

Perancangan Awal Pabrik Polyurethane Berbasis Minyak Jarak di Indonesia

Anondho Wijanarko, Alfa Abadi dan Budi Santoso

Departemen Teknik Gas dan Petrokimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus UI Depok, Depok 16424 Tel. 7863515, 7863516

E-mail: alfa_abadi@hotmail.com, budi_indnrc@yahoo.com

Abstrak

Minyak jarak adalah komoditi yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia; demikian juga polyurethane, dimana pasar produk polyurethane berkembang pesat tanpa diiringi perkembangan industri dalam negeri. Polyurethane berbasis minyak jarak mempunyai banyak kelebihan dibandingkan yang ada umumnya. Dari analisis pasar, diketahui bahwa kapasitas pabrik yang sesuai untuk dibangun di Indonesia adalah 8.300 ton/tahun. Modifikasi minyak jarak dengan anhidrida suksinat dan neopentil glikol menghasilkan polioli poliester dengan reaktivitas tinggi, yang terutama sesuai digunakan sebagai komponen resin poliurethane untuk aplikasi coating, adhesive dan binder. Peralatan utama yang dibutuhkan di pabrik adalah: dua reaktor, sebuah mixer, empat pompa, sebuah kondenser, dan sebuah tangki. Hasil simulasi dengan bantuan CHEMCAD 5.2 menunjukkan efisiensi karbon sebesar 83,57% dan efisiensi energi sebesar 93,83%. Besarnya investasi yang dibutuhkan untuk membangun pabrik ini adalah Rp 21 miliar. Untuk setiap ton produk membutuhkan biaya manufaktur sebesar US\$ 1.928 dimana harga jual produk diasumsikan sebesar US\$ 3.000. Analisis kelayakan ekonomi mendapatkan nilai: Net Present Value (NPV) sebesar US\$ 22.5 juta, Internal Rate of Return (IRR) 40,3%, dan Payout Period 2,03 tahun. Faktor yang paling sensitif yang dapat mempengaruhi kelayakan proyek ini adalah harga jual produk dan volume produksi. Berdasarkan analisa yang dilakukan, pabrik layak untuk dibangun.

Kata kunci: minyak jarak, perancangan awal, pabrik polyurethane, analisis teknis, analisis ekonomi

Abstract

Castor oil is a potential commodity to be developed in Indonesia; polyurethane is also a potential one since its market grows rapidly without being accompanied by local industry's capability to fulfill. Polyurethane based on castor oil is superior in many properties to currently available polyurethane. According to market analysis, the suitable capacity to be applied is 8,300 tons/year. Modification of castor oil with succinic anhydride and neopentyl yields high reactivity polyester polyol suitable to be used as component of polyurethane resin for coating, adhesive and binder applications. Main equipments needed in the plant are: two reactors, one mixer, four pumps, one condenser, and one tank. Simulation with the aid of CHEMCAD 5.2 resulted in carbon efficiency of 83.57% and energy efficiency of 93.83%. Total investment required to construct this plant is about Rp 21 billion. Assuming product price of US\$ 3,000/ton, manufacturing cost will be US\$ 1,928/ton-product. Economic feasibility analysis yielded values: Net Present Value (NPV) of US\$ 22.5 million, Internal Rate of Return (IRR) of 40.3%, and Payout Period of 2.03 operating-years. The most significant factors influencing the feasibility are product price and production volume. Based on the analysis that has been done, the plant is feasible to build.

Key words: castor oil, preliminary design, polyurethane plant, technical analysis, economic analysis

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah. Salah satu yang potensial untuk dibudidayakan adalah tanaman jarak. Tanaman jarak (*ricinus communis* L.) cocok hidup di daerah tropis, seperti Indonesia. Tanaman ini mudah dibudidaya-

kan dan cepat menghasilkan. Minyak yang dihasilkannya memiliki banyak turunan yang bermanfaat. Salah satu yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia adalah untuk pembuatan polimer polyurethane.

Polyurethane adalah material yang memiliki banyak kelebihan pada sifat-sifatnya dibandingkan material polimer lain

pada aplikasi yang sejenis. Dengan penggunaan minyak jarak atau turunannya sebagai salah satu bahan baku maka beberapa sifat polyurethane menjadi bertambah baik [1,2].

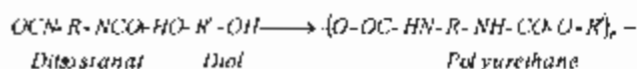
Oleh sebab itu, tidaklah mengherankan apabila ukuran pasar polyurethane di Indonesia, seperti juga di dunia, mengalami peningkatan yang pesat. Namun, kini Indonesia masih cukup banyak mengimpor resin polyurethane untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri [3].

Melihat hal-hal tersebut, amat disayangkan apabila pengembangan produk yang potensial seperti polyurethane tidak dilakukan pada minyak jarak yang secara potensial dapat dihasilkan melimpah di Indonesia. Dalam makalah ini, pembahasan berkenaan dengan perancangan awal pabrik polyurethane berbasis minyak jarak di Indonesia akan dicoba dipaparkan.

2. Latar Belakang Teori

Polyurethane adalah salah satu jenis polimer yang dari tahun ke tahun penggunaannya semakin meningkat. Pada tahun 1990, polyurethane sendiri memiliki segmen 5% dari total konsumsi polimer di dunia [4].

Bahan penyusun polyurethane adalah polioliol, poliisosiyanat, dan bahan-bahan lainnya seperti: *filler*, *extender*, *pelarut*, *pigmen*. Polyurethane dihasilkan dari reaksi polimerisasi antara poliisosiyanat dengan polioliol, yaitu suatu proses poliadisi, contohnya:



Aplikasi polyurethane sangat luas, misalnya dapat digunakan untuk pembuatan: busa, *coating*, *adhesive*, *sealant*, *binder*, elastomer, serat spandex. Produk utama pada perancangan pabrik ini adalah polyurethane dengan aplikasi utamanya untuk *coating*, *adhesive* dan *binder*.

Minyak jarak tersusun terutama atas trigliserida asam lemak. Kandungan asam lemak terbanyak penyusun minyak jarak adalah asam risinoleat (asam cis-12-hidroksioktadeka-9-enoik), yaitu sebesar

89,5%. Trigliserida asam risinoleat mempunyai gugus hidroksil sekunder yang kurang reaktif untuk reaksi polimerisasi dengan diisosiyanat.

Maka, minyak jarak perlu dimodifikasi untuk keperluan pembuatan polyurethane. Gerber [2] dalam patennya menjelaskan pembuatan polioliol dari minyak jarak. Polioliol yang terbentuk adalah campuran dengan komposisi utama molekul-molekul dengan gugus hidroksil primer yang reaktif untuk polimerisasi dan memiliki ketahanan hidrolisis yang tinggi [2].

Resin polyurethane dapat berupa *polyurethane dispersion*, resin 1 komponen atau resin 2 komponen. *Polyurethane dispersion* adalah polimer PU dengan berat molekul besar yang dilarutkan dalam solven. Resin 1 komponen dan 2 komponen mengandung komponen prepolimer, yaitu polimer dengan berat molekul kecil dan memiliki gugus reaktif (umumnya isosiyanat), yang akan bereaksi dengan *curing agent* membentuk polimer dengan berat molekul besar. *Curing agent* untuk resin 1 komponen adalah uap air di udara; sedangkan untuk resin 2 komponen adalah polioliol pada komponen A dari dua komponen yang diproduksi.

3. Metodologi

Langkah-langkah yang akan ditempuh untuk perancangan awal pabrik ini adalah:

1. Mengalalisa pasar polyurethane di Indonesia untuk menentukan kapasitas pabrik.
2. Mendeskripsikan proses dan peralatan yang dibutuhkan pada pabrik berdasarkan penggabungan proses pembuatan polioliol [2] dan pembuatan resin konvensional [5].
3. Membuat neraca massa dan energi pada proses yang telah dijelaskan dengan bantuan simulator CHEMCAD 5.2, dengan asumsi minyak jarak tersusun atas trigliserida asam risinoleat dan air (0,3% berat). Asumsi ini diambil dengan pertimbangan bahwa 89,5% asam lemak minyak jarak adalah asam risinoleat serta kandungan air minyak jarak di pasaran.

4. Membuat pertimbangan keselamatan dan lingkungan pabrik.
5. Menentukan spesifikasi peralatan utama yang digunakan pada proses. Perhitungan alat dilakukan dengan menggunakan literatur: Brownell [6], Wallas [7], Peters [8], dan Kern [9].
6. Melakukan perhitungan ekonomi yang mencakup:
 - Memperkirakan biaya pabrik berdasarkan spesifikasi peralatan utama yang telah dibuat dan biaya manufaktur berdasarkan kebutuhan bahan baku dan utilitas pada neraca massa dan energi.
 - Menilai kelayakan ekonomi pabrik dengan memperkirakan aliran kas tahunan (pro-forma) dan kemudian menghitung parameter kelayakan: *Return on Investment (ROI)*, *Payout Period (POP)*, *Net Payout Time (NPT)*, *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, dan *Break-Even Point (BEP)*.
 - Melakukan analisis sensitivitas untuk mengetahui faktor-faktor yang secara signifikan mempengaruhi kelayakan proyek. Analisis dilakukan terhadap variabel-variabel: harga bahan baku (minyak jarak, anhidrida suksinat, NPG, MDI dan MEK), harga produk, volume produksi, dan kapasitas terpasang. Prosedurnya adalah memvariasikan nilai suatu variabel dengan menjaga variabel-variabel lainnya tetap (*ceteris paribus*) untuk melihat kecenderungan pengaruhnya terhadap keuntungan serta nilai maksimal atau minimalnya agar hasil operasional pabrik memberikan IRR lebih besar dari minimum yang ditetapkan sebesar 8%.

4. Hasil dan Diskusi

4.1 Analisis Pasar

Perkiraan permintaan dilakukan dengan analisa dan ekstrapolasi data historis permintaan resin PU untuk aplikasi coating, adhesive dan binder. Berdasarkan pengolahan data yang dilakukan maka untuk perkiraan permintaan yang baik digunakan 2 variabel prediktor yaitu pendapatan domestik bruto (GDP) dan

permintaan tahun sebelumnya (D_{t-1}). Dengan menggunakan pendekatan ini maka regresi linier data historis mendapatkan persamaan:

$$D_t = 2.02 \times 10^3 + 0.72 \times GDP - 0.48 \times (D_{t-1}) \quad (1)$$

Korelasi dari pendekatan ini: $Multiple_R = 96\%$, $R^2 = 93\%$, dan $Adjusted_R^2 = 78,3\%$. Dengan menggunakan perkiraan GDP yang paling mungkin untuk Indonesia (3,5%), data dan hasil prediksi dapat dibuat seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1.
Perkiraan Permintaan

| Thn. | D (ton/thn.) | Thn. | D (ton/thn.) |
|------|--------------|------|--------------|
| 1998 | 6.639 | 2008 | 24.005 |
| 1999 | 10.938 | 2009 | 25.795 |
| 2000 | 11.627 | 2010 | 27.654 |
| 2001 | 12.552 | 2011 | 29.575 |
| 2002 | 14.672 | 2012 | 31.564 |
| 2003 | 15.791 | 2013 | 33.623 |
| 2004 | 17.465 | 2014 | 35.754 |
| 2005 | 18.950 | 2015 | 37.959 |
| 2006 | 20.606 | 2016 | 40.241 |
| 2007 | 22.263 | 2017 | 42.604 |

Selanjutnya, untuk menentukan kapasitas pabrik beberapa hal yang menjadi pertimbangan:

1. Proyeksi *demand* tahun 2010 (saat dimana pabrik direncanakan mulai berproduksi penuh) sebesar 27.654 ton.
2. Ada 4 perusahaan sejenis yang saat ini beroperasi [3].

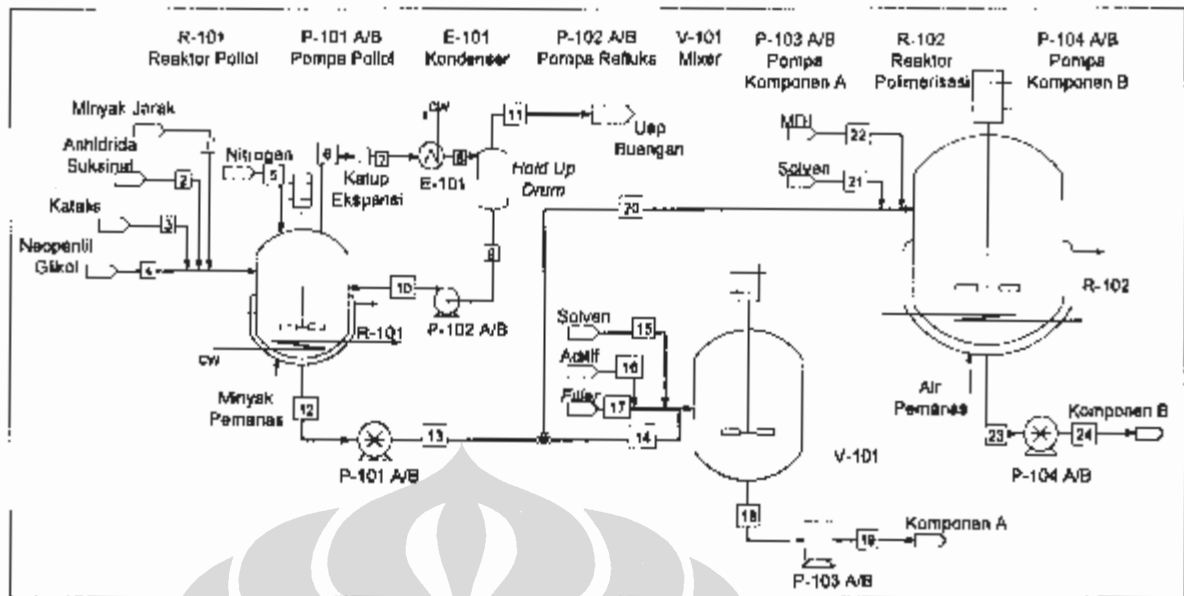
Dengan mengambil 30% pasar pada tahun 2010, maka kapasitas terpasang pabrik akan dirancang sebesar:

$$30\% \times 27.654 \text{ ton/tahun} \approx 8.300 \text{ ton/tahun}$$

Mode operasi pabrik adalah batch karena kapasitas produksi relatif kecil ini, selain karena resin yang akan diproduksi beragam jenisnya untuk peralatan yang sama.

4.2 Deskripsi Proses

Tahap-tahapan produksi berikut lama waktunya dapat dilihat pada Tabel 2 [2,5]. Pada saat operasional, seksi pembuatan komponen A dan komponen B dapat dilakukan secara simultan dengan menggunakan polioliol yang telah dibuat pada seksi pembuatan polioliol. Diagram alir proses untuk pembuatan resin 2 komponen dapat di lihat pada Gambar 1 [2,5].



Gambar 1.
Diagram Alir Proses

Keterangan aliran Gambar 1 dapat dilihat pada neraca masa dan energi di sub-bab 4.4.

Tabel 2.
Penjadwalan Batch

| Proses | Waktu (menit) |
|---|---------------|
| I. Pembuatan Poliol | |
| - Pemasukan bahan baku dan katalis | 10 |
| - Pengadukan dan peningkatan temperatur ke 170 °C | 45 |
| - Reaksi <i>half-esterification</i> | 40 |
| - Peningkatan temperatur ke 240 °C | 55 |
| - Reaksi <i>full-esterification</i> | 120 |
| - Pendinginan ke 110 °C | 30 |
| - Purgin dengan nitrogen | 5 |
| - Pendinginan ke 60 °C | 33 |
| - Pengosongan | 7 |
| II. Pembuatan Komponen A | |
| - Pemasukan bahan baku | 15 |
| - Pengadukan | 53 |
| - Pengosongan | 7 |
| III. Pembuatan Komponen B | |
| - Pemasukan dan pencairan MDI | 92 |
| - Transfer dan pemasukan poliol | 10 |
| - Reaksi polimerisasi | 150 |
| - Penambahan solven | 5 |
| - Pengadukan | 28 |
| - Pengosongan | 15 |
| Total proses | 720 |

Produksi resin 2 komponen digunakan untuk simulasi dan analisa sebab untuk membuatnya diperlukan peralatan terbanyak dan berdasarkan survei merupakan yang terbanyak diproduksi. Bahan baku yang digunakan: minyak jarak, anhidrida suksinat, neopentil glikol, ZnO (katalis), 4,4'-Diphenylmethane Diisocyanat (MDI; sebagai poliisocyanat), Metil Etil Keton (solven), CaO (*filler*), Tetra Etil Silikon (aditif).

4.3 Pertimbangan Keselamatan dan Lingkungan

Berdasarkan bahan dan proses yang dijelaskan sebelumnya maka perlu diantisipasi beberapa hal yang dapat mempengaruhi keselamatan dan lingkungan.

4.3.1 Bahan Berbahaya

Pada bagian ini akan dibahas bahaya yang mungkin timbul dari bahan atau senyawa yang terlibat dalam proses. Senyawa berbahaya bersumber dari bahan baku maupun hasil reaksi kimianya.

MDI, NPG dan MEK yang menguap dan terhirup dalam pernafasan dapat mengiritasi saluran pernafasan. Uap MDI diatas TLV-

nya (0,005 ppm) dapat menyebabkan kerusakan permanen paru-paru. Zat-zat ini dan anhidrida suksinat dapat menimbulkan iritasi pada kulit dan saluran pencernaan.

Produk pembakaran dari MDI (di antaranya CO dan HCN) dan anhidrida suksinat berbahaya bagi kesehatan. MEK bersifat volatil (tekanan uapnya 100 mmHg pada 25°C) dan relatif mudah terbakar. Maka, zat-zat ini perlu dijauhkan dari sumber panas atau api.

Untuk mengurangi dampak negatif terhadap pekerja akibat kontak dengan tubuh dalam penanganan bahan-bahan ini maka pekerja yang bersangkutan wajib mengenakan sarung tangan, masker dan kacamata pengaman. Pengelolaan limbah cair yang mengandung NPG dan bahan terlarut lainnya ialah dengan diencerkan dengan air sampai spesifikasi yang ditentukan, kemudian dibuang ke *waste water treatment plant* kawasan industri.

Untuk mengatasi polusi udara karena MEK dan materi volatil lainnya, langkah yang perlu diperhatikan adalah mencegah sedapat mungkin kebocoran dan tumpahan serta kontak langsung dengan udara pada saat pemindahan. Untuk mengurangi pencemaran dari hasil pembakaran maka dilakukan pengontrolan kondisi *fired heater* saat operasi (misalnya jumlah udara pembakaran) dan perawatan peralatan secara teratur. Selain itu, untuk mengurangi dampak gas buang hasil pembakaran maka letak *fired heater* dijauhkan dari tempat yang banyak aktifitasnya, seperti: ruang kantor, laboratorium, dan sebagainya.

4.3.2 Proses Berbahaya

Proses berbahaya di pabrik ini adalah proses yang melibatkan temperatur dan tekanan tinggi. Temperatur dan tekanan tinggi terjadi pada reaktor pembuatan polioli, dimana dicapai temperatur 240 °C dan tekanan 4 atm.

Untuk mengontrol temperatur tidak terlalu tinggi maka pendinginan harus terkontrol dengan baik. Air pendingin akan menyerap panas berlebih sehingga temperatur dan tekanan uap dalam reaktor

tidak mencapai tingkat yang membahayakan. Pemasangan katup pelepas tekanan akan membuang tekanan berlebih yang dapat membahayakan. Isolasi pada dinding luar reaktor dipasang agar temperatur di sekitar reaktor tidak membahayakan manusia dan lingkungan di sekitarnya.

Selain itu, pengoperasian pomprasian pompa, mixedan

memiliki potensi untuk menimbulkan polusi suara. Akan tetapi karena letak pabrik di dalam kawasan industri, maka diharapkan polusi suara ini tidak akan mengganggu penduduk. Selain itu, di sekitar lokasi pabrik ditanami rumpun-rumpun bambu yang dapat juga menanggulangi polusi suara terhadap lingkungan. Di dalam lokasi pabrik sendiri, peralatan sumber-sumber polusi suara diletakkan pada suatu bangunan (*housing*) sehingga tidak terlalu menimbulkan polusi di sekitar sumber. Selain itu, di dalam daerah unit produksi digunakan pelindung pendengaran untuk mengurangi intensitas suara yang sampai ke telinga.

4.4 Neraca Massa dan Energi

Neraca massa dan energi dibuat berdasarkan simulasi dengan bantuan simulator CHEMCAD 5.2. Dengan perkiraan waktu operasi selama 330 hari per tahun dan 3 batch per hari maka produksi per batch adalah sekitar 8458 kg. Selanjutnya, dapat dibuat neraca massa dan perhitungan efisiensi karbon.

Tabel 3.
Neraca Massa Keseluruhan per Batch

| Aliran Masuk | Massa (kg) | Aliran Keluar | Massa (kg) |
|--------------|------------|---------------|------------|
| 1 | 918,2 | 11 | 74,1 |
| 2 | 316,5 | 19 | 2.955,2 |
| 3 | 4,0 | 24 | 5.428,6 |
| 4 | 609,3 | - | - |
| 5 | 9,3 | - | - |
| 15 | 1.477,6 | - | - |
| 16 | 83,8 | - | - |
| 17 | 838,4 | - | - |
| 21 | 2.714,3 | - | - |
| 22 | 1.486,6 | - | - |
| Total | 8458 | Total | 8458 |

Tabel 4.

Perhitungan Efisiensi Karbon

| No. | Asal Karbon | Jumlah Karbon (mol) |
|------------------|--------------------|---------------------|
| 1 | Minyak Jarak | 55.901,388 |
| 2 | Anhidrida Suksinat | 12.649,280 |
| 3 | Neopentil Glikol | 29.251,505 |
| 4 | MDI | 89.461,815 |
| 5 | Poliol | 27.500,679 |
| 6 | Prepolimer | 129.002,852 |
| Efisiensi Karbon | | 83,57 % |

Neraca massa dan perhitungan efisiensi karbon dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4. Dari perhitungan ini dapat diketahui bahwa efisiensi karbon adalah sebesar 83,57%. Artinya, 83,57% karbon dalam bahan baku terkonversi menjadi produk.

Neraca energi dapat dilihat pada Tabel 5. Dari neraca energi ini dapat dihitung efisiensi energi seperti diperlihatkan Tabel 6. Kehilangan energi adalah 6,17%. Efisiensi energi tergolong tinggi (93,83%) sebab proses yang baik mempunyai kehilangan energi di bawah 30 %. Hal ini mungkin disebabkan karena reaksi kimia dan pertukaran panas banyak terjadi pada saat pembuatan polioliol, hanya melibatkan sekitar 23% dari massa yang terlibat dalam proses pembuatan resin.

Tabel 5.
Neraca Energi Keseluruhan per Batch

| Energi Masuk * | Energi (kJ/batch) | Energi Keluar pada Produk* | Energi (kJ/batch) |
|--------------------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| 1 | 3.002.019 | 19 | 17.533.630 |
| 2 | 1.655.484 | 24 | 17.146.400 |
| 3 | 17.076 | - | - |
| 4 | 3.141.698 | - | - |
| 5 | 32 | - | - |
| 15 | 5.572.054 | - | - |
| 16 | 189.941 | - | - |
| 17 | 9.491.856 | - | - |
| 21 | 10.235.720 | - | - |
| 22 | 1.157.228 | - | - |
| Pompa dan agitator R-101 (pemanasan) | 211.822 | - | - |
| R-102 (pemanasan) | 1.031.020 | - | - |
| | 171.780 | - | - |
| Total | 35.877.730 | Total | 34.680.030 |

* nomor menandakan nomor aliran sesuai Gambar 1

Tabel 6.
Perhitungan Efisiensi Energi

| Energi (kJ/batch) | Jumlah |
|-------------------------------------|------------|
| Energi masuk proses utama | 35.877.730 |
| Energi keluar pada produk | 34.680.030 |
| Kehilangan energi pada proses | 1.197.700 |
| Kehilangan energi pada | 212.813 |
| Kehilangan energi pada <i>freed</i> | 802.000 |
| Persentase kehilangan energi | 6,17% |

Berdasarkan simulasi juga dapat dihitung pemakaian utilitas. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7.
Pemakaian Utilitas

| Utilitas | Kebutuhan | Satuan |
|---------------|-----------|-----------------------|
| Listrik | 58,856 | kWh/batch |
| Air Pendingin | 1126879 | kg/batch |
| Air Limbah | 75,298 | m ³ /batch |
| Nitrogen | 6,04 | kg/batch |
| Fuel Gas | 1,203 | MJ/batch |

4.5 Spesifikasi Peralatan Utama

Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai spesifikasi peralatan utama. Untuk material konstruksi, baja karbon (*Carbon Steel*, CS) banyak digunakan karena mampu menangani kondisi operasi dan harganya relatif murah. Namun, dinding dalam reaktor polioliol dilapisi gelas karena campuran reaksi mengandung asam suksinat yang bersifat korosif.

Pompa jenis sentrifugal akan digunakan untuk mengalirkan kondensat. Pemilihannya dikarenakan viskositas kondensat yang rendah, biaya yang murah dan kemudahan perawatan. Untuk cairan dengan viskositas tinggi, pompa sentrifugal tidak sesuai sebab jenis ini tidak *self priming* dan performanya turun dengan tingginya viskositas. Untuk mengalirkan polioliol dan keluaran reaktor polimerisasi akan digunakan pompa berjenis *rotary positive displacement* dengan tipe roda gigi (*gear*). Pompa jenis *gear* memiliki kemampuan *self priming* dan laju alirannya konstan [8]. Untuk keluaran mixer yang merupakan suspensi padatan dengan viskositas tinggi maka pompa jenis *resiprocating* akan digunakan.

Jumlah setiap pompa akan digandakan supaya bila ada pompa yang rusak dan harus diperbaiki maka pompa pasangannya dapat menggantikan. Spesifikasi pompa-pompa yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8.
Spesifikasi Pompa

| No. Alat | P-101 A/B | P-102 A/B | P-103 A/B | P-104 A/B |
|-------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Tipe | Gear | Sentrifugal | Resiprocating | Gear |
| Q (m ³ /mot) | 97,61 | 49,54 | 106,34 | 98,35 |
| Head (m) | 3,544 | 3,549 | 3,262 | 3,544 |
| Efisiensi | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 0,5 |
| Daya (kW) | 0,814 | 0,247 | 2,386 | 0,894 |
| Material | CS | CS | CS | CS |

Reaktor digunakan sebagai tempat reaksi pembentukan polioli dan polimerisasi. Reaktor dilengkapi jaket dan koil untuk mengatur temperatur material yang diolah. Pada reaktor polioli fluida pemanasnya adalah minyak pemanas sebab temperatur tertinggi selama reaksi adalah 240 °C, yang sesuai untuk pemanasan oleh minyak pemanas. Pada reaktor polimerisasi air pemanas masuk jaket pada temperatur 78°C untuk mencairkan MDI. Adapun spesifikasi reaktor dapat dilihat pada Tabel 9.

Untuk pengadukan di kedua reaktor digunakan *impeller* berjenis turbin berinklinasi. Jenis ini efektif membantu pertukaran panas bahan yang direaksikan dengan dinding reaktor atau koil selain sesuai untuk pencampuran material dengan viskositas tinggi [7]. Untuk mencegah timbulnya pusaran dinding dalam reaktor dipasang *baffle*.

Mixer digunakan untuk mencampur zat pembentuk komponen A suatu produk 2 komponen. *Impeller* yang digunakan berjenis turbin berinklinasi, yang akan memberikan arah aliran aksial dan radial sehingga pencampuran menjadi lebih baik [7]. Untuk mencegah terbentuknya pusaran maka di bagian dalam dinding mixer dipasang *baffle*. Adapun spesifikasi mixer dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 9.
Spesifikasi Reaktor

| No. Reaktor | R-101 | R-102 |
|--------------------|--------------------------|--------------------------|
| Tipe | Berpengaduk, HE-Internal | Berpengaduk, HE-Internal |
| V(m ³) | 3,428 | 11,061 |
| L (m) | 2,112 | 3,715 |
| D (m) | 1,354 | 1,857 |
| Material | CS, Inner Glass-Lined | CS |

Heat Exchanger (HE) Internal

Jaket

| | | |
|---------------------|----------------|-------------|
| Tebal, cm | 4,90 | 8,53 |
| A (m ²) | 7,188 | 5 |
| Media | Minyak Pemanas | Air Pemanas |

Koil

| | | |
|---------------------|---------------|---------------|
| Jenis pipa | IPS; 1,5 in | IPS; 1,5 in |
| A (m ²) | 4,379 | 1 |
| Media | Air Pendingin | Air Pendingin |

Agitator

| | | |
|-----------|---------------------|---------------------|
| Tipe | Turbin Berinklinasi | Turbin Berinklinasi |
| D (m) | 0,677 | 0,9285 |
| Daya (kW) | 3,178 | 22,37 |

Kondenser berfungsi mengkondensasikan uap yang keluar dari reaktor saat tekanan reaktor 4 atm. Jenis heat exchanger yang digunakan adalah pipa konsentris (*double pipe*) karena luas permukaan yang dibutuhkan untuk perpindahan panas kecil, yaitu 0,9 m². Adapun spesifikasi kondenser dapat dilihat pada Tabel 11.

Tangki digunakan untuk mengkondensasi dan menampung uap air yang mengandung NPG yang tidak terkondensasi di kondenser. Di bagian bawah tangki disediakan *sparger* agar uap membentuk gelembung dan transfer panas secara langsung antara uap dengan air berlangsung baik. Adapun spesifikasi tangki dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 10.
Spesifikasi Mixer

| No. Alat | V-101 |
|---------------------|---------------------|
| Vessel | |
| V (m ³) | 3,522 |
| L (m) | 1,743 |
| D (m) | 1,484 |
| Material | CS |
| Agitator | |
| Tipe | Turbin Berinklinasi |
| Kecepatan (rpm) | 125 |
| Diameter (m) | 0,742 |
| Daya (kW) | 2,869 |

Tabel 11.
Spesifikasi Kondenser

| No. Alat | E-101 |
|-----------------------------|----------------------|
| Tipe | Double Pipe |
| Fluida Panas | Uap Keluaran Reaktor |
| T masuk (°C) | 236 |
| T keluar (°C) | 135 |
| Fluida Dingin | Air Pendingin |
| T masuk (°C) | 30 |
| T keluar (°C) | 50 |
| LMTD (°C) | 142 |
| U (W/m ² K) | 851 |
| Luas area (m ²) | 0,9 |
| Material | CS |

Tabel 12.
Spesifikasi Tangki

| No. Alat | TK-101 |
|---------------------|-----------------------------------|
| Tipe | Fixed, flat head, memakai sparger |
| V (m ³) | 1,5 |
| L (m) | 2,58 |
| D (m) | 0,86 |
| Berat (kg) | 347,7 |
| Material | CS |

4.6 Investasi dan Perhitungan Ekonomi

4.6.1 Biaya Pabrik dan Biaya Manufaktur

Analisis ekonomi diawali dengan memperkirakan biaya pengadaan peralatan berdasarkan data harga yang dibuat oleh Garret [10] dan data *cost index*, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 13. Total biaya pengadaan peralatan adalah sebesar US\$ 343,372.

Selanjutnya data ini digunakan untuk memperkirakan total biaya pabrik berdasarkan pendekatan oleh Garret [10]; hasilnya ditunjukkan oleh Tabel 14.

Biaya pembangunan pabrik polyurethane berbasis minyak jarak ini adalah sebesar US\$ 2.5 juta atau Rp 21 miliar. Biaya manufaktur dihitung berdasarkan neraca massa dan energi dari analisis aspek teknis, yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 15. Dari Tabel 15 dapat diketahui bahwa besar biaya manufaktur tiap tahun adalah sekitar US\$ 16.5 juta. Dengan berbasis kapasitas 8.300 ton/tahun, maka besar biaya manufaktur tiap ton produk adalah US\$ 1,928.

Tabel 13.
Perkiraan Biaya Pengadaan Peralatan

| Peralatan | No. | Jumlah | Biaya (US\$) |
|---------------|--------|--------|----------------|
| Reaktor | R-101 | 1 | 72,000 |
| Reaktor | R-102 | 1 | 87,500 |
| Kondenser | E-101 | 1 | 23,400 |
| Mixer | V-101 | 1 | 9,000 |
| Pompa | P-101 | 2 | 4,400 |
| Pompa | P-102 | 2 | 5,880 |
| Pompa | P-103 | 2 | 32,340 |
| Pompa | P-104 | 2 | 4,400 |
| Tangki | TK-101 | 1 | 750 |
| Fired Heater | | 1 | 39,102 |
| Cooling tower | | 1 | 64,600 |
| Total | | | 343,372 |

6.2 Kelayakan Ekonomi

Aliran kas tahunan diperkirakan berdasarkan asumsi-asumsi variabel input seperti yang terdapat pada Tabel 16. Berdasarkan perkiraan aliran kas, selanjutnya dilakukan perhitungan parameter kelayakan, yaitu: ROI, POP, NPT, NPV, IRR, dan BEP. Kelima parameter pertama dirangkumkan pada Tabel 17, sedangkan BEP akan ditampilkan pada Gambar 2. Dari Tabel 17 terlihat bahwa semua parameter memenuhi syarat kelayakan bagi suatu investasi

Tabel 14.
Perkiraan Biaya Pabrik

| Komponen | Nilai (US\$) | Total (US\$) |
|---|--------------|-------------------|
| Total Biaya Langsung (BL) | | 1,208,972 |
| Pengadaan Peralatan (P) | 343,372 | |
| Perpipaan | 145,933 | |
| Kelistrikan | 42,922 | |
| Instrumentasi | 68,674 | |
| Utilitas | 103,012 | |
| Pondasi | 27,470 | |
| Insulasi | 17,169 | |
| Pengecatan, perlindungan kebakaran, keselamatan | 20,602 | |
| Perbaikan pekarangan | 27,470 | |
| Lingkungan | 34,337 | |
| Bangunan | 103,012 | |
| Tanah | 275,000 | |
| Total Biaya Tidak Langsung (BT) | | 437,799 |
| Konstruksi, engineering | 180,270 | |
| Biaya Kontraktor | 94,427 | |
| Kontigensi | 163,102 | |
| Total Biaya (B) | | 1,646,771 |
| Fasilitas Off-Site (OS) | 243,966 | |
| Start-Up Pabrik (SU) | 182,975 | |
| Modal Kerja (MK) | 365,949 | |
| Total Biaya Pabrik (TB) | | 2,439,661 |
| Total Biaya Pabrik dalam 1000Rp* | | 20,249,186 |

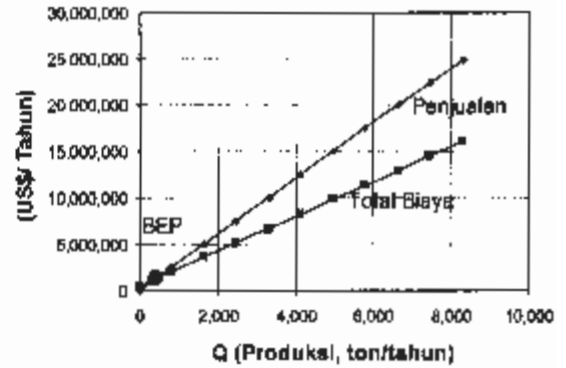
* 1US\$ = Rp 8.300,00

Tabel 15.
Perkiraan Biaya Manufaktur

| | Nilai (US\$/thn) | Total (US\$/tha) |
|--|------------------|-------------------|
| TOTAL BIAYA VARIABEL (BV) | | 15,521,522 |
| Bahan Baku | | 9,956,202 |
| Utilitas | | 13,663 |
| Tenaga Kerja Operasi (TO) | | 43,200 |
| Biaya Terkait Tenaga Kerja Operasi (TO), total | | 30,456 |
| <i>Fringe Benefit</i> | 14,472 | |
| Supervisi dan tenaga lainnya | 9,504 | |
| Biaya Laboratorium | 6,480 | |
| Biaya Terkait Penjualan (S), total | | 3,478,000 |
| Paten dan Royalti | 622,500 | |
| Pengemasan dan Penyimpanan | 871,500 | |
| Biaya Administrasi | 1,494,000 | |
| Biaya Distribusi dan Penjualan | 1,494,000 | |
| Penelitian dan Pengembangan | 996,000 | |
| TOTAL BIAYA TETAP (BT) | | 484,945 |
| Biaya Bunga | | - |
| Biaya Terkait Kapital (TB-MK), total | | 484,945 |
| Biaya Pemeliharaan | 103,686 | |
| Biaya Suplai Operasi | 31,106 | |
| Lingkungan | 41,474 | |
| Depresiasi | 163,519 | |
| Pajak Lokal, Asuransi | 82,948 | |
| Biaya Overhead Pabrik | 62,211 | |
| TOTAL BIAYA MANUFAKTUR | | 16,491,411 |

Tabel 16.
Variabel Input

| Variabel Input | Nilai |
|--------------------------------|---------------|
| Besar Pinjaman dari Modal | 0% |
| Tingkat Bunga Pinjaman | 8% |
| Tingkat Diskonto | 8% |
| Pajak Pendapatan Perusahaan | |
| < Rp 25 juta | 10% |
| Rp 25-50 juta | 15% |
| > Rp 50 juta | 30% |
| Nilai tukar | Rp8,300/US\$ |
| Metode Depresiasi | Garis Lurus |
| Umur Ekonomis | 11 tahun |
| Lama Konstruksi | 2 tahun |
| Nilai Sisa | diabaikan |
| Skema Besar Produksi | bertahap |
| Harga Jual | US\$3,000/ton |
| Rasio Investasi th I dan th II | 60:40 |



Gambar 2.
Break-Even Point

Tabel 17.
Parameter Kelayakan

| Parameter | Kriteria | Hasil |
|-----------|---------------|------------------|
| | Kelayakan | Perhitungan |
| ROI | Nilai Positif | 176,94 % |
| POP | < 8 tahun | 2,03 tahun |
| NPT | <11 tahun | 2,34 tahun |
| NPV | Nilai Positif | US \$ 22,459,006 |
| IRR | > 8% | 44,30% |

Dari Gambar 2, terlihat bahwa BEP terjadi pada waktu produksi sebesar 429 ton/tahun. Maka, dengan kapasitas 8.300 ton/tahun, pabrik layak untuk dibangun.

4.6.3 Analisis Sensitivitas

Hasil analisa sensitivitas dapat dilihat pada Tabel 18. Nilai deviasi yang negatif menunjukkan nilai batas kelayakannya adalah nilai maksimumnya, dan sebaliknya.

Pengaruh paling signifikan pada kelayakan proyek ini adalah harga jual produk, lalu selanjutnya berturut-turut volume produksi, kapasitas terpasang, harga MEK, harga MDI, harga minyak jarak, harga NPG, dan harga anhidrida suksinat.

Tabel 18.
Ringkasan Analisis Sensitivitas

| Perubahan | Nilai pada Kasus Dasar | Batas Kelayakan | |
|--------------------------|------------------------|-----------------|---------|
| | | Nilai | Deviasi |
| Harga Jual Produk | US\$3,000/ton | US\$2,034/ton | -32% |
| Harga Minyak Jarak | US\$1,200/ton | US\$7,242/ton | 504% |
| Harga Anhidrida Suksinat | US\$1,540/ton | US\$19,070/ton | 1138% |
| Harga NPG | US\$1,800/ton | US\$10,905/ton | 506% |
| Harga MDI | US\$2,100/ton | US\$5,832/ton | 178% |
| Harga MEK | US\$800/ton | US\$2,124/ton | 166% |
| Volume Produksi | 6,400ton/tahun* | 1,855ton/tahun | -71% |
| Kapasitas Terpasang | 8,000ton/tahun | 586ton/tahun | -93% |

*kasus dasar berdasarkan pada keadaan *steady*

5. Kesimpulan

1. Berdasarkan analisis pasar maka kapasitas pabrik didesain 8.300 ton/tahun.
2. Pembuatan monomer polioli resin polyurethane untuk aplikasi *coating*, *adhesive* dan *binder* ialah melalui modifikasi minyak jarak dengan NPG dan anhidrida suksinat.
3. Peralatan utama yang dibutuhkan adalah: 2 reaktor, 1 mixer, 4 pompa, 1 kondenser, 1 tangki.
4. Proses yang digunakan memiliki kinerja yang ditunjukkan dengan efisiensi karbon sebesar 83,57% dan efisiensi energi sebesar 93,83%.
6. - Pendirian pabrik ini membutuhkan investasi sebesar Rp21 Miliar atau US\$ 2.5 juta, dimana biaya manufaktur sebesar US\$ 1,928/ton-produk
- Analisa parameter kelayakan menunjukkan pabrik layak dibangun secara ekonomis. Parameter paling sensitif yang mempengaruhi kelayakan pabrik adalah harga produk, yang tidak boleh kurang dari US\$ 2,034/ton

Berdasarkan hal-hal tersebut maka dapat dikatakan bahwa pabrik polyurethane berbasis minyak jarak adalah layak dibangun.

Notasi

| | |
|------|--|
| A | Luas permukaan pertukaran panas, m ² |
| D | Diameter, m |
| L | Tinggi silinder bejana, m |
| LMTD | Beda temperatur rata-rata logaritmik, °C |
| Q | Laju alir volumetrik, m ³ /menit |
| U | Koefisien perpindahan panas keseluruhan, J/(m ² .s.K) |

Daftar Pustaka

1. Kasukawa, et al. "Curebale Urethane Composition", United States Patent No. 4,603,188, (1986).
2. U. Gerber, et al., "Polyhydroxyl-Compositions Derived from Castor Oil with Enhanced Reactivity Suitable for Polyurethane-Synthesis", U.S. Patent

- | Application | Publication | No. |
|-------------|---|---------------------------|
| | | 2002/0035235 A1, (2002). |
| 3. | PT Data Consult, "Indonesian Plastic Resin", Jakarta, 1999. | |
| 4. | G. Oerthel, "Polyurethane Handbook", Hunser, Munich, 1994. | |
| 5. | Diskusi dengan PT. Aristek High Polymer | |
| 6. | L. Brownell and E. Young, "Process Equipment Design: Vessel Design", John Willey and Sons, India, 1959. | |
| 7. | M. Walas, S, "Process Equipment: Selection and Design", Butterworth-Heinemann, USA, 1988. | |
| 8. | S. Peters, M. and D. Timmerhaus, K, "Plant Design and Economics for Chemical Engineers", McGraw-Hill, Inc., New York, 1991. | |
| 9. | Q. Kern, D., "Process Heat Transfer", McGraw-Hill International Student Edition, 1983. | |
| 10. | Garret, Donald E., "Chemical Engineering Economics", Van Nostrand Reinhold, New York, 1989. | |