

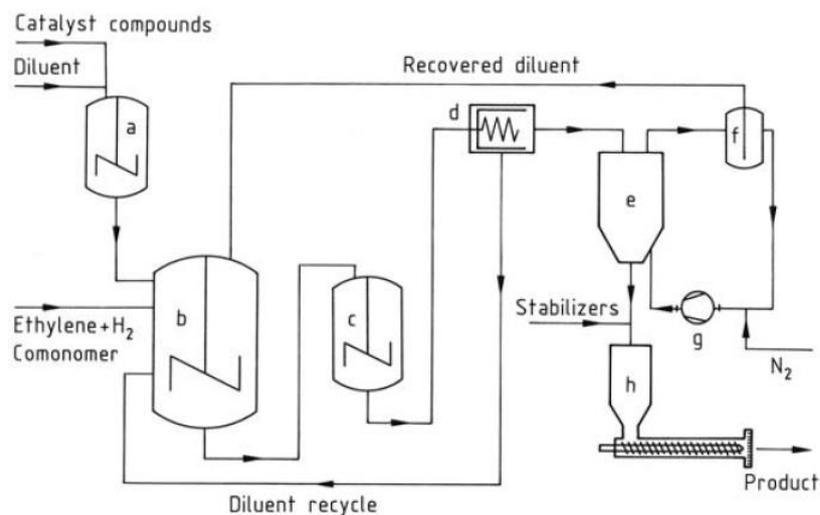
BAB II SELEKSI DAN URAIAN PROSES

II.1 Macam -Macam Proses

Polyethylene dapat dibentuk melalui 3 proses, yaitu :

1. Proses *Slurry* (*Hoechst Process*)
2. Proses *Solution*
3. Proses Gas (*Union Carbide Unipol Process*)

II.1.1 Proses *Slurry*



Gambar II.1 Proses *Hoechst suspension polymerization*

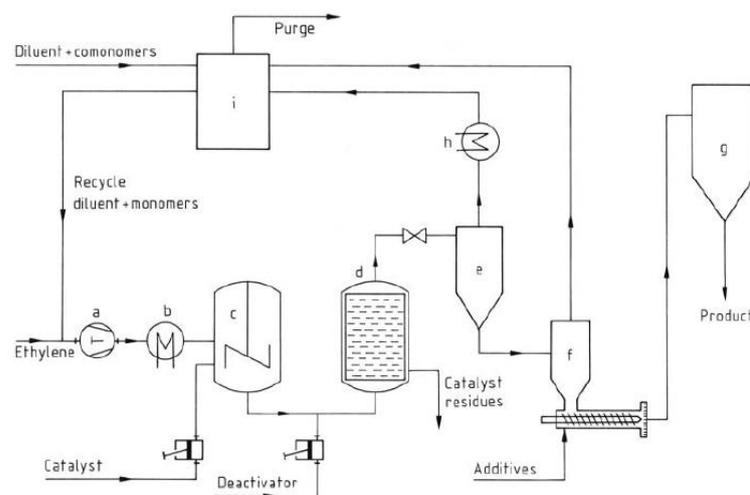
Gambar diatas menunjukkan flowsheet proses *slurry*. *Diluent* yang digunakan adalah hidrokarbon dengan titik didih rendah misalnya heksana. Senyawa katalis dan aluminium alkil slurried dengan diluent dalam tangki pencampur katalis sebelum diumpankan ke reaktor. Campuran reaksi kemudian diteruskan ke reaktor run-down di mana etilena terlarut dikonsumsi hampir seluruhnya, menghindari kebutuhan *recycle* etilen. Konsentrasi *slurry* merupakan parameter penting dalam proses. Konsentrasi tinggi memungkinkan output yang lebih tinggi dari volume reaktor tertentu, tetapi perpindahan panas ke jaket pendingin lebih buruk dan pengadukan menjadi lebih sulit. Konsentrasi *slurry* maksimum yang dapat digunakan tergantung pada sejumlah faktor, termasuk jenis

pelarut, ukuran dan bentuk partikel, tetapi terutama pada berat jenis partikel polimer.

Slurry dari reaktor *run-down* kemudian diteruskan ke *centrifuge* untuk menghilangkan sebagian besar diluent, yang direcycle langsung menuju ke reaktor. *Slurry* ini mengandung alkil aluminium dan comonomer, jika digunakan, dan laju injeksi bahan baku ini disesuaikan untuk memperhitungkan jumlah yang diperkenalkan kembali oleh *diluent recycle*. Polimer dikeringkan dalam fluidizedbed drier kontinyu dalam aliran nitrogen panas untuk menghilangkan sisa diluent. Jumlah diluent lebih lanjut terkondensasi dari aliran nitrogen yang bersirkulasi dan direcycle. Sebelum menjadi pelet, stabilizers ditambahkan untuk menetralkan residu katalis, dan aditif lainnya seperti antioksidan dapat ditambahkan pada titik ini.

Extruder umpan *slurry* memiliki laras yang lebih panjang daripada proses tekanan tinggi karena selain menghasilkan tekanan yang cukup untuk kepala pelet, dan melelehkan *slurry* polimer. Meskipun satu ekstruder panjang ditampilkan, instalasi baru semakin banyak menggunakan kombinasi ekstruder pendek untuk melelehkan polimer diikuti dengan pompa roda gigi untuk menghasilkan tekanan pelet. Kombinasi ini memiliki kebutuhan energi yang lebih rendah (Ullmann, 2012).

II.1.2 Proses *Solution*



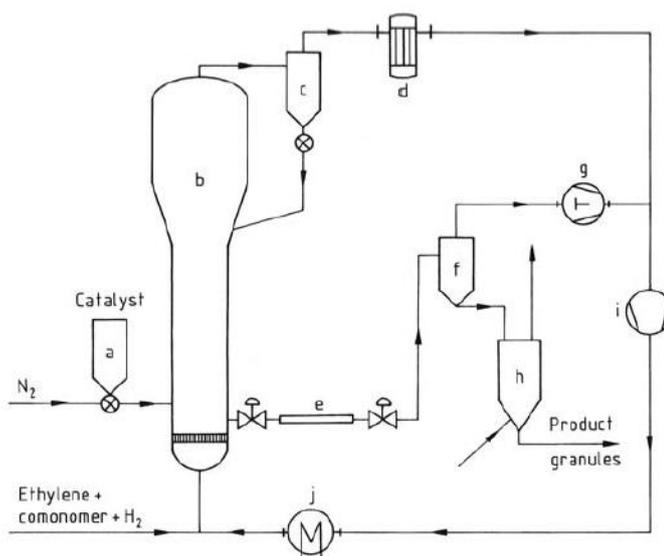
Gambar II.2 Proses *Solution Polymerization*



PRA RENCANA PABRIK
“PABRIK *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) DARI ETILEN
MENGUNAKAN PROSES UNIPOL”

Proses *solution* telah dikembangkan oleh berbagai perusahaan. Keuntungannya adalah bisa digunakan untuk berbagai macam komonomer. Etilena dilarutkan dalam diluent seperti sikloheksana dan dipompa ke reaktor pada 10 MPa. Tahap reaksi adalah adiabatik dan suhu reaksi berkisar antara 200 – 300°C. Feed mengandung 25% berat etilena, dimana 95% diubah menjadi polietilen dalam reaktor. Waktu tinggal adalah 2 menit. Katalis yang paling sering dikutip dalam paten adalah campuran VOCl_3 dan TiCl_4 diaktifkan oleh aluminium alkil. Meskipun komponen katalis pada awalnya dapat larut, spesies katalis aktif tampak heterogen. Larutan polietilen yang meninggalkan reaktor diperlakukan dengan zat penonaktifan dan campuran kemudian melewati lapisan alumina dimana residu katalis yang dinonaktifkan diserap. Dua tahap *depressurization* mengikuti, sama dengan proses tekanan tinggi, di mana monomer pelarut dan tidak bereaksi diuapkan. Setelah menjadi pelet, penghilangan residu pelarut lebih lanjut dicapai dengan melewati aliran gas yang dipanaskan melalui alas pellet (Ullmann, 2012).

II.1.3 Proses Gas



Gambar II.3 Proses *Union Carbide Unipol*

Proses *fluidized bed* untuk produksi polietilena dikembangkan pada akhir tahun 1960 oleh *Union Carbida* dan *BP Chemical*. Proses ini bersaing dengan proses *solution* dan tekanan tinggi, di mana biaya operasi proses ini lebih rendah.



PRA RENCANA PABRIK
“PABRIK *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) DARI ETILEN
MENGUNAKAN PROSES UNIPOL”

Unit-unit *fluidized bed* dibangun sebagai *dual purpose plant* (swing plant). Dengan kemampuan produksi LDPE dan *High Density Polyethylene*. Reaktor yang digunakan berbentuk silindris pada fase reaksi kimia kecepatan gas masuk dapat berkurang sehingga partikel dapat turun kembali ke bed. Katalis Ziegler-Natta, yaitu senyawa organik logam transisi seperti $TiCl_4$ dan organil logam alkali $(C_2H_5)_3Al$. Gas etilene diumpankan ke dalam reaktor fluidized bed. Secara terpisah katalis dimasukkan ke dalam reaktor. Granular polietilena hasil reaksi ditampung dalam suatu *discharge system*. Sedangkan etilena yang tidak bereaksi didaur ulang (Ullmann, 2012).

Tabel II.1 Perbandingan Proses

Proses	Kelebihan dan Kekurangan
Proses Slurry	<p>Kelebihan</p> <ul style="list-style-type: none">• Dapat menggunakan reaktor jenis Loop maupun Autoclave• Menghasilkan <i>High Density Polyethylene</i> dengan tingkat kristalinitas yang tinggi, yang menghasilkan sifat mekanis dan termal yang baik• Konversi 98% <p>Kekurangan</p> <ul style="list-style-type: none">• Waktu tinggal 0,5-2 jam• Membutuhkan biaya dan energi yang mahal• Memiliki tekanan dan suhu yang tinggi sehingga emmbutuhkan keamanan produksi yang tinggi• Hanya menghasilkan PE jenis <i>High Density Polyethylene</i> dan LLDPE• Membutuhkan tahap pemisahan yang lebih rumit untuk memisahkan produk <i>High Density Polyethylene</i> dari media reaksinya (slurry).



PRA RENCANA PABRIK
“PABRIK *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) DARI ETILEN
MENGUNAKAN PROSES UNIPOL”

Proses Solution	<p>Kelebihan</p> <ul style="list-style-type: none">• Dapat menggunakan reaktor jenis CSTR ataupun Trimmer• Waktu tinggal 30 detik – 2 menit• Konversi 95%• Dapat menghasilkan PE jenis <i>High Density Polyethylene</i>, LDPE dan LLDPE, karena berbagai jenis katalis dapat digunakan dalam proses ini, dan pengaturan kondisi reaksi dapat disesuaikan untuk menghasilkan produk dengan sifat yang berbeda. <p>Kekurangan</p> <ul style="list-style-type: none">• Membutuhkan energi lebih tinggi karena reaksi berlangsung dalam larutan dan memerlukan tahap pengeringan yang lebih kompleks untuk memisahkan produk dari pelarut.• Menghasilkan limbah pelarut yang perlu dikelola secara efisien untuk mengurangi dampak lingkungan
Proses Gas	<p>Kelebihan</p> <ul style="list-style-type: none">• Dapat menggunakan reaktor jenis Fluidized bed• Proses yang cepat, efisien, dan memungkinkan produksi dalam skala industri yang besar.• Memungkinkan kontrol yang lebih baik atas berat molekul <i>High Density Polyethylene</i> dan distribusi molekulnya.• Konversi 99%• Tidak perlu memisahkan katalis dengan produk, sehingga dapat mengurangi biaya operasional.• Memiliki tekanan dan temperature yang tidak terlalu tinggi



PRA RENCANA PABRIK
“PABRIK *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) DARI ETILEN
MENGGUNAKAN PROSES UNIPOL”

	<p>Kekurangan</p> <ul style="list-style-type: none">• Waktu tinggal 1-8 jam• Hanya bisa menghasilkan PE jenis <i>High Density Polyethylene</i> dan LLDPE
--	---

II.2 Pemilihan Proses Produksi

Berdasarkan tiga proses yang dilakukan untuk pembuatan *High Density polyethylene* dapat dibuat perbandingan sebagai berikut :

Tabel II.2 Pemilihan Proses Produksi *High Density Polyethylene*

Parameter		Proses <i>Slurry</i> (<i>Hoechst Process</i>) (Droghetti, 2007)	Proses <i>Solution</i> (<i>Stamicarbon Process</i>) (Ullmann, 2012)	Proses Gas (<i>Union Carbide Unipol Process</i>) (Droghetti, 2007)
Proses	% Konversi	98%	95%	99%
	Tekanan	49,346-64,1498 atm	98,692 atm	9,8692-39,4768 atm
	Suhu	85-110 °C	200-300 °C	60-115 °C
	Waktu Tinggal	0,5-2 jam	2 menit	1-8 jam
Biaya Operasional		Tinggi	Tinggi	Rendah

Dari beberapa uraian di atas dapat dipilih proses pembentukan *high density polyethylene* dengan proses gas (*union carbide unipol process*) dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Produk yang dihasilkan memiliki kemurnian tinggi yaitu mencapai 99%
2. Kondisi operasi ini dilakukan pada tekanan dan suhu yang tidak terlalu tinggi yaitu pada tekanan 9,8692-39,4768 atm dan suhu 60-115 °C.
3. Energi dan biaya yang digunakan lebih rendah
4. Prosesnya cepat, efisien, dan memungkinkan produksi dalam skala industri yang besar.



PRA RENCANA PABRIK “PABRIK *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) DARI ETILEN MENGUNAKAN PROSES UNIPOL”

Berdasarkan pendirian pabrik High Density Polyethylene yang dirancang oleh Kusumanigrum (2022) dengan proses slurry menggunakan alat utama reaktor alir tangki berpengaduk didapatkan hasil konversi yang cukup besar yaitu 95%, tetapi memiliki kelemahan yaitu diperlukan bahan tambahan berupa sikloheksana yang digunakan untuk melarutkan katalis yang digunakan sebelum masuk kedalam reaktor, penggunaan suhu operasi pada alat utama yang cukup tinggi sebesar 300oC, selain itu juga diperlukan pemisahan katalis dari produk yang dihasilkan setelah reaksi. Dari hal tersebut perlu dilakukannya suatu pembaruan, dimana pembaruan ini sangat penting dilakukan untuk mengoptimalkan baik operasi maupun efisiensi dalam pabrik.

Pembaruan dalam pabrik yang akan didirikan ini yaitu menggunakan alat tambahan berupa *cyclone* dan *bag filter*. Alat ini digunakan untuk memisahkan partikel-partikel padat yang terbawa dalam aliran gas yang keluar dari reaktor *fluidized bed*. Partikel-partikel ini mungkin terdiri produk sampingan, dan potensi produk utama yang terikut keluar, sehingga nantinya produk yang didapat memiliki konversi yang cukup tinggi. Pembaruan yang melibatkan penambahan *cyclone* dan *bag filter* dalam perancangan pabrik ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas lingkungan, menjaga kepatuhan terhadap regulasi lingkungan yang semakin ketat, dan mengoptimalkan proses produksi *High Density Polyethylene*. Disisi lain tujuan khusus dilakukannya pembaruan ini adalah untuk meningkatkan efisiensi pemisahan partikel dan menjaga kebersihan aliran gas buang, membantu mengendalikan pencemaran udara yang dapat berdampak buruk pada lingkungan sekitar pabrik, dapat membantu mengurangi kerugian bahan baku dan memastikan bahwa lebih sedikit bahan baku yang hilang dalam proses produksi dan juga membantu mengurangi paparan partikel berbahaya kepada pekerja pabrik, yang dapat meningkatkan keselamatan dan kesehatan mereka. Pembaruan ini pada dasarnya bertujuan untuk menciptakan lingkungan yang lebih bersih, aman, dan berkelanjutan di sekitar pabrik *High Density Polyethylene* serta menjaga kepatuhan terhadap peraturan yang berlaku.



PRA RENCANA PABRIK
“PABRIK *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) DARI ETILEN
MENGUNAKAN PROSES UNIPOL”

II.3 Uraian Proses

Proses pembuatan *High Density Polyethylene* dengan Proses Fase Gas (*Union Carbide Unipol Process*) yaitu sebagai berikut :

1. Persiapan Hidrogen

Hidrogen disimpan didalam tangki penyimpanan pada suhu 30°C dan tekanan 15 atm. Sebelum dialirkan menuju reactor untuk dilakukan proses polimerisasi, gas hidrogen dialirkan menuju heater untuk dinaikkan suhunya menjadi 100°C.

2. Persiapan Etilen

Etilen yang berwujud cair jenuh disimpan didalam tangki penyimpanan pada kondisi suhu 30°C dan tekanan 98 atm. Kemudian etilen akan dialirkan menuju ke expander untuk diturunkan tekanannya menjadi 15 atm sehingga fasenya berubah menjadi gas kemudian diteruskan menuju heater untuk dinaikkan suhunya menjadi 100°C.

3. Persiapan 1-Butane

1-Butene yang berwujud cair jenuh disimpan dalam tangki penyimpanan 1-Butene pada kondisi suhu 30°C dan tekanan 15 atm. Kemudian etilen akan dialirkan menuju ke heater untuk dinaikkan suhunya menjadi 100°C.

4. Persiapan Katalis Ziegler Natta

Katalis yang disimpan didalam tangki penyimpanan pada suhu 30 °C dan tekanan 1 atm akan diumpankan menuju ke reaktor melalui bagian samping atas reaktor dengan menggunakan screw conveyor.

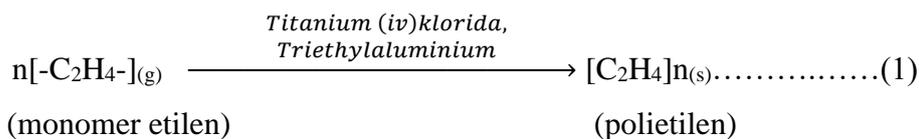
5. Tahap Reaksi Polimerisasi

Tahap ini merupakan tahap berlangsungnya reaksi polimerisasi etilen dengan menggunakan bantuan katalis ziegler natta untuk menghasilkan polietilen. Reaktor yang digunakan ialah reaktor jenis fluidized bed yang beroperasi pada temperatur 100°C dengan tekanan 15 atm. Reaksi berjalan secara eksotermis dan untuk menjaga agar suhu reactor tetap konstan maka reaktor dilengkapi dengan jaket pendingin. Campuran gas etilen, 1-Butene, dan hidrogen akan diumpankan melalui bagian samping bawah reaktor sedangkan katalis akan diumpankan melalui bagian samping atas reaktor. Etilen akan



PRA RENCANA PABRIK
“PABRIK *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) DARI ETILEN
MENGUNAKAN PROSES UNIPOL”

berikatan dengan pusat aktif katalis secara terus menerus sehingga terbentuk rantai polimer yang panjang. Kemudian hidrogen akan menghentikan reaksi polimerisasi dengan cara memutuskan ikatan Ti dan C, sedangkan gas 1-Butene berfungsi untuk mengatur densitas polietilen. Campuran gas dan produk keluar melalui samping atas reaktor.



6. Tahap Pemisahan dan Pemurnian Produk

Produk keluaran reaktor berupa produk polietilen dan sisa gas yang tidak bereaksi. Produk polietilen dan sisa gas yang tidak bereaksi keluar dari reactor kemudian dialirkan menuju expander untuk diturunkan tekanannya. Setelah itu dialirkan menuju ke *cyclone* dan *bag filter* untuk dilakukan pemisahan antara gas dan padatan dengan suhu 100°C dan tekanan 1 atm. Gas yang tidak bereaksi tersebut dipisahkan dan dilewatkan kompresor untuk dinaikkan tekanannya menjadi 15 atm dan akan di alirkan menuju ke reaktor. Kemudian produk keluaran dari *cyclone* dan *bag filter* diumpankan ke *purge bin*, produk yang keluar dari *purge bin* akan di umpankan menuju *extruder pelletizer*.

7. Pembentukan Pellet Polietilen

Selanjutnya produk keluaran *purge bin* akan masuk ke dalam *extruder* dengan suhu 130°C untuk dilelehkan dan kemudian didinginkan terlebih dahulu dengan menggunakan cooling screw conveyor menjadi 30°C. Produk akhir yang didapat berbentuk pellet yang akan dipindahkan menggunakan *bucket elevator* untuk disimpan pada tangki penyimpanan polietilen dengan suhu 30°C dan tekanan 1 atm.

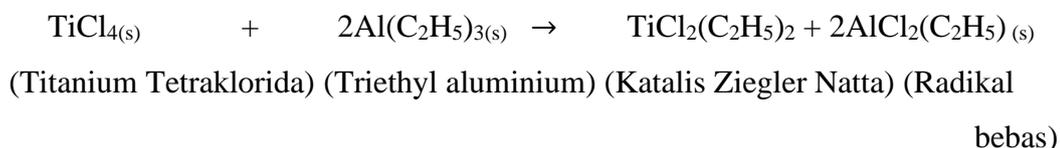
II.4 Mekanisme Reaksi Polimerisasi

Reaksi polimerisasi etilen terjadi melalui polimerisasi adisi koordinasi karena pada proses nya digunakan katalis logam transisi, yaitu TiCl₄ dan kokatalis Al(C₂H₅)₃. Reaksi polimerisasi akan terus terjadi hingga gugus fungsi tidak dapat bereaksi lagi. Mekanisme reaksi polimerisasi terjadi di dalam reaktor. Sebelum



PRA RENCANA PABRIK
“PABRIK *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) DARI ETILEN
MENGUNAKAN PROSES UNIPOL”

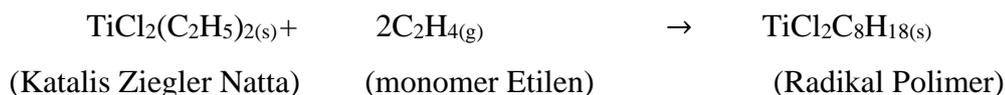
berlangsungnya proses polimerisasi, katalis $TiCl_4$ akan diaktifkan dengan menggunakan kokatalis $Al(C_2H_5)_3$ sehingga akan terbentuk pusat aktif (*active center*) pada katalis



Mekanisme reaksi polimerisasi meliputi tiga tahapan reaksi sebagai berikut:

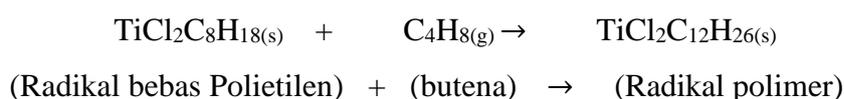
1. Inisiasi

Pada tahap inisiasi, monomer etilen terkoordinasi pada sisi aktif katalis sampai terbentuk kompleks dengan gugus alkil, dan menjadi gugus etil. Molekul monomer ini terikat di dalam kompleks aktif dengan memutuskan ikatan Ti, hingga terbentuknya polietilen.



2. Tahapan Propagasi

Pada tahap ini, monomer etilen yang telah melakukan kontak dengan katalis akan mengalami penambahan rantai secara terus menerus hingga terbentuk rantai polimer yang panjang. Tahap propagasi akan berlangsung hingga terbentuk polimer dengan densitas yang diinginkan.



3. Terminasi

Tahap terakhir pada proses polimerisasi adalah terminasi. Pada tahap ini dilakukan penambahan hidrogen yang berperan sebagai agen terminator. Hidrogen sebagai terminator akan bergabung dengan sisi aktif katalis sehingga terjadi pemotongan radikal polimer menjadi senyawa polimer dengan kata lain berfungsi untuk memutus ikatan antara Ti dan C. Hal tersebut yang menyebabkan tahap ini menjadi tahap terakhir dari proses polimerisasi, karena penambahan hidrogen dapat menyebabkan terhentinya proses polimerisasi.



PRA RENCANA PABRIK
“PABRIK *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) DARI ETILEN
MENGUNAKAN PROSES UNIPOL”

