

Characterization Of Bioethanol From Cassava As A Fuel In Gasoline Engines

Muhammad Ihsan^{1*}, Yolli Fernanda¹, Arwizet K¹, Andre Kurniawan¹

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Padang, INDONESIA

*Corresponding author : mihsan2507@gmail.com

Received October 7th 2025; Revised October 30th 2024; Accepted November 12th 2025

Abstract

*Energy demand in Indonesia continues to increase, particularly in the transportation sector, which remains highly dependent on fossil fuels such as gasoline. This dependency has led to serious issues, including the depletion of petroleum reserves projected to last only approximately 9.5 years, global oil price volatility, and increased greenhouse gas emissions contributing around 26% of total national CO₂ emissions. Bioethanol from cassava (*Manihot esculenta*) has emerged as a promising renewable fuel alternative due to its high octane number (RON 108-110), capability to reduce net CO₂ emissions by 40-90%, and abundant availability with productivity reaching 40.77 tons per hectare in West Sumatra. This study aims to characterize bioethanol produced from white cassava and evaluate the effect of fermentation temperature on the yield and quality of bioethanol as a fuel for gasoline engines. The research methodology comprised liquefaction using alpha-amylase enzyme, saccharification with glucoamylase, fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* at 35°C for 7 days, and distillation at 78°C. Five kilograms of cassava substrate were fermented, producing 310 grams of fermentation liquid, which was subsequently distilled to yield 26 grams of bioethanol with the first droplet appearing at minute 28 and a total distillation time of 90 minutes. The results demonstrated that a fermentation temperature of 35°C represents the optimum temperature, producing bioethanol with sufficiently high volume and concentration, consistent with the ideal temperature range of 30-35°C for *Saccharomyces cerevisiae* activity. This research contributes to the development of efficient bioethanol production technology and promotes cassava utilization as a renewable energy source to support national energy security and transition toward a low-carbon economy.*

Keywords: bioethanol, white cassava, fermentation, temperature, alternative fuel, gasoline engine

Karakterisasi Bioetanol Dari Singkong Sebagai Bahan Bakar Pada Gasoline Engine

Abstrak

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat, khususnya pada sektor transportasi yang masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil seperti bensin. Ketergantungan ini menimbulkan permasalahan serius berupa deplesi cadangan minyak bumi yang diproyeksikan hanya bertahan sekitar 9,5 tahun, volatilitas harga minyak dunia, serta peningkatan emisi gas rumah kaca yang menyumbang sekitar 26% dari total emisi CO₂ nasional. Bioetanol dari singkong (*Manihot esculenta*) menjadi alternatif bahan bakar terbarukan yang menjanjikan karena memiliki bilangan oktan tinggi (RON 108-110), dapat menurunkan emisi CO₂ net hingga 40-90%, serta tersedia melimpah dengan produktivitas mencapai 40,77 ton per hektar di Sumatera Barat. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi bioetanol yang diproduksi dari singkong putih dan mengevaluasi pengaruh temperatur fermentasi terhadap yield dan kualitas bioetanol sebagai bahan bakar gasoline engine. Metode penelitian meliputi tahapan liquifikasi menggunakan enzim alfa-amilase, sakarifikasi dengan glukoamilase, fermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* pada suhu 35°C selama 7 hari, dan destilasi pada suhu 78°C. Substrat singkong sebanyak 5 kg difermentasi dan menghasilkan 310 gram cairan fermentasi yang kemudian didestilasi menghasilkan 26 gram bioetanol dengan waktu munculnya tetesan pertama pada menit ke-28 dan total waktu destilasi 90 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu fermentasi 35°C merupakan suhu optimum yang menghasilkan bioetanol dengan volume dan kadar yang cukup tinggi, sesuai dengan rentang suhu ideal 30-35°C untuk aktivitas *Saccharomyces cerevisiae*. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi produksi bioetanol yang efisien dan mendorong pemanfaatan singkong sebagai sumber energi terbarukan untuk mendukung ketahanan energi nasional dan transisi menuju ekonomi rendah karbon.

Kata kunci: bioetanol, singkong putih, fermentasi, suhu, bahan bakar alternatif, gasoline engine

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia mengalami pertumbuhan signifikan seiring dengan perkembangan ekonomi, di mana sektor transportasi menyumbang sekitar 40% dari konsumsi energi final nasional dan masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil seperti bensin (I, 2016). Ketergantungan ini menimbulkan permasalahan serius mengingat cadangan minyak bumi Indonesia terus mengalami deplesi dengan rasio cadangan terhadap produksi yang diproyeksikan hanya bertahan sekitar 9,5 tahun (*Statistical-Review-of-World-Energy-Kleiner.Pdf*, n.d.). Kondisi ini diperparah dengan volatilitas harga minyak dunia dan beban subsidi energi yang terus membengkak (Prasetyo et al., 2018).

Pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan emisi gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global, dengan sektor transportasi Indonesia menyumbang sekitar 26% dari total emisi CO₂ nasional (Tremblay et al., 2016). Oleh karena itu, transisi menuju energi terbarukan yang berkelanjutan menjadi keharusan strategis untuk menjamin ketahanan energi nasional dan memenuhi komitmen Indonesia dalam *Paris Agreement* untuk menurunkan emisi GRK sebesar 29% pada tahun 2030 (Nurdiawati & Urban, 2021).

Gasoline (bensin) telah menjadi bahan bakar dominan untuk mesin *spark ignition engine* karena karakteristiknya yang superior, meliputi volatilitas tinggi, nilai kalor yang mencapai 43-44 MJ/kg, dan kemampuan pembakaran yang stabil (Heywood, 1988). Namun, konsumsi bensin menimbulkan eksternalitas negatif berupa ketergantungan terhadap sumber daya *non-renewable* dan kontribusi signifikan terhadap emisi polutan seperti CO₂, CO, HC, dan NO_x yang berdampak buruk terhadap kualitas udara dan kesehatan masyarakat (Dhande et al., 2021).

Bioetanol (C₂H₅OH) telah diidentifikasi sebagai alternatif bahan bakar terbarukan yang menjanjikan untuk aplikasi pada *gasoline engine*, baik dalam bentuk blending dengan bensin (E5, E10, E85) maupun sebagai bahan bakar murni (Agarwal, 2007). Bioetanol menawarkan berbagai keunggulan, antara lain memiliki bilangan oktan tinggi (RON 108-110), mengandung oksigen sekitar 35% yang memfasilitasi pembakaran lebih sempurna, serta menurunkan emisi CO₂ net hingga 40-90% dibandingkan bensin fosil melalui siklus karbon tertutup (Dinanti et al., 2024).

Indonesia memiliki potensi luar biasa dalam produksi bioetanol berbasis tanaman pangan dan non-pangan, dengan singkong (*Manihot esculenta Crantz*) menempati posisi strategis sebagai *feedstock* yang ideal (Erna et al., 2016). Singkong merupakan tanaman tropis tahunan dengan periode panen 8-12 bulan yang memiliki adaptabilitas ekologis tinggi, mampu tumbuh optimal pada berbagai kondisi lahan marginal sehingga tidak berkompetisi dengan lahan pertanian pangan utama (Janssen & Rutz, 2011). Indonesia merupakan produsen singkong terbesar keempat di dunia dengan produksi mencapai 16-18 juta ton per tahun (Otekunrin, 2024).

Singkong memiliki kandungan karbohidrat total yang sangat tinggi, berkisar antara 75-85% dari berat kering, dengan komposisi utama berupa pati (70-85%) yang menjadikannya sebagai substrat efisien untuk proses sakarifikasi dan fermentasi menjadi bioetanol, dengan *yield* teoritis mencapai 150-200 liter bioetanol per ton singkong segar (Kusmiyati & Shitophyta, 2014). Berdasarkan hasil penelitian yang dilaporkan dalam *Jurnal Agrotek Tropika* (2023), produktivitas tanaman singkong di Provinsi Sumatera Barat mencapai rata-rata 40,77 ton per hektar pada kondisi budidaya yang optimal. Nilai ini menunjukkan bahwa potensi hasil singkong di beberapa daerah di Indonesia dapat melampaui rata-rata produktivitas nasional yang umumnya berada pada kisaran 25–30 ton per hektar. (Sanjaya et al., 2023)

Proses produksi bioetanol dari bahan berpati melibatkan tahapan: (1) *pretreatment*, (2) *liquifikasi* menggunakan enzim α -amilase, (3) sakarifikasi menggunakan enzim glukamilase, (4) fermentasi alkoholik oleh *Saccharomyces cerevisiae*, serta (5) destilasi dan dehidrasi untuk memurnikan etanol hingga *fuel-grade* (>99,5% v/v) (*Version of Record*: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319921029189>, 2021). Fermentasi merupakan proses kritis yang menentukan efisiensi konversi substrat dan *yield* etanol akhir, di mana *S. cerevisiae* mengkonversi glukosa menjadi etanol dengan *yield* teoritis maksimum 0,511 g etanol/g glukosa (Tsegaye et al., 2024).

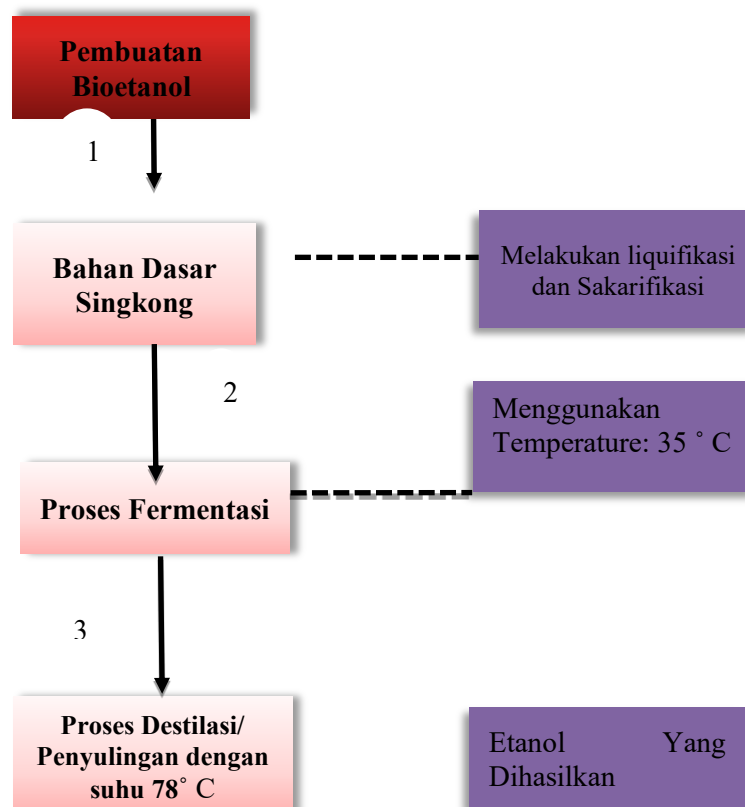
Performa fermentasi sangat dipengaruhi oleh berbagai parameter operasional, dengan temperatur dan waktu fermentasi merupakan faktor dominan yang menentukan kinetika reaksi dan produktivitas etanol (Kusmiyati & Shitophyta, 2014). Temperatur optimal untuk *Saccharomyces cerevisiae* umumnya berkisar antara 28-35°C, di mana aktivitas enzim glikolitik mencapai maksimum dan viabilitas sel terjaga dengan baik (Tsegaye et al., 2024). Suhu di bawah 25°C menyebabkan penurunan laju fermentasi, sementara suhu di atas 37-40°C dapat menyebabkan denaturasi enzim dan stress termal pada sel yang berujung pada

penurunan *yield* etanol (Abdel-Banat et al., 2010). Fokus penelitian ini mengacu pada studi oleh (Tsegaye et al., 2024) mengenai peran krusial *Saccharomyces cerevisiae* dalam biokonversi gula menjadi bioetanol, di mana suhu fermentasi merupakan salah satu faktor paling signifikan yang memengaruhi produktivitas dan *yield* etanol. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi bioetanol yang diproduksi dari singkong putih lokal Indonesia dan mengevaluasi pengaruh temperatur fermentasi terhadap *yield*, konsentrasi, serta kualitas bioetanol yang dihasilkan. Karakterisasi yang dilakukan meliputi analisis sifat fisikokimia bioetanol (densitas, viskositas, nilai kalor, bilangan oktan, flash point) dan evaluasi performanya sebagai bahan bakar alternatif untuk *gasoline engine*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam peningkatan efisiensi proses produksi bioetanol dan optimasi pemanfaatan potensi singkong sebagai *feedstock* energi terbarukan untuk mendukung transisi energi menuju ekonomi rendah karbon yang berkelanjutan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mencakup eksperimen yang bertujuan untuk menentukan kualitas bioetanol pada singkong dan pada temperature berapa bioetanol memiliki kualitas terbaik

1. Prosedur Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

a. Persiapan Bahan Baku

Kupas, cuci, dan parut singkong, kemudian campur dengan air dan panaskan pada suhu 90-100°C selama sekitar 30 menit sambil diaduk hingga mengental menjadi bubur pati



Gambar 2. Singkong yang udah diparut

b. Proses Liquifikasi

Setelah didinginkan, lakukan liquifikasi dengan menambahkan enzim alfa amilase dan panaskan pada suhu sekitar 90°C Selama 30 menit agar pati terkonversi menjadi gula kompleks.



Gambar 3. Proses liquifikasi

c. Proses Sakarifikasi

Setelah pendinginan, tambahkan enzim glukoamilase untuk sakarifikasi pada suhu optimum enzim sekitar 60°C sehingga gula kompleks diubah menjadi glukosa sederhana



Gambar 4. Proses Sakarifikasi

Setelah suhu turun ke 30-40°C tambahkan ragi roti secara bertahap sebanyak 50gr untuk fermentasi selama 7 hari



Gambar 5. Proses Fermentasi

e. Proses Destilasi

Setelah fermentasi selesai, lakukan destilasi untuk memisahkan etanol dari campuran dengan suhu sekitar 78°C



Gambar 6. Proses Destilasi

2. Peralatan

a. Pisau

Digunakan untuk memotong singkong menjadi kecil



Gambar 7. Pisau

b. Penyaring

Digunakan untuk memisahkan ampas singkong dari pati singkong



Gambar 8. Penyaring

c. Panci

Alat ini dapat digunakan untuk merebus ubi kayu yang sudah dihaluskan sebelumnya. Panci ini digunakan untuk merebus ubi dan melakukan hidrolisis pati sehingga dapat dilakukan fermentasi pada ubi kayu.



Gambar 9. Panci

d. Kompor Portabel



Gambar 10. Kompor Portabel

Alat ini digunakan sebagai sumber energi panas pada proses produksi bioethanol. Mulai dari proses hidrolisis pati hingga proses destilasi.

e. Alat Fermentasi



Gambar 11. Alat Fermentasi

f. Alat Destilasi

Alat ini berfungsi untuk pemisah antara etanol dari campuran fermentasi. Pada bagian ini etanol murni yang terkandung selama fermentasi akan terpisah.



Gambar 12. Alat Destilasi

g. Timbangan

Alat ini digunakan untuk mengukur massa bahan yang dibutuhkan dalam proses produksi. Massa bahan yang ditimbang seperti Enzim Amilase, Glukoamilase, dan ragi serta mengetahui berapa didapat etanol setelah proses destilasi



Gambar 13. Timbangan

3. Analisis Data Penelitian

Proses fermentasi dilakukan pada suhu 35°C selama tujuh hari menggunakan substrat singkong sebanyak 5 kg yang telah mengalami proses sakarifikasi dengan penambahan enzim amilase sebanyak 1,5 gram dan glukoamilase 1 gram. Proses fermentasi menggunakan ragi roti mencapai suhu sekitar 35°C . Selama fermentasi berlangsung, wadah ditutup rapat untuk mencegah masuknya udara luar.

Setelah fermentasi selesai, diperoleh hasil fermentasi berupa cairan berwarna kekuningan. Sebanyak 310 gr hasil fermentasi dimasukkan ke dalam labu didih berkapasitas 500 mL untuk dilakukan proses destilasi. Pemanasan dilakukan secara bertahap menggunakan kompor portable.



Gambar 14. labu didih isi hasil fermentasi

Proses pemanasan berlangsung selama 25 menit hingga suhu dalam labu mencapai titik didih etanol sekitar $78\text{--}80^{\circ}\text{C}$. Tetesan pertama etanol mulai keluar melalui kondensor pada menit ke-28 setelah pemanasan dimulai. Proses destilasi dilanjutkan hingga tidak ada lagi tetesan yang keluar dari kondensor, dengan total waktu destilasi selama 90 menit. Dari proses tersebut diperoleh hasil destilasi sebanyak 26 gr bioetanol cair. Cairan hasil destilasi tampak jernih dan berbau khas etanol.



Gambar 15. Hasil etanol



Gambar 16. Hasil etanol dibakar

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Fermentasi pada suhu 35°C menunjukkan hasil produksi etanol yang cukup baik dibandingkan dengan literatur umum proses fermentasi singkong. Menurut (Ummah, 2019), suhu optimum fermentasi berada pada rentang $30\text{--}35^{\circ}\text{C}$, di mana pada suhu ini aktivitas enzim dan metabolisme ragi berlangsung secara optimal sehingga proses konversi glukosa menjadi etanol berjalan efisien. (Saragih et al., 2024) juga menegaskan bahwa suhu fermentasi dalam rentang tersebut memberikan kondisi ideal bagi pertumbuhan dan aktivitas metabolisme *Saccharomyces cerevisiae* dalam menghasilkan bioetanol.

Hasil destilasi menunjukkan bahwa dari 310 gr cairan hasil fermentasi dapat dihasilkan 26 gr bioetanol, yang setara dengan rendemen sekitar. Nilai ini menandakan bahwa fermentasi berlangsung efektif namun belum maksimal. (Kamal & Aditama, 2025) menjelaskan bahwa rendemen yang belum optimal kemungkinan disebabkan oleh masih adanya kandungan air atau senyawa organik lain dalam hasil fermentasi yang ikut terdestilasi, sehingga mempengaruhi kemurnian etanol yang dihasilkan. (Wibowo, 2021) menambahkan bahwa faktor-faktor seperti metode pemurnian dan kondisi proses destilasi dapat mempengaruhi kualitas dan kuantitas bioetanol yang diperoleh, dimana pemilihan teknik destilasi yang tepat akan menentukan kadar kemurnian produk akhir.

IV. KESIMPULAN

Penelitian awal pada proses fermentasi singkong pada suhu 35°C menunjukkan hasil yang cukup baik. Dari 310 gram hasil fermentasi, diperoleh 26 gram. Waktu munculnya tetesan pertama etanol adalah pada menit ke-28, dan total waktu destilasi berlangsung selama 90 menit.

Suhu fermentasi 35°C dapat dikategorikan sebagai suhu optimum untuk fermentasi menggunakan ragi roti, karena menghasilkan bioetanol dengan volume dan kadar yang cukup tinggi. Namun, untuk memperoleh kemurnian yang lebih baik, diperlukan tahap redestilasi atau dehidrasi.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Banat, B. M. A., Hoshida, H., Ano, A., Nonklang, S., & Akada, R. (2010). High-temperature fermentation: How can processes for ethanol production at high temperatures become superior to the traditional process using mesophilic yeast? *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4), 861–867. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2248-5>

- Agarwal, A. K. (2007). Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33(3), 233–271. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2006.08.003>
- Dhande, D. Y., Sinaga, N., & Dahe, K. B. (2021). Study on combustion, performance and exhaust emissions of bioethanol-gasoline blended spark ignition engine. *Heliyon*, 7(3), e06380. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06380>
- Dinanti, P., Sundari, S., Laksmono, R., Ramadhan, T. R., & Sianipar, L. (2024). Analisis Biaya Ekonomi Serta Dampak Lingkungan Penggunaan Gasoline dan Biofuel Sebagai Bahan Bakar Transportasi. *El-Mal: Jurnal Kajian Ekonomi & Bisnis Islam*, 5(4), 2027–2040. <https://doi.org/10.47467/elmal.v5i4.871>
- Erna, Said, I., & Abram, P. H. (2016). Bioetanol Dari Limbah Kulit Singkong (Manihot esculenta Crantz) Melalui Proses Fermentasi Bioethanol from Waste of Cassava Peel (Manihot esculenta Crantz) through Fermentation. *Jurnal Akademik Kimia Pendidikan Kimia /FKIP -UIVERSITAS Tadulako, Palu-Indonesia 94118*, 5(3), 121–126.
- Heywood, J. B. (1988). Internal Combustion Engine Fundamentals 2nd Edition. *Internal Combustion Engine Fundamentals*, 1–37.
- I, J. (2016). *Outlook_Energi_Indonesia_2016_Opt.Pdf* (p. 38).
- Janssen, R., & Rutz, D. D. (2011). Sustainability of biofuels in Latin America: Risks and opportunities. *Energy Policy*, 39(10), 5717–5725. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.01.047>
- Kamal, D. M., & Aditama, R. (2025). Analisis Produksi Bioetanol dari Fermentasi Singkong Mentega. *Seminar Nasional Inovasi Vokasi*, 4(1), 1260–1266. <https://prosiding.pnj.ac.id/index.php/sniv/article/view/3906>
- Kusmiyati, K., & Shitophyta, L. M. (2014). Produksi Bioetanol dari Bahan Baku Singkong, Jagung dan Iles-iles :Pengaruh Suhu Fermentasi dan Berat Yeast Saccharomyces cerevisiae. *Reaktor*, 15(2), 97. <https://doi.org/10.14710/reaktor.15.2.97-103>
- Nurdiawati, A., & Urban, F. (2021). Towards deep decarbonisation of energy-intensive industries: A review of current status, technologies and policies. *Energies*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/en14092408>
- Otekunrin, O. A. (2024). Cassava (Manihot esculenta Crantz): a global scientific footprint—production, trade, and bibliometric insights. *Discover Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00121-3>
- Prasetyo, I., Effendy, M., Mesin, T., & Muhammadiyah, U. (2018). *Bioetanol Dari Bahan Baku Singkong Sebagai Bahan*. 19(2), 43–54.
- Sanjaya, P., Banuwa, I. S., Basri, A. K., Afandi, A., Surnayanti, S., & Masruri, N. W. (2023). PENGARUH GULUDAN DAN PEMUPUKAN TERHADAP ALIRAN PERMUKAAN DAN EROSI PADA PERTANAMAN SINGKONG (Manihot esculenta Crantz) TAHUN KETUJU. *Jurnal Agrotek Tropika*, 11(3), 531. <https://doi.org/10.23960/jat.v11i3.7737>
- Saragih, A. S., Daulay, A. H., & Masthura. (2024). Utilization of Cassava Peel Waste into



Statistical-Review-of-World-Energy-Kleiner.Pdf. (n.d.).

Tremblay, J., Regnerus, M. D., Educação, S. D. A. S. N. D. E., Júnior, F. T., Sanfelice, J. L., Tavares Júnior, F., Dourado, L. F., Brito, M. M. A. de, Maiti, Bidinger, Sposito, M. P., Dubet, F. F., Ribeiro, C. A. C., Silva, N. do V., Barbosa, M. L. de O., Cunha, N. M., Dayrell, J., Rogošić, S., Baranović, B., ... Alves, S. (2016). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Educacao e Sociedade*, 1(1), 1689–1699. http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/Educacao_PereiraAS_1.pdf%0Ahttp://www.anpocs.org.br/portal/publicacoes/rbcs_00_11/rbcs11_01.htm%0Ahttp://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7845/1/td_2306.pdf%0Ahttps://direitofma2010.files.wordpress.com/2010/

Tsegaye, K. N., Alemnew, M., & Berhane, N. (2024). Saccharomyces cerevisiae for lignocellulosic ethanol production: a look at key attributes and genome shuffling. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12(August), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1466644>

Ummah, M. S. (2019). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETU_NGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI

Version of Record: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319921029189>. (2021). 1–82.

Wibowo, A. (2021). Studi Optimasi Pressure Swing Distillation Pada Pemurnian Etanol Menggunakan Chemcad. *Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 255–263.