



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

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada  
program studi S1 Teknik Kimia*

**SKRIPSI**

Oleh:

Gianina Septa Puspanegara (211910401016)  
Indana Hirzil Farodis (211910401031)  
Nadilla Alfiatul Azizah (211910401080)

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN  
TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA  
JEMBER  
2025**



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

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada  
program studi S1 Teknik Kimia*

**SKRIPSI**

Oleh:

Gianina Septa Puspanegara (211910401016)  
Indana Hirzil Farodis (211910401031)  
Nadilla Alfiatul Azizah (211910401080)

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN  
TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA  
JEMBER  
2025**

## **PERSEMBAHAN**

Tugas akhir dengan judul “*Prarancangan Pabrik Poly Lactic Acid (PLA) Dari Singkong Melalui Metode Fermentasi Kapasitas 4.000 Ton/Tahun*” ini kami persembahkan kepada:

1. Diri sendiri dan tim penyusun, sebagai bentuk apresiasi atas usaha, tanggung jawab, dan kerja sama dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Orang tua dan keluarga, atas doa, dukungan, dan motivasi yang diberikan selama proses studi dan penyusunan tugas akhir.
3. Dosen pembimbing kami, Ibu Sonya Hakim Raharjo., S.T., M.T. atas ilmu, bimbingan, serta masukan yang sangat berarti dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Dosen penguji kami, Ir. Zuhriah Mumtazah, S.Si., M.Si. dan Ibu Ir. Ditta Kharisma Yolanda Putri, ST, M.T. yang telah memberikan masukan berharga, kritik, dan saran yang konstruktif untuk menyempurnakan tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen dan tenaga pendidik Program Studi Teknik Kimia, yang telah membekali kami dengan pengetahuan dan keterampilan selama masa perkuliahan.
6. Rekan mahasiswa, atas kerja sama dan semangat kebersamaan yang turut mendukung proses belajar selama ini.

## **MOTTO**

“Jadikan jatuh bangun sebagai ibadah kepada-Nya, biarkan angan dan harapan waktu yang menjawabnya. Bersedihlah secukupnya, bahagiakan dirimu sebagai manusia”

-Indana Hirzil Farodis

“Bila esok nanti kau sudah lebih baik, jangan lupakan masa-masa sulitmu. Ceritakan kembali pada dunia, caramu merubah peluh jadi senyuman”

-Gianina Septa Puspanegara

“Apa yang kamu anggap remeh hari ini, bisa menjadi pengingat yang paling keras di masa depan”

-Nadilla Alfiatul Azizah

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Kami yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Ketua : Indana Hirzil Farodis  
NIM : 211910401031  
Nama Anggota 1 : Gianina Septa Puspanegara  
NIM : 211910401016  
Nama Anggota 2 : Nadilla Alfiatul Azizah  
NIM : 211910401080

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “*Prarancangan Pabrik Poly Lactic Acid (PLA) dari Singkong Melalui Metode Fermentasi Kapasitas 4.000 Ton/Tahun*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Kami bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 16 Juli 2025

Yang menyatakan,



Gianina Septa Puspanegara  
NIM. 211910401016



Indana Hirzil Farodis  
NIM. 211910401031



Nadilla Alfiatul Azizah  
NIM. 211910401080

## HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul *Prarancangan Pabrik Poly Lactic Acid (PLA) Dari Singkong Melalui Metode Fermentasi Kapasitas 4.000 Ton/Tahun* telah diuji dan disetujui oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

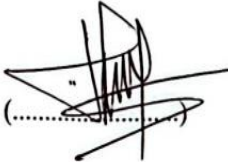
Hari : Selasa  
Tanggal : 22 Juli 2025  
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

### Pembimbing

### Tanda Tangan

#### 1. Pembimbing Utama

Nama : Sonya Hakim Raharjo., S.T., M.T.  
NIP : 199507142024062002



(.....)

### Penguji

#### 1. Penguji Utama

Nama : Ir. Zuhriah Mumtazah, S.Si., M.Si.  
NIP : 199311022022032014



(.....)

#### 2. Penguji Anggota

Nama : Ir. Ditta Kharisma Yolanda Putri, S.T., M.T.  
NIP : 199412212019032018



(.....)

## ABSTRAK

Poly Lactic Acid is a chemical compound that has many uses in various industries, such as textiles, otomotif, and pharmaceuticals. Due to the lack of a local factory, Indonesia still imports polylactic acid to meet its needs. As a result, a prototype for a polylactic acid factory using cassava as a raw material was created, with a 4.000-ton annual production capacity. Using *Lactobacillus Delbrueckii* as the lactic acid-producing bacteria and Stannous Octoate (Sn(II)Oct) as a catalyst, fermentation and polymerization are the primary production processes. Cassava is first pretreated using the hydrolisis method to yield glucose. Fermentation then produces lactic acid, which is subsequently converted to polylactic acid using the ROP method. The factory will be built on a 1.5-hectare plot of land in Cilegon City, Banten. The economic evaluation's findings indicate that the total capital investment is Rp696.625.396.745, with a break-even point of 43%, a rate of return of 16,36%, and a payback period of 3,79 years. The factory is deemed technically and financially feasible to construct based on the evaluation's findings.

**Keywords :** poly lactic acid, lactic acid, cassava, fermentation, polymerization

## RINGKASAN

Pabrik yang memproduksi *Poly Lactic Acid* dari singkong memiliki kapasitas produksi tahunan sebesar 4.000 ton dan beroperasi selama 330 hari dalam setahun. Pabrik tersebut akan dibangun di Kota Cilegon, Provinsi Banten. Pabrik PLA akan memproses sekitar 39.600 ton singkong per tahun pada kapasitas operasionalnya untuk menghasilkan asam poli laktat dengan kemurnian hingga 95%. Lima tahap utama produksi meliputi pretreatment biomassa, fermentasi, pemekatan, polimerisasi, dan kristalisasi. Tahap pertama melibatkan penggilingan singkong dan hidrolisis untuk menghasilkan glukosa. Asam laktat kemudian diproduksi melalui fermentasi menggunakan bakteri *Lactobacillus delbrueckii* yang menghasilkan asam laktat. Karbon aktif kemudian digunakan untuk memekatkan asam laktat dan menghilangkan kontaminan. Langkah berikutnya adalah polimerisasi, yang menghasilkan *Poly Lactic Acid* menggunakan katalis Sn(II) Oct dalam reaktor tertutup pada suhu 120°C dan tekanan 1 atm. Kristal berkemurnian tinggi diperoleh melalui pengolahan lebih lanjut produk melalui kristalisasi. Terdapat sekitar 156 tenaga kerja di pabrik ini. Proyek ini menampilkan perkiraan kompetitif untuk laba penjualan bersih, pengembalian investasi (ROR), dan waktu pengembalian investasi (POT) berdasarkan evaluasi ekonomi. Pengembangan pabrik *Poly Lactic Acid* berbasis singkong di Indonesia dianggap secara teknis dan finansial layak, dengan nilai BEP di bawah 50% dan nilai investasi yang layak.

## PRAKATA

Puji syukur kepada Allah Swt. yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir dengan judul “Prarancangan Pabrik *Poly Lactic Acid* (PLA) Dari Singkong Melalui Metode Fermentasi Kapasitas 4.000 Ton/Tahun” ini dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam menuntaskan Program Studi S1 Teknik Kimia, Universitas Jember. Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik yang tidak terlepas dari bimbingan dan bantuan serta doa dari banyak pihak. Oleh karena itu penulis berterima kasih sebanyak banyaknya kepada yang terhormat:

1. Dr. Ir. Iwan Taruna, M.Eng., IPM. selaku Rektor Universitas Jember.
2. Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Ir. Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph.D., IPM. Selaku Kepala Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
4. Sonya Hakim Rahardjo, ST, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu dan memberikan kesabaran selama proses bimbingan.
5. Ir. Zuhriah Mumtazah, S.Si., M.Si. dan Ir. Ditta Kharisma Yolanda Putri, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah menguji dan memberikan masukan serta saran yang sangat bermanfaat.
6. Seluruh Dosen Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
7. Ibu dan ayah tercinta yang telah mendukung serta mendoakan demi kelancaran dan keberhasilan dalam proses penyelesaian Tugas Akhir.
8. Teman-teman Teknik Kimia 2021 yang telah mendukung dan memberikan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
9. Serta semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya penyusunan Tugas Akhir yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga segala bimbingan, dukungan, serta doa yang diberikan akan menjadi berkah dan mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah Swt. Laporan Tugas Akhir “Prarancangan Pabrik *Poly Lactic Acid* Dari Singkong Melalui Metode

Fermentasi Kapasitas 4.000 Ton/Tahun” tentunya masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka dengan adanya kritik dan saran yang membangun sebagai masukan serta penyempurnaan di masa depan.

Jember, 17 Juli 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>viii</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Sejarah dan Perkembangan.....	2
<b>BAB 2. PERENCANAAN PABRIK .....</b>	<b>3</b>
2.1 Pemilihan Kapasitas .....	3
2.2 Pemilihan Proses .....	6
2.3 Uraian Proses.....	7
2.4 Spesifikasi Bahan .....	13
2.5 Pemilihan Lokasi dan Tata Letak Pabrik.....	17
<b>BAB 3. NERACA MASSA DAN ENERGI .....</b>	<b>21</b>
3.1 Neraca Massa Total .....	21
3.2 Neraca Energi Total.....	24
<b>BAB 4. SPESIFIKASI ALAT .....</b>	<b>27</b>
4.1 Spesifikasi Alat Reaktor (R-160) .....	27
4.2 Spesifikasi Alat Reaktor (R-230) .....	28
4.3 Spesifikasi Reaktor (R-410) .....	29
<b>BAB 5. EVALUASI EKONOMI.....</b>	<b>31</b>

5.1 Total Modal .....	31
5.2 Ongkos Produksi .....	31
5.3 Keuntungan.....	31
5.4 Lama Waktu Pengembalian.....	32
5.5 Laju Pengembalian Modal.....	32
5.6 Break Event Point (BEP).....	32
<b>BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>34</b>
6.1 Kesimpulan.....	34
6.2 Saran.....	34
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>35</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>40</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Blok Diagram Alir.....	11
Gambar 2.2 Proses Flow Diagram .....	12
Gambar 2.3 Lokasi Pendirian Pabrik <i>Poly Lactic Acid</i> (PLA) .....	17
Gambar 2.4 Layout Pabrik <i>Poly Lactic Acid</i> .....	20
Gambar 5.1 Grafik <i>Break Event Point</i> (BEP) .....	33

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Jumlah Impor <i>Poly Lactic Acid</i> (PLA) di Indonesia .....	1
Tabel 2.1 Daftar Konsumen <i>Poly Lactic Acid</i> (PLA).....	3
Tabel 2.2 Data Jumlah Impor <i>Poly Lactic Acid</i> (PLA) di Indonesia .....	4
Tabel 2.3 Data Jumlah Ekspor <i>Poly Lactic Acid</i> (PLA) di Indonesia.....	5
Tabel 2.4 Pemilihan Proses .....	6
Tabel 2.5 Spesifikasi Bahan Singkong.....	13
Tabel 2.6 Spesifikasi Air.....	13
Tabel 2.7 Spesifikasi <i>Lactobacillus Delbrueckii</i> .....	14
Tabel 2.8 Spesifikasi CaOH.....	14
Tabel 2.9 Spesifikasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	14
Tabel 2.10 Spesifikasi NaOH.....	15
Tabel 2.11 Spesifikasi Sn(II)Oct.....	15
Tabel 2.12 Spesifikasi <i>Malt Sprout</i> .....	16
Tabel 2.13 Spesifikasi Karbon Aktif.....	16
Tabel 2.14 Amonium Fosfat ((NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) .....	17
Tabel 2.15 Pemilihan Lokasi Bahan Baku .....	18
Tabel 3.1 Neraca Massa Total.....	21
Tabel 3.2 Neraca Energi Total .....	24
Tabel 4.1 Spesifikasi Alat Reaktor (R-160).....	27
Tabel 4.2 Spesifikasi Alat Reaktor (R-230).....	28
Tabel 4.3 Spesifikasi Reaktor (R-410).....	29
Tabel 5.1 Total Modal.....	31
Tabel 5.2 Ongkos Produksi .....	31
Tabel 5.3 Keuntungan .....	31
Tabel 5.4 <i>Break Event Point</i> (BEP) .....	32

## **KATA PENGANTAR**

Dengan mengucapkan syukur ke hadirat Allah SWT, kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir Pra Perancangan Pabrik Poly Lactic Acid (PLA) dari Singkong Melalui Metode Fermentasi Dengan Kapasitas 4.000 Ton/Tahun dengan baik. Tugas akhir ini kami susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan program studi S1 Teknik Kimia. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada dosen pembimbing, seluruh dosen Program Studi Teknik Kimia, orang tua, serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama proses penyusunan. kami menyadari bahwa laporan ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan di masa mendatang.

Jember, 12 April 2025

Penulis

# BAB 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

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 umbi-umbian 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). Berikut data jumlah impor *Poly Lactic Acid (PLA)* dapat dilihat pada Tabel 1.1 yaitu:

**Tabel 1.1** Data Jumlah Impor *Poly Lactic Acid (PLA)* di Indonesia

Tahun	Jumlah Impor (ton/tahun)
-------	--------------------------

<b>Tahun</b>	<b>Jumlah Impor (ton/tahun)</b>
2020	36,477
2021	22,268
2022	61,934
2023	286,782
2024	52,931

Sumber: BPS

## 1.2 Sejarah dan Perkembangan

*Poly Lactic Acid (PLA)* adalah plastik ramah lingkungan yang dibuat dari sumber terbarukan seperti pati jagung, singkong, atau gula tebu. Ditemukan pertama kali pada 1780 oleh Carl Wilhelm Scheele dan diidentifikasi sebagai poli-laktat pada 1932 oleh Wallace Carothers, PLA belum dikembangkan secara ekonomis hingga teknologi fermentasi maju di era 1980–1990. Produksi komersialnya dimulai oleh NatureWorks pada tahun 2000 dengan merek Ingeo. Kini, PLA digunakan dalam kemasan, alat makan, tekstil, dan aplikasi medis (Ramakhrisna *et al.*, 2009).

*Poly Lactic Acid (PLA)* semakin diminati karena sifatnya yang biodegradable dan ramah lingkungan, serta penggunaannya dalam teknologi seperti 3D printing dan aplikasi medis. Meski biaya produksinya lebih tinggi dibanding plastik konvensional, inovasi terus dikembangkan untuk menurunkan biaya dan memperluas penggunaannya. PLA menjadi solusi potensial dalam mengurangi dampak lingkungan dari plastik tradisional (Rahmayetty *et al.*, 2016).

## BAB 2. PERENCANAAN PABRIK

### 2.1 Pemilihan Kapasitas

Di Indonesia, permintaan Poly Lactic Acid (PLA) terus meningkat. Saat ini, kebutuhan PLA masih dipenuhi melalui impor dari negara seperti AS, China, dan Thailand. Penentuan kapasitas pabrik mempertimbangkan permintaan, ketersediaan bahan baku, dan kapasitas produksi yang ada. Kapasitas yang tepat akan berdampak pada aspek teknis dan finansial, di mana peningkatan kapasitas bisa meningkatkan keuntungan. Berikut beberapa pabrik dengan kebutuhan *Poly Lactic Acid* (PLA) di Indonesia yang disajikan pada tabel 2.1:

**Tabel 2.1** Daftar Konsumen *Poly Lactic Acid* (PLA)

No.	Nama perusahaan	Kebutuhan <i>Poly Lactic Acid</i> (PLA)
1.	PT. Evogaia Karya Indonesia	Salah satu dari banyak manfaat PLA adalah kemampuannya untuk terurai secara hayati, yang memungkinkan kemasan terurai. Hal tersebut membuat PLA sebagai bahan yang sempurna untuk kemasan makanan yang lebih ramah lingkungan karena cepat diserap oleh lingkungan, memiliki emisi gas yang rendah, dan tidak terlalu berbahaya (Wibowo, 2024).
2.	PT. Primaplast Indonesia	Sedotan plastik yang menggunakan bahan dari PLA lebih ramah lingkungan karna produk yang dapat terurai secara alami sesuai dengan sesuai dengan British Standard 8472, American ASTM D6954, UAE Standard 5009:2009, French Accord 751-808 (Dewantara, 2019).
3.	PT. Tirta Marta	PLA adalah pesaing kuat untuk menggantikan polimer berbasis minyak bumi dalam pembuatan kemasan farmasi yang ramah

---

lingkungan. Karena PLA berasal dari sumber daya terbarukan dan memiliki kualitas biodegradasi yang kuat, PLA dianggap menjanjikan (Ashiwaju, 2023).

---

**Tabel 2.2** Data Jumlah Impor *Poly Lactic Acid* (PLA) di Indonesia

Tahun	Jumlah Impor (ton/tahun)
2020	36,477
2021	22,268
2022	61,934
2023	286,782
2024	52,931

Sumber: BPS

Berdasarkan data dari BPS jumlah total *Poly Lactic Acid* (PLA) yang di impor dari tahun 2020 hingga 2024 mencapai 460.392 ton. Sejumlah negara Asia, termasuk China, Jepang, dan Taiwan, juga mengimpor *Poly Lactic Acid* (PLA). Tahap pertama adalah menentukan laju pertumbuhan impor tahunan, dengan asumsi pabrik akan dirancang dalam enam tahun, atau pada tahun 2030 :

$$\text{Pertumbuhan 2020-2021} = \frac{22,268 - 36,477}{36,477} \times 100\% = -38,95\%$$

$$\text{Pertumbuhan 2021-2022} = \frac{61,934 - 22,268}{22,268} \times 100\% = 178,13\%$$

$$\text{Pertumbuhan 2022-2023} = \frac{286,782 - 61,934}{61,934} \times 100\% = 363,04\%$$

$$\text{Pertumbuhan 2023-2024} = \frac{52,931 - 286,782}{286,782} \times 100\% = -81,54\%$$

$$\text{Jumlah} = \frac{420,68\%}{4} = 105,17\%$$

$$= \frac{105,17}{100} = 1,0517$$

Maka, perkiraan konsumsi pada tahun 2030:

$$M_5 = P(1+i)^n$$

$$= 52,931 \times (1+1,0517)^6$$

$$= 3.948,15 \text{ ton/tahun}$$

Keterangan:

P = Jumlah impor tahun 2024

i = Pertumbuhan rata-rata pertahun

n = Selisih tahun yang diperhitungkan

Maka pada tahun 2030 dapat diperkirakan konsumsi dari *Poly Lactic Acid* (PLA) akan mencapai 3.948,15 ton/tahun. Jumlah ekspor PLA dapat dilihat pada tabel 2.3:

**Tabel 2.3** Data Jumlah Ekspor *Poly Lactic Acid* (PLA) di Indonesia

Tahun	Jumlah Ekspor (ton/tahun)
2020	0
2021	16,5
2022	0
2023	0
2024	0,179

Sumber: BPS

Menurut data ekspor BPS, total 16.679 ton *Poly Lactic Acid* (PLA) diekspor antara tahun 2020 dan 2024. Berikut adalah spesifikasi ekspor untuk *Poly Lactic Acid* (PLA), dengan asumsi pabrik akan dirancang dalam enam tahun ke depan, atau pada tahun 2030:

$$\begin{aligned}
 M4 &= P(1+i)^n \\
 &= 0,179 \times (1+0)^6 \\
 &= 0,179 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

P = Jumlah ekspor tahun 2024

i = Pertumbuhan rata-rata pertahun

n = Selisih tahun yang diperhitungkan

Maka pada tahun 2030 dapat diperkirakan kebutuhan ekspor dari *Poly Lactic Acid* (PLA) akan mencapai 0,179 ton/tahun. Maka, dapat dihitung kapasitas pabrik pada tahun 2030:

$$\begin{aligned}
 M3 &= (M4+M5) - (M1+M2) \\
 &= (0,179+ 3.948,15) - (0 + 0) \\
 &= 3.948,33 \text{ ton/tahun} \approx 4.000 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

M1 = Nilai impor tahun 2030 (dengan asumsi = 0)

M2 = Produksi pabrik dalam negeri (dengan asumsi = 0)

M3 = Kapasitas pabrik yang didirikan

M4 = Nilai ekspor tahun 2030

M5 = Konsumsi dalam negeri tahun 2030

---

Jadi, kebutuhan kapasitas untuk membangun pabrik *Poly Lactic Acid* (PLA) pada tahun 2030 adalah 4.000 ton/tahun.

## 2.2 Pemilihan Proses

Jenis proses dari produksi *Poly Lactic Acid* (PLA) dapat ditentukan dengan dibuat kelebihan dan kekurangan dari proses pada Tabel 2.4 sebagai berikut:

**Tabel 2.4** Pemilihan Proses

Parameter	Jenis Proses		
	Biokatalis non-fermentasi	Sintesis Kimia <i>Laktonitril</i>	Fermentasi
Suhu Operasi	50-60° C	130-140° C	40° C
Kondisi Operasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ph : 6,5</li> <li>• Waktu : 24-48 jam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tekanan : 4 atm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ph : 7,6</li> <li>• Tekanan : 1 atm</li> <li>• Waktu : 18 jam</li> </ul>
Fase Reaksi	Cair-cair	Cair-Padat	Padat-Cair
Yield	50-80%	75-85%	85-95%
Kelebihan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebih cepat</li> <li>• Tidak memerlukan mikroorganism hidup (Warsiki, 2007)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kendali yang baik terhadap sifat polimer (Pasaribu, 2021)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bahan baku terbaru</li> <li>• Biaya relative murah</li> <li>• Energi yang dibutuhkan rendah</li> <li>• Menghasilkan produk yang optimal</li> <li>• Tidak banyak menghasilkan produk samping</li> <li>• Mudah diterapkan</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tingkat kemurnian tinggi (Pasaribu, 2021)</li> </ul>
Kekurangan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yield yang dihasilkan rendah</li> <li>• Biaya enzim tinggi</li> <li>• Teknologi terbatas</li> <li>• Tingkat kemurnian rendah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Maintenan ce</i> yang rumit</li> <li>• Suhu operasi tinggi</li> <li>• Tekanan lebih tinggi</li> <li>• Yield yang dihasilkan rendah</li> <li>• Sulit menghilangkan air</li> <li>• Tingkat kemurnian rendah</li> <li>• Biaya mahal (Kusuma, 2018)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Waktu produksi lama</li> <li>• Memerlukan control yang ketat terhadap kondisi (Kusuma, 2018)</li> </ul>

### 2.3 Uraian Proses

Produksi *poly lactic acid* (PLA) dengan menggunakan metode fermentasi yang menggunakan bahan baku utama yaitu *Cassava Starch* dengan menggunakan bantuan bakteri *Lactobacillus delbrueckii* melalui beberapa tahapan yaitu:

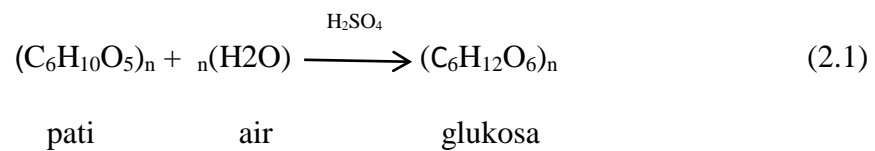
#### 2.3.1 Persiapan Bahan Baku

Produksi *poly lactic acid* (PLA) yang menggunakan metode fermentasi dan menggunakan bantuan bakteri *Lactobacillus delbrueckii* dan menggunakan bahan utama berupa *Cassava Starch*. Pati atau *Cassava Starch* yang diawali dari pemilihan dan pencucian singkong segar untuk menghilangkan kotoran. Setelah itu, singkong yang sudah dikupas akan digerus menjadi bubur menggunakan mesin penggiling (C-120). Setelah pati dipisahkan, pati yang masih mengandung

air tinggi dikeringkan menggunakan mesin pengering (B-130) pada suhu 100°C. Setelah kering, pati diangkut menuju *Vibrating Screen* (H-140) untuk memisahkan partikel sesuai dengan standar kebutuhan yaitu 120 mesh.

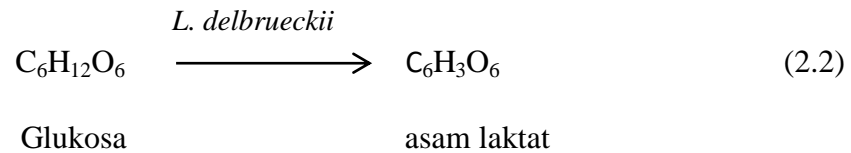
### 2.3.2 Proses Pembuatan Asam Laktat

Pati dicampurkan dengan air menggunakan *Mixer* (M-150) dengan suhu 95° C dan tekanan 1 atm selama 1 jam, kemudian masuk ke dalam Reaktor-01 (R-160) dan ditambahkan katalis asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0,1 M dengan suhu operasi 140° C dan tekanan 2 atm. Dalam proses ini terdapat proses hidrolisis dimana terjadi pemecahan pati menjadi glukosa yang menggunakan bantuan katalis asam sulfat untuk mempercepat reaksi dan meningkatkan reaktivitas air. sehingga terjadi reaksi sebagai berikut :



Natrium Sulfat sebagai produk samping dari proses ini, natrium sulfat dihasilkan bersama dengan pati, abu, air, asam sulfat, dan glukosa, yang semuanya dimasukkan ke dalam *Neutralizer* (D-180) dengan konversi 100%. Setelah itu, larutan NaOH 0,1 M digunakan untuk menetralkan asam sulfat dan menghentikan pertumbuhan bakteri. Untuk proses fermentasi, glukosa yang telah diencerkan kemudian dikirim ke Reaktor Kultur (R-210), dan Reaktor Fermentor (R-230). Distribusi dibagi menjadi dua bagian: R-210 menerima 10% dari bahan baku, dan R-230 menerima 90% dari bahan baku. Bakteri *Lactobacillus delbrueckii* dikembangbiakkan dengan ditambahkan 0,375% malt sprout dan 0,25% (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> sebagai nutrisi ke dalam R-210. Kemudian ditambahkan 10% Ca(OH)<sub>2</sub> 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-02 (R-210) yang mengandung glukosa dipompa ke Reaktor-03 (R-230), di mana ditambahkan 10% Ca(OH)<sub>2</sub>, 0,25% (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, dan air untuk fermentasi. Dengan memperkenalkan mikroorganisme, R-230 mengubah glukosa menjadi laktat kalsium. 90% asam laktat yang dihasilkan oleh reaksi di R-

230 didapatkan. Suhu dan tekanan selama prosedur 18 jam ini masing-masing adalah 40°C dan 1 atm. Reaksi yang terjadi adalah:



Setelah 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 H-310 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.

### 2.3.3 Proses Pembuatan *Poly Lactic Acid* (PLA)

Bahan baku utama larutan asam laktat, dan bahan baku pendukung, yaitu katalis Stannous Octoate digunakan dalam proses polimerisasi ini merupakan bahan baku yang digunakan. Sigma-Aldrich adalah tempat di mana larutan stannous octoate dibeli.

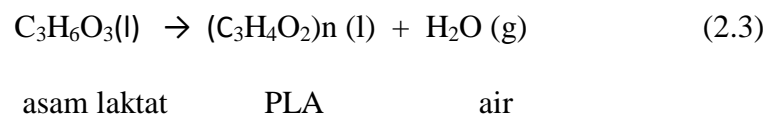
#### 2.3.3.4 Polimerisasi Asam Laktat

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<sub>2</sub>O 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 (R-410). 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).

### 2.3.3.5 Tahap reaksi

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:



Kondisi operasi:

P = 1 atm,

T = 170° C,

t = 6 jam.

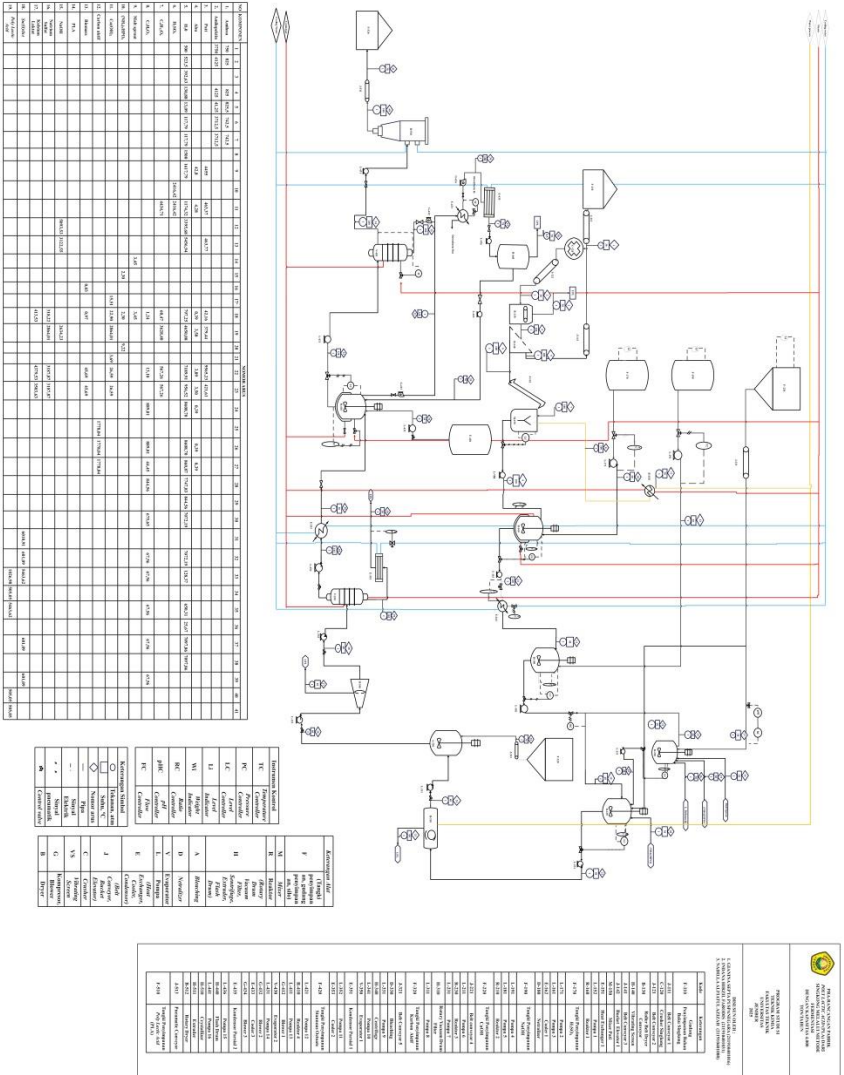
Sebuah koil pemanas berfungsi sebagai pemanas reaktor, menjaga suhu keluar reaktor pada 120°C. Di dalam evaporator (V-430), produk dan sisa umpan dipisahkan. Kondensor parsial (E-435) digunakan untuk memekatkan asam laktat yang tidak bereaksi sehingga kandungan air dapat dihilangkan sebelum dimasukkan kembali ke dalam reaktor (R-410).

### 2.3.3.6 Tahap 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 penyimpanan produk (F-520).



**PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM  
PRA RANCANGAN PABRIK POLYLACTIC ACID (PLA) DARI SINGKONG  
MELALUI METODE FERMENTASI  
DENGAN KAPASITAS 4000 TON/TAHUN**



**Gambar 2.2** Proses Flow Diagram

## 2.4 Spesifikasi Bahan

### 1. Bahan baku

#### a. Singkong

Singkong yang didapatkan dari PT. Multi Agro Corporation dengan kapasitas 300 ton/hari Lampung Tengah dengan harga Rp. 650.000 untuk per kilogramnya.

**Tabel 2.5** Spesifikasi Bahan Singkong

Sifat Fisika dan Kimia	Keterangan
Bentuk fisik	Padat
Titik didih	100°C
Titik leleh	60-70°C
Kelarutan	Larut didalam air

([Multi Agro Corporation. PT | \(0721\) 256977 | Kota Bandar Lampung](#))

### 2. Bahan pendukung

#### a. Air

Air didapatkan dari PT. Krakatau Tirta Industri (KTI) Cilegon dengan harga Rp.13.00 untuk setiap literanya.

**Tabel 2.6** Spesifikasi Air

Sifat fisika dan kimia	Parameter
Bentuk fisik	Cair
Warna	Tidak berwarna / bening
Berat molekul	18,015 g/mol
Titik didih	99,974°C
Titik leleh	0°C
Kelarutan	Sangat larut dalam etanol, methanol, dan aseton.

([PT Krakatau Tirta Industri](#))

#### b. Bakteri *Lactobacillus delbrueckii*

Bakteri *Lactobacillus delbrueckii* import dari FENGCHEN GROUP CO, LTD, China dengan harga Rp.231.054 untuk setiap kilogramnya.

**Tabel 2.7** Spesifikasi *Lactobacillus Delbrueckii*

Sifat Fisika dan Kimia	Keterangan
Bentuk fisik	Batang
Warna	Tidak berwarna
Suhu Optimum	40°C
Kelarutan	Tersuspensi dalam medium cair

([Lactobacillus Bulgaricus, Lactobacillus Delbrueckii Subspecies Bulgaricus Manufacturers and Suppliers - Price - Fengchen](#))

c. Kalsium Hidroksida (CaOH)<sub>2</sub>

Kalsium Hidroksida (CaOH) sulfat ini didapatkan dari PT. Wangunsari Pratama dengan kapasitas 90.000 ton/tahun, Padalarang, Jawa Barat dengan harga Rp.12.000 untuk setiap keliogramnya.

**Tabel 2.8** Spesifikasi CaOH

Sifat Fisika dan Kimia	Keterangan
Bentuk fisik	Padat
Warna	Putih
Berat molekul	74.09 g/mol
Titik didih	285°C
Titik leleh	580°C
Kelarutan	Larut dalam air

(<https://pratamalimestone.com/caoh2/>)

d. Asam Sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

Asam sulfat ini didapatkan dari PT. Timuraya Tunggal 400 ton/hari Karawang, Jawa Barat dengan harga Rp. 20.000 untuk setiap kilogramnya.

**Tabel 2.9** Spesifikasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Sifat fisika dan kimia	Keterangan
Bentuk fisik	Cair

Warna	Tidak berwarna / bening
Berat molekul	98,08 g/mol
pH (25°C)	0,3 pada 49 g/l
Titik didih	335°C
Titik leleh	-20°C
Kelarutan	Dapat bercampur dengan air

([www.timuraya.com](http://www.timuraya.com))

e. Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida ini didapatkan dari PT. Asahimas Chemical dengan kapasitas 700.000 ton/tahun Cilegon, Banteen dengan harga Rp.3.800 untuk setiap kilogramnya.

**Tabel 2.10** Spesifikasi NaOH

Sifat fisika dan kimia	Keterangan
Bentuk fisik	Cairan
Warna	Putih
Berat molekul	39,997 g/mol
Titik didih	1388°C
Titik leleh	323°C
Kelarutan	Mudah larut dalam air

([PT. Asahimas Chemical - Caustic Soda](#))

f. Katalis Sn(II)oct

Katalis Sn(II)oct ini didapatkan dari PT. Justus Kimia Raya- Jakarta Barat dengan harga untuk setiap kilogramnya yaitu Rp.16.500.

**Tabel 2.11** Spesifikasi Sn(II)Oct

Sifat fisika dan kimia	Keterangan
Bentuk fisik	Cair
Warna	Tidak berwarna / bening
Berat molekul	405,1 g/mol
Titik didih	337°C
Titik leleh	10,31°C
Kelarutan	Dapat bercampur dalam air

[\(Justus - Yukalic Stannous Naphtenate/Octoate\)](#)

g. Malt sprout

Malt sprout ini didapatkan dari PT. Central Pacific Prima, Jakarta Barat dengan harga untuk setiap kilogramnya Rp.33.000.

**Tabel 2.12** Spesifikasi *Malt Sprout*

Sifat Fisika dan Kimia	Keterangan
Bentuk fisik	Powder
Warna	Coklat
Total Proten Rendah	< 2%
Kelarutan	Tidak larut didalam air

[\(Jual Extract Malt Jakarta dari PT. Central Pacific Prima\)](#)

h. Karbon Aktif

Karbon aktif ini diperoleh dari PT. Indofurnace dengan kapasitas 5000 ton/tahun, Tangerang, Banten dengan harga Rp.12.400 untuk setiap kilogramnya.

**Tabel 2.13** Spesifikasi Karbon Aktif

Sifat Fisika dan Kimia	Keterangan
Bentuk fisik	Padat
Warna	Hitam
Kadar Abu	$\leq 5\%$
Kelembaban	$\leq 10\%$
Kekuatan Partikel	$\geq 98\%$
pH	7-9
Ukuran Partikel	10-24 mesh
Kelarutan	Tidak larut didalam air
Nilai Iodin	$\geq 1000$ mg/g

[\(Home - PT. Indofurnace\)](#)

i.  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ 

$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$  didapatkan dari PT. Makro Chemindo, Jakarta Utara harga dari amonium fosfat yaitu Rp.1.610 untuk perkilogramnya.

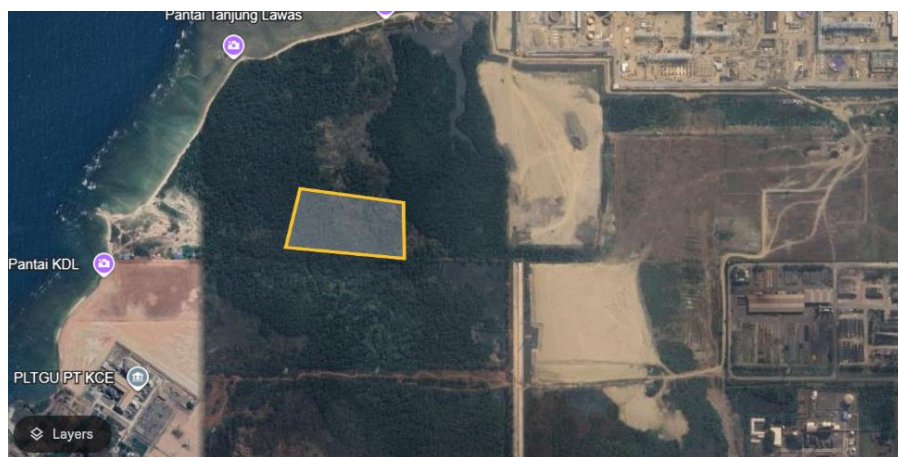
**Tabel 2.14** Amonium Fosfat  $((\text{NH}_4)_3\text{PO}_4)$

Sifat Fisika dan Kimia	Keterangan
Bentuk fisik	Cairan
Warna	Putih
Kandungan Utama	$\geq 99\%$
Kelembaban	$\leq 0,20\%$
pH	7,8 – 8,2
<i>Water Insoluble</i>	$\leq 0,10\%$

([Diammonium Phosphate - PT. MAKRO CHEMINDO](#))

## 2.5 Pemilihan Lokasi dan Tata Letak Pabrik

### 2.5.1 Pemilihan Lokasi Pabrik



**Gambar 2.3** Lokasi Pendirian Pabrik *Poly Lactic Acid* (PLA)

Untuk menentukan lokasi dan tata letak pabrik, ada beberapa faktor yang menjadi pertimbangan, yaitu:

1. Faktor Primer
  - a. Ketersediaan bahan baku

Bahan baku utamanya adalah singkong yang berasal dari PT. Multi Agro Corporation di Lampung Tengah. Oleh karena itu, pabrik direncanakan dibangun di kawasan industri PT. Kawasan Industri Estate Cilegon, Banten. Lokasi ini dipilih karena jaraknya relatif dekat dari sumber bahan baku, yaitu sekitar 4–5 jam perjalanan, sehingga mendukung efisiensi transportasi.

**Tabel 2.15** Pemilihan Lokasi Bahan Baku

Lokasi	Jumlah (ton/tahun)
Lampung	7,1 juta
Jawa Timur	3,1 juta
Jawa Tengah	3,5 juta
Sumut	1,6 juta

b. Pemasaran produk

Lokasi pabrik harus dekat dengan keberadaan konsumen karena pemasaran adalah hal yang paling terpenting dalam kelayakan proses. Oleh karena itu pabrik didirikan di kawasan distribusi. *Poly Lactic Acid* (PLA) ini banyak dibutuhkan oleh industri tekstil, otomotif, kemasan, dan medis.

c. Sarana transportasi

- Transportasi darat

Jarak pengangkutan singkong ke pabrik PLA sekitar 10,8 km melalui darat. Bahan baku dikirim dari Lampung ke Cilegon, Banten via tol Trans-Sumatera dan Merak-Jakarta, sehingga proses distribusi menjadi efisien dan cepat.

- Transportasi laut

Perjalanan dari Lampung Tengah ke PT. Kawasan Industri Estate Cilegon memakan waktu sekitar 6,5 jam, terdiri dari 3 jam perjalanan darat ke Pelabuhan Bakauheni, 3 jam penyeberangan laut ke Merak, dan 30 menit perjalanan darat sejauh 10,8 km ke lokasi industri.

- Transportasi udara

Rute udara dari Bandara Radin Inten II (Lampung) ke Bandara Soekarno-Hatta (Jakarta) memakan waktu sekitar 1 jam, lalu dilanjutkan perjalanan darat sejauh 102,1 km ke PT. Kawasan Industri Estate Cilegon selama  $\pm 1,5$  jam.

d. Ketersediaan tenaga kerja (SDM)

Sebagai pusat industri di Provinsi Banten, Cilegon memiliki populasi yang cukup besar dan tenaga kerja yang sangat terampil di sektor industri berat, teknik, dan manufaktur. Selain itu, pengembangan keterampilan yang dibutuhkan didukung oleh keberadaan fasilitas pendidikan dan pelatihan kejuruan di seluruh wilayah.

e. Ketersediaan air dan listrik (utilitas)

Kebutuhan di Pabrik *Poly Lactic Acid* (PLA pada air proses dan steam dapat dipenuhi dari air tanah, sumur galian, PDAM, serta pasokan air bersih dari PT Krakatau Tirta. Energi listrik yang dibutuhkan disuplai oleh PLN melalui jaringan listrik di kawasan industri Cilegon, Banten. Lokasi ini memiliki ketersediaan utilitas yang memadai untuk mendukung operasional pabrik.

2. Faktor Sekunder

a. Perluasan pabrik

Karena PT Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC) memiliki area tambahan (area II dan III) yang dapat digunakan untuk perluasan area industri, maka lokasi yang dipilih adalah di kawasan industri yang masih memungkinkan untuk dikembangkan.

b. Kebijakan pemerintah

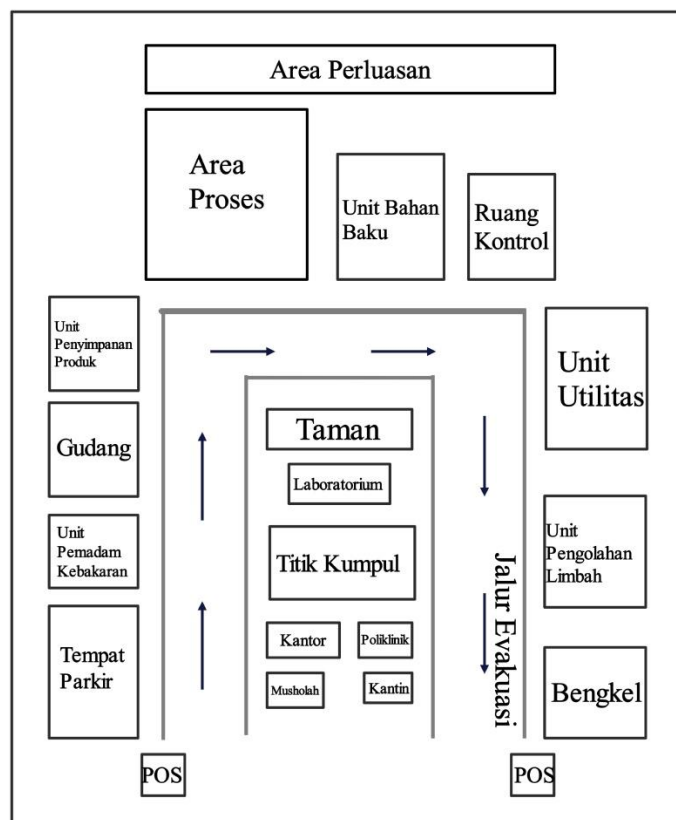
Dalam pendirian pabrik perlu memperhatikan kebijakan pemerintah yang terkait. Lokasi pabrik harus mematuhi peraturan serta pedoman yang ditetapkan oleh pemerintah terkait lokasi, lingkungan pajak, dan perizinan. Perlunya memperhatikan kebijakan pemerintah untuk pengembangan industri dan pemerataan tenaga kerja.

c. Sarana penunjang lain

Cilegon merupakan kawasan industri yang dekat dengan pelabuhan dan terdapat jalan tol yang menghubungkan Jakarta hingga Merak yang dapat memudahkan logistik ke wilayah Jabodetabek dan sekitarnya. Di Cilegon juga terdapat fasilitas kesehatan, pendidikan, fasilitas air, limbah, terdapat fasilitas hiburan, dan olahraga. Perusahaan juga akan memberikan fasilitas-fasilitas untuk pegawainya namun untuk mengurangi pembiayaan awal maka dapat menggunakan fasilitas umum tersebut.

### 2.5.2 Tata Letak Pabrik

Tata letak pabrik pada gambar 2.4 harus dirancang dengan sedemikian rupa untuk memastikan efisiensi kerja, penggunaan ruang yang optimal sehingga semua area produksi dan penyimpanan dapat digunakan secara efektif, keamanan dan kesehatan untuk mengurangi risiko kecelakaan dan memastikan akses mudah ke jalur evakuasi, meningkatkan produktivitas dan dapat mencapai tujuan secara keseluruhan.



**Gambar 2.4** Layout Pabrik *Poly Lactic Acid*

## BAB 3. NERACA MASSA DAN ENERGI

### 3.1 Neraca Massa Total

Tabel 3.1 Neraca Massa Total

Komponen	<1>	<2>	<3>	<4>	<5>	<6>	<7>	<8>	<9>	<10>	<11>
Amilosa	750	825		825	82,5	742,5	742,5				
Amilopektin	3750	4125		4125	412,5	3712,5	3712,5				
H <sub>2</sub> O	500	523,5	392,63	130,88	13,09	117,79	117,79	1500	1617,79		1174,32
Abu									4,28		4,28
C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>									4455		463,77
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>										2416,42	2416,42
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>											4434,71
Komponen	<12>	<13>	<14>	<15>	<16>	<17>	<18>	<19>	<20>	<21>	<22>
C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>		463,77					46,38	417,39			46,38
H <sub>2</sub> O	3395,68	5457,68					545,77	4911,91			6082,99
NaOH	1970,98										
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		3499,72					318,22	3149,75			3392,68
Abu		4,28					0,43	3,85			4,28
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>		4434,71					66,52	3991,23			471,56
Malt Sprout			3,71				3,71				

Ca(OH) <sub>2</sub>						16,25	10,60			4,06	134,59
(NH <sub>4</sub> )PO <sub>4</sub>				2,47			2,47		10,14		
Biomassa					0,03		1,06				51,42
(C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca							455,34				3776,74
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>							1,36				11,30

Komponen	<23>	<24>	<25>	<26>	<27>	<28>	<29>	<30>	<31>	<32>
Pati	46,38									
H <sub>2</sub> O	817,87	7360,85		7360,85	736,09	6624,77	6442,69	182,08		182,08
Abu	3,50	0,39		0,39	0,39					
Biomassa	51,42									
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	471,56									
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3392,68									
Ca(OH) <sub>2</sub>	134,59									
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>		766,65		766,65	38,33	728,31		728,31		72,83
(C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca	3021,39									
Karbon aktif			1521,54	1521,54	1521,54					
<i>Sn(II)Oct</i>									6479,46	647,95

Komponen	<33>	<34>	<35>	<36>	<37>	<38>	<39>	<40>	<41>
----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

H <sub>2</sub> O	138,38		740,36	27,68	209,75	209,75			
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	72,83		72,83		72,83		72,83		
<i>Sn(II)Oct</i>	5889,51		5889,51		647,95		647,95		
<i>Poly Lactic Acid</i>	1107,04	505,05						505,05	505,05

### 3.2 Neraca Energi Total

**Tabel 3.2** Neraca Energi Total

No.	Kode Alat	Aliran Masuk		Aliran Keluar	
1	B-130	Q2	4019,56	Q3	42778,75
		QU <i>in</i>	58580	Q4	17514,73
				QU <i>Out</i>	2306,09
		Total	62599,56	Total	62599,56
2	E-151	Q12	10895,57	Q8	163433,61
		QS <i>In</i>	188106,64	QS <i>Out</i>	35568,60
		Total	199002,21	Total	199002,21
3	R-160	Q9	179219,32	Q11	199644,78
		Q10	1927,11	QS <i>Out</i>	7335,25
		QS <i>In</i>	25833,60		
		Total	206980,03	Total	206980,03
4	E-162	Q11a	205334,03	Q11b	26782,70
		QP <i>In</i>	44637,83	QP <i>Out</i>	223189,16
		Total	249971,86	Total	249971,86
5	V-350	Q28	125368,56	Q29	145462,66
		QS <i>In</i>	1171576,59	Q30	924813,62
				QS <i>Out</i>	226668,88

		Total	1296945,16	Total	1296945,16
		Q29a	730046,61	Q29b	46797,86
6	E-351	QP <i>In</i>	170812,19	QP <i>Out</i>	854060,94
		Total	900858,80	Total	900858,80
		Q30a	22164,77	Q30b	1420,82
7	E-353	QP <i>In</i>	5185,99	QP <i>Out</i>	25929,94
		Total	27350,75	Total	27350,75
		Q30	1420,82	Q32	25636,69
		Q31	169,09	Q33	24026,42
8	R-410	Q39	26,73	QS <i>Out</i>	553,64
		QR	45940,29		
		QS <i>In</i>	2659,82		
		Total	50216,75	Total	50216,75
		Q33	24026,42	Q34	2230,94
9	V-430	QS <i>In</i>	288618,39	Q35	282606,69
				QS <i>Out</i>	27807,18
		Total	312644,81	Total	312644,81
		Q32	25636,69	Q36	23254,94
10	E-433	Q35	282606,69	QP <i>Out</i>	353842,83
		QP <i>In</i>	67854,39		

		Total	376097,77	Total	376097,77
		Q36	23254,94	Q37	13952,96
11	E-435	QP <i>In</i>	2325,49	QP <i>Out</i>	11627,47
		Total	25580,43	Total	25580,43
		Q34	2230,94	Q40	656,16
		QP <i>In</i>	3330,86	QP <i>Out</i>	16654,28
12	H-510	Q kristalisasi	11748,65		
		Total	17310,44	Total	17310,44
		Q40	656,16	Q41	43,74
13	J-511	QU <i>In</i>	878700	QU <i>Out</i>	879312,41
		Total	879356,16	Total	879356,16

## BAB 4. SPESIFIKASI ALAT

### 4.1 Spesifikasi Alat Reaktor (R-160)

**Tabel 4.1** Spesifikasi Alat Reaktor (R-160)

Spesifikasi	Keterangan		
Alat	: Reaktor		
Kode	: R-160		
Fungsi	: Menghidrolisis larutan pati menjadi glukosa dengan bantuan asam sulfat		
Tipe	: Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)		
Bahan	: <i>Stainless Steel, SA – 167, Grade 3, Type 304</i>		
Dimensi Reaktor	Volume	: 1404,65 ft <sup>3</sup>	= 39775,36 L
	ID	: 3,048 m	= 120 in
	Tinggi	: 7,07 m	= 278,364 in
Dimensi <i>shell</i>	Tebal <i>shell</i>	: 0,167 in	= 3/16 in = 0,0042 m
	ID	: 119,67 in	= 3,0395 m
	OD	: 3,05 m	= 120 in
	<i>V head</i>	: 83,967 ft <sup>3</sup>	= 2377,68 L
Dimensi Tutup	Tebal	: 0,21 in	= 5/16 in = 0,00545 m
	Tinggi	: 0,5988 m	= 1,964 ft
	Jenis Pengaduk	: <i>Flate six blade turbine with disk</i>	
Pengaduk	Jumlah Pengaduk	: 1 buah	
	Diameter impeller	: 0,914 m	
	Panjang impeller	: 0,229 m	
	Kecepatan impeller	: 64,512 rpm	= 1,075 rps

	Jumlah <i>baffle</i>	: 4 buah	
	<i>Power</i>	: 5,537 HP	
	Diameter	: 124,334 in	= 3,158 m
Jaket Pemanas	Tinggi	: 53,532 in	= 1,359 m
	<i>Space</i>	: 5 in	= 0,127 m
	Kecepatan <i>steam</i>	: 6,5 ft/jam	

#### 4.2 Spesifikasi Alat Reaktor (R-230)

Tabel 4.2 Spesifikasi Alat Reaktor (R-230)

Spesifikasi		Keterangan	
Alat		: Reaktor	
Kode		: R-230	
Fungsi		: Memfermentasikan glukosa menjadi asam laktat dengan bantuan bakteri <i>L. Delbrueckii</i>	
Tipe		: Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)	
Bahan		: <i>Stainless Steel, SA – 167, Grade 3, Type 304</i>	
Dimensi Reaktor	Volume	: 1697,23 ft <sup>3</sup>	= 5127,821 L
	ID	: 3,924 m	= 156 in
	Tinggi	: 9,59 m	= 377,31 in
Dimensi <i>shell</i>	Tebal <i>shell</i>	: 0,750 in	= 7/8 in = 0,0098 m
	ID	: 59,23 in	= 1,5045 m
	OD	: 3,962 m	= 156 in
	<i>V head</i>	: 0,1045 ft <sup>3</sup>	= 1,8526 L
Dimensi Tutup	Tebal	: 1,201 in	= 1 1/8 in = 0,0130 m
	Tinggi	: 1,133 m	= 3,71 ft
	Jenis Pengaduk	: <i>Flate six blade</i>	

---

		<i>turbine with disk</i>	
Pengaduk	Jumlah Pengaduk	: 1 buah	
	Diameter impeller	: 0,19685 m	
	Panjang impeller	: 0,049 m	
	Kecepatan impeller	: 8884,606 rpm = 148,07 rps	
	Jumlah <i>baffle</i>	: 4 buah	
	<i>Power</i>	: 1,9 HP	

---

### 4.3 Spesifikasi Reaktor (R-410)

Tabel 4.3 Spesifikasi Reaktor (R-410)

Spesifikasi		Keterangan	
Alat		: Reaktor	
Kode		: R-410	
Fungsi		: Melakukan proses polimerisasi asam laktat menjadi <i>Poly Lactic Acid</i> (PLA)	
Tipe		: Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)	
Bahan		: <i>Stainless Steel, SA – 167, Grade 3, Type 304</i>	
Dimensi Reaktor	Volume	: 2268,39 ft <sup>3</sup>	= 64233,67 L
	ID	: 3,505 m	= 138 in
	Tinggi	: 8,28 m	= 325,955 in
Dimensi <i>shell</i>	Tebal <i>shell</i>	: 0,185 in	= 3/16 in = 0,0047 m
	ID	: 137,63 in	= 3,496 m
	OD	: 3,51 m	= 138 in
	<i>V head</i>	: 0,0739 ft <sup>3</sup>	= 2,093 L
Dimensi Tutup	Tebal	: 0,23 in	= 4/16 in = 0,00577 m
	Tinggi	: 0,694 m	= 2,278 ft

---

---

	Jenis Pengaduk	: <i>Flate six blade turbine with disk</i>	
Pengaduk	Jumlah Pengaduk	: 1 buah	
	Diameter impeller	: 1,303 m	
	Panjang impeller	: 0,217 m	
	Kecepatan impeller	: 78,154 rpm	= 1,3025 rps
	Jumlah <i>baffle</i>	: 4 buah	
	<i>Power</i>	: 9,3 HP	
	Diameter	: 124,371 in	= 3,159 m
Jaket Pemanas	Tinggi	: 61,910 in	= 1,572 m
	<i>Space</i>	: 5 in	
	Kecepatan <i>steam</i>	: 264,3 ft/jam	

---

## BAB 5. EVALUASI EKONOMI

### 5.1 Total Modal

Perkiraan *Total Capital Investment* (TCI) pabrik *Poly Lactic Acid* disajikan pada Tabel 5.1 dan rincian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 4 – Evaluasi Ekonomi.

**Tabel 5.1** Total Modal

No.	Komponen	Biaya (Rp)
1.	<i>Fixed Capital Investment</i> (FCI)	626.962.857.070
2.	<i>Working Capital Investment</i> (WCI)	69.662.539.674
3.	<i>Total Capital Investment</i> (TCI)	696.625.396.745

### 5.2 Ongkos Produksi

Penentuan ongkos produksi dapat dilihat dari Tabel 5.2 berikut:

**Tabel 5.2** Ongkos Produksi

No.	Komponen	Biaya (Rp)
1.	<i>Manufacturing Cost</i>	
	a. <i>Direct Production Cost</i> (DPC)	527.234.281.390
	b. <i>Fixed Charges</i> (FC)	75.235.542.848
	c. <i>Plant Over-head Cost</i> (POC)	14.738.548.044
2.	<i>General Expenses</i> (GE)	69.993.506.941
3.	<i>Total Production Cost</i> (TPC)	687.201.879.223

### 5.3 Keuntungan

Perhitungan *Annual Cash Flow* dapat dilihat pada Tabel 5.3 dibawah ini:

**Tabel 5.3** Keuntungan

No.	Komponen	Biaya (Rp)
1.	Total Penjualan (S)	824.000.000.000
2.	Laba Kotor	136.798.120.776
3.	Laba Bersih	102.598.590.582
4.	Depresiasi (D)	62.696.285.707
5.	<i>Annual Cash Flow</i> (ACF)	165.294.876.289

6. % Annual Cash Flow (ACF) 23,73%

#### 5.4 Lama Waktu Pengembalian

Berikut Perhitungan PoT setelah pajak:

$$PoT = \frac{FCI}{Depresiasi + Laba Bersih} \quad (5.1)$$

$$= \frac{Rp626.962.857.070}{Rp62.696.285.707 + Rp102.598.590.582}$$

= 3,79 tahun

Waktu pengembalian modal pabrik Poly Lactic Acid adalah 3,79 tahun, yang dianggap layak karena kurang dari setengah umur pabrik (5 tahun), sehingga proyek dinilai layak didirikan.

#### 5.5 Laju Pengembalian Modal

Berdasarkan Peter dan Timmerhaus (2003) nilai DCF – ROR dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$TCI = ACF \left( \frac{1}{(1+i)^1} + \frac{1}{(1+i)^2} + \dots + \frac{1}{(1+i)^n} \right) + \frac{WCI+Vs}{(1+i)^n} \quad (5.2)$$

Nilai DCF-ROR sebesar 25% diperoleh melalui fitur goal seek di Excel. Karena nilai ini lebih tinggi dari bunga bank 5,05%, pabrik dinyatakan layak untuk didirikan.

#### 5.6 Break Event Point (BEP)

BEP sering digunakan untuk menganalisis jumlah minimum penjualan agar pabrik tidak mengalami kerugian.

**Tabel 5.4 Break Event Point (BEP)**

No.	Komponen	Biaya (Rp)
1.	Biaya Tetap (FC)	75.235.542.848
2.	Biaya Semi Variabel (SVC)	114.209.151.073
3.	Biaya Variabel (VC)	488.091.437.255
4.	Total Penjualan (S)	824.000.000.000

$$\text{BEP} = \frac{FC + 0,3SVC}{S - 0,7SVC - VC} \times 100\% \quad (5.3)$$

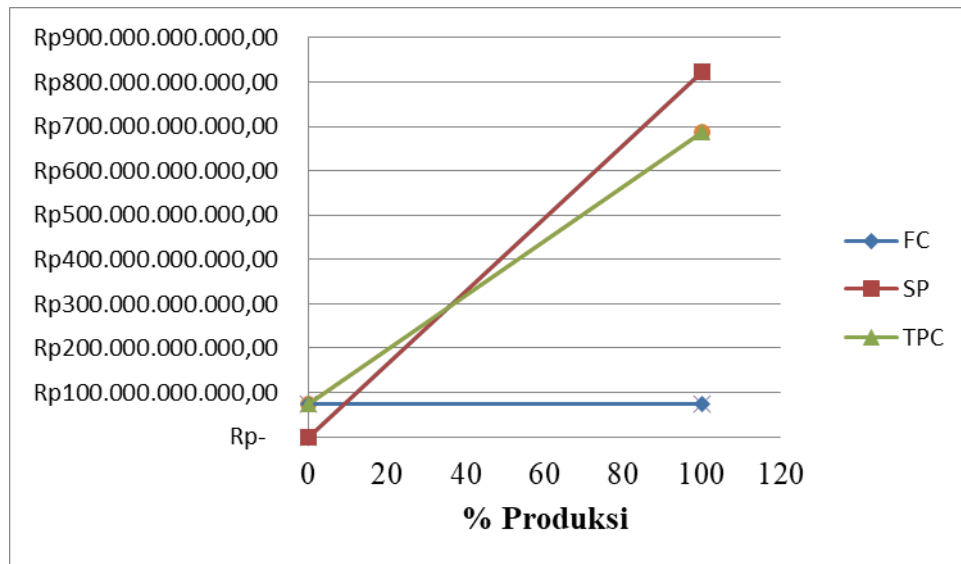
$$= 42,78 \%$$

$$\text{Titik BEP terjadi pada kapasitas produksi} = \text{BEP} \times \text{Kapasitas Produksi} \quad (5.4)$$

$$= 42,78\% \times 4.000 \text{ ton/tahun}$$

$$= 1.711 \text{ ton/tahun}$$

Pabrik dapat dinyatakan layak didirikan jika  $40\% < \text{BEP} < 60\%$ , maka dengan nilai BEP 42,78% pabrik dapat dinyatakan layak untuk didirikan.



**Gambar 5.1** Grafik *Break Event Point* (BEP)

## BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian proses dan hasil perhitungan Pra-Rancangan Pabrik *Poly Lactic Acid*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Pabrik *Poly Lactic Acid* ini memiliki kapasitas produksi sebesar 4.000 ton/tahun;
- Pembangunan Pabrik *Poly Lactic Acid* direncanakan mulai pada tahun 2031 di Kawasan Industrial Estate Cilegon (KIEC), Banten;
- Pabrik beroperasi kontinu 24 jam selama 330 hari/tahun dengan kebutuhan tenaga kerja untuk mengoperasikan pabrik ini sebanyak 156 karyawan;
- Terdapat unit proses pengolahan bahan baku, fermentasi asam laktat, pemekatan, polimerisasi, dan pembutiran;
- Evaluasi ekonomi diperoleh:
  - *Annual Cash Flow* (ACF) = 23,73 %
  - *Pay Out Time* (POT) = 3,79 tahun
  - *Net Profit Over Total Lifetime of The Project* (NPOTLP) = Rp1.050.084.710.820,35
  - *Total Capital Sink* (TCS) = Rp884.809.224.369,13
  - *Rate of Return* (ROR) = 16,36 %
  - *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF-ROR) = 25 %
  - *Break Event Point* (BEP) = 42,78%

Berdasarkan evaluasi ekonomi yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa Pabrik *Poly Lactic Acid* dengan kapasitas 4.000 ton/tahun ini layak untuk didirikan.

### 6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis adalah sebagai berikut :

- a. Pabrik *Poly Lactic Acid* dapat segera didirikan di Indonesia dikarenakan kebutuhan dalam negeri masih bergantung pada ekspor luar negeri.
- b. Pabrik *Poly Lactic Acid* memiliki target pasar yang luas dan jumlah kebutuhannya semakin meningkat.
- c. Pemilik modal atau perusahaan dapat mengkaji ulang mengenai pendirian pabrik *Poly Lactic Acid* dari berbagai aspek lain.

## 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-Wiley-Interscience (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.
- Chohey, 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), F164-F169.
- 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-L-Lactic 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/Calcium-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/Activated-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., Fayedh, 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), 8-14.
- 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 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*. 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)<sub>2</sub>) 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). Bio-based plastics: materials and applications, 171-239.
- Ulrich, G.D. (1984). *A Guide to Chemical 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 Keselamatan asam sulfat
- Workplace Hazardous Materials Information System (2018), Lembar Data Keselamatan 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.

## **LAMPIRAN**

<https://drive.google.com/drive/folders/1eWfw7uAndXDaVIEeHzHn6rBrsyVOyya?usp=sharing>