PRARANCANGAN PABRIK *POLY LACTIC ACID* (PLA) DARI SINGKONG MELALUI METODE FERMENTASI KAPASITAS 4.000 TON/TAHUN

Indana Hirzil Farodis[1*], Gianina Septa Puspanegara[1], Nadilla Alfiatul Azizah[1], Sonya Hakim Raharjo[1], Zuhriah Mumtazah[1], Ditta Kharisma Yolanda[1]

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

*Corresponding Author: nanahirzil@gmail.com

Abstrak

Poly Lactic Acid (PLA) adalah senyawa kimia yang memiliki banyak aplikasi di berbagai industri, seperti tekstil, otomotif, dan farmasi. Karena tidak adanya pabrik lokal, Indonesia masih mengimpor Poly Lactic Acid untuk memenuhi kebutuhannya. Sebagai hasilnya, prototipe pabrik PLA yang menggunakan singkong sebagai bahan baku telah dibuat, dengan kapasitas produksi tahunan sebesar 4.000 ton. Menggunakan Lactobacillus Delbrueckii sebagai bakteri penghasil asam laktat dan Stannous Octoate (Sn(II)Oct) sebagai katalis, fermentasi dan polimerisasi merupakan proses produksi utama. Singkong terlebih dahulu diolah menggunakan metode hidrolisis untuk menghasilkan glukosa. Fermentasi kemudian menghasilkan asam laktat, yang selanjutnya dikonversi menjadi PLA menggunakan metode ROP. Pabrik akan dibangun di lahan seluas 1,5 hektar di Kota Cilegon, Banten. Hasil evaluasi ekonomi menunjukkan bahwa total investasi modal sebesar Rp696.625.396.745, dengan titik impas 43%, tingkat pengembalian 16,36%, dan masa pengembalian 3,79 tahun. Pabrik tersebut dianggap secara teknis dan finansial layak untuk dibangun berdasarkan temuan evaluasi.

Kata kunci: Poly Lactic Acid, lactic acid, cassava, fermentation, polymerization

1. Pendahuluan

Indonesia mengalami pertumbuhan industri pesat sejak memasuki era industri 4.0, seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan kebutuhan pangan. Sebagai negara agraris, Indonesia memiliki produksi pertanian yang melimpah, termasuk singkong, di mana Indonesia menjadi produsen singkong terbesar keempat di dunia. Sentra produksi singkong tersebar di seluruh negeri, terutama di Jawa dan Lampung, dengan daerah utama seperti Pacitan, Jember, Kediri, Madiun, Banyumas, Wonogiri, Bogor, dan Tasikmalaya (Andarista, 2022).

Singkong adalah komoditas pangan potensial yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti beras, bahan ekspor, dan bahan baku industri. Daun dan umbinya berguna untuk makanan, bioetanol, pakan ternak, dan gula fruktosa tinggi (Pusat Data & Informasi Pertanian, 2023). Indonesia memproduksi singkong dalam jumlah besar untuk diolah menjadi tapioka. Gula, sebagai kebutuhan pokok, umumnya berasal dari tebu, namun pati dari jagung dan umbiumbian seperti singkong juga bisa diolah menjadi gula dengan kemanisan serupa melalui proses hidrolisis enzim menjadi glukosa kental (Andarista, 2022).

Poly Lactic Acid (PLA) adalah biopolimer ramah lingkungan karena mudah terurai. PLA dibuat melalui esterifikasi asam laktat yang diperoleh dari fermentasi pati menggunakan bakteri (Pebriyanti, 2021). Asam laktat untuk pembuatan *Poly Lactic Acid* (PLA) diperoleh dari fermentasi gula, lalu dipolimerisasi. PLA umumnya digunakan sebagai bahan plastik polyester untuk kemasan makanan, gelas sekali pakai, dan kantong plastik. Selain itu, PLA dimanfaatkan di industri tekstil, medis, dan otomotif. Penggunaannya menjadi alternatif ramah lingkungan pengganti plastik berbasis fosil (Yuniarto, 2020).

Saat ini, kebutuhan PLA di Indonesia hanya disuplai melalui kegiatan impor yang sebagian besar berasal luar negeri. Melihat ketidaksesuaian kebutuhan dan ketersediaan dari PLA maka perlu adanya pendirian pabrik PLA yang baru agar dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri sekaligus mengurangi impor dari luar negeri.

Kapasitas produksi pabrik dapat di tentukan dengan menganalisis ekspor, impor, produksi, dan konsumsi pasar dari tahun ke tahun sehingga didapatkan peluang kapasitas tersebut. Berdasarkan perkembangan kebutuhan senyawa tersebut, maka dapat diprediksi kebutuhan untuk tahun-tahun ke depannya. Selain itu, estimasi nilai edar produk

pada tahun berdirinya pabrik dan persentase pertumbuhan rata-rata tiap tahun juga diperlukan. Pemilihan kapasitas produksi digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam mengetahui perhitungan kebutuhan dari PLA (Kusnarjo, 2010). Pada saat ini Indonesia tidak memiliki pabrik yang memproduksi PLA sehingga hanya didapatkan data impor dan ekspor, sedangkan data produksi tidak ditemukan. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.1 berikut:

Tabel 1. Data PLA di Indonesia

Tahun	Impor (ton)	Ekspor (ton)
2020	36,477	0
2021	22,268	16,5
2022	61,934	0
2023	286,782	0
2024	52,931	0,179

(Sumber : Badan Pusat Statistik, 2025)

Kapasitas produksi PLA dibuat berdasarkan pertumbuhan jumlah impor dan ekspor. Diperkirakan pabrik akan didirikan pada tahun 2030. Metode perhitungan secara discounted akan digunakan untuk memproyeksikan kebutuhan pasar pada tahun 2030. Persamaan 1 adalah sebagai berikut (Kusnarjo, 2010).

$$F = F_0(1+i)^n \quad (1.1)$$

Dengan :
F : Jumlah produk pada akhir tahun (ton)
F_0 : Jumlah produk pada tahun pertama (ton)
i : Pertumbuhan rata-rata per tahun (%)
n : Selisih tahun yang diperhitungkan

Tabel 2. Proyeksi Pasar PLA di Indonesia Tahun 2030

Proyeksi pada Tahun 2030	Berat (ton)
Konsumsi	3.948,15
Impor	-
Ekspor	0,179

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan data proyeksi peluang kapasitas pabrik baru pada tahun 2030 sebesar 4.000 ton/tahun. Berikut pertimbangan penentuan kapasitas:

1. Dapat memenuhi 50% kebutuhan PLA dalam negeri
2. Membuka lapangan pekerjaan baru
3. Mempertimbangkan bahan baku dalam negeri sehingga tidak perlu impor
4. Mengurangi kebutuhan impor dari PLA

2. Uraian Proses

Perancangan Pabrik Poly Lactic Acid ($C_3H_4O_2$) ini berbahan baku dari singkong yang di fermentasikan dengan bakteri Lactobacillus Delbrueckii yang menghasilkan asam laktat lalu dalam proses polimerisasi dengan bantuan katalis *Stannous Octoate Sn(II)Oct* yang berlangsung pada suhu 120°C pada reaktor. Pembuatan PLA ini melalui lima tahapan proses yaitu:

1. Unit persiapan bakan baku

a. Singkong

Singkong yang digunakan dalam kondisi bersih dan terkupas. Bahan baku singkong disimpan dalam tangki penyimpan (F-110). Singkong dialirkan ke dalam crusher (C-120) untuk proses penghancuran menjadi 120 mesh.

b. Pati (C6H10O5)

Pati singkong masuk ke dalam mixer (M-150) untuk dilakukan proses pencampuran dengan air panas agar tidak menggumpal saat dilakukan proses hidrolisis. Proses hidrolisis dilakukan dengan bantuan katalis asam sulfat (H2SO4) dimana terjadi pemecahan pati menjadi glukosa menggunakan katalis asam untuk mempercepat reaksi. Glukosa yang terbentuk kemudian di netralkan dari asam sulfat dan menghentikan pertumbuhan bakteri dengan bantuan NaOH.

2. Fermentasi

Glukosa ($C_6H_{12}O_6$) di distribusikan menjadi 2 bagian. R-210 menerima 10% dan R-230 menerima 90% dari bahan baku. Bakteri *Lactobacillus delbrueckii* dikembangbiakkan dengan ditambahkan 0,375% malt sprout dan 0,25% $(NH_4)_2HPO_4$ sebagai nutrisi ke dalam R-210. Kemudian ditambahkan 10% $Ca(OH)_2$ untuk menjaga pH ideal antara 5–6. Pada suhu 40°C dan tekanan 1 atm, reaksi ini berlangsung selama 18 jam. Kemudian, 90% cairan keluaran Neutralizer (D-180) dan Reaktor (R210) yang mengandung glukosa dipompa ke Reactor-03 (R-230), di mana ditambahkan 10% $Ca(OH)_2$, 0,25% $(NH_4)_2HPO_4$, dan air untuk fermentasi. Suhu dan tekanan selama prosedur 18 jam ini masing-masing adalah 40°C dan 1 atm. Reaksi yang terjadi adalah:

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{L.Delbrueckii} C_6H_3O_6 \quad (2.1)$$
(Glukosa) (Asam Laktat)

Produk keluar dari reaktor (R-230) kemudian dialirkan menuju unit pemekatan.

3. Unit Pemekatan

Produk yang selesai disaring dan dipisahkan dari abu, air, dan asam laktat, produk fermentasi dimasukkan ke dalam *Rotary Drum Vacuum Filter* (H-310) untuk pencucian dan pemurnian. Untuk menyerap warna dan abu yang tersisa dari tahap pemurnian, filtrat H310 dialirkan ke unit *bleaching*

(D-330) di mana karbon aktif ditambahkan dengan laju 18,72%. Sebuah sentrifugal (H-340) kemudian digunakan untuk memisahkan filtrat. Filtrat dipompa ke *evaporator* (V-350), dan *cake* hasil dari H-340 disuplai ke unit pengolahan limbah. Tugas *evaporator* adalah mengkonsentrasikan larutan asam laktat hingga kemurnian 95% dengan menghilangkan air.

4. Polimerisasi

Reaktor-04 (R-410) digunakan untuk mereaksikan katalis dengan larutan asam laktat cair 95%. Proses polimerisasi bahan baku hanya dilakukan hingga 120°C karena asam laktat memiliki titik didih 122°C. Di evaporator (V-430), yang diatur pada 280°C untuk membuat air, katalis, dan asam laktat terlarut dalam produk menguap, polimer asam laktat dipisahkan dari katalis dan monomer sesuai dengan titik didih masing-masing, menghasilkan produk jadi dengan sedikit kontaminan. Air yang terlarut dalam asam laktat dan katalis dipisahkan menggunakan flash drum (H-440) dan kondensor parsial (E-435). Katalis dan monomer asam laktat mengalami transisi fase menjadi cairan ketika suhu dinaikkan hingga 70°C. Gas H_2O keluar melalui bagian atas flash drum saat masih dalam fase gas. Agar meningkatkan hasil proses polikondensasi, asam laktat yang dipisahkan kemudian dimasukkan kembali ke reaktor-04 (R410). Blower (G-432) digunakan untuk mengalirkan bahan dan diturunkan suhu material dari 280°C menjadi 100°C menggunakan cooler (E-433) sebelum memasuki alat kondensor parsial (E-435). Reaktor tangki berpengaduk (R-410) digunakan untuk proses polimerisasi ROP (*Ring Opening Polymerization*) dengan umpan masuk ke reaktor adalah asam laktat dan katalis. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:

$$C_3H_6O_{3(l)} \rightarrow (C_3H_4O_2) + H_2O \qquad (2.2)$$

(asam laktat) (PLA) (air)

5. Pembutiran

Keluaran bawah evaporator (V-430) yaitu polimer asam laktat dipompa ke dalam *crystallizer* (H-510) untuk proses pengkristalan dan pembutiran untuk membentuk pelet. Selanjutnya, diangkut menuju tangki penyimpanan menggunakan pneumatic belt conveyor (J-511) untuk menurunkan temperatur sebelum menuju tangki peyimpanan produk (F-520).

3. Utilitas

Utilitas berperan penting dalam membantu kelancaran proses produksi. Unit utilitas tediri dari beberarap unit yaitu:

1. Unit pengadaan steam
2. Unit pengadaan air
3. Unit pengadaan listrik
4. Unit bahan bakar
5. Unit pengadaan udara

Jumlah Steam yang dibutuhkan untuk proses produksi sebesar 622,051 kg/ jam. Sedangkan total kebutuhan air sebesar 936 kg/jam. Untuk kebutuhan listrik sebesar 383,5 kWh dan kebutuhan bahan bakar berupa solar adalah sebesar 1.352,52 lb/jam.

4. Evaluasi Ekonomi

Evaluasi ekonomi pada prancangan pabrik merupakan aspek penting untuk mempertimbangkan kelayakan dan keuntungan dari pendirian suatu pabrik. Dalam hal ini, ada beberapa aspek yang harus dipertimbangkan terkait kelayakan suatu pabrik yaitu:

a. Keuntungan
b. Lama waktu pengembalian *(Pay Out Time)*
c. Total modal akhir *(Total Capital Investment)*
d. Laju pengembalian modal *(Rate of Return)*
e. Titik impas *(Break Event Point*/BEP)

Hasil evaluasi kelayakan ekonomi pabrik PLA dapat dilihat pada Tabel 3.

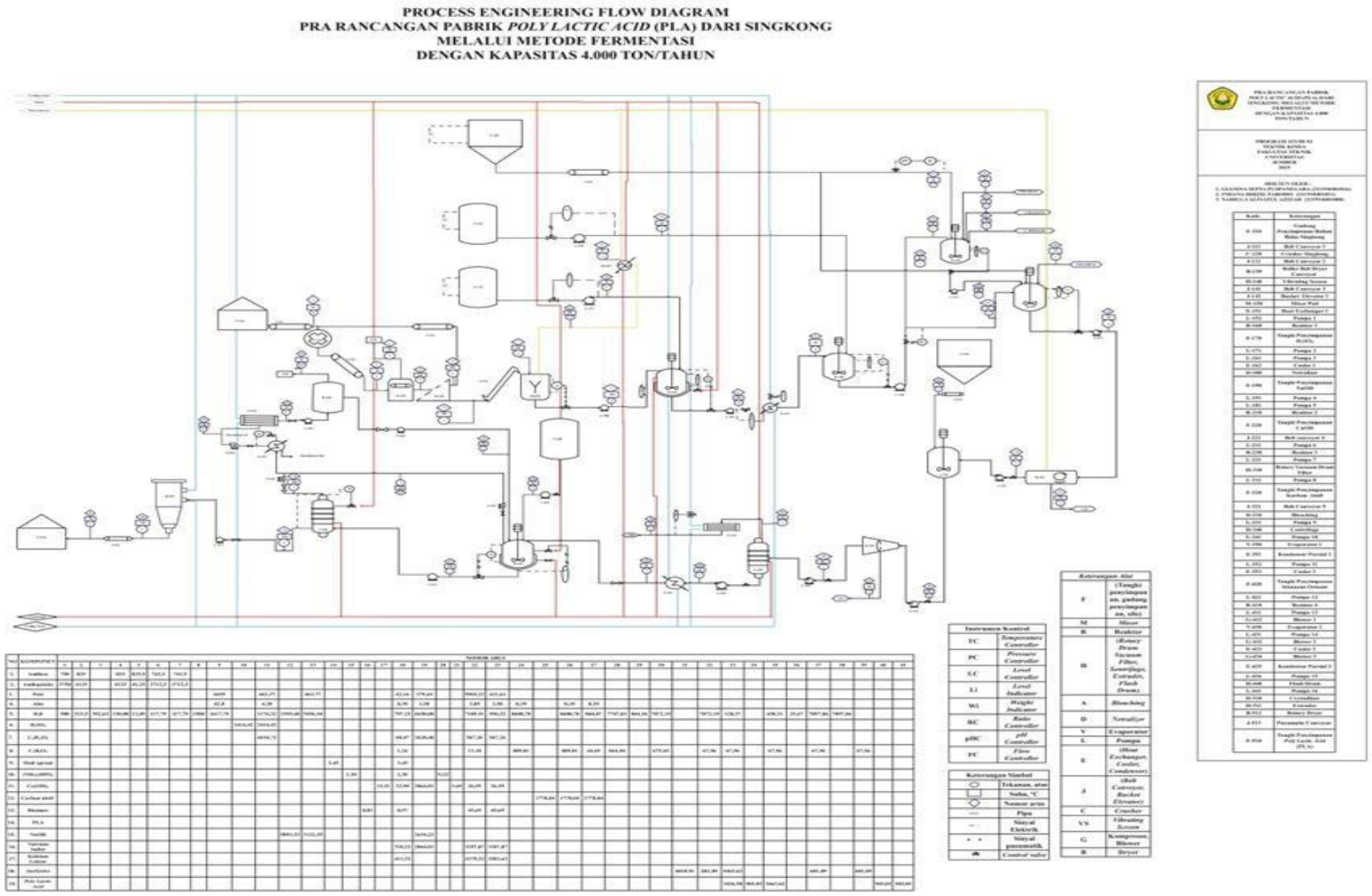
Tabel 3. Rangkuman Evaluasi Ekonomi Pabrik

No	Nama Parameter	Nilai	Kesimpulan
1.	*Annual Cash Flow* (ACF)	23,73%	ACF>5,05%, pabrik layak
2.	*Pay Out Time* (POT)	3,79 tahun	POT<5tahun, pabrik layak didirikan
3.	*Net Profit Over Total Life of the Project* (NPOTLP)	Rp1,050 Triliyun	NPOTLP>TCI+ Jumlah Bunga Pinjaman, pabrik layak didirikan
4.	*Total Capital Sink* (TCS)	Rp884 Miliar	TCS>TCI, pabrik layak didirkkan

5. Kesimpulan

Berdasarkan uraian proses serta perhitungan Pra-rancangan Pabrik Monogliserida dari Brondolan Sawit Menggunakan Metode Gliserolisis dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pabrik *Poly Lactic Acid* (PLA) dari singkong direncanakan akan dibangun di Kawasan Industrial Estate Cilegon (KIEC), Banten dengan total luas lahan seluas 1,5 hektar;
2. Pabrik PLA yang dirancang memiliki kapasitas produksi sebesar 4.000 ton/tahun;
3. Pabrik direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 330 hari/tahun dan 24 jam/hari;
4. Pabrik *Poly Lactic Acid* (PLA) dari singkong direncanakan akan dibangun di Kawasan Industrial Estate Cilegon (KIEC), Banten dengan total luas lahan seluas 1,5 hektar;



Gambar 1. *Process Flow Diagram Pabrik Poly Lactic Acid (PLA)*

5. Pabrik PLA yang dirancang memiliki kapasitas produksi sebesar 4.000 ton/tahun;
6. Pabrik direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 330 hari/tahun dan 24 jam/hari;
7. Bahan baku berupa singkong didapat dari dalam negeri, sedangkan katalis *Sn(II)Oct* yang digunakan berasal dari china;
8. Bentuk badan usaha yang diterapkan pada pabrik ini adalah perseroan terbatas dengan jumlah karyawan 156 orang;
9. Evaluasi ekonomi diperoleh:
   - Annual cash flow (ACF) : Rp 165.294.876.289 (23,73%)
   - Pay out time (POT) : 3,79 tahun
   - Net profit over total lifetime of the project (NPOTLP) : Rp 1.050.084.710.820
   - Total capital sink (TCS): Rp 884.809.224.369
   - Rate of return (ROR) : 16,36%
   - Discounted cash flow rate of return (DCF-ROR) : 25%
   - Break event point (BEP) : 42,78%
10. Berdasarkan evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa pabrik PLA dari singkong dengan kapasitas produksi 4.000 ton/tahun ini layak didirikan.

Daftar Pustaka

ABDILLAH, Z., & PRAKOSA, G. A. (2022). Prarancangan Pabrik Polimer Asam Laktat Dari Asam Laktat Kapasitas 70.000 Ton/Tahun.

Aprilliani, C. (2022). Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) PT Global Eksekutif.

Avérous, L. (2008). Polylactic acid: synthesis, properties and applications. In Monomers, polymers and composites from renewable resources (pp. 433-450). Elsevier.

Brownell, L.E., & Young, E.H. (1959). Process Equipment Design-WileyInterscience (1959).pdf. New York: John Wiley & Sons.

Cejas, L., Romano, N., Moretti, A., Mobili, P., Golowczyc, M., & Gómez-Zavaglia, A. (2017). Malt sprout, an underused beer by-product with promising potential for the growth and dehydration of lactobacilli strains. Journal of food science and technology, 54, 4464-4472.

Chandrasekaran, M. (2013). Valorization of Food Processing By-Product. New York: CRC Press. Chopey, N. P. (2012). Handbook of Chemical Engineering Calculation. New York: Mc Graw-hil.

Coszach, P., Bogaert, J.-C., & Van Gansberghe, F. (2009). Method for the production of polylactide from a solution of lactic acid or one of the derivatives thereof (U.S. Patent No. 7,488,783). United States Patent and Trademark Office. https://patents.google.com/patent/US7488783B2

Devi, B. C., Febriansyah, B. A., Nurkhamidah, S., & Rahmawati, Y. (2020). Studi Pemilihan Proses Pabrik poly-L-lactic acid (PLLA) Dari tetes tebu. Jurnal Teknik ITS, 8(2), F164F169.

Dhamayanthie, I., & Nugraha, D.F. (2018). Proses Pengolahan Air Pendingin pada Unit Utilitas Area Karawang. Jurnal Migasian, 2(1), 15–21.

Dinarsari, A. A., & Adhitasari, A. (2013). Proses Hidrolisa Pati Talas Sente (Alocasia macrorrhiza) Menjadi Glukosa: Studi Kinetika Reaksi. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, 2(4), 253-260.

Dumbrepatil, A. (2007). Utilization of molasses sugar for lactic acid production by Lactobacillus delbrueckii subspecies delbrueckii mutant Uc-3 in batch fermentation. Appl. Environ. Microbio, 1-13.

FLOUR, C. (2017). Aplikasi bakteri asam laktat untuk memodifikasi tepung singkong secara fermentasi. Jurnal Penelitian Teknologi Industri Vol, 9(1), 1-8.

Geankoplis, C.J. (1993). Transport Processes and Unit Operations. Third Edit Prentice Hall International. Third Edit. New Jersey: Prentice Hall International.

Herianto, B. (2020). Potensi Bahaya dan Risiko di Tempat Kerja. Prashetyaquality.Com, (October).

Hugot, E. (1986). Handbook of Cane Sugar Engineering. Amsterdam: Elsevier.

Kusnarjo. (2010). Desain Pabrik Kimia. Desain Pabrik Kimia.

Kusuma, E. W., Larasati, A., Nurkhamidah, S., & Altway, A. (2020). Pra Desain Pabrik Poly-LLactic Acid dari Tetes Tebu (Doctoral dissertation, Sepuluh Nopember Institute of Technology).

Kern, D.Q. (1965). Process Heat Transfer. Tokyo: McGraw Hill International Book Company.

Leung, W.-F., & Shapiro, A. H. (2000). Decanter centrifuge for producing cake with reduced moisture content and high throughput (U.S. Patent No. 6,110,096).

United States Patent and Trademark Office. https://patents.google.com/patent/US6110096A

Lim, L. T., Auras, R., & Rubino, M. (2008). Processing technologies for poly (lactic acid). Progress in polymer science, 33(8), 820-852.

McCabe, W.L., Smith, J.C., & Harriott, P. (1956). Unit Operations of Chemical Engineering. Fifth Edit. New York: McGraw Hill International Book Company.

National Center for Biotechnology Information (2025). PubChem Compound Summary for CID 6093208, Calcium Hydroxide. Retrieved April 20, 2025 from https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Calci um-Hydroxide

National Center for Biotechnology Information (2025). PubChem Compound Summary for Activated Charcoal. Retrieved April 20, 2025 from https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Acti vated-Charcoal.

National Center for Biotechnology Information (2025). PubChem Compound Summary for CID 9318, Stannous 2-ethylhexanoate. Retrieved April 21, 2025 from https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Stannous-2-ethylhexanoate.

National Center for Biotechnology Information (2025). PubChem Compound Summary for CID 1118, Sulfuric Acid. Retrieved April 21, 2025 from https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sulfuric-Acid.

National Center for Biotechnology Information (2025). PubChem Compound Summary for CID 14798, Sodium Hydroxide. Retrieved April 21, 2025 from https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-Hydroxide.

National Center for Biotechnology Information (2025). PubChem Compound Summary for Lactobacillus delbrueckii. Retrieved April 21, 2025 from https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Lactobacillus-delbrueckii.

National Center for Biotechnology Information (2025). PubChem Compound Summary for CID 962, Water. Retrieved April 21, 2025 from https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Water.

NINGRUM, D. F., & KAMALIYA, L. N. (2022). Prarancangan Pabrik Asam Laktat (Lactic Acid) Dari Pati Singkong (Cassava Starch) Dengan Kapasitas 35.000 Ton/Tahun.

Nugraha, R., Romdlony, M.Z., Fayyedh, I. Al, Elektro, F.T., Telkom, U., Elektro, F.T., Telkom, U., Elektro, F.T., & Telkom, U. (2020). Perancangan Sistem Sensor Lampu Led Dengan Kendali Intensitas Cahaya Otomatis Menggunakan Fuzzy Logic Controller Design of Led Lamp Sensor System With Automatic Light. E-Proceeding of Engineering, 7(2), 3000–3009.

Nurlia. (2019). Pengaruh Struktur Organisasi terhadap Pengukuran Kualitas Pelayanan (Perbandingan Antara Ekspektasi/Harapan dengan Hasil Kerja). Meraja Journal, 2(2), 53–58.

Pasaribu, M. J., & Romaji, B. Y. S. (2021). Pra Desain Pabrik Poly Lactic Acid (PLA) dari Porang (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

Pebriyanti, D., Azwar, E., & Darni, Y. (2021). The Influence of Stannous Octoat Concentration as Catalyst on Poly Lactic Acid Synthesis from Banana Peel Waste (Musa Paradisiaca Linn). Indonesian Journal of Chemical Science, 10(1), 814.

Perry, R.H., & Green, D.W. (1999). Perry's Chemical Engineering Handbook. Seventh Ed McGraw Hill International Book Company. Seventh Ed. New Jersey: McGraw Hill International Book Company.

Peters, M.S., & Timmerhaus, K.D. (1991). Plant Desogn 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. New York: McGraw Hill International Book Company.

PLA, P. L. A. Pengaruh Katalis Stannous Oktoat (Sn (Oct) 2) Terhadap Karakteristik Poly Lactic Acid (PLA).

Putrilia, N. R. (2014). Pengaruh katalis Stannous oktoat ($Sn(Oct)_2$) terhadap karakteristik Poly Lactic Acid (PLA) (Skripsi, Universitas Airlangga). ADLN Perpustakaan Universitas Airlangga.

Rachmadani, A. L. (2024). PRA RANCANGAN PABRIK ASAM LAKTAT DARI PATI SINGKONG CASSAVA STARCH) DENGAN PROSES FERMENTASI (Doctoral dissertation, UPN Veteran Jawa Timur).

Ramakrishna, S. V., Rangaswamy, V., Jain, D., Jagdambalal, R. K., Patel, P. S., Kar, D.,

& Satpathy, U. S. (2009). U.S. Patent No. 7,507,561. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Satmalawati, E. M., Paramita, B. L., & Nino, J. (2024). Karakteristik Fisikokimia dan Sifat Fungsional Pati Alami Ubi Kayu Hasil Ekstraksi Secara Sederhana. AGRITEKNO: Jurnal Teknologi Pertanian, 13(1), 55-64.

Setyaningsih, Y. (2018). Buku Ajar Higiene Lingkungan Industri. FKM UNDIP Press, 268.

Srichuwong, S., Sunarti, T. C., Mishima, T., Isono, N., & Hisamatsu, M. (2005). Starches from different botanical sources I: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. Carbohydrate polymers, 60(4), 529-538.

Tsuji, H. (2013). Poly (lactic acid). Biobased plastics: materials and applications, 171-239.

Ulrich, G.D. (1984). A Guide tp Chmical Engineering Process Design and Economics. New York: John Wiley & Sons.

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

Warsiki, E., & Farobie, O. (2007). Review pembuatan asam polilaktat (PLA) dari gliserol sebagai hasil samping industri biodiesel. Dalam Konferensi Nasional 2007: Pemanfaatan Hasil Samping Industri Biodiesel dan Industri Etanol serta Peluang Pengembangan Industri Integratednya (hlm. 305–315).

Wijaya, R., Fatoni, M., & Handayani, A. M. (2021). Analisis Pindah Panas Pada

Pengeringan Tepung Singkong (Manihot utilissima) Menggunakan Pneumatic Flash Dryer. Teknotan: Jurnal Industri Teknologi Pertanian, 15(2), 91-96.

Workplace Hazardous Materials Information System (2018), Lembar Data Keselematan asam sulfat.

Workplace Hazardous Materials Information System (2018), Lembar Data Keselematan Natrium hidroksida.

Workplace Hazardous Materials Information System (2018), Lembar Data Keselematan Kalsium Hidroksida.

Workplace Hazardous Materials Information System (2018), Lembar Data Keselematan Stannous Octoate.

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

Yuliandi, C.D., & Ahman, E. (2019). Penerapan Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Di Lingkungan Kerja Balai Inseminasi Buatan (Bib) Lembang. Jurnal MANAJERIAL, 18(2), 98–109.

Yuniarto, K. (2020). Pengembangan Kemasan Aktif Penyerap Oksigen Polylactic Acid (Pla)Butylatedhydroxy Toluene (Bht) (Doctoral dissertation, IPB (Bogor Agricultural University).

Zaini, N. A. B. M. (2018). Production of Poly-D-Lactic Acid from Wheat Dried Distiller's Grains with Solubles (DDGS) (Doctoral dissertation, University of Reading). University of Reading Repository.