

Desain Pabrik Kimia *Poly Lactid Acid* (PLA) dari Bonggol Jagung

Hogi Sugiharto¹, Bagus Ali Yafi¹, Siti Nurkhamidah^{1*}, dan Susianto¹

Abstrak— Seiring meningkatnya pembangunan dan pertumbuhan ekonomi kebutuhan terhadap plastik akan semakin meningkat, di lain sisi tingkat pencemaran akibat limbah plastik juga meningkat. Plastik merupakan salah satu masalah besar di muka bumi dimana memerlukan waktu sangat lama untuk terurai. *Poly Lactid Acid* (PLA) merupakan termoplastik *biodegradable* yang terbuat dari sumber daya terbarukan. PLA bisa menjadi alternatif pengganti plastik berbasis minyak bumi untuk mengurangi tingkat pencemaran. Untuk memenuhi kebutuhan PLA di Indonesia karena masih bergantung terhadap impor PLA serta terus meningkatnya kebutuhan PLA dunia, maka dirancang pabrik PLA berkapasitas 10.000 ton/tahun dengan memanfaatkan limbah bonggol jagung sebagai bahan baku. Pabrik direncanakan berdiri di kota Tuban, Jawa Timur. Proses produksi PLA terdiri dari 4 tahap, yakni *pre-treatment* bahan baku, produksi asam laktat, pemurnian asam laktat, dan polimerisasi. Tahap *pre-treatment* dilakukan dengan proses delignifikasi menggunakan NaOH 3% dan hidrolisis menggunakan H₂SO₄ 0,8%. Tahap produksi asam laktat dilakukan dengan proses fermentasi menggunakan bakteri *Lactobacillus Brevis* selama 48 jam. Tahap pemurnian dilakukan dengan proses esterifikasi menggunakan metanol pada kolom distilasi reaktif. Tahap polimerisasi dilakukan dengan metode *ring-opening-polymerization*. Pendirian pabrik membutuhkan modal tetap (FCI) sebesar Rp. 1.542.220.475.459,00 dan modal kerja (WCI) Rp. 272.156.554.493,00. Berdasarkan analisa ekonomi didapat nilai IRR sebesar 9,81%, WACC sebesar 9,52%, POT selama 10 tahun 6 bulan, NPV sebesar Rp. 45.545.5676,00 dan BEP sebesar 61,1% dari kapasitas produksi.

Kata Kunci—Asam Laktat, Bonggol Jagung, PLA.

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan industri dan pertumbuhan penduduk suatu wilayah maka produksi limbah industri dan sampah akan semakin meningkat, plastik merupakan salah satu permasalahan besar di muka bumi karena plastik termasuk sampah yang membutuhkan waktu sangat lama untuk bisa terurai, hal ini membuat plastik *biodegradable* dipilih untuk menjadi salah satu alternatif pengganti plastik *petroleum-based*. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi menghasilkan banyak *Poly Lactid Acid* atau biasa disingkat PLA merupakan salah satu termoplastik *biodegradable* yang dapat dibuat dari sumber daya terbarukan, seperti jagung, beras serta bahan lain yang memiliki kandungan gula yang tinggi.

Kebutuhan terhadap plastik *biodegradable* global akan meningkat seiring berjalannya waktu, hal ini dapat dilihat pada tabel 1, sementara itu saat ini kebutuhan PLA di Indonesia bergantung pada impor, hal ini disebabkan karena belum adanya produsen PLA di dalam negeri. Tabel 2 menunjukkan data impor PLA Indonesia.

Jagung merupakan salah satu sumber daya alam yang cukup melimpah di Indonesia. Pada umumnya jagung digunakan sebagai makanan pokok maupun baku pembuatan tepung. Menurut data Badan Pusat Statistika (BPS) pada tahun 2018 produksi jagung nasional berada pada angka 30,055 juta ton, dimana provinsi dengan produksi tertinggi yakni Jawa Timur, disusul Jawa Tengah pada posisi kedua dan Lampung pada posisi ketiga dengan masing-masing jumlah produksi jagung sebesar 6,5; 3,7 dan 2,6 juta ton.

Banyaknya produksi jagung ini juga meninggalkan banyak limbah pertanian berupa bonggol jagung, bonggol jagung merupakan limbah yang belum maksimal dalam pemanfaatan, padahal bonggol jagung memiliki

kandungan selulosa dan hemiselulosa yang cukup tinggi sehingga berpotensi dapat digunakan dalam memproduksi asam laktat. Tabel 3 menunjukkan komposisi senyawa yang terkandung dalam bonggol jagung [5].

Tabel 1. Data Produksi dan Konsumsi PLA di Dunia

Tahun	Produksi (kiloton)	Konsumsi (kiloton)
2015	810	790,4
2016	849	831,2
2017	885	878,4
2018	912	945,6

Tabel 2. Data Impor PLA Indonesia

Tahun	Impor (kg/tahun)
2012	114.449
2013	117.018
2014	141.437
2015	104.784
2016	131.239

Tabel 3. Komposisi Senyawa pada Bonggol Jagung

Nama Senyawa	Kandungan (%kering)
Lemak	0,30 ± 0,02
Pati	0,67 ± 0,12
Protein	4,26 ± 0,96
Abu	2,88 ± 0,11
Selulosa	38,8 ± 2,5
Hemiselulosa	44,4 ± 5,2
Lignin	11,9 ± 2,3

Tabel 4. Spesifikasi Produk PLA pada Pabrik Total Corbion

Nama	<i>Poly Lactid Acid</i> -LX175
Rumus Kimia	(C ₆ H ₈ O ₄) _n
Jenis Produk	PLA
Penampilan	Granule
Ukuran	3 mm
Warna	Putih
Titik Leleh	175°C
Massa Jenis	1,24 g/cm ³
Kemurnian	99%
Berat Molekul	37900 g/mol
<i>Glass Transition Temperature</i>	60°C
Modulus Tarik	3500 MPa

¹ Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya, 60111, Indonesia.
*E-mail: dst_eureka@yahoo.co.uk

Kekuatan Tarik

50 MPa

II. DATA DASAR PERANCANGAN

A. Kapasitas Produksi

Konsumsi dan produksi plastik *biodegradable* khususnya PLA meningkat secara signifikan sepanjang tahun. Pada tahun 2024 diproyeksikan produksi PLA global mencapai 1.375,4 kilo ton, sedangkan untuk konsumsi sebesar 1.433,69 kilo ton dan untuk kebutuhan impor PLA Indonesia sebesar 203.135,30 kg. Dalam upaya untuk menghilangkan 100% ketergantungan impor PLA di Indonesia serta ikut memenuhi kekurangan kebutuhan PLA global sebesar 16% maka ditetapkan kapasitas produksi pabrik PLA dari bonggol jagung sebesar 10.000 ton/tahun.

B. Lokasi dan Ketersediaan Utilitas

Lokasi geografis suatu pabrik berpengaruh besar terhadap kelangsungan dan keberhasilan operasi pabrik. Ketepatan pemilihan lokasi berdirinya pabrik merupakan hal yang penting dalam perencanaan. Beberapa aspek yang menjadi pertimbangan pemilihan lokasi pabrik diantaranya

- (1). Ketersediaan sumber bahan baku.
- (2). Kemudahan aksesibilitas, fasilitas transportasi seperti jalan raya, pelabuhan dan bandara yang mendukung,
- (3). Hukum dan peraturan daerah yang jelas.
- (4). Kondisi iklim dan topografi yang stabil
- (5). Tersedianya sumber energi listrik dan sumber air untuk keberlangsungan utilitas.

Berdasarkan beberapa pertimbangan faktor di atas maka dipilih Kabupaten Tuban sebagai lokasi pendirian pabrik PLA dari bonggol jagung. Menurut data dari BPS Provinsi Jawa Timur, Kabupaten Tuban menjadi produsen jagung terbesar di Jawa Timur dengan produksi jagung sebesar 614.810 ton/tahun, disamping itu Kabupaten Tuban juga berdampingan dengan Kabupaten Lamongan dan Bojonegoro dimana dua kabupaten tersebut memiliki produksi jagung yang besar. Kabupaten Tuban juga berada di Provinsi Jawa Timur dengan kemudahan aksesibilitas serta memiliki ketersediaan sumber energi listrik dan dilewati sungai Bengawan Solo sebagai sungai terbesar di pulau Jawa sebagai pendukung tersedianya utilitas.

Tabel 5. Produksi Jagung pada tahun 2019 di Beberapa Kabupaten di Jawa Timur Berdasarkan Data BPS Provinsi Jawa Timur

Kota	Produksi Jagung (Ton)
Tuban	614.810
Lamongan	383.2667
Bojonegoro	239.637
Tulungagung	338.243
Blitar	355.902
Jember	498.644
Kediri	373.705
Sumenep	379.850

C. Seleksi Proses

Proses produksi PLA dari bahan baku bonggol jagung melewati 4 tahapan proses, yaitu pre-treatment, produksi asam laktat, pemurnian asam laktat dan polimerisasi.

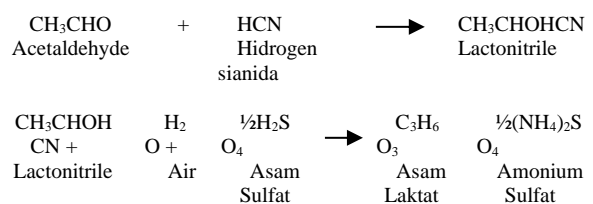
a. Pre-treatment

Pada proses pretreatment, tujuannya adalah pengolahan awal bonggol jagung sebelum dilakukan proses fermentasi menjadi asam laktat. Proses pretreatment ini secara umum melalui tahapan-tahapan yakni pengecilan ukuran bonggol jagung, kemudian dilanjutkan dengan penghilangan lignin (delignifikasi) dan pemecahan selulosa menjadi glukosa (hidrolisis). Proses delignifikasi dapat dilakukan dengan bantuan larutan asam, basa maupu steam bertekanan. Dari ketiga bahan tersebut proses delignifikasi menggunakan larutan basa (NaOH 3% m/m) memiliki hasil terbaik yang dapat menghilangkan lignin [3].

Proses hidrolisis secara umum biasa dilakukan dengan larutan asam sulfat encer. Proses hidrolisis menggunakan larutan H₂SO₄ 0,08%, suhu operasi 110 °C, dan waktu proses selama 3 jam dipilih karena menghasilkan produk gula sederhana yang terbanyak [8].

b. Produksi Asam Laktat

Produksi asam laktat dapat dilakukan dengan 2 proses, yakni proses sintesis kimia dan proses fermentasi substrat. Produksi asam laktat dengan sintesis kimia berawal dari *lactonitrile* yang dihasilkan dari reaksi antara *acetaldehyde* dengan Hidrogen Sianida. Reaksi ini terjadi pada fase cair dengan tekanan yang tinggi. kemudian dilanjutkan dengan proses hidrolisis oleh asam klorida atau asam sulfat sehingga dihasilkan garam ammonium dan asam laktat. Reaksinya sebagai berikut:



Hampir semua asam laktat yang berada di pasaran diproduksi menggunakan proses fermentasi. Pada proses fermentasi karbohidrat dirubah menjadi asam laktat oleh mikroorganisme. Proses produksi asam laktat dari bonggol jagung dengan proses fermentasi saat ini sudah diteliti oleh beberapa ilmuwan [1]-[3]. Setiap mikroorganisme tentunya memiliki kelebihan dan kekurangan masing masing. Namun *Lactobacilli* dan jamur *Rhizopus* merupakan mikroorganisme yang sudah banyak diteliti dalam fermentasi asam laktat. *Lactobacilli* secara umum memiliki nilai produktifitas yang tinggi, namun memiliki kebutuhan akan nutrisi yang cukup mahal, tabel 6 menunjukkan perbandingan dari beberapa penelitian terdahulu.

Dari dua jenis proses produksi asam laktat yang ada, proses yang paling efektif digunakan adalah proses fermentasi. Hal ini disebabkan karena, produksi asam laktat dengan proses fermentasi menggunakan bahan baku yang dapat diperbaharui, sehingga jumlahnya tidak terbatas. Bahan baku yang akan digunakan adalah bonggol jagung yang merupakan limbah hasil pertanian, sehingga harga dari bahan baku juga terjangkau dan tidak berbahaya bagi lingkungan. Sementara itu, produksi asam laktat dengan proses sintesis kimia menggunakan bahan baku *acetaldehyde* dan sianida yang jumlahnya terbatas dan berbahaya bagi lingkungan.

Berdasarkan perbandingan pada tabel 6, maka proses yang digunakan adalah fermentasi menggunakan bakteri *Lactobacillus Brevis* dengan waktu fermentasi 48 jam.

Tabel 6. Perbandingan produksi asam laktat dengan proses fermentasi

Parameter	[6]	[1]
Bakteri	Lactobacillus Brevis	Lactobacillus Pentosus
Total Sugar (g/l)	56,9	47,5
Waktu Fermentasi (jam)	49	60
Konsentrasi Asam Laktat Maksimum (g/l)	39,1	24,7
Konsentrasi Asam Asetat Maksimum (g/l)	24,4	15,3
Yield Asam Laktat/Sugar	0,7	0,53
Yield Asam Asetat/Sugar	0,44	0,27

c. Pemurnian Asam Laktat

Asam laktat hasil fermentasi memiliki kemurnian yang rendah, maka perlu adanya proses pemurnian asam laktat sebelum masuk ke proses polimerisasi. Beberapa proses yang dapat dilakukan untuk pemurnian asam laktat diantaranya:

1). Presipitasi garam kation dengan asam kuat.

Garam laktat yang dihasilkan dari proses fermentasi dan netralisasi dipanaskan kemudian dihidrolisis dengan menggunakan asam sulfat sehingga menghasilkan garam sulfat dan larutan asam laktat *crude*. Garam sulfat yang dihasilkan dari proses ini selanjutnya dipisahkan melalui proses filtrasi, sementara larutan asam laktat akan menjalani pemurnian lebih lanjut, dengan proses evaporasi [2].

2). Esterifikasi

Metode pemurnian esterifikasi oleh alkohol akan dilanjutkan dengan proses hidrolisis. Proses esterifikasi dan hidrolisis akan dilakukan di dalam kolom distilasi reaktif. Esterifikasi dijalankan dengan mereaksikan asam laktat (*crude*) dari hasil fermentasi dengan metanol sehingga terbentuk ester laktat. Selanjutnya ester laktat akan dihidrolisis dengan air sehingga terbentuk asam laktat pekat. Kemurnian asam laktat yang dapat dicapai melalui proses ini adalah 80-95% (w/w) [2].

3). Pemisahan melalui membran

Purifikasi asam laktat dengan membran melibatkan membran ultrafiltrasi dan elektrodialisis. Produk dari proses fermentasi dan netralisasi akan melewati membran ultrafiltrasi secara kontinu dengan garam laktat sebagai *permeate*. Selanjutnya, garam laktat akan melalui proses pemisahan di elektrodialisis monopolar. Elektrodialisis monopolar bertujuan untuk memisahkan komponen *non-ionic* seperti fosfat dan meningkatkan kepekatan garam laktat. Proses ini dijalankan pada suhu dan tekanan *ambient* (25°C; 1 atm). Setelah melewati proses pemisahan di elektrodialisis monopolar, kemudian garam laktat akan melewati proses pemisahan di elektrodialisis bipolar. Pada tahap ini terdapat tiga lajur pemisahan, yaitu;

- Lajur garam yaitu ketika garam laktat memasuki elektrodialisis.
- Lajur larutan alkali, ketika kation bergabung dengan ion hidroksida kemudian membentuk larutan alkali.
- Lajur asam, ketika ion laktat bergabung dengan proton dan membentuk asam laktat.

Asam laktat dari elektrodialisis bipolar ini selanjutnya akan dipekatkan kembali dengan evaporator. Kemurnian asam laktat yang dicapai dari proses purifikasi dengan membran dan elektrodialisis adalah 90-95%. Tabel 7 menunjukkan perbandingan proses pemurnian asam laktat yang umum digunakan.

Tabel 7. Tabel Perbandingan Proses Pemurnian Asam Laktat

Proses	Kelebihan	Kekurangan
Presipitasi garam kation dengan asam kuat	Proses yang digunakan sederhana, Kemurnian produk asam laktat(85-95%	Tingkat kemurnian menengah (80-85%)
Esterifikasi-hidrolisis	Lebih efisien	Membutuhkan biaya utilitas cukup tinggi.
Pemisahan melalui membran	Tingkat kemurnian tinggi (90-95%)	Membutuhkan biaya perawatan tinggi, proses perawatan rumit.

d. Polimerisasi

Asam laktat yang telah melewati proses pemurnian selanjutnya akan melalui proses polimerisasi. Tabel 8 menunjukkan perbandingan beberapa proses polimerisasi asam laktat. Dari keempat proses tersebut, dipilih proses ring-opening polymerization karena dapat menghasilkan berat molekul yang tinggi.

Tabel 8. Perbandingan Proses Polimerisasi Asam Laktat

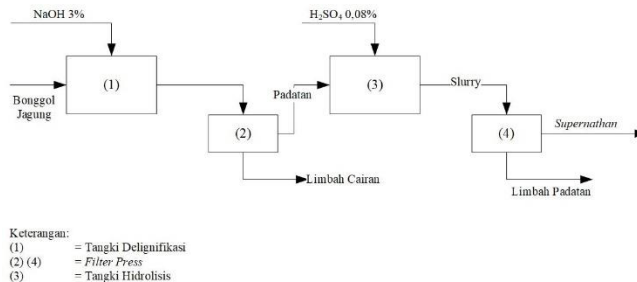
Jenis Proses	Deskripsi	Referensi
<i>Direct Polymerization</i>	• Proses paling sederhana.	[6]
<i>Chain Extension Polymerization</i>	• Menghasilkan berat molekul yang rendah (1000-5000 gr/mol)	
<i>Chain Extension Polymerization</i>	• Proses terdiri dari dua tahap.	[7]
<i>Enzymatic Polymerization</i>	• Menghasilkan beratmolekul tinggi (27.500 gr/mol). • Suhu operasi 170 °C.	
<i>Enzymatic Polymerization</i>	• Proses terdiri dari satu tahap.	[7]
<i>Enzymatic Polymerization</i>	• Menghasilkan berat molekul tinggi (37.800 gr/mol). • Suhu operasi 90 °C. • Ramah terhadap lingkungan. • Teknologi belum dikembangkan	
<i>Ring Opening Polymerization</i>	• Proses terdiri dari 3 tahap (<i>polycondensation, depolymerization, ring opening polymerization</i>). • Menghasilkan berat molekul tinggi dapat mencapai 60.000 gr/mol. • Suhu Operasi 180 °C.	[7]

III. URAIAN PROSES

A. Tahap Pre-Treatment

Bonggol jagung dikecilkan ukurannya menggunakan crusher hingga ukurannya ±3,2 mm [1]. Bonggol jagung yang sudah dihaluskan dimasukkan kedalam reactor berpengaduk & berjaket dengan menambahkan larutan NaOH 3%, campuran dipanaskan selama 4 jam pada suhu 60 °C tujuan dari proses delignifikasi adalah untuk menghilangkan lignin sehingga kandungan selulosa dan

hemiselulosa dapat dihidrolisa menjadi gula sederhana [3].



Keterangan:
 (1) = Tangki Delignifikasi
 (2) (4) = Filter Press
 (3) = Tangki Hidrolisis

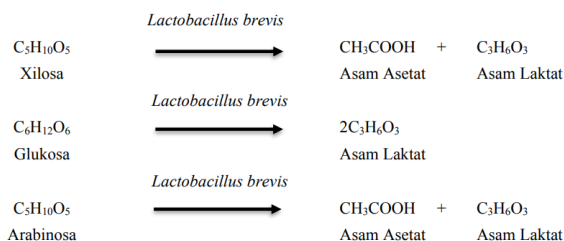
Gambar 1. Blok Diagram Proses Pre-treatment

Slurry kemudian dipisahkan larutan dan padatnya menggunakan filter press. Padatan kemudian dimasukkan ke reactor hidrolisis dan ditambahkan larutan H₂SO₄ 0,8%, campuran dipanaskan hingga 110 °C selama 3 jam. Pada proses hidrolisis selulosa dan hemiselulosa dipecah menjadi gula sederhana berupa glukosa, xilosa dan arabinosa. Slurry kemudian dipisahkan menggunakan filter press dan cairan hasil hidrolisis (*supermathan*) selanjutnya masuk ke proses fermentasi [8].

B. Tahap Fermentasi

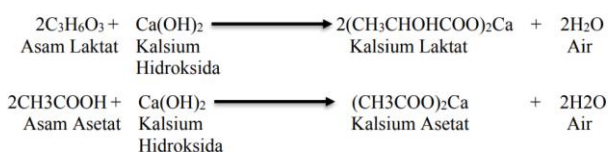
Tahap fermentasi dilakukan dalam fermentor berpengaduk dan bekerja secara *batch*, *supermathan* dari tangka hidrolisis sebagian dimasukkan kedalam culture tank dan sebagian kedalam tangka fermentor dengan perbandingan 1:10. Bakteri yang digunakan dalam proses fermentasi adalah *Lactobacillus Brevis*. Bakteri asam laktat ini digunakan karena dapat memfermentasi xilosa, glukosa, dan arabinosa sekaligus [8]. Bakteri dibiakkan dalam culture tank dengan media mengandung fermentable sugar sebanyak 65 g/L dan (10g/L) yeast extract dengan kecepatan putar 160 rpm. Bakteri yang diinokulasikan kedalam media culture tank sebanyak 0,0003 g/L dan kemudian dijaga pada suhu 30 °C selama 15 jam. Bakteri yang telah dibiakkan kemudian dimasukkan menuju fermentor.

Proses fermentasi dilakukan pada suhu 30 °C didalam fermentor berpengaduk yang bekerja secara batch selama 48 jam. Selama proses fermentasi berlangsung, pH dijaga dengan menambahkan buffering agent Ca(OH)₂. Reaksi fermentasi pada fermentor adalah sebagai berikut [4] :

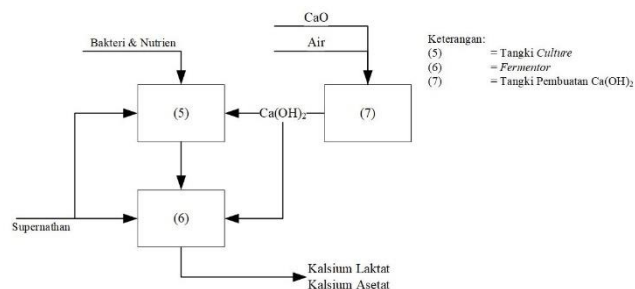


Gambar 2. Reaksi Pembentukan Asam Laktat dari Gula Sederhana

Reaksi netralisasi menggunakan kalsium hidroksida sebagai berikut:



Gambar 3. Reaksi Netralisasi Produk Fermentasi Menggunakan Kalsium Laktat

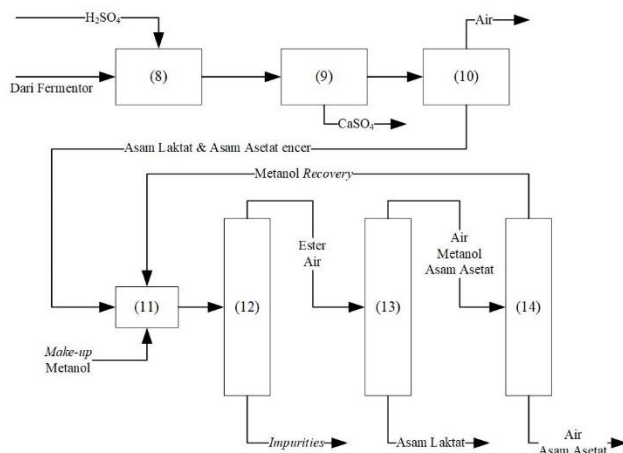
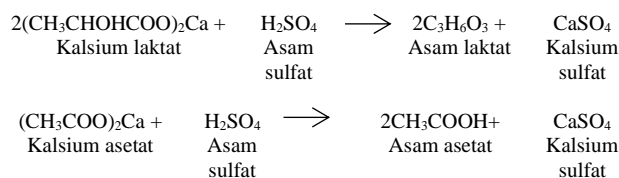


Gambar 4. Blok Diagram Proses Fermentasi

Selanjutnya kalsium laktat dan kalsium asetat akan mengalami proses purifikasi.

C. Tahap Purifikasi

Produk dari fermentor mayoritas berupa air, kalsium laktat, dan kalsium asetat kemudian dimasukkan kedalam tangki pengasaman, kalsium laktat dan kalsium asetat dikonversi menjadi asam laktat dan asam asetat dengan penambahan larutan asam sulfat. Reaksinya sebagai berikut:



Keterangan:
 (8) = Tangki Asidifikasi
 (9) = Centrifuge
 (10) = Triple Effect Evaporator
 (11) = Mixer
 (12) = Kolom Distilasi I (Esterifikasi)
 (13) = Kolom Distilasi II (Hidrolisis)
 (14) = Kolom Distilasi III (Recovery Metanol)

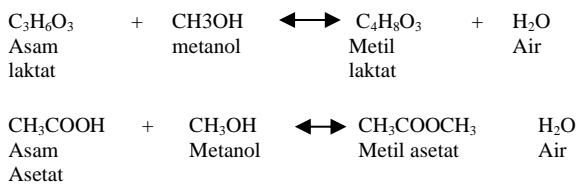
Gambar 5. Blok Diagram Proses Pemurnian Asam Laktat.

Endapan kalsium sulfat kemudian dipisahkan menggunakan *centrifuge*. Larutan yang sudah dipisahkan dari kalsium sulfat kemudian dimasukkan kedalam evaporator untuk dipekatkan.

Untuk menghemat penggunaan steam untuk media pemanas digunakan evaporator jenis triple-effect evaporator, larutan yang keluar dari evaporator ditargetkan memiliki kemurnian 30%.

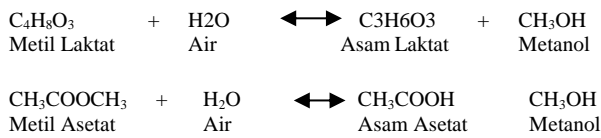
Larutan asam laktat dari evaporator selanjutnya dimasukkan ke tangki pencampuran untuk dicampur dengan metanol, metanol berfungsi sebagai reaktan pada proses esterifikasi untuk pembentukan ester sehingga produk ester yang lebih volatil dapat dimurnikan menggunakan kolom distilasi menjadi produk atas dan impurities dikeluarkan melalui produk bawah, kolom

distilasi dioperasikan pada kondisi vakum. Reaksi yang terjadi pada kolom distilasi sebagai berikut :



Reaksi yang terjadi adalah reaksi kesetimbangan sehingga pengambilan produk secara berkelanjutan akan menggeser reaksi ke arah kanan sehingga konversi reaksi dapat mencapai 100%.

Produk atas kolom distilasi yang berupa ester kemudian dimasukkan kedalam kolom distilasi kedua untuk merecovery asam laktat dengan cara hidrolisis. Reaksi hidrolisis pada kolom distilasi kedua sebagai berikut:

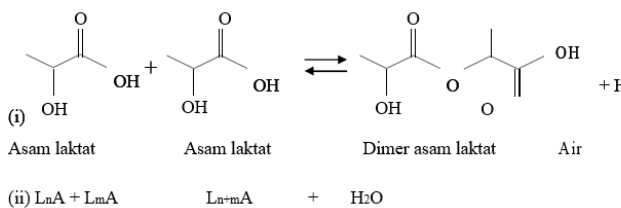


Asam laktat dengan kemurnian mencapai 99% menjadi produk bawah kolom distilasi ke dua, dan produk atas yang mayoritas berupa air, metanol dan asam asetat akan dimasukkan ke kolom distilasi ke tiga untuk merecovery methanol.

Pada kolom distilasi ketiga metanol dipisahkan dari air dan asam asetat menjadi produk atas sedangkan air dan asam asetat sebagai produk bawah. Metanol didistilasi untuk digunakan kembali pada proses esterifikasi.

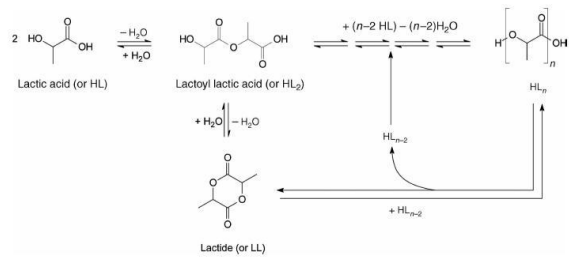
D. Tahap Polimerisasi

Asam laktat 99% yang dihasilkan dari proses distilasi sebelumnya diproses lebih lanjut kedalam reaktor prepolimerisasi. Dalam reaktor prepolimerisasi terjadi reaksi *polycondensation* membentuk asam laktat dengan berat molekul rendah (dimer asam laktat) dan air. Reaksinya sebagai berikut:



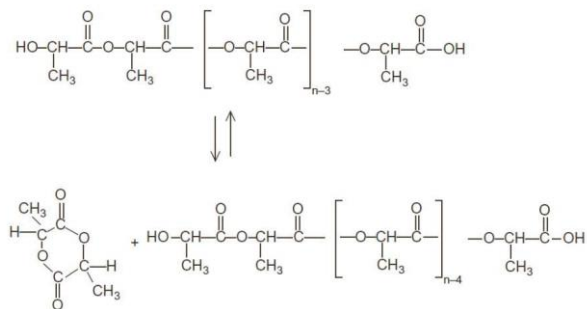
Gambar 6. Reaksi *polycondensation*.

Penghilangan air sangat penting agar reaksi bergerak kearah kanan membantu dimer lebih banyak, pada saat yang sama pula terjadi pembentukan *lactide* hasil transesterifikasi intramolekular *lactocyl lactic acid*



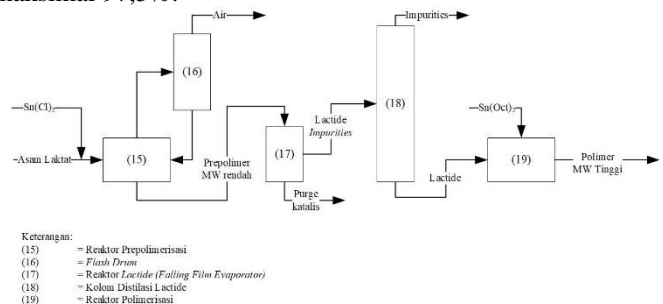
Gambar 7. Reaksi Pembentukan *Lactide*

Produk yang terbentuk diproses lebih lanjut kedalam reaktor depolimerisasi sehingga terjadi reaksi transesterifikasi intramolekular ‘backbiting’. Suhu dan tekanan diatur dalam reaktor depolimerisasi agar lactide secara kontinyu dapat terbentuk dan teruapkan membentuk *net lactide*. Reaktor depolimerisasi digunakan tipe *falling film evaporator* agar liquid mudah teruapkan dengan *surface area* yang maksimal.



Gambar 8. Gambar Reaksi Depolimerisasi.

Aliran vapor keluar dari dari reaktor sebagian besar terdiri dari *lactide* diumpankan menuju kolom distilasi dengan pengotor keluar sebagai *top product* sedangkan D-Lactide dan L-Lactide 99,7% keluar sebagai *bottom product*. L-Lactide kemudian diproses kedalam reaktor polimerisasi dengan bantuan katalis Sn(Oct)₂. Katalis berfungsi untuk menyerang rantai rangkap sehingga gugus hidroksil dan *nucleophilic* bereaksi membentuk air sebagai *by-product*. Pembentukan radikal bebas oleh katalis ini juga mengakibatkan pembentukan *high molecular weight* PLA karena percepatan reaksi rantai propagasi. Didalam reaktor polimerisasi berpengaduk memiliki konversi maksimal 97,5%.

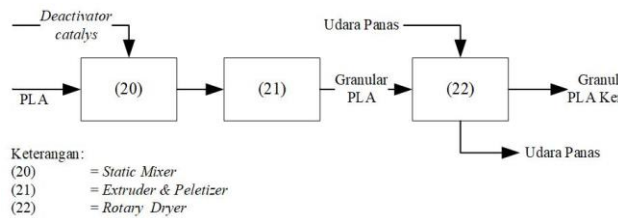


Gambar 9. Blok Diagram Proses Polimerisasi

E. Pengolahan Tahap Akhir Produk

PLA keluar dari reaktor polimerisasi mengandung 2,5% monomer lactide sehingga perlu direduksi hingga 1% dengan proses demonomerisasi. Katalis yang telah ditambahkan pada proses sebelumnya dideaktivasi menggunakan asam fosfat dan diberikan stabilizer berupa α -topolone agar polimer mengalami degradasi dalam proses demonomerisasi. Proses demonomerisasi dilakukan dengan bantuan ekstruder dalam kondisi vakum

dan prinsip degassing. PLA keluar dari ekstruder akan memiliki kadar monomer 0,05% yang kemudian dilakukan proses granulasi dengan bantuan air membentuk granul berukuran 3 mm. Granul keluar kemudian dilewatkan screen untuk memisahkan ukuran granul yang kurang dari 3 mm yang kemudian akan direcycle. Produk PLA kemudian dikeringkan dengan rotary dryer dan disimpan dalam *storage*.



Gambar 10. Blok Diagram Pengolahan Tahap Akhir Produk

IV. ANALISA EKONOMI

Untuk mengetahui suatu pabrik yang dirancang layak didirikan atau tidak perlu dilakukan analisa ekonomi. Faktor-faktor yang perlu ditinjau yakni:

- 1) Laju pengembalian modal (Internal rate of return, IRR).
- 2) Waktu pengembalian modal (pay out time, POT).
- 3) Nilai kas sekarang (Net Present Value).
- 4) Titik impas (Break even point, BEP).

A. Laju Pengembalian Modal

Pabrik PLA dari bonggol jagung memiliki nilai IRR sebesar 9,81%, nilai ini lebih besar dari nilai (WACC) sebesar 9,52%. Dari segi nilai IRR maka pabrik layak didirikan.

B. Waktu pengembalian modal (pay out time, POT)

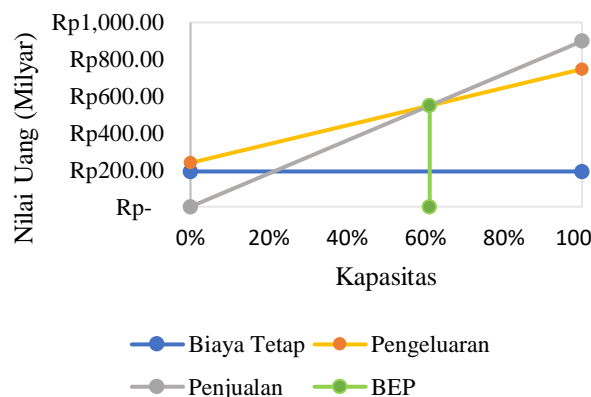
Pabrik PLA dari bonggol jagung memiliki waktu pengembalian modal 10 tahun 6 bulan. Hal ini menunjukkan bahwa pabrik layak didirikan karena nilai POT lebih kecil dari perkiraan umur pabrik.

C. Nilai Kas Sekarang (Net Present Value).

Pabrik PLA dari bonggol jagung memiliki nilai NPV sebesar Rp. 22.413.502.190,00. Nilai NPV bernilai positif sehingga proyeksi laba yang dihasilkan melebihi biaya investasi yang dikeluarkan, sehingga pabrik layak didirikan.

D. Titik Impas (Break even Point, BEP)

Analisa titik impas digunakan untuk mengetahui kapasitas minimum pabrik agar pabrik tidak laba atau rugi. Nilai BEP pabrik PLA sebesar 61,1%.



Gambar 11. Gambar perhitungan BEP melalui metode grafik.

V. KESIMPULAN

Dari hasil-hasil yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Untuk kelayakan secara teknis dapat ditinjau dari hal hal dibawah ini dan juga teknologi yang digunakan dalam pabrik kami, perhitungan neraca massa dan panas, serta spesifikasi alat.
 - Perencanaan Operasi : Kontinyu, 24 jam/hari, selama 330 hari
 - Kapasitas Produksi : 10.000 ton/tahun
 - Umur Pabrik : 25 tahun
 - Masa Konstruksi : 2 tahun
2. Untuk kelayakan secara ekonomi didapatkan sebagai berikut :

Analisa Ekonomi

- Weighted Average Cost of Capital (WACC) : 9,52%
- Internal Rate of Return (IRR) : 9,81%
- Pay Out Time (POT) : 10 Tahun 6 Bulan
- NPV : Rp. 22.413.502.190,00
- Break Even Point (BEP) : 61,1%

Berdasarkan data-data di atas yang sudah ditinjau dari aspek teknis dan aspek ekonomis, pabrik metanol dengan bahan baku gas alam ini sudah memenuhi syarat untuk dilanjutkan ke tingkat perencanaan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. B. Moldes., A. Torrado, A. Conventi, & J. M. Dominguez, "Complete Bioconversion of Hemicellulosic Sugar from Agricultural Residues Into Lactic Acid by *Lactobacillus pentosus*," *Applied Biochemistry and Biotechnology*, Vol. 135, 219-227, 2006.
- [2] A. N. Vaidya, R. A. Pandey, S. Mudliar, M. Suresh Kumar, T. Chakrabarti, and S. Devotta, "Production and recovery of lactic acid for polylactide - An overview," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol. 35, No. 5, 429-467, 2005.
- [3] A. S. Wencek, M. Zborowska, H. Waliszewska & B. Waliszewska, "Chemical Changes in Lignocellulosic Biomass (Corn cob) Influenced by Pretreatment and Anaerobic Digestion (AD)," *Bio Resources* Vol 14(4), 8082-8099, 2019.
- [4] H. Katagiri & K. Imai, "Studies on Lactic Acid Fermentation: Part 2. Observations on the Mode of Fermentation," Vol 19(1), 15-21, 1955.
- [5] M. Pointner, P. Kuttner, T. Obrlik, A. Jager, H. Kahr, "Composition of Corn cob as a Substrate for Fermentation of Biofuel," *Agronomy Research*, Vol 12(2), 391-396, 2012.
- [6] C. Outline, "Synthesis and Production of Poly (Lactic Acid)," 2012. doi:10.1016/B978-1-4377-4459-0.00002-0
- [7] P. Taylor, S. M. Davachi, dan B. Kaffashi, "Polymer-Plastics Technology and Engineering Polylactic Acid in Medicine Poly lactic Acid in Medicine," 37-41, Jun. 2015. doi:10.1080/03602559.2014.979507
- [8] W. Guo, W. Jia, Y. Li, & S. Chen, "Performances of *Lactobacillus brevis* for Producing Lactic Acid from Hydrolysate of Lignocellulosics," *Appl Biochem Biotechnol*, 161:124-136, 2010.