoliophyta
- Classis: Magnoliopsida
- Sub classis: Commelinidae
- Ordo : Cyperales
- Familia: Poaceae
- Genus : Bambusa
- Species : Bambusa sp

1.1.3 Lignoselulosa

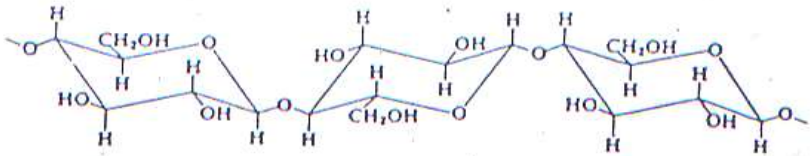
Bahan lignoselulosa merupakan biomassa yang berasal dari tanaman dengan komponen utama lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Ketersediaannya yang cukup melimpah, terutama sebagai limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan, menjadikan bahan ini berpotensi sebagai salah satu sumber energi melalui proses konversi, baik proses fisika, kimia maupun biologis. Salah satu proses konversi bahan lignoselulosa yang banyak diteliti adalah proses konversi lignoselulosa menjadi etanol yang selanjutnya dapat digunakan untuk mensubstitusi bahan bakar bensin untuk keperluan transportasi. Ada beberapa faktor yang mendorong makin intensifnya dilakukan kajian pemanfaatan bahan lignoselulosa menjadi sumber energi, dalam hal ini etanol. Pertama, kebutuhan dan konsumsi energi terus meningkat dari tahun ke tahun, sementara sumber daya alam yang dapat menghasilkan energi makin terkuras karena sebagian besar sumber energi saat ini berasal dari sumber daya alam yang tidak terbarukan, seperti minyak, gas, dan batu bara. Kedua, bioetanol memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan bensin karena dapat meningkatkan efisiensi pembakaran (Hambali, dkk., 2007).

1.3.2. Selulosa

Selulosa dan pati merupakan material yang diperlukan untuk proses pembuatan etanol, selulosa mendekati sama dengan pati, yaitu senyawa polimer dari glukosa, tetapi

selulosa dan pati berbeda karena memiliki gugus ikatan C yang berbeda, ikatan polimer selulosa terjadi pada gugus C-beta sedangkan pati memiliki ikatan polimer pada gugus C-alfa. Selulosa berfungsi sebagai bahan struktur dalam jaringan tumbuhan dalam bentuk campuran polimer homolog dan biasanya disertai polisakarida lain dan lignin dalam jumlah yang beragam, molekul selulosa memanjang dan kaku, meskipun dalam larutan (Groggins, 1985).

Salah satu bahan yang mengandung selulosa yaitu bambu. Persentase selulosa pada bambu yaitu 42,4% - 53,6%. Persentase komponen lain yang terkandung dalam batang bambu adalah lignin (19,8% - 26,6%), pentosan (1,24% - 3,77%), zat ekstraktif (4,5% - 9,9%), air (15% - 20%), abu (1,24% - 3,77%), dan SiO₂ (0,1% - 1,78%). Persentase selulosa yang lumayan besar ini menjadikan bambu sebagai salah satu sumber bioetanol selulosa (Fatriasari dan Hermiati, 2008)



Gambar 2.2. Rumus Bangun Selulosa

1.3.3. Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan istilah umum bagi polisakarida yang larut dalam alkali. Hemiselulosa sangat dekat

asosiasinya dengan selulosa dalam dinding sel tanaman. Lima gula netral, yaitu glukosa, mannososa, dan galaktosa (heksosan) serta xilosa dan arabinosa (pentosan) merupakan konstituen utama hemiselulosa (*Fengel and Wegener 1984*). Berbeda dari selulosa yang merupakan homopolisakarida dengan monomer glukosa dan derajat polimerisasi yang tinggi (10.000–14.000 unit), rantai utama hemiselulosa dapat terdiri atas hanya satu jenis monomer (homopolimer), seperti xilan, atau terdiri atas dua jenis atau lebih monomer (heteropolimer), seperti glukomannan. Rantai molekul hemiselulosa pun lebih pendek daripada selulosa. (*Fengel and Wegener 1984; Howard et al., 2003*). Hemiselulosa merupakan suatu kesatuan yang membangun komposisi serat dan mempunyai peranan yang penting karena bersifat hidrofilik sehingga berfungsi sebagai perekat antar selulosa yang menunjang kekuatan fisik serat. Kehilangan hemiselulosa akan menyebabkan terjadinya lubang diantara fibril dan kurangnya ikatan antar serat (*Anindyawati dan Trisanti, 2010*).

2.1.4. Lignin

Lignin adalah bagian utama dari dinding sel tanaman yang merupakan polimer terbanyak setelah selulosa (*Anindyawati dan Trisanti, 2010*) dan merupakan pelindung selulosa dan hemiselulosa. Lignin dapat mengganggu proses hidrolisa karena akan menghambat aktivitas enzim di dalam ragi dalam pengkonversian

gula sederhana menjadi etanol (Wiratmaja, dkk, 2011) Kandungan lignin dalam kayu daun jarum lebih tinggi daripada dalam kayu daun lebar. Di samping itu, terdapat beberapa perbedaan struktur lignin dalam kayu daun jarum dan dalam kayu daun lebar (*Fengel and Wegener, 1984*).

1.4. GLUKOSA

Glukosa adalah monosakarida yang paling banyak terdapat di alam sebagai produk dari proses fotosintesis. Dalam bentuk bebas terdapat di dalam buah-buahan, tumbuh-tumbuhan, madu, darah. Dalam bentuk ikatan terdapat sebagai glikosida di dalam tubuh binatang, sebagai disakarida, dan polisakarida di dalam tubuh tumbuhan. Glukosa juga dapat dihasilkan melalui hidrolisis polisakarida atau disakarida, dengan asam atau enzim. Sebagai aldoheksosa, glukosa memiliki 6 atom karbon di dalam rantai molekulnya. Salah satu ujung rantai tersebut merupakan gugus aldehyd. Atom-atom karbon nomor 2 sampai nomor 5 di dalam rantai adalah gugus chiral. Dengan demikian terdapat 16 kemungkinan konfigurasi isomer pada glukosa. Semua konfigurasi isomer tersebut telah dikenal sebagian terdapat bebas di alam, sebagian yang lain harus dibuat secara sintesis. Tidak kurang dari 32 macam organisme yang telah diteliti dapat menghasilkan glukosa isomerase diantaranya, *Pseudomonas, Aerobacter, Escherchia, Bacillus, Brevibacterium, Paralactobacterium, Leuconostoc*, dan *Streptomyces* (Soebijanto, 1986).

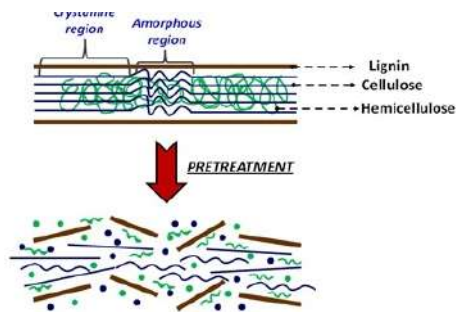
1.5 PROSES KIMIA PRODUKSI BIOETHANOL DARI BAMBU

Bahan-bahan yang mengandung monosakarida ($C_6H_{12}O_6$) sebagai glukosa langsung dapat difermentasi menjadi ethanol. Akan tetapi disakarida pati, karbohidrat kompleks harus dihidrolisa terlebih dahulu menjadi komponen sederhana menjadi monosakarida. Tahap proses fermentasi dapat berjalan secara optimal, bahan tersebut harus mengalami perlakuan pendahuluan sebelum masuk ke dalam proses fermentasi (Sari, dkk, 2012). Disakarida seperti gula pasir ($C_{12}H_{22}O_{11}$) harus dihidrolisa menjadi glukosa, polisakarida seperti selulosa harus diubah terlebih dahulu menjadi glukosa. Terbentuknya glukosa berarti proses pendahuluan telah berakhir dan bahan-bahan selanjutnya siap untuk difermentasi. Secara kimiawi proses fermentasi dapat berjalan cukup panjang, karena terjadi suatu deret reaksi yang masing-masing dipengaruhi oleh enzim-enzim khusus (Sari, dkk, 2013).

1.6. Pretreatmen Bambu

Bahan-bahan lignoselulosa umumnya terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa secara alami diikat oleh hemiselulosa dan dilindungi oleh lignin (Iranmahboob, 2002). Oleh karena itu, proses pretreatmen merupakan tahapan proses yang sangat penting yang dapat mempengaruhi produksi glukosa maupun xilosa sebagai bahan baku pembuatan bioetanol.

Pretreatmen bertujuan untuk memecah ikatan lignin (delignifikasi), menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa, merusak struktur kristal dari selulosa serta meningkatkan porositas bahan. Rusaknya struktur kristal selulosa akan mempermudah terurainya selulosa menjadi glukosa. Hemiselulosa dan selulosa pada struktur bahan lignoselulosa terikat (diselubungi) oleh lignin (*Prawitwong, et al., 2012*)



Gambar 2.3. Proses Pretreatmen Bambu

Pretreatmen merupakan kunci penting dan dinilai sebagai salah satu langkah proses yang mahal pada proses konversi biomassa menjadi bioetanol, sehingga sangat potensial untuk dikembangkan agar lebih efisien dan ekonomis (*Lee, et al.,1994; Lynd, et al.,1996*). Pretreatmen ini dimaksudkan untuk meningkatkan kemampuan area permukaan (porositas) selulosa sehingga dapat meningkatkan konversi selulosa menjadi glukosa (*Sharma, et al., 2002*). Oleh karena itu pretreatmen diperlukan untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa, menurunkan tingkat kekristalan selulosa

sehingga meningkatkan fraksi amorph selulosa, dan meningkatkan porositas material (*Sánchez and Cardona, 2007; Zhu et al., 2008; Hsu et al., 2010*).

1.4.1. Proses Delignifikasi

Cadangan bahan bakar fosil Indonesia bahkan dunia sangat terbatas dan lambat laun akan semakin menipis, oleh karena itu sangat tidak bijaksana jika bahan bakar hanya bergantung dari fosil saja. Banyak pihak memikirkan cara lain untuk mendapatkan bahan bakar selain dari fosil yaitu melalui energi alternatif terbarukan. Salah satu bentuk energi terbarukan yaitu bioetanol yang dapat diproduksi dari tumbuhan. Oleh karena itu dikembangkan produksi bioetanol dengan menggunakan bahan yang mengandung selulosa. Salah satu bahan yang mengandung selulosa yaitu bambu.

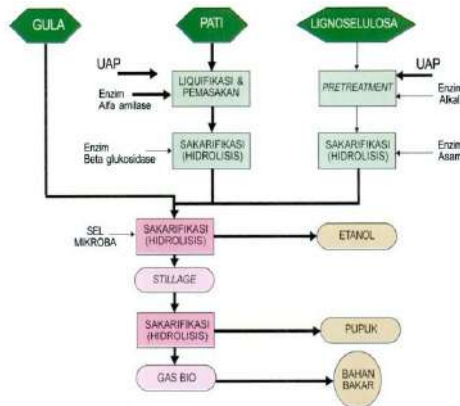
Delignifikasi bambu masih jarang diteliti sehingga belum dapat disimpulkan delignifikator mana yang akan menghasilkan kadar lignin paling minimum. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian tentang delignifikasi bambu guna mendapatkan hasil berupa lignin minimum sehingga dapat mengoptimalkan tahap selanjutnya pada pembuatan bioetanol. Pada beberapa kajian, delignifikasi umumnya menggunakan NaOH dan H_2SO_4 . Delignifikasi bertujuan untuk mengurangi kadar lignin di dalam bahan berlignoselulosa. Delignifikasi akan membuka struktur lignoselulosa agar selulosa menjadi lebih mudah diakses. Proses delignifikasi akan melarutkan kandungan lignin di

dalam bahan sehingga mempermudah proses pemisahan lignin dengan serat (Sumada, dkk. ,2011)

1.4.2. Proses Hidrolisis

Proses hidrolisis dipengaruhi dengan beberapa faktor, antara lain jumlah kandungan karbohidrat pada bahan baku, pH operasi atau konsentrasi asam yang digunakan, waktu hidrolisis, suhu hidrolisis dan katalisator (Sari, dkk, 2013).

Diagram alir pembuatan bioetanol terdapat pada gambar di bawah ini:



(Sumber: Prihandana, dkk, 2007)

Gambar 2.4. Diagram alir proses pembuatan bioetanol dari bahan baku gula, pati, dan ligno-selulosa

Pati merupakan komponen yang lebih kompleks daripada disakarida. Sebelum difermentasi, pati harus dipecah dengan menggunakan enzim amilase (banyak terdapat dalam gandum yang berkecambah) menjadi komponen

disakarida yaitu maltosa. Dengan menggunakan enzim lain yaitu maltase, maltosa akan dihidrolisa menjadi glukosa (Gumbira, 1987).

(1)

(2)

1.4.3. Proses Fermentasi

Dalam pembentukan alkohol melalui fermentasi, peran mikrobiologi sangat besar dan biasanya mikrobiologi yang digunakan untuk fermentasi mempunyai beberapa syarat sebagai berikut :

1. Mempunyai kemampuan untuk memfermentasi karbohidrat yang cocok secara cepat.
2. Bersifat membentuk flakulasi dan sedimentasi.
3. Mempunyai genetik yang stabil (tidak mudah mengalami mutasi).
4. Toleran terhadap alkohol yang tinggi (antara 14 – 15 %).
5. Mempunyai sifat regenerasi yang cepat (Kartika, 1992)

Minuman beralkohol yang dihasilkan tanpa distilasi (hasil fermentasi) biasanya mempunyai kadar alkohol antara 3–18 %, untuk mempertinggi kadar alkohol dalam produk sering kali hasil fermentasi di distilasi dan kadar alkohol yang dihasilkan antara 29–50 % (Sari, dkk, 2006). Prinsipnya reaksi proses pembentukan ethanol dengan fermentasi sebagai berikut :

(3)

Pada hasil fermentasi biasanya terbentuk larutan alkohol yang encer, karena sel-sel khamir akan mati bila kadar ethanol melebihi 12–15 %. (Gumbira Sa'id, 1987). Hasil fermentasi yang ideal adalah 51,1 % ethanol dan 48,9 % karbondioksida. Hasil fermentasi alkohol yang optimum dinyatakan dalam % glukosa yang difermentasi diantaranya : Ethyl alkohol 48,8 %, Karbondioksida 46,6 %, Gliserol 3,3 %, Asam suksinat 0,6 %, Selulosa dan sebagainya 1,2% (Soebijanto, 1986).

Faktor - faktor yang mempengaruhi dalam proses fermentasi antara lain pH yang baik untuk fermentasi antara pH 4 - 5, karena asam laktat baik untuk pertumbuhan ragi, tetapi keburukannya dapat tumbuh bakteri asam butirat yang dapat merugikan fermentasi dari ragi (Bahri, 1987). Waktu yang diperlukan untuk fermentasi tergantung pada temperatur, konsentrasi gula, pada umumnya waktu yang diperlukan antara 36-50 jam (Bahri, 1987). Pada umumnya suhu yang baik untuk proses fermentasi antara 25-30 °C, Semakin rendah suhu fermentasi akan semakin tinggi alkohol yang di hasilkan. Hal ini dikarenakan pada suhu yang rendah fermentasi akan lebih lengkap dan kehilangan alkohol karena terbawa oleh gas karbondioksida akan lebih sedikit (Agus, 2002).

Faktor – faktor yang mempengaruhi fermentasi :

s. Suhu

Suhu optimum untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan adalah 28 °C – 30 °C. Pada

waktu fermentasi terjadi kenaikan panas karena reaksi berjalan eksoterm. Untuk mencegah agar suhu fermentasi tidak naik, perlu pendinginan agar dipertahankan 28 °C – 30 °C (Hidayat, 2006).

b. Keasaman (pH)

Untuk fermentasi alkohol, khamir memerlukan media dengan suasana asam, yaitu antara pH 4,8 – 5,0. Pengaturan pH dapat dilakukan dengan penambahan asam jika substrat alkalis atau dengan basa jika substrat asam (Hidayat, 2006).

c. Nutrisi

Dalam kegiatannya khamir yang melakukan proses fermentasi alkohol memerlukan penambahan nutrisi untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan (Hidayat, 2006),

- Unsur C, ada faktor karbohidrat
- Unsur N, penambahan pupuk yang mengandung nitrogen misal ZA, urea, ammonia, dan sebagainya.
- Unsur P, dengan penambahan pupuk fosfat, misal NPK, TSP, DSP, dan sebagainya.
- Mineral – mineral.
- Vitamin – vitamin.
- Konsentrasi gula
- Kandungan gula akan sangat mempengaruhi proses fermentasi, kandungan gula optimum yang diberikan untuk fermentasi adalah 25%,

- untuk permulaan kadar gula yang digunakan adalah 16%.
- c. Konsentrasi starter
Volume starter yang baik untuk melakukan fermentasi adalah 1/10 bagian dari volume substrat (Sari, 2009).
 - d. Waktu fermentasi
Pada umumnya waktu yang dibutuhkan untuk fermentasi antara 36 – 50 jam. Waktu optimum yang dibutuhkan untuk fermentasi adalah ± 7 hari. Apabila lebih dari 7 hari akan menyebabkan semakin tinggi kadar bioetanol yang dihasilkan sehingga terjadi kematian pada bakteri (Yudy, 2011).

2.4. Proses Distilasi Batch

Distilasi batch biasanya dilakukan secara batch dalam bejana distilasi, uap yang terbentuk (V_m) segera diembunkan dan distilat (D) yang terjadi dipisahkan dari liquidida yang tertinggal dalam bejana (W). Karena uap akan lebih banyak mengandung komponen yang lebih *volatile* maka kadar residu yang lebih *volatile* makin lama makin kecil, dapat persamaan sebagai berikut:

$$V_m = - d/dt (W \cdot x_w) \quad (4)$$

$$V_m = - W \cdot dx_w/dt - x_w \cdot dW/dt \quad ; \quad V_m = D \cdot y_D$$

Pengurangan kecepatan aliran dalam *still-pot* =
kecepatan aliran keluar

$$W \cdot dx_w/dt + x_w \cdot dW/dt = - D \cdot y_D$$

$$\frac{dx_w}{dt} = (y_D - x_w) \frac{dW}{W dt} \quad (5)$$

Dalam pemisahan sistem multikomponen, diasumsikan bahwa liquida bercampur sempurna dimana $x_w = x_i$ dan $y_w = y_i$, maka (Henley and Seader, 1998):

$$\frac{dx_i}{dt} = (y_i - x_i) \frac{dW}{W dt} \quad (6)$$

Dimana: komposisi liquida di *bottom* (x_w), komposisi liquida komponen i (x_i), komposisi uap di distilat (y_D) dan komposisi uap komponen i (y_i).

Dengan kondisi awal : $x = x_0$ dan $W = W_0$, kemudian diintegrasikan menjadi:

$$\int_{x_0}^x \frac{dx_i}{(y_i - x_i)} = \int_{W_0}^W \frac{dW}{W} = \ln \left(\frac{W}{W_0} \right) \quad ; \quad \frac{dx_i}{(y_i - x_i)} = d \ln \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

Didefinisikan *dimensionless* waktu (ξ) adalah sebagai berikut:

$$\xi = \ln \left(\frac{W_0}{W} \right) \quad (7)$$

Dimana, ξ = bilangan tak berdimensi yang tergantung pada waktu, disubstitusi sehingga diperoleh Persamaan:

$$\frac{dx_i}{(y_i - x_i)} = d\xi \quad (8)$$

Persamaan diatas merupakan model *Differential-Algebraic-Equations* (DAEs) untuk distilasi batch sederhana sistem multi komponen, dengan asumsi tidak membentuk dua phase liquida. Persamaan diatas dengan *forward-finite-difference*, akan diperoleh komposisi liquida di *bottom* ($x_{i,j+1}$) sebagai fungsi $\Delta\xi$, sehingga didapat sebagai berikut :

$$x_{i,j+1} = x_{i,j} + (y_{i,j} - x_{i,j}) \Delta\xi \quad (9)$$

Dimana komposisi liquida mula-mula di *bottom* ($x_{i,j}$) dan $\Delta\xi$ ditentukan, sedangkan komposisi uap ($y_{i,j}$) dihitung menggunakan Persamaan BUBL T (*Henley and Seader, 1998*).

2.4.1. APLIKASI TEKNOLOGI MIKRO KONTROLLER

Aplikasi teknologi mikro kontroler *Proportional Integral Derivative* (PID) temperatur type *Arduino* dan aplikasi teknologi mikro kontroller PID kecepatan type *Arduino*, kedua proses dilengkapi program simulasi dengan metoda *Fuzzy* menggunakan bahasa Matlab atau Delphi.

1.4.6. Mikro Kontroller Suhu IC LM35

Sensor suhu IC LM35 merupakan chip IC produksi *Natioanal Semiconductor* yang berfungsi untuk mengetahui temperatur suatu objek atau ruangan dalam bentuk besaran elektrik, atau dapat juga di definisikan

sebagai komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah perubahan temperatur yang diterima dalam perubahan besaran elektrik. Sensor suhu IC LM35 dapat mengubah perubahan temperatur menjadi perubahan tegangan pada bagian outputnya. Sensor suhu IC LM35 membutuhkan sumber tegangan DC +5 volt dan konsumsi arus DC sebesar 60 μ A dalam beroperasi. Bentuk fisik sensor suhu LM35 merupakan chip IC dengan kemasan yang bervariasi, pada umumnya kemasan sensor suhu LM35 adalah kemasan TO-92 seperti terlihat pada gambar dibawah (Fahmi, 2006).

2.4.2. Mikro-Kontroller Kecepatan Arduino Uno

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 digital pin input/output, dimana 6 pin digunakan sebagai output PWM, 6 pin input analog, 16 MHz resonator keramik, koneksi USB, jack catu daya eksternal, header ICSP, dan tombol reset. Ini semua berisi hal-hal yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler; sederhana saja, hanya dengan menghubungkannya ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan dengan adaptor AC-DC dan atau baterai untuk memulai menggunakan papan arduino. Arduino Uno berbeda dari semua papan Uno sebelumnya yang sudah tidak menggunakan chip driver FTDI USB-to-serial. Sekarang, Arduino Uno menggunakan fitur Atmega16U2 (Atmega8U2 sampai dengan versi R2) yang diprogram sebagai konverter USB-to-serial (Fahmi,

2006). “Uno” berarti satu yang diambil dari bahasa Italia dan penggunaan nama ini untuk menandai peluncuran Arduino 1.0. Uno dan versi 1.0 akan menjadi versi referensi Arduino, yang akan terus berkembang. Uno adalah yang terbaru dalam serangkaian papan USB Arduino, dan digunakan sebagai model referensi untuk platform Arduino.

Karakter DC Motor non linier dan magnet permanen linier. Bebas-linear karakteristik DC Motor seperti gesekan dan saturasi dapat menurunkan kinerja kontrol konvensional. Hal ini dapat diatasi dengan kontrol cerdas berbasis cerdas buatan (AI). Dalam studi ini, dirancang model DC motor speed control menggunakan kontrol beberapa, yang autotuning matlab PID control, PID dengan tuning optimasi koloni semut (ACO). Hasil kinerja model DC motor speed control menggunakan PID-ACO ditemukan memiliki kesalahan mapan, waktu menetap dan overshoot lebih baik daripada PID Autotuning Matlab, PID-ZN (Ziegler Nichols PID). Dari hasil menjalankan program mendapatkan bahwa PID-ACO dalam studi ini adalah controller terbaik dengan waktu tercepat menyelesaikan 0,55 detik dan overshoot terkecil adalah 1.017.

Karena memiliki torsi yang relatif tinggi untuk memikul beban dibandingkan dengan motor magnet permanen dengan ukuran yang sama, motor DC yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Motor permanen

magnet bersifat linear sedangkan motor DC bersifat non linear. Aplikasi yang membutuhkan control kecepatannya secara otomatis akan sulit mengaplikasikan ketidak linieran Motor DC. Non linear model dinamik dari motor DC memiliki keterbatasan pada desain dari rangkaian *close-loop feedback controller*. Saturasi dan gesekan dapat menurunkan kinerja dari Kontrol Konvensional. (Dwi Hartanto, 2001).

Kontroler PID sering digunakan untuk aplikasi kontrol motor karena struktur sederhana dan algoritma kontrol mudah untuk dipahami. Parameter kontroler umumnya menggunakan *Try And Error* atau metode respon frekuensi *Ziegler-Nichols*. Metode ini memiliki hasil yang sukses tapi cukup lama dan untuk mendapatkan respon sistem yang memuaskan. Kontrol cerdas berbasis *Artificial Intelligent* (AI) sudah banyak berkembang untuk memperbaiki kontrol konvensional. Oleh sebab itu pada paper ini akan mendesain model kontrol motor DC menggunakan beberapa macam kontrol, yaitu kontrol PID yang dituning dengan *autotuning* matlab, PID yang dituning dengan *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk mengontrol kecepatan motor DC. Hasil paper ini diharapkan memiliki *steady state error*, *settling time* dan *overshoot* yang lebih baik.

2.4.3. Pengertian Motor DC

Motor DC adalah mesin listrik yang mengkonsumsi daya listrik DC sehingga menghasilkan torsi mekanik. Secara

historis, Mesin DC diklasifikasikan berdasarkan koneksi (hubungan) dari rangkaian field dan rangkaian *armature*. Pada motor DC seri, rangkaian *field* dihubungkan seri dengan rangkaian *armature* dimana kedua arus *field* dan arus *armature* adalah identik atau sama. Pada motor DC seri memiliki karakteristik starting torsi yang tinggi yang membuatnya cocok untuk aplikasi yang memiliki *inertia* serta sistem traksi tinggi dan memiliki *non linear* model yang dinamik.

2.4.5. PID Controller

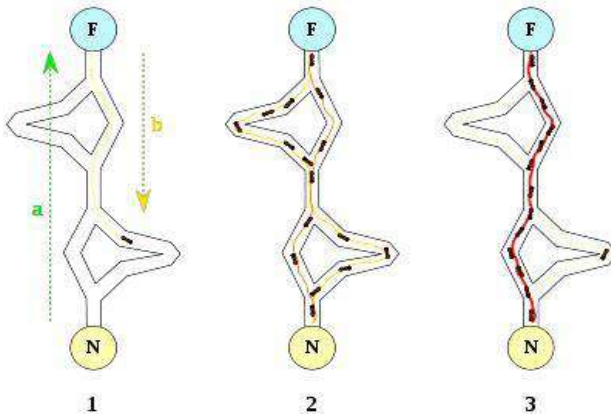
Kontrol PID adalah sistem kontrol gabungan antara kontrol proporsional, integral, dan turunan (*derivative*). Pada metode ini, penalaan dilakukan dalam kalang tertutup dimana masukan referensi yang digunakan adalah fungsi tangga (step). Pengendali pada metode ini hanya pengendali proporsional. K_p , dinaikkan dari 0 hingga nilai kritis K_p , sehingga diperoleh keluaran yang terus-menerus berosilasi dengan amplitudo yang sama. Nilai kritis K_p ini disebut sebagai *ultimated gain*. Nilai *ultimated period*, T_u , diperoleh setelah keluaran sistem mencapai kondisi yang terus menerus berosilasi.

2.4.6. Ant Colony Optimization (ACO)

Semut merupakan tergolong salah satu hewan yang pintar, mereka mampu mencapai makannanya dengan jalur yang terpendek dan tercepat. Perilaku semut adalah inspirasi untuk Algoritma ant colony Optimization ini. Pada awalnya berjalan secara acak, setelah mendapatkan

kembali makanan untuk koloni mereka juga meletakkan feromon atau jejak. Jika semut lain menemukan jalan semacam itu, mereka tidak akan bepergian secara acak, tapi semut tidak mengikuti jejak lagi, jika pada akhirnya mereka menemukan makanan baru. Ketika seekor semut menemukan jalur (pendek) dari koloni ke sumber makanan, semut lain akan lebih cenderung mengikuti jalan itu.

Langkah - langkah Penyelesaian Komputasi Pada ACO terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Langkah-langkah komputasi ACO

Kemampuan individual terbatas semut telah mampu menemukan jalan terpendek antara sumber makanan dan sarang.

- a. Semut pertama menemukan sumber makanan (F), melalui cara apapun (a), kemudian kembali ke sarang (N), meninggalkan jejak (b)

- b. Semut berikutnya mengikuti empat cara yang mungkin, tetapi iya memilih jalur sebagai rute terpendek.
- c. Semut mengambil rute terpendek, dan jejak route yang panjang akan hilang.

Seekor semut k ketika melewati ruas akan meninggalkan pheromone. Jumlah pheromone yang terdapat pada ruas ij setelah dilewati semut k diberikan dengan rumus:

$$\tau_{i,j} \leftarrow \tau_{i,j} + \Delta\tau^k \tag{10}$$

Dengan meningkatnya nilai pheromone pada ruas i-j, maka kemungkinan ruas ini akan dipilih lagi pada iterasi berikutnya semakin besar. Setelah sejumlah simpul dilewati maka akan terjadi penguapan pheromone dengan aturan sebagai berikut:

$$\tau_{i,j} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{i,j}, j; \forall (i,j) \in A \tag{11}$$

Penurunan jumlah pheromone memungkinkan semut untuk mengeksplorasi lintasan yang berbeda selama proses pencarian. Ini juga akan menghilangkan kemungkinan memilih lintasan yang kurang bagus. Selain itu, ini juga membantu membatasi nilai maksimum yang dicapai oleh suatu lintasan pheromone.

2.4.7. Penggunaan ACO dalam penalaan PID

Gambar 2. menunjukkan diagram alur algoritma metode *Ant Colony Optimization*(ACO) yang digunakan pada kajian ini. Fungsi objektif yang digunakan untuk menguji kestabilan sistem adalah dengan *Integral Time Absolut*

Error (ITAE).

$$ITAE = \int_0^t t \omega(t) dt \quad (12)$$

Parameter PID yang diperoleh ACO adalah Kd, Kp, Ki. Kajian produksi bioetanol berbahan baku BAMBU merupakan kajian laboratorium dilengkapi aplikasi teknologi mikro kontroller *Proportional Integral Derivative* (PID) temperatur dan kecepatan type *Arduino*, metodologi dan sistematika pelaksanaan kajian seperti ditunjukkan dalam blok diagram berikut ini.

Kajian Pada Tahun Pertama (I)

Kajian pada tahun pertama meliputi :

- a. Proses fisik yaitu merubah bambu batangan menjadi dalam bentuk serbuk dengan ukuran 100 mesh, hal ini dimaksudkan untuk mempercepat proses pretreatmen, delignifikasi maupun hidrolisa.
- b. Analisis kualitas bambu dimaksudkan untuk mengetahui kadar selulosa, lignin, bahan terlarut dan pentosa awal.
- c. Proses pretreatmen dengan asam sulfat (H_2SO_4) dimaksudkan untuk menghilangkan (degradasi) senyawa pentosa dan bahan terlarut lainnya yang terkandung dalam bambu. Aspek yang dikaji meliputi :
 1. Perbandingan berat bambu terhadap volume pelarut (larutan H_2SO_4)
 2. Konsentrasi larutan asam sulfat
 3. Waktu proses pretreatmen

- d. Proses delignifikasi dengan natrium hidroksida (NaOH) dimaksudkan untuk mendegradasi senyawa lignin yang terkandung dalam bambu. Aspek yang dikaji meliputi:
1. Perbandingan berat bambu terhadap volume pelarut (larutan NaOH)
 2. Konsentrasi larutan NaOH
 3. Waktu proses delignifikasi
- e. Hasil yang diperoleh merupakan optimasi proses pretreatment terhadap bahan terlarut dan pentosa serta optimasi proses delignifikasi terhadap senyawa lignin, dan selulosa yang siap untuk dihidrolisis.
- f. Proses hidrolisis dengan enzim selulase dimaksudkan untuk merubah selulosa menjadi glukosa. Aspek yang dikaji meliputi :
1. Perbandingan berat selulosa terhadap volume pelarut (larutan enzim selulase)
 2. Konsentrasi enzim selulase
 3. Waktu proses hidrolisa
- Diperoleh kondisi optimum, kemudian di lengkapi dengan dilengkapi aplikasi teknologi mikro controller *Proportional Integral Derivative* (PID) temperatur type *Arduino*
- g. Proses fermentasi dengan enzim *sacharomycess cerevisiae*, *zymomonas mobilis* dan campuran enzim dimaksudkan untuk merubah glukosa menjadi bioetanol. Aspek yang dikaji meliputi :

1. Perbandingan berat (volume) setiap enzim yang diaplikasikan terhadap larutan glukosa
2. Konsentrasi larutan glukosa
3. Waktu fermentasi

Diperoleh kondisi optimum pada proses fermentasi yang dilengkapi dengan dilengkapi aplikasi teknologi mikro kontroller *Proportional Integral Derivative* (PID) kecepatan type *Arduino*

Kajian Pada Tahun Kedua (II)

Kajian pada tahun kedua meliputi :

- a. Hasil yang diperoleh merupakan optimasi proses hidrolisis selulosa menjadi glukosa dan optimasi proses fermentasi glukosa menjadi bioetanol.
- b. Proses distilasi produk fermentasi untuk peningkatan konsentrasi (pemurnian) bioetanol. Aspek yang dikaji meliputi:
 1. Konsentrasi umpan (kadar bioetanol) masuk kolom distilasi
 2. Waktu operasional kolom distilasi
- c. Hasil yang diperoleh merupakan rancangan menara (kolom) distilasi untuk pemurnian bioetanol berbahan baku bambu.

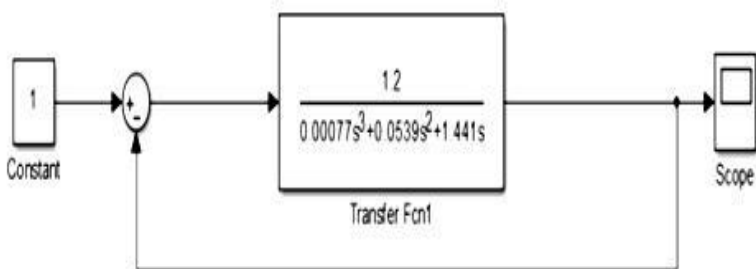
Diperoleh kondisi optimum pada proses distilasi yang dilengkapi dengan mikro controller *Proportional Integral*

Derivative (PID) temperatur type *Arduino* dan *Valve refluks ratio* di lengkapi dengan mikro kontroller *Proportional Integral Derivative* (PID) kecepatan type *Arduino*.

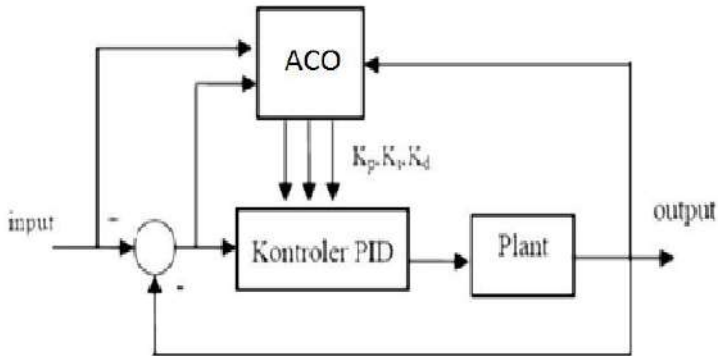
Lokasi kajian dilakukan di dua tempat yaitu: di laboratorium Riset Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Pembangunan Nasional (UPN) “Veteran” Jawa Timur dan di laboratorium PT. MOLINDO.

1.3. Pemodelan Sistem

Dari *transfer function* rangkaian motor DC dapat dimodelkan ke dalam bentuk diagram seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Diagram rangkaian motor DC



Gambar 4.3. Kontroler PID-ACO

Output motor DC diumpan balikkan ke input PID yang selanjutnya menghitung besar selisih atau *error* yang nantinya digunakan untuk memperbaiki nilai konstanta PID.

Bambu merupakan tanaman yang sudah dikenal luas oleh masyarakat Indonesia yang dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan perkakas dapur, bahan pembuatan aneka keperluan pertanian, bahan bangunan, bahan kerajinan dan lain-lain. Bambu dapat juga dijadikan bioetanol sebagai alternatif bahan baku bioethanol, mengingat bahan baku untuk bioethanol sangat terbatas untuk mengatasi krisis energi pada saat ini. Oleh karena itu, perlu adanya budidaya bambu untuk dapat meningkatkan jumlah bambu yang akan diolah menjadi bioetanol. Hasil kajian: “Aplikasi Teknologi Mikro Controller dengan Sistem Integrasi Teknologi Informatika pada Proses Hidrolisis, Fermentasi dan Distilasi Batch”, seperti berikut:

1.3.1 Kualitas Bambu



Gambar 5.1. a) Bambu Daerah Gunung Arjuno Malang, b) Serat bambu, c) Serat bambu ukuran 100 mesh

Tabel 5.1. Kualitas Bambu Daerah Gunung Arjuno Malang

No	Parameter	Konsentrasi 1 (%)	Konsentrasi 2 (%)	Konsentrasi Rata-rata (%)
1	Selulosa	42,30	53,50	47,90
2	Lignin	19,80	26,60	23,20
3	Pentosan	1,24	3,77	4,39

Sumber : Laboratorium Riset FTI/TK UPN "Veteran" Jawa Timur

Berdasarkan hasil analisa laboratorium yang tercantum dalam Tabel 5.1. tersebut diatas, diketahui bahwa jumlah unsur pembentuk bioethanol (selulose), untuk selulosa rata-rata sebesar 47,9 %, ini berarti jika seluruhnya bisa terhidrolisis secara sempurna diperoleh glukosa dalam jumlah yang besar. Dengan lepasnya lignin (23,2 %) dan pentosan (4,39 %) dalam bambu, akan diperoleh kadar

glukosa yang tinggi, dan proses lanjutan dengan proses fermentasi akan diperoleh kadar alkohol yang tinggi. Mengingat komposisi selulosa yang tinggi pada bambu, maka proses hidrolisis diharapkan berjalan dengan sempurna, sehingga jumlah bambu terdegradasi secara sempurna menjadi selulosa sebesar 47,9 %.

1.3.2 Proses Pretreatment

Bahan-bahan lignoselulosa umumnya terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin, untuk memperoleh selulose yang tinggi dilakukan proses pretreatment, merupakan tahapan proses yang sangat penting yang dapat mempengaruhi produksi glukosa maupun xilosa sebagai bahan baku pembuatan bioetanol. Pretreatment bertujuan untuk memecah ikatan lignin (delignifikasi), menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa, merusak struktur kristal dari selulosa serta meningkatkan porositas bahan, rusaknya struktur kristal selulosa akan mempermudah terurainya selulosa menjadi glukosa.





Gambar 5.2. Proses pretreatmen bambu ukuran 100 mesh

Proses pretreatmen merupakan hal yang sangat penting dan salah satu proses yang mahal pada proses konversi biomassa menjadi bioetanol, sehingga sangat potensial untuk dikembangkan, supaya diperoleh bioethanol yang lebih efisien dan ekonomis (Lee *et al.*, 1994; Lynd *et al.*, 1996). Proses pretreatmen untuk meningkatkan area permukaan (porositas) selulosa, sehingga dapat meningkatkan konversi selulosa menjadi glukosa (Sharma *et al.*, 2002). Oleh karena itu pretreatmen diperlukan untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa, menurunkan tingkat kekristalan selulosa sehingga meningkatkan fraksi amorph selulosa, dan meningkatkan porositas material (Sánchez and Cardona, 2007; Zhu *et al.*, 2008; Hsu *et al.*, 2010).

1.4. Proses Delignifikasi

Delignifikasi bambu masih jarang diteliti sehingga belum dapat disimpulkan delignifikator mana yang akan menghasilkan kadar lignin paling minimum. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian tentang delignifikasi

bambu untuk mendapatkan hasil berupa lignin maksimum, sehingga dapat mengoptimalkan proses fermentasi selanjutnya pada pembuatan bioetanol. Delignifikasi umumnya menggunakan NaOH dan H₂SO₄, untuk memaksimalkan kadar lignin di dalam bahan berlignoselulosa. (Sumada, dkk., 2011)

Pada suhu 100 °C sampai 125 °C, konsentrasi lignin 24,8 % profil stabil pada berat bambu 50 gram sampai 250 gram. Pada kajian *Nibedita Sarkar*, 2012 diperoleh suhu optimum pada 168 °C. Lignin adalah bagian utama dari dinding sel tanaman yang merupakan polimer terbanyak setelah selulosa (Anindyawati dan Trisanti. 2010) dan merupakan pelindung selulosa dan hemiselulosa. Lignin dapat mengganggu proses hidrolisa karena akan menghambat aktivitas enzim di dalam ragi dalam pengkonversian gula sederhana menjadi etanol (Wiratmaja, dkk., 2011) Kandungan lignin dalam kayu daun jarum lebih tinggi daripada dalam kayu daun lebar. Di samping itu, terdapat beberapa perbedaan struktur lignin dalam kayu daun jarum dan dalam kayu daun lebar (*Fengel and Wegener*, 1984)

Pada waktu 90 menit sampai 120 menit, konsentrasi lignin 24,8 % profil maksimum pada berat bambu 50 gram sampai 250 gram, pada kajian *Nibedita Sarkar*, 2012 diperoleh range waktu 30 menit sampai 40 menit. Ada beberapa faktor yang mendorong makin intensifnya dilakukan kajian pemanfaatan bahan lignoselulosa

menjadi sumber energi, dalam hal ini etanol. Pertama, kebutuhan dan konsumsi energi terus meningkat dari tahun ke tahun, sementara sumber daya alam yang dapat menghasilkan energi makin terkuras karena sebagian besar sumber energi saat ini berasal dari sumber daya alam yang tidak terbarukan, seperti minyak, gas, dan batu bara. Kedua, bioetanol memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan bensin karena dapat meningkatkan efisiensi pembakaran (*Hambali et al., 2007*)

1.5. Proses Hidrolisis

Berbeda dari selulosa yang merupakan homopolisakarida dengan monomer glukosa dan derajat polimerisasi yang tinggi (10.000–14.000 unit), rantai utama hemiselulosa dapat terdiri atas hanya satu jenis monomer (homopolimer), seperti xilan, atau terdiri atas dua jenis atau lebih monomer (heteropolimer), seperti glukomannan. Rantai molekul hemiselulosa pun lebih pendek daripada selulosa. (*Fengel and Wegener, 1984; Howard et al., 2003*). Hemiselulosa merupakan suatu kesatuan yang membangun komposisi serat dan mempunyai peranan yang penting karena bersifat hidrofilik sehingga berfungsi sebagai perekat antar selulosa yang menunjang kekuatan fisik serat. Kehilangan hemiselulosa akan menyebabkan terjadinya lubang diantara fibril dan kurangnya ikatan antar serat (*Anindyawati dkk., 2010*).

Pada suhu 100 °C, konsentrasi selulosa 48 % profil maksimum pada berat bambu 150 gram. Selulosa dan pati merupakan material yang diperlukan untuk proses pembuatan etanol, selulosa mendekati sama dengan pati, yaitu senyawa polimer dari glukosa, tetapi selulosa dan pati berbeda karena memiliki gugus ikatan C yang berbeda, ikatan polimer selulosa terjadi pada gugus C-beta sedangkan pati memiliki ikatan polimer pada gugus C-alfa. Selulosa berfungsi sebagai bahan struktur dalam jaringan tumbuhan dalam bentuk campuran polimer homolog dan biasanya disertai polisakarida lain dan lignin dalam jumlah yang beragam, molekul selulosa memanjang dan kaku, meskipun dalam larutan (Groggins,1985).

Pada waktu 90 menit, konsentrasi selulose 47,8 % profil maksimum pada berat bambu 150 gram. Pada kajian *Nibedita Sarkar*, 2012 diperoleh konsentrasi selulose 47,8 % dari kayu keras dan lunak. Salah satu bahan yang mengandung selulosa yaitu bambu. Persentase selulosa pada bambu yaitu 42,4% – 53,6%. Persentase komponen lain yang terkandung dalambatang bambu adalah lignin (19,8% - 26,6%), pentosan (1,24% - 3,77%), zat ekstraktif (4,5% - 9,9%), air (15% - 20%), abu (1,24% -3,77%), dan SiO₂ (0,1% - 1,78%). Persentase selulosa yang lumayan besar ini menjadikan bambu sebagai salah satu sumber bioetanol selulosa (Fatriasari dan Hermiati, 2008).

1.6. Proses Fermentasi

Untuk rasio *Sacharomyces Cereviciae* terhadap filtrate glukosa 10:7, konsentrasi glukosa berkisar antara 4% sampai 10%, dimana ratio filtrat selulosa 13% mempunyai konsentrasi glukosa lebih tinggi dibandingkan ratio filtrat selulosa 5% dan 9%, hal tersebut disebabkan semakin tinggi konsentrasi selulosa, maka semakin tinggi konsentrasi glukosa, sehingga pada waktu 10 hari keatas konsentrasi glukosa cenderung menurun dimana merupakan fase mati untuk *Sacharomyces Cereviciae*. Optimasi didekati dengan polynomial orde 2 dari masing-masing kurva, untuk ratio filtrat selulosa 5% mempunyai nilai kedekatan hasil (R^2) paling tinggi yaitu 0,9947 sedangkan ratio filtrat selulosa 9% mempunyai kedekatan hasil yang paling rendah yaitu 0,9274. Sedangkan untuk ratio filtrat selulosa 13% mempunyai nilai kedekatan hasil yang medium, akan tetapi mempunyai konsentrasi glukosa yang paling tinggi.

Waktu optimum pada 10 hari, konsentrasi glukosa tertinggi 9,88%, rasio filtrat selulosa 13%, nilai kedekatan hasil (R^2) yaitu 0,9839 dengan pendekatan kurva secara polynomial orde 2. Daerah waktu dibawah 10 hari merupakan fase pertumbuhan *Sacharomyces Cereviciae*, diikuti peningkatan konsentrasi glukosa. Daerah waktu diatas 10 hari merupakan fase kematian *Sacharomyces Cereviciae*, diikuti penurunan konsentrasi glukosa.

Rasio *Sacharomyces Cereviciae* terhadap filtrate glukosa

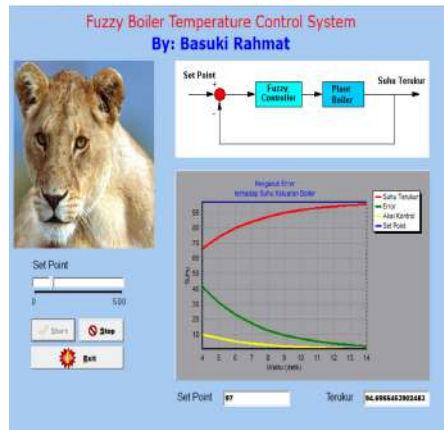
10:7, rasio filtrat selulosa 13 % dan waktu 10 hari merupakan kondisi optimum yang ditetapkan, karena penambahan hasil konsentrasi glukosa sudah tidak signifikan.

Rasio *Zymomonas Mobilis* terhadap filtrate glukosa 10:7, rasio filtrat selulosa 13 % dan waktu 8 hari merupakan kondisi optimum yang ditetapkan, karena penambahan hasil konsentrasi glukosa sudah tidak signifikan. Untuk *Zymomonas Mobilis* waktu optimum lebih kecil yaitu 8 hari, akan tetapi fase kematian *Zymomonas Mobilis* lebih cepat, sehingga waktu optimum pada 8 hari. Range waktu dibawah 8 hari dengan *Zymomonas Mobilis* menunjukkan kurva peningkatan hasil konsentrasi glukosa yang lebih tinggi pada rasio filtrat selulosa 13 % dibandingkan *Sacharomyces Cereviciae*. Kadar ethanol pada proses fermentasi sebesar 20,88% dengan rasio *Sacharomyces Cereviciae* dan *Zymomonas Mobilis* terhadap filtrat glukosa 5:4.

1.6. Mikro Kontroler Temperatur PID

Sistem hybrid kendali PID - logika *fuzzy* ini dikembangkan oleh *OMRON's Industrial Temperature Regulator*. Kemudian diaplikasikan pada teknologi mikro controller *Proportional Integral Derivative* (PID) temperatur type *Arduino* pada proses hidrolisis menggunakan Metode Fuzzy. Sistem utama adalah kendali PID, sedangkan logika *fuzzy* disini berfungsi untuk memperbaiki respon dan *recovery time* terhadap *disturbance* seperti terlihat

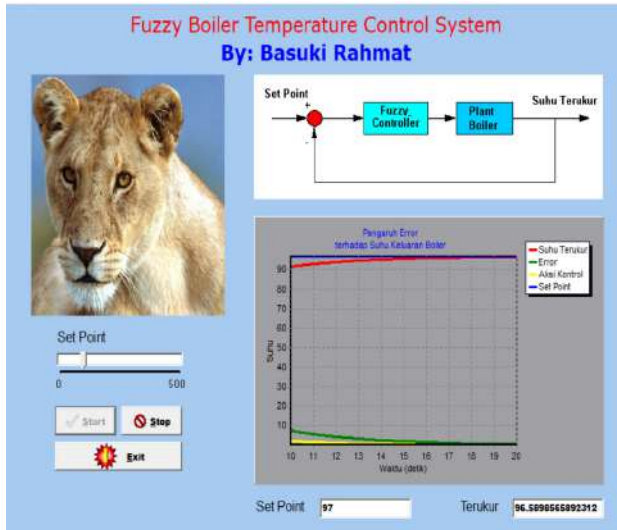
pada Gambar 5.9. Output dari *fuzzy* kontrol unit yang dihasilkan mempunyai beban lebih kecil dari kendali PID, artinya range dari output membership function telah ditetapkan.



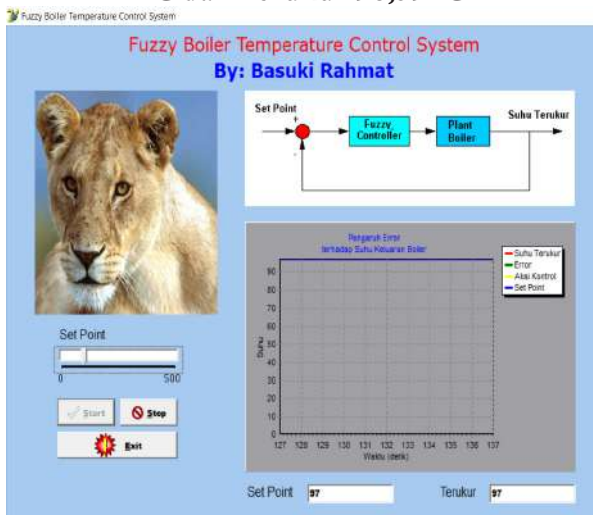
Gambar 5.9. Profil Suhu fungsi Waktu pada set point 97 °C dan Terukur 94,696 °C

Pada waktu 14 detik, set point 97 °C menunjukkan aksi kontrol dan *error* menunjukkan suhu dibawah 10 °C dan suhu terukur 94,696 °C. Dengan berjalannya waktu akan diperoleh suhu sesuai set point, seperti Gambar 5.9.

Pada waktu 20 detik, set point 97 °C menunjukkan aksi kontrol dan *error* menunjukkan suhu dibawah 0 °C dan suhu terukur 96,59 °C. Dengan berjalannya waktu akan diperoleh suhu sesuai set point, seperti Gambar 5.10.



Gambar 5.10. Profil Suhu fungsi Waktu pada set point 97 °C dan Terukur 96,59 °C



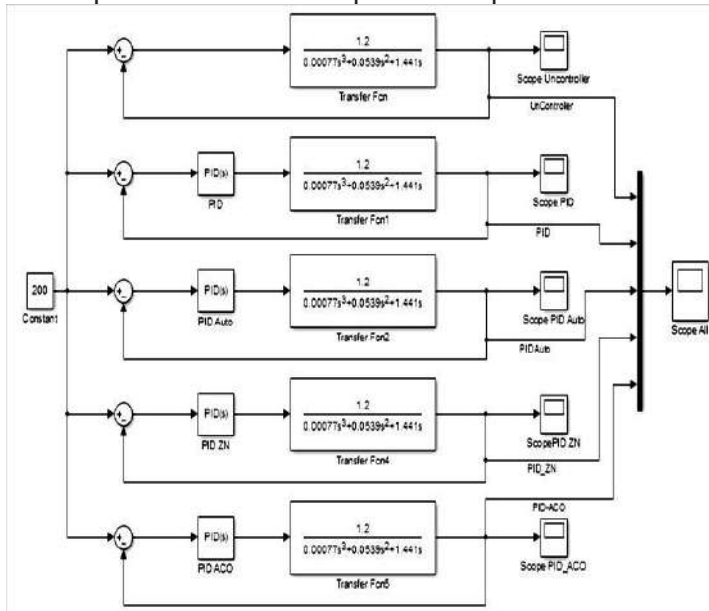
Gambar 5.11. Profil Suhu fungsi Waktu pada set point 97 °C dan Terukur 97°C

Pada waktu 137 detik, set point 97 °C menunjukkan

aksi kontrol dan *error* menunjukkan suhu dibawah 0 °C dan suhu terukur 97 °C, seperti Gambar 5.11. Teknologi mikro kontroller *Proportional Integral Derivative* (PID) temperatur type *Arduino* pada proses hidrolisis menggunakan Metode Fuzzy, pada pemanasan 97 °C dibutuhkan range suhu 137 detik, sebagai dasar dalam perancangan alat pada proses hidrolisis.

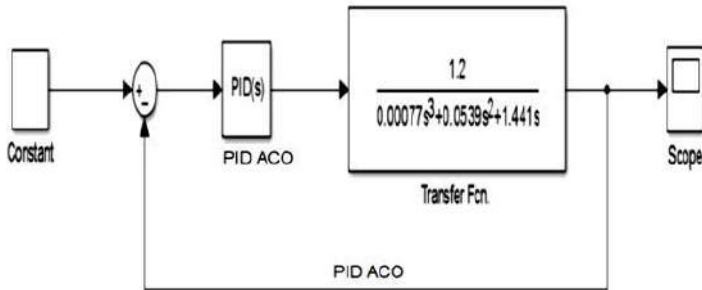
1.6. Mikro Kontroler Kecepatan dengan PID-ACO

Model mikro kontroler kecepatan motor DC dengan beberapa model kontrol dapat dilihat pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12. Struktur mikro kontroler PID-ACO

Perancangan mikro kontroler kecepatan motor DC dengan beberapa model kontrol dapat dilihat pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13. Blok diagram perancangan model pengaturan kecepatan motor DC

Konstanta K_p , K_i dan K_d dicari dengan bantuan program Matlab 2013a dengan metode ACO. Hasil iterasi akan diperoleh nilai K_p , K_i dan K_d yang paling tepat untuk mendapatkan optimasi motor DC.

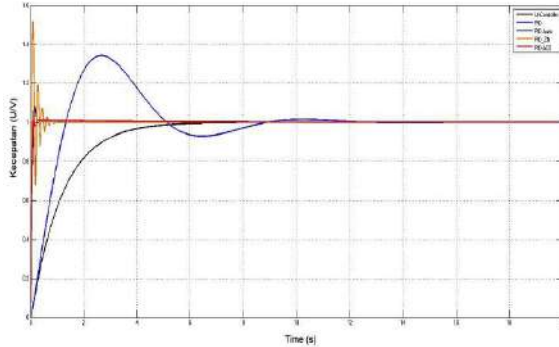
Tabel 5.2. Hasil Running Program Kontrol Motor DC berbagai controller

	Tanpa kontrol	PID standart	PID Auto Tuning	PID Ziegler-Nichols	PID ACO
K_p	-	1	20,1979	49,41	21,8637
K_i	-	1	2,8623	0,0188	4,7952
K_d	-	0	0,1264	0,075	0,4624
Overshoots (n rpm)	-	1,34	1,08	1,5	1,017
Settling time (detik)	16,01	25,5	5,26	1,75	0,55

Haril hasil Gambar 5.14 dapat dijelaskan bahwa:

- a. Dari *running* tanpa kontroller dapat diartikan bahwa tidak terjadi *overshoots* pada kecepatan motor DC, akan tetapi *settling time* motor DC pada saat $t = 16,01$ detik. Kecepatan motor akan mencapai putaran normal pada waktu 16,01 detik.
- b. Dari *running* PID kontroller standart dapat diartikan bahwa terjadi *overshoots* maks sebesar $1,34n$ rpm pada saat $t = 2,6$ detik, *undershoots* $0,93n$ rpm pada saat $0,65$ dengan *settling time* 25,5 detik. Kecepatan motor akan mencapai putaran konstan lebih lama daripada tanpa menggunakan PID kontroller yaitu pada waktu 25,5 detik.
- c. Dari *running* PID Auto tuning dapat diartikan bahwa terjadi *overshoots* maks sebesar $1,02n$ rpm pada saat $t = 0,16$ detik, *overshoots* $1,01n$ pada saat $0,41$ detik dengan *settling time* 5,26 detik. Kecepatan motor akan mencapai putaran konstan pada waktu 5,26 detik.
- d. Dari *running* PID Ziegler-Nichols dapat diartikan bahwa terjadi *overshoots* maks sebesar $1,52n$ rpm pada saat $t = 0,09$ detik, *overshoots* $1,19n$ rpm pada saat $t = 0,28$ dan $1,07n$ rpm pada $t = 0,95$ dengan *settlingtime* 1,75 d etik. Kecepatan motor akan mencapai putaran konstan pada waktu 1,75 detik.
- e. Dari *running* PID ACO dapat diartikan bahwa terjadi *overshoots* maks sebesar $1,017n$ rpm pada saat $t =$

0,125 detik, dengan *settling time* 0,55 detik. Kecepatan motor akan mencapai putaran konstan lebih lama daripada tanpa menggunakan PID controller yaitu pada waktu 0,55 detik.



Gambar 5.14. Hasil running program mikro kontrol motor DC kecepatan

Dari hasil Gambar 5.14 diatas dapat disimpulkan bahwa dua controller yang bisa dipakai sebagai acuan yaitu PID *Auto tuning* dengan *overshot* 1,08n rpm dengan *settling time* 5,26 dan PID ACO dengan *overshot* 1,017n rpm dengan *settling time* 0,55. Dari dua controller ini bisa dipilih PID ACO sebagai controller terbaik dengan *settling time* tercepat dan *overshot* paling kecil.

OPTIMASI GLUKOSA DAN BIOETANOL DARI LIMBAH CAIR MENGANDUNG PATI DAN GLUKOSA DENGAN RSM



6.1 Pengenalan Response Surface Methodology (RSM)

Response Surface Methodology (RSM) merupakan sebuah pendekatan statistik yang digunakan untuk mengoptimalkan proses yang melibatkan sejumlah variabel independen yang memengaruhi variabel respons atau output. RSM diperkenalkan pertama kali oleh Box dan Wilson pada tahun 1951, dan sejak saat itu menjadi salah satu metode yang populer dalam kajian eksperimental, terutama dalam bidang teknik, manufaktur, dan ilmu pengetahuan.

Pada dasarnya, RSM bertujuan untuk memahami hubungan antara variabel-variabel input dengan respons yang dihasilkan melalui eksperimen yang terencana. Metode ini membantu penulis mengidentifikasi kondisi optimal dari suatu proses atau sistem yang menghasilkan output yang diinginkan dengan meminimalkan atau memaksimalkan variabel respons. Selain itu, RSM juga bermanfaat dalam mengidentifikasi interaksi antara variabel-variabel yang terlibat, yang sering kali tidak tampak secara langsung melalui analisis sederhana.

RSM bekerja dengan memodelkan data yang diperoleh

dari eksperimen menggunakan persamaan polinomial. Persamaan ini kemudian digunakan untuk memetakan permukaan respons, yang merupakan representasi visual dari hubungan antara variabel-variabel input dan output. Melalui permukaan respons ini, penulis dapat menentukan titik-titik di mana respons optimal berada, serta bagaimana perubahan dalam variabel input mempengaruhi hasil akhir.

Penggunaan RSM melibatkan beberapa tahapan penting, dimulai dari desain eksperimen yang cermat, analisis data, hingga penentuan model polinomial yang paling sesuai. Salah satu kelebihan utama dari RSM adalah kemampuannya untuk memberikan solusi yang mendekati optimal tanpa perlu menjalankan seluruh kombinasi eksperimen yang mungkin, sehingga menghemat waktu dan sumber daya.

Dalam berbagai aplikasi, RSM sering digunakan untuk mengoptimalkan proses produksi, merancang produk baru, meningkatkan kualitas produk, dan banyak lagi. Misalnya, dalam industri manufaktur, RSM dapat digunakan untuk menentukan kombinasi suhu dan waktu yang optimal dalam proses pengeringan untuk menghasilkan produk dengan kualitas terbaik.

Dengan memahami dasar-dasar RSM, penulis dan praktisi dapat menerapkan teknik ini secara efektif untuk berbagai tujuan optimasi dalam dunia nyata. Bab ini akan membahas lebih lanjut tentang konsep dasar RSM,

langkah-langkah penerapannya, serta contoh aplikasinya dalam berbagai bidang.

6.1.1 Konsep Dasar RSM

Response Surface Methodology (RSM) merupakan sekumpulan teknik matematika dan statistik yang digunakan untuk memodelkan dan menganalisis masalah di mana suatu respons dipengaruhi oleh beberapa variabel independen dan tujuannya adalah untuk mengoptimalkan respons tersebut. RSM umumnya digunakan dalam konteks eksperimen di mana tujuannya adalah untuk menemukan kondisi optimal dari suatu proses atau produk.

RSM dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan dari metode optimasi satu variabel pada suatu waktu (one-factor-at-a-time). Dengan RSM, interaksi antara variabel-variabel independen dapat dipelajari, yang memberikan gambaran yang lebih lengkap mengenai proses yang sedang dianalisis.

Model yang paling sering digunakan dalam RSM adalah model kuadratik, yang umumnya dinyatakan dalam bentuk persamaan regresi:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \epsilon$$

di mana Y adalah respons yang diukur, X_i adalah variabel independen, $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ adalah koefisien regresi.

$\beta_{ii}, \beta_0, \beta_i, \beta_{ii}$, dan β_{ij} adalah koefisien model yang perlu ditentukan melalui analisis data, dan ϵ adalah kesalahan model.

6.1.2 Aplikasi RSM dalam Optimasi Proses Kimia

Dalam konteks optimasi proses kimia, RSM digunakan untuk mempelajari efek variabel-variabel proses seperti suhu, pH, konsentrasi bahan baku, dan waktu reaksi terhadap hasil yang diinginkan, seperti konversi produk, yield, atau kemurnian. Teknik ini sangat bermanfaat untuk memahami interaksi antara variabel-variabel tersebut dan untuk menemukan kondisi proses yang optimal.

Misalnya, dalam optimasi produksi bioetanol dari limbah cair mengandung pati dan glukosa, RSM dapat digunakan untuk menentukan kombinasi suhu, pH, konsentrasi enzim, dan waktu fermentasi yang menghasilkan yield bioetanol tertinggi. Dengan memodelkan respons (yield bioetanol) terhadap variabel-variabel proses tersebut, kita dapat mengidentifikasi kondisi yang optimal secara efisien tanpa harus melakukan sejumlah besar eksperimen.

Proses implementasi RSM biasanya melibatkan beberapa langkah, yaitu:

1. **Desain Eksperimen:** Menentukan desain eksperimen yang sesuai, seperti Central Composite Design (CCD) atau Box-Behnken Design (BBD).
2. **Pelaksanaan Eksperimen:** Melakukan eksperimen sesuai desain yang telah ditentukan.

3. **Analisis Data:** Menggunakan teknik statistik untuk menyesuaikan model respons dan menganalisis interaksi antar variabel.
4. **Optimasi:** Menentukan kondisi optimal berdasarkan model yang telah dibangun.

Referensi:

1. Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (9th ed.). John Wiley & Sons.
2. Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments* (4th ed.). John Wiley & Sons.
3. Box, G. E. P., & Draper, N. R. (1987). *Empirical Model-Building and Response Surfaces*. John Wiley & Sons.
4. Anderson, M. J., & Whitcomb, P. J. (2015). *DOE Simplified: Practical Tools for Effective Experimentation* (3rd ed.). CRC Press.
5. Dean, A., Morris, M., Stufken, J., & Bingham, D. (2015). *Handbook of Design and Analysis of Experiments*. CRC Press

6.2: Optimasi Proses Hidrolisis dan Fermentasi

Optimasi proses hidrolisis dan fermentasi merupakan langkah penting dalam meningkatkan efisiensi produksi bioetanol dari biomassa. Hidrolisis adalah tahap awal yang

bertujuan untuk menguraikan polisakarida kompleks menjadi monomer-monomer gula sederhana, seperti glukosa. Proses ini dapat dilakukan secara enzimatik maupun dengan bantuan asam. Namun, keberhasilan hidrolisis sangat bergantung pada pemilihan kondisi operasi yang tepat, seperti suhu, pH, dan konsentrasi enzim atau asam. Oleh karena itu, optimasi kondisi ini menjadi krusial untuk memastikan konversi maksimal dari bahan baku menjadi gula sederhana.

Fermentasi, yang merupakan tahap selanjutnya, mengubah gula-gula hasil hidrolisis menjadi etanol dengan bantuan mikroorganisme, seperti ragi (*Saccharomyces cerevisiae*). Dalam proses ini, kondisi lingkungan, seperti suhu, pH, dan konsentrasi gula, juga memainkan peran penting dalam mempengaruhi produktivitas etanol. Selain itu, pemilihan strain mikroorganisme yang tepat dan toleransi mereka terhadap etanol sangat mempengaruhi hasil akhir fermentasi.

Optimasi kedua tahap ini, hidrolisis dan fermentasi, harus dilakukan secara terintegrasi untuk mencapai efisiensi konversi yang tinggi. Pendekatan eksperimental, seperti Response Surface Methodology (RSM), sering digunakan untuk mengidentifikasi kondisi optimal melalui desain eksperimen yang terstruktur. Selain itu, penggunaan teknologi terbaru, seperti enzim rekombinan dan mikroorganisme hasil rekayasa genetika, dapat membantu meningkatkan efisiensi proses dan menurunkan biaya produksi.

Dalam upaya optimasi ini, tantangan utama yang dihadapi adalah ketidaksempurnaan hidrolisis yang menghasilkan produk sampingan yang dapat menghambat fermentasi. Oleh karena itu, diperlukan strategi mitigasi, seperti penggunaan detoksifikasi atau adaptasi mikroorganisme untuk meningkatkan toleransi terhadap produk sampingan tersebut.

Melalui optimasi yang tepat pada setiap tahapan, diharapkan dapat dicapai produksi bioetanol yang lebih efisien dan ekonomis, serta lebih ramah lingkungan. Ini tidak hanya meningkatkan nilai ekonomi dari biomassa tetapi juga mendukung pengembangan energi terbarukan yang berkelanjutan.

6.2.1 Desain Eksperimen untuk Optimasi

Optimasi proses produksi bioetanol dari limbah cair mengandung pati dan glukosa memerlukan pendekatan yang sistematis dan terstruktur. Salah satu metode yang paling umum digunakan untuk optimasi adalah Response Surface Methodology (RSM). Metode ini menggabungkan teknik statistik dan matematika untuk memodelkan dan menganalisis masalah di mana respons yang dipengaruhi oleh beberapa variabel input dapat dioptimalkan.

Pada tahap ini, langkah pertama dalam optimasi adalah mendesain eksperimen yang akan menentukan pengaruh dari setiap variabel pada hasil akhir, yaitu yield bioetanol. Desain eksperimen yang sering digunakan dalam RSM adalah **Central Composite Design (CCD)** dan **Box-**

Behnken Design (BBD), karena mereka memungkinkan eksplorasi ruang desain yang luas dengan jumlah eksperimen yang relatif sedikit.

Variabel-variabel kunci dalam proses ini meliputi:

- **Konsentrasi substrat (pati/glukosa):** Kadar bahan baku yang akan dihidrolisis atau difermentasi.
- **Konsentrasi enzim:** Jumlah enzim yang digunakan dalam proses hidrolisis pati menjadi glukosa.
- **pH:** Tingkat keasaman yang optimal untuk aktivitas enzim dan fermentasi mikroorganisme.
- **Suhu:** Suhu optimal yang diperlukan untuk proses hidrolisis dan fermentasi.
- **Waktu fermentasi:** Durasi fermentasi yang dibutuhkan untuk mencapai yield maksimum.

Dalam eksperimen yang dirancang, variasi dari setiap faktor akan diuji untuk melihat bagaimana mereka mempengaruhi yield bioetanol. Interaksi antara variabel-variabel ini juga akan dievaluasi untuk menentukan kombinasi terbaik yang memberikan hasil tertinggi.

6.2.2 Variabel dan Respons dalam Optimasi Proses

Variabel-variabel yang telah diidentifikasi dalam desain eksperimen akan dipelajari lebih lanjut untuk menentukan pengaruh spesifik mereka terhadap hasil fermentasi. Dalam optimasi proses, penting untuk memahami dua jenis variabel utama:

- **Variabel Independen:** Variabel-variabel yang dapat dimanipulasi selama proses, seperti konsentrasi

substrat, konsentrasi enzim, pH, suhu, dan waktu fermentasi.

- **Variabel Dependen (Respons):** Hasil yang diukur dari eksperimen, yaitu yield bioetanol.

Pendekatan RSM memungkinkan pengembangan model matematis yang menghubungkan variabel independen dengan respons. Model ini biasanya berbentuk polinomial, yang dapat digunakan untuk memprediksi yield bioetanol berdasarkan kombinasi variabel input. Analisis hasil eksperimen menggunakan perangkat lunak statistik seperti **Design-Expert** atau **Minitab** dapat menghasilkan peta permukaan respons yang menunjukkan area optimal dari variabel-variabel tersebut.

Respons yang diperoleh dari hasil eksperimen kemudian dianalisis menggunakan analisis varians (ANOVA) untuk menentukan signifikansi setiap faktor dan interaksinya. Ini membantu dalam mengidentifikasi variabel kunci yang memiliki dampak paling signifikan terhadap yield bioetanol, serta memberikan panduan untuk kondisi proses yang optimal.

Referensi:

1. Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (9th ed.). Wiley.
2. Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments* (4th ed.). Wiley.

3. Mittelbach, M., & Reimschmidt, C. (2004). *Biofuels – Production and Applications* (1st ed.). Springer.
4. Coulson, J. M., Richardson, J. F., Backhurst, J. R., & Harker, J. H. (1999). *Chemical Engineering Volume 2: Particle Technology and Separation Processes* (5th ed.). Butterworth-Heinemann.
5. Shuler, M. L., & Kargi, F. (2002). *Bioprocess Engineering: Basic Concepts* (2nd ed.). Prentice Hall.

6.3 Analisis Data dan Model Prediksi

Dalam proses optimasi menggunakan metode Response Surface Methodology (RSM), analisis data merupakan tahap yang sangat penting untuk memahami hubungan antara variabel input dan output, serta untuk membangun model prediksi yang akurat. Pada bagian ini, akan dibahas langkah-langkah dalam analisis data serta bagaimana model prediksi dikembangkan dan divalidasi.

6.3.1 Pengolahan Data dengan RSM

Setelah eksperimen dilakukan sesuai dengan desain yang telah direncanakan, langkah selanjutnya adalah pengolahan data. Data yang diperoleh dari eksperimen RSM biasanya berupa respons dari berbagai kombinasi variabel input. Berikut adalah langkah-langkah dalam pengolahan data:

- **Normalisasi Data:** Data yang diperoleh sering kali perlu dinormalisasi untuk memastikan bahwa semua variabel berada dalam rentang yang sebanding.

- **Analisis Ragam (ANOVA):** ANOVA digunakan untuk menentukan signifikan atau tidaknya variabel-variabel dalam model. Ini membantu dalam mengidentifikasi variabel mana yang memberikan kontribusi terbesar terhadap respons.
- **Regresi Linier Berganda:** Model regresi linier berganda diterapkan untuk membangun hubungan antara variabel independen (input) dan variabel dependen (output). Persamaan regresi yang dihasilkan adalah dasar untuk prediksi dan optimasi.
- **Estimasi Koefisien:** Koefisien dalam model regresi dihitung dan dievaluasi untuk menentukan pengaruh relatif dari masing-masing variabel.

6.3.2 Model Statistik dan Interpretasi Hasil

Setelah model statistik dibangun, penting untuk mengevaluasi keakuratan dan validitas model. Beberapa langkah utama dalam interpretasi hasil adalah:

- **Uji Kebermaknaan Koefisien:** Uji t digunakan untuk menguji apakah koefisien regresi yang diperoleh signifikan secara statistik atau tidak.
- **Koefisien Determinasi (R^2):** Nilai R^2 digunakan untuk mengukur seberapa baik model yang dihasilkan menjelaskan variabilitas data. Semakin tinggi nilai R^2 , semakin baik model tersebut.
- **Validasi Model:** Model yang dihasilkan diuji dengan data uji untuk memastikan bahwa model tersebut dapat diterapkan pada data di luar sampel yang

digunakan untuk membangun model.

- **Residual Analysis:** Analisis residual dilakukan untuk memeriksa asumsi-asumsi yang mendasari model, seperti homoskedastisitas, normalitas, dan independensi residual.

6.3.3 Pembuatan Permukaan Respon dan Optimasi

Setelah model validasi diterima, permukaan respon dapat dibentuk. Permukaan respon ini merupakan representasi visual dari hubungan antara variabel input dan output.

- **Visualisasi Permukaan Respon:** Dengan memetakan permukaan respon, kita dapat melihat bagaimana perubahan dalam variabel input mempengaruhi output. Ini berguna dalam mengidentifikasi titik optimum untuk setiap variabel.
- **Identifikasi Titik Optimum:** Dengan menggunakan algoritma optimasi, titik-titik optimal dari permukaan respon dapat diidentifikasi untuk mencapai hasil terbaik dalam proses bioetanol.

6.3.4 Studi Kasus dan Penerapan Model

Contoh studi kasus akan diberikan untuk menunjukkan bagaimana model ini diterapkan dalam situasi nyata, seperti pada produksi bioetanol dari limbah cair yang mengandung pati dan glukosa. Hasil yang diperoleh dari studi kasus ini akan dibahas untuk memberikan gambaran praktis tentang penerapan RSM dalam optimasi proses.

Referensi

1. Montgomery, D. C. (2019). *Design and Analysis of Experiments* (9th ed.). John Wiley & Sons.
2. Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments* (4th ed.). John Wiley & Sons.
3. Box, G. E. P., & Draper, N. R. (2007). *Response Surfaces, Mixtures, and Ridge Analyses* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
4. Anderson, M. J., & Whitcomb, P. J. (2017). *DOE Simplified: Practical Tools for Effective Experimentation* (3rd ed.). Productivity Press.
5. Khuri, A. I., & Cornell, J. A. (1996). *Response Surfaces: Designs and Analyses* (2nd ed.). CRC Press.

6.4 Implementasi Hasil Optimasi

6.4.1 Implementasi pada Skala Laboratorium

Setelah melakukan optimasi menggunakan Response Surface Methodology (RSM), langkah berikutnya adalah menguji hasil optimasi tersebut pada skala laboratorium. Implementasi di laboratorium bertujuan untuk memverifikasi keakuratan model yang telah dikembangkan dan mengamati hasil optimasi dalam kondisi nyata.

Pada tahap ini, perlu dilakukan replikasi eksperimen dengan kondisi optimasi yang telah ditentukan. Parameter utama seperti suhu, pH, konsentrasi enzim, waktu fermentasi, dan rasio substrat harus diatur sesuai dengan hasil optimasi. Hasil yang diharapkan meliputi peningkatan efisiensi konversi pati/glukosa menjadi bioetanol, peningkatan yield bioetanol, dan stabilitas proses.

Langkah-langkah dalam implementasi skala laboratorium meliputi:

1. **Replikasi Eksperimen:** Melakukan eksperimen berulang untuk memastikan konsistensi hasil optimasi.
2. **Pengujian Kualitas Produk:** Menggunakan analisis instrumentasi (misalnya, kromatografi gas, HPLC) untuk menguji kualitas dan kemurnian bioetanol yang dihasilkan.
3. **Evaluasi Kinerja Proses:** Membandingkan hasil eksperimen dengan prediksi model RSM dan melakukan penyesuaian jika diperlukan.

6.4.2 Implementasi pada Skala Industri

Jika hasil optimasi pada skala laboratorium menunjukkan hasil yang memuaskan, tahap selanjutnya adalah mengimplementasikan proses pada skala industri. Implementasi pada skala ini memerlukan perhatian lebih pada aspek teknis, ekonomi, dan keberlanjutan.

Langkah-langkah penting dalam implementasi skala industri meliputi:

1. **Scaling Up Proses:** Menyesuaikan parameter proses dari skala laboratorium ke skala industri, termasuk perhitungan ulang kebutuhan bahan baku, energi, dan waktu proses.
2. **Desain dan Penyesuaian Peralatan:** Mengadaptasi peralatan fermentasi dan distilasi untuk mengakomodasi volume produksi yang lebih besar.
3. **Pengujian Kinerja Skala Industri:** Melakukan uji coba produksi bioetanol dalam skala besar dan memonitor variabel proses untuk memastikan keberhasilan scaling up.
4. **Evaluasi Efisiensi dan Produktivitas:** Menghitung efisiensi proses dan produktivitas bioetanol per unit bahan baku untuk memastikan keuntungan produksi.
5. **Pemantauan Lingkungan:** Memastikan bahwa proses produksi mematuhi regulasi lingkungan yang berlaku, terutama terkait dengan pengolahan limbah dan emisi gas rumah kaca.

6.4.3 Evaluasi Ekonomi dan Keberlanjutan

Aspek ekonomi dan keberlanjutan merupakan faktor penting dalam penentuan kelayakan implementasi skala industri. Evaluasi ekonomi mencakup analisis biaya produksi, harga jual bioetanol, dan potensi profitabilitas. Sementara itu, evaluasi keberlanjutan melibatkan analisis dampak lingkungan dan sosial dari proses produksi bioetanol. Langkah-langkah dalam evaluasi ekonomi dan keberlanjutan meliputi:

1. **Analisis Biaya Produksi:** Menghitung semua komponen biaya, termasuk bahan baku, energi, tenaga kerja, dan investasi peralatan.
2. **Studi Kelayakan Finansial:** Menggunakan metode seperti Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Payback Period untuk menilai potensi keuntungan.
3. **Analisis Dampak Lingkungan:** Melakukan Life Cycle Assessment (LCA) untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari produksi bioetanol.
4. **Pertimbangan Sosial dan Kebijakan:** Menilai dampak sosial dari produksi bioetanol serta kesesuaiannya dengan kebijakan energi terbarukan dan regulasi pemerintah.

Implementasi yang berhasil tidak hanya menghasilkan bioetanol berkualitas tinggi tetapi juga memberikan kontribusi positif terhadap ekonomi lokal dan lingkungan, menjadikan proses produksi bioetanol dari limbah cair sebagai solusi yang berkelanjutan untuk energi masa depan.

Referensi

1. Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (9th ed.). Wiley.
2. Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments* (4th ed.). Wiley.

3. McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2005). *Unit Operations of Chemical Engineering* (7th ed.). McGraw-Hill Education.
4. Kiss, A. A., Ignat, R. M., & Infante Ferreira, C. A. (2013). *Advanced Distillation Technologies: Design, Control and Applications*. Wiley.
5. Kumar, D., & Gupta, D. (2020). *Biofuels Production and Industrial Processes*. CRC Press.

STUDI KASUS 1:

Table 2. Hasil proses hidrolisis untuk kadar glukosa dan pH dengan variabel volume limbah SC dan kadar HCl

Volume (mL)		Kadar (% v/v)	
Limbah SC	HCl	pH	Glukosa
500	5	3.7	16.2
	10	4.2	17.5
	15	4.5	18.8
	20	4.7	17.7
	25	4.6	15.4
1000	5	3.6	17.8
	10	3.9	18.9
	15	4.1	18.4
	20	3.8	18.2
	25	3.6	18.5
1500	5	3.4	18.3
	10	3.6	18.9
	15	3.9	18.2
	20	3.8	18.2
	25	3.6	17.5
2000	5	3.6	16.3
	10	3.8	16.9
	15	3.8	17.2
	20	3.9	16.2
	25	3.6	16.5
2500	5	3.2	15.6
	10	3.4	16.1
	15	3.6	16.5
	20	3.5	15.2
	25	3.4	15.5

Pengolahan data hasil kajian proses hidrolisis menggunakan RSM

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa hasil optimasi menggunakan RSM, pada volume limbah SC 500-2500 (mL) dengan penambahan volume HCL 5-25 (mL) menunjukkan pH bersifat asam (pH 3,2 sampai pH 4,7), disebabkan karena volume limbah cair SC sangat asam yaitu 3,5 sehingga penambahan volume HCl kecil, diperoleh pH optimum 4,3 dan volume HCl 29,1421 mL pada Limbah cair SC 85,7864 mL.

Parameters

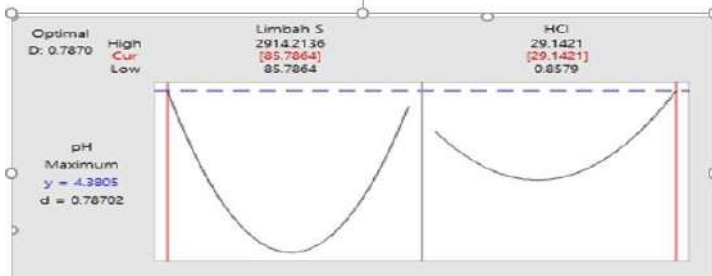
Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
pH	Maximum	3.2	4.7		1	1

Solution

Solution	Limbah SC	HCl	pH Fit	Composite Desirability
1	85.7864	29.1421	4.38053	0.787022

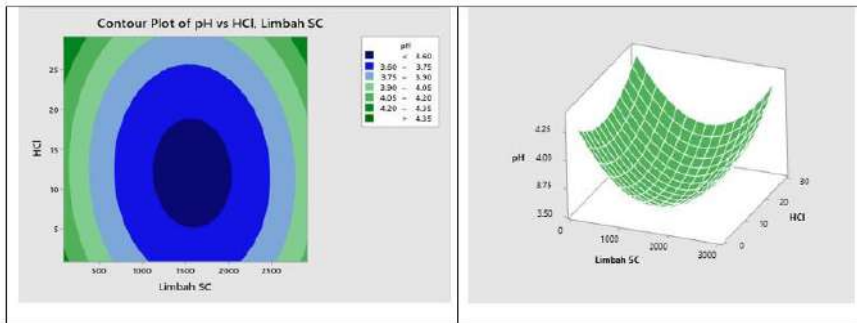
Multiple Response Prediction

Variable	Setting			
Limbah SC	85.7864			
HCl	29.1421			
Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
pH	4.381	0.377	(3.594, 5.167)	(2.294, 5.467)



Regression Equation in Uncoded Units:

$$\text{pH} = 4.340 - 0.000790 \text{ Limbah SC} - 0.0278 \text{ HCl} \\ + 0.000000 \text{ Limbah SC} * \text{Limbah SC} \\ + 0.001075 \text{ HCl} * \text{HCl} + \dots \dots \dots \text{ Limbah SC} * \text{HCl}$$



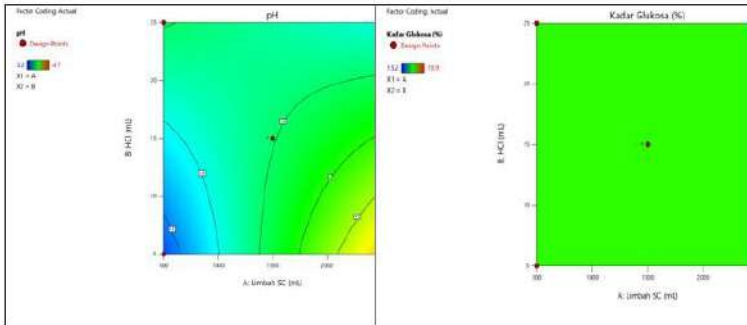
Gambar 5. Pengaruh limbah SC dan HCL terhadap pengaruh pH, grafik 2 dimensi dan grafik 3 dimensi dengan metode RSM

Pada Gambar 5 menunjukkan optimasi pH yang lebih asam jika dibandingkan kajian menggunakan Limbah Cair Tepung Terigu (LCTT), bahwa respon optimasi pH antara 4,5-8,5 dengan volume LCTT 1165,69 ml dan volume HCl 0,8579 ml menunjukkan pH 8,85 dengan *error (SE Fit)* 1,17 dengan kedekatan hasil 95 %. Proses pretreatment pada tangki berpengaduk untuk memvisualisasikan efek faktor independen pada tanggapan, RMS digunakan untuk menentukan signifikansi koefisien regresi parameter. Koefisien dengan semakin besar nilai volume LCTT dan semakin kecil volume HCl semakin signifikan untuk semua variabel suatu interaksi. Data respons nyata

diplot terhadap respons yang diprediksi disajikan pada *response optimization* pH, respons yang diprediksi pH optimum 7,1, volume LCTT 600 ml, dan volume HCl 15 mL [5].

Metode pretreatment dapat meningkatkan konsentrasi dari gula yang difermentasi setelah sakarifikasi enzymatics, sehingga meningkatkan efisiensi dari keseluruhan proses, konversi glukosa serta xylose menjadi etanol membutuhkan teknologi fermentasi baru untuk produksi bioetanol dari limbah pertanian [7]. Aplikasi teknologi mikro controller untuk simulasi produksi ethanol murni dari ethanol-air teknis dengan proses distilasi batch dengan variable pH menggunakan bahasa matlab dan bahasa pemrograman berorientasi objek [3]. Proses hidrolisis bambu secara biologi menggunakan enzim selulosa dengan mikro kontroler temperatur, pada waktu 137 menit dan suhu 97 °C diperoleh kadar glukosa 23,6 %, metode yang digunakan Proportional Integral Derivate (PID) dengan Bahasa pemrograman Delphi [4].

Pengolahan data hasil kajian proses hidrolisis menggunakan DE:



Gambar 6. Pengaruh limbah SC dan HCL terhadap pengaruh pH, grafik 2 dimensi dengan metode DE Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa hasil optimasi menggunakan RSM, pada volume limbah SC 500-2500 (mL) dengan penambahan volume HCL 5-25 (mL) menunjukkan pH bersifat asam disebabkan karena volume limbah cair SC sangat asam yaitu 3,5 sehingga penambahan volume HCl kecil, diperoleh nilai optimum untuk pH 3,9557, volume HCl 16,37 mL, volume limbah cair SC 2446,07 mL dan kadar glukosa 17,22 %.

Gambar 6 menunjukkan optimasi kadar glukosa cukup tinggi jika dibandingkan dengan respon optimasi kadar glukosa antara 15,4-24,9 dengan volume LCTT 651,426 ml dan kadar enzyme Maltase 7,37 %v/v menunjukkan kadar glukosa 21,34 %v/v dengan *error (SE Fit)* 1,47 dengan kedekatan hasil 95 %. Pengaruh kompleks dari variabel proses yaitu, volume LCTT (X1), enzyme Maltase (X2) terhadap kadar glukosa, diselidiki menggunakan

proses pretreatmen pada tangki berpengaduk untuk memvisualisasikan efek faktor independen pada tanggapan, RMS digunakan untuk menentukan signifikansi koefisien regresi parameter. Koefisien dengan semakin besar nilai volume LCTT dan semakin kecil enzyme Maltase semakin signifikan untuk semua variabel suatu interaksi. Untuk dua dimensi dan tiga dimensi mencantumkan koefisien regresi, nilai X_1 dan X_2 untuk semua efek linear, kuadrat, dan interaksi dari parameter. Koefisien efek linear dan kuadrat dari waktu reaksi volume LCTT (X_1), volume HCL (X_2) terhadap pH (*Composite Desirability* = 0,625) sangat signifikan seperti yang ditunjukkan pada nilai kadar glukosa 21,34 %v/v dan volume LCTT 651,426 ml, dan kadar enzyme Maltase 3,73 %v/v. Relatif kurang signifikan dalam koefisien linier dan kuadrat terhadap koefisien efek interaktif (paling tidak signifikan) [5].

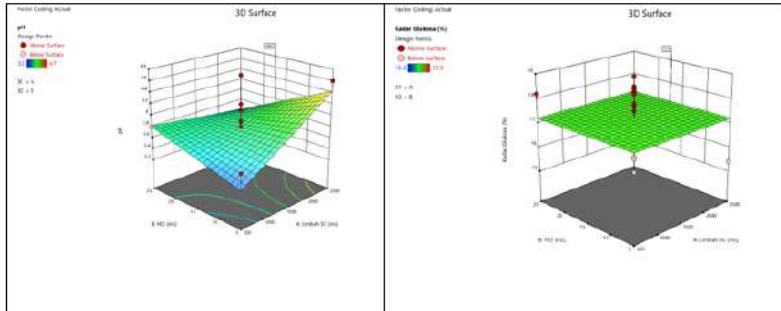
Factors

Factor	Name	Level	Low Level	High Level	Std. Dev.	Coding
A	Limbah SC	2446.07	500.00	2500.00	0.0000	Actual
B	HCl	16.37	5.00	25.00	0.0000	Actual

Point Prediction

Two-sided Confidence = 95% Population = 99%

Solution 1 of 100 Response	Predicted Mean	Predicted Median	Observed	Std Dev	SE Mean	95% CI low for Mean	95% CI high for Mean	95% TI low for 99% Pop	95% TI high for 99% Pop
pH	3.95572	3.95572		0.348401	0.138693	3.66729	4.24414	2.50914	5.40229
Kadar Glukosa	17.22	17.22		1.19443	0.238886	16.727	17.713	12.761	21.679



Gambar 7. Pengaruh limbah SC dan HCL terhadap pengaruh pH, grafik 3 dimensi dengan metode DE. Studi ini mengevaluasi pretreatment asam dari limbah kertas hidrolisat sebagai bahan baku untuk produksi bioetanol. Kisaran $70,12 \pm 4,88\%$ karbohidrat (holoselulosa) dari limbah kertas biomassa dan terbarukan untuk produksi bioetanol. Kondisi untuk pretreatment asam encer limbah kertas yang dioptimalkan dengan rasio padat / cair, waktu reaksi, dan asam sulfat pada 120°C dalam autoklaf. Kondisi dioptimalkan untuk hidrolisis asam limbah kertas $0,5 \text{ N H}_2\text{SO}_4$ pada 120°C untuk waktu reaksi 2 jam menjaga biomassa: rasio asam untuk mengurangi gula dari limbah kertas hidrolisat.

Fermentasi hidrolisat asam limbah kertas dengan *Pichia stipitis* dalam kondisi optimum menghasilkan produksi ethanol $3,73 \pm 0,16$ g/l dengan $77,54 \pm 4,47\%$ [9]. Kajian produksi bioethanol dari limbah tepung beras, dengan proses hydrolysis menggunakan bacillus menghasilkan glukosa 5-10%, proses fermentasi dengan *saccharomyces Cereviceae* menghasilkan ethanol 11-16%, dan proses distilasi batch diperoleh ethanol 95-96%. Simulasi produksi bioethanol dari limbah tepung beras dengan proses distilasi batch, menggunakan metode *Differential-Algebraic-Equations* (DAEs) [10].

Berdasarkan komposisi glukosa dan pati yang tinggi pada limbah cair SC, pada proses hidrolisis diharapkan berjalan dengan sempurna, sehingga jumlah glukosa, protein dan pati terdegradasi secara sempurna menjadi glukosa tinggi. Dengan variabel yang digunakan seperti limbah cair SC 500 mL sampai 2500 mL, kadar turbo yeast 2% sampai 6 % dan waktu fermentasi 4 hari sampai 12 hari. Dalam kajian yang sudah dilakukan sebesar 1000 mL limbah cair SC pada proses hidrolisis dapat dihasilkan maksimum glukosa sebesar 18,9 % dengan volume HCl 10 mL dan pH 9.

Pengolahan data hasil kajian proses Fermentasi menggunakan RSM

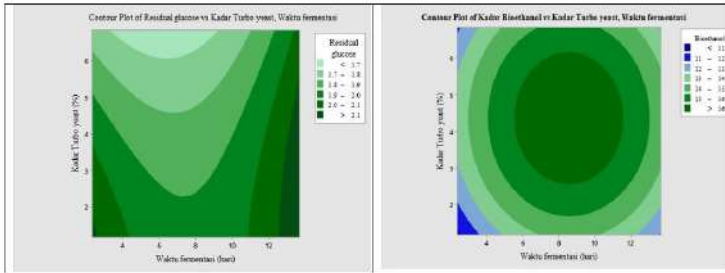
Pada Tabel 3 menunjukkan kadar etanol berkisar dari 7,5 (% v/v) sampai 20,2 (% v/v) pada volume 500 mL filtrat glukosa, kadar etanol makin bertambah dengan

penambahan waktu fermentasi, kecuali pada waktu 4 hari dan 12 hari menunjukkan peningkatan kadar etanol yang tidak signifikan. Menurut kurva pertumbuhan enzim, pada awal proses menunjukkan proses penyesuaian antara filtrate glukosa dengan enzim turbo yeast. Pada waktu fermentasi 6 hari sampai 8 hari menunjukkan kinerja enzim turbo yeast naik.

Table 3. Kadar bioetanol dan residu glukosa dengan variabel waktu fermentasi dan kadar turbo yeast dari limbah SC hasil proses fermentasi sebanyak 500 mL

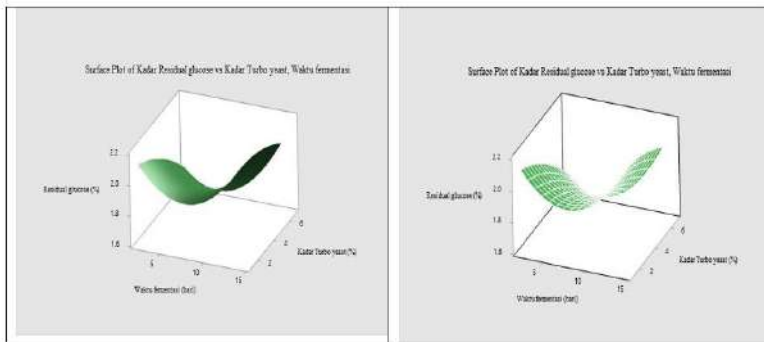
Volume (mL)	Time (day)	Level (% v/v)		
Waste of SC	Fermentation	Turbo yeast	Residual glucose	Bioethanol
500	4	2	1.34	7.98
	4	3	0.95	8.74
	4	4	1.21	8.62
	4	5	1.31	8.41
	4	6	1.13	7.38
	6	2	2.13	11.52
	6	3	1.45	12.31
	6	4	1.72	12.35
	6	5	1.68	11.63
	6	6	1.63	10.32
	8	2	2.42	16.87
	8	3	2.01	17.90
	8	4	2.52	17.52
	8	5	2.57	17.22
	8	6	2.47	16.86
	10	2	2.66	19.63
	10	3	2.29	20.15
	10	4	2.55	20.01
	10	5	2.78	19.99
	10	6	2.88	18.87
	12	2	1.44	18.77
	12	3	1.06	19.70
	12	4	1.53	19.35
	12	5	1.92	18.89
12	6	1.81	17.77	

Pengolahan data menggunakan RSM:



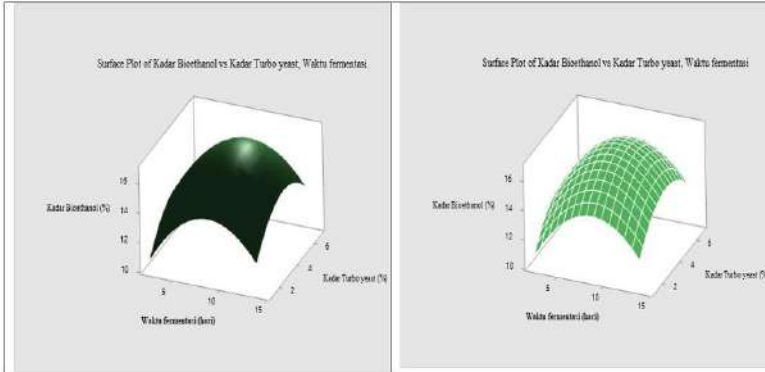
Gambar 8. Pengaruh kadar turbo yeast dan waktu fermentasi terhadap pengaruh residu glukosa, grafik 2 dimensi dengan metode RSM

Pada Gambar 8 proses fermentasi pada volume limbah 500 mL, variabel kadar turbo yeast 2-6 % dan waktu fermentasi 4 – 12 hari diperoleh kadar etanol optimum 11 – 16 (%) dan kadar glukosa sisa minimum 1,7 – 2,1 (%) dengan grafik 2 dimensi.



Gambar 9. Pengaruh kadar turbo yeast dan waktu fermentasi terhadap pengaruh residu glukosa, grafik 3 dimensi dengan metode RSM

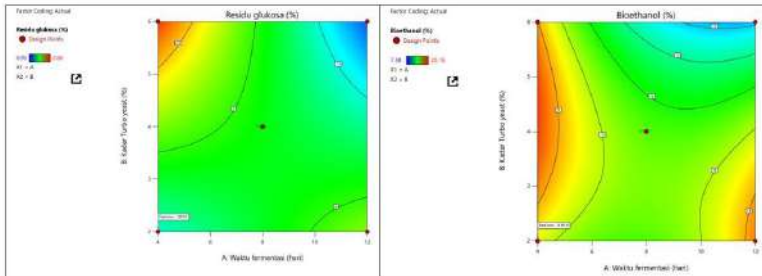
Akan sangat berbeda jika dibandingkan grafik 3 dimensi, seperti Gambar 9, dengan volume limbah 500 mL, variabel kadar turbo yeast 2-6 % dan waktu fermentasi 4 – 12 hari diperoleh kadar glukosa sisa minimum 0,9 (%).



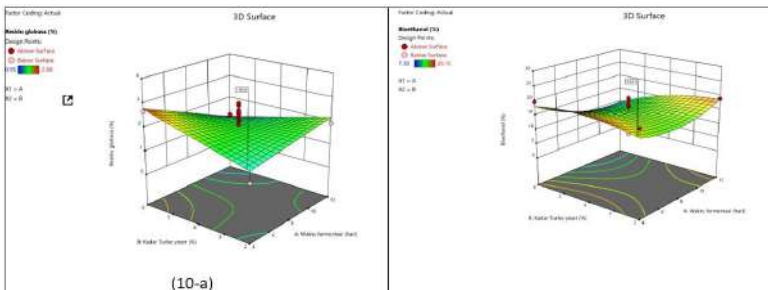
Gambar 10. Pengaruh kadar turbo yeast dan waktu fermentasi terhadap pengaruh kadar bioethanol, grafik 3 dimensi dengan metode RSM

Pada Gambar 10 dengan volume limbah 500 mL, variabel kadar turbo yeast 2-6 % dan waktu fermentasi 4 – 12 hari diperoleh kadar etanol optimum 20 (%). Pada proses fermentasi dengan kadar turbo yeast 2-10 % v/v dan 4-12 hari diperoleh kadar etanol optimum 11 – 12,5 (% v/v) dan kadar glukosa sisa minimum 1,4 - 1,6 (% v/v) [5].

Pengolahan data hasil kajian proses Fermentasi menggunakan DE:



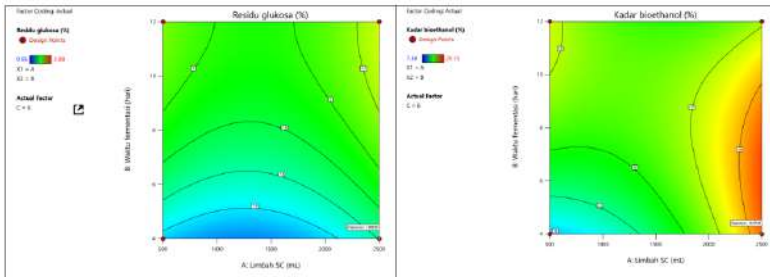
Gambar 11. Pengaruh kadar turbo yeast dan waktu fermentasi terhadap pengaruh residu glukosa pada limbah SC 500 mL, grafik 2 dimensi dengan metode DE



(10-a)

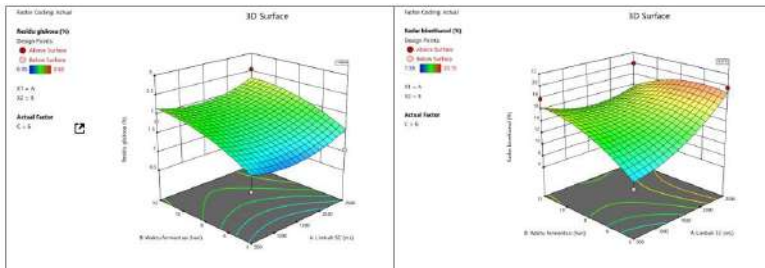
Gambar 12. Pengaruh kadar turbo yeast dan waktu fermentasi terhadap pengaruh residu glukosa pada limbah SC 500 mL, grafik 3 dimensi dengan metode DE
Hasil Fermentasi 4 demensi, yaitu 3 variabel volume limbah 500-2500 mL, variabel kadar turbo yeast 2-6 % dan variable waktu fermentasi 4 – 12 hari diperoleh kadar etanol optimum 0,95-2,68 (%) dan kadar glukosa sisa 7,38-20,15 (%).

2 dimensi (Contour):



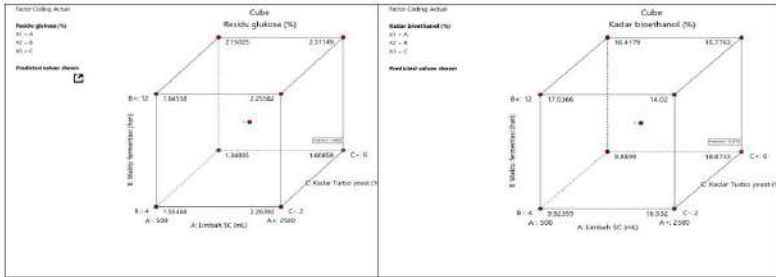
Gambar 13. Pengaruh volume limbah SC, kadar turbo yeast dan waktu fermentasi terhadap residu glukosa dan kadar bioethanol, grafik 2 dimensi dengan metode DE

3 Dimensi (3D Surface):



Gambar 14. Pengaruh volume limbah SC, kadar turbo yeast dan waktu fermentasi terhadap residu glukosa dan kadar bioethanol, grafik 3 dimensi dengan metode DE

4 Dimensi (Cube):



Gambar 15. Pengaruh volume limbah SC, kadar turbo yeast dan waktu fermentasi terhadap residu glukosa dan kadar bioethanol, grafik 4 dimensi dengan metode DE

STUDI KASUS 2:

Tabel 1. Kadar produk bioethanol dan yield bioethanol dengan variabel kadar bioethanol hasil proses fermentasi dan variabel waktu distilasi batch dari bioethanol hasil proses fermentasi.

Kadar bioethanol hasil proses fermentasi (% v/v)	Waktu distilasi batch (Jam)	Kadar bioethanol hasil distilasi batch (% v/v)	Yield bioethanol hasil distilasi batch (% v/v)
15	2	88.14	28.34
	3	81.35	31.33
	4	80.34	30.32
	5	83.56	33.53
	6	83.76	33.66
	2	92.43	32.33
	3	93.47	33.46

20	4	94.66	34.56
	5	94.77	34.66
	6	94.63	34.23
25	2	93.67	33.67
	3	94.88	34.78
	4	95.65	35.55
	5	95.23	35.26
	6	94.77	34.78
	2	96.52	36.22
30	3	97.66	37.15
	4	97.72	37.52
	5	97.66	37.44
	6	95.86	35.56
35	2	95.99	35.22
	3	96.88	36.58
	4	96.96	36.46
	5	95.46	35.66
	6	94.19	34.79

Korelasi langsung diamati antara persentase bioetanol dalam produk akhir dan durasi proses distilasi. Secara khusus, meningkatkan waktu distilasi umumnya menghasilkan konsentrasi bioetanol yang lebih tinggi dalam produk akhir. Tren ini menekankan efektivitas distilasi yang diperpanjang dalam mencapai pemisahan bioetanol yang lebih lengkap dari campuran, sehingga meningkatkan kemurnian keseluruhan bioethanol yang diproduksi. Data yang disajikan dalam Tabel 1 dengan

jelas menunjukkan pentingnya mengoptimalkan proses distilasi. Dengan menganalisis data ini lebih lanjut, adalah mungkin untuk mengidentifikasi kondisi operasi yang paling menguntungkan, seperti waktu destilasi optimal, untuk memaksimalkan hasil bioetanol. Teknik visualisasi data, seperti mengkonversi data tabel menjadi grafik garis, dapat lebih memperjelas hubungan antara durasi distilasi dan konsentrasi bioetanol untuk setiap konsentrasinya awal. Selain itu, analisis statistik dapat digunakan untuk menilai hubungan antara variabel yang berbeda dan mengidentifikasi faktor-faktor yang paling signifikan yang mempengaruhi konsentrasi bioetanol akhir. Sementara data saat ini memberikan wawasan yang berharga, analisis yang lebih komprehensif dengan mempertimbangkan variabel tambahan, seperti suhu, tekanan, dan desain kolom, akan diperlukan untuk mengembangkan pemahaman yang lebih nuansa dari proses distilasi serangkaian dan untuk merumuskan rekomendasi yang akurat untuk mengoptimalkan produksi bioetanol. Sudah didaftarkan dalam patent sederhana (Sari dkk., 2023).

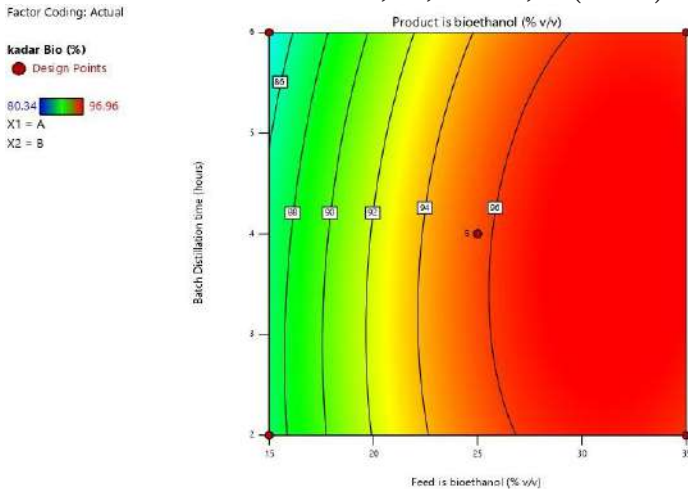
C.3. Hasil Optimasi Kadar Distilasi Batch dengan DE dan RSM

Hasil Optimasi pada distilasi batch terdiri dari optimasi kadar bioethanol dan yield bioethanol menggunakan metode optimasi Diferensial Expert (DE) dan Respons Surface Methodology (RSM).

C.3.1. Optimasi kadar bioetanol pada proses Distilasi Batch dengan Diferensial Expert (DE)

a. Kadar bioethanol surface characteristics of contour plot response between 2 Dimension:

- X1 = A: Variabel feed is bioethanol, 15, 20,25,30,35 (% v/v)
- X2 = B: Variabel waktu distilasi batch, 2, 3, 4, 5, 6 (Jam)
- Produk bioethanol murni, 80,34 – 96,96 (% v/v)



Grafik 1. Kadar feed bioetanol versus waktu distilasi batch yang mempengaruhi produk bioetanol murni
Pada Grafik 1 menunjukkan konsentrasi bioethanol dalam feed meningkat, konsentrasinya dalam produk akhir juga meningkat, seperti yang ditunjukkan oleh garis-garis kontur yang terpisah di sisi kanan grafik. Sebaliknya, ketika kandungan bioetanol dalam feed menurun, ada

penurunan proporsional dalam konsentrasi bioethanol dalam produk akhir. Perpanjangan waktu distilasi mengakibatkan konsentrasi bioetanol yang lebih tinggi, terutama ketika konsentrasinya awal adalah rendah. Hal ini ditunjukkan oleh konvergensi garis kontur menuju bagian atas grafik. Sebaliknya, durasi distilasi yang lebih pendek menyebabkan penurunan konsentrasi bioethanol dalam produk akhir, terutama ketika feed memiliki kandungan bioetanol awal yang tinggi. Grafik ini secara efektif menggambarkan hubungan antara konsentrasi bioetanol dalam feed dan waktu distilasi, dan bagaimana faktor-faktor ini secara kolektif mempengaruhi kandungan bioethanol dalam produk akhir. Khususnya, ketika konsentrasi bioetanol dalam feed adalah rendah, meningkatkan waktu distilasi memiliki efek yang lebih signifikan pada meningkatkan kandungan bioethanol akhir dibandingkan dengan skenario di mana pakan memiliki konsentrasinya bioetanol awal yang lebih tinggi.

b. Kadar bioethanol surface characteristics of contour plot response between 3 Dimension

Grafik 2 menunjukkan permukaan 3D, memberikan visualisasi rinci dan akurat dari hubungan antara konsentrasi bioetanol dalam pakan, waktu distilasi batch, dan konsentrat bioethanol yang dihasilkan dalam produk akhir. Perwakilan grafis ini didasarkan pada metodologi permukaan respons (RSM), yang digunakan untuk mengklarifikasi interaksi antara variabel ini. Dalam

konteks ini, X-axis mewakili proporsi volumetrik (v/v) bioetanol dalam pakan, ditandai sebagai X1 atau A dalam desain eksperimental. Y-axis sesuai dengan waktu distilasi batch dalam jam, ditandai sebagai X2 atau B dalam desain. Z-axis menggambarkan proporsi volumetrik (v/v) bioetanol dalam produk, yang merupakan respons target yang harus dioptimalkan. Sifat hidup dan melengkung dari permukaan 3D secara visual menyampaikan interaksi antara tiga faktor ini, dengan warna yang berbeda yang menunjukkan konsentrasi bioetanol yang bervariasi di berbagai titik di grafik. Warna merah digunakan untuk menyoroti daerah-daerah tertentu dari grafik, yang mewakili area yang menarik dalam data.

Grafik 2 menggambarkan bagaimana kandungan bioetanol dalam pakan mempengaruhi konsentrasi bioethanol dalam produk akhir setelah periode distilasi tertentu. Seperti yang ditunjukkan oleh permukaan yang menonjol, peningkatan kandungan bioetanol awal mengarah pada peningkatan yang sesuai dalam konsentrasi bioethanol akhir, dengan permukaan 3D mengarah ke atas dan bergeser ke kanan seiring dengan peningkatan konsentrasinya. Ini menunjukkan korelasi langsung antara kandungan bioetanol dalam pakan dan yang diperoleh dalam produk akhir. Selain itu, graf mengungkapkan bahwa memperpanjang durasi distilasi umumnya menghasilkan konsentrasi bioetanol yang lebih tinggi, terutama ketika konsentrasinya awal

pakan rendah. Tren ini digambarkan oleh kurva ke atas permukaan 3D ke arah belakang grafik. Sebaliknya, durasi distilasi yang lebih pendek dikaitkan dengan konsentrasi bioetanol akhir yang lebih rendah, terutama ketika pakan mengandung sejumlah besar bioetanol.

Factor Coding: Actual

3D Surface

kadar Bio (%)

Design Points:

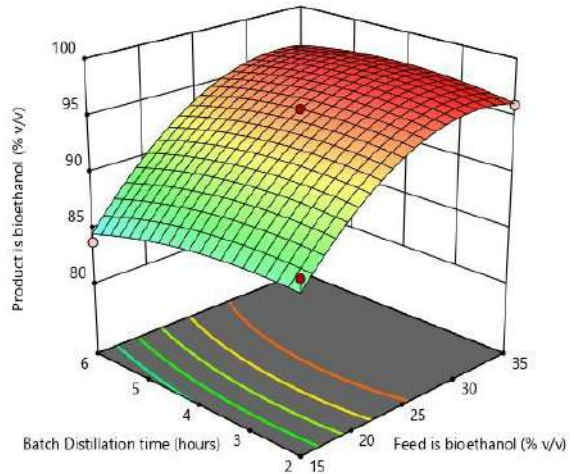
● Above Surface

○ Below Surface

80.34 95.96

X1 = A

X2 = B



Grafik 2. Karakteristik permukaan respon plot kontur antara waktu distilasi batch dan feed bioetanol mempengaruhi produk kadar bioetanol

- c. Optimalisasi kadar bioetanol dengan distilasi batch menggunakan metode DE

Tabel 2. Optimalisasi kadar bioetanol dengan distilasi batch dengan Fit Summary

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.0044		0.5953	0.3837	
2FI	0.7216		0.5569	0.1334	
Quadratic	0.0005		0.9314	0.7319	Suggested
Cubic	0.0065		0.9879	0.6785	Aliased

Berdasarkan Tabel 2 didapatkan rekomendasi model persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan response berdasarkan 2 faktor yang tersedia yakni kadar bioethanol feed dan waktu distilasi batch. Model persamaan yang direkomendasikan yaitu persamaan *quadratic*, dimana pada model persamaan ini, nilai Adjusted R² dan Predicted R² tidak memiliki selisih yang terlalu signifikan, yaitu 0,1995 (tidak lebih dari 0,2). Nilai R² yang dapat ditoleransi yaitu berada pada angka 0,8 – 1, yaitu 0,9354. Model persamaan quadratic juga dipilih karena memiliki nilai *p-value* dibawah 0,05 yaitu 0,0005.

Tabel 3. Optimalisasi kadar bioetanol dengan distilasi batch dengan ANOVA for Quadratic model

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	320.78	5	64.16	35.74	< 0.0001	significant
A-Feed	218.24	1	218.24	121.57	< 0.0001	
B-time dist	2.67	1	2.67	1.49	0.1619	
AB	1.66	1	1.66	0.927	0.3677	
A ²	96.72	1	96.72	53.88	0.0002	
B ²	6.2	1	6.2	3.45	0.1055	
Residual	12.57	7	1.8			
Lack of Fit	12.57	3	4.19			
Pure Error	0	4	0			
Cor Total	333.34	12				

Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa nilai *F-value* merupakan distribusi F dari variable bebas dan nilai *P-value* merupakan nilai signifikansi, dimana nilai *P-value* umumnya \leq dari 0,05. *P-value* menunjukkan pengaruh parameter signifikan terhadap kadar bioethanol feed. Model dengan nilai *P-value* \geq 0,1 menunjukkan bahwa factor tersebut tidak memiliki pengaruh secara signifikan

terhadap *response*. *P-value* yang signifikan berada pada factor kadar bioethanol feed, yaitu sebesar $< 0,0001$ atau $< 0,1\%$ dan tidak signifikan terhadap waktu distilasi batch yaitu sebesar 0,1619.

Berdasarkan Tabel 4 diketahui bahwa persamaan kwadratik tersebut digunakan untuk membuat prediksi *response* dengan menggunakan factor-faktor terkait. Persamaan tersebut dinyatakan sebagai berikut:

(1)

Keterangan:

Y	=	Produk kadar bioetanol (% v/v)
X_1	=	Feed kadar bioetanol (% v/v)
X_2	=	Waktu distilasi batch (Jam)

Tabel 4. Optimalisasi kadar bioetanol dengan distilasi batch dengan Quadratic equation

	Intercept	A	B	AB	A ²	B ²
Product is bioethanol	95.65	5.22303	-0.57805	0.645	-3.72875	-0.94375
p-valeu		< 0.0001	0.2619	0.3677	0.0002	0.1055

C.3.2. Optimasi yield bioetanol pada proses Distilasi Batch dengan Diferensial Expert (DE)

d. Yield bioethanol Surface characteristics of contour plot response between 2 Dimension

- $X_1 = A$: Variabel feed is bioethanol, 15, 20,25,30,35 (% v/v)

- X2 = B: Variabel waktu distilasi batch, 2, 3, 4, 5, 6 (Jam)
- Yield bioethanol: 28,34 – 36,46 (% v/v)

Factor Coding: Actual

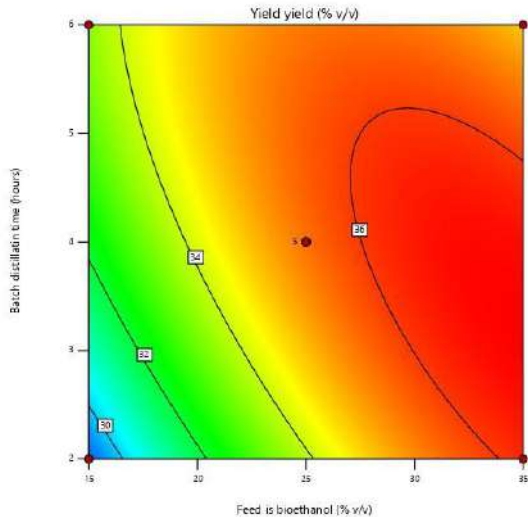
Yield Bio (%)

● Design Points

28,34 36,46

X1 = A

X2 = B



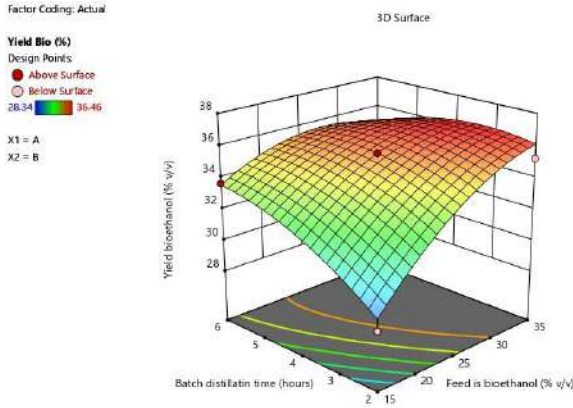
Grafik 3. Feed bioetanol versus waktu distilasi batch yang mempengaruhi yield bioetanol

Grafik 3 merupakan grafik kontur sebagai alat yang berharga untuk mengoptimalkan proses distilasi batch serangkaian dengan mengidentifikasi kombinasi optimal konsentrasi bioetanol pakan dan waktu distilasi yang menghasilkan konsentrasinya produk yang diinginkan dengan efisiensi maksimum. Data yang diekstrak dari grafik ini dapat digunakan untuk mengembangkan model matematika yang kuat, mampu memprediksi konsentrasi bioetanol di bawah kondisi operasi yang berbeda. Dengan memahami interaksi antara variabel proses ini, adalah mungkin untuk meningkatkan kualitas dan konsistensi

produk bioetanol yang diproduksi. Secara ringkas, plot kontur memberikan wawasan kritis tentang hubungan antara kandungan bioethanol feed, waktu distilasi batch, dan konsentrasi bioetanol yang dihasilkan dalam produk akhir selama proses distilasi batch. Informasi ini sangat penting dalam memperbaiki prosedur operasional dan meningkatkan kualitas keseluruhan produksi bioetanol. Pada Grafik 3 menunjukkan bahwa hasil optimasi menggunakan DE, pada kadar bioethanol feed 15-35 (% v/v) dengan waktu distilasi batch 2-6 (jam) diperoleh yield bioethanol optimum 36,46 (% v/v) pada kadar bioethanol feed 34.862 (% v/v) dan waktu distilasi batch 6 jam. dengan *error (SE Fit)* 1,47 dengan kedekatan hasil 95 %. RMS digunakan untuk menentukan signifikansi koefisien regresi parameter. Untuk dua dimensi dan tiga dimensi mencantumkan koefisien regresi, nilai X_1 dan X_2 untuk semua efek linear, kuadrat, dan interaksi dari parameter. Koefisien efek linear dan kuadratik dari waktu reaksi volume LCTT (X_1), volume HCL (X_2) terhadap pH (*Composite Desirability* = 0,625) sangat signifikan seperti yang ditunjukkan pada nilai kadar glukosa 21,34 %v/v dan volume LCTT 651,426 ml, dan kadar enzyme Maltase 3,73 %v/v. Sudah dilakukan kajian sebelumnya dengan variabel yang berbeda oleh Sumiyati dkk., 2009; Sari dkk., 2022.

e. Yield bioethanol Surface characteristics of contour plot response between 3 Dimension

Grafik 4 menunjukkan permukaan 3D, memberikan visualisasi rinci dan akurat dari hubungan antara konsentrasi bioetanol dalam pakan, waktu distilasi batch, dan konsentrat bioethanol yang dihasilkan dalam produk akhir. Perwakilan grafis ini didasarkan pada metodologi permukaan respons (RSM), yang digunakan untuk mengklarifikasi interaksi antara variabel ini. Dalam konteks ini, X-axis mewakili proporsi volumetrik (v/v) bioetanol dalam pakan, ditandai sebagai X1 atau A dalam desain eksperimental. Y-axis sesuai dengan waktu distilasi batch dalam jam, ditandai sebagai X2 atau B dalam desain. Z-axis menggambarkan proporsi volumetrik (v/v) bioetanol dalam produk, yang merupakan respons target yang harus dioptimalkan. Sifat hidup dan melengkung dari permukaan 3D secara visual menyampaikan interaksi antara tiga faktor ini, dengan warna yang berbeda yang menunjukkan konsentrasi bioetanol yang bervariasi di berbagai titik di grafik. Warna merah digunakan untuk menyoroti daerah-daerah tertentu dari grafik, yang mewakili area yang menarik dalam data.



Grafik 4. Karakteristik permukaan respon plot kontur antara waktu distilasi batch dan feed bioetanol mempengaruhi produk kadar bioetanol

Hubungan yang rumit antara konsentrasi pakan dan durasi distilasi diwakili dengan jelas oleh kemiringan permukaan 3D, yang secara visual mencakup efek gabungan dari kedua variabel. Grafik ini dapat menjadi instrumen dalam menentukan kombinasi optimal dari kandungan bioethanol pakan dan waktu distilasi yang diperlukan untuk mencapai konsentrasi bioetanol yang diinginkan dalam produk akhir. Selain itu, data yang diwakili dalam grafik ini dapat digunakan untuk mengembangkan model matematika yang canggih yang mampu memprediksi tingkat bioetanol dalam berbagai kondisi operasi. Topografi permukaan 3D menawarkan wawasan berharga tentang mekanisme yang mendasari proses distilasi, memberikan representasi yang jelas dan mudah dimengerti dari interaksi antara variabel

kunci. Dengan menganalisis dan menafsirkan grafik ini, seseorang dapat meningkatkan efisiensi proses distilasi, mengoptimalkan parameter operasional, dan meningkatkan kualitas keseluruhan bioetanol yang diproduksi. Telah dilakukan kajian sebelumnya oleh

f. Optimalisasi yield bioetanol dengan distilasi batch menggunakan metode DE

Berdasarkan Tabel 5 didapatkan rekomendasi model persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan response berdasarkan 2 faktor yang tersedia yakni kadar bioethanol feed dan waktu distilasi batch. Model persamaan yang direkomendasikan yaitu persamaan *quadratic*, dimana pada model persamaan ini, nilai Adjusted R² dan Predicted R² tidak memiliki selisih yang terlalu signifikan, yaitu 0,2 (tidak lebih dari 0,2). Nilai R² yang dapat ditoleransi yaitu berada pada angka 0,8 – 1, yaitu 0,929. Model persamaan quadratic juga dipilih karena memiliki nilai *p-value* dibawah 0,05 yaitu 0,0015.

Tabel 5. Optimalisasi yield bioetanol dengan distilasi batch dengan Fit Summary

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.0093		0.5293	0.2708	
2FI	0.0698		0.6442	0.2018	
Quadratic	0.0015		0.9290	0.7053	Suggested
Cubic	0.1552		0.9528	-0.2587	Aliased

Berdasarkan Tabel 6 diketahui bahwa nilai *F-value* merupakan distribusi F dari variable bebas dan nilai *P-value* merupakan nilai signifikansi, dimana nilai *P-value* umumnya \leq dari 0,05. *P-value* menunjukkan pengaruh parameter signifikan terhadap kadar bioethanol feed dan waktu distilasi batch. Model dengan nilai *P-value* \geq 0,1 menunjukkan bahwa factor tersebut tidak memiliki pengaruh secara signifikan terhadap *response*. *P-value* yang signifikan berada pada factor kadar bioethanol feed, yaitu sebesar $< 0,0001$ atau $< 0,1\%$ dan signifikan terhadap waktu distilasi batch yaitu sebesar 0,0081.

Tabel 6. Optimalisasi yield bioetanol dengan distilasi batch dengan ANOVA for Quadratic model

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	63.17	5	12.63	32.39	0.0001	significant
A-Feed	34.83	1	34.83	89.29	< 0.0001	
B-time dist	5.22	1	5.22	13.37	0.0081	
AB	8.27	1	8.27	21.19	0.0025	
A ²	11.42	1	11.42	29.27	0.0010	
B ²	5.19	1	5.19	13.30	0.0082	
Residual	2.73	7	0.3901			
Lack of Fit	2.73	3	0.9102			
Pure Error	0.0000	4	0.0000			
Cor Total	65.90	12				

Berdasarkan Tabel 7 diketahui bahwa persamaan kuadratik tersebut digunakan untuk membuat prediksi response dengan menggunakan factor-faktor terkait. Persamaan tersebut dinyatakan sebagai berikut: (2)

Keterangan:

Y	=	Yield bioetanol (% v/v)
X_1	=	Feed kadar bioetanol (% v/v)
X_2	=	Waktu distilasi batch (Jam)

Tabel 7. Optimalisasi kadar bioetanol dengan distilasi batch dengan Quadratic equation

	Intercept	A	B	AB	A ²	B ²
Product is bioethanol	10.0681	1.1368	3.9281	-0.0719	-0.0128	-0.2159
p-valeu		< 0.0001	0.0081	0.0025	0.0010	0.0082

- [[1] Kuhad R C, R Gupta, Y P Khasa and A Singh, 2010, Bioethanol Production from Lantana Camara (Red Sage): Pretreatment, Saccharification and Fermentation, Biores. Tech., volume 101, p. 8348-8354.
- [2] Sari N K, C Pudjiastuti and K Sumada, 2017, Comparation Production Glucose from Starch and Cellulose Using Delignification Hydrolysis Process, Journal Advance Science Letters, ASP American Scientific Publishers, ISSN:19367317, SCOPUS Indexed Journal (Q4), volume 23, no.12, p. 12318-12321.

- [3] Sari N K, C Pujiastuti and I N Abdi, 2013, Simulation of Batch Distillation Binary System Based Object-Oriented Programming, 20th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE 2013), Philipina.
- [4] Sari N K, D Ernawati, I Y Purbasari and B Rahmat, 2018, Hydrolysis of Glucose from Bamboo with Micro Controller PID type Arduino UNO and Fuzzy Method, Atlantis Highlights in Engineering, ISBN: 978-94-6252-650-1, ISSN: 2589-4943, volume 1, p. 35-39.
- [5] Sari N K, I Y Purbasari, P W Anggoro, J Jamari, A P Bayuseno, 2022, Reuse of wheat flour liquid waste for enzymatic hydrolysis to yield glucose-derived bioethanol, Journal Cogent Engineering, Vol. 9, Issue 1, ISSN: 22778616, Taylor & Francis, Terindeks Scopus (Q2).
- [6] Arifiyanti, A Nanda, D N A Kartini dan B Mu'tasim, 2020, Bioetanol dari Biji Nangka Dengan Proses Likuifikasi dan Fermentasi Menggunakan Saccharomyces Cerevisiae, Chemical Process Journal, volume 01, no. 01, p. 51-55.
- [7] Sari N K and C Pujiastuti, 2012, Study of Bioethanol Production from Liquid Waste of Bogasari Factory in Mini Plant Scale, Proc. RSCE 2012 ITS Surabaya Bali Indonesia, ISBN: 978-602-9494-30-3, p. A31.1-A31.6.
- [8] Sari N K, B Rahmat, A Setyono, I N Abdi, and Sutyono, 2014, Simulation Saccharomyces Cereviciae

Consumption Rate and the Ethanol Formation in Batch Fermentation Process, Proceedings ICCS 2014, International Conference on Computer Systems, Asosiasi Perguruan Tinggi Komputer (APTIKOM) Wilayah IX Sulawesi, Makasar, Indonesia, ISSN: 2407-2567, p.137-141.

- [9] Nibedita S, K G Sumanta, S Bannerjee and K Aikat, 2012, Bioethanol Production from Agricultural Wastes: An Overview, *Renewable Energy*, volume 37, p. 19-27.
- [10] Saravana K T, A S Ahmed and F N Ani, 2014, Bioethanol Production from Sago Pith Waste Using Microwave Hydrothermal Hydrolysis Accelerated by Carbon Dioxide, *Applied Energy*, volume 128, p. 277-283.
- [11] Alok K D, P K Gupta, N Garg and S Naithani, 2012, Bioethanol Production from Waste Paper Acid Pretreated Hydrolyzate with Xylose Fermenting *Pichia Stipitis*, *Carbohydrate Polymers*, volume 88, p. 825-829.
- [12] Sumiyati S, E Sutrisno, 2009, Penurunan COD Limbah Cair Tapioka dengan Teknologi Biofilm Menggunakan Media Biofilter Susunan Honeycomb Potongan Bambu dan Penambahan Effective Microorganism (EM-4), *Skripsi Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang*, p. 1-11.
- [13] Sari N K, I N Abdi, P Wesen and D Retno, 2016, Numerical of Bioethanol Production from Liquid

Waste of Rice Flour by Distillation Process, Journal of Material Science, Engineering and Chemistry, Web of Conference ISSN:2261-236X, SCOPUS Indexed, volume 58, no. 01014, p. 1-5.

- [14] Sari N K dan I Y Purbasari, 2022, pH Optimization in Pretreatment Process from Liquid Waste of Tapioca Flour with Response Surface Method, 7th Information Technology International Seminar (ITIS), IEEE Xplore / E-ISBN: 978-1-6654-0807-3, P-ISBN: 978-1-6654-0808-0, Volume 2, 16 Juni 2022, *Scopus Indexed*, Indonesia.
- [15] Kumar A, L K Singh and S Ghose, 2009, Bioconversion of Lignocellulosic Fraction of Water-Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*) Hemicellulose Acid Hydrolysate to Ethanol by *Pichia Stipitis*, *Biores. Tech.*, volume 100, p.3293-3297.
- [16] Limayem A and S C Ricke, 2012, Lignocellulosic Biomass for Bioethanol Production: Current Perspectives, Potential Issues and Future Prospects, *Prog. Energ. Combust. Sci.*, volume 38, p. 449-67.
- [17] Khurniawati K, M U Fathoni, N K Sari, 2019, Pembuatan Bioethanol Berbasis Glukosa off Grade Dengan Proses Fermentasi Menggunakan Fermiol, *Jurnal Teknik Kimia*, April 2019, Vol. 13, No. 2, Fakultas Teknik, UPN Veteran Jatim, (Sinta 4).
- [18] Bachtiar S, R Wahyuningtiyas, N K Sari, 2021, Bioetanol Dari Limbah Cair Tepung Terigu Dengan Proses Fermentasi Menggunakan Turbo yeast, *Jurnal*

Teknik Kimia, 1 Oktober 2021, Vol. 16, No. 1, Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, UPN Veteran Jatim, (Sinta 4).

- [19] Sari N K and Jariyah, 2023, Proses Pembuatan Bioethanol melalui Fermentasi Filtrat Glukosa dari Limbah Cair Tepung Terigu (Granted Paten Sederhana: IDS000006247, 12 Juli 2023)
- [20] Sari N K, Y Nico, L Tika and D Ernawati, 2017, Hydrolysis of Cellulose from Bamboo with Biology Process Using Enzyme, Journal Advance Science Letters, ASP American Scientific Publishers, ISSN:19367317, SCOPUS Indexed Journal (Q4), volume 23, no. 12, p. 12235-12238.
- [21] Sari N K, R Basuki, A Setyono, I N Abdi and Sutiyono, 2014, Simulation Growth of Microorganisms Saccharomyces Cerevisie with Fed-Batch Fermentation Process, Proceedings Bisstech II 2014, UPNV Jatim and Stikom Bali, ISBN 978-602-9372-70-0, p. D1.09.
- [22] Sari N K and D Ernawati, 2018, Comparasion Production Bioethanol from Cellulose using Batch Distillation and Flash Distillation Process, International Journal of GEOMATE, Science, Engineering & Environment, ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan, SCOPUS Indexed Journal (Q3), volume 8, no. 3, P. 76-81]