

Pembuatan Bioetanol Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Teknik Imobilisasi Sel *Saccharomyces Cerevisiae*

Nayandra Hazara Assyabil¹, Gita Puspita Sari², Marlinda^{3*}
Program Studi Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda,
Samarinda, Indonesia

*Email: marlinda@polnes.ac.id

Abstrak

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan limbah padat dari pabrik kelapa sawit yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku bioetanol karena kandungan selulosanya yang tinggi sebesar 45,95%. Penelitian ini bertujuan memproduksi bioetanol dari TKKS menggunakan teknik imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae*. Variabel yang digunakan yakni konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 15% dan 20% (b/v) dan waktu fermentasi (1, 2, 3, 4 dan 5 hari). TKKS yang sudah melalui proses delignifikasi dengan NaOH 10% ditimbang sebanyak 15 gram kemudian dihidrolisis menggunakan *eco enzyme* lalu difermentasi bersama larutan nutrisi dan sel imobilisasi *Saccharomyces Cerevisiae*. Pembuatan imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* menggunakan Na-Alginat 10% dan CaCl₂ 7%. Hasil terbaik diperoleh pada konsentrasi imobilisasi sel 20% (b/v) dan waktu fermentasi 3 hari dengan kadar bioetanol sebesar 27,2470% (v/v) dan *yield* sebesar 23,7910% (b/b). Hasil ini menunjukkan teknik imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* mampu meningkatkan efisiensi fermentasi bioetanol dari TKKS.

Kata kunci : Bioetanol, Eco enzyme, Fermentasi, *Saccharomyces cerevisiae*, Tandan kosong kelapa sawit

Abstract

Empty palm fruit bunches (TKKS) are solid waste from palm oil mills that have the potential to be used as raw material for bioethanol due to their high cellulose content of 45.95%. This study aims to produce bioethanol from TKKS using Saccharomyces Cerevisiae cell immobilization techniques. The variables used are Saccharomyces Cerevisiae cell immobilization concentrations of 15% and 20% (w/v) and fermentation times (1, 2, 3, 4, and 5 days). TKKS that had undergone a delignification process with 10% NaOH was weighed at 15 grams, then hydrolyzed using eco enzyme and fermented together with a nutrient solution and immobilized Saccharomyces Cerevisiae cells. The immobilization of Saccharomyces Cerevisiae cells was carried out using 10% Na-Alginate and 7% CaCl₂. The best results were obtained at a cell immobilization concentration of 20% (w/v) and a fermentation time of 3 days, with a bioethanol content of 27.2470% (v/v) and a yield of 23.7910% (w/w). These results indicate that the Saccharomyces cerevisiae cell immobilization technique can increase the efficiency of bioethanol fermentation from TKKS.

Keywords : Bioethanol, Eco enzyme, Fermentation, Oil palm empty fruit bunches, *Saccharomyces cerevisiae*

Pendahuluan

Kelapa sawit merupakan komoditas perkebunan yang paling sering diproduksi di Indonesia terkhusus provinsi Kalimantan Timur. Berdasarkan data potensi yang diperoleh, pada tahun 2023 Kalimantan Timur memproduksi tanaman kelapa sawit sebanyak 4.216.000 ton (Badan Pusat Statistik, 2024). Jumlah tersebut merupakan yang terbesar dibandingkan dengan tanaman perkebunan yang lain. Pengolahan satu ton

tandan buah segar (TBS) kelapa sawit akan menghasilkan limbah berupa TKKS sebanyak 23% (Prayitno Susanto et al., 2017). Didapatkan limbah tandan kosong kelapa sawit yang dihasilkan dari produksi tanaman kelapa sawit di Kalimantan Timur pada tahun 2023 sebesar 969.680 ton.

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan sumber limbah perkebunan yang sangat melimpah dan termasuk kedalam limbah padat dari industri minyak sawit. Limbah TKKS belum dimanfaatkan dengan baik, pengelolaannya masih terbatas dengan pembakaran atau dibiarkan membusuk di lahan perkebunan. TKKS yang dibuang atau ditumpuk di suatu tempat dapat mengganggu atau mengurangi lahan kosong yang dapat dimanfaatkan sebagai lahan perkebunan kelapa sawit dikarenakan pemupukan tanah oleh TKKS membutuhkan waktu yang lama (Muis et al., 2023). Limbah TKKS adalah bahan lignoselulosa yang potensial. TKKS mengandung selulosa 45,95%, hemiselulosa 22,84%, dan lignin 16,49% (Rezki et al., 2023).

Salah satu biofuel yang tersedia sebagai bahan bakar alternatif yang lebih terbarukan dan bermanfaat bagi lingkungan adalah bioetanol. Cairan biokimia yang dikenal sebagai bioetanol (C_2H_5OH) diproduksi ketika mikroorganisme membantu fermentasi gula dari sumber karbohidrat atau selulosa (Sindhuwati et al., 2021). Seiring perkembangannya, proses produksi bioetanol mulai bergeser ke arah metode yang lebih modern yang melibatkan penempelan sel ke zat inert yang tidak larut di dalamnya. Setelah fermentasi selesai, sel juga dapat digunakan lagi dengan menyaring sel keluar dari produk. Proses peningkatan kadar bioetanol ini sering disebut sebagai imobilisasi (Marlinda et al., 2019).

Natrium alginat merupakan bahan yang paling sering dimanfaatkan dalam bidang bioteknologi, terutama untuk proses imobilisasi. Sifat utama Na-Alginat adalah kemampuannya meningkatkan viskositas larutan saat dilarutkan dalam air, serta membentuk gel ketika ditambahkan garam kalsium (Ca). Na-Alginat memiliki sifat koloid, hidrofilik, dan berbentuk gel yang banyak digunakan sebagai pengemulsi, pengental, dan penstabil di berbagai industri. Selain itu, Na-Alginat juga bersifat inert, tahan terhadap perubahan pH dan suhu, serta tidak larut dalam air, sehingga sangat sesuai digunakan dalam teknik imobilisasi pada proses fermentasi (Cahyono et al., 2021).

Penelitian pengolahan bahan lignoselulosa menjadi bioetanol pernah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Penelitian Harahap et al., (2020) memanfaatkan limbah tandan kosong kelapa sawit menjadi bioetanol dengan proses SSF. Setelah dilakukan delignifikasi dengan NaOH 10%, peneliti menggunakan enzim selulase untuk menghasilkan glukosa serta memvariasikan suhu fermentasi (30°, 32° dan 35°C) dan waktu fermentasi (24, 48, 72 dan 96 jam). Hasil terbaik diperoleh pada fermentasi suhu 30°C dan lama waktu fermentasi 24 jam dengan kadar bioetanol sebesar 0,7%.

Penelitian Marlinda et al., (2023) menggunakan hidrolisis enzimatik dengan *eco enzyme* pada kulit singkong dengan proses SSF pada pembuatan bioetanol. Setelah dilakukan delignifikasi dengan NaOH 10%, peneliti memvariasikan konsentrasi *eco enzyme* (30 dan 75%) dan waktu fermentasi (2, 3, 4, 5 dan 6 hari). Hasil terbaik diperoleh pada konsentrasi *eco enzyme* 75% dan lama waktu fermentasi 4 hari dengan kadar bioetanol sebesar 42,25%.

Pada penelitian Amanda et al., (2021) memanfaatkan limbah kertas HVS sebagai bahan baku bioetanol menggunakan teknik modern yaitu imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae*. Setelah dilakukan delignifikasi dengan larutan NaOH 1,5%, peneliti memvariasikan konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* (0, 5, 10, 15, 20, dan 25%) (b/v) dalam substrat. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil kadar bioetanol terbaik yaitu 8,1876% selama 4 hari pada konsentrasi imobilisasi sel 15%, sedangkan pada konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 0% (sel bebas) menghasilkan bioetanol hanya sebesar 1,74%.

Penelitian oleh Harahap et al., (2020) dan Marlinda et al., (2023) telah melakukan proses fermentasi secara SSF untuk meningkatkan efisiensi namun menggunakan sel bebas yang memiliki kelemahan, yaitu rendahnya konsentrasi bioetanol yang dihasilkan akibat akumulasi bahan kimia yang membahayakan mikroorganisme selama fermentasi dan tidak mudah dalam memisahkan produk dari sel mikroba (Rahhutami, 2019). Pada penelitian ini akan menggunakan substrat berupa tandan kosong kelapa sawit dan proses delignifikasi seperti Harahap et al., (2020) namun pada proses hidrolisis enzimatik menggunakan *eco enzyme* seperti pada Marlinda et al., (2023) dengan pendekatan kesamaan karakteristik bahan baku serta penggunaan teknik imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* seperti Amanda et al., (2021). Dimana Amanda et al., (2021)

mengatakan ketika bioteknologi modern dipadukan dengan teknik imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae*, produksi bioetanol akan menghasilkan jumlah bioetanol yang lebih tinggi daripada ketika sel bebas digunakan.

Metode

Peralatan dalam penelitian ini yaitu fermentor, *hotplate*, set distilasi, oven, *gas chromatography*, inkubator, refraktometer brix dan semua peralatan gelas laboratorium. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah TKKS, NaOH, *eco enzyme*, *dry yeast* (fermipan), Na-alginat, CaCl₂, glukosa, MgSO₄.7H₂O, (NH₄)₂SO₄, KH₂PO₄.

Tahapan pertama yaitu *pre-treatment* TKKS. Sampel TKKS dikeringkan dan dilakukan pengecilan ukuran hingga kurang lebih 40 mesh kemudian ditambahkan NaOH 10% dengan rasio 1:10 dipanaskan pada suhu 120°C selama 2 jam. Setelah itu, dilakukan pencucian hingga pH 7 (netral), kemudian dilakukan pengeringan. 15 g TKKS kemudian dihidrolisis menggunakan larutan *eco enzyme* 75% (v/v). Kemudian, dilakukan analisa dengan refraktometer brix untuk menentukan konsentrasi gula.

Tahap pembuatan sel imobil *Saccharomyces Cerevisiae* yaitu 10% Na-alginat dicampur dengan ragi kering yang sebelumnya telah diaktifkan. *Beads* dibuat dengan cara meneteskan campuran tersebut ke dalam larutan CaCl₂ 7%. Kemudian *beads* tersebut dicuci dan direndam dalam larutan glukosa 5%, setelah itu diinkubasi selama 24 jam. Sebanyak 100 mL substrat yang terhidrolisis dimasukkan ke dalam fermentor dan ditambahkan 200 mL larutan nutrisi (0,1 g (NH₄)₂SO₄; 0,025 g KH₂PO₄; 0,025 g MgSO₄.7H₂O) dalam 1 L aquades). Imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* dilakukan dengan variasi konsentrasi yaitu 15 dan 20% (b/v). Proses fermentasi dilakukan selama 1, 2, 3, 4 dan 5 hari.

Larutan hasil fermentasi kemudian disaring dan dilanjutkan dengan pemisahan menggunakan destilasi dengan suhu 90°C dan diukur volume hasil destilatnya. Hasil destilasi dianalisa konsentrasi bioetanolnya dengan *gas chromatography*.

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* (SC) dan waktu fermentasi terbaik pada proses *Simultaneous Saccharification Fermentation* (SSF) terhadap kadar bioetanol yang dihasilkan dari TKKS berdasarkan hasil destilasi.

Tabel 1. Data Kadar Glukosa dan Aktivitas Enzim

	Kadar Glukosa (%°Brix)	Aktivitas Enzim (U/mL)
Sebelum Hidrolisis	0	-
Setelah Hidrolisis	7.6	3.5185

Metode hidrolisis enzimatik menggunakan *eco enzyme* digunakan untuk menjalankan proses hidrolisis dan fermentasi secara bersamaan tanpa pemisahan dan netralisasi. *Eco enzyme* yang merupakan enzim limbah yang berasal dari buah-buahan dan sayuran mirip dengan kinerja enzim komersial dalam mencapai degradasi (Septiani et al., 2021). Beragam mikroorganisme terbentuk selama proses fermentasi alami pada *eco enzyme*, terutama bakteri asam laktat seperti *Lactobacillus* dan *Leuconostoc*, serta ragi seperti *Pichia* dan *Candida*. Aktivitas enzimatis dari campuran mikroba tersebut berpotensi menghasilkan enzim selulase yang dapat mendukung proses hidrolisis selulosa menjadi glukosa (Larasati et al., 2020). Secara mekanisme, hidrolisis ini melibatkan aksi enzim endoglukanase, eksoglukanase, dan β -glukosidase yang memutus ikatan β -1,4-glikosidik pada rantai selulosa sehingga terbentuk glukosa (Ejaz et al., 2021). Setelah hidrolisis selesai diperoleh kadar glukosa sebesar 7,6%°Brix dengan aktivitas enzim sebesar 3,5185 U/mL (Tabel 1). Hal ini menunjukkan *eco enzyme* mampu mendegradasi selulosa menjadi gula sederhana yaitu glukosa yang nantinya akan menjadi sumber makanan utama untuk fermentasi oleh sel *Saccharomyces Cerevisiae*.

Proses fermentasi dilakukan selama 1-5 hari akan dibantu dengan sel *Saccharomyces Cerevisiae* yang terimobilisasi dalam natrium alginat untuk menghasilkan bioetanol. Setelah dilakukan destilasi, bioetanol ditentukan konsentrasinya menggunakan *gas chromatography* dan menghitung *yield* yang dihasilkan.

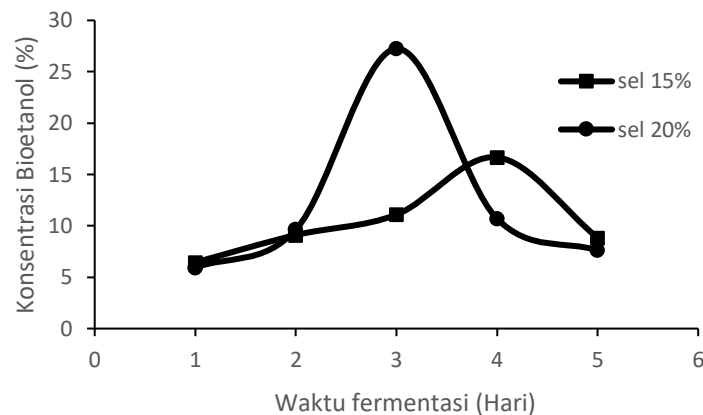
Tabel 2. Data Konsentrasi dan Yield Bioetanol

Konsentrasi Imobilisasi Sel (%)	Waktu	Konsentrasi	Yield (%) b/b
	Fermentasi (hari)	Bioetanol (%) v/v	
15	1	6.4386	3.0480
	2	9.1035	6.2250
	3	11.0899	8.6916
	4	16.6671	10.5203
	5	8.8383	6.8804
20	1	5.9294	3.8986
	2	9.6344	7.6522
	3	27.2470	23.7910
	4	10.6959	8.4391
	5	7.6105	5.2041

Pengaruh Konsentrasi Imobilisasi Sel *Saccharomyces Cerevisiae* dan Waktu Fermentasi Terhadap Konsentrasi Bioetanol

Proses fermentasi menggunakan bioteknologi modern dengan teknik imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae*. Penggunaan teknik ini dianggap mampu meningkatkan produksi bioetanol dari biomassa. Natrium alginat akan menjebak sel *Saccharomyces*

Cerevisiae dan mencegah bioetanol bersentuhan langsung dengan sel. Akibatnya, produktivitas bioetanol akan meningkat dan proses penekanan sel oleh bioetanol akan dicegah (Marlinda et al., 2019). Pengaruh konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* terhadap waktu fermentasi dengan konsentrasi bioetanol yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut :



Gambar 1. Grafik Hubungan Konsentrasi Bioetanol dengan Waktu Fermentasi pada Konsentrasi Sel Imobilisasi Sel 15% dan 20%

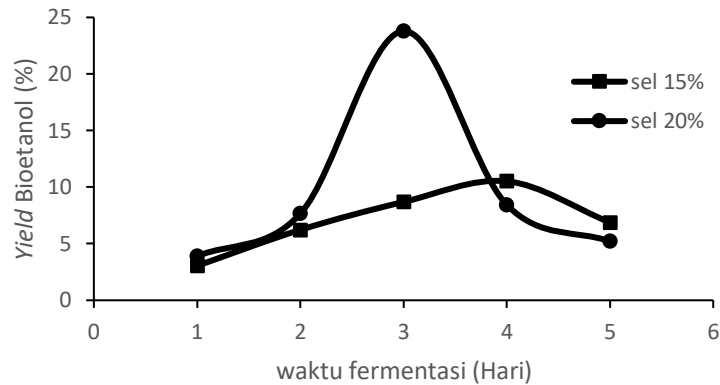
Pada Gambar 1 terlihat bahwa dengan peningkatan konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* dan durasi fermentasi sangat berpengaruh terhadap konsentrasi bioetanol yang dihasilkan. Konsentrasi bioetanol akan meningkat hingga mencapai puncaknya kemudian menurun.. Pada hari ketiga terjadi perbedaan yang signifikan dimana konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 20% mencapai kondisi optimum menghasilkan kadar bioetanol sebesar 27,2470%, sedangkan pada konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 15% menghasilkan kadar bioetanol sebesar 11,0899%. Hal ini dapat terjadi karena pada konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 20% pertumbuhan ragi *Saccharomyces Cerevisiae* meningkat sehingga ragi bekerja secara optimum dan ketersediaan nutrisi yang besar mendorong mikroba untuk menggunakannya untuk pertumbuhan dan metabolisme dengan cepat dalam mengubah glukosa menjadi bioetanol, sedangkan konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 15% pada hari ketiga masih mengalami fase adaptasi sehingga pertumbuhan ragi *Saccharomyces Cerevisiae* belum maksimal (D. Mulyadi et al., 2023). Data tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi sel *Saccharomyces*

Cerevisiae yang diimobilisasi meningkat seiring dengan konsentrasi *beads* yang diberikan. Oleh karena itu, sel-sel menjadi lebih aktif dalam memproduksi alkohol. Lebih jauh lagi, semakin banyak sel *Saccharomyces Cerevisiae* yang diimobilisasi dalam *beads* maka semakin banyak sel tumbuh di dalamnya sehingga semakin sedikit berinteraksi dengan lingkungannya. (Amanda et al., 2021).

Pada hari keempat terlihat bahwa pada konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 15% mencapai kondisi optimum dengan kadar bioetanol sebesar 16,6671% sedangkan kadar bioetanol pada konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 20% turun menjadi 10,6959%. Hal ini dikarenakan ragi pada konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 15% masih memiliki ketersediaan nutrisi yang cukup untuk tumbuh tetapi pada konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 20% nutrisi yang dibutuhkan semakin menipis. Menurut D. Mulyadi et al., (2023), konsentrasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* yang lebih tinggi mempengaruhi interaksi sel dengan sumber nutrisi dan interaksi yang lebih lama akan menyebabkan metabolisme sel ragi menurun dan memasuki fase kematian yang akan memengaruhi optimalisasi proses fermentasi. Selain itu kecenderungan penurunan konsentrasi bioetanol disebabkan oleh proses fermentasi yang dapat menghasilkan metabolit sekunder sehingga konsentrasi bioetanol turun saat terurai menghasilkan asam asetat. (Marlinda et al., 2023).

Pengaruh Konsentrasi Imobilisasi Sel *Saccharomyces Cerevisiae* dan Waktu Fermentasi Terhadap *Yield* Bioetanol

Perolehan bioetanol yang dihasilkan akan semakin banyak terlihat pada massa bioetanol dan *yield* bioetanol dengan bertambahnya konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* dan waktu fermentasi. Nilai *yield* meningkat seiring dengan jumlah bioetanol yang dihasilkan selama fermentasi.. Perolehan *yield* bioetanol dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan Yield Bioetanol dengan Waktu Fermentasi pada Konsentrasi Sel Imobilisasi Sel 15% dan 20%

Dari Gambar 2 menunjukkan bahwa perolehan bioetanol (*yield*) pada konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 15% dan 20% mengalami peningkatan seiring dengan lama waktu fermentasi kemudian mengalami penurunan. Pada hari ketiga, konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 20% menunjukkan *yield* tertinggi yaitu 23,7910% dibandingkan dengan konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 15% yang hanya menghasilkan *yield* sebesar 8,6917%. Perbedaan ini karena konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* yang semakin tinggi sehingga jumlah enzim pun semakin besar dalam menghasilkan bioetanol (Marlinda et al., 2019). Hal ini terbukti dari perolehan massa bioetanol, dimana konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 20% mampu mengonversi substrat menjadi bioetanol sebanyak 3,5686 gram dari total 15 gram substrat, sedangkan konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 15% hanya menghasilkan 1,5780 gram bioetanol dari jumlah substrat yang sama.

Pada hari keempat, konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 15% masih menunjukkan peningkatan *yield* menjadi 10,5203%. Sebaliknya pada konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 20% mengalami penurunan *yield* menjadi 8,4391%. Perbedaan ini dipengaruhi oleh konsentrasi bioetanol yang dihasilkan. Hasil analisis bioetanol menunjukkan bahwa *yield* berkaitan dengan pengaruh konsentrasi bioetanol dan massa bioetanol yang cenderung sedikit, berkisar antara 0,4572 hingga 3,5686 gram dari 15 gram substrat. Oleh karena itu, *yield* yang diperoleh cenderung sedikit dan rentan terhadap fluktuasi. Hal ini menunjukkan adanya penurunan stabilitas

dan ketahanan lingkungan sel mikroba yang mengakibatkan penurunan aktivitas sel. Dengan begitu proses fermentasi sel untuk mengubah glukosa menjadi bioetanol melambat (Marlinda et al., 2023). Selain itu, lisis sel *Saccharomyces cerevisiae* diduga menjadi penyebab penurunan konsentrasi bioetanol yang memengaruhi produksi bioetanol. Sel yang mengalami autolisis akan melepaskan enzim dari mitokondrianya yang dapat mengganggu membran sel sehingga mengakibatkan kerusakan sel dan hilangnya komponen sel yang dilepaskan ke media di sekitarnya. (Farhan & Susila, 2019).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* dan waktu fermentasi dapat meningkatkan konsentrasi bioetanol. Konsentrasi bioetanol terbaik dihasilkan pada konsentrasi imobilisasi sel *Saccharomyces Cerevisiae* 20% (b/v) dengan lama waktu fermentasi 3 hari yakni sebesar 27,2470% dengan *yield* sebesar 23,7910%. Konsentrasi bioetanol yang diperoleh merupakan hasil analisis menggunakan *gas chromatography* terhadap destilat hasil proses destilasi.

Daftar Referensi

- Amanda, D. P., Marlinda, Ramli, & Kurniawan, A. (2021). Pembuatan Bioetanol Dengan Teknik Imobilisasi Sel *Saccharomyces cerevicease* Dari Limbah Kertas HVS. *Jurnal Teknik Kimia Vokasional*, 1(2), 45–50. <https://doi.org/10.46964/jimsi.v1i2.865>
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Produksi Tanaman Perkebunan (Ribuan Ton) 2023*. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTMylzl=/production-of-plantation-crops.html>
- Cahyono, K., Sumardi, S., Irawan, B., Wahyuningsih, S., & Nurcahyani, E. (2021). Imobilisasi Bakteri Asam Laktat Dengan Menggunakan Zeolit Dan Natrium Alginat. *Jurnal Ilmiah Farmasi Farmasyifa*, 4(1), 33–40. <https://doi.org/10.29313/jiff.v4i1.6372>

- Ejaz, U., Sohail, M., & Ghanemi, A. (2021). Cellulases: From bioactivity to a variety of industrial applications. *Biomimetics*, 6(3), 1–11. <https://doi.org/10.3390/biomimetics6030044>
- Farhan, H., & Susila, I. W. (2019). Pemanfaatan Ampas Tebu (Bagasse) Sebagai Bahan Bakar Alternatif Bioetanol Dengan Metode Distilasi Menggunakan Batu Kapur Mesh 80 Dengan Variasi Berat Dan Suhu Pemanasan Batu Kapur. *Jtm*, 07(02), 83–88.
- Harahap, A. F. P., Panjaitan, J. R. H., Curie, C. A., Ramadhan, M. Y. A., Srinophakun, P., & Gozan, M. (2020). Techno-economic evaluation of hand sanitiser production using oil palm empty fruit bunch-based bioethanol by simultaneous saccharification and fermentation (SSF) process. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(17), 1–17. <https://doi.org/10.3390/app10175987>
- Larasati, D., Astuti, A. P., & Maharani, E. T. (2020). Uji Organoleptik Produk Eco-Enzyme Dari Limbah. *Fmipa Unimus*, 278–283. <https://prosiding.unimus.ac.id/index.php/edusaintek/article/view/569>
- Marlinda, Faisyal, & Azizah, W. (2023). Proses Hidrolisis Enzimatik Eco Enzym Pada Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Singkong Dengan Metode Simultaneous Saccarification Fermentation (SSF). *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri X*, 225–230.
- Marlinda, Ramli, & Ardis. (2019). Pengaruh Konsentrasi Imobilisasi Sel Saccharomyces Cerevisiae Pada Pembuatan Bioetanol Dari Nira Nipah. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat*, 135–139.
- Muis, L., Juita Anggraini, F., Viareco, H., & Eka Wijaya, D. (2023). Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai Arang Aktif untuk Penjernihan Air di Desa Muara Sebapo Kecamatan Mestong Kabupaten Muaro Jambi. *JPM Pinang Masak*, 4(2), 39–51.

- Mulyadi, D., Khumaisah, L. L., & Rahayu, S. (2023). Pemanfaatan Kulit Manggis (*Garcinia mangostana* L.) sebagai Bioetanol Generasi Dua (G2) dengan Variasi Konsentrasi Ragi Melalui Metode Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF). *Jurnal Teknik Mesin*, 20(2), 46–54. <https://doi.org/10.9744/jtm.20.2.46-54>
- Prayitno Susanto, J., Dwi Santoso, A., & Nawa Suwedi, D. (2017). Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan dengan Metode LCA Palm Solid Wastes Potential Calculation for Renewable Energy with LCA Method. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 165–172.
- Rahhutami, R. (2019). Pengaruh Dosis *Saccharomyces Cerevisiae* dan Waktu Fermentasi terhadap Produksi Etanol Bunga Jantan Kelapa Sawit Pasca Anthesis dengan Teknik Immobilisasi. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 12(2), 119–124.
- Rezki, A. S., Wulandari, Y. R., Alvita, L. R., & Sari, N. P. (2023). Potensi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai Bioenergi pada Produksi Bio-Oil dengan Metode Pirolisis: Efek Temperatur. *Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan*, 7(1), 22–29. <https://rbaet.ub.ac.id/index.php/rbaet/article/view/2930>
- Septiani, U., Najmi, & Oktavia, R. (2021). Eco Enzyme : Pengolahan Sampah Rumah Tangga Menjadi Produk Serbaguna di Yayasan Khazanah Kebajikan. *Jurnal Universitas Muhamadiyah Jakarta*, 02(1), 1–7. <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaskat>
- Sindhuwati, C., Mustain, A., Rosly, Y. O., Aprijaya, A. S., Mufid, M., Suryandari, A. S., Hardjono, H., & Rulianah, S. (2021). Review: Potensi Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol dengan Metode Fed Batch pada Proses Hidrolisis. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 5(2), 128–144. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v5i2.224>