



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang Pendirian Pabrik**

Sebagai negara berkembang, Indonesia melakukan pembangunan dan pengembangan di berbagai sektor, salah satunya yaitu sektor industri. Dengan kemajuan dalam sektor industri diharapkan akan meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Pemerintah dan perusahaan harus saling bekerja sama dalam pembangunan dan pengembangan di sektor industri.

Industri kimia merupakan salah satu sektor industri yang sedang dikembangkan di Indonesia. Dalam mengembangkan industri ini diperlukan teknologi modern dan ilmu pengetahuan. Dengan sumber daya manusia yang berkualitas yang dapat memanfaatkan sumber daya alam seefisien mungkin sehingga nantinya dapat memajukan sektor industri dan meningkatkan devisa negara.

Dengan meningkatnya kebutuhan industri kimia saat ini baik di Indonesia maupun di dunia, maka kebutuhan akan bahan baku industri kimia tersebut semakin meningkat. Karena kurangnya investor yang bergerak di sektor industri dan keterbatasan bahan baku sehingga ketergantungan Indonesia terhadap impor semakin meningkat, salah satunya yang masih di impor yaitu produk polietilena. Produksi Polietilena di Indonesia hanya ada 2 perusahaan diantaranya PT. Chandra Asri Petrochemical Centre (CAPC) dan PT. Petrokimia Nusantara Interindo (PT. PENI), (ICN, 2008). Realisasi yang terjadi impor produk mengalami penurunan sampai dengan tahun 1999, namun 5 tahun terakhir ini dari tahun 2000 s/d 2005 masih terdapat peningkatan kebutuhan Polietilena dari luar negeri. Ditjen Deperindag menyatakan bahwa kapasitas produksi Polietilena dari industri dalam negeri akhir tahun 2003 tidak mampu lagi memenuhi permintaan bahan baku plastik yang terus meningkat. Tanpa investasi baru dan peningkatan utilisasi kapasitas produksi yang ada, industri ini terancam tidak bisa berkembang,



bahkan diprediksi potensi pasar plastik di Indonesia sangat besar diperkirakan akan mencapai 1,4 juta ton pada tahun 2014 .

Melihat dari latar belakang tersebut serta perkembangan teknologi proses industri yang sangat pesat dalam menghasilkan produk sebagai bahan baku Polietilena sehingga mendorong untuk mendirikan industri ini.

Dengan didirikannya pabrik Polietilena di Indonesia diharapkan mampu memberikan keuntungan-keuntungan sebagai berikut:

1. Menghemat sumber devisa negara

Orientasi pemenuhan produk Polietilena agar dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri sehingga mengurangi ketergantungan impor polietilena.

2. Membantu pabrik-pabrik di Indonesia yang memakai bahan baku polietilena karena harganya lebih murah, kontinuitas bahan baku juga akan terjaga

3. Proses alih teknologi

Adanya produk yang dihasilkan melalui teknologi modern membuktikan bahwa sarjana-sarjana Indonesia mampu menyerap ilmu serta teknologi modern, dengan demikian kita tidak lagi tergantung pada tenaga asing

4. Membuka lapangan kerja baru dalam rangka turut memberikan lapangan kerja dan pemerataan perekonomian

5. Turut mencerahkan kembali iklim investor di dalam negeri khususnya industri polimer

6. Dapat membuka peluang bagi berdirinya industri lain yang menggunakan polietilena sebagai bahan baku.

## **1.2. Kapasitas Rancangan**

Dalam penentuan kapasitas rancangan pabrik polietilena ini ada beberapa pertimbangan antara lain :

- a. Perkiraan kebutuhan produk
- b. Ketersediaan bahan baku



- c. Jumlah impor, dan ekspor produk
- d. Kapasitas pabrik yang telah ada

Adapun perkiraan kebutuhan industri polietilena tahun 2004-2008 (unit: ton/tahun) dapat dilihat pada tabel berikut :

**Produksi (PE) di PT.Candra Asri**

	Tahun				
Data	2004	2005	2006	2007	2008
Produksi (Ton/Tahun)	200000	200000	200000	250000	300000

**Produksi (PE) di PT. Titan**

	Tahun				
Data	2004	2005	2006	2007	2008
Produksi (Ton/Tahun)	250000	250000	250000	300000	350000

**Kebutuhan Domestik dan Impor**

	Tahun				
Data Kebutuhan (PE)	2004	2005	2006	2007	2008
Domestik (Ton/Tahun)	578000	600000	697900	780000	850500
Impor (Ton/Tahun)	152000	170000	250000	250000	230000

**Data Perusahaan PE di luar negeri Tahun 2008**

Producer	Negara	Kapasitas (Ton /tahun)
Du pont Co	Amarika Serikat	1500000
Chevron Co	Amarika Serikat	1395000
Phillips	Amarika Serikat	1250000
Soltex	Amarika Serikat	1000000
HMC Polymers	Thailand	450000
Zhangjagang plastic productc Co	China	450000

Depperindang, Ekspor dan Impor (Harmonized System/HS code 3901.10) dari BPS (BPS, 2008).

Kapasitas rancangan minimal secara komersial yang memberikan keuntungan 35000 ton/tahun (kirk Othmer,1996). Tiap tahun kebutuhan domestik polietilena cukup besar. Produsen polietilena yaitu PT. Petrokimia Nusantara Interindo (PT.PENI) dan PT. Chandra Asri Petrochemical Centre (CAPC) tidak mampu untuk memenuhi kebutuhan domestik sehingga untuk menutupi kekurangan tersebut maka indonesia mengimpor dari negara Singapura, Korea



Selatan, China dan negara Timur Tengah. Diprediksi bahwa setiap tahun permintaan polietilena naik 3% (ICN,2008), sehingga pemerintah dan perusahaan polietilena terus berupaya meningkatkan kapasitas produksi untuk memenuhi kebutuhan domestik serta mengurangi ketergantungan impor.

### 1.3. Pemilihan Lokasi

Pemilihan lokasi di daerah Gersik didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut:

#### 1. Sumber bahan baku

Bahan baku adalah faktor utama dalam penentuan lokasi pabrik. Pabrik polietilena ini akan didirikan di kawasan industri Gersik, karena dekat dengan pelabuhan sebagai sarana tempat perdagangan, etilen dikirim dari singapura oleh *Shell Eastern Petrochemicals Complex (SEPC)* dan Katalis di impor dari PT. Shell Company Ltd. jenis SHAC (*Super High Activity Catalyst*) 201.

#### 2. Pangsa pasar

Gersik merupakan daerah yang strategis untuk pendirian suatu pabrik karena dekat dengan Surabaya sebagai pusat perdagangan dan bisnis di Indonesia yang cukup bagus serta belum adanya pabrik polietilena yang didirikan di daerah tersebut.

#### 3. Fasilitas atau transportasi

Pendirian pabrik ditempatkan di Gersik dengan pertimbangan kemudahan sarana transportasi. Gersik merupakan kota industri yang terletak dikawasan pantura sehingga sarana transportasi darat dan laut yang mudah dijangkau. Selain itu adanya pelabuhan internasional dan Bandara internasional, ini semakin mempermudah proses pengiriman produk ke luar negeri atau dikirim ke pasar dalam negeri.

#### 4. Tenaga kerja



Penyediaan tenaga kerja di Gresik tidak sulit karena dari tahun ke tahun angka tenaga kerja semakin meningkat. Begitu juga dengan tingkat sarjana Indonesia serta tenaga kerja lokal yang berkualitas.

5. Perluasan pabrik

Pendirian pabrik haruslah mempertimbangkan rencana perluasan pabrik tersebut dalam jangka waktu 10 atau 20 tahun ke depan, karena apabila suatu saat nanti akan memperluas area pabrik tidak kesulitan dalam mencari lahan perluasan.

6. Utilitas

Lokasi di pinggir pantai merupakan sumber air yang dibutuhkan untuk sistem utilitas. Kawasan industri Gresik juga sudah memiliki fasilitas penunjang dalam beroperasinya suatu pabrik yaitu fasilitas listrik dan air bersih (sarana vital bagi suatu pabrik), dengan demikian pabrik tinggal menyewa persediaan fasilitas tersebut, karena hal ini lebih murah dari pada membangun fasilitas baru.

7. Terdapatnya fasilitas dan pelayanan industri dan umum

Maksud dari pelayanan industri di sini adalah bengkel industri dan fasilitas umum lainnya seperti rumah sakit, sekolah dan sarana ibadah.

8. Tinggi rendahnya tingkat pajak dan undang-undang perburuhan

Bagi daerah yang akan memajukan masyarakatnya biasanya memberlakukan keringanan-keringanan, begitu pula di Indonesia. Status Gresik sebagai kawasan industri, membuat lokasi tersebut memberlakukan keringanan-keringanan tersebut sehingga hal ini mengurangi pengeluaran tetap yang harus dibayar (pajak), sedangkan undang-undang tentang perburuhan untuk saat ini masih bisa diterima oleh kalangan perusahaan.

9. Sikap masyarakat sekitar



Sikap masyarakat sekitar cukup terbuka dengan kehadiran pabrik baru. Hal ini didorong salah satunya karena adanya peningkatan kesejahteraan masyarakat setelah pabrik-pabrik berdiri.

#### 10. Keadaan tanah

Salah satu pertimbangan penetapan lokasi di Gersik sebagai kawasan industri adalah kondisi tanah yang stabil, sehingga kestabilan tanah bukanlah masalah bagi pendirian pabrik ini.

### 1.4. Tinjauan Pustaka

#### 1.4.1. Macam-macam Proses

Polimerisasi etilen yang memberikan hasil polimer bermassa molekul besar, pertama kali dilakukan oleh Fawlet dan Gibson dari ICI Ltd. di Inggris pada tahun 1933 dengan menggunakan teknik tekanan tinggi. Penelitian ini kemudian dilanjutkan oleh Zeigler and Natta, 1953, yang menemukan proses bertekanan rendah.

Produk polietilena sendiri yang sering disebut polietena atau politena, berdasarkan densitas dan berat molekul penyusunnya dikelompokkan menjadi 3 yaitu:

1. *Low Density Polyethylene (LDPE)*

*Density* : 0.912 – 0.925 gr/cm<sup>3</sup>

BM : 10.000 - 15.000 gr/mol

2. *Medium Density Polyethylen (MDPE)*

*Density* : 0.925 – 0.94 gr/cm<sup>3</sup>

BM : 15.000 – 35.000 gr/mol

3. *High Density Polyethylen (HDPE)*

*Density* : 0.94 – 0.965 gr/cm<sup>3</sup>

BM : 35.000 – 100.000 gr/mol

Ditinjau dari beberapa hal seperti : fase reaksi, penggunaan katalis,



Jenis reaktor serta kondisi operasi, ada bermacam-macam proses yang sudah dikembangkan oleh industri antara lain :

a. **Proses *Solution* (fase cair)**

Proses ini telah banyak dikembangkan oleh banyak industri, termasuk diantaranya *Du Pont*, *dow.DSM-Stami Carbon*, *Sumitomo* dan *Mitsui Petrochemie*. Proses ini memproduksi Polietilena jenis HDPE dan LDPE.

Bahan baku etilen dilarutkan dalam diluen, misalnya sikloheksana dan dipompa ke Reaktor pada 10 MPa. Reaksinya Adiabatis dan suhu reaksi pada 100-200°C. umpan mengandung 25% berat campuran dan 95% dikonversikan menjadi polietilena, larutan polietilena keluar dari Reaktor ditreatment dengan *deactivating agent* dan dilewatkan pada bed alumina dimana katalis yang terikat di absorpsi (Kirk Othmer, 1996).

b. **Proses *Slurry* (Suspensi)**

Pembentukan polietilena tersuspensi dalam diluen hidrokarbon untuk pertama kali dipatenkan oleh Ziegler. Pada tekanan tertentu katalis Ziegler dapat menghasilkan *yield* yang tinggi, dengan kondisi temperatur dimana polietilena tidak larut dalam diluen tersebut.

c. **Proses Gas**

Reaktor yang digunakan adalah *Fluidized Bed Reactor*. Reaktor berbentuk silindris, dengan bagian atas, dibuat lebih besar untuk memungkinkan terjadinya penurunan tekanan, sehingga partikel dapat turun kembali ke bed dan tidak terbawa aliran gas ke luar reaktor.

Katalis jenis Ziegler Natta yaitu jenis senyawa organik logam transisi yang berupa campuran halida logam transisi seperti  $TiCl_4$  dan organik logam alkali  $(C_3H_5)_3Al$ . Gas etilena diumpankan ke dalam



reaktor, Granular polietilena hasil reaksi ditampung dalam suatu *discharge* sistem. Sedangkan etilen yang tidak bereaksi didaur ulang.

Beberapa perusahaan yang mengembangkan proses ini antara lain : *Union Carbide*, *Amoco*, *Cities Service*, *Naptha Chemie*, *BASF*, dan *Imhausen Chemie*.

#### 1.4.2. Proses dalam Perancangan Pabrik

Proses fase cair dengan menggunakan reaktor berpengaduk dikembangkan oleh *Du Pont*, *Dow*, *DSM Stamicarbon*, *Sumitomo*, dan *Mitsui Petrochemical*. Proses ini memproduksi polietilena jenis LDPE dan HDPE. Keuntungan proses ini adalah bisa digunakan untuk berbagai macam komonomer.

Adapun alasan pemilihan proses fase cair dengan rektor jenis tanki pengaduk. Hal ini didasarkan pada beberapa kriteria:

1. Operasi bekerja pada suhu 100 – 200°C dan tekanan sekitar 20 atm. Dibandingkan dengan proses lain, kondisi ini mudah dikontrol.
2. Yield yang dihasilkan bisa relatif tinggi, yaitu diatas 95% *overall*
3. Reaksi fase cair memudahkan dalam kontrol suhu.
4. Proses ini lebih fleksibel karena dapat menghasilkan polietilen dengan berbagai tipe seperti : LDPE, HDPE, LLDPE

**Table 3. Proses Polimerisasi dan Kondisi Operasi Reaktor**





	Proses tekanan tinggi konvensional	Proses bulk, tekanan tinggi	Polimerisasi fase cair	Polimerisasi slurry	Polimerisasi fase gas
Tipe reaktor	<i>Tubular / autoclave</i>	<i>autoclave</i>	CSTR	<i>Loop / CSTR</i>	<i>Fluidized / Stirred Bed</i>
Tekanan reaktor, atm	1200-3000	600-800	~ 100	30-35	30-35
Temperatur, °C	130-350	200-300	140-200	85-100	80-100
Mekanisme polimerisasi	Radikal bebas	Koordinasi	koordinasi	koordinasi	koordinasi
Densitas, g/cm <sup>3</sup>	0,910-0,930	0,910-0,955	0,910-0,970	0,930-0,970	0,910-0,970
Index leleh, g/10 min	0,1-100	0,8-100	0,5-105	< 0,1-80	< 0,01-200

(Wallas,1990)

### 1.4.3. Kegunaan Produk

Polietilena  $(-CH_2-CH_2)_n$  adalah padatan semi-kristal yang bersifat termoplastik, yang merupakan hasil reaksi polimerisasi etilena ( $C_2H_4$ ) dengan menggunakan katalisator pada kondisi tekanan dan suhu tertentu.

polietilena merupakan senyawa polimer termoplastik yang memiliki sifat tahan panas, daya regang tinggi serta tidak larut dalam pelarut organik. polietilena ini dalam industri banyak digunakan sebagai bahan baku pada berbagai industri plastik. Adapun kegunaan dari polietilena dituliskan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Kegunaan Produk-Produk polietilena**

Densitas	Kegunaan
0,920	Lapisan <i>film</i> yang kuat dan <i>high slip</i> untuk pengemasan transparan makanan



0,938	Drum, hopper dan untuk keperluan di luar ruangan dengan tahanan yang sangat baik terhadap UV
0,952	Wadah untuk makanan, peralatan rumah tangga, Mainan anak
0,953	Campuran untuk membuat kawat, kabel dan untuk kemasan, Wadah besar yang memiliki toughness tinggi dan untuk barang reaktif
0,954	Untuk tutup botol minuman ringan
0,955	Tutup botol bahan kimia dan minuman ringan, Untuk pembuatan keranjang, palet, dan drum
0,956	Lapisan film pengemasan yang tipis dan kantong plastik
0,958	Tabung penyangga kosmetik dan peralatan
0,959	Untuk tutup botol air mineral, Alat rumah tangga, wadah dengan ketahanan terhadap UV yang tinggi

(Sumber : Laporan Kerja Praktek PT.PENI, 2005)

#### 1.4.4. Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku serta Produk

##### 1.4.4.1. Sifat Fisik dan Kimia Bahan Baku

###### 1. Etilena

###### Sifat-sifat fisika

- a. Rumus molekul :  $C_2H_4$
- b. Berat molekul : 28,054 kg/kmol
- c. Fase : padat
  - Titik leleh :  $-169,05^{\circ}C$
- d. Fase cair
  - Densitas : 23,281 kg/m<sup>3</sup>
  - Titik didih :  $-103,68^{\circ}C$
  - Panas laten penguapan : 182,7791 kJ/kg
- e. Fase gas
  - Densitas : 1,819 kg/m<sup>3</sup>
  - Specific gravity : 0,35
  - Specific volume : 1,48 m<sup>3</sup>/kg
  - Cp : 0,033 kJ/(mol K)

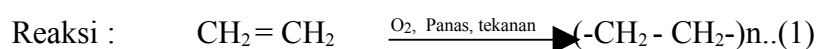


- Viskositas :  $4,99 \times 10^{-6}$  Pa.s
- Konduktivitas panas : 0,006994 W/(m K)

### Sifat-sifat kimia

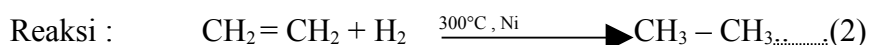
#### 1. Polimerisasi

Polimerisasi merupakan reaksi kimia di mana dua molekul atau lebih bergabung pada suhu dan tekanan tertentu membentuk molekul yang lebih besar disebut polietilen.



#### 2. Hidrogenasi

Etilena dapat diubah menjadi etana melalui proses hidrogenasi langsung dengan katalis nikel pada suhu 300°C.

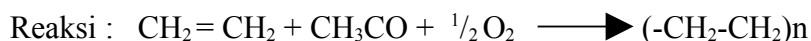


#### 3. Adisi

Penambahan brom ( $\text{Br}_2$ ) pada senyawa berikatan rangkap menghasilkan dibromida senyawa baru menjadi jenuh. Reaksi ini juga dipakai untuk mengidentifikasi adanya suatu ikatan rangkap yang ditandai hilangnya warna coklat dari larutan brom.

#### 4. Oksidasi

Oksidasi etilena secara langsung dapat menghasilkan vinyl asetat. Pada saat ini untuk memproduksi vinyl asetat banyak digunakan etilena sebagai bahanbakunya disbanding asetilena.



### **1.4.4.2. Sifat Fisik dan Kimia Bahan Pembantu**

#### **1. Metil Akrilat**

##### Sifat-sifat fisika

- a. Rumus molekul :  $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$
- b. Berat molekul : 86,091 kg/kmol



c. Fase padat

- Titik leleh : -185,2°C

d. Fase cair

- Densitas : 593 kg/m<sup>3</sup>
- Titik didih : -6,1°C
- Panas laten penguapan : 182,7791 kJ/kg

e. Fase gas

- Densitas : 1,819 kg/m<sup>3</sup>
- *Specific gravity* : 0,6013
- *Specific volume* : 1,48 m<sup>3</sup>/kg
- Cp (1 bar, 25°C) : 0,033 kJ/(mol K)
- Konduktivitas panas : 0,012 W/(m K)

Sifat-sifat kimia

Metil Akrilat merupakan bahan kimia yang mudah terbakar dan mudah meledak. Dalam jumlah yang kecil dapat menyebabkan gangguan pada saluran pernafasan serta iritasi pada kulit mata. Oleh karena itu keberadaannya diudara dibatasi sampai 10 ppm.

Dalam industri metil akrilat digunakan sebagai bahan *intermediet*, *amphoteric surfactan*, vitamin B1, serta sebagai bahan baku komonomer pada industri polimer, yaitu polimer akrilik. Sebagian besar komonomer ini digunakan pada industri polimer akrilik *termoseting*, seperti 2-hidroksi etil akrilat (HEA) dan hidroksi propil akrilat (HPA).

Secara komersial metil Akrilat dapat diperoleh dari sintesa *etil cyanohidrin* dengan metana dan diluen asam sulfat, atau melalui reaksi *oxo* asetilena dengan karbon monoksida melalui katalis kobalt/nikel. Selain itu metil akrilat juga dapat diperoleh dari sintesa  $\beta$ -*propiolacton*.



## 2. Hidrogen

### Sifat-sifat fisika

- a. Rumus molekul : H<sub>2</sub>
- b. Berat molekul : 2,016 kg/kmol
- c. Fase padat
  - Titik leleh : -259°C
- d. Fase cair
  - Densitas : 70,973 kg/m<sup>3</sup>
  - Titik didih : -252,8°C
  - Panas laten penguapan : 454,3 kJ/kg
- e. Fase gas
  - Densitas : 1,312 kg/m<sup>3</sup>
  - *Specific Gravity* : 0,0696
  - *Specific Volume* : 11,986 m<sup>3</sup>/kg
  - Cp (1 bar, 25°C) : 0,029 kJ/(mol K)
  - Viskositas (0°C, 1,013 bar) : 0,021 kJ/(mol K)
  - Konduktivitas panas : 168,35 mW/(m K)

### Sifat-sifat kimia

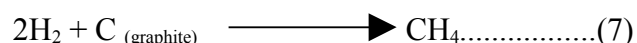
- a. Hidrogen diproduksi dari larutan asam dalam logam atau dari reaksi logam alkali dalam air. Reaksi tersebut berjalan pada temperatur kamar. Reaksinya:



- b. Hidrogen bereaksi dengan O<sub>2</sub> membentuk air pada kondisi yang sesuai. Reaksinya:



- c. Hidrogen bereaksi dengan karbon pada suhu tinggi membentuk metana. Reaksinya:





- d. Hidrogen dapat bereaksi dengan nitrogen untuk memproduksi amonia. Reaksinya:



### 3. Sikloheksana

#### Sifat-sifat fisika

Rumus molekul	: C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>
Berat molekul	: 84,156 kg/kmol
Bentuk	: cair
<i>Freezing Point</i>	: 6,55°C
<i>Boiling Point</i>	: 80,74°C
Temperatur kritis	: 281°C
Tekanan kritis	: 40,57 x 10 <sup>-3</sup> atm
Viskositas (20°C)	: 0,98 cp
Panas laten peleburan	: 267 kJ/kg
Panas laten penguapan	: 357.55 kJ/kg

#### Sifat-sifat kimia

Sikloheksana merupakan senyawa cincin non polar yang relatif stabil. Oleh karena itu dengan perlakuan temperatur dan dengan adanya Aluminium klorida, sedikit isomerisasi menjadi *metilsiklopentan*. Atau pembukaan cincin yang terjadi. Pada suhu yang tinggi (700-800°C) sikloheksana terdekomposisi menjadi butadiena dan produk lainnya. Oksidasi fase cair dari sikloheksana dengan udara memperoleh campuran Sikloheksanol yang utama dan Sikloheksanon, merupakan suatu reaksi berantai. Dalam memproduksi polimer nylon-66 perlu sekali dihasilkan *adipic acid* sebagai intermediet. *Adipic acid* ini biasanya dihasilkan dari oksidasi campuran Sikloheksanol-Sikloheksanon dengan *nitric acid*.



### 1.4.4.3 Sifat Fisik dan Kimia Produk

#### 1. Polyethylene

##### Sifat-sifat fisika

- Rumus molekul :  $(-CH_2-CH_2-)_n$
- Fase : Padatan
- Densitas : 910-968 kg/m<sup>3</sup>
- Berat Molekul : 10.000-100.000 kg/kmol
- Warna : Putih
- Titik Lebur Kristal : 109-183°C
- Koefisien Fraksi : 0,06 – 0,3
- *Cristallinity* : 55 – 85 %
- *Yield strength tensile* : 85.06 – 278.99 atm
- Konduktivitas termal : 13.06 – 19.31 W/m<sup>2</sup>K

##### Sifat-sifat kimia

- a. Tidak larut dalam pelarut apapun pada suhu kamar, tetapi mengembang oleh hidrokarbon dan karbon tetraklorida.
- b. Tahan terhadap asam dan gas.
- c. Dapat dirusak oleh asam sulfat pekat
- d. Tidak tahan terhadap cahaya dan oksigen
- e. Bila dipanasi secara kuat, akan membentuk sambung silang yang diikuti oleh pembelahan ikatan secara acak suhu lebih tinggi, tetapi polimerisasi tidak terjadi.

(Kirk and Othmer, 1968)

#### 1.4.5. Tinjauan Proses Secara Umum

Pada pembuatan polietilena merupakan proses penggabungan beberapa gugus molekul penyusun yang disebut monomer, membentuk molekul yang lebih besar dengan berat molekul raksasa yang disebut polimer. Proses ini dikenal dengan polimerisasi atau proses pembentukan polimer. Pada saat terjadinya polimerisasi, lengan ikatan rangkap atom karbon lepas kemudian bergabung dengan atom karbon lainnya yang juga

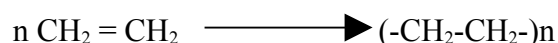


mengalami hal yang sama begitu seterusnya sehingga membentuk rangkaian panjang secara molekuler.

Pemutusan ikatan rangkap atau ikatan kovalen itu, biasa diebabkan karena adanya panas, tekanan atau karena sebab-sebab kimia lainnya

Molekul-molekul etilen yang berwujud gas yang ringan dan selama terjadinya polimerisasi, molekul-molekul etilen dalam jumlah ribuan tersebut, akan bergabung dengan molekul-molekul etilen lain membentuk polietilena yang lebih solid.

Reaksi yang terjadi :



Reaksi polimerisasi dapat digolongkan menjadi *step growth* dan *chain growth*. Pada polimerisasi *step growth* reaksi yang menghubungkan monomer, *oligomer*, dan polimer mempunyai mekanisme yang sama. Pertumbuhan rantai polimer secara perlahan dari monomer menjadi *dimer* dan seterusnya terbentuk molekul polimer dengan ukuran besar. Rantai polimer terus tumbuh dari dua sisi selamam polimerisasi, sehingga biasanya waktu plimerisasi lama (orde jam).

Sedangkan polimerisasi *chain growth*, molekul tumbuh cepat sekali. Pada polimerisasi ini terjadi pembentukan radikal bebas yang dapat berupa radikal bebas, kation atau anion. Begitu radikal bebas terbentuk, rantai polimer akan terbentuk cepat sekali dan pada waktu rantai dideaktivasi oleh terminasi rantai polimer menjadi mati dan tidak dapat bertambah lagi.

#### a. Polimerisasi *Step Growth*.

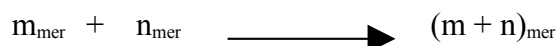
##### 1. Polimerisasi Linear

Pada Polimerisasi ini hanya ada satu jenis reaksi kimia yang menghubungkan semua ukuran molekul. Contohnya adalah reaksi





esterifikasi, amidasi, dan substitusi aromatik. Reaksi pertumbuhan pada polimerisasi ini secara umum adalah :



## 2. Polimerisasi *Interfacial*

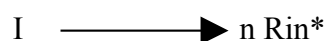
Metoda ini digunakan untuk menghasilkan polimer dengan massa molekul yang sangat besar pada antar permukaan dua larutan *immisible*. Contohnya adanya poliamidasi, terbentuk pada suhu kamar dari larutan diamin dan diacid khlorida dalam larutan organik. Polimer yang terbentuk dapat berupa film. Pada waktu molekul polimer mulai terbentuk dan monomer mulai bereaksi lagi, monomer ini akan bereaksi dengan rantai yang sudah ada, sebelum sempat membentuk rantai polimer yang baru. Jadi akan didapat polimer dengan BM yang besar sekali. Reaksi tidak banyak digunakan karena monomer yang digunakan mahal dan larutan dalam jumlah besar harus dipisahkan dan didaur ulang.

## 3. Polimerisasi nonlinear

Polimerisasi ini terbentuk dari monomer dengan dua gugus fungsional.

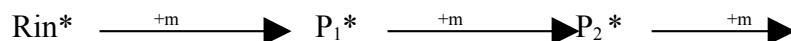
### b. Polimerisasi *chain growth*

Polimerisasi ini harus dimulai dengan adanya radikal bebas ( $Rn^*$ ) yang kebanyakan berupa radikal bebas. Radikal bebas adalah partikel yang mengandung elektron tak berpasangan. Radikal bebas biasanya terbentuk dari penguraian zat yang relatif yang tidak mantap. Ikatan rangkap dua sangat mudah diuraikan oleh adanya panas, tekanan atau pengaruh kimia guna membentuk radikal bebas. Radikal bebas ini memicu reaksi polimerisasi sehingga polimerisasi terjadi begitu cepat dalam waktu beberapa detik saja. Sehingga bila ada katalis I, katalis digunakan untuk menghasilkan radikal bebas.



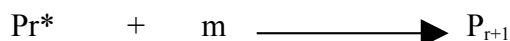


Radikal bebas  $R_{in}^*$  dengan monomer akan membentuk aktif *center* baru dan bergabung dengan monomer. Reaksi ini disebut propagasi.



$m$  adalah monomer dan  $P_r^*$  adalah polimer aktif dengan rantai panjang  $r$ .

Secara umum reaksi propagasi adalah:

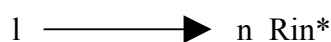


Pada polimerisasi ini hanya molekul dengan radikal bebas yang bisa mengalami reaksi propagasi, maka molekul yang sudah terbentuk dapat dianggap sebagai polimer yang sudah mati, yang tidak dapat menjadi rantai lagi.

Ada tiga dasar reaksi radikal bebas sebagai radikal bebas yaitu:

### 1. Tahap inisiasi

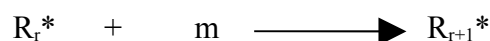
Pada tahap ini terjadi dua pembentukan radikal bebas, yaitu radikal bebas dari reaksi aktivasi katalis dan dari reaksi terhadap molekul etilen monomer yang membentuk radikal baru. Reaksi ini terus berlangsung menghasilkan radikal bebas selama polimerisasi.



Radikal bebas  $R_{in}^*$  dari inisiator disebut radikal primer atau radikal inisiator.

### 2. Tahap Propagasi

Radikal bebas yang terbentuk pada reaksi inisiasi sangatlah reaktif dan dapat cepatnya bereaksi dengan monomer membentuk rangkaian yang berkelanjutan, *free radical chain reaction*. Dalam setiap tahapan reaksi yang terjadi pada radikal bebas disertai dengan pembentukan radikal bebas baru, sehingga terjadi reaksi yang berantai.

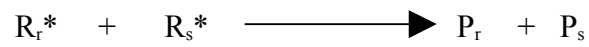


### 3. Tahap Terminasi

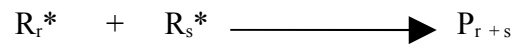
Reaksi yang berkelanjutan dihentikan oleh reaksi-reaksi yang tidak membenuk radikal bebas. Reaksi-reaksi itu adalah reaksi kombinasi dan *disproporsionasi* terhadap dua radikal bebas.



Reaksi disproporsionasi:



Reaksi kombinasi :



Pr adalah molekul polimer dengan rantai panjang rantai r dan tidak mempunyai pusat radikal.