E-ISSN: 2685-8959 P-ISSN: 2685-8967
Journal of Research and Education Chemistry (JREC)
http://journal.uir.ac.id/index.php/jrec

Pengaruh Suhu dan Waktu Fermentasi terhadap Produksi Bioetanol Jerami Padi melalui Hidrolisis Enzimatis

Surya Dwy Candra[1], Sinardi[2]
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik,
Universitas Fajar, Makassar, Sulawesi Selatan
*Corresponding author :
*Email : sinardi@unifa.ac.id

Abstrak

Seiring meningkatnya kebutuhan energi dan semakin berkurangnya cadangan bahan bakar fosil, berbagai upaya dilakukan untuk mengembangkan sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Salah satu sumber energi terbarukan yang banyak mendapat perhatian adalah bioetanol. Bioetanol merupakan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang relatif lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil. Produksi bioetanol dapat memanfaatkan berbagai jenis biomassa, termasuk limbah pertanian seperti jerami padi (*Oryza Sativa L.*). Metode yang digunakan dalam pembuatan bioethanol adalah hidrolisis enzimatis dan fermentasi. Tahap hidrolisis dilakukan menggunakan *enzim* selulase untuk mengubah material lignoselulosa menjadi gula sederhana, yang selanjutnya difermentasi oleh *saccharomyces cerevisiae* menjadi etanol Penelitian dilakukan menggunakan rancangan variasi suhu fermentasi 20, 25, dan 30°C serta waktu fermentasi 1, 3, 5, dan 7 hari. Bioetanol diproduksi melalui hidrolisis enzimatis menggunakan *enzim* selulase yang dilanjutkan dengan fermentasi oleh Saccharomyces cerevisiae. Kondisi optimum diperoleh pada suhu 25°C dan waktu fermentasi 5 hari dengan kadar etanol 26,48%, rendemen 8,23%, dan efisiensi konversi 23,50%.

Kata kunci : Bioetanol, Jerami Padi , Hidrolisis Enzimatis, Fermentasi, *saccharomyces cerevisiae*

Abstract

*As energy demand continues to increase and fossil fuel reserves become increasingly depleted, significant efforts have been made to develop sustainable alternative energy sources. One renewable energy source that has attracted considerable attention is bioethanol. Bioethanol is regarded as an environmentally friendly fuel because it produces relatively lower emissions compared to fossil fuels. Bioethanol can be produced from various types of biomass, including agricultural waste such as rice straw (oryza sativa L.).The method employed for bioethanol production in this study consisted of enzymatic hydrolysis followed by fermentation. During the hydrolysis stage, cellulase enzymes were used to convert lignocellulosic materials into simple sugars, which were subsequently fermented by *Saccharomyces cerevisiae* to produce ethanol. The study was conducted using variations in fermentation temperature of 20°C, 25°C, and 30°C, as well as fermentation periods of 1, 3, 5, and 7 days. Bioethanol was produced through enzymatic hydrolysis using cellulase enzymes followed by fermentation with *Saccharomyces cerevisiae*. The optimum condition was achieved at a fermentation temperature of 25°C and a fermentation time of 5 days, resulting in an ethanol concentration of 26.48%, a yield of 8.23%, and a conversion efficiency of 23.50%.*

Keywords : *Bioethanol, Rice Straw, Enzymatic Hydrolysis, Fermentation, Saccharomyces cerevisiae*

PENDAHULUAN

Saat ini pengembangan material pembakaran substitusi selaku substitutor material pembakaran awal telah dilakukan, mengingat ketersediaan bahan bakar fosil yang terus menurun. Satu diantara opsi yang tengah disempurnakan ialah bioetanol, yang diketahui selaku bahan bakar yang ramah lingkungan. Bioetanol dapat diproduksi dari berbagai jenis bahan baku, termasuk limbah pertanian seperti jerami padi (Sitorus, 2020).

Bioetanol ialah etanol yang diproduksi melalui bahan yang memiliki sukrosa maupun amilum yang disebut bioetanol angkatan awal. Melainkan, bahan baku itu termasuk dalam kategori makanan maupun ransum, sehingga penggunaannya dapat memicu kenaikan harga bahan kebutuhan pokok dan menjadi kurang ekonomis. Oleh karena itu, dikembangkan alternatif berupa bioetanol angkatan lanjutan yang bersumber melalui biomassa lignoselulosa (Putri & dan Utami, 2017).

Menurut (Aprilyanti & Madagaskar, 2020) pembuatan bioetanol bisa memanfaatkan material dasar berbentuk residu yang kaya akan lignoselulosa, salah satunya jerami padi (Oryza Sativa L.). Dengan luas lahan persawahan di Indonesia yang mencapai sekitar 11,9 juta hektar, potensi jerami padi diperkirakan mencapai kurang lebih 119 juta ton. Jika semua jerami tersebut diproses jadi etanol, hingga dapat dihasilkan kisaran 9,1 miliar liter etanol berkualitas bahan bakar (fuel grade ethanol) melalui angka perekonomian mencapai Rp 50,1 triliun.

Jerami padi (Oryza Sativa L.) memiliki potensi besar selaku material dasar bioetanol karena mengandung lignoselulosa dimana terbagi atas sekitar 37,71% selulosa, 21,99% hemiselulosa, serta 16,62% lignin. Tingginya kandungan selulosa tersebut berkontribusi terhadap peningkatan hasil bioetanol yang dapat diperoleh.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Andayana, 2016) menggunakan hidrolisis asam, penelitian ini menerapkan hidrolisis enzimatis menggunakan selulase pada jerami padi dan mengevaluasi pengaruh kombinasi suhu serta waktu fermentasi terhadap kadar etanol, rendemen, dan efisiensi konversi bioetanol. Keterbatasan yang masih ditemukan pada penelitian sebelumnya adalah pembahasan pengaruh kondisi fermentasi yang belum dikaitkan secara statistik dengan respons produksi etanol setelah proses hidrolisis enzimatis. Selain itu, perbandingan kondisi operasi sering berfokus pada satu parameter proses. Oleh sebab itu, penelitian

ini mengevaluasi secara simultan pengaruh suhu 20, 25, dan 30°C serta waktu fermentasi 1, 3, 5, dan 7 hari terhadap kadar etanol, rendemen, dan efisiensi konversi.

Suhu 20°C, 25°C, dan 30°C dipilih untuk merepresentasikan kondisi rendah, menengah, dan mendekati suhu optimum S. cerevisiae, sehingga pengaruh perubahan temperatur terhadap produksi bioetanol dapat dievaluasi secara sistematis. Waktu fermentasi dipilih dalam rentang 1–7 hari untuk mengamati perubahan produksi etanol dari tahap awal hingga tahap fermentasi yang lebih lanjut dan untuk menentukan lamanya kontak antara mikroorganisme dan gula fermentabel hasil hidrolisis (Azhar, 2017).

METODE

Waktu dan Tempat

Kajian ini dijalankan di bulan April 2026 di laboratorium PT. Kalimantan Aluminium Industry (KAI), Kawasan Industri Hijau Tanah Kuning, Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara.

Alat dan Bahan

Alat

Pisau, neraca analitik, ayakan 100 *mesh*, oven, oven inkubator spatula, bioreaktor, sumbat bioreaktor, selang karet, gelas kimia 1 L, erlenmeyer 250 mL, *magnetic stirrer*, *vacum filter*, labu bulat destilasi, *hotplate*, jaket pemanas, refluks air pendingin dan *picnometer*.

Bahan

Jerami padi (*Oryza Sativa* L.), aquadest, *enzim* selulase cair, *saccharomyces cerevisiae*, kertas saring, dan *indicator* pH *universal*.

Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilaksanakan pada kajian ini, diantaranya pre treatment, proses hidrolisis enzimatis, proses fermentasi, dan proses destilasi. Pada tahap hidrolisis dilakukan pengadukan selama 1 jam pada suhu 25°C menggunakan bantuan *enzim* selulase sebanyak 50 mL, dan massa starter *saccharomyces cerevisiae* dalam proses fermentasi sebanyak 20 gram. Berikut merupakan prosedur penelitian produksi bioetanol jerami padi melalui hidrolisis enzimatis :

Pre Treatment

Jerami padi (*Oryza Sativa* L.) dipotong kecil kemudian dikeringkan dalam oven sepanjang 2jam di temperatur 105°C, kemudian di haluskan serta disaring memakai saringan 100 *mesh* sampai didapat serbuk jerami padi (*Oryza Sativa* L.).

Proses Hidrolisis Enzimatis

Serbuk jerami padi (*Oryza Sativa* L.) ditimbang sebanyak 100 gram ke dalam gelas kimia 1 L dan di tambahkan *aquadest* sebanyak 500 mL, kemudian ditambahkan *enzim* selulase sebanyak 50 mL. Sampel dicampur memakai *magnetic stirrer* semasa 1jam di suhu 25°C. Hasil hidrolisis kemudian diayak memakai *vacum filter* unutk diambil filtratnya dalam proses fermentasi.

Proses Fermentasi

Filtrat hasil hidrolisis dibagi secara merata dan dimasukkan kedalam 3 bioreaktor berdasarkan suhu fermentasi yaitu 20°C, 25°C, dan 30°C dengan volume tiap bioreaktor sebanyak 180 mL. Filtrat ditambahkan *saccharomyces cerevisiae* sebanyak 20 gram dan diaduk hingga homogen. Bioreaktor ditutup dengan rapat menggunakan penutup yang dilengkapi melalui selang karet. Ujung selang karet dimasuki ke erlenmeyer 250 mL yang mengandung cairan supaya tidak bersentuhan atmosfer dan dilakukan proses fermentasi sepanjang 1, 3, 5, dan 7 hari.

Proses Destilasi

Filtrat hasil fermentasi dimasukkan kedalam labu bulat destilasi, kemudian labu bulat, *hotplate*, jaket pemanas, dan refluks air pendingin dirangkai sedemikian rupa agar proses destilasi berlangsung dengan baik. Suhu *hotplate* di *setting* pada suhu 80°C. Filtrat hasil fermentasi di destilasi selama 2 jam dan diperoleh volume destilasi sebanyak 130 mL lalu diukur densitasnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun perolehan riset produksi bioetanol jerami padi melalui hidrolisis enzimatis pada suhu 25°C menggunakan bantuan *enzim* selulase sebanyak 50 mL, dan massa starter *saccharomyces cerevisiae* dalam proses fermentasi sebanyak 20 gram

Penentuan Berat Jenis (Densitas)

Tabel 1 Densitas Etanol

Waktu fermentasi (hari)	Densitas (g/mL)		
	20°C	25°C	30°C
1	0,9962	0,9949	0,9969
3	0,9921	0,9831	0,9875
5	0,9743	0,9577	0,9661
7	0,9754	0,9608	0,9681

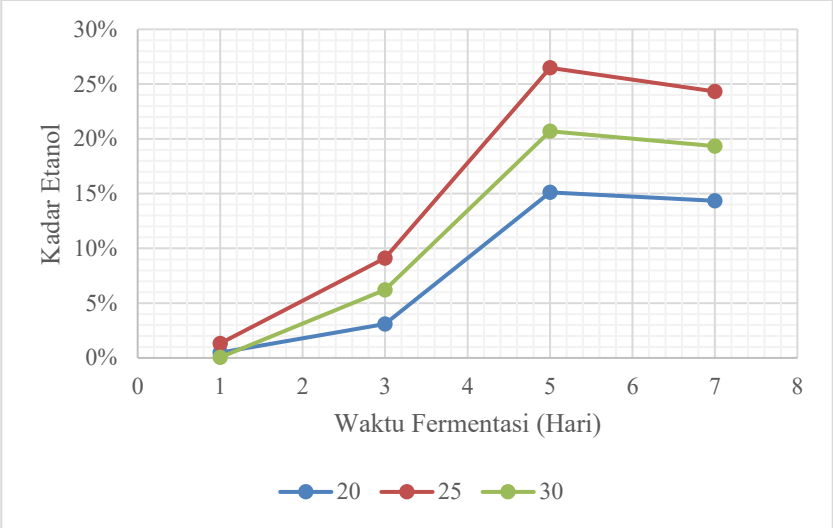
Berdasarkan dari hasil penelitian densitas paling rendah tercatat pada hari ke-5 fermentasi di suhu 25°C, yaitu sebesar 0,9382 g/mL, yang mengindikasikan bahwa pada kondisi tersebut kandungan etanol mencapai nilai maksimum.

Penurunan nilai berkaitan dengan karakteristik etanol yang memiliki massa jenis lebih rendah dibandingkan air. Oleh karena itu, peningkatan fraksi etanol dalam larutan akan menyebabkan nilai densitas semakin kecil. Dengan demikian, densitas dapat dimanfaatkan sebagai parameter tidak langsung dalam mengestimasi kadar etanol hasil fermentasi. Kian besar konsentrasi etanol, hingga angka densitas kian rendah. Hal ini disebabkan karena etanol secara fisik memiliki massa jenis yang kian rendah daripada cairan (Perry, 2018).

Menurut (Prameshwari, et al., 2024) Temperatur fermentasi mampu mempengaruhi durasi peragian serta jumlah etanol yang bakal diproduksi. Khamir *saccharomyces cerevisiae* mempunyai temperature optimum optimal perkembangan, yakni di temperatur 25–30℃.

Analisis Kadar Etanol

Pada tahap awal, mikroorganisme masih berada dalam fase adaptasi (*lag phase*) sehingga produksi etanol masih terbatas. Memasuki hari ketiga hingga kelima, mikroorganisme berada pada fase eksponensial yang ditandai dengan peningkatan aktivitas metabolisme secara signifikan, sehingga menghasilkan etanol dalam jumlah optimal (Doran, et al., 2017).



Gambar 1 Grafik Hasil Analisis Kadar Etanol

Penurunan konsentrasi etanol yang terjadi pada hari fermentasi ke-7 diperkirakan berkaitan dengan semakin meningkatnya tekanan fisiologis yang dialami oleh *saccharomyces cerevisiae* selama proses fermentasi. Produksi etanol yang berlangsung secara kontinu dapat menyebabkan terjadinya akumulasi etanol di dalam media fermentasi, yang selanjutnya berpotensi menimbulkan ethanol stress atau efek inhibisi akibat produk. Keberadaan etanol dalam konsentrasi yang semakin tinggi dapat memengaruhi struktur dan fungsi membran sel melalui interaksinya dengan lipid membran, sehingga meningkatkan fluiditas serta permeabilitas membran. Perubahan tersebut juga dapat mengganggu kinerja protein membran dan kestabilan kondisi fisiologis sel. Akibatnya, kemampuan metabolisme, viabilitas sel, dan aktivitas fermentasi *saccharomyces cerevisiae* dapat mengalami penurunan (Ding, 2019).

Pengaruh temperatur juga dapat terlihat, dimana kondisi suhu 25°C menghasilkan kadar etanol paling tinggi dibandingkan suhu 20°C dan 30°C. Hal ini disebabkan karena peningkatan temperature yang kian besar bisa mengakibatkan denaturasi enzim yang berperan dalam proses fermentasi. Padahal, kinerja enzim yang optimal sangat dibutuhkan untuk mengubah glukosa menjadi etanol secara efisien (Surendhiran & Sirajunnisa, 2019).

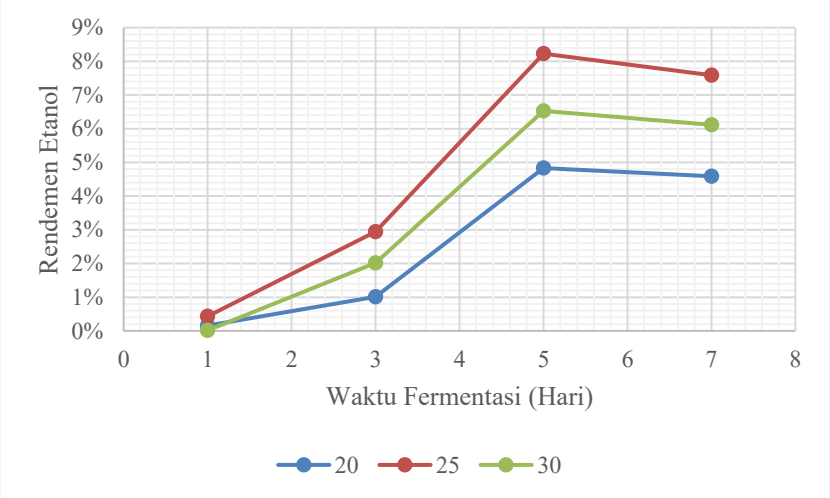
Kadar etanol maksimum sebesar 26,48% yang didapatkan di kajian ini lebih besar daripada kajian yang dilakukan (Noviyanti, *et al*., 2025) yang melaporkan kadar etanol

sebesar 15,9% dari sekam padi pada suhu 30°C selama 5 hari fermentasi. Hasil ini menunjukkan bahwa hidrolisis enzimatis pada jerami padi memiliki potensi yang lebih baik dalam menyediakan gula fermentabel bagi *saccharomyces cerevisiae*.

Tingginya kadar etanol yang diperoleh dipengaruhi oleh kandungan selulosa jerami padi yang mencapai sekitar 37,71%. Selulosa yang terhidrolisis menjadi glukosa menyediakan substrat utama bagi proses fermentasi sehingga meningkatkan pembentukan etanol.

Rendemen Etanol

Rendemen etanol diukur berlandaskan pembandingan antar jumlah etanol yang diperoleh terhadap bahan baku jerami padi (*Oryza Sativa* L.). Hal ini terlihat pada suhu 25°C, dimana rendemen etanol mencapai 8,23% pada hari ke-5, yang menunjukkan bahwa proses konversi substrat berlangsung secara optimal. Namun setelah melewati kondisi terbaik, yaitu pada hari ke-7 dengan rendemen etanol menurun menjadi 7,59%. Apabila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Atfalah, 2019) yang menghasilkan rendemen sebesar 2,725%, rendemen yang diperoleh pada penelitian ini memiliki nilai yang lebih tinggi.



Gambar 2 Grafik Hasil Rendemen Etanol

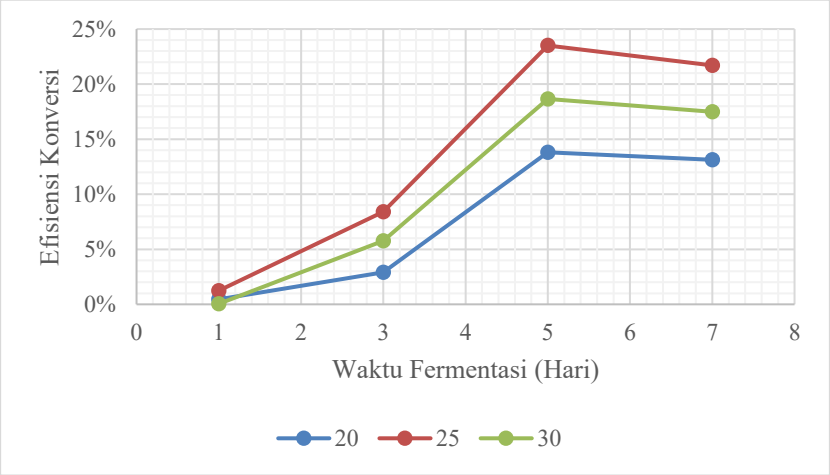
Pada grafik menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya durasi fermentasi hingga mencapai titik maksimum pada hari ke-5. Perihal ini mengindikasikan kian lama tahap berlangsung, kian banyak substrat yang berhasil diubah menjadi etanol.

Rendemen sendiri menjadi parameter utama dalam mengevaluasi efisiensi pemanfaatan bahan baku pada proses produksi bioetanol (Demirbas, 2016).

Kondisi ini dapat disebabkan oleh menipisnya ketersediaan substrat serta meningkatnya konsentrasi etanol yang bersifat menghambat aktivitas mikroorganisme. Selain itu, sebagian substrat juga dimanfaatkan untuk pertumbuhan sel, bukan sepenuhnya dikonversi menjadi etanol (Chandel, et al., 2017).

Efisiensi Konversi

Efisiensi konversi menunjukkan tingkat keberhasilan perubahan substrat menjadi etanol dibandingkan dengan nilai teoritis yang seharusnya dicapai. Nilai efisiensi tertinggi tercatat pada hari ke-5 sebesar 23,50%, yang menandakan bahwa proses fermentasi berlangsung mendekati kondisi optimum. Angka tersebut masih berada dalam kisaran yang dilaporkan dalam literatur (20-35%), sehingga dapat dinilai memiliki validitas ilmiah (Joshi, et al., 2021).



Gambar 3 Grafik Efisiensi Konversi Etanol

Hasil penelitian lain yang dilakukan oleh (Sarfat, *et al*., 2013) yaitu hidrolisat asam Eucheuma cottonii juga menunjukkan efisiensi fermentasi sebesar 19,79% pada perlakuan *culture refresh*. Nilai tersebut masih berada di bawah efisiensi konversi yang diperoleh pada penelitian ini. Berdasarkan perbandingan tersebut, efisiensi konversi sebesar 23,50% menunjukkan bahwa proses hidrolisis dan fermentasi pada penelitian ini mampu menghasilkan konversi etanol yang lebih tinggi dibandingkan beberapa kondisi proses yang dilakukan pada penelitian sebelumnya. Perbedaan efisiensi tersebut dapat

dipengaruhi oleh karakteristik substrat, komposisi karbohidrat, metode hidrolisis, serta kondisi fermentasi yang digunakan.

Peningkatan efisiensi hingga hari ke-5 mengindikasikan bahwa tahapan hidrolisis dan fermentasi berlangsung secara terpadu. Glukosa yang dihasilkan dari proses hidrolisis enzimatis dapat dimanfaatkan secara efektif oleh mikroorganisme untuk menghasilkan etanol dalam jumlah maksimal (Joshi, et al., 2021).

Penurunan efisiensi yang terjadi pada hari ke-7 menunjukkan adanya faktor penghambat, seperti inhibisi oleh produk serta penurunan aktivitas enzim. Selain itu, perubahan kondisi lingkungan yang tidak lagi optimal juga turut memengaruhi performa mikroorganisme dalam proses fermentasi (Sharma, et al., 2020).

Uji Statistik Metode Anova : *Two Factor Without Replication*

Uji statistik merupakan metode analisis data yang dipakai guna menyimpulkan atau mengambil keputusan terkait ciri populasi berlandaskan informasi yang didapatkan dari sampel studi. Anova *Two Factor Without Replication* ialah teknik analisis statistik yang dipakai guna mengidentifikasi dampak dua variabel bebas pada suatu variabel respon pada kondisi setiap kombinasi perlakuan hanya memiliki satu data pengamatan. Teknik ini dapat dipakai guna mengidentifikasi apakah ada perbandingan rata-rata signifikan akibat pengaruh masing-masing faktor, baik faktor baris maupun faktor kolom. Namun, karena tidak terdapat pengulangan pada setiap kombinasi perlakuan, analisis ini tidak dapat digunakan untuk mengevaluasi interaksi antara kedua faktor yang diteliti (Bobbitt, 2023).

Tabel 2 Data Uji Statistik Kadar Etanol Metode Anova

Kelompok	P-*Value*
Waktu	0,0000790699
Suhu	0,014456381

Analisis data dilakukan menggunakan metode anova *two factor without replication* guna mengevaluasi dampak temperature serta masa fermentasi pada kadar etanol yang

dihasilkan. Pengambilan keputusan di uji ini atas dasar pada pembandingan antar angka p-*value* serta taraf signifikansi (α) senilai 0,05. Apabila p-*value* < 0,05, lalu hipotesis nol (H_0) ditolak serta hipotesis alternatif (H_1) diterima, yang mengindikasikan unsur yang diuji mendampaki yang nyata pada variabel respon.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai p-*value* untuk faktor waktu fermentasi adalah 0,000079, sedangkan untuk faktor suhu fermentasi senilai 0,014456. Kedua angka itu < signifikansi 0,05, hingga bisa dinyatakan variasi waktu dan suhu fermentasi terpengaruh signifikan pada kadar etanol yang diperoleh. Temuan ini mengindikasikan bahwa perubahan kondisi fermentasi memengaruhi aktivitas metabolisme *saccharomyces cerevisiae* dalam mengonversi gula hasil hidrolisis menjadi etanol.

Pengaruh waktu fermentasi terlihat dari kecenderungan peningkatan kadar etanol hingga hari ke-5, yang menunjukkan bahwa mikroorganisme masih berada pada kondisi pertumbuhan dan produksi yang optimal. Setelah melewati periode tersebut, kadar etanol mengalami penurunan pada hari ke-7 yang diduga disebabkan oleh akumulasi etanol sebagai produk fermentasi yang dapat menghambat aktivitas sel, serta menurunnya ketersediaan nutrien dalam media. Di sisi lain, pengaruh suhu fermentasi dapat diamati dari perbedaan kadar etanol yang dihasilkan pada setiap kondisi suhu. Produksi etanol tertinggi diperoleh pada suhu 25°C karena berada pada kisaran suhu optimum pertumbuhan *saccharomyces cerevisiae*, sedangkan suhu yang kian rendah maupun terlalu tinggi bisa mengurangi kegiatan enzim serta menurunkan laju fermentasi.

KESIMPULAN

Variasi suhu dan waktu fermentasi terbukti memengaruhi produksi bioetanol dari jerami padi lewat hidrolisis enzimatis. Kondisi fermentasi 25°C selama 5 hari memberikan performa terbaik karena mampu menjaga aktivitas *saccharomyces cerevisiae* secara optimal sehingga menghasilkan kadar etanol, rendemen, dan efisiensi konversi tertinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa jerami padi berpotensi menjadi bahan baku bioetanol generasi kedua yang menjanjikan untuk mendukung pengembangan energi terbarukan.

DAFTAR REFERENSI

Andayana, Y. (2024). Pembuatan Ethanol dari Jerami Padi dengan Proses Hidrolisis dan Fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia, Vol.8, No.2*, 54-57.

Anggorowati, D. A., & Dewi, B. K. (2023). Pembuatan Bioetanol dari Limbah Sabut Kelapa dengan Metode Hidrolisis Asam dan Fermentasi dengan Menggunakan Ragi Tape. *Industri Inovatif, Vol.3, No.2*, 9-13.

Anyawu, R., Rodriguez, C., Durrant, A., Ramadan, M., & Olabi, A. G. (2021). *Micro-Macroalgae Properties and Applications.* University of Sharjah: Elsevier.

Aprilyanti, S., & Madagaskar, d. (2020). Rancangan Desain Eksperimen Taguchi dalam Pembuatan Bioetanol dari Jerami Padi. *Jurnal Desiminasi Teknologi, Volume 8, Nomor 2*, 100-105.

Arista, Rini Anggi; Mulyati, Yayuk; Karomah, Alya; Ardhani, Akhmad Rafif; Alifia, Fahra Nafilah;. (2024). Pemanfaatan Kulit Singkong dan Pisang untuk Produksi Bioetanol dengan Menggunakan Metode Fermentasi. *Anfatama Jurnal Pengabdian Masyarakat, Vol.3, No.2*, 55-59.

Athika. (2019). Pengaruh Waktu dan Berat Adsorben Bentonit pada Proses Dehidrasi Bioethanol. *Jurnal Sains, Volume 4, Nomor 2*, 25-31.

Azhar, S. H., Abdulla, R., Jambo, S. A., Marbawi, H., Gansau, J. A., Faik, A. A., & Rodrigue, K. F. (2017, Volume 10). Yeasts in Sustainable Bioethanol Production: A Review. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 52-61.

Baharuddin, M., Sappewali, Karisma, & Fitriyani, J. (2016). Produksi Bioetanol dari Jerami Padi (Oryza Sativa L.) dan Kulit Pohon Dao (Dracontamelon) Melalui Proses Sakarifasi dan Fermentasi Serentak (SFS). *Chimica et Natura Acta, Vol.4, No.1* , 1-6.

Bobbitt, Z. (2023, January 25). *ANOVA With or Without Replication: What's the Difference?* Retrieved from Statology: https://www.statology.org/anova-with-or-without-replication/

Chandel, A. K., Chan, Rudravaram, R., Narasu, M., Rao, V., & Ravindra, P. (2017). Economics and Environmental Impact of Bioethanol Production Technologies: An Appraisal . *Biotechnology and Molecular Biology Review, Vo. 2, No.1*, 14-32.

Chen, W. H., Biswas, P. P., Felix, C., Aniza, R., Escalante, J., Zhang, C., & Petrissans , A. (2026). Mechanistic insights into thermal degradation of lignocellulosic biomass components for bioenergy and biofuel. *Applications in Energy and Combustion Science*, 1-20.

Cheng, N. G., Hasan, M., Kumoro, A. C., Ling, C. F., & Tham, M. (2019). Production of Ethanol by Fed-Batch Fermentation. *Pertanika J. Sci. & Technol., Vol.17, No.2*, 399-408.

Demirbas, A. (2016). *Biofuels : Production and Future Perspectives.* India: CRC Press.

Dilla, R. P., Putri, S. B., & Sari, N. K. (2024). Pengolahan Limbah Cair PT Energi agro Nusantara dengan Metode Hidrolisis Basa dan Fermentasi. *Jurnal Integrasi Proses, Vol.13, No.2*, 99-104.

Doran, P., Morrissey, K., & Carlson, R. (2017). *Bioprocess Engineering Principles.* New York: Academic Press.

Egues, I., Sanchez, C., Mondragon, I., & Labidi, J. (2017). Effect of Alkaline and Autohydrolysis Processes on the Purity of Obtained Hemicelluloses from Corn Staltks. *Bioresource Technology*, 239-248.

Fogler, H. (2016). *Elements of Chemical Reaction Engineering (5th ed.).* New Jersey: Prentice Hall.

Hamdi, G., Abbas, M., & Ali, S. (2024). Bioethanol Production from Agricultural Waste, Vol.28, No.2. *Journal of Engineering and Suistainable Development*, 233-252.

Hassan, S., Williams, G., & Jaiswal, A. (2018). Emerging Technologies for the Pretreatment of Lignocellulosic Biomass. *Bioresource Technology*, 310-318.

Hawaz, E., Tafess, M., Tesfaye, A., Kiros, S., Beyene, D., Kebede, G., . . . Groenwald, M. (2024). Bioethanol Production from Sugarcane Molasses by Co-Fermentation of Saccharomycess Cerevisiae Isolate TA2 and Wickerhamomyces Anomalus Isolate HCJ2F-19. *Annals of Microbiology, Vol.24, No.13*, 1-23.

Hou, X., Hansen, J. H., & Bjerre, A. B. (2016). Integrated bioethanol and protein production from brown seaweed Laminaria digitata. *Bioresource Technology*, 310-317.

Huang, J., Zheng, B., Hong, Z., Ouyang, P., Li, Y., Wu, A., & Li, H. (2021). A Comprehensive Study on the Dynamic Change of Thermal Behavior During

Lignocellulose Pyrolysis Catalyzed by Plant-Rich Metallic Elements. *Plant Biotechnology*, 5-23.

Imran, M., Anwar, Z., Irshad, M., Asad, M. J., & Ashfaq, H. (2016). Cellulase Production from Species of Fungi and Bacteria from Agricultural Wastes and Its Utilization in Industry: A Review. *Advances in Enzyme Research*, 44-55.

Inambao, F. L. (2021). *Bioethanol Technologies.* South Africa: University of KwaZulu-Natal.

Joshi, B., Bhatt, M., Sharma, & Malla, R. (2021). Lignocellulosic Ethanol Production : Current Practices and Recent Developments. *Biotechnology and Molecular Biology, Vol.6, No.8*, 172-182.

Liu, X., Shi, L., & Gu, J. D. (2018). Microbial electrocatalysis: Redox mediators responsible for extracellular electron transfer. *Biotechnology Advances, Volume 36, Issue 7*, 1815-1827.

Makarim, A., Sumarno, & Suyamto. (2017). *Jerami Padi : Pengelolaan dan Pemanfaatan.* Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan.

Maurya, D. P., Singla, A., & Negi, S. (2016). An Overview of Key Pretreatment Processes for Biological Conversion of Lignocellulosic Biomass to Bioethanol. *3 Biotech*, 597-609.

Megasari, R., Pertiwi, E. D., Arsyad, M., & Bulotio, N. F. (2024). Pemanfaatan Jerami Padi Menjadi Pupuk Kompos . *PARTA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat , Vol. 5, No.1*, 1-6.

Nagy, E., Mizsey, P., Hancsok, J., Boldyryev, S., & Varbanov, P. (2016). Analysis of Energy Saving by Combination of Distillation and Pervaporation for Biofuel Production. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 86-94.

Nieves, D. C., Alanis, M. J., Quiroz, R. d., Ruiz, H., Iqbal , H., & Saldivar, R. P. (2019). Current Status and Future Trends of Bioethanol Production from Agro-Industrial Wastes in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63-74.

Nitsche, & Gbadamosi. (2017). Extractive and Azeotropic Distillation. *Practical Column Design Guide*, 153-164.

Noviyanti, R. W., Arunita, T. A., & Kahar, A. (2025). Pembuatan Bioetanol dari Sekam Padi dengan Metode Hidrolisis Asam Sulfat dan Fermentasi Saccharomyces Cerevisiae. *Seminar Nasional Rekayasa Tropis, Vol.5, No.1*, 49-56.

Perry, R. H. (2018). *Perry's Chemical Engineers' Handbook 9 ed.* New York: McGraw-Hill.

Prameshwari, J., Wijaya, I. M., & Gunam, I. B. (2024). Produksi etanol pada media pyg dengan variasi suhu dan perbandingan media fermentasi menggunakan isolat IS258 . *Agrointek, Volume 18, No.2*, 352-359.

Putri, C. N., & dan Utami, B. (2017). Pembuatan Bioetanol dengan Cara Hidrolisis Menggunakan Kertas Koran Bekas serta Pemurnian Menggunakan Agen Pengering (MgSO4, Na2SO4, dan CaCl2). *Journal Cis-Trans (JC-T) Volume 1, Nomor 1*, 10-15.

Setyawati, H., & dan Rahman, N. A. (2021). Pemanfaatan Kulit Pisang Sebagai Bahan Baku Bioetanol dengan Proses Hidrolisis Enzimatik. *Sains dan Terapan Teknik Kimia, Vol.5, No.2*, 105-111.

Sharma, B., Larroche, C., & Dussap, C. G. (2020). Comprehensive assessment of 2G bioethanol production. *Bioresource Technology, Volume 313*, 123-130.

Shuler, M. L., & KargiFikret. (2017). *Bioprocess Engineering: Basic Concepts, Third Edition.* US: Prentice Hall.

Sitorus, R. I. (2020). Prarancangan Pabrik Bioetanol dari Jerami Padi Melalui Proses Fermentasi dengan Kapasitas 6.000 Ton/Tahun. *Jurnal Tugas Akhir Teknik Kimia Vol.7, No.1*, 75-80.

Stanbury, P., Whitaker, A., & Hall, S. (2016). *Principles of Fermentation Technology, Third Edition.* United Kingdom: Butterworth-Heinemann.

Surendhiran, D., & Sirajunnisa, A. R. (2019). Role of Genetic Engineering in Bioethanol Production from Algae. *Bioethanol Production from Food Crops*, 361-381.

Toor, M., Kumar, S., Malyan, S., Bishnoi, N., & Mathimani, T. (2020). An Overview on Bioethanol Production from Linocellulosic Feedstocks. *Chemosphere, Volume 242*, 20-29.

Walker, G., & Stewart, G. (2016). Saccharomyces cerevisiae in the Production of Fermented Beverages. *Beverages*, 1-30.

Wang, J., Minami, E., Asmadi, M., & Kawamoto, H. (2021). Effect of delignification on thermal degradation reactivities of hemicellulose and cellulose in wood cell walls. *Journal of Wood Science*, 19-67.

Zabed, H., Faruq, G., Sahu, J. N., Azirun, M. S., Hashim, R., & Boyce, N. (2019). Bioethanol Production from Fermentable Sugar Juice. *The Scientific World Journal*, 1-11.