



PRARANCANGAN PABRIK ASAM LAKTAT DARI UBI KAYU DENGAN PROSES *SIMULTANEOUS SACCHARIFICATION AND FERMENTATION (SSF)* KAPASITAS 4.500 TON/TAHUN

Mita Mara Cantika¹, Devi Prayuga^{1*}, Ahmad Reza Maulufi¹
Helda Wika Amini¹, Yukti Nurani¹, Istiqomah Rahmawati¹

¹Program Studi S-1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jl. Kalimantan No. 37, Jember, Jawa Timur, 68121

*Corresponding Author: prayogabwil@gmail.com

Abstrak

Asam laktat atau 2-hydroxypropanoic acid ($C_3H_6O_3$) merupakan senyawa organik yang larut dalam air dan dapat ditemukan di alam dalam bentuk D-lactic acid dan L-lactic acid. Asam laktat banyak diaplikasikan di berbagai industri, seperti makanan, kosmetik, farmasi, kimia, dan lainnya. Pendirian pabrik asam laktat berbasis ubi kayu dengan kapasitas 4.500 ton/tahun menggunakan bantuan bakteri asam laktat yaitu *Lactobacillus delbrueckii* dalam proses fermentasi. Pabrik ini didirikan di Kecamatan Kesugihan, Kabupaten Cilacap, Provinsi Jawa Tengah dengan waktu produksi dalam setahun selama 330 hari. Tahap produksi terdiri dari tahap persiapan bahan baku, tahap *Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)*, dan tahap pemurnian produk. Tahap persiapan bahan baku berlangsung dari ubi kayu hingga terbentuk pasta pati, selanjutnya masuk ke dalam Reaktor Likuifaksi (R-180) untuk memecah pati kedalam bentuk dekstrin dengan bantuan enzim α -amylase. Tahap *Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)* berlangsung dalam Fermenter SSF (R-240) dengan kondisi operasi 45°C dan tekanan 1 atm selama 24 jam. Tahap pemurnian produk dilakukan menggunakan evaporator hingga mendapatkan kemurnian produk asam laktat sebesar 88%. Utilitas pendukung proses meliputi kebutuhan air sebesar 99.427,6401 kg/jam, kebutuhan steam sebesar 3.219,9494 kg/jam, kebutuhan listrik sebesar 549,07 kW/jam, dan kebutuhan bahan bakar sebesar 358,6076 L/jam. Bentuk perusahaan yang dipilih adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan jumlah karyawan sebanyak 134 orang yang terdiri dari karyawan shift dan non-shift. Berdasarkan analisis ekonomi dihasilkan *Annual Cash Flow (ACF)* sebesar 25,50%, *Pay Out Time (POT)* sebesar 3,53 tahun, dan *Break Event Point* sebesar 46,32%. Hasil dari evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa pabrik asam laktat dengan kapasitas 4.500 ton/tahun ini layak untuk didirikan.

Kata kunci : ubi kayu, asam laktat, *lactobacillus delbrueckii*, SSF process, fermenter SSF

1. Pendahuluan

Asam laktat atau 2-hydroxypropanoic acid ($C_3H_6O_3$) merupakan senyawa organik yang larut dalam air dan dapat ditemukan di alam dalam bentuk D-lactic acid dan L-lactic acid. Asam laktat secara umum dapat diproduksi menggunakan metode fermentasi dan sintesis kimia. Asam laktat umumnya dijual sebagai larutan dengan konsentrasi 88% (Abedi dan Hashemi, 2020). Produk Asam laktat banyak diaplikasikan di berbagai industri, seperti makanan,

kosmetik, farmasi, kimia, dan lainnya. Menurut (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2024), menyatakan bahwa kebutuhan asam laktat di Indonesia pada tahun 2023 sebesar 4.316.117,00 kg/tahun. Indonesia saat ini belum memiliki pabrik asam laktat. Oleh karena itu untuk mencukupi kebutuhan tersebut, Indonesia harus mengimpor asam laktat dari negara lain seperti Thailand, USA, dan China. Ketergantungan terhadap kegiatan impor dapat menyebabkan berkurangnya



devisa negara, sehingga untuk mengatasi masalah tersebut perlu adanya tindakan untuk mendirikan pabrik asam laktat di Indonesia. Bahan baku yang berpotensi untuk dijadikan produk asam laktat, salah satunya ubi kayu. Menurut (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2016), produksi ubi kayu Indonesia pada tahun 2015 mencapai 21,80 juta ton. Ubi kayu segar mengandung pati sebesar 18,74%, yang terdiri dari amilosa sebesar 17% dan amilopektin sebesar 83% (Mustafa, 2015). Keuntungan dari penggunaan ubi kayu sebagai bahan baku pembuatan asam laktat adalah tersedia secara melimpah dan dapat dikonversi menjadi asam laktat sebesar 19-98% (Kuy dan Boonyarattanakalin, 2019). Asam laktat secara umum diproduksi melalui dua metode yaitu fermentasi dan sintesis kimia. Metode sintesis kimia dalam produksi asam laktat, kondisi operasi dilakukan pada suhu dan tekanan tinggi, sehingga dapat meningkatkan konsumsi energi dan biaya produksi. Proses pemurnian asam laktat juga memerlukan pemisahan lanjutan karena metode sintesis kimia menghasilkan produk samping asam organik lainnya (Aini et al., 2023). Metode ini juga tidak ramah lingkungan dibandingkan metode fermentasi. Berdasarkan penjelasan tersebut, metode fermentasi merupakan metode yang paling layak digunakan untuk proses produksi asam laktat pada pabrik ini karena kondisi operasi dilakukan pada suhu dan tekanan rendah sehingga dapat mengurangi konsumsi energi dan biaya produksi. Metode fermentasi juga menghasilkan yield tinggi dan lebih ramah lingkungan dibandingkan sintesis kimia. (Anuradha et al., 1999). Metode fermentasi dalam produksi asam laktat terdiri dari beberapa jenis, antara lain *Separate Hydrolysis and Fermentation* (SHF) dan *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF). Metode SHF dalam produksi asam laktat merupakan metode dimana proses hidrolisis dan fermentasi dilakukan terpisah dalam reaktor yang berbeda. Memiliki kelemahan yaitu yield lebih rendah, waktu fermentasi lebih lama, dan biaya produksi relatif tinggi, oleh karena itu dipilih metode SSF, dalam produksi asam laktat merupakan metode dimana proses hidrolisis dan fermentasi dilakukan secara simultan atau bersamaan dalam satu reaktor. Kelebihan dari metode ini yaitu yield lebih tinggi, waktu fermentasi lebih cepat, dan biaya produksi lebih rendah (Hetényi et al., 2011). Jenis bakteri yang berpotensi dalam metode

SSF untuk produksi asam laktat terdiri dari beberapa jenis, antara lain *Lactococcus lactis* dan *Lactobacillus delbrueckii*. Bakteri *Lactococcus lactis* dalam produksi asam laktat dengan metode SSF merupakan bakteri yang cocok untuk kondisi proses dengan suhu rendah. Kekurangan dari bakteri ini adalah yield yang dihasilkan lebih rendah, tidak fleksibel dan intoleran terhadap berbagai kondisi, dan waktu fermentasi lebih lama (Aini et al., 2023). Bakteri *Lactobacillus delbrueckii* merupakan bakteri yang cocok untuk produksi asam laktat karena yield yang dihasilkan lebih tinggi, kondisi proses fleksibel dan toleran terhadap berbagai kondisi, dan waktu fermentasi lebih cepat. Kekurangan dari bakteri ini adalah membutuhkan suhu operasi sedikit lebih tinggi daripada *Lactococcus lactis* (Anuradha et al., 1999). Berdasarkan dari kedua perbandingan tersebut, bakteri *Lactobacillus delbrueckii* merupakan bakteri yang paling layak digunakan untuk proses produksi asam laktat pada pabrik ini.

Kapasitas produksi pabrik asam laktat yang akan direncanakan dan dibangun, ditentukan berdasarkan analisis kebutuhan asam laktat di Indonesia. Data kebutuhan tersebut diperoleh dari informasi ekspor dan impor, mengingat saat ini belum terdapat pabrik asam laktat di dalam negeri. Pabrik ini akan didirikan pada tahun 2027. Kapasitas produksi ditentukan berdasarkan data kebutuhan ekspor dan impor asam laktat pada tahun 2019-2023 yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik Indonesia. Kapasitas pabrik baru dihitung menggunakan metode discounted dari buku (Kusnarjo, 2010) dengan judul “Desain Pabrik Kimia”, sehingga peluang kapasitas produksi pabrik baru dihitung menggunakan persamaan:

$$m_3 = (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2)$$
$$m_3 = (15.430,65 + 4.512.170,07) - (0 + 0)$$
$$m_3 = 4.527.600,72 \text{ kg/tahun}$$

Keterangan:

- m_1 : jumlah impor 2027, (kg/tahun)
- m_2 : kapasitas produksi pabrik lama, (kg/tahun)
- m_3 : kapasitas produksi pabrik baru, (kg/tahun)
- m_4 : jumlah ekspor 2027, (kg/tahun)
- m_5 : jumlah konsumsi 2027, (kg/tahun)

Berdasarkan perhitungan menggunakan metode discounted, peluang kapasitas produksi pabrik baru pada tahun 2027 didapatkan sebesar 4.527.600,72 kg/tahun. Kapasitas produksi pabrik



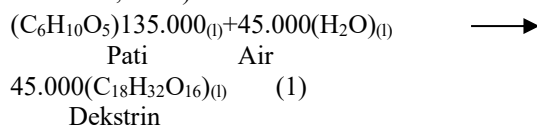
asam laktat didapatkan dengan membulatkan peluang kapasitas. Jadi, pada tahun 2027 ditetapkan kapasitas produksi pabrik baru sebesar 4.500.000 kg/tahun atau 4.500 ton/tahun.

2. Uraian Proses

Produksi asam laktat ($C_3H_6O_3$) pada pabrik ini berbahan baku dari ubi kayu dengan proses *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) dengan bantuan bakteri *Lactobacillus delbrueckii*. Proses berlangsung dalam *Fermenter SSF* (R-240) pada suhu $45^\circ C$ dan tekanan 1 atm. Produksi asam laktat ini terdiri dari tiga tahapan proses yaitu:

1. Tahap Persiapan Bahan Baku

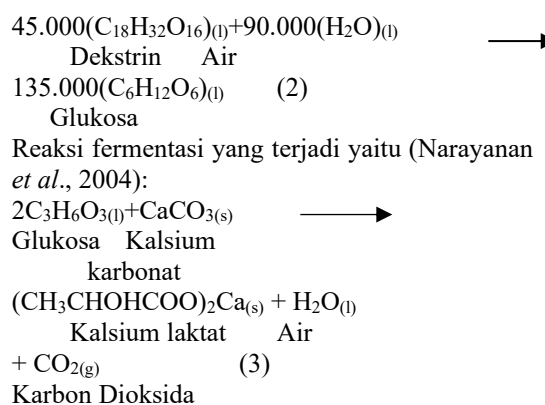
Proses persiapan bahan baku yang dilakukan yaitu mengkonversi ubi kayu menjadi pati pada suhu $30^\circ C$ dan tekanan 1 atm. Ubi kayu dimasukkan ke dalam *Cassava Peeling Machine* (C-120) untuk dipisahkan dari kulit. Perbandingan komposisi ubi kayu dengan air yaitu 2:1. Daging ubi kayu kemudian dimasukkan ke dalam *Hammer Mill* (C-130) untuk dilakukan pemarkan. Bubur ubi kayu kemudian dilakukan ekstraksi untuk memperoleh suspensi pati dengan konversi 80% menggunakan *Filter Press* (H-140). Perbandingan komposisi ubi kayu dengan air yaitu 1:2,5 (Mustafa, 2015). Suspensi pati kemudian dialirkan menuju *Centrifuge I* (H-150) untuk dipisahkan dari kandungan air. Pasta pati ($C_6H_{10}O_5$) kemudian dialirkan menuju Reaktor Likuifaksi (R-180) pada suhu $121^\circ C$ dan tekanan 1 atm untuk memecah pati menjadi dekstrin ($C_{18}H_{32}O_{16}$) dengan bantuan enzim α -amilase. pH operasi dijaga sebesar 5 sampai tahap fermentasi (Tsai et al., 1995). Reaksi likuifaksi yang terjadi yaitu (Carroll et al., 1990):



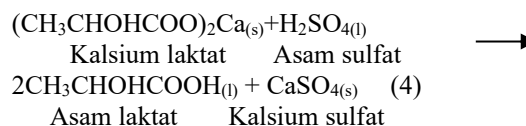
Dekstrin kemudian didinginkan sampai suhu $45^\circ C$ dan dipisahkan dari pasta pati, enzim α -amilase, dan $CaCl_2$ dalam *Centrifuge II* (H-190). Air, HCl, dan dekstrin kemudian dialirkan menuju *Fermenter SSF* (R-240).

2. Tahap *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF)

Kultur Kultur bakteri asam laktat dilakukan dalam Tangki Kultur (R-230). Dekstrin dari *Centrifuge II* (H-190), inokulum mikroba dari Tangki Kultur (R-230), enzim *glucoamylase*, urea ($(NH_2)_2CO$, $CaCO_3$ dan air (H_2O) dimasukkan ke dalam *Fermenter SSF* (R-240) untuk dilakukan proses *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) (Tsai et al., 1995). Kondisi operasi proses fermentasi dilakukan pada suhu $45^\circ C$ dan tekanan 1 atm selama 24 jam. $CaCO_3$ ditambahkan ke dalam *Fermenter SSF* (R-240) selama proses fermentasi berlangsung untuk mengontrol pH. Reaksi sakarifikasi yang terjadi yaitu (Carroll et al., 1990):



Fermentation broth yang dihasilkan kemudian dialirkan menuju *Centrifuge III* (H-250) untuk dipisahkan dari dekstrin, enzim *glucoamylase*, bakteri urea, dan $CaCO_3$. Kalsium laktat kemudian dialirkan menuju *Acidifier* (R-270) dengan kondisi operasi suhu $30^\circ C$ dan tekanan 1 atm untuk dilakukan pengasaman menggunakan H_2SO_4 dan diperoleh campuran asam laktat, kalsium laktat ($C_6H_{10}CaO_6$), kalsium sulfat ($CaSO_4$), air, HCl, glukosa ($C_6H_{12}O_6$), dan H_2SO_4 (Tsai et al., 1995). Reaksi yang terjadi di dalam *Acidifier* (R-270) yaitu (Narayan et al., 2004):



Campuran tersebut kemudian dipisahkan dalam *Rotary Drum Vacuum Filter* (H-280) untuk memisahkan kalsium laktat dan kalsium sulfat dari campuran. Kalsium laktat dan kalsium sulfat kemudian dialirkan menuju Tangki $CaSO_4$ (F-330) sebagai produk samping.



3. Tahap Pemurnian Produk

Campuran asam laktat, air, HCl, glukosa, dan H_2SO_4 dari *Rotary Drum Vacuum Filter* (H-280) kemudian dipisahkan menggunakan Evaporator I (V-310) (Mizrahi *et al.*, 2006). Air, HCl, dan asam laktat diuapkan pada suhu 125°C , kemudian glukosa dan H_2SO_4 menjadi produk bawah evaporator yang dialirkan menuju *Waste Water Treatment Plant* (WWTP). Air, HCl, dan asam laktat kemudian didinginkan sampai suhu 100°C , kemudian asam laktat dipekatkan dengan mengurangi kadar air dan HCl yang masih tersisa menggunakan Evaporator II (V-320) sampai kemurnian 88%. Limbah gas yang dihasilkan kemudian diolah di unit pengolahan limbah gas. Asam laktat kemudian didinginkan hingga suhu 30°C menggunakan *Cooler* III (E-322). Asam laktat selanjutnya dialirkan dan disimpan ke dalam Tangki $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ (F-340) sebagai produk.

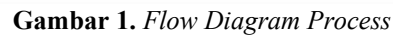
3. Utilitas

Utilitas didefinisikan sebagai unit pendukung atau penunjang dalam operasional suatu pabrik, khususnya pabrik kimia. Beberapa utilitas yang dibutuhkan dan digunakan pada pabrik ini terbagi menjadi 5 unit yaitu: unit pengolahan air dengan total kebutuhan sebesar 99.427,6401 kg/jam, unit pengadaan steam dengan total kebutuhan sebesar 3.219,9494 kg/jam, unit pengadaan tenaga listrik dengan total kebutuhan sebesar 549,07 kW/jam, unit bahan bakar dengan total kebutuhan sebesar 358,6076 L/jam, dan unit pengolahan limbah yang terdiri dari pengolahan limbah padat, cair, dan gas.

Faktor keselamatan juga merupakan salah satu komponen terpenting pada suatu pabrik. Beberapa faktor keselamatan yang terdapat pada pabrik ini yaitu Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), bahaya kerja, Alat Pelindung Diri (APD), instrumentasi, dan keamanan (security). K3 dan bahaya kerja salah satunya diatur dalam Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja. Penggunaan APD juga diatur dalam Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 pada Pasal 14 poin C. Keamanan pada operasional pabrik ini dilakukan dengan cara mentaati semua Standard Operating Procedure (SOP) yang ada. Hal ini dilakukan agar proses produksi berjalan aman dan sesuai rencana.



KAPASITAS 4.500 TON/TAHUN



4. Analisis Ekonomi

Evaluasi ekonomi pada pra-rancangan pabrik menjadi faktor penting dalam mengevaluasi keuntungan serta kelayakan suatu pabrik. Beberapa aspek yang harus dipertimbangkan dalam analisis kelayakan suatu pabrik, diantaranya:

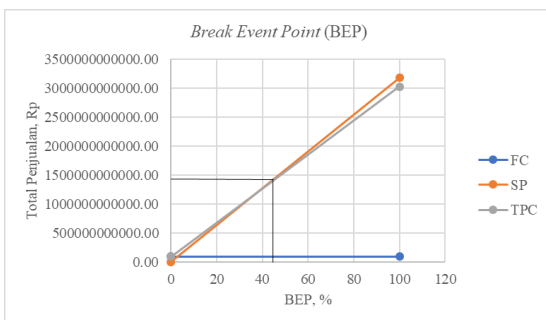
- Keuntungan/laba
- Lama waktu pengembalian modal (*Pay Out Time*)
- Total modal (*Total Capital Investment*)
- Laju pengembalian modal (*Rate of Return*)
- Titik impas (*Break Event Point*)

Hasil evaluasi kelayakan ekonomi pada pabrik ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rangkuman Evaluasi Ekonomi Pabrik

No	Nama Parameter	Nilai	Kesimpulan
1.	<i>Annual Cash Flow</i> (ACF)	25,50%	ACF > 15%, pabrik layak
2.	<i>Pay Out Time</i> (POT)	3,53 tahun	POT < 5 tahun, pabrik layak didirikan
3.	<i>Net Profit Over Total Life of the Project</i> (NPOTLP)	Rp 1,15 Triliyun	NPOTLP > TCI + bunga (Rp 968 miliar), pabrik layak didirikan
4.	<i>Total Capital Sink</i> (TCS)	Rp 794 Miliar	TCS > TCI (Rp 691 miliar), pabrik layak didirikan

Berdasarkan pada Tabel 1., pabrik asam laktat ini layak didirikan karena sudah memenuhi syarat kelayakan dalam pendirian pabrik kimia. Grafik *Break Event Point* (BEP) disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik BEP

5. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan perhitungan yang terdapat pada bab sebelumnya, dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

- Pabrik Asam Laktat direncanakan pada tahun 2027 di Kecamatan Kesugihan, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah, yang memiliki kapasitas produksi sebesar 4.500 ton/tahun.
- Pabrik beroperasi kontinu 24 jam selama 330 hari/tahun dengan kebutuhan tenaga kerja sebanyak 134 karyawan.
- Pabrik Asam Laktat ini memiliki 12 proses, diantaranya *pretreatment*, pengupasan dan pencucian, pamarutan, pengepresan atau ekstraksi pati, pemisahan pati dengan air, proses likuifaksi, proses fermentasi *SSF*, pemisahan kandungan *impurities*, pengasaman atau asidifikasi, pemisahan asam laktat dari kalsium sulfat, pemisahan asam laktat dari glukosa dan asam sulfat, pemekatan asam laktat, serta pendinginan dan penyimpanan asam laktat.
- Evaluasi ekonomi diperoleh:
 - Annual cash flow* (ACF): Rp 176.271.921.098 (25,5%)
 - Pay out time* (POT): 3,53 tahun
 - Net Profit Over Total Lifetime of the Project* (NPOTLP): Rp 1.150.447.411.536
 - Total Capital Sink* (TCS): Rp 794.402.396.676
 - Rate of Return* (ROR): 18,34%
 - Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF-ROR): 22,32%
 - Break Event Point* (BEP): 46,32%
- Berdasarkan evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa pabrik asam laktat berbasis ubi kayu dengan kapasitas produksi 4.500 ton/tahun ini layak didirikan.

Daftar Pustaka

- Abedi, E., dan Hashemi, S. M. B. 2020. Lactic Acid Production – Producing Microorganisms and Substrates Sources- State Of Art. *Heliyon*. 6(10).



- Afifah, A. S., Prajati, G., dan Suryawan, I. W. K. 2019. Penambahan Media Karbon Aktif dan Geotekstil pada Sand Filter. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*. 4(2): 237–242
- Aini, A. P., Nurmalasari, E., Rasrendra, B., dan Sitompul, J. 2023. Review: Produksi Asam Laktat Melalui Jalur Biologi dan Jalur Kimia Katalitik Menggunakan Berbagai Bahan Baku A Review: Lactic Acid Production Through Biological Conversion and Catalytic Chemical Conversion using Various Raw Materials. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*. 20(3): 2460–8203.
- Alviani, S., dan Amri, Y. 2019. Analisis Kuantitatif Air Boiler di PT. SISIRAU Aceh Tamiang. *Quimica :Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*. 1(2): 1–5.
- Anuradha, R., A. K. Suresh, dan K. V. Venkatesh. Simultaneous Saccharification and Fermentation of Starch to Lactic Acid. *Process Biochemistry*. (35): 367 375.
- Atmaja Tirta. 2024. Atmaja Group. <https://atmajatirta.id/cilacap/>. [Diakses pada 14 Desember 2024].
- Aviari, F. F., Wahid, A. A., dan Aeni, S. 2019. Penetapan Nilai Titik Retak Klorinasi (breakpoint chlorination/bpc) Pada limbah Cair Rumah Sakit X di Kota Bandung. *Jurnal Kesehatan Rajawali*. 9(1): 1–8.
- Badan Pusat Statistik. 2024. Curah Hujan Kabupaten Cilacap Tahun 2021-2023. <https://cilacapkab.bps.go.id/id/statistics-table/2/MzI0IzI=/banyaknya-curah-84-85-hujan-dan-hari-hujan-number-of-preticipatios-and-rainy-days.html>. [Diakses pada 20 November 2024].
- Badan Pusat Statistik Indonesia. 2024. Data Ekspor dan Impor Asam Laktat Tahun 2019-2023 di Indonesia. <https://www.bps.go.id/id/exim>. [Diakses pada 22 September 2024].
- Bal, M., Reddy, T. T., dan Meikap, B. C. 2019. Removal of HCl Gas from Off Gases Using Self-Priming Venturi Scrubber. *Journal of Hazardous Materials*. 364: 406–418.
- Brown, G.G. (1950). *Unit Operations*. New Delhi: CBS Publishers & Distributors.
- Brownell, L.E., & Young, E.H. (1959). *Process Equipment Design-Wiley Interscience (1959)*.pdf. New York: John Wiley & Sons.
- Carrol, J. O., T. R. Swanson., and P. C. Trackman. 1990. Starch Liquefaction With Alpha Amylase Mixtures. *United States Patent*.
- Cheng, Q., X. Shi, Y. Liu, X. Liu, S. Dou, C. Ning, Z. Q. Liu, S. Sun, X. Chen, dan X. Ren. 2018. Production of Nisin and Lactic Acid from Corn Stover Trough Simultaneous Saccharification and Fermentation. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 32(2): 420-426.
- Chookietwattana, K. 2014. Lactic Acid Production from Simultaneous Saccharification and Fermentation of Cassava Starch by Lactobacillus Plantarum MSUL 903. *Procedia APCBEE*. 8: 156-160.
- Djana, M. 2023. Analisis Kualitas Air Dalam Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih Di Kecamatan Natar Hajimena Lampung Selatan. *Jurnal Redoks*. 8(1): 81–87.
- Ekoputri, S. F., Rahmatunnissa, A., Nulfaidah, F., Ratnasari, Y., Djaeni, M., dan Sari, D. A. 2023. Pengolahan Air Limbah dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Industri Kimia. *Jurnal Serambi Engineering*. 9(1): 7781–7787.
- Ferindo, 2024. https://www.ferindo.id/blog/1-kubik-air-pdam-berapa-rupiah-panduan-lengkap-menghitung-tagihan-air-rumah-tangga-di-2024_184.html#:~:text=Jawaban%20untuk%20pertanyaan%20ini%20bervariasi,pemakaian%20air%20yang%20lebih%20besar. [Diakses 21 April 2025]
- Felder, R. M., Rousseau, R. W., & Bullard, L. G. (2005). *Elementary Principles Of Chemical Processes*. John Wiley & Sons.
- Geankoplis, C. (2003). *Transport processes and separation process principles (includes unit operations)*. Prentice Hall Press.
- Hendricks, D. (2011). *Fundamentals of Water Treatment Unit Processes*. CRC Press.
- Hetenyi, K., A. Nemeth, dan B. Sevela. 2011. Investigation and Modeling of Lactic Acid Fermentation on Wheat Starch via SSF, CHF, and SHF Technology. *Chemical Engineering*. 55(1): 11-16.



- Husnah. 2016. Pengaruh Waktu Pengadukan Pelan Pada Koagulasi Air Rawa. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 1(1): 58–64.
- Hougen, O. A., & Watson, K. M. (1947). *Chemical Process Principles: Material and Energy Balances*. J. Wiley & Sons, Incorporated.
- Iriyanto, M. Z. (2016). Teknologi Membran untuk Pemisahan Karbon Dioksida dari Gas Buang.
- Kamal, D. F. 2023. Proses Demineralisasi pada Unit Pengolahan Air di PT.XYZ. *Jurnal Ilmu Teknik Mesin*. 3(1): 34-41.
- Kawulur, M. P. Y., & Warokka, A. 2023. Analisa Efektivitas Boiler Fire Tube untuk Media Bahan Ajar Mahasiswa Teknik Mesin Politeknik Negeri Manado Effectiveness Analysis of Boiler Fire Tube Prototype for Media
- Teaching Materials for Mechanical Engineering Students of Manado State Polytechnic. *Jurnal Masina Nipake*. 3(1): 1–14.
- Kern, D.Q. (1965). *Process Heat Transfer*. Tokyo: McGraw Hill International Book Company.
- Komala, P. S., dan Agustina, F. 2014. Kinerja Kaporit dan Penyisihan E.Coli pada Air Pengolahan PDAM. *Jurnal Teknika*. 21(2): 66-76.
- Komesu, A., de Oliveira, J. A. R., da Silva Martins, L. H., Maciel, M. R. W., dan Filho, R. M. (2017). Lactic Acid Production to Purification: A Review. *BioResources*. 12(2): 4364–4383.
- Kosim, M. E., Prambudi, D., dan Siskayanti, R. 2021. Analisis Efisiensi Penukar Ion Sistem Demineralisasi Pada Pengolahan Air di Proses Produksi Electroplating. *Prosiding Semnastek*. 1–7.
- Krishna, B. S., Nikhilesh, G. S. S., dan Tarun, B. 2018. Industrial Production of lactic Acid and its Applications. *Comprehensive Biotechnology*. 1(1): 42–54.
- Kusnarjo. 2010. *Desain Pabrik Kimia*. Erlang:KTE
- Kusniawati, E., Nuryanti, R., dan Walici, A. S. 2023. Utilization of Papaya Seeds (Carica Papaya L.) Biocoagulants to Improve the Quality of Well Water Using Parameters of pH, TSS, TDS, and Turbidity. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*. 2(5): 2177–2184.
- Kuy, S., dan Boonyarattanakalin, S. 2019. Lactic Acid Production from Alkaline Hydrothermal Reaction of Cassava Starch. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 41(3): 506–512.
- Lestari, S. D., Wardhono, N. A. S., Fikriyya, N., Ulinuha, M. R., dan Hidayati, N. V. 2023. Determinasi Status Mutu Air Daerah Aliran Sungai (DAS) Serayu Menuju Pengelolaan DAS Berkelanjutan. *Jurnal Perikanan*. 13(4): 941-950.
- Mahyuddin, Tumpu, M., Tamim, T., Mansyur, Lopian, F. E., Bungin, E. R., Nurdin, A., dan Johra. 2023. Pengelolaan Air Limbah.
- Manurung, A. A., dan Sh, M. K. 2022. Hak Pemegang Saham Perseroan Terbatas Berdasarkan Undang-Undang Nomor 40 Tahun 2007 Tentang Perseroan Terbatas. *Jurnal Keadilan*. 3(1).
- Merck. 2018. Lembar Data Keselamatan Bahan Lembar Data Keselamatan Bahan. Smart Lab. 0 (1907): 1–6.
- Mineq. 2024. Jasa Pengolahan Limbah Terpercaya untuk Industri Anda: Solusi Ramah Lingkungan dan Efisien. <https://www.mineq.id/listing/terbaik-08518327-1455-jasa-pengolahan-limbah-terpercaya-untuk-industri-jawa-tengah-jateng-cilacap-banyumas-purbalingga-banjarnegara-kebumen-purworejo-wonosobo-magelang-boyolali-klaten/>. [Diakses pada 14 Desember 2024].
- Mizrahi, J., A. Eyal., C. Riki., B. Hazan., dan J. N. Starr. Process for Producing a Purified Lactic Acid Solution. *United States Patent*.
- Mustafa, A. 2015. Analisis Proses Pembuatan Pati Ubi Kayu (Tapioka) Berbasis Neraca Massa. *AGROINTEK*. 9(2): 127-133.
- Narayanan, N., P. K. Roychoudhury, dan A. Srivastava. 2004. L (+) Lactic Acid Fermentation and its Product Polymerization. *Journal of Biotechnology*. 7(2): 167-179.
- Nurlia. 2019. Pengaruh Struktur Organisasi terhadap Pengukuran Kualitas Pelayanan. *Meraja Journal*. 2(2): 51–66.
- Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. 2024. UMK Jateng 2024 Diumumkan, Kota Semarang Tertinggi. <https://jatengprov.go.id/publik/umk-jateng-2024-diumumkan-kota-semarang>



- tertinggi/#:~:text=Regulasi%20mengenai%20struktur%20skala%20upah,2.479.106. [Diakses pada 20 November 2024].
- Permatasari, T. J., dan Apriliani, E. 2013. Optimasi Penggunaan Koagulan dalam Proses Penjernihan Air. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*. 2(1): 6–11.
- Perry, R.H., & Green, D.W. (2008). *Perry's Chemical Engineering Handbook*. Seventh Ed McGraw Hill International Book Company. Eight Ed. New Jersey: McGraw Hill International Book Company.
- Peters, M.S., & Timmerhaus, K.D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. New York: McGraw Hill International Book Company.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. 2003. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. 5th Edition. Boston: McGraw Hill.
- Purnomo, S. N. 2017. Pengaruh Metode Pemilihan Data Hujan Pada Perancangan Debit Banjir Di DAS Serayu. *Techno*. 18(1): 50–58.
- PuskoMedia Indonesia. 2024a. dari Sampah ke Sumber Energi: Model Baru Pengelolaan Sampah di Cilacap. https://www.jeruklegiwetan.desa.id/dari_sampah-ke-sumber-energi-model-baru-pengelolaan-sampah-di_cilacap/#:~:text=Dari%20Sampah%20ke%20Sumber%20Energi:%20Solusi%20Inovatif,meningkatkan%20hasil%20pertanian%20di%20desa. [Diakses pada 14 Desember 2024].
- PuskoMedia Indonesia. 2024b. Membangun Kesadaran Peternak Tentang Manfaat Pakan Terkuk Fermentasi: Meningkatkan Produktivitas dan Kesejahteraan. https://www.bener.desa.id/membangun-kesadaran-peternak-tentang_manfaat-pakan-ternak-fermentasi-meningkatkan-produktivitas-dan_kesejahteraan/. [Diakses pada 14 Desember 2024].
- PuskoMedia Indonesia. 2024c. Pertanian Organik: Meningkatkan Kualitas Tanah dan Pertumbuhan Tanaman di Desa Majenang, Cilacap. https://www.bener.desa.id/eco-enzim-dan-pertanian-organik-meningkatkan_kualitas-tanah-dan-pertumbuhan-tanaman-di-desa-bener-majenang-cilacap/. [Diakses pada 14 Desember 2024].
- Putri, D. D. S., dan Purnomo, A. 2023. Kajian Instalasi Pengolahan Air Demineralisasi dari Nalco Water An Ecolab Company. *Jurnal Teknik ITS*. 12(2): 123–128.
- Putri, D. F., Fikriyya, N., Firdaus, A. M., dan Jatmoko, B. E. 2024. Distribusi Kalsium (Ca) pada Daerah Aliran Sungai Serayu. *Jurnal Maiyah*. 3(3): 200–208.
- Raharjo, R. W., B. A. A., dan Kasrani, M. W. 2023. Pemodelan Sistem Pengendalian Level Deaerator Berbasis Self-Tuning Fuzzy PID Controller di PLTU Teluk Balikpapan. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*. 11(2): 191–205.
- Rahmadhani, N., Prayitno, P., dan Aji, Y. 2023. Penentuan Jumlah Panas Dan Air Pendingin Pada Condensor Di Pltu Tanjung Awar – Awar. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*. 6(2): 328–333.
- Rizquallah, T. A., Budiono, A., dan Yulianto, E. 2025. Penentuan Dosis Optimal Koagulan dan Flokulan dengan Mengontrol pH pada Unit Waste Water Treatment Plant PT Paiton Operation & Maintenance Indonesia. *Jurnal Teknologi Separasi*. 11(1): 201–207.
- Sari, N.K. 2011. *Ekonomi Teknik*. Surabaya: Yayasan Humaniora.
- Setiyadi, Suratno Lourentius, Ezra Ariella W., dan Gede Prema M.S. 2013. Menentukan Persamaan Kecepatan Pengendapan Pada Sedimentasi. *Widya Teknik*. 12: 9–17.
- Sinnott, R., & Towler, G. (2020). *Chemical Engineering Design*. Sixth Edit. Oxford: Butterworth-Heinemann. <https://solarindustri.com/> [Diakses 21 April 2025]
- Soliman, M., Eljack, F., Kazi, M. K., Almomani, F., Ahmed, E., dan El Jack, Z. 2022. Treatment Technologies for Cooling Water Blowdown: A Critical Review. *Sustainability (Switzerland)*. 14(1): 1–21.
- Tsai, S. P., S. H. Moon, dan R. Coleman. 1995. *Fermentation and Recovery*





Process for Lactic Acid Production.

United States Patent.

Ulrich, G.D. (1984). *A Guide to*

Chemical Engineering Process Design and Economics. New York: John Wiley & Sons.

Ummah, M. F., dan Herumurti, W. 2018. Pengeringan Lumpur Ipal Biologis Pada Unit Sludge Drying Bed (SDB). *Jurnal Purifikasi*. 18(1): 39–48.

Wahyuningtyas Adinda Fitri. 2007. Perancangan Pabrik Magnesium Sulfat dari Magnesium Karbonat dan Asam Sulfat Kapasits 40.000 Ton per Tahun.

Walas, S.M. (1990). *Equipment, Chemical Process Design, Heterogeneous Reactor*. Washongson Street: Butterworth-Heinemann.

Wilastari, S., dan Hidayat, T. N. 2021. Pencegahan Kerak Dan Korosi Umpan Ketel Uap Di PG Mojo Sragen. *Jurnal Sains Teknologi Transportasi Maritim*. 3(1): 41–47.

Wulandari, I., Erlan Afiuddin, A., dan Pri Astuti, U. 2022. Model Dispersi Emisi SO₂ dari Cerobong Sub-Pabrik Asam Sulfat Industri Asam Fosfat Menggunakan Metode Gaussian. *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah - Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*. 5(1): 83–88.

Yaws, C.L. (1999). *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw-Hill.

