

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Plastik merupakan salah satu material yang banyak digunakan di berbagai negara hingga saat ini. Karakteristik unik yang dimiliki oleh plastik membuatnya banyak digemari oleh semua orang, seperti massa yang ringan, kuat, fleksibel, transparan, dan tahan terhadap air (Osborne Industries, 2018). Di sisi lain, plastik juga memiliki kekurangan, yaitu sulit terurai secara alami. Dibutuhkan waktu sekitar puluhan hingga ratusan tahun agar plastik dapat terurai secara alami. Meskipun demikian, penggunaan plastik di dunia terus meningkat sehingga menyebabkan terakumulasinya limbah plastik di berbagai tempat, baik di daratan maupun perairan. Berdasarkan data yang diperoleh dari Asosiasi Industri Plastik Indonesia (INAPLAS) dan Badan Pusat Statistik (BPS), tercatat bahwa limbah plastik di Indonesia mencapai 64 juta ton per tahun (Puspita, 2018). Oleh karena itu, diperlukan suatu metode baru untuk menciptakan plastik yang memiliki karakteristik serupa namun dapat mudah terurai secara alami.

Polylactic acid (PLA) merupakan polimer yang terbuat dari asam laktat dan dapat menjadi alternatif dari plastik konvensional. Selain memiliki beberapa karakteristik unik seperti plastik pada umumnya, PLA mempunyai kelebihan lain, yaitu mudah terurai secara alami (*biodegradable*). Dalam produksinya, PLA dibuat dengan bahan baku berupa asam laktat. Namun di Indonesia, saat ini masih belum terdapat industri yang memproduksi asam laktat sehingga diperlukan pabrik perintis untuk menghasilkan asam laktat.

Pada prarencana pabrik ini, pembuatan asam laktat dilakukan dengan menggunakan proses fermentasi glukosa yang dapat diperoleh dari tongkol jagung. Tongkol jagung selama ini kurang dimanfaatkan, yaitu hanya digunakan sebagai pakan ternak atau langsung dibuang menjadi limbah. Tongkol jagung kering yang memiliki massa sekitar 13,63% dari massa total jagung kering, mengandung 45% selulosa, 35% hemiselulosa, 15% lignin, dan sisanya berupa abu serta pektin (Pointner, Kuttner, Obrlik, Jgaer, & Kahr, 2014). Dengan menggunakan tongkol

jagung sebagai bahan baku pembuatan PLA, maka permasalahan lingkungan seperti peningkatan limbah plastik yang sulit terurai dan limbah tongkol jagung dapat ditekan.

Adanya Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 81 Tahun 2012 Pasal 11 mengenai penggunaan plastik yang mudah terurai oleh proses alam dan pembatasan penggunaan plastik konvensional, membuat industri *polylactic acid* (PLA) seharusnya dapat berkembang di Indonesia. Namun pada kenyataannya, sampai saat ini peraturan tersebut belum diimplementasikan dengan baik. Kebutuhan PLA di Indonesia juga masih tergolong rendah, dimana kuantitas impor PLA di Indonesia hanya sebesar 141,44 ton pada tahun 2015 dan 229,26 ton pada tahun 2016 (Badan Pusat Statistik, 2015). Meskipun demikian, pasar PLA di negara-negara lainnya dapat dikatakan memiliki prospek yang baik. Pada tahun 2016, tercatat bahwa negara Taiwan mengimpor PLA senilai 10,9 juta USD atau sekitar 5.600 ton PLA dan angka ini terus meningkat setiap tahunnya (Flexport, 2017). Oleh sebab itu, pendirian pabrik PLA di Indonesia memiliki peluang yang baik untuk memenuhi kebutuhan PLA dalam negeri maupun luar negeri. Selain itu, pendirian pabrik PLA diharapkan juga dapat menghemat devisa negara dalam mengimpor PLA, meningkatkan pendapatan negara melalui ekspor PLA, membuka lapangan kerja baru bagi masyarakat, serta mendorong berdirinya pabrik baru yang menggunakan PLA sebagai bahan baku.

Pendirian pabrik *polylactic acid* (PLA) dari tongkol jagung diharapkan selesai pada tahun 2024 dengan tahap-tahap pendirian sebagai berikut:

- *Planning* (Agustus 2019 – Januari 2020), meliputi perumusan teknologi serta pemilihan proses, pemilihan bahan baku, penetapan aplikasi produk, survei lapangan terhadap lokasi pendirian pabrik, dan sebagainya.
- *Contracting* (Februari 2020 – Juli 2020), meliputi pengadaan perjanjian ataupun kontrak dengan berbagai pihak, mengurus perizinan pembangunan, dan sebagainya.
- *Construction* (Agustus 2020 – Juli 2023), meliputi pembangunan kantor, area produksi, area utilitas, gudang, dan sebagainya.
- *Commissioning* (Agustus 2023 – Januari 2024), meliputi pemeriksaan serta uji coba peralatan, fasilitas, teknologi yang telah terpasang, dan sebagainya.

I.2. Sifat Bahan Baku dan Produk

I.2.1. Bahan Baku Utama dan Produk

I.2.1.1. Tongkol Jagung

Tongkol jagung merupakan bagian inti atau tengah jagung yang berfungsi sebagai tempat menempelnya biji-biji jagung atau *kernel*. Tongkol jagung menjadi limbah setelah dipisahkan dari bijinya dan biasanya digunakan untuk pakan ternak sapi dan atau dibakar untuk meminimalisasi limbah tersebut. Tongkol jagung menyumbang 13,63% dari berat total jagung kering dan memiliki kandungan air (*moisture content*) sebesar 6,38% (Zhang, Ghaly, & Li, 2012).

Tabel I.1. Komposisi Kimia dalam Tongkol Jagung (Basis Kering)

Komposisi	% Massa
Lignin	15%
Selulosa	45%
Hemiselulosa	35%
Abu	3%
Pektin	2%

(Pointner, Kuttner, Obrlik, Jgaer, & Kahr, 2014)

Tabel I.2. Komposisi Unsur dalam Tongkol Jagung (Basis Kering)

Komposisi	% Massa
C	47,7%
N	0,4%
O	56,5%
H	6,5%

(Budai, et al., 2014)

Sebagai bahan baku dari pembuatan asam laktat, selulosa dalam tongkol jagung harus dipisahkan dari lignin dan hemiselulosa yang ada dengan metode delignifikasi menggunakan NaOH, kemudian selulosa dihidrolisis dengan asam untuk menghasilkan glukosa. Glukosa inilah yang kemudian akan difermentasi dengan bantuan bakteri untuk menghasilkan asam laktat.

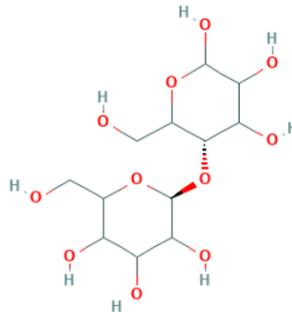
Selulosa ((C₆H₁₀O₅)_n) merupakan serat yang menyusun jaringan dari dinding sel tumbuhan. Selulosa berbentuk bubuk berwarna putih dan tidak berbau (National Center for Biotechnology Information, 2015). Selulosa yang terkandung dalam tongkol jagung memiliki nilai derajat polimerisasi (n) sebesar 1.328

(Ibrahim, Agblevor, & El-Zawawy, 2010). Struktur utamanya merupakan rantai panjang unit glukosa yang disatukan oleh ikatan β -(1,4). Sifat unik dari selulosa adalah kemampuannya untuk mengikat hidrogen bersama menjadi serat (mikrofibril) dan memberikan kekuatan mekanik dan stabilitas kimia (Jarvis, 2004).

Tabel I.3. Sifat Fisika dan Kimia Selulosa

Sifat Fisika dan Kimia	Parameter
Densitas	1,5 g/cm ³
Temperatur terdekomposisi	500-518°C
Kelarutan	tidak larut dalam air, etanol, eter, sedikit larut dalam larutan NaOH
pH (tersuspensi 10% dalam air)	5,0-7,5

(National Center for Biotechnology Information, 2015)



Gambar I.1. Struktur Molekul Selulosa

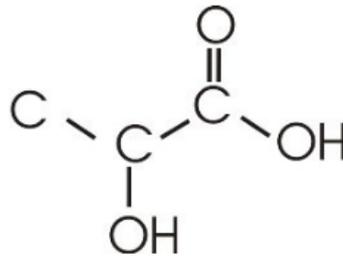
Selulosa digolongkan menjadi 3 jenis yaitu α -selulosa, β -selulosa, dan γ -selulosa. Jenis ini dibedakan berdasarkan kelarutannya dalam larutan alkali dan kekuatan serta ketahanannya. Selulosa dapat dihidrolisis dengan katalis berupa H₂SO₄ untuk menghasilkan monomer berupa glukosa yang nantinya digunakan dalam proses fermentasi (Wishart, et al., 2017).

Tabel I.4. Sifat Fisika dan Kimia Glukosa

Sifat Fisika dan Kimia	Parameter
Bentuk fisik	Padatan
Warna	Putih
Berat molekul	180,16 g/mol
Densitas (pada 25°C)	1,56 g/cm ³
Kelarutan dalam air (pada 20°C)	261 g/L
Titik didih	-
Titik beku / leleh	153-156°C

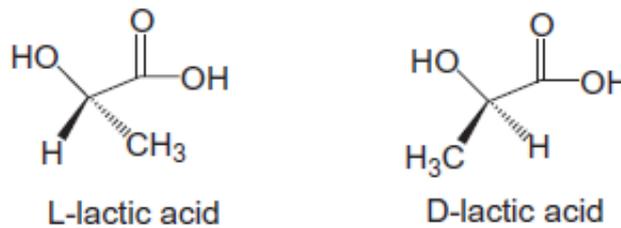
I.2.1.2. Asam Laktat

Asam laktat merupakan zat yang dibuat melalui proses fermentasi anaerob dari glukosa dengan bantuan mikroorganisme. Asam laktat memiliki rumus molekul $C_3H_6O_3$ dan bersifat higroskopis. Jenis asam karboksilat ini memiliki satu karbon asimetris dan dua isomer enantiomorfik (Lewis, 2007).



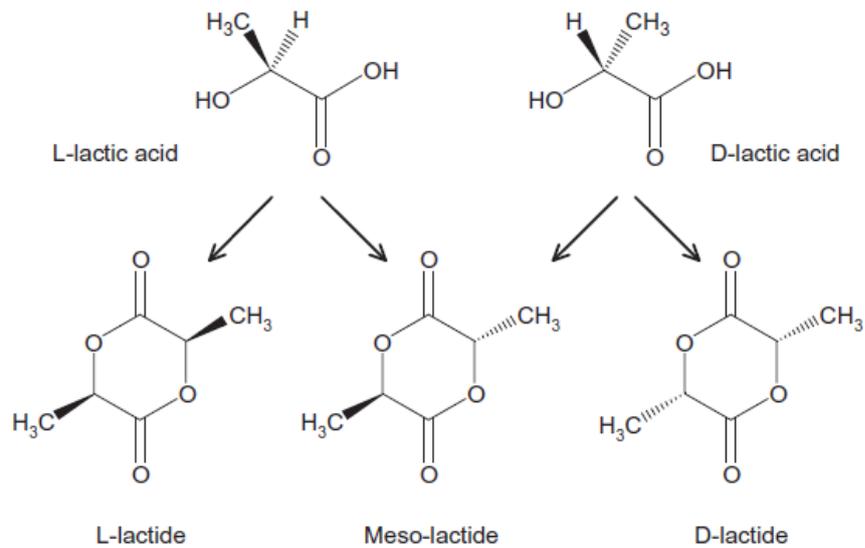
Gambar I.2. Struktur Molekul Asam Laktat

Asam laktat di alam berada dalam 2 bentuk optikal monomer, yaitu *D(-)lactic acid* dan *L(+lactic acid* yang strukturnya ditunjukkan pada Gambar 1.2.



Gambar I.3. Optikal Monomer Asam Laktat

Dari kedua optikal monomer dari asam laktat tersebut, dapat menghasilkan tiga bentuk *stereofom* dari laktida yaitu L-laktida, D-Laktida, dan DL-laktida.



Gambar I.4. *Stereoform* dari Laktida

Asam laktat tidak dapat didistilasi pada tekanan atmosfer tanpa terdekomposisi dan ketika terkonsentrasi di atas 50% sebagian dikonversi menjadi anhidrida laktat.

Tabel I.5. Sifat Fisika dan Kimia Asam Laktat

Sifat Fisika dan Kimia	Parameter
Bentuk fisik	Cair
Warna	Bening atau kuning terang
Berat molekul	90,08 g/mol
Titik didih (pada 760 mmHg)	204,2°C
Titik lebur	17°C
Titik nyala	110°C
Densitas (pada 21°C)	1,2060 g/cm ³
Tekanan uap (pada 25°C)	0,0813 mmHg
Kelarutan dalam air	10 ⁶ mg/L
Konstanta disosiasi (pada 20°C)	3,86

(European Chemicals Agency, 2006)

I.2.1.3. *Polylactic Acid* (PLA)

Polylactic acid adalah polimer yang dapat didegradasi dan mudah terhidrolisis. Senyawa polyester yang berstruktur semi-kristalin ini diproduksi melalui kondensasi langsung dari monomernya (asam laktat) yang sudah dalam bentuk oligomer, diikuti dengan *open-ring polymerization* dari laktida. PLA

terdekomposisi pada suhu 230-260°C dan konduktivitas termal sebesar 0,111 W/m.°C (Sin, Rahmat, & Rahman, 2012).

Tabel I.6. Sifat Fisika dan Kimia *Polylactic Acid* (PLA)

Sifat Fisika dan Kimia	Parameter
Berat molekul	16.500-468.000 g/mol
Titik leleh	154°C
Titik transisi gelas	64°C
Energi aktivasi	180,6 kJ/mol
Kapasitas panas (pada 25°C)	94,69 J/mol.K
Konduktivitas termal (pada 48,4°C)	0,111 W/m.°C

(Sin, Rahmat, & Rahman, 2012)

PLA dapat larut di dalam kloroform, metilen klorida, asetonitril, dan asam dikloroasetat, serta larut pada toluena, aseton, etil benzena, dan *tetrahydrofuran* (THF) jika dipanaskan pada suhu didihnya (Nampoothiri & Nair, 2010).

I.2.2. Bahan Baku Pendukung

I.2.2.1. Asam Sulfat (H₂SO₄; 98%)

Tabel I.7. Sifat Fisika dan Kimia Asam Sulfat

Sifat Fisika dan Kimia	Parameter
Bentuk fisik	Cair
Warna	Bening atau sedikit kekuningan
Aroma	Tidak berbau
Berat molekul	98,07 g/mol
pH (1 N larutan)	0,3
Tekanan uap (pada 20°C)	< 0,001 mmHg
Densitas (pada 20°C)	1,8361 g/cm ³
Viskositas (25°C)	21 mPa.s
Titik didih (pada 760 mmHg)	330°C
Titik beku / leleh	10°C
Temperatur terdekomposisi	340°C

(Fisher Scientific, 2008)

I.2.2.2. Amonium Hidroksida (NH₄OH; 99,5%)

Tabel I.8. Sifat Fisika dan Kimia Amonium Hidroksida

Sifat Fisika dan Kimia	Parameter
Bentuk fisik	Cair
Warna	Bening
Aroma	Berbau kuat
Berat molekul	35,05 g/mol
pH (pada larutan 0,01 M)	10,6
Konstanta disosiasi (pada 20°C)	4,767
Densitas (pada 25°C)	0,9 g/cm ³
Titik didih (pada 760 mmHg)	-33,41°C

(Ganesh & Srinivas, 2011)

I.2.2.3. Natrium Hidroksida (NaOH; 98-100%)

Tabel I.9. Sifat Fisika dan Kimia Natrium Hidroksida

Sifat Fisika dan Kimia	Parameter
Bentuk fisik	Padatan
Warna	Putih
Aroma	Tidak berbau
Berat molekul	40 g/mol
pH (15%)	14
Tekanan uap (pada 20°C)	< 0,1 hPa
Densitas (pada 20°C)	2,13 g/cm ³
Kelarutan dalam air (pada 25°C)	1.000 g/L
Titik didih (101,32 kPa)	1388°C
Titik leleh	323°C

(LabChem, 2013)

I.2.2.4. Etanol (C₂H₅OH; 96%)

Tabel I.10. Sifat Fisika dan Kimia Etanol

Sifat Fisika dan Kimia	Parameter
Bentuk fisik	Cair
Warna	Tidak berwarna, bening
Aroma	Tajam, menyengat
Berat molekul	46,07 g/mol
Tekanan uap (pada 20°C)	44,6 mmHg
Densitas (pada 25°C)	0,789 g/cm ³
Titik didih (pada 760 mmHg)	78°C
Titik leleh	-114°C

(Merck, 2017)

I.2.2.5. Kultur Media

Kultur media adalah suatu bahan yang tersusun atas campuran senyawa ataupun nutrisi tertentu yang komposisinya disesuaikan dengan aplikasinya dalam menjaga kinerja mikroorganisme. Berikut adalah beberapa jenis media berdasarkan fungsinya beserta komposisi (dalam % m/m), dan sifat fisika serta kimia dari komposisi tersebut.

- Pertumbuhan: 40% ekstrak ragi; 40% pepton; dan 20% amonium hidroksida (NH₄OH).
- Fermentasi: 6,25% ekstrak ragi; 6,25% pepton; dan 87,5% glukosa dari tongkol jagung (Ding & Tan, 2006).

Tabel I.11. Sifat Fisika dan Kimia Ekstrak Ragi

Sifat Fisika dan Kimia	Parameter
Bentuk fisik	Padatan
Warna	Cokelat kekuningan
Aroma	-
pH	6,5-7,5
Densitas (pada 25°C)	0,49 g/cm ³
Kelarutan dalam air (pada 20°C)	410 g/L

(Merck, 2018)

Tabel I.12. Sifat Fisika dan Kimia Pepton

Sifat Fisika dan Kimia	Parameter
Bentuk fisik	Padatan
Warna	Krem
Aroma	-
pH	6-7
Densitas (pada 25°C)	0,42 g/cm ³
Kelarutan dalam air (pada 20°C)	550 g/L

(Merck, 2013)

I.3. Kegunaan dan Keunggulan Produk

I.3.1. Kegunaan Produk

Senyawa *polylactic acid* (PLA) banyak digunakan di berbagai sektor industri, baik dalam skala kecil maupun besar. Secara umum, PLA digunakan sebagai alternatif ataupun substitusi dari plastik konvensional seperti *polyester*, *polystyrene*, *polypropylene*, *polyethylene*, serta *polyethylene terephthalate*. Beberapa kegunaan PLA yang telah banyak diterapkan adalah:

- a) Industri Botol Plastik
 - Sebagai bahan pengganti *polyethylene terephthalate* (PET) dalam pembuatan botol plastik.
 - Contoh perusahaan yang telah menerapkannya, antara lain Shiseido-Urara, Polenghi LAS, dan Sant'Anna.
- b) Industri Peralatan Makan
 - Sebagai bahan pengganti *polystyrene* (PS) dan *polypropylene* (PP) dalam pembuatan peralatan makanan, khususnya peralatan makanan sekali pakai.
 - Contoh perusahaan yang telah menerapkannya, antara lain Fabri-Kal, Coca-Cola, Avianca, dan Stalk Market.
- c) Industri Kemasan Makanan
 - Sebagai bahan pengganti *polystyrene* (PS), *polyethylene* (PE), serta *polyethylene terephthalate* (PET) dalam pembuatan kemasan makanan dan juga tas belanja.
 - Contoh perusahaan yang telah menerapkannya, antara lain Lindar, InnoWare Plastic, dan Carrefour (Sin, Rahmat, & Rahman, 2012).

I.3.2. Keunggulan Produk

Penggunaan *polylactic acid* (PLA) sebagai bahan pengganti plastik konvensional bagi lingkungan sangat baik, karena dapat terurai secara alami. Selain itu, penggunaan PLA sebagai bahan pengganti plastik konvensional (terbuat dari bahan dasar minyak bumi) juga dapat menekan angka penggunaan minyak bumi yang setiap harinya semakin sedikit jumlahnya. Bahan baku PLA yang tergolong cukup mudah diperoleh dan berasal dari limbah seperti biomassa tongkol jagung, merupakan suatu keunggulan tersendiri dibandingkan dengan polimer *biodegradable* lainnya.

I.4. Ketersediaan Bahan Baku dan Analisis Pasar

I.4.1. Ketersediaan Bahan Baku

I.4.1.1. Bahan Baku Utama

Indonesia merupakan negara yang kaya akan tanaman pangan, salah satunya adalah tanaman jagung. Oleh sebab itu, bahan baku berupa tongkol jagung dapat

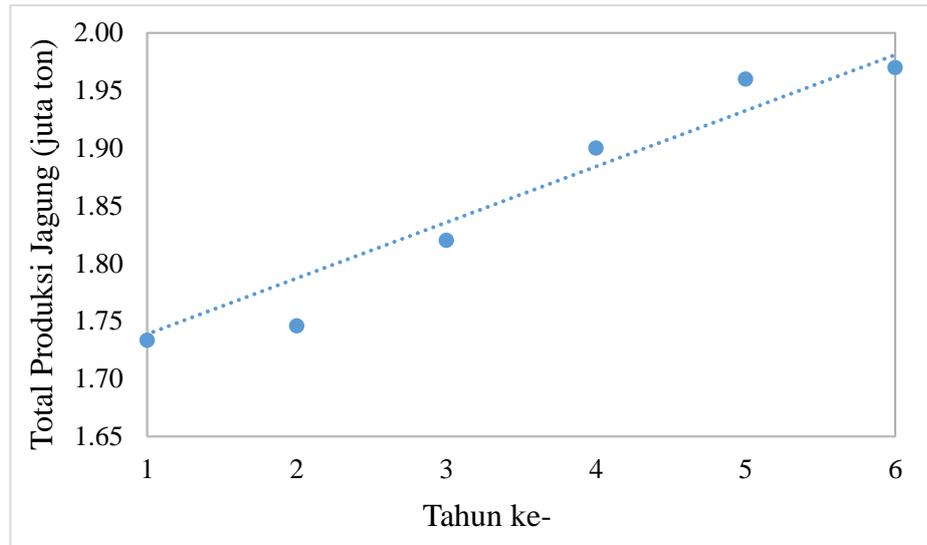
dikatakan cukup mudah diperoleh. Pada tahun 2010, tercatat bahwa produksi jagung di Indonesia adalah 17,64 juta ton dan angka ini terus meningkat pada setiap tahun berikutnya. Dari 34 provinsi yang menyumbang angka produksi jagung di Indonesia, provinsi Jawa Timur memberikan kontribusi terbesar, yaitu sekitar 31,67% (Badan Pusat Statistik, 2010).

Sebagai provinsi dengan angka produksi jagung terbesar, Jawa Timur terdiri dari sekitar 79 kabupaten atau kota. Mojokerto merupakan salah satu kabupaten di provinsi Jawa Timur yang dekat dengan beberapa kabupaten atau kota penghasil jagung, dan dekat dengan sumber mata air serta beberapa industri khususnya industri kimia. Data produksi jagung dari tahun 2011-2016 di beberapa kabupaten atau kota yang dekat dengan Kabupaten Mojokerto dapat dilihat pada Tabel I.13. Data tersebut kemudian digunakan untuk mencari persamaan yang dapat menggambarkan pertumbuhan produksi jagung setiap tahunnya yang dinyatakan pada Gambar I.5.

Tabel I.13. Produksi Jagung di Beberapa Kabupaten/Kota
Sekitar Kabupaten Mojokerto pada Tahun 2011-2016

Kabupaten/Kota	Produksi Jagung (juta ton)					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Kediri	0,3001	0,2624	0,3180	0,3625	0,3160	0,3098
Malang	0,3065	0,2973	0,2856	0,2872	0,2728	0,3441
Jombang	0,1974	0,1855	0,2334	0,2112	0,2428	0,2413
Nganjuk	0,2360	0,2392	0,2132	0,2415	0,2677	0,1649
Tuban	0,4318	0,4808	0,4548	0,5070	0,5159	0,5265
Lamongan	0,2617	0,2807	0,3166	0,2909	0,3489	0,3790
Total	1,7333	1,7459	1,8217	1,9003	1,9640	1,9657

(Badan Pusat Statistik, 2010)



Gambar I.5. Kurva Pertumbuhan Produksi Jagung pada Tahun 2011-2016

Berdasarkan Gambar I.5, diperoleh persamaan linear hubungan antara total produksi jagung (Y) dengan tahun (X) sebagai berikut.

$$Y = 0,0544 X + 1,6643$$

$$R^2 = 0,957$$

Dengan menggunakan persamaan di atas, maka diperkirakan produksi jagung pada tahun 2024 (tahun ke-14) adalah sebagai berikut.

$$Y = (0,0544 \times 14) + 1,6643$$

$$Y = 2,4259 \text{ juta ton}$$

Untuk memperkirakan jumlah tongkol jagung yang tersedia pada tahun 2024 diperlukan data-data tambahan sebagai berikut:

- Kandungan air dalam jagung sebesar 15,5% (Meisner, 2014).
- Jagung kering tersusun dari 13,63% tongkol jagung kering (Latshaw & Miller, 1924).
- Kandungan air dalam tongkol jagung sebesar 6,38% (Zhang, Ghaly, & Li, 2012).

Berdasarkan data-data tersebut, maka:

$$\begin{aligned} \text{Massa jagung kering} &= \text{Produksi jagung} \times (100 - \text{Kandungan air})\% \\ &= 2.425.900 \times (100 - 15,5)\% \\ &= 2.049.886 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa tongkol jagung kering} &= \text{Massa jagung kering} \times 13,63\% \\ &= 2.049.886 \times 13,63\% \\ &= 279.399,4 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa tongkol jagung} &= \frac{\text{Massa tongkol jagung kering}}{(100 - \text{Kandungan air})\%} \\ &= \frac{279.399,4}{(100 - 6,38)\%} \\ &= 298.440 \text{ ton}\end{aligned}$$

Jadi jumlah tongkol jagung yang tersedia pada tahun 2024 adalah 298.440 ton.

I.4.1.2. Bahan Baku Pendukung

Bahan baku pendukung yang digunakan dalam Pabrik *Polylactic Acid* (PLA) dari Tongkol Jagung, antara lain asam sulfat (H_2SO_4), amonium hidroksida (NH_4OH), natrium hidroksida (NaOH), etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), ekstrak ragi, pepton, bakteri *Lactobacillus casei*, dan katalis *zinc oxide*.

- Asam sulfat (H_2SO_4 ; 98%) diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik yang berlokasi di Kabupaten Gresik dengan kapasitas produksi sebesar 1.170.000 ton per tahun.
- Amonium hidroksida (NH_4OH ; 99,5%) diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik yang berlokasi di Kabupaten Gresik dengan kapasitas produksi sebesar 1.105.000 ton per tahun (PT. Petrokimia Gresik, 2018).
- Natrium hidroksida (NaOH ; 98-100%) diperoleh dari PT. Tjiwi Kimia yang berlokasi di Kabupaten Sidoarjo dengan kapasitas produksi sebesar 65.000 ton per tahun (PT. TUV Rheinland Indonesia, 2011), dan dari PT. Sulfindo Adiusaha yang berlokasi di Kabupaten Banten dengan kapasitas produksi sebesar 320.000 ton per tahun (PT. Sulfindo Adiusaha, 2005).
- Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$; 96%) diperoleh dari PT. Kharisma Pemasaran Bersama Nusantara yang berlokasi di Kota Surabaya dengan kapasitas produksi sebesar 6.000 ton per tahun (PT. Kharisma Pemasaran Bersama Nusantara, 2016), dan dari PT. Indo Acidatama Tbk yang berlokasi di Kabupaten Karanganyar dengan kapasitas produksi 36.000 ton per tahun (PT. Indo Acidatama, 2015).
- Ekstrak ragi diperoleh dari *Xi'an Rongsheng Biotechnology Limited Company* yang berlokasi di Kota Xi'an, China (Aliza, 2011).

- Pepton diperoleh dari *Xiamen Huaxuan Gelatin Limited Company* yang berlokasi di Kota Xiamen, China (Huang, 2005).
- Bakteri *Lactobacillus casei* diperoleh dari *Shandong Zhongke-Jiayi Bioengineering Limited Company* yang berlokasi di Kota Qingzhou, China (Wang, 2016).
- Katalis *zinc oxide* diperoleh dari *Hebei Addtie Biological Technology Limited Company* yang berlokasi di Kota Shijiazhuang, China (Li, 2017).

I.4.2. Analisis Pasar

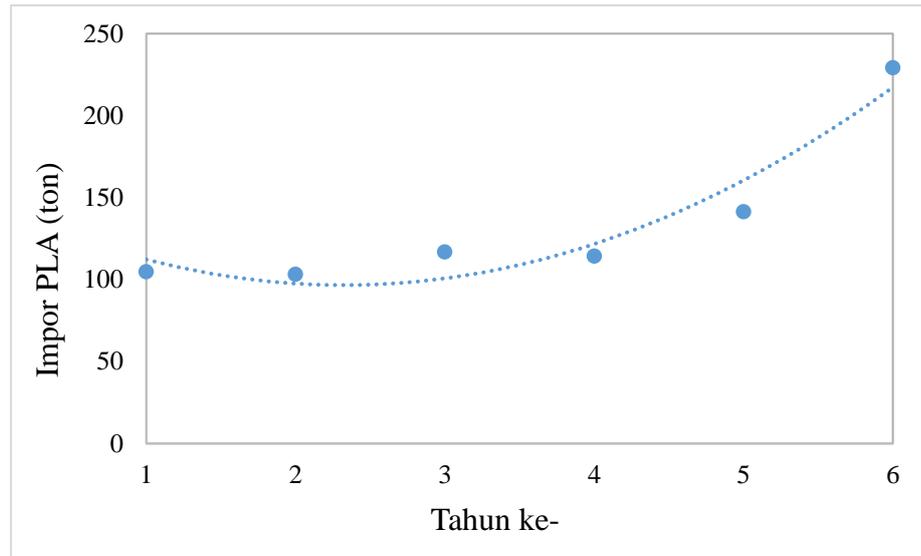
I.4.2.1. Pasar Dalam Negeri

Kebutuhan akan *polylactic acid* (PLA) dalam negeri dapat dikatakan masih sangat rendah. Meskipun pembatasan penggunaan plastik konvensional dan himbuan penggunaan plastik yang mudah terurai oleh proses alam telah diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 81 Tahun 2012 Pasal 11, namun pada kenyataannya sampai saat ini peraturan tersebut belum diimplementasikan dengan baik. Kebutuhan PLA yang masih rendah ditunjukkan dari data impor PLA Indonesia dan disajikan pada Tabel I.14. Kemudian, data tersebut digunakan untuk mencari persamaan yang dapat menggambarkan hubungan jumlah impor PLA dengan tahun untuk memperkirakan impor PLA di Indonesia pada tahun 2024 saat pabrik didirikan.

Tabel I.14. Data Impor PLA di Indonesia pada Tahun 2011-2016

Tahun	Impor PLA (ton)
2011	104,78
2012	103,22
2013	117,02
2014	114,45
2015	141,44
2016	229,26

(Badan Pusat Statistik, 2015)



Gambar I.6. Kurva Impor PLA di Indonesia pada Tahun 2011-2016

Berdasarkan Gambar I.6, diperoleh persamaan polinomial orde dua hubungan antara jumlah impor PLA (Y) dengan tahun (X) sebagai berikut.

$$Y = 8,9225 X^2 - 41,472 X + 144,86$$

$$R^2 = 0,921$$

Dengan menggunakan persamaan di atas, maka diperkirakan impor PLA di Indonesia pada tahun 2024 (tahun ke-14) adalah sebagai berikut.

$$Y = 8,9225 (14)^2 - 41,472 (14) + 144,86$$

$$Y = 1.313,06 \text{ ton}$$

Penentuan kebutuhan pasar nasional dilakukan dengan melihat kegiatan impor yang terjadi karena di Indonesia sendiri masih belum ditemukan adanya pabrik penghasil PLA. Diharapkan dengan didirikannya Pabrik *Polylactic Acid* (PLA) dari Tongkol Jagung, maka kebutuhan PLA dalam negeri pada tahun 2024 akan terpenuhi tanpa perlu melakukan kegiatan impor sebesar 1.313,06 ton.

I.4.2.2. Pasar Luar Negeri

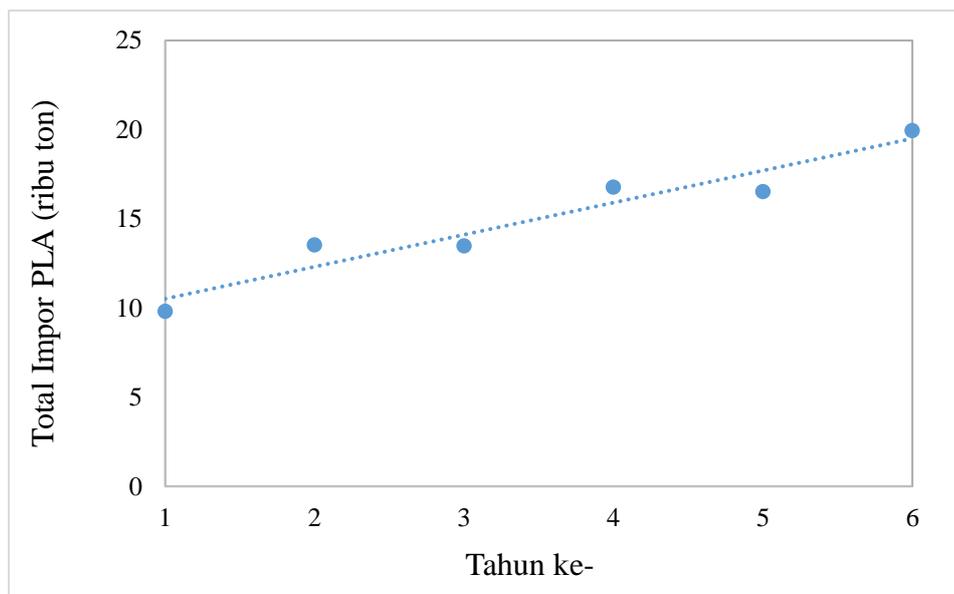
Di pasar internasional, kebutuhan akan *polylactic acid* (PLA) dapat dikatakan cukup tinggi terutama di negara-negara maju. Beberapa negara yang memiliki kebutuhan PLA yang tinggi dan dekat dengan negara Indonesia, antara lain China, Taiwan, Jepang, dan Korea Selatan. Data impor yang dilakukan oleh negara-negara tersebut disajikan pada Tabel I.15. Data tersebut kemudian digunakan untuk mencari persamaan yang dapat menggambarkan hubungan total

impor PLA dengan tahun untuk memperkirakan total impor PLA di kawasan China, Taiwan, Jepang, dan Korea Selatan pada tahun 2024 saat pabrik didirikan.

Tabel I.15. Data Impor PLA di China, Taiwan, Jepang, dan Korea Selatan pada Tahun 2011-2016

Tahun	Impor PLA (ton)				
	China	Taiwan	Jepang	Korea Selatan	Total
2011	3.603,05	1.378,61	2.277,51	2.551,03	9.810,20
2012	2.804,82	5.436,64	3.101,45	2.188,67	13.531,58
2013	4.241,84	3.818,64	2.491,43	2.929,15	13.481,05
2014	2.153,77	8.840,00	3.724,58	2.059,67	16.778,02
2015	2.606,52	8.130,20	3.903,11	1.885,35	16.525,18
2016	5.310,61	6.882,85	3.825,46	3.914,70	19.933,61

(Flexport, 2017)



Gambar I.7. Kurva Total Impor PLA di China, Taiwan, Jepang, dan Korea Selatan pada Tahun 2011-2016

Berdasarkan Gambar I.7, diperoleh persamaan linear hubungan antara jumlah total impor PLA (Y) dengan tahun (X) sebagai berikut.

$$Y = 1,797 X + 8,7205$$

$$R^2 = 0,923$$

Dengan menggunakan persamaan di atas, maka diperkirakan total impor PLA di kawasan China, Taiwan, Jepang, dan Korea Selatan pada tahun 2024 adalah sebagai berikut.

$$Y = (1,797 \times 14) + 8,7205$$

$$Y = 33.878,5 \text{ ton}$$

Meskipun kawasan China, Taiwan, Jepang, dan Korea Selatan telah memiliki pabrik penghasil PLA, namun mereka tetap melakukan kegiatan impor yang menandakan bahwa negara-negara tersebut masih membutuhkan PLA dalam jumlah yang lebih besar. Berdasarkan hasil perhitungan di atas, diperkirakan kawasan China, Taiwan, Jepang, dan Korea Selatan pada tahun 2024 akan melakukan impor PLA sebanyak 33.878,5 ton.

I.5. Kapasitas Produksi dan Kelayakan Teknis

I.5.1. Kapasitas Produksi

Penentuan kapasitas produksi Pabrik *Polylactic Acid* (PLA) dari Tongkol Jagung yang akan didirikan pada tahun 2024 dilakukan dengan melihat ketersediaan bahan baku dan analisis pasar dalam negeri maupun luar negeri pada tahun tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan pada subbab ketersediaan bahan baku dan analisis pasar, jumlah tongkol jagung yang tersedia pada tahun 2024 diperkirakan sebesar 298.440 ton. Ditetapkan bahwa hanya 10% dari tongkol jagung tersebut yang diproses menjadi PLA sehingga diperoleh jumlah bahan baku tongkol jagung sebesar 29.844 ton. Perhitungan untuk mendapatkan jumlah PLA yang dihasilkan berdasarkan ketersediaan bahan baku dilakukan dengan mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

- Dilakukan delignifikasi dengan menggunakan natrium hidroksida dan selulosa dalam tongkol jagung dilakukan hidrolisis menjadi glukosa dengan %*yield* sebesar 85% (Chang, Duret, Berberi, Niaki, & Lavoie, 2018).
- Glukosa yang diperoleh dilakukan fermentasi dengan %*yield* sebesar 88,6% dan hasil berupa amonium laktat (Ding & Tan, 2006).
- Amonium laktat kemudian dilakukan esterifikasi menggunakan etanol menghasilkan etil laktat lalu dilakukan pemisahan dengan distilasi menghasilkan %*yield* sebesar 97% (European Patent No. 1,357,119,A1, 2001).

- Etil laktat kemudian dilakukan polikondensasi yang menghasilkan oligomer asam laktat dengan %*yield* sebesar 51% (European Patent No. 1,357,119,A1, 2001).
- Pada reaktor laktida kemudian dilakukan reaksi untuk merubah oligomer asam laktat menjadi laktida dengan %*yield* sebesar 95% (Hu, Daoud, Cheuk, & Lin, 2016).
- Reaksi polimerisasi pada reaktor polimer untuk menghasilkan PLA dengan %*yield* sebesar 91% (Hu, Daoud, Cheuk, & Lin, 2016).
- Pengurangan jumlah produk PLA yang terbentuk karena adanya proses pemisahan bahan-bahan sebesar 58,38% wt dari jumlah produk PLA yang dihasilkan.

Berdasarkan data-data tersebut, maka %*yield overall* dari bahan baku tongkol jagung hingga menjadi produk PLA adalah:

$$\begin{aligned}\% \text{Yield overall} &= 85\% \times 88,6\% \times 97\% \times 51\% \times 95\% \times 91\% \times (100 - 58,38)\% \\ &= 13,4\%\end{aligned}$$

Jumlah PLA yang dapat dihasilkan pada tahun 2024 saat pabrik didirikan sebagai berikut:

$$\% \text{Yield overall} = \frac{\text{PLA yang terbentuk}}{\text{Tongkol jagung}}$$

$$\begin{aligned}\text{PLA yang terbentuk} &= \text{Tongkol jagung} \times 13,4\% \\ &= 29.844 \times 13,4\% \\ &= 4.000 \text{ ton}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, ditetapkan bahwa kapasitas produksi dari Pabrik *Polylactic Acid* (PLA) dari Tongkol Jagung adalah 4.000 ton per tahun dengan kebutuhan bahan baku tongkol jagung sebesar 29.844 ton per tahun. Pabrik PLA dengan kapasitas produksi sebesar 4.000 ton per tahun tentunya bertujuan untuk memenuhi kebutuhan pasar dalam negeri yang pada tahun 2024 diperkirakan sebesar 1.313,06 ton. Kemudian sisa PLA akan diekspor ke beberapa negara lain yang membutuhkan seperti China, Taiwan, Jepang, dan Korea Selatan yang pada tahun 2024 diperkirakan kebutuhan total dari negara-negara tersebut adalah 33.878,5 ton.

I.5.2. Kelayakan Teknis

Penentuan kelayakan berdirinya suatu pabrik dapat ditentukan dengan mempertimbangkan berbagai macam faktor, salah satunya dengan membandingkan kapasitas produksi dari pabrik yang akan didirikan dengan pabrik sejenis yang telah berdiri terlebih dahulu. Berikut adalah beberapa daftar industri PLA yang telah berdiri di dunia.

Tabel I.16. Daftar Industri *Polylactic Acid* (PLA) di Dunia

Nama Industri	Kapasitas Produksi (ton/tahun)	Lokasi
NatureWorks	140.000	Nebraska, Amerika Serikat
Purac – Sulzer Chemtech, Synbra Technology	5.000	Belanda
Galactic – Total Petrochemicals: Futerro	1.500	Belgia
Zhejiang Hisun Biomaterial	5.000	Zhejiang, China
Shanghai Tongjieliang Biomaterial	300	Shanghai, China
Unitika – Terramac	5.000	Jepang
Piaoan Group	10.000	Henan, China
Toray Industries	5.000	Kyungsangbuk-do, Korea Selatan
Pyramid Bioplastics Guben GmbH	60.000	Guben, Jerman
Teijin Limited	1.200	Matsuyama, Ehime Prefektur, Jepang

(Sin, Rahmat, & Rahman, 2012)

Berdasarkan Tabel I.16, dapat diketahui bahwa pabrik PLA yang telah berdiri memiliki rentang kapasitas produksi antara 300-140.000 ton per tahun. Dengan mengasumsikan bahwa industri PLA yang telah berdiri di dunia memiliki kapasitas produksi yang tetap setiap tahunnya, maka pendirian Pabrik *Polylactic Acid* (PLA) dari Tongkol Jagung di tahun 2024 dapat dikatakan layak karena memiliki kapasitas produksi sebesar 4.000 ton per tahun yang masih masuk ke dalam rentang kapasitas produksi dari pabrik PLA yang telah berdiri (300-140.000 ton per tahun).