

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan terhadap kimia terus berkembang dan menjadi bertambah, salah satunya merupakan kebutuhan polimer. Kebutuhan dalam alat-alat berbahan dasar polimer memiliki lingkup penggunaan yang sangat luas. Industri polimer banyak digunakan dalam ataupun alat- alat kebutuhan rumah tangga. Beberapa contoh penggunaan polimer dalam keperluan sehari-hari, antara lain serat-serat tekstil poliester dan nilon, plastik polietilena untuk botol susu, dan plastik poliuretana untuk jantung buatan (Admadi H & Arnata, 2015). Contoh dari polimer adalah polikarbonat (Sari, 2008).

Polikarbonat merupakan salah satu jenis polimer termoplastik, mudah dibentuk dalam kondisi panas. Dalam kimia masa kini, polikarbonat digunakan sangat luas dalam beberapa kebutuhan. Polikarbonat mempunyai banyak keunggulan, tahan dalam kondisi termal dengan jenis polimer lain, tahan benturan, serta tembus pandang. Polikarbonat merupakan salah satu jenis polimer dengan struktur tembus pandang serta dapat mencapai ketebalan 5 cm (Takeuchi, 2012).

Polikarbonat adalah bahan ideal yang terkenal dan banyak digunakan di karena karakteristiknya yang serbaguna, pemrosesan yang ramah lingkungan, serta kemampuan untuk didaur ulang. Polikarbonat memiliki sifat kimia dan fisik yang unik sehingga ideal untuk produksi kaca, PMMA dan PE. Sesuai dengan kondisi penggunaan yang sangat luas, maka semakin bertambahnya industri polimer terutama kebutuhan polimer jenis polikarbonat.

Berawal dari hal ini maka diperlukannya perencanaan dalam mendirikan pabrik polikarbonat di Indonesia, sehingga kebutuhan akan polikarbonat senantiasa dapat dipenuhi (Shreve & Austin, 1984).

1.2 Maksud dan Tujuan

1.2.1 Maksud

Prarancangan pabrik polikarbonat ini dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan konsumsi polikarbonat di Indonesia.

1.2.2 Tujuan

Kebutuhan penggunaan polikarbonat dalam alat-alat berbahan dasar semakin meningkat namun produksi dalam negeri belum sepenuhnya memenuhi kebutuhan penggunaan sehingga negara masih mengimpor polikarbonat dari negara lain.

Tujuan prarancangan pabrik adalah selain untuk menerapkan disiplin ilmu teknik kimia dan juga untuk memenuhi kebutuhan konsumsi dan meningkatkan produk diharapkan dapat memenuhi kebutuhan pasar dalam negeri dan menghentikan ketergantungan impor serta menghemat devisa negara.

1.3 Analisa Pasar

1.3.1 Ketersediaan Bahan Baku

Pada pembuatan polikarbonat ini menggunakan metode *melt transesterifikasi*. Proses ini memerlukan bahan baku *bisphenol-A* dan *diphenyl carbonate* serta memerlukan katalis LiOH-H₂O. Bahan baku *bisphenol-A* yang digunakan dalam pembuatan polikarbonat diperoleh dari Tianjin Longruida Business & Trade Development Co., Ltd. yang berlokasi di Tianjin, China. Untuk bahan baku *diphenyl carbonate* diperoleh dari Henan Tianfu Chemical Co., Ltd. yang berlokasi di ZhengZhou, Henan, China, sedangkan untuk LiOH-H₂O diperoleh dari Sincere Union Imp & Exp Co Ltd. yang berlokasi di Hebei, China.

1.3.2 Kebutuhan Produk

Kebutuhan polikarbonat di Indonesia semakin meningkat terlihat dari banyaknya produk yang dihasilkan dari polikarbonat yaitu, produk kemasan atau wadah makanan, bangunan, optikal medis, elektrikal dan elektronik.

Industri properti saat ini juga mengalami peningkatan, hal ini didukung dengan pemaparan Direktur Eksekutif *Jakarta Property Institute* Wendy Haryanto yang menyatakan bahwa, sektor properti telah berkontribusi signifikan dalam pertumbuhan perekonomian Indonesia yang melibatkan 117 sektor di Jakarta dengan menyumbang sekitar Rp 32.3 triliun atau 17.61% pada tahun 2019 (Kompas, 2020).

Polikarbonat merupakan salah satu material yang banyak digunakan untuk menggantikan kaca pada sebuah bangunan (Agarwal dan Gupta, 2011) karena memiliki sifat yang ringan, transmisi cahaya yang baik dan insulasi yang baik (Brownell, 2013: Montella, 1985), polikarbonat juga memiliki kelebihan karena harganya yang lebih murah daripada kaca dan mudah untuk dipasang (Albertine, 2011).

Polikarbonat juga merupakan salah satu jenis termoplastik yang memiliki *impact strength* yang sangat besar dibandingkan dengan jenis termoplastik lainnya. Polikarbonat dalam arsitektur digunakan sebagai selubung bangunan atau pembatas antara lingkungan interior dan eksterior dari sebuah bangunan. Penggunaan polikarbonat sebagai selubung bangunan memiliki berbagai keuntungan yaitu, memiliki kejernihan, ringan, kuat, tahan terhadap benturan, memiliki transmisi cahaya yang baik, stabil terhadap suhu, tidak memiliki perubahan bentuk apabila diberi beban, tahan terhadap air, dan tahan lama (Felixon, 2011).

1.4 Perhitungan kapasitas

Kebutuhan akan polikarbonat di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Untuk memenuhi kebutuhan penggunaan maka dilakukan perencanaan pendirian pabrik polikarbonat dengan pertimbangan yang memperhitungkan peluang kapasitas produksi. Peluang kapasitas produksi ditentukan dari kebutuhan impor, ekspor, serta produksi polikarbonat di Indonesia. Untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, Indonesia masih mengimpor dari negara lain seperti Jepang, Filipina, Malaysia, Singapura, Jerman dan Amerika Serikat (Badan Pusat Statistik, 2020).

Berikut merupakan data impor, ekspor, dan produksi polikarbonat Indonesia setiap tahunnya.

Tabel 1.1. Data Impor, Ekspor, dan Produksi Polikarbonat di Indonesia

Tahun	Impor (kg)	Ekspor (kg)	Produksi (kg)
2015	40,780,886	607,614	56,415,000
2016	47,549,017	2,419,562	20,277,000
2017	45,748,337	3,946,382	20,600,000
2018	53,555,194	3,375,895	30,072,0020
2019	57,665,294	7,177,079	39,000,000
Rata-rata pertahun	55,649,485.8	4,003,513.358	33,273,000

(Sumber : Kemenperin, 2019 dan *Annual Report* PT. Impack Indonesia)

Dikarenakan tidak ditemukannya data konsumsi dalam negeri maka, digunakan data impor, ekspor dan produksi untuk menggantikan data konsumsi dalam negeri dengan rumus:

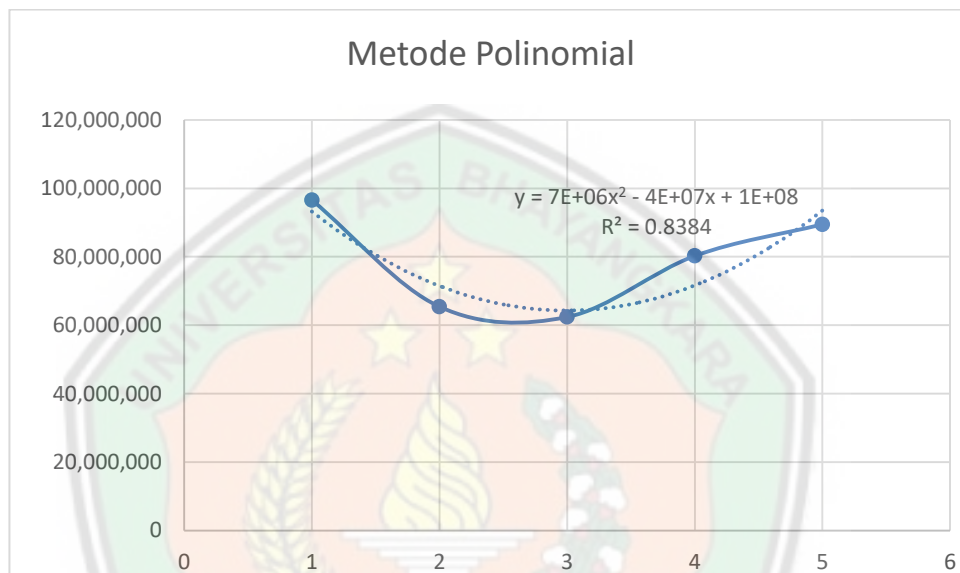
$$y = \text{impor} - \text{ekspor} + \text{jumlah produksi dalam negeri} :$$

Tabel 1.2. Perhitungan Data Konsumsi Dalam Negeri

Tahun	X	y (kg)
2015	1	96,588,272
2016	2	65,406,455.36
2017	3	62,401,955.44
2018	4	80,251,298.55
2019	5	89,488,214.95

Σ		394,136,196
----------	--	-------------

Dari tabel diatas, peluang kapasitas pabrik polikarbonat untuk tahun 2025 dapat diprediksi menggunakan persamaan dengan metode polinomial, dengan persamaan garis lurus antara kode tahun sebagai sumbu x dan data y sebagai sumbu y.



Gambar 1.1. Grafik Peluang Kapasitas Pabrik Polikarbonat

Dari grafik perhitungan kapasitas dengan metode polinomial diatas, didapat nilai $R^2 = 0.8384$ dan $y = 7 \times 10^6 (x^2) - 4 \times 10^7 (x) + 1 \times 10^8$. Untuk menghitung kebutuhan polikarbonat pada tahun 2025 dengan $x = 11$ yang merupakan selisih tahun, didapat kapasitas produksi pada tahun 2025 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 y &= 7 \times 10^6 (x^2) - 4 \times 10^7 (x) + 1 \times 10^8 \\
 &= (7 \times 10^6)(11^2) - (4 \times 10^7)(11) + (1 \times 10^8) \\
 &= 507,000,000 \text{ kg} \quad = \quad 507,000 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

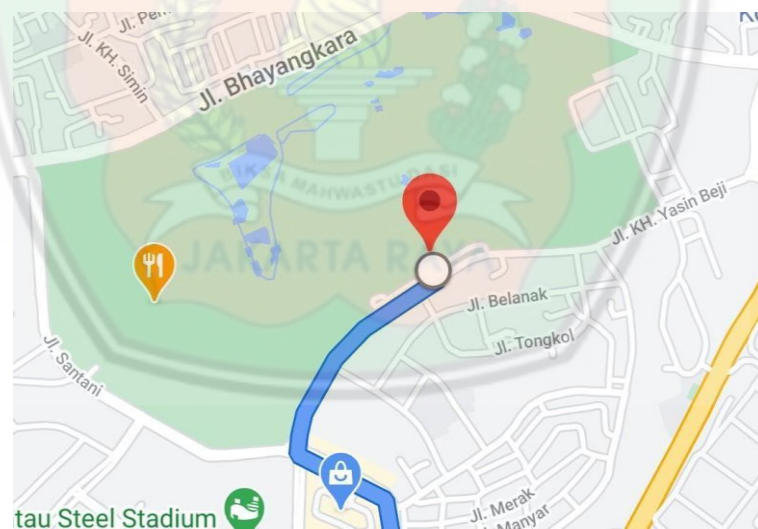
Dari perhitungan persamaan y diatas maka didapat nilai peluang pabrik untuk produksi polikarbonat di Indonesia pada tahun 2025 sebesar 507,000 ton/tahun.

$$\begin{aligned}
 y &= 507,000 \text{ ton} \\
 &= 5\% \times 507,000 \\
 &= 25,350 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil diatas maka dilakukan pertimbangan untuk kapasitas pabrik polikarbonat di Indonesia pada tahun 2025 sebesar 25,000 ton/tahun, menyesuaikan rata-rata produksi pabrik polikarbonat dalam negeri.

1.5 Lokasi Pabrik

Pabrik polikarbonat direncanakan akan dibangun di Kawasan Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC), Cilegon, Banten. Pemilihan ini didasarkan karena dekat dengan jalan raya dan jalan bebas hambatan Jakarta-Merak, jaringan jalan kereta Api Jakarta-Rangkasbitung-Merak, Bandara Udara Internasional Soekarno-Hatta, Pelabuhan Merak, dan Pelabuhan Bojonegara, hal ini memudahkan akses untuk distribusi bahan baku maupun produk.



Gambar 1.2. Peta Kawasan Industri KIEC

(sumber: Google Maps)

Penentuan Lokasi Pabrik didasari oleh beberapa faktor yang diantaranya; ketersediaan baku, pemasaran, utilitas (ketersediaan air, listrik, dan bahan bakar), transportasi, tenaga kerja (Peters, Timmerhaus, & West, 2003). Adapun faktor-

faktor tersebut diuraikan sebagai berikut yang mana merupakan informasi kebutuhan indikasi dalam pemilihan lokasi pabrik:

a. Ketersediaan Bahan Baku

Sumber bahan baku ialah salah satu faktor utama yang berpengaruh terhadap pemilihan lokasi pabrik. Bahan Baku yang digunakan dalam proses pembentukan polikarbonat diimpor dari China, pemilihan lokasi pabrik di Kawasan Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC) memudahkan pendistribusian bahan baku karena lokasi yang sangat strategis.

b. Pemasaran

Lokasi pemasaran atau pendistribusian sangat berpengaruh pada biaya dan waktu yang dibutuhkan. Korelasi antara lokasi pemasaran serta lokasi pabrik menjadi pertimbangan berarti dalam pemilihan lokasi pabrik. Pemilihan Kawasan Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC) sebagai lokasi pabrik didasarkan karena akses jalan, bandara dan juga pelabuhan sangatlah mudah untuk distribusi produk sehingga dapat meminimalisir kebutuhan biaya dan waktu pengiriman.

c. Utilitas

1. Air

Kebutuhan air dalam proses polikarbonat dapat diperoleh dari Kawasan Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC).

2. Listrik

Kebutuhan tenaga listrik dipenuhi oleh PT PLN unit PLTU Suralaya yang lokasinya tidak jauh dari kawasan industri.

d. Transportasi

Transportasi merupakan faktor yang penting bagi pembangunan industri. Daerah Banten memiliki jalan raya dan jalan bebas hambatan Jakarta-Merak, jaringan jalan kereta Api Jakarta-Rangkasbitung-Merak,

Bandara Udara Internasional Soekarno-Hatta, Pelabuhan Merak, dan Pelabuhan Bojonegara.

e. Tenaga kerja

Tenaga kerja atau sumber daya manusia di Indonesia cukup banyak terutama di pulau Jawa, sehingga kebutuhan akan tenaga kerja tidak terlalu sulit memperolehnya.

1.6 Tinjauan Pustaka

1.6.1 Polimer

Polimer adalah molekul yang sangat besar, atau makromolekul, yang dibentuk oleh penyatuan banyak molekul yang lebih kecil. Satuan yang lebih kecil ini disebut monomer sebelum diubah menjadi polimer. Selulosa, lignin, pati, dan karet alam hanyalah beberapa contoh polimer alam lainnya. Pada tahun 1800-an, polimer alam mulai dimodifikasi secara kimiawi untuk menghasilkan banyak bahan, seperti karet vulkanisir, kapas senapan, dan seluloid. Meskipun polimer alami sangat penting, polimer sintetik dibuat oleh reaksi kimia, kemungkinan pembentukan polimer yang berbeda hampir tidak terbatas, hanya dibatasi oleh hukum kimia dan termodinamika dan oleh kreativitas ahli kimia, khususnya polimer sintetik organik. Reaksi kimia dimana polimer disintesis dari monomer disebut polimerisasi; akan tetapi, ini adalah istilah umum, karena ada sejumlah mekanisme kimia yang terlibat dalam reaksi polimerisasi yang berbeda. Polimer seperti poliamida, poli (etilen tereftalat), polikarbonat, poliuretan, polisiloksan, polimida, polimer fenol dan resin, urea, dan polimer melamin formaldehida dapat diperoleh dengan langkah pertumbuhan polimerisasi melalui berbagai jenis reaksi semacam itu sebagai esterifikasi, poliamidasi, formilasi, substitusi, dan hidrolisis (Admadi H & Arnata, 2015).

1.6.2 Polikarbonat

Polikarbonat adalah ester polimer dari asam karbonat dengan diol. Karena sifat fisiknya yang menarik, seperti bobot yang rendah, suhu yang baik dan

ketahanan benturan, dan sifat optik yang sangat baik, khususnya, polikarbonat digunakan untuk banyak produk di bidang teknologi tinggi. Akibatnya, permintaan akan polikarbonat berkualitas tinggi terus meningkat. Jutaan ton polikarbonat berbasis BPA saat ini diproduksi dan digunakan setiap tahun diseluruh dunia (Streng, 2015).

Polikarbonat (PC) merupakan polimer rekayasa termoplastik penting yang memiliki sifat pemrosesan, termal, mekanik, dan optik yang halus. Besarnya ketertarikan dunia akademis dan aplikasi teknis dalam pengembangan material polikarbonat, terutama dalam bidang konstruksi; otomotif; teknologi luar angkasa; dan industri elektronik. Polimer ini mudah diproses, dicetak, dan dibentuk panas. Untuk aplikasi engineering diperlukan sifat penyeimbang seperti tahan panas, tahan benturan, dan faktor optik.

Polikarbonat dapat digunakan untuk aplikasi seperti kapasitor stabilitas tinggi, bahan konstruksi, penyimpanan data, otomotif, pesawat terbang, komponen keamanan, kaca anti peluru, pelindung poster, layar, jendela tahan peluru di mobil, dan perangkat keras listrik dan telekomunikasi. Resin Polikarbonat dibagi dalam dua kategori kimia: rantai lurus alifatik dan aromatik. Polikarbonat alifatik yang dibuat dari CO₂ dan epoksida merupakan termoplastik yang berguna. Polikarbonat aromatik yang paling umum adalah poli (bisphenol A karbonat).

Poli (bisfenol A karbonat) juga merupakan polimer penting yang memiliki banyak aplikasi teknis. Polimer Ini telah digunakan dalam perangkat penyimpanan data optik, jendela antipeluru, kemasan makanan, botol air, dll. Polikarbonat dominan untuk membuat lensa headlamp otomotif karena bobotnya yang rendah dan ketahanan benturan yang tinggi. Selain itu, PC memiliki ketahanan hidrolisis dan pelapukan yang terbatas yang membatasi aplikasinya pada komponen plastik yang terkena air dan kelembaban pada suhu yang lebih tinggi (Kausar, 2018).

Polikarbonat dapat diproduksi dengan polikondensasi karbonat organik dengan diol, atau proses yang menghindari spesies fosgen yang sangat beracun melalui reaksi transesterifikasi diester asam karbonat dengan bisphenol. Produksi polikarbonat melalui reaksi transesterifikasi diester asam karbonat dengan bisphenol umumnya dilakukan setelah proses transesterifikasi leleh. Dalam

sintesis polikarbonat berbasis bisfenol-A, difenil karbonat digunakan sebagai permulaan karbonat organik. Dalam metode yang diketahui dari penemuan sebelumnya, produk reaksi fenol dipisahkan sebagai fenol yang direngkah dalam proses distilasi (Takeuchi, 2012).

Salah satu fraksi pengotor dalam hal ini adalah difenil karbonat, yang berubah fasa ke dalam fasa gas dalam jumlah yang signifikan pada kondisi di mana fenol yang telah direngkah sudah terpisah. Oleh karena itu, fenol yang telah direngkah dengan pengotor yang sedemikian tinggi tidak dapat digunakan lebih lanjut tanpa langkah pemurnian tambahan. Secara khusus, difenil karbonat yang dibawa bersama dengan fenol yang direngkah dan telah hampir sepenuhnya terpisah dari fenol sebagai hasil dari kolom yang digunakan, dan diperoleh pada kemurnian tinggi sehingga dapat diumpankan kembali ke dalam proses. Ini lebih sering disebut sebagai proses peleburan yang memiliki keuntungan menghasilkan suatu produk tidak diencerkan yang dapat diproduksi langsung menjadi pelet (Takeuchi, 2012).

1.7 Tinjauan Kinetika

Tinjauan kinetika kimia digunakan untuk memperkirakan waktu berlangsungnya sebuah reaksi hingga terbentuk produk yang diinginkan yang dapat dihitung melalui rumus laju reaksi untuk menggambarkan seberapa cepat reaktan dikonsumsi atau produk dihasilkan melalui perhitungan berikut ini:

$$E_a = -21,048 \text{ kJ/mol}$$

$$A = 4.890 \times 10^{17}$$

(S. N. Hersh, 1990)

$$T = 180^\circ\text{C} = 453^\circ\text{K}$$

$$R = 8.314$$

$$k = 4.890 \times 10^{17} e^{\left(\frac{-(-21,048 \text{ kJ/mol})}{8.314 \times 453 \text{ K}}\right)}$$

$$k = 1.3073 \times 10^{20}$$

Didapat nilai laju reaksi arah ke kanan sebesar $k = 1.3073 \times 10^{20}$. Dikarenakan reaksi bersifat *reversible* maka dilakukan perhitungan laju reaksi kearah kiri sebagai berikut:

$$E_a = -16,884 \text{ kJ/mol}$$

$$A = 8.180 \times 10^{15}$$

(S. N. Hersh, 1990)

$$T = 180^\circ\text{C} = 453^\circ\text{K}$$

$$R = 8.314$$

$$k = 8.180 \times 10^{15} e^{\left(\frac{-(-16,884 \text{ kJ/mol})}{8.314 \times 453 \text{ K}}\right)}$$

$$k = 7.7701 \times 10^{17}$$

Didapat nilai laju reaksi kearah kiri sebesar $k = 7.7701 \times 10^{17}$. Nilai k yang semakin besar menandakan reaksi berjalan hampir sempurna.

1.8 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika digunakan untuk mengetahui sifat dari reaksi pembentukan produk polikarbonat, apakah reaksi tersebut bersifat endotermis atau eksotermis, berlangsung secara konstan, atau tidak konstan dan menentukan arah reaksi, searah (*irreversible*) atau berbalik (*reversible*).

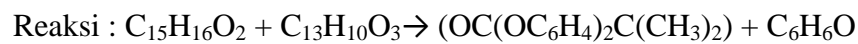
Untuk mengetahui sifat dari reaksi pembentukan, maka dibutuhkan data entalpi pembentukan reaktan, sedangkan untuk mengetahui reaksi berjalan spontan, tidak spontan, atau berada dalam kesetimbangan, maka dibutuhkan perhitungan energi bebas (Gibbs).

Tabel 1.3. Data ΔH°_f Komponen

Komponen	ΔH°_f (kJ/mol)
$\text{C}_{15}\text{H}_{16}\text{O}_2$	-245.6

$C_{13}H_{10}O_3$	44.3
$(OC(OC_6H_4)_2C(CH_3)_2)$	33.6
C_6H_6O	-96.4

(Sumber: Yaw's, Appendix)



$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_{\text{total}} &= \Delta H^\circ_{\text{produk}} - \Delta H^\circ_{\text{reaktan}} \\ &= 33.6 + (-96.4) - ((-245.6) + 44.3) \\ &= 138.5 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dari data diatas, didapat $\Delta H^\circ_{\text{total}}$ bernilai positif yang menunjukkan reaksi pembentukan polikarbonat bersifat endotermis atau membutuhkan panas.

Energi Bebas Gibbs (ΔG) digunakan untuk menentukan apakah reaksi berlangsung secara spontan, tidak spontan, atau berada dalam kesetimbangan. Jika nilai ΔG° adalah negatif maka reaksi dapat berjalan, jika bernilai positif maka reaksi tidak dapat berjalan, sedangkan jika ΔG° adalah nol maka reaksi bersifatspontan.

Tabel 1.4. Data S° f Komponen

Komponen	S° (J/mol $^\circ$ K)
$C_{15}H_{16}O_2$	287.70
$C_{13}H_{10}O_3$	278.40
$(OC(OC_6H_4)_2C(CH_3)_2)$	137
C_6H_6O	144.01

(Sumber:Chemeo dan S.J. Charde)

$$\begin{aligned}\Delta S^\circ &= \Delta S^\circ_{\text{produk}} - \Delta S^\circ_{\text{reaktan}} \\ &= 137 + 144.01 - 287.70 + 278.40 \\ &= 271.71 \text{ J/}^\circ\text{K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ &= \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ \\ &= 138.5 - 453 (271.71) \\ &= -85,452.795 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan energi bebas (Gibbs) diatas, maka dapat disimpulkan reaksi berlangsung spontan atau dapat berjalan.

Untuk mengetahui apakah reaksinya bersifat *irreversible* atau *reversible* (harga K) dapat dihitung dengan persamaan konstanta kesetimbangan.

Konstanta kesetimbangan pada $T_{ref} = 289^\circ\text{K}$ dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ_f &= -R T \ln K \\ \ln K &= \frac{\Delta G^\circ_f \text{ total}}{R \times T} = \frac{-85,452.795}{0.008314 \times 298} = -34,490.5395 \\ K &= -10.4484 \text{ (pada } 298^\circ\text{K)}\end{aligned}$$

Reaksi dijalankan pada temperatur 453°K , sehingga harga konstanta kesetimbangan dihitung sebagai berikut:

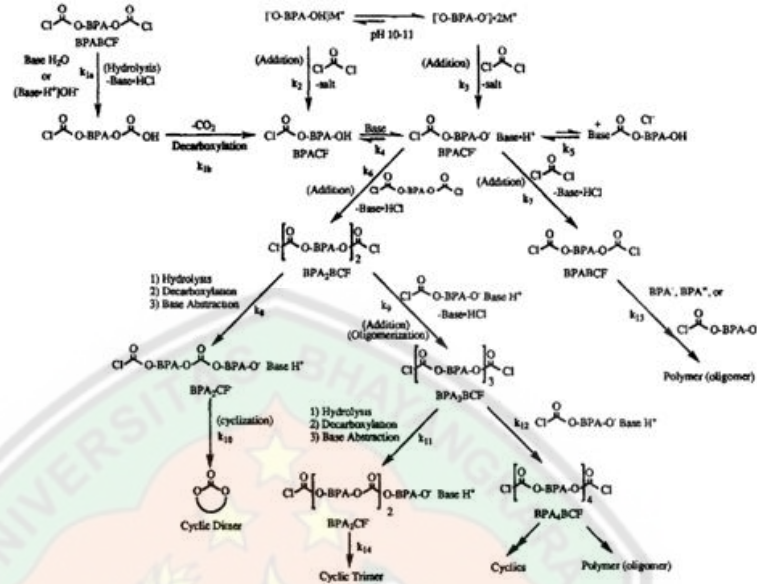
$$\begin{aligned}\Delta G^\circ_f &= -R T \ln K \\ \ln K &= \frac{\Delta G^\circ_f \text{ total}}{R \times T} = \frac{-85,452.795}{0.008314 \times 453} = -22,689.1408 \\ K &= -10.0297 \text{ (pada } 453^\circ\text{K)}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, didapat nilai $K < 1$ yang berarti reaksi bersifat berbalik (*reversible*).

1.9 Proses Pembuatan Polikarbonat

1. Teknologi *Interfacial*

Proses sintesis *interfacial* ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 1.3. Tahap Sintesis *Interfacial* Pembentukan Polikarbonat

(Sumber : Legrand, 1999)

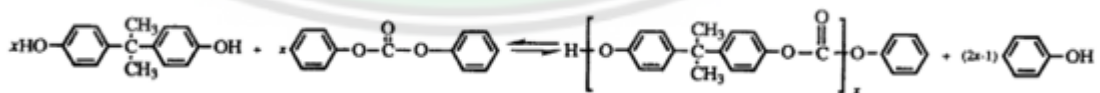
Tahap pembentukan polikarbonat melalui sintesis interfacial berlangsung dengan cara memasukkan bisfenol-A (BPA), NaOH secara bersamaan untuk membentuk dua fasa sistem cair-cair dan *monohidric* fenol ke dalam reaktor untuk mengendalikan berat molekul polimer, fosgen dalam bentuk gas juga ditambahkan ke dalam larutan ini. Cara ini digunakan untuk mencegah terbentuknya produk samping yaitu HCL. Sistem mengandung fasa (padat) ketiga yaitu mono/dianon dari BPA pada pH tinggi (9-12), volume fasa organik rendah dan konsentrasi BPA tinggi. Fasa organik dicuci dengan sejumlah asam dan air beberapa kali untuk mengeluarkan residu basa dan garam atau dengan menambahkan metilen klorida berlebih untuk memudahkan pemisahan pada saat reaksi telah selesai. Pergantian pelarut seperti *chlorobenzene* yang diikuti dengan penguapan pelarut melalui presipitasi steam secara langsung atau dengan mengendapkan pelarut melalui penambahan *antisolvent* seperti MeOH yang diikuti dengan filtrasi dan pengeringan menghasilkan resin polikarbonat (Legrand, 1999)

2. Proses Transesterifikasi

Proses transesterifikasi menggunakan katalis basa pada polimerisasi kondensasi dari difenil karbonat atau DPC (bp 312°C/760 torr) dengan BPA (bp 208°C/2 torr, 250°C/12.8 torr, atau 287°C/50 mmHg). Reaksi ini berjalan dengan temperatur yang cukup tinggi berkisar 150°C sampai 350°C dimulai dengan pembentukan monomer, oligomer dan polimer. Tekanan reaktor selama reaksi berkisar 150-200 tor untuk menghilangkan fenol (bp 180°C), kemudian diatur menjadi 0.1-1 torr pada tahap konversi selanjutnya. Pada proses transesterifikasi, resin BPA-PC disiapkan tanpa adanya penambahan pelarut, tahap pengeringan, atau fosgen. Kualitas resin bergantung pada kualitas pembentukan monomer, yang berarti jumlah dari kontaminan sisa dalam resin dapat dikendalikan.

Berdasarkan observasi eksperimental untuk memproduksi polimer dilakukan penambahan anion fenoksida sederhana kedalam ikatan karbonat, setelah anion berbasis fenoksida ditambahkan, anion fenoksida dibebaskan. Fenol dipisahkan melalui distilasi setelah proses pelelehan anion fenoksida yang dibebaskan melalui pertukaran proton dengan gugus akhir hidroksi lain atau BPA, proses ini mengendalikan konversi monomer menjadi BPA-PC. Pertukaran proton ini berlangsung sangat cepat dengan konstanta kesetimbangan untuk reaksi fenoksida dengan BPA umumnya seragam.

Reaksi penghilangan fenol ditunjukkan dalam gambar 3.2. dibawah ini :



Gambar 1.4. Sintesis “melt” BPA PC secara umum

(Sumber : Legrand, 1999)

Untuk memproduksi polimer dengan berat molekul yang tinggi berdasarkan data yang telah diunggah dan klaim paten, proses polikondensasi merupakan poses paling efektif dan paling umum digunakan. Penggunaan katalis untuk menghasilkan konversi produk polimer yang baik berada pada kisaran 10-250 ppb. Keuntungan proses transesterifikasi leleh adalah

distribusi berat molekul resin yang paling memungkinkan secara termodinamika dan seragam sehingga, pada kondisi normal, resin anhidrat tidak perlu didistribusi kembali (Legrand, 1999).



1.9.1 Matrik Perbandingan Proses Interfacial dan *Melt*-Transesterifikasi

Tabel 1.5. Matrik Perbandingan Proses Interfacial dan *Melt*-Transesterifikasi

No	Proses	Reaksi	Suhu	Tekanan	Waktu	Reaktor	Katalis	Konversi	Kelebihan	Kekurangan
1	Melt Transesterifikasi	$\begin{matrix} C_{15}H_{16}O_2 & + \\ C_{13}H_{10}O_3 & \leftrightarrow \\ C_{15}H_{16}O_2 & \\ +C_6H_6O & \end{matrix}$	180°C - 210°C	0.25 atm - 0.5 atm	0.25-3 jam	CSTR	Alkali metal fenolat 0.1- 2ppm dan boric acid ester dari aromatic alkohol 0.25ppm- 3ppm	99.20 %	<p>1. Proses ini menghasilkan polikarbonat dengan lebih murni karena tidak ada penambahan solven</p> <p>2. Polimer yang dihasilkan dari reaktor dapat langsung dibentuk pellet</p> <p>3. Memungkinkan produksi polikarbonat dengan</p>	<p>1. Waktu yang sedikit lama</p> <p>2. Equipment yang lebih kompleks</p>

								<p>kualitas color matching yang baik dan stabil dan stabilitas termal yang baik</p> <p>4. Penggunaan katalis yang sedikit.</p>	
2	Interfacial	$C_{15}H_{16}O_2 + CC_{12}O \rightarrow C_{15}H_{16}O_2 + HCL$	40°C	1 atm	30 menit	CSTR	TEA (triethylamine)	<p>1. Menghasilkan polikarbonat yang memiliki index kekuningan yang lebih rendah, dapat meningkatkan transmisi cahaya dan sifat optik yang lebih baik</p>	<p>1. Membutuhkan fosgen sebagai reaktan yang dapat membahayakan</p> <p>2. Membutuhkan penggunaan dalam jumlah besar pelarut organik untuk tindakan pencegahan dampak lingkungan</p>

1.10 Deskripsi Proses

1.10.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku BPA dan DPC dilelehkan dan dicampur secara kontinyu atau terputus-putus dalam rasio molar 1,0-1,2 mol DPC / 1 mol BPA, yang mencapai stabilisasi BPA terhadap degradasi dalam kisaran suhu 130-180 ° C. Lelehan bahan awal BPA-DPC secara kontinyu diumpankan ke tahap transesterifikasi (Streng, 2015).

1.10.2 Tahap Pembentukan Polikarbonat

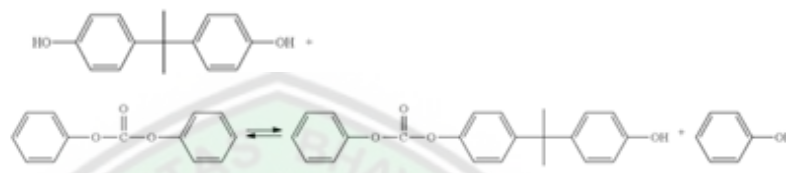
Metode untuk produksi polikarbonat dari bisfenol-A dan diaril karbonat, terdiri dari langkah-langkah berikut:

1. Transesterifikasi satu atau lebih bisphenol dengan satu atau lebih diaril karbonat dalam setidaknya satu reaktor transesterifikasi, dengan penghilangan terus menerus dari produk reaksi hidroksil-aril yang dilepaskan.
2. Prapolikondensasi produk reaksi transesterifikasi sekurang-kurangnya dalam satu reaktor prapolikondensasi, dengan penghilangan terus menerus produk reaksi hidroksil-aril.
3. Polikondensasi produk reaksi dari prapolikondensasi dalam setidaknya satu reaktor polikondensasi, dimana penghilangan produk reaksi aril selama reaksi transesterifikasi, dan penghilangan produk reaksi hidroksil-aril selama reaksi prapolikondensasi, dilakukan dengan kolom bersama, dimana diaril karbonat yang dibawa bersama, dipisahkan dari produk reaksi hidroksil-aril.

Polikarbonat diproduksi dalam tiga langkah reaksi dari bahan awal bisphenol dan diaril karbonat, yaitu reaksi transesterifikasi, prapolikondensasi, dan reaksi polikondensasi. Bisphenol A (BPA) digunakan sebagai bisphenol, dan *diphenyl carbonate* (DPC) digunakan sebagai diaril karbonat. Katalis yang digunakan dalam reaksi transesterifikasi adalah $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$.

Proses produksi polikarbonat dimulai dengan melebur bahan baku BPA dan DPC yang kemudian disaring untuk menghilangkan kotoran padat. Setelah menjadi fasa cair dipanaskan terlebih dahulu dengan media heat exchanger dan dipompa ke dalam transesterifikasi dengan perbandingan mol yang diinginkan, dimana bahan tersebut sebaiknya dicampur dengan sistem katalis yang sesuai dan dipanaskan sampai suhu transesterifikasi.

Reaksi transesterifikasi dijelaskan melalui rumus berikut:



Gambar 1.5. Reaksi Transesterifikasi

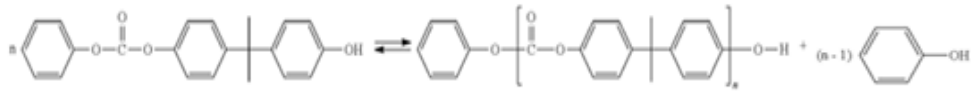
(Sumber : Streng, 2015)

Reaksi transesterifikasi berlangsung transesterifikasi yang diaduk secara kontinyu, yang biasanya dikonfigurasi dengan kumparan panas internal dan dengan pemanas jaket eksternal. Reaksi berlangsung dalam transesterifikasi pada tekanan tereduksi (kira-kira 250 sampai 500, dan khususnya kira-kira 300 sampai 400 mbar) dan pada suhu kira-kira 180°C sampai 210°C. Aliran material antara transesterifikasi dipertahankan, di satu sisi. Reaksi transesterifikasi memiliki beberapa parameter yaitu, suhu tekanan waktu memproses rasio mol BPA dan DPC sistem katalis yang digunakan. Seperti yang dapat dilihat dari persamaan reaksi di atas, fenol dilepaskan selama reaksi transesterifikasi. Karena suhu dan kondisi vakum, fenol memasuki fase uap dan secara kontinyu dikeluarkan dari campuran reaksi. Fenol dan DPC yang teruapkan selama reaksi diumpankan ke kondensor untuk dicairkan.

Reaksi polikondensasi berlangsung dalam 2 langkah:

1. Tahap prapolikondensasi (dalam prapolikondensasi pertama)
2. Langkah polikondensasi akhir (dalam polikondensasi finisher)

Reaksi polikondensasi dijelaskan melalui rumus berikut:

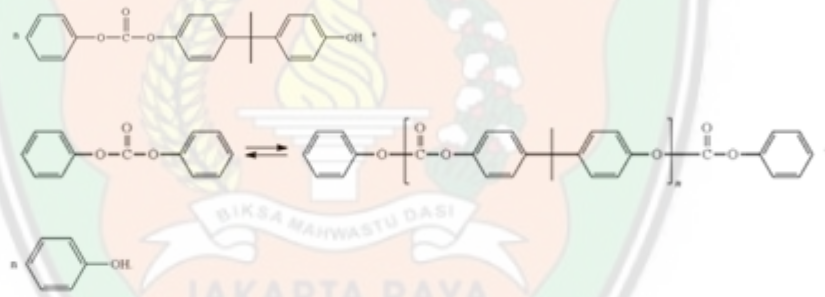


Gambar 1.6. Reaksi Polikondensasi

(Sumber : Streng, 2015)

Berbeda dengan reaksi transesterifikasi, waktu proses tidak berperan signifikan dalam polikondensasi. Parameter terpenting yang mempengaruhi reaksi polikondensasi adalah luas permukaan reaktif. Proses polikondensasi membentuk rantai polimer, dan rantai polimer yang telah terbentuk bereaksi satu sama lain untuk membentuk rantai polimer yang lebih. Sejalan dengan reaksi perpanjangan rantai ini, terdapat juga reaksi pemutusan rantai yang menghentikan pertumbuhan rantai.

Putus rantai terjadi sesuai dengan reaksi berikut:



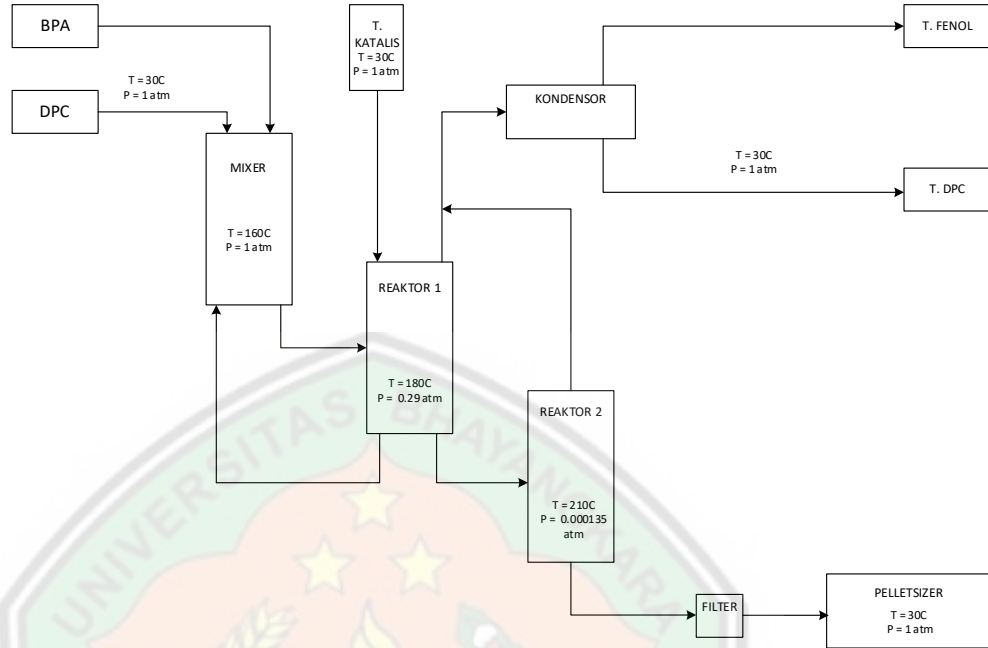
Gambar 1.7. Reaksi Terminasi

(Sumber : Streng, 2015)

Konversi monomer transesterifikasi dari tahap transesterifikasi menjadi rantai polimer dengan rantai tertentu (rantai rata-rata kira-kira $n = 20$) terjadi pada prapolikondensasi. Reaksi berlangsung di bawah vakum kira-kira 10 sampai 20 mbar, dan khususnya kira-kira 15 mbar, dan pada suhu kira-kira 235°C sampai 255°C . Polikondensasi akhir terjadi dalam polikondensasi (finisher) yang mengarah ke rantai biasanya $n =$ kira-kira 120 sampai 200, dan khususnya kira-kira 160 (dan / atau berat molekul $MW =$ kira-kira 31.000 kg / kmol). Reaksi dalam polikondensasi berlangsung di bawah vakum kira-kira 0,25 sampai 1,25

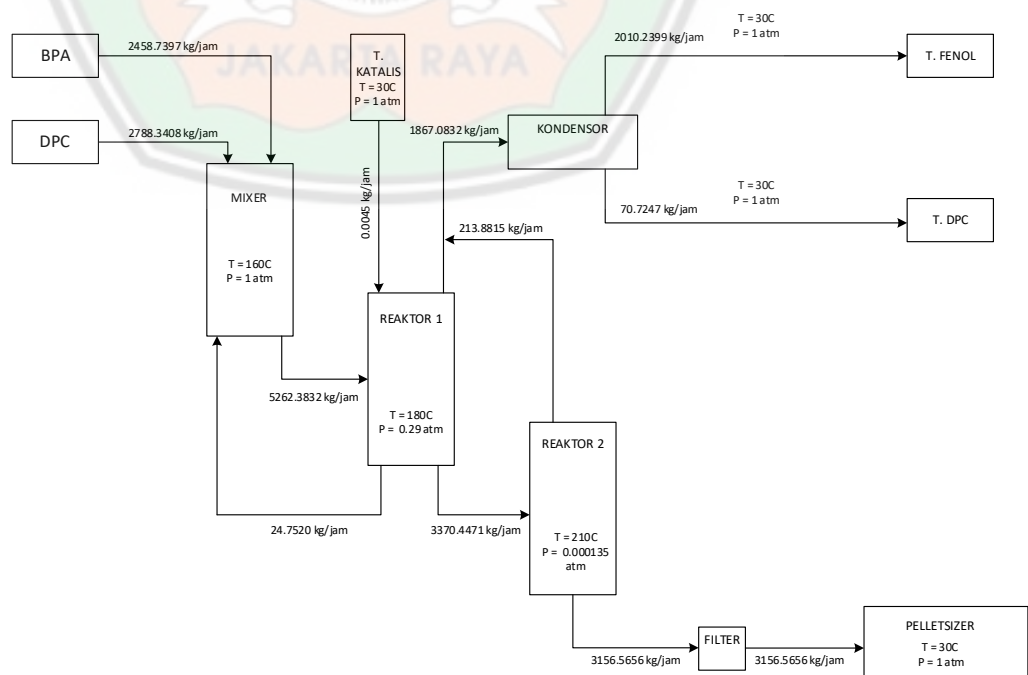
mbar, dan khususnya kira-kira 0,5 sampai 0,8 mbar, dan pada suhu kira-kira 290°C sampai 320°C (Streng, 2015).

1.10.4 Diagram Alir Kualitatif Prarancangan Pabrik Polikarbonat



Gambar 1.8. Diagram Alir Kualitatif Prarancangan Pabrik Polikarbonat

1.10.5 Diagram Alir Kuantitatif Prarancangan Pabrik Polikarbonat



Gambar 1.8. Diagram Alir Kuantitatif Prarancangan Pabrik Polikarbonat

1.11 Spesifikasi Bahan Baku

a. Bisphenol A

Bisphenol A atau BPA berbentuk serpihan atau bubuk putih. Bereaksi kuat dengan anhidrida asam, asam klorida, basa kuat dan oksidan kuat. Memiliki kelarutan kurang dari 1 mg / mL pada 21.5°C.

Sifat Fisika:

Rumus molekul : $C_{15}H_{16}O_2$

Wujud : Serpihan atau bubuk putih

Berat molekul : 228.29 g/mol

Titik didih : 220°C

Titik lebur : 160°C

Massa jenis : 1.195 g/cm³ pada 25°C

(sumber: pubchem)

Data termodinamika:

Entalpi ($\Delta H^{\circ}f$) : -349.40 kJ/mol

Energi Gibbs ($\Delta G^{\circ}f$) : -6.16 kJ/mol

(sumber: chemeo)

b. Diphenyl Carbonate

Rumus molekul : $C_{13}H_{10}O_3$

Wujud : Kristal padat berwarna putih

Berat molekul : 214.22 g/mol

Titik didih : 306.0 °C

Titik lebur : 83.0 °C

Massa jenis : 1.1215 g/cm³ pada 87°C

(sumber: pubchem)

Data termodinamika:

Entalpi ($\Delta H^{\circ}f$) : -401.40 kJ/mol

Energi Gibbs ($\Delta G^{\circ}f$) : -55.52 kJ/mol

(sumber: chemeo)

1.12 Spesifikasi Produk

a. Polikarbonat

Rumus molekul : $(OC(OC_6H_4)_2C(CH_3)_2)$

Berat molekul : 254 g/mol

Massa jenis : 1.2 g/cm³

Kapasitas panas : 0.32 kJ/mol K

(Madkour, 1999)

b. Fenol

Rumus molekul : C_6H_6O

Berat molekul : 94.11 g/mol

Massa jenis : 3.24 g/cm³

Specidifc density : 1.057

Titik didih : 182°C

(MSDS, Science Lab)