



BAB II

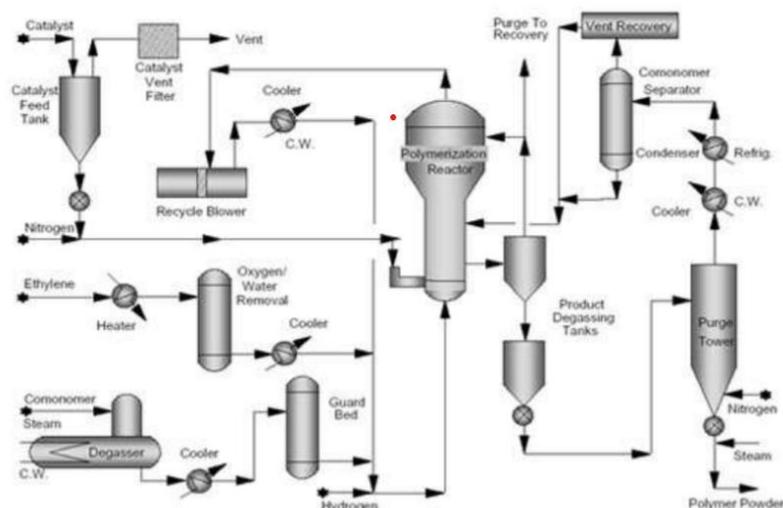
URAIAN DAN PEMILIHAN PROSES

II.1 Macam-Macam Proses

Ada beberapa cara atau proses yang dapat dilakukan untuk mendapatkan *Low Linear density polyethylene* (HDPE). Beberapa cara diantaranya adalah *High density polyethylene* (HDPE), proses utamanya yaitu fase gas (*gas phase*), polimerisasi larutan (*solution polymerization*), dan polimerisasi suspensi (*Slurry Polymerization*).

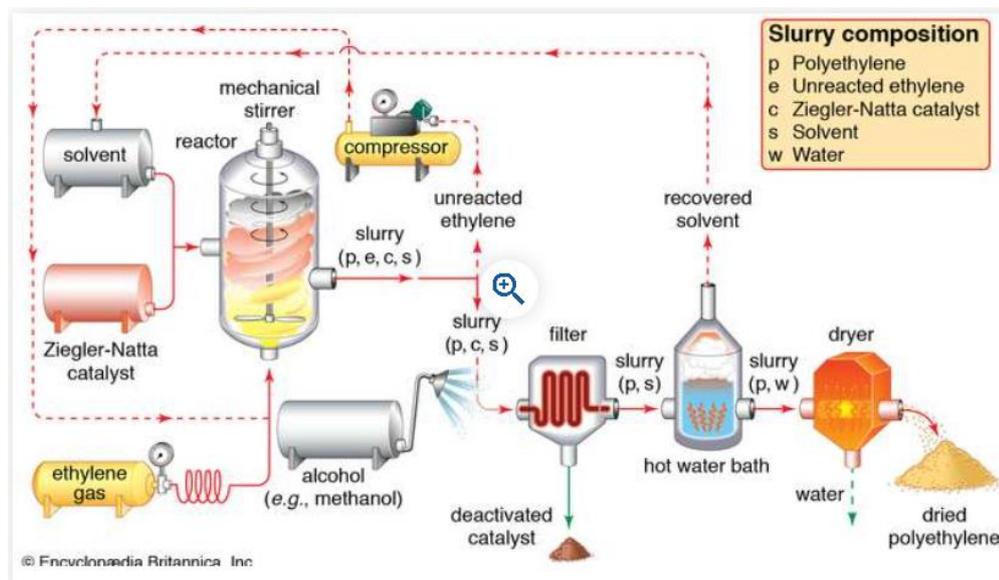
1. Fase Gas (*Gas Phase*)

Proses pembuatan polietilen menggunakan fase gas yang biasa dikenal ialah proses Unipol dari Union Carbide Corporation. Pada proses ini, tipe reaktor yang digunakan adalah fluidized bed reactor. Kondisi reaksi dalam fluidized bed reactor diatur pada temperatur 80-100 °C, tergantung pada densitas produk yang diinginkan. Sedangkan untuk tekanan proses berkisar antara 0,7 sampai 2 MPa. Banyak reaktor fluidized bed yang telah dibuat sebagai dual-purpose plants 19 yang mampu memproduksi baik HDPE maupun HDPE tergantung permintaan pasar.



Gambar II.1 *Gas Phase Process*2. Polimerisasi Larutan (*solution polymerization*)

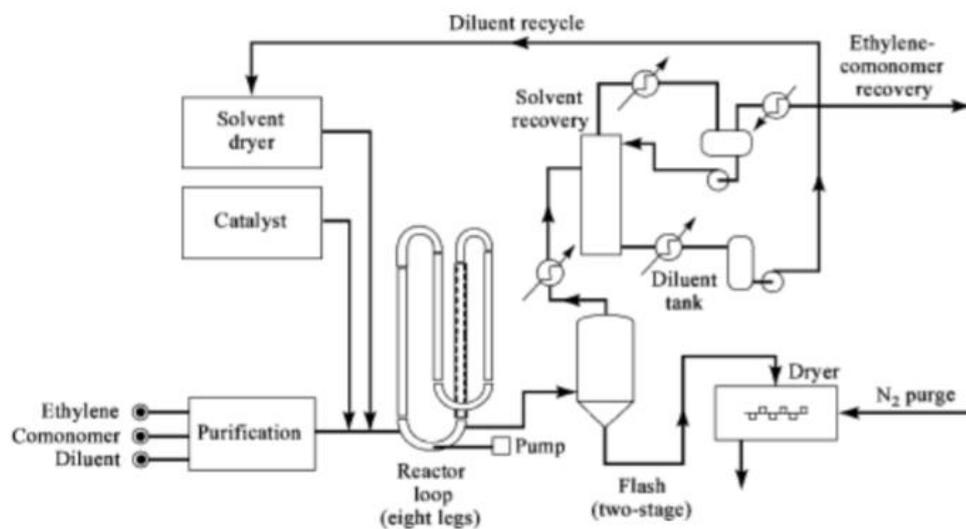
Solution process ini telah dikembangkan oleh beberapa perusahaan seperti Du Pont, Dow, DSM dan Mitsui untuk memproduksi LLDPE dan HDPE. Salah satu proses yang terkenal adalah proses Sclairtech dari Du Pont Kanada pada tahun 1960. Temperatur reaksi pada reaktor ialah sekitar 200-300 °C dengan tekanan reaktor 10 MPa. Sebelum diumpankan ke dalam reaktor, ethylene dilarutkan pada diluent seperti cyclohexane kemudian diumpankan ke reaktor dengan komposisi 25% ethylene. Di dalam reaktor, konversi reaksinya adalah sebesar 95% dengan waktu tinggal reaktan sekitar 2 menit. Katalis yang biasa digunakan merupakan katalis campuran VOCl_3 dan TiCl_4 yang diaktifkan oleh aluminium alkil.

Gambar II.2 *Solution Polymerization Process*3. Polimerisasi suspensi (*Slurry Polymerization*)

Pada proses ini, polyethylene disuspensikan dalam diluent hidrokarbon untuk mempermudah proses. Terdapat 2 macam proses suspension (slurry),



yaitu autoclave process dan loop reactor process. Pada autoclave process, reaksi pembentukan polyethylene dalam reaktor terjadi pada tekanan antara 0,5 dan 1 MPa dengan temperatur 80-90 °C. Diluent yang digunakan adalah hidrokarbon yang memiliki titik didih rendah seperti heksana. Katalis, aluminium alkil serta diluent akan dicampur didalam mixing vessel untuk membentuk slurry sebelum diumpungkan ke dalam reaktor. Terdapat bermacam-macam konsentrasi slurry yang digunakan mulai dari 15% sampai 45%. Proses selanjutnya ialah loop reactor process yang dijalankan pada temperatur 100 °C dan tekanan 3-4 MPa, sesuai dengan kebutuhan katalis berbasis Chromium dan produktivitas yang diinginkan. Diluen yang digunakan dalam proses ini adalah isobutena.



Gambar II.3 *Slurry Polymerization process*

II.2 Seleksi Proses

Ada beberapa proses yang dapat dilakukan dalam pembuatan HDPE, diantaranya adalah fase gas (*gas phase*), Polimerisasi Larutan (*solution polymerization*), dan Polimerisasi suspensi (*Slurry Polymerization*). Berikut merupakan perbandingan antara ketiga proses tersebut:



Tabel II.1 Sleksi Proses Pembuatan *High density polyethylene* (HDPE)

Jenis Parameter	Fase Gas	Slurry Phase	Polimerisasi Larutan
Tekanan Operasi	300 psig	400 psig	15000-18000 psig
Temperatur Operasi °C	80-100	80-90	220-260
Densitas(g/cm ³)	0.910-0.970	0.930-0.970	0.910-0.955
Kondisi Operasi	95%	97%	-
Jenis Reaktor	Fluidized Bed	Loop reactor, autoclave reactor	Stirred reactor
Diluent	-	Isobutane, hexane	Cyclohexane



Tipe Polyethylene	LLDPE	HDPE	LLDPE,HDPE, LDPE
Waktu Tinggal	3-5 jam	1,5 jam	2-5 menit

Tabel II.2 Perbandingan biaya dari beberapa jenis proses pembuatan HDPE

Technology:	High-pres autoclave	High-pres tubular	Solution	Gas phase	Gas phase	Slurry loop	Slurry CSTR
Product:	LDPE	LDPE	LLDPE	LLDPE	HDPE	HDPE	HDPE
	Cost, millions of US dollars						
Inside battery limits	231.6	130.1	126.4	93.8	94.7	114.1	126.8
Outside battery limits	142.3	118.4	115.3	102.6	102.7	117.7	116.4
Other project costs	<u>160.5</u>	<u>125.1</u>	<u>131.3</u>	<u>116.5</u>	<u>114.2</u>	<u>123.9</u>	<u>127.3</u>
Total investment	534.4	373.6	373	313	312	352	371
Specific invest- ment, USD/ tonne poly	1320	934	933	782	779	879	926



Pra Rencana Pabrik

“Pabrik *High Density Polyethylene* (HDPE) dari Etilena, Isobutana, Heksana dan Hidrogen Menggunakan Proses *Slurry Phase*”

Technology:	High-pres autoclave	High-pres tubular	Solution	Gas phase	Gas phase	Slurry loop	Slurry CSTR
Product:	LDPE	LDPE	LLDPE	LLDPE	HDPE	HDPE	HDPE
Cost, US dollars/tonne							
Ethylene	1354	1347	1223	1222	1326	1324	1334
Comonomer	0	0	176	159	25	24	25
Catalysts & chemicals	8	5	47	14	27	42	22
Additives	14	14	13	15	18	18	18
Total raw materials	1376	1366	1459	1410	1396	1408	1399
Power	51	58	15	22	25	30	26
Steam	0	-34	16	2	2	6	13
Other utilities	9	7	8	10	6	11	8
Total utilities	60	31	39	34	33	47	47
Operating cost	1436	1397	1498	1444	1429	1455	1446
Direct cash cost	22	14	14	12	12	14	14
Allocated cash cost	27	18	17	15	15	16	17
Total fixed cost	49	32	31	27	27	30	31
Total cash cost	1485	1429	1529	1471	1456	1485	1477

(Aries, 1995)

Dari perbandingan tabel diatas, maka kami memilih proses pembuatan HDPE dengan menggunakan proses *Slurry Phase*. Berikut merupakan beberapa pertimbangan dari kami :

1. Pengoperasiannya mudah karena proses yang sederhana dan biaya operasinya yang rendah.
2. Memiliki kemurnian yang tinggi dan produk yang dihasilkan seragam.
3. Kondisi operasi berlangsung pada suhu dan tekanan yang rendah (80-90 °C dan 3-4 MPa) dimana proses operasi relatif aman.
4. Konversi reaksi yang diperoleh mencapai 97% sehingga secara ekonomis proses ini layak dibuat dalam skala pabrik.



II.3 Deskripsi Proses

Uraian proses pembuatan *High Density Polyethylen* dari etilen, hydrogen, isobutana, dan heksana dengan proses *Slurry Phase* diawali dengan 3 tahapan yaitu:

a. Tahap Persiapan Bahan Baku

a. Bahan Baku Etilen Bahan baku etilena (C_2H_4) disimpan dalam tangki penyimpanan (F-150) pada suhu $30^\circ C$ dan tekanan 30 atm dalam fase cair. Bahan baku etilena disupply dari PT. Chandra Asri Chemical. Dari tangki penyimpanan, etilen dipompa menuju mixer (M-140) dilakukan pencampuran sebelum masuk reaktor (R-210)

b. Bahan Baku Hidrogen

Bahan baku hidrogen (H_2) disimpan dalam tangki penyimpanan (F-140) pada suhu $30^\circ C$ dan tekanan 30 atm dalam fase cair. Hidrogen cair diperoleh dari PT. Air Liquid Indonesia, Cilegon. Hidrogen dialirkan menuju mixer (M-140) untuk dilakukan pencampuran sebelum masuk reaktor (R-210)

c. Bahan Baku Isobutana

Bahan baku isobutana yang digunakan berwujud cair, bahan ini disimpan dalam tangki penyimpanan isobutana (F-160) pada suhu $30^\circ C$ dan tekanan 30 atm. Isobutana dialirkan menuju mixer (M-140) untuk dilakukan pencampuran sebelum masuk reaktor (R-210)

d. Bahan Baku Heksana

Heksana digunakan berwujud cair, bahan ini disimpan dalam tangki penyimpanan heksana (F-120) pada suhu $30^\circ C$ dan tekanan 1 atm. Heksana dipilih menjadi pelarut katalis karena bersifat *inert*. Heksana dicampurkan dalam mixer (M-130) dengan suhu $30^\circ C$ dan tekanan 1 atm sebelum dialirkan kedalam reaktor.

e. Katalis Ziegler Natta ($TiCl_4$) dan Ko-katalis Triisobutilalumina (TIBAL)



Katalis yang digunakan dalam proses pembuatan HDPE fase *slurry* adalah Ziegler-Natta yaitu katalis berbasis titanium yang diaktifkan menggunakan triisobutilaluminium. Katalis $TiCl_4$ yang disimpan dalam tangki penyimpanan (F-110) pada suhu $30^\circ C$ dan tekanan 1 atm akan dialirkan menuju *mixer* (M-130) untuk dicampurkan dengan heksana, serta ko-katalis TIBAL (triisobutilaluminium) yang disimpan dalam tangki penyimpanan (F-130).

b. Aktivasi Katalis

Katalis $TiCl_4$ diaktivasi dengan cara direaksikan dengan co-catalys $Al(C_4H_9)_3$. Reaksi ini akan mengaktifkan radikal bebas pada katalis Ti sehingga terbentuk active center. Active center memiliki elektron tidak berpasangan yang terbentuk dari penguraian zat yang relatif tidak stabil. Active center pada katalis Ti akan memicu reaksi berantai pada pembentukan polimer sehingga dapat terbentuk polietilen dalam waktu beberapa detik. Selanjutnya setelah katalis terbentuk active center, dalam mixing tank dimasukkan heksana sebagai pelarut. Reaksi tahap inisiasi pembentukan radikal bebas katalis :



Tahap ini terjadi reaksi pembentukan active center (radikal bebas) yang terdiri dari reaksi aktivasi katalis $TiCl_4$ terhadap molekul monomer etilena membentuk radikal bebas baru. Reaksi ini berlangsung secara terus menerus menghasilkan radikal bebas baru selama polimerisasi.

c. Tahap Pembentukan dan Penanganan produk

Produk HDPE terbentuk melalui proses polimerisasi etilena dengan bantuan katalis Ziegler-Natta berbasis titanium, pada tahap ini proses polimerisasi terjadi di dalam reaktor (R-210) pada suhu $100^\circ C$ dan tekanan 45,6 atm. Bahan baku yang sudah siap diumpankan kedalam reaktor masuk melalui samping reaktor. Etilena akan berikatan dengan sisi aktif katalis secara terus menerus hingga terbentuk rantai polimer. yang panjang. Untuk

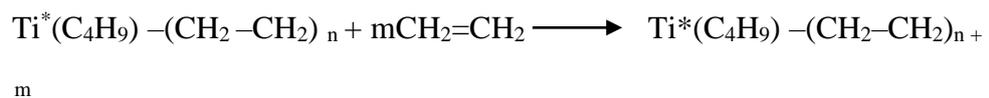
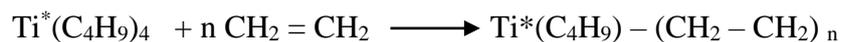


menghentikan reaksi polimerisasi, maka perlu adanya penambahan hidrogen, dimana hidrogen ini akan memutus ikatan Ti dan C, hingga C berikatan dengan H yang mengakibatkan berhentinya reaksi polimerisasi. Dalam reaktor terjadi reaksi berantai atau disebut polimerisasi *chain growth*

- Tahap Propagasi

Activerc enter yang terbentuk pada reaksi inisiasi sangatlah reaktif dan dengan cepat bereaksi dengan monomer etilena membentuk rangkaian yang berkelanjutan disertai pembentukan radikal bebas baru bagi setiap tahapan. Radikal bebas yang baru terbentuk dari monomer lain yang bergabung dengan monomer aktif yang sudah membentuk rantai yang ada.

Mekanisme reaksi propagasi :



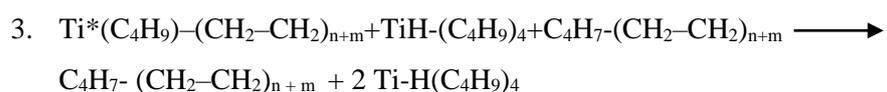
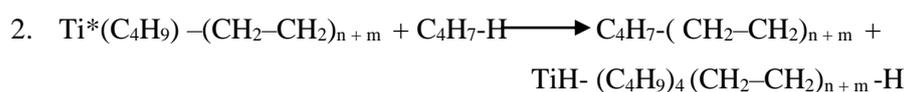
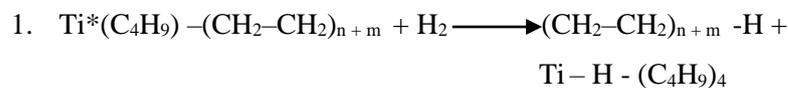
- Tahap Terminasi

Reaksi rantai yang berkelanjutan dihentikan oleh reaksi yang tidak membentuk radikal bebas. Penambahan H₂ digunakan untuk menutup rantai polimer yang terbentuk dengan ujung-ujung rantai yang masih aktif.

Mekanisme reaksi terminasi :

- Secara Kombinasi

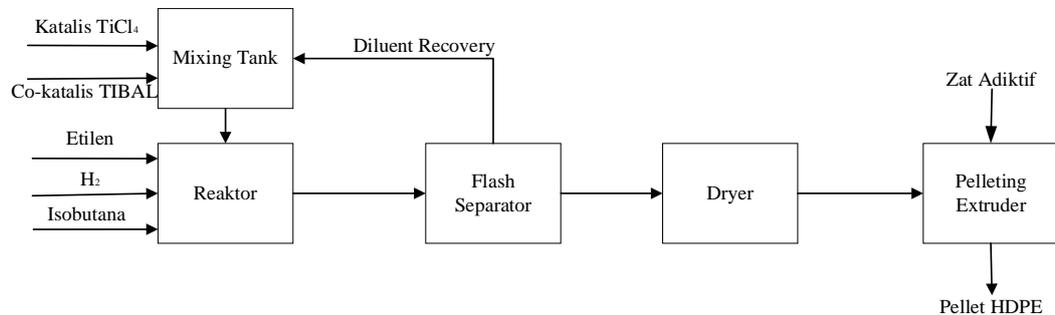
Terjadi bila dua reaksi berkelanjutan pada tahap propagasi menyatu membentuk rantai polietilena yang lengkap





Produk yang keluar dari reaktor masih belum murni, sehingga perlu dipisahkan antara produk dan katalis dan pelarut. Hasil keluaran dari reaktor ini kemudian dialirkan menuju ke *Flash drum separator* (F-220) untuk dipisahkan antara HDPE dengan campuran katalis, pelarut, dan produk etilena. Hasil bawah *flash drum* yang berupa HDPE cair dialirkan menuju *rotary dryer* (B-230) untuk dikeringkan dan dipadatkan menggunakan alat *extruder* (E-223) sehingga diperoleh HDPE dalam bentuk serbuk padatan setengah. HDPE kemudian dibentuk menjadi pellet (biji plastik) dan ditambahkan zat aditif (platicizer dan stabilizer) menggunakan alat *pelletrizer* (S-224) dan dikeringkan menggunakan *rotary dryer* (B-310) untuk memperoleh produk HDPE siap jual. Sedangkan hasil atas *flash drum* yang berfase gas didinginkan sehingga berubah fase menjadi cair dan di-*recycle* menuju aliran pencampuran katalis dan pelarut (M-130)

II.4 Blok Diagram Proses





DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R.S., and Newton, R.D., 1955, “Chemical Engineering Cost Estimation”, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), 2023, *Peta Peringatan Dini Curah Hujan Tinggi Dasarian II Januari 2023*, BMKG Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, diakses pada 19 Januari 2024 pukul 12.00 WIB.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Cilegon 2022, *Kilas Balik Bencana 2022*, BPBD Kota Cilegon, diakses pada 24 Januari 2024 pukul 19.00 WIB.
- Badan Pusat Statistik (BPS), 2022, “Statistik Industri Manufaktur 2022”, Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik (BPS), 2022, “Keadaan Ketenagakerjaan Indonesia Februari 2022”, Berita Resmi Statistik No.36/05/Th. XXV 09 Mei 2022.
- Badan Pusat Statistik (BPS), 2022, *Tingkat Pengangguran Terbuka Provinsi Banten*, Badan Pusat Statistik (bps.go.id), diakses pada 19 Januari 2024 pukul 11.00 WIB.
- Badan Pusat Statistik (BPS), 2022, *Kebutuhan Impor dan Ekspor High Density Polyethylene (HDPE) di Indonesia*, Badan Pusat Statistik (bps.go.id), diakses pada 2 Januari 2024 pukul 20.00 WIB.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2011, *High Density Polyethylene (HDPE)*, SNI 30:2011, Jakarta.
- Gubernur Banten 2022, *Keputusan Gubernur Banten Nomor 561/Kep.280-Huk/2021 Tentang Upah Minimum Kabupaten/Kota Di Banten Tahun 2022*, Gubernur Banten.
- Rochmat, Agus, 2019, Sintesis Esterifikasi – Transesterifikasi Biolubrikan Berbasis Minyak Jarak (*Jatropha Curcas L*) Dengan Katalis Asam Klorat, *Jurnal Integrasi Proses*, Vol. 8, No. 2, Hh. 65-59.



Pra Rencana Pabrik

“Pabrik *High Density Polyethylene* (HDPE) dari Etilena, Isobutana, Heksana dan Hidrogen Menggunakan Proses *Slurry Phase*”

Malpass D.B., 2010, “Introduction to Industrial Polyethylene”, Scrivener Publishing LLC., Salem.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2019, *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.17/MENLHK/SETJEN /KUM.1/4/2019*, Kementerian Sekretariat Negara Republik Indonesia.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, 2009, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2009 Tentang Kawasan Industri*, Kementerian Sekretariat Negara Republik Indonesia.

Perry, R.H. and Green, D.W., 1999, “Perry’s Chemical Engineers’ Handbook, 7th” edition, McGraw Hill Book Company, Singapore