

Pra Desain Pabrik Selulosa Asetat dari *Dissolving Pulp*

Nur Syofa Lira Dalimunthe¹, Lailatul Qadariyah¹, Mahfud Mahfud^{1*}

DOI: [10.12962/j2964710X.v3i1.18881](https://doi.org/10.12962/j2964710X.v3i1.18881)

Abstrak— Selulosa asetat merupakan turunan dari selulosa. Karakteristik selulosa asetat sendiri berbentuk padatan putih, tak beracun, tak berasa dan tak berbau. Selulosa asetat dibuat dari bahan baku dissolving pulp melalui dua tahap proses utama, yaitu tahap perubahan selulosa menjadi selulosa triasetat di dalam reaktor asetilasi dan merubah selulosa triasetat menjadi selulosa diasetat di dalam reaktor hidrolisis. Pabrik ini direncanakan akan didirikan di Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau, dimana pertimbangan utama pemilihan lokasi ini adalah ketersediaan bahan baku, lahan, dan nilai UMK tenaga kerja. Pabrik direncanakan beroperasi secara kontinyu 24 jam selama 330 hari pertahun operasi dengan perencanaan apasitas produksi sebesar 56942.24 ton per tahun, jumlah tenaga kerja sebanyak 168 orang per hari dan kebutuhan bahan baku: 36748.01 ton/tahun.

Pabrik ini direncanakan beroperasi pada tahun 2025. Modal diperoleh dengan perbandingan 60% modal sendiri dan 40% modal pinjaman. Pendirian pabrik selulosa asetat memerlukan biaya investasi modal kerja tetap (fixed capital) sebesar Rp.440,656,664,338.14, modal kerja (working capital) Rp77,762,940,765.55, investasi total Rp. 518,419,605,103.69, biaya produksi per tahun Rp3,511,729,478,099 dan hasil penjualan per tahun sebesar Rp6,601,666,700,041.43. Dari analisa ekonomi didapatkan Internal Rate of Return sesudah pajak sebesar 19.6%, POT sesudah pajak 3,3 tahun, dan nilai NPV adalah Rp6,933,371,159,281. Dari hasil uraian di atas, ditinjau dari segi teknis dan ekonomis, pabrik selulosa asetat ini layak didirikan.

Kata Kunci— Selulosa, Asetat, *Dissolving pulp*, Asetilasi, Hidrolisis

I. PENDAHULUAN

Saat ini, Indonesia berada pada titik dimana sektor industri sedang berkembang pesat seiring dengan tersedianya sumber daya manusia (SDM) dan sumber daya alam (SDA) yang melimpah. Demi melancarkan tujuan tersebut, pemerintah melakukan pengembangan dalam berbagai bidang industri, salah satunya adalah dengan cara mendirikan pabrik industri kimia. Namun hingga saat ini, kebutuhan berbagai macam bahan kimia masih belum terpenuhi, dikarenakan produksi bahan kimia dalam negeri masih sangat minim. Salah satu bahan kimia di antaranya adalah selulosa asetat. Selulosa asetat merupakan selulosa yang gugus hidroksilnya diganti oleh gugus asetil. Zat ini berbentuk padatan putih, tak beracun, tak berasa dan tak berbau (SNI 0444:2009). Selulosa asetat memiliki nilai komersial yang tinggi dikarenakan memiliki karakteristik fisik dan optik yang baik, memiliki rentang derajat substitusi (DS) gugus asetil sebesar 2 - 2,7.

Selulosa diasetat yang diproduksi berbentuk serbuk yang berwarna putih. Selulosa diasetat yang memiliki sifat hidrofobik dan memiliki sifat yang mudah untuk dibentuk, *quick drying*, tidak mudah berkerut, dan stabilitas tinggi (Nasional, 2017)(Mc Ketta, dan Chunningham, 1997).

Selulosa diasetat banyak digunakan sebagai bahan baku utama maupun bahan baku pendukung. Berikut adalah beberapa industry yang menggunakan selulosa asetat sebagai bahan baku utama:

1. Industri pembuatan membran

Selulosa asetat merupakan salah satu jenis polimer yang paling banyak digunakan dalam industri membran sebagai bahan baku pembuatan membran, dikarenakan selulosa asetat memiliki struktur asimetrik dengan lapisan aktif yang sangat tipis, dapat menahan bahan terlarut pada lapisan pendukung kasar, tahan terhadap terjadinya pengendapan, menghasilkan keseimbangan sifat hidrofilik dan hidrofobik. (Kumano, A., Fujiwara, 2008) Namun, kekurangan dari membran dengan menggunakan bahan selulosa asetat memiliki beberapa kelemahan, yaitu derajat pengembangannya tinggi, sensitif terhadap perubahan suhu dan ketahanan terhadap asam (Ernawati, 2014).

2. Industri sandang, yaitu sebagai bahan baku tekstil tiruan

Tekstil merupakan material fleksibel yang terbuat dari tenunan benang, biasanya diproses dengan cara penyulaman, penjahitan, pengikatan, dan cara *pressing*. Bahan atau produk tekstil meliputi produk serat, kain, pakaian, benang, dan berbagai jenis bahan lainnya yang berasal dari serat. Salah satu bahan baku yang digunakan

¹ Department of Chemical Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia. *E-mail: mahfud@chem-eng.its.ac.id

dalam industri tekstil adalah selulosa asetat. Hal ini dikarenakan harganya yang ekonomis, warna terang, dan variasi sifat yang beraneka ragam.

3. Industri bahan pelapis yaitu sebagai cat dan *coating*

Bahan pelapis seperti cat dan *coating* merupakan produk yang digunakan untuk melindungi dan memperindah (*protective and decorative*) suatu objek atau permukaan dengan melapisinya menggunakan suatu lapisan berpigmen maupun tidak berwarna. Cat dapat digunakan pada hampir semua jenis objek, antara lain untuk menghasilkan karya seni, salutan industri (*industrial coating*), bantuan pengemudi (marka jalan) atau pelindung (untuk mencegah korosi atau kerusakan oleh air). Salah satu bahan baku yang digunakan dalam industri bahan pelapis adalah selulosa asetat, dikarenakan karakteristik dari selulosa asetat itu sendiri bersifat hidrofobik yang bisa digunakan untuk mencegah korosi.

4. Industri plastik

Meningkatnya perkembangan teknologi di bidang material telah membawa kemajuan pada peradaban manusia saat ini. Berbagai jenis material telah diproduksi baik dari logam, keramik, polimer, dan komposit untuk memenuhi kebutuhan manusia. Bahkan dengan meningkatnya industri berbasis petrokimia mendorong produksi material polimer secara besar-besaran. Dengan meningkatnya polimer atau plastik yang berbasis petrokimia membawa masalah bagi lingkungan jika produksinya tidak terkontrol. Hal ini disebabkan karena sifatnya yang tidak dapat diuraikan oleh lingkungan atau non-biodegradable. Oleh karena sifatnya yang relatif stabil maka menyebabkan sumber polusi bagi lingkungan serta membahayakan kehidupan saat terdispersi di alam. Sebagai contohnya bungkus plastik non-biodegradable membahayakan kehidupan ekosistem laut (Narayan, 2001). Salah satu alternatif untuk menyelesaikan masalah tersebut adalah dengan menggantikan plastik non-biodegradable dengan plastik *biodegradable*. Penggunaan plastik *biodegradable* dapat membuat kontribusi besar terhadap recovery material, reduksi *landfill*, dan penggunaan sumber daya terbarukan (David dan Song, 2006). Salah satu bahan untuk membuat plastik *biodegradable* adalah dengan menggunakan bahan selulosa asetat.

Biodegradable plastik berbasis selulosa asetat (CA) telah dipelajari dan diproduksi selama beberapa tahun terakhir. Plastik CA memiliki kelebihan diantaranya dapat terdekomposisi di dalam lingkungan air atau tanah, dapat di daur ulang, atau di incenerasi tanpa menghasilkan residu (Alexander, 1993). Selain itu telah dipelajari sifat penting dari CA antara lain kekuatan mekanik, ketangguhan, transparansi, colorability, kemudahan fabrikasi, moldability, dan kekuatan dielektrikunya (Jinhua dkk, 2009).

5. Industri fotografi yaitu sebagai film fotografi

Film fotografi yang terbuat dari asam asetat pertama kali diperkenalkan pada tahun 1934, menggantikan

selulosa nitrat yang sebelumnya diwujudkan menjadi standar. Penyebab film selulosa nitrat digantikan dikarenakan film selulosa nitrat memiliki senyawa tidak stabil dan mudah sekali terbakar. Namun, film selulosa asetat sendiri juga memiliki kelemahan, yaitu mudah sekali rusak dan tidak bisa dipergunakan lagi, serta melepaskan asam asetat apabila film selulosa asetat terjadi kontak dengan oksigen. Fenomena ini disebut sebagai "sindrom cuka", dikarenakan asam asetat merupakan bahan utama dalam cuka. Sejak tahun 1980-an, film dari selulosa asetat mulai digantikan dengan film dari polyester, terutama apabila tujuan penggunaan dari film tersebut adalah sebagai pengarsipan. Meskipun demikian, selulosa asetat masih dipergunakan dalam sebagian hal, misalnya pembuatan negative dari gambar.

6. Industri rokok sebagai filter rokok

Bahan dasar pembuatan filter rokok adalah selulosa asetat yang memiliki sifat termoplastik, berikatan dengan *plasticizers*, tahan terhadap panas dan tekanan. Namun selulosa asetat dalam puntung rokok sendiri memiliki kelemahan, yaitu tidak mudah terurai dan membutuhkan sekitar satu decade untuk bisa terurai. Dan hal ini membuat puntung rokok menjadi polutan plastic terbesar mengalahkan kantong plastic maupun sedotan.

7. Industri yang memproduksi bahan penyerap (absorben) seperti popok bayi, kertas *tissue* dan pembalut wanita.

Bahan baku utama yang dibutuhkan dalam pembuatan selulosa asetat adalah selulosa. Pada umumnya, selulosa didapat dari tumbuhan, baik tumbuhan berkayu seperti kayu cempedak (*A. integer*) maupun tanaman non kayu seperti pada tandan kosong kelapa sawit, dari mikroorganisme dan limbah. Namun, dalam pra rancangan pabrik ini, selulosa yang digunakan berasal dari *dissolving pulp*.

Dissolving pulp sendiri merupakan *pulp* selulosa yang memiliki kualitas tinggi dengan kandungan hemiselulosa, lignin dan resin yang rendah. Kelebihan dari *dissolving pulp* sendiri memiliki tingkat kecerahan yang sangat tinggi, dan distribusi berat molekul yang seragam, serta memiliki reaktivitas selulosa yang tinggi.

Dalam menentukan kapasitas pabrik yang didirikan, diperlukan data untuk mengetahui seberapa besar kebutuhan pasar terhadap produk yang akan dihasilkan. Data yang digunakan untuk menghitung kapasitas pabrik selulosa asetat adalah dengan menggunakan data impor selulosa asetat di Indonesia. Berikut adalah merupakan data impor selulosa asetat di Indonesia.

Untuk menghitung perkiraan impor dan ekspor tahun 2025, dapat menggunakan persamaan menurut Max S. Peters dan Klaus D. Timmerhaus (1991) dalam buku "*Plant Design and Economic for Chemical Engineering*" dengan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana:

F = Jumlah produk pada tahun 2025

P = Jumlah produk pada tahun 2016

I = Pertumbuhan rata-rata komoditi impor/ekspor pada

tahun 2010 – 2016

n = selang waktu dari tahun 2016 – 2025

Dengan menggunakan persamaan tersebut dapat diprediksi kebutuhan impor pada tahun 2025, yaitu 56942,197 ton/tahun. Penentuan skala pabrik selulosa asetat juga dapat didasarkan pada pabrik selulosa asetat yang telah berdiri diberbagai negara seperti Amerika Serikat, Jepang, dan di Eropa dengan kapasitas maksimum pabrik selulosa asetat yang telah berdiri adalah 2.000 – 250.000 ton/tahun.

TABEL 1.

DATA IMPOR SELULOSA ASETAT DI INDONESIA	
Tahun	Impor(Ton)
2010	11.175
2011	16.035
2012	15.580
2013	16.874
2014	21.568
2015	21.646
2016	23.071

(BPS.go.id, 2017)

II. URAIAN PROSES

A. Seleksi Proses

Proses yang digunakan dalam pembuatan pabrik perlu memperhatikan berbagai aspek, dimulai dari aspek teknik seperti penggunaan bahan baku (jumlah dan kualitas bahan), konversi, kualitas dan kuantitas produk, serta operasi proses yang meliputi tekanan dan temperatur proses, aspek ekonomis berupa investasi, *rate of return*, dan *pay out time*, dan aspek dampak lingkungan yang merupakan segala hal yang berkaitan dengan bahan baku, proses, dan produk yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Dalam pembuatan selulosa asetat terdapat 2 seleksi proses, yaitu *acetic acid process* dan *methylene chloride process*.

Acetic acid process merupakan proses yang paling umum dan biasa digunakan, dimana selulosa asetat dibuat dengan cara mereaksikan selulosa dengan asetat anhidrid dengan pelarut asam asetat glasial dan katalis asam sulfat. Tahap pencampuran selulosa dengan asam asetat juga disebut dengan tahap aktivasi, dimana asam asetat berfungsi sebagai *swelling agent* yang akan membuka pori-pori selulosa untuk mempermudah reaksi berikutnya (Rustemeyer, 2003).

Sedangkan untuk *methylene chloride process*, Dalam proses ini, yang digunakan sebagai pelarut selulosa adalah *methylene chloride*. Dengan proses pembuatan selulosa asetat yang sama dengan *acetic acid process*, penggunaan *methylene chloride* lebih jarang digunakan pada industri dewasa ini. Dilihat dari segi ekonomi, harga pelarut *methylene chloride* jauh lebih tinggi dibandingkan dengan asam asetat. Selain itu, *methylene chloride* tidak mudah untuk diregenerasi karena sifat dari reaksi ini termasuk ke dalam *homogeneous process* sehingga penggunaan pelarut ini terus menerus ditambahkan selama proses industri selulosa asetat berjalan. Dari segi lingkungan, *methylene chloride* memiliki tingkat keracunan yang tinggi. Sehingga sangat berbahaya jika bersisa dalam reaksi dan dibuang ke

alam bebas (Yamakawa,dkk, 2003). Untuk perbedaan seleksi proses pembuatan selulosa asetat dapat dilihat dari tabel 1.

Proses yang digunakan dalam pembuatan selulosa asetat dalam pra rancangan pabrik ini dengan menggunakan metode asam asetat, dimana asam asetat berperan sebagai *swelling agent* yang membuka pori-pori selulosa untuk mempermudah reaksi.

TABEL 1.

SELEKSI PROSES PEMBUATAN SELULOSA ASETAT

No	Perbedaan	Proses Pembuatan Selulosa Asetat	
		Acetic Acid Process	Methylene Chloride Process
1	Tahap reaksi	2 tahap (Asetilasi dan Hidrolisis)	1 tahap (Asetilasi)
2	Durasi reaksi	Sedang	Cepat
3	Produk yang dihasilkan	Kualitas yang tinggi	Kualitas yang baik
4	Kondisi reagen (reaktan)	Ikut bercampur, namun bisa di- <i>recovery</i>	Ikut bercampur, tidak bisa di- <i>recovery</i>
5	<i>Yield</i>	Bisa mencapai 90%	Kurang dari 50%
6	Performa Peralatan	Harus memadai	Harus memadai
7	Harga <i>solute</i>	Murah	Mahal
8	Limbah	Limbah cair yang masih bisa ditangani (limbah asam asetat)	Limbah cair yang sangat berbahaya (limbah metilen klorida)

B. Proses Produksi

Proses pembuatan selulosa asetat dalam pra rancangan pabrik ini terdiri dari beberapa proses, yaitu:

1. Tahap Persiapan
2. Tahap Reaksi
3. Tahap Pemurnian

C. Analisa Ekonomi

Analisa ekonomi merupakan salah satu parameter yang menentukan layak atau tidaknya pendirian suatu pabrik. Untuk menentukan kelayakan suatu pabrik secara ekonomi, perlu dilakukan analisa berupa analisa *Break Even Point* (BEP), *Internal Rate of Return* (IRR), *Net Present Value* (NPV), dan *Pay Out Time* (POT).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Tahap Persiapan Bahan Baku

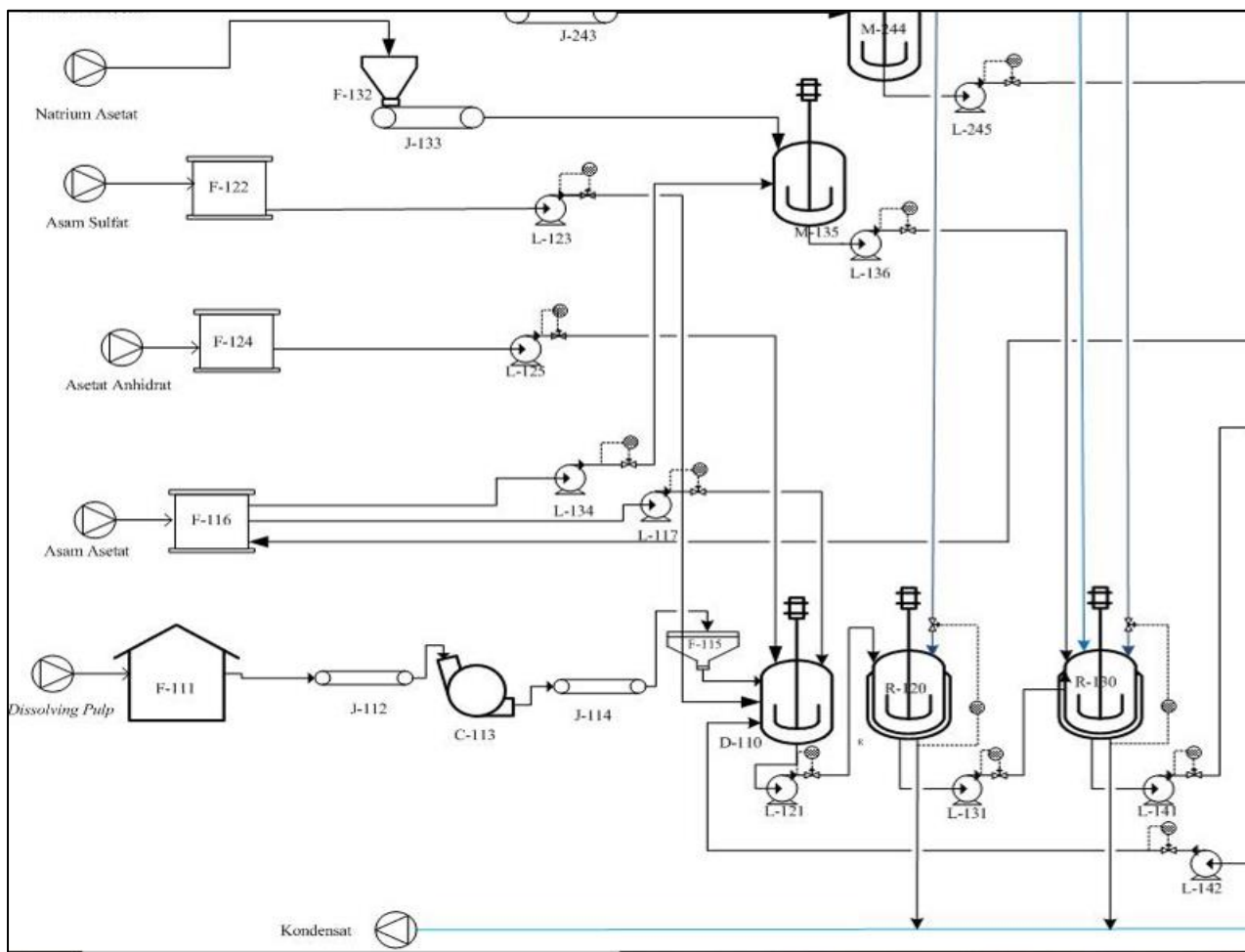
Poses produksi selulosa asetat dimulai dari lembaran *dissolving pulp* dicincang menjadi potongan kecil *dissolving pulp* dalam *chipper*. Lalu selulosa disimpan untuk sementara waktu di dalam *hopper*, kemudian dimasukkan ke dalam tangki pencampuran I. Di dalam tangki pencampuran I, selulosa dicampur dengan asam asetat, dimana asam asetat berfungsi sebagai *swelling*

agent yang akan membuka pori-pori selulosa untuk mempermudah reaksi. Tahap ini dilakukan pada suhu ruangan. Untuk diagram alir tahap persiapan bahan baku bisa dilihat dari Gambar 1.

B. Tahap Reaksi

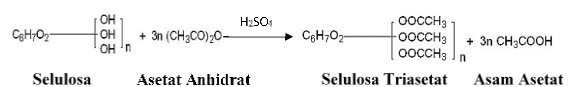
Setelah melewati proses persiapan, selulosa di dalam *dissolving pulp* dan asam asetat dialirkan menuju reaktor asetilasi. Temperatur yang digunakan dalam proses asetilasi pada rentang 30-50°C (Kuo dan Bagan, 1997) dengan mereaksikan selulosa dengan asetat anhidrat (Wafroh, 2004). Pada reaksi asetilasi terjadi reaksi substitusi gugus hidroksil pada selulosa dengan gugus asetil dari asetat anhidrat.

terjadi pada tahap ini dan mendapatkan konversi maksimum selulosa (Steinmeier, 2004). Selain itu, penggunaan asam asetat yang berlebih dapat di-*recovery* kembali dengan proses ekstraksi dan distilasi, sehingga mengurangi *cost* konsumsi bahan *solvent* (Yabune, dkk, 1983). Reaksi asetilasi bersifat eksotermis, dan untuk mengontrol suhu saat reaksi asetilasi sehingga tidak melampaui suhu maksimum, maka suhu normalnya dijaga sekitar 50-80°C. Reaksi asetilasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Tahap Persiapan Bahan Baku dan Reaksi

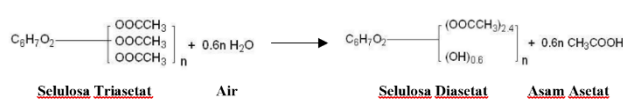
Asetat anhidrat merupakan reaktan asetilasi yang memiliki stoikiometri reaksi yang baik, sehingga menghasilkan *yield* selulosa asetat yang tinggi (Yabune, dkk, 1983). Hasil dari reaksi asetilasi ialah selulosa triasetat. Pada reaksi asetilasi, asetat anhidrat sebagai reaktan, asam sulfat sebagai katalis (Kuo dan Bagan, 1997) serta dengan kehadiran asam asetat sebagai *solute* (Yabune, dkk, 1984). Selain itu, dengan menggunakan asetat anhidrat berlebih dapat mencegah reaksi hidrolisis



Gambar 1. Reaksi Asetilasi

Tahap berikutnya langsung dilanjutkan dengan reaksi hidrolisis. Proses ini terjadi pada tekanan 1 atm dengan temperatur 60-80°C (Steinmeier, 2004). Pada reaksi

hidrolisis selulosa triasetat direaksikan kembali dengan sedikit air. Gugus hidroksil dari air disubstitusikan kembali dengan gugus asetil dari selulosa triasetat sehingga gugus asetil dari selulosa triasetat berkurang yang akhirnya terbentuk selulosa diasetat. Tujuan dari hidrolisis adalah untuk mengurangi dejerat substitusi (DS) selulosa asetat dari tiga gugus asetil per unit anhidroglukosa dari selulosa untuk mendapatkan DS yang diinginkan (Yabune,dkk,1984). Hal terpenting adalah selulosa asetat yang dihasilkan dapat larut dalam aseton yang mana aseton dapat melarutkan selulosa diasetat dengan DS 2.4 – 2.5. Karena reaksi heterogen alamiah, mustahil untuk mensintesis substitusi selulosa asetat langsung secara parsial. Oleh karena itu, selulosa diasetat yang dapat dilarutkan dalam aseton dihasilkan melalui hidrolisis dari substitusi penuh selulosa triasetat pada reaksi asetilasi (Steinmeier, 2004) Reaksi hidrolisis dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Reaksi Hidrolisis

Hidrolisis selulosa triasetat membutuhkan jumlah air tertentu yang umumnya berkisar 5-15% berat selulosa. Nilai DS yang diinginkan bisa didapatkan dengan mengaplikasikan data kinetika atau dengan menghitung nilai asetil dari asam asetat.

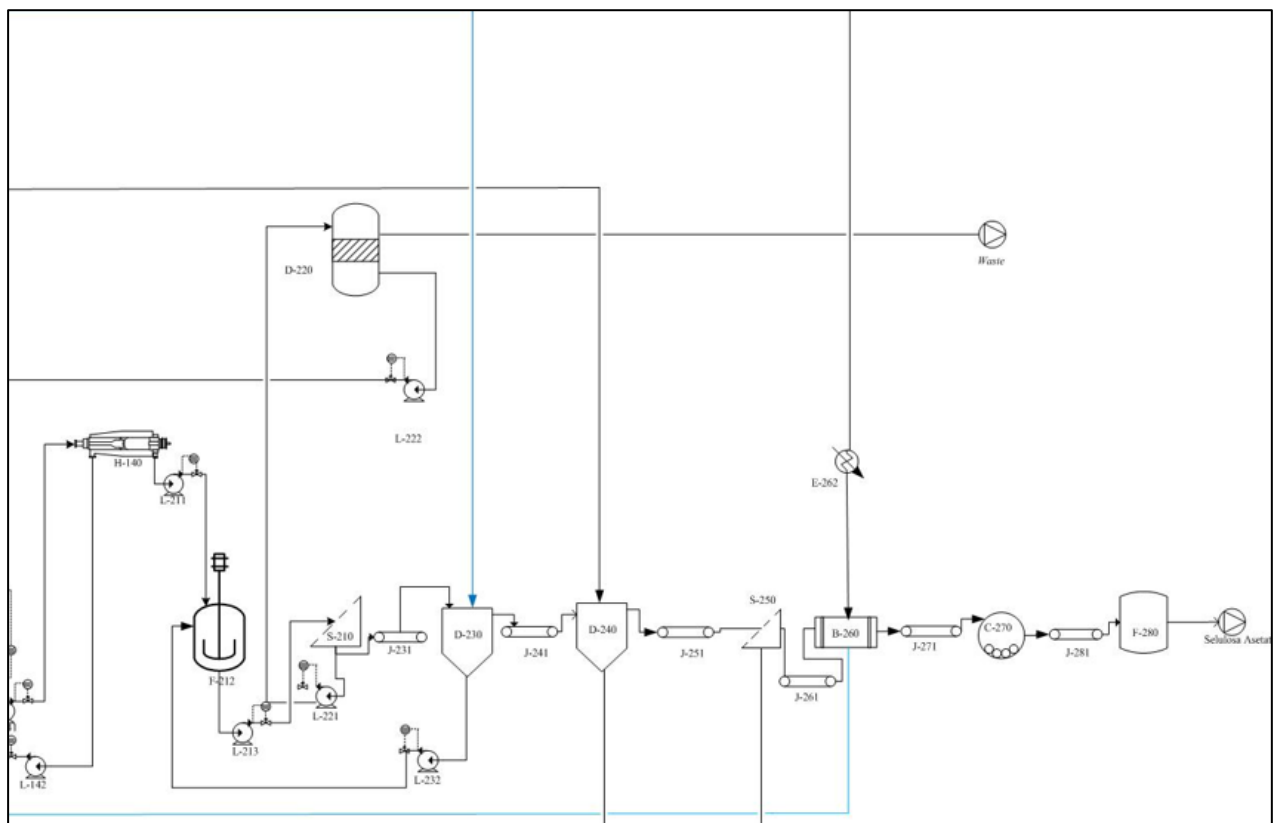
Ketika nilai DS selulosa asetat didapatkan, hidrolisis dihentikan dengan netralisasi katalis melalui cara penambahan garam. Garam natrium, kalsium atau magnesium dilarutkan dalam air atau cairan asam asetat dapat digunakan untuk proses netralisasi tersebut (Steinmeier, 2004). Produk yang dihasilkan berupa cairan kental yang kemudian dimurnikan. Untuk tahap reaksi dapat dilihat pada Gambar 1.

C. Tahap Pemurnian

Setelah produk melewati tahap reaksi asetilasi dan hidrolisis, produk dimurnikan di dalam tangki pengendapan yang berisi air sehingga terbentuk endapan. Padatan ini disaring dan dicuci dengan larutan Na_2CO_3 . Kemudian dikeringkan dengan temperatur 50°C . Proses terakhir ialah pengerusan di *Ball Mill* sehingga menghasilkan produk selulosa asetat berupa serbuk yang kemudian di-*packing*. Untuk tahap pemurnian dapat dilihat pada Gambar 4.

IV. MATERIAL BALANCE DAN PERHITUNGAN EKONOMI

Berdasarkan hasil perhitungan neraca massa pada pabrik selulosa asetat dari *dissolving pulp* membutuhkan bahan baku *dissolving pulp* sebesar 36748.01 ton/tahun untuk produk selulosa asetat sebesar 56942.24 ton/tahun.



Gambar 4. Tahap Pemurnian

Pendirian pabrik selulosa asetat memerlukan biaya investasi modal kerja tetap (*fixed capital*) sebesar Rp.440,656,664,338.14, modal kerja (*working capital*) Rp77,762,940,765.55, investasi total Rp. 518,419,605,103.69, biaya produksi per tahun Rp3,511,729,478,099 dan hasil penjualan per tahun sebesar Rp6,601,666,700,041.43. Dari analisa ekonomi didapatkan *Internal Rate of Return* sesudah pajak sebesar 19.6%, POT sesudah pajak 3,3 tahun, dan nilai NPV adalah Rp6,933,371,159,281. Dari hasil uraian di atas, ditinjau dari segi teknis dan ekonomis, pabrik selulosa asetat ini layak didirikan.

Berikut adalah spesifikasi produk yang digunakan dalam pembuatan selulosa asetat.

TABEL 2.
SPESIFIKASI PRODUK SELULOSA ASETAT

No	Sifat Fisik	Keterangan
1	Bentuk	Powder (serbuk)
2	Wujud	Padat
3	Rumus molekul	$(C_6H_7O_2(CH_3COO)_3)_n$
4	Kemurnian	Min 98%
5	Impuritas	CH ₃ COOH max. 0.1% H ₂ O max 0.9%

V. KESIMPULAN

Pabrik selulosa asetat ini direncanakan akan didirikan di kabupaten Pelalawan, Riau. Pabrik direncanakan beroperasi secara kontiniu 24 jam selama 330 hari per tahun dengan kapasitas produksi 56942.24 ton/tahun. Bahan baku *dissolving pulp* yang digunakan sebesar 36748.01 ton/tahun. Masa konstruksi pabrik ini dilakukan selama dua tahun dan umur pabrik 10 tahun. Jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 166 orang/hari.

Proses produksi selulosa asetat dilakukan dengan cara mencampurkan asam asetat glasial, dan direaksikan dengan asetat anhidrat menggunakan katalis asam sulfat sehingga dihasilkan selulosa triasetat. Selulosa triasetat dihidrolisis menggunakan air, dan reaksi dihentikan dengan dialirkan campuran natrium asetat dan asam asetat.

Pendirian pabrik selulosa asetat memerlukan biaya investasi modal kerja tetap (*fixed capital*) sebesar Rp440,656,664,338.14, modal kerja (*working capital*) Rp77,762,940,765.55, investasi total Rp518,419,605,103.69, biaya produksi per tahun Rp3,511,729,478,099 dan hasil penjualan per tahun sebesar Rp6,601,666,700,041.43. Dari analisa ekonomi didapatkan *Internal Rate of Return* sesudah pajak sebesar 19.6%, POT sesudah pajak 3,3 tahun, dan nilai NPV adalah Rp6,933,371,159,281. Dari hasil uraian di atas, ditinjau dari segi teknis dan ekonomis, pabrik selulosa asetat ini layak didirikan.

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Mahfud, DEA dan Ibu Dr. Ir. Lailatul Qadariyah, S.T., M.T., IPM selaku dosen pembimbing dan

seluruh *crew* Laboratorium Proses Reaksi Kimia dan Konversi Biomassa Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem – Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.

VII. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASME. "ASME Boiler and Pressure Vessel code section II (Part D)," ASME PRESS, 2007.
- [2] W. L. Badger, and J. T. Banchero, "Introduction to Chemical Engineering," McGraw Hill Book Company, 1955.
- [3] G. Brown, "Unit Operations," John Wiley and Sons, Inc., 1950.
- [4] P. Buthod, "Pressure Vessel Handbook," Pressure Vessel Publishing, Inc., 10th ed. 1995.
- [5] R. Coulson, "Chemical Engineering," Butterworth Heinemann, 3rd ed. 1999.
- [6] J. Couper, "Chemical Process Equipment Selection and Design," Elsevier, 2005.
- [7] E. Ernawati, "Pembuatan Membran Selulosa Asetat Termodifikasi Zeolit Alam Lampung Untuk Pemisahan Etanol-Air Secara Pervaporasi," vol. 2, no. 1, pp. 101–104, 2014.
- [8] C. J. Geankoplis, "Transport Processes and Separation Process Principle," Pearson Education International, 1993.
- [9] D. M. Himmelblau, "Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering," Prentice Hall Inc., 1982.
- [10] D. Q. Kern, "Process Heat Transfer," McGraw-Hill Book Company, 1950.
- [11] R. E. Kirk, and Othmer, "Encyclopedia of Chemical Technology," 3rd ed., The Inter Science Encyclopedia, Inc., 1979.
- [12] A. Kumano, N. Fujiwara, "Cellulose triacetate membranes for reverse osmosis. In Li et al. (Ed.), Advanced membrane technology and applications," John Wiley and Sons, Inc., pp. 21-46, 2008.
- [13] Mahfud, Sabara, "Industri Kimia Indonesia," Yogyakarta: Depublish, 2018.
- [14] J. J. Mc Ketta, and W. A. Chunningham, "Encyclopedia of Chemical Processing and Design," Marcel Decker inc., 1997.
- [15] Nasional, BPS, Statistik Perdagangan luar negeri jilid 1, 2017.
- [16] R. H. Perry, and D. W. Green, "Perry's Chemical Engineers' Handbook (7 ed.)," McGraw-Hill Book Company, 1997.
- [17] P. Rustemeyer, "Cellulose acetates, properties and applications," Wiley-VCH, 2004.
- [18] H. Steinmeir, "Acetate Manufacturing, Process and Technology," Macromolecular Symposia, 49-60, 2004.