



**TINJAUAN NERACA MASSA PADA PRARANCANG  
PABRIK *LINEAR LOW DENSITY POLYETHYLENE*  
(LLDPE) DENGAN PROSES POLIMERISASI FASE  
GAS KAPASITAS 200.000 TON/TAHUN**

**Skripsi**

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik Program Studi Teknik Kimia**

**Oleh**

**Anik Jarmiati**

**NIM.5213415026**

**TEKNIK KIMIA**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2019**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

**Nama** : Anik Jarmiati

**NIM** : 5213415026

**Program Studi** : S-1 Teknik Kimia

**Judul Skripsi** : Tinjauan Neraca Massa Pada Prarancang Pabrik *Linnier Low Density Polyethylene (LLDPE)* Dengan Proses Polimerisasi Fase Gas Kapasitas 200.000 Ton/Tahun

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke panitia skripsi Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 19 Juli 2019

Pembimbing,



Radenrara Dewi Artanti putri, S.T.,M.T.

NIP. 198711192014042002

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi dengan judul Tinjauan Neraca Massa Pada Prarancang Pabrik *Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)* Dengan Proses Polimerisasi Fase Gas Kapasitas 200.000 Ton/Tahun telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 05 agustus 2018

Oleh

Nama : Anik Jarmiati  
NIM : 5213415026  
Program Studi : S-1 Teknik Kimia

Panitia

Ketua Panitia



Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T.,M.T.  
NIP.197405191999032001

Sekretaris



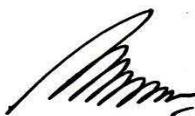
Dr. Megawati, S.T.,M.T.  
NIP.197211062006042001

Penguji I



Dr. Megawati, S.T., M.T.  
NIP. 197211062006042001

Penguji II



Bayu Triwibowo, S.T., M.T.  
NIP 198811222014041001

Pembimbing



Radenrara Dewi A P, S.T., M.T.  
NIP 198711192014042002

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Semarang



Dr. Nur Qudus, M.T.IPM.  
NIP.196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka .
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Anik Jarmiati

NIM. 5213415026

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO**

*“Yakinlah kau bisa dank au sudah separuh jalan menuju kesana”*

-Theodore Roosevelt

*“Barang siapa yang bersungguh-sungguh, sesungguhnya kesungguhan tersebut untuk kebaikan dirinya sendiri”*

-QS. Al-Ankabut : 6

### **PERSEMBAHAN**

1. Perkembangan ilmu dan teknologi Bangsa dan Negara Indonesia
2. Bapak, Ibu dan seluruh keluarga tercinta
3. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang
4. Teman-teman seperjuangan Angkatan 2015 Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang
5. Almamater Universitas Negeri Semarang

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT, karena atas kesempatan dan rahmat serta ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi Perancangan pabrik Kimia yang berjudul “Tinjauan Neraca Massa Pada Prarancang Pabrik *Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)* Dengan Proses Polimerisasi Fase Gas Kapasitas 200.000 Ton/Tahun”. Skripsi perancangan pabrik Kimia ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Jurusan Strata I untuk memperoleh gelar Sarjana Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Dalam penyusunan Skripsi Perancangan Pabrik Kimia ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T., Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.
3. Radenrara Dewi Artanti Putri, S.T., M.T., Dosen Pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, motivasi dan pengarahan dalam penyusunan Skripsi Perancangan Pabrik Kimia.
4. Dr. Megawati, S.T., M.T. dan Bayu Triwibowo, S.T., M.T. Dosen Penguji yang telah memberi masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan Skripsi.
5. Orang tua penulis yang telah memberikan dukungan baik secara moral maupun material.
6. Serta semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penyusunan Skripsi Perancangan Pabrik Kimia.

Akhir kata penulis berharap semoga Skripsi Perancangan Pabrik Kimia ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Semarang, Agustus 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN .....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
ABSTRAK .....	x
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	29
BAB 4 PEMBAHASAN .....	32
BAB 5 SIMPULAN DAN SARAN .....	45
DAFTAR PUSTAKA .....	33

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Jenis-Jenis Polietilena .....	3
Tabel 2.1 Kondisi Operasi Polimerisasi LLDPE .....	18
Tabel 3.1 Data Ketersediaan bahan Baku .....	29
Tabel 4.1 Perbandingan Kebutuhan Bahan baku .....	34
Tabel 4.2 Neraca Massa Reaktor .....	37
Tabel 4.3 Neraca Massa Degasser .....	38
Tabel 4.4 Neraca Massa Mixer .....	41
Tabel 4.5 Neraca Massa Pelletizer .....	42
Tabel 4.6 Neraca Massa Titik Cabang M1 .....	43
Tabel 4.7 Neraca Massa Titik cabang M2.....	44

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Polimerisasi fase gas dengan 3 bagian <i>concentric suoerimposed vertical</i> .....	10
Gambar 2.2 Polimerisasi fase gas dengan penambahan alat <i>stirrer</i> .....	11
Gambar 2.3 Proses Polierisasi fase gas UNIPOL .....	12
Gambar 2.4 Reaksi Pembentukan pusat aktif katalis .....	16
Gambar 2.5 Reaksi inisiasi .....	17
Gambar 2.6 Reaksi Propagansi .....	17
Gambar 2.7 Reaksi terminasi .....	18
Gambar 2.8 Dasar Perhitungan Umum Neraca Massa .....	19
Gambar 2.9 Struktur etilen .....	20
Gambar 3.1 Blok Diagram Aliran Massa Pabrik LLDPE .....	30
Gambar 4.1 Aliran Masuk Menuju Reaktor .....	33
Gambar 4.2 Aliran Massa Degasser .....	38
Gambar 4.3 Aliran Massa Mixer .....	39
Gambar 4.4 Aliran Massa Pelletizer .....	42
Gambar 4.5 Aliran Massa pada titik percabangan M1 .....	43
Gambar 4.6 Aliran Massa pada titik percabangan M2 .....	44

## ABSTRAK

Anik Jarmiati, 2019. Tinjauan Neraca Massa Pada Prarancang Pabrik *Linier Low Density Polyethylene* (LLDPE) dengan proses polimerisasi fase gas kapasitas 200000 ton/tahun, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Pabrik *Linier Low Density Polyethylene* (LLDPE) dengan proses polimerisasi fase gas ini dirancang dengan kapasitas sebesar 200000 ton/tahun. Bahan baku yang dibutuhkan adalah etilen sebesar 182421 Ton/tahun, butene sebesar 18239 Ton/tahun, katalis Ziegler natta sebesar 10,100 ton/tahun, dan kokatalis TEAL sebesar 304,017 ton/tahun. Pada prarancangan ini, pabrik direncanakan akan didirikan di kawasan PT. Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC). Pabrik ini direncanakan akan beroperasi 24 jam selama 330 hari per tahun. Peralatan proses yang digunakan adalah tangki penyimpanan bahan baku, reaktor, pompa, kompresor, *heat exchanger*, mixer, degasser, ekstruder, pelletizer, dan silo untuk penyimpanan produk. Aliran neraca massa pada pabrik *linier low density polyethylene* setimbang antara aliran massa masuk sama dengan massa produk yang keluar. Secara keseluruhan, *input* bahan baku yang dibutuhkan adalah etilen sebesar 182421 Ton/tahun, butene sebesar 18239 Ton/tahun, katalis Ziegler natta sebesar 10,100 ton/tahun, dan kokatalis TEAL sebesar 304,017 ton/tahun untuk menghasilkan LLDPE dengan kapasitas 200000 ton/tahun.

**Keyword :** neraca massa, LLDPE, peralatan proses.

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Polimer adalah salah satu produk kimia yang diproduksi sekitar 80% di seluruh dunia (Singh, 2012). Bahan baku polimer dapat diolah lebih lanjut menjadi produk plastik. Plastik memiliki sifat yang ringan, kuat dan mudah dibentuk. Plastik diaplikasikan pada berbagai jenis produk untuk menambah nilai gunanya seperti industri pengemasan, transportasi, dan elektronik.

Pasar terbesar plastik ada di bidang pengemasan yang banyak digunakan untuk mengemas bahan pangan dan non pangan (Geyer *et al.*, 2017). Di bidang pangan, kemasan plastik melindungi produk dari kontaminasi lingkungan luar dan mikroorganisme sehingga mengurangi jumlah bahan pengawet agar pangan tersebut tetap segar. Di bidang non pangan, plastik melindungi barang dari potensi kerusakan akibat bersentuhan dengan barang lain.

Plastik di bidang transportasi digunakan sebagai material pada kendaraan. Mulai dari stir mobil, garis pintu, sabuk pengaman hingga *airbag* terbuat dari material plastik. Saat ini plastik berperan penting dalam aspek keamanan dan performa berbagai jenis mobil seperti mobil keluarga, SUV, dan mobil *pick-up*. Hal ini meningkatkan permintaan plastik di bidang transportasi dari 20 pon per kendaraan pada 1960 menjadi 332 pon per kendaraan pada 2016 (Killinger, 2017). Di bidang elektronik, plastik berperan pada isolasi listrik agar pengguna tidak tersengat listrik atau terkena panas berlebih dari peralatan elektronik. Pada

industri LCD, plastik juga mampu meningkatkan kualitas gambar serta menghemat energi.

Salah satu produk polimer sintesis yang besar penggunaannya adalah polietilena. Berdasarkan laporan dari *Zion Market Research*, pasar polietilena secara global memiliki valuasi sebesar 163 miliar USD pada tahun 2017 dan diperkirakan akan meningkat 4% pada tahun 2024 menjadi 215 miliar USD. Total permintaan global polietilena tahun 2018 diperkirakan mencapai 99.6 juta ton dengan kenaikan rata-rata 4% ([www.pgjonline.com](http://www.pgjonline.com), 2014). Polietilena semakin tinggi permintaannya karena kemudahan proses, biaya pembuatan murah, dan dapat didaur ulang. Pengaplikasian polietilena sangat luas mulai dari bidang pengemasan, otomotif hingga elektronik.

Terdapat berbagai jenis polietilena, diantaranya adalah *High Density Polyethylene (HDPE)*, *Low Density Polyethylene (LDPE)*, dan *Linier Low Density Polyethylene (LLDPE)*. Tiap-tiap jenis polietilena memiliki sifat dan aplikasinya seperti yang disajikan pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1. Jenis-Jenis Polietilena

Jenis PE	Densitas	Aplikasi
HDPE	0.94-0.97	Botol deterjen, botol susu, drum, pipa, kontainer bahan kimia
LDPE	0.91-0.94	Lapisan pengemas, isolasi bahan pelapis, <i>trash bag</i> , pembungkus makanan
LLDPE	0.9-0.94	Tutup kemasan, pembungkus kabel, film, tong sampah, karung

(Peacock, 2000)

Salah satu negara yang kebutuhan bahan baku polimer tinggi adalah Indonesia. Indonesia masih mengandalkan impor bahan baku untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik sebesar 40% (Moeliena, 2017). Sebagai contoh, dari total 4.2 juta ton produk jadi plastik, 2.5 juta ton berasal dari impor. Plastik di Indonesia dimanfaatkan untuk sektor pengemasan sebesar 60%, otomotif sebesar 8% dan sektor lainnya termasuk pertanian dan perkebunan. Terdapat 892 perusahaan dengan kapasitas 2,35 juta ton yang beroperasi di bidang pengemasan di Indonesia. Di sektor otomotif, Indonesia masih harus mengimpor  $\frac{3}{4}$  dari kebutuhan totalnya yaitu 250.000 ton.

Perkembangan pembangunan ekonomi Indonesia dewasa ini menunjukkan semakin terintegrasi dengan perekonomian dunia. Perdagangan internasional merupakan salah satu aspek penting dalam perekonomian setiap Negara di dunia. Dalam melakukan perdagangan internasional maka setiap Negara

memerlukan cadangan devisa sebagai alat pembayaran luar negeri. Berdasarkan data dari badan pusat statistik, cadangan devisa Indonesia tahun 2013 berada di angka US\$ 99.387 juta, kemudian pada tahun 2014 posisi devisa naik 12% dari tahun sebelumnya mejadi US\$ 11.861 juta. Dan pada tahun 2015 posisi cadangan devisa kembali turun 5% dengan nilai US\$ 105.931 juta. Kemudian untuk nilai ekspor selama 2013 – 2015 menunjukkan penurunan, sedangkan nilai kurs rupiah terhadap US\$ sepanjang tahun 2013 – 2015 juga terus menerus mengalami depresi. Kedua sapek ini yang akan berpengaruh terhadap cadangan devisa Negara secara signifikan (Sayoga dan Tan, 2017).

Pada proses pembuatan LLDPE, bahan baku dan bahan tambahan dimasukkan bersama-sama dalam *fluidized bed reactor*. Salah satu kondisi yang perlu dipantau dari proses pembuatan LLDPE ini adalah aliran massa yang terjadi di dalamnya. Apabila terjadi ketidaksesuaian antara bahan baku masuk dan produk yang keluar pada alat proses selama proses produksi LLDPE ini berlangsung maka kualitas dan spesifikasi produk bisa berbeda dan kapasitas produk yang dihasilkan akan menyimpang dari yang telah direncanakan, oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan neraca massa pada alat proses untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan tersebut.

Sehingga diharapkan dengan aliran massa yang seimbang antara bahan yang masuk dengan produk yang dihasilkan mampu meningkatkan kinerja pabrik. Dengan demikian pendirian pabrik *linier low density polyethylene* (LLDPE) di Indonesia akan memiliki dampak positif diantaranya adalah:

1. Memenuhi kebutuhan polimer di Indonesia sehingga tidak bergantung kepada impor dari negara lain
2. Membuka lapangan kerja di era bonus demografi dimana jumlah penduduk usia produktif lebih banyak dari jumlah penduduk usia non-produktif yang akan dihadapi di Indonesia.
3. Dengan berkurangnya impor, cadangan devisa negara akan kuat di tengah nilai tukar rupiah yang masih lemah

### **1.2 Identifikasi Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya penghitungan aliran neraca massa untuk bahan baku yang masuk ke dalam proses hingga menjadi produk LLDPE
2. Perlu diketahui, kesetimbangan aliran massa pada setiap alat proses

### **1.3 Pembatasan Masalah**

Penelitian ini terdapat pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Neraca massa hanya dihitung pada peralatan utama pabrik LLDPE
2. Perhitungan neraca massa hanya dilakukan pada pra-rancang pabrik *linier low density polyethylene* (LLDPE) dengan kapasitas 200.000 ton/tahun

### **1.4 Perumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh neraca massa di alat utama pabrik LLDPE terhadap proses produksi pabrik?
2. Bagaimana pengaruh neraca massa overall terhadap hasil produksi pabrik?

### **1.5 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini meliputi:

1. Mengetahui pengaruh neraca massa di alat utama pabrik LLDPE terhadap proses produksi.
2. Mengetahui pengaruh neraca massa overall terhadap hasil produksi pabrik.

### **1.6 Manfaat Hasil Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat meningkatkan jumlah produksi pabrik melalui analisis kesetimbangan neraca massa.
2. Dapat meningkatkan keuntungan pabrik dengan adanya pengendalian bahan dengan neraca massa.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 *Linier Low Density Polyethylene (LLDPE)*

LLDPE (*Linier Low Density Polyethylene*) merupakan salah satu jenis PE yang memiliki densitas pada rentang 0,90 – 0,94 kg/cm<sup>3</sup>. Nama *polyethylene* berasal dari monomer penyusunnya yaitu etana (*ethylene*). *Polyethylene* pertama kali disintesis secara tidak sengaja dari pemanasan *diazomethane* oleh ahli kimia Jerman bernama Hans von Pechmann pada tahun 1898. Secara industri, *polyethylene* pertama kali disintesis oleh E.W. Fawcett pada tahun 1936 di *Laboratorium Imperial Chemical Industries, Ltd (ICI)*, Inggris dalam sebuah percobaan tak terduga dimana *ethylene* yang merupakan bahan baku sisa reaksi diteliti sampai tekanan 1.446,52 kg/cm<sup>2</sup> dan temperatur 170 °C.

Pada tahun 1940, polimer mulai diperkenalkan secara komersial, dan polimer *ethylene* yang pertama kali diperdagangkan adalah *polyethylene* dengan densitas rendah (*low density*) dan tekanan tinggi (*high pressure*). Setelah mengalami perkembangan, produksi *low density polyethylene* meluas dengan cepat. Pada tahun 1953, Ziegler berhasil menemukan cara pembuatan *polyethylene* secara organometalik dan setahun kemudian berhasil diproduksi. *Polyethylene* yang dihasilkan oleh Ziegler yaitu *polyethylene* tanpa tekanan. Sampai sekarang, *polyethylene* merupakan jenis polimer yang paling banyak diproduksi.

Berdasarkan struktur molekulnya polietilen dibagi menjadi tiga jenis, yaitu: *Low Density Polyethylene (LDPE)*, *Linier Low Density Polyethylene*

(LLDPE), dan *High Density Polyethylene* (LLDPE) (Susanto, J.A. 2010). LLDPE sering digunakan sebagai bahan baku berbagai macam kantong plastik, mulai dari plastik untuk produk makanan sampai plastik tebal untuk beban berat. Polietilena merupakan salah satu polimer dengan struktur molekul paling sederhana, bersifat termoplastik dari polimerisasi etilen. LLDPE digunakan sebagai pembungkus kabel, mainan, tutup kemasan, ember, kontainer dan pipa. LLDPE terutama juga digunakan untuk aplikasi plastik film dikarenakan sifat *toughness*, fleksibilitas, dan transparansi. Selain itu, polietilen jenis LLDPE diproduksi untuk berbagai macam barang, yaitu:

- a. Film : plastik, plastik, pembungkus baju, plastik karung
- b. Kabel : pembungkus kabel tegangan rendah
- c. Injection : kursi plastik, ember, gelas, dan piring plastik

LLDPE dicirikan dengan sifat kimia mempunyai densitas antara 0.915–0.925 g/cm<sup>3</sup>. LLDPE adalah polimer linier dengan percabangan rantai pendek dengan jumlah yang cukup signifikan. Umumnya dibuat dengan kopolimerisasi etilena dengan rantai pendek alfa-olefin (1-butena, 1-heksena, 1-oktena, dan sebagainya). LLDPE memiliki kekuatan tensil yang lebih tinggi dari LDPE, dan memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap tekanan. Sedangkan untuk sifat fisik LLDPE titik lelehnya berkisar 105°C hingga 115°C.

- Titik leleh : 105 - 115 °C
- Densitas : 0.962 g/mL at 25 °C
- Titik nyala : 270 °C
- Fasa : padatan (pelet)

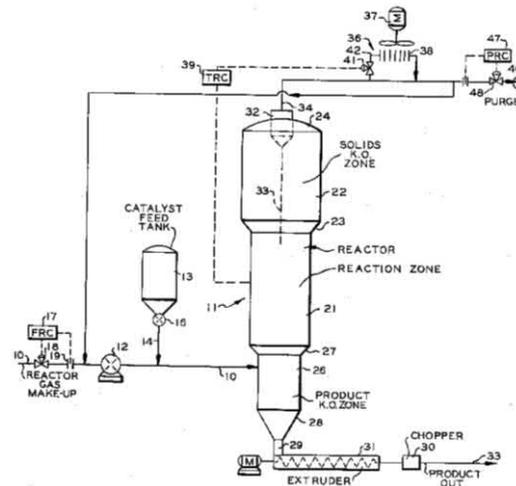
- Warna : putih
- Kelarutan : larut pada acetone dan benzene. Tidak larut pada air
- Kestabilan : Stabil, tetapi dapat rusak perlahan jika terkena cahaya UV atau sinar matahari secara langsung. Tidak kompatibel dengan halogen, benzena, petroleum eter, hidrokarbon aromatik dan terklorinasi, minyak pelumas

(<http://www.lottechem.co.id/products/>, 2018).

Dari segi ekonomis pendirian industri polimer LLDPE harus memperhatikan probabilitas selain modal yang harus disediakan. Berdasarkan Tabel 1.5 kebutuhan polimer LLDPE di Indonesia cenderung semakin meningkat yang ditunjukkan nilai impor semakin tinggi. Penggunaan polimer LLDPE biasanya diaplikasikan untuk bahan pembuat plastik pembungkus makanan. Dengan sifat plastik LLDPE yang tahan suhu tinggi (titik melunak diatas 100°C) sehingga aman jika digunakan untuk membungkus makanan ataupun bahan makanan. Selain digunakan sebagai bahan baku pembuatan plastik pembungkus makanan, polimer LLDPE juga digunakan sebagai bahan baku pembuatan wadah-wadah plastik seperti ember plastik ataupun baskom plastik. Hal ini dikarenakan sifatnya yang fleksible dan tidak mudah pecah, sehingga kebutuhan polimer LLDPE di Indonesia setiap tahun cenderung mengalami peningkatan.

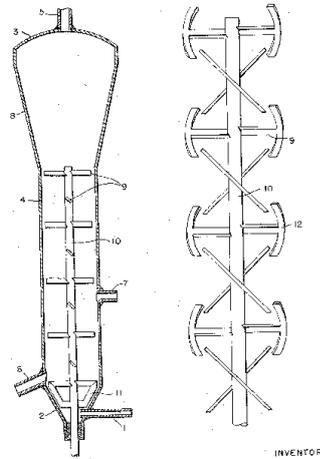
Pada pabrik ini, LLDPE diproduksi dengan proses polimerisasi fase gas. Proses polimerisasi fase gas pertama kali dilakukan oleh Dye (1962). Reaktornya terdiri dari tiga bagian *concentric superimposed vertical*. Partikel

polimer keluar melalui sebuah ekstruder yang terhubung dengan bagian bawah reaktor.



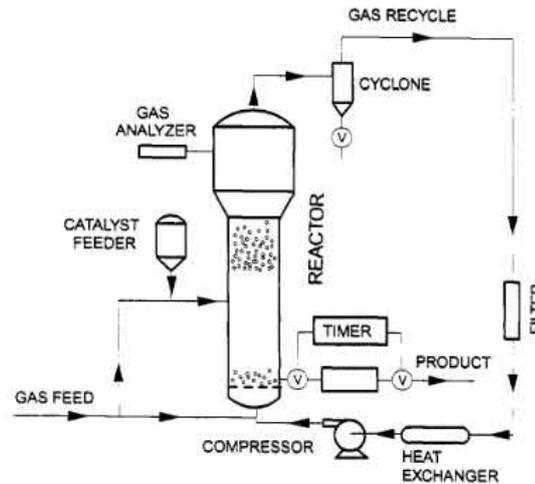
Gambar 2.1 Polimerisasi Fase Gas dengan 3 bagian *Concentric Superimposed Vertical* (Dye, 1962)

Polimerisasi dijalankan pada suhu 100°C dan tekanan 30 atm dengan bantuan katalis kromium oksida. Teknologi ini kemudian digunakan oleh perusahaan Conoco Philip. Penemuan selanjutnya dilakukan oleh Schmid *et al.* (1967) yang menambahkan alat di dalam reaktor sebuah pengaduk. Pada konfigurasi ini, partikel polimer dipindahkan searah dengan putaran pengaduk. Penghilangan panas reaksi sebagian melalui dinding reaktor dan sisanya terbawa oleh aliran gas. Pada proses ini polimerisasi dijalankan pada suhu 95°C dan tekanan 36 atm dan rasio antara diameter tabung dengan tingginya sebesar 1:5. Katalis yang digunakan pada proses ini adalah kromium oksida yang disupport oleh aluminium silikat. Teknologi ini dipakai oleh perusahaan BASF.



Gambar 2.2 Polimerisasi Fase Gas dengan Penambahan Alat *Stirrer* (Schdmit *et al.*, 1967)

Proses polimerisasi fase gas secara komersial pertama kali didirikan oleh Union Carbide pada tahun 1968. Proses ini disebut juga dengan proses UNIPOL. Reaktor terdiri dari dua bagian yakni *reaction zone* dan *disengagement zone*. Rasio antara diameter dan tinggi untuk tiap tiap zona adalah 6 – 7.5 dan 1 – 2 (Xie *et al.*, 1994). Kecepatan superficial melalui bed sekitar 3 – 10 kali minimum flow untuk terjadinya fludisasi (Jorgensen *et al.*, 1981). Pada saat startup, *reaction zone* harus diisi dengan partikel polimer sebelum gas masuk untuk direaksikan.



Gambar 2.3 Proses Polimerisasi Fase Gas UNIPOL (Xie *et al.*, 1994)

Hal yang membedakan dari proses lainnya adalah polimerisasi fase gas tidak menggunakan bahan berupa liquid. Polimerisasi terjadi di antarmuka katalis dan monomer penyusun polimer. Polimerisasi fase gas disebut juga dengan *dry polymerization* (Dormenval *et al.*, 1975).

Fase gas memiliki proses optimasi produk lebih optimal dengan adanya kontak antar komponen yang lebih seragam dan transfer massa yang tinggi. Kondisi operasi yang digunakan yakni pada tekanan 300 psig dan temperatur 80 – 110 °C, dengan kondisi operasi tersebut didapatkan partikel-partikel polimer terbentuk didalam reactor fluidis bed dan waktu tinggal katalis 2 – 4 jam. Proses gas kemudian dikembangkan pada tahun 1990 menjadi metode kondensasi. Teknik ini mampu meningkatkan kapasitas reaktor fase gas dan kapabilitas produk dengan membuat produk menjadi lebih praktis menggunakan komonomer alpha-olefin yang lebih tinggi seperti oktene-1 (Malpass, 2010).

Proses produksi polietilen menurut PT. Lotte Chemical Titan Nusantara. Tahapan proses produksi polietilena terdiri dari *Catalyst Injection Unit*, *Polymerisation Unit*, *Degassing Unit*, *Pelletizing Unit*, dan *Product Storage and Bagging Unit*. Berikut ini merupakan penjelasan tentang tahapan proses:

**a. *Catalyst Injection Unit***

Katalis disimpan dalam *tote bin* sebelum dipindahkan *dosing valve*. *Dosing valve* berfungsi untuk menakar jumlah katalis yang akan diinjeksikan terukur. Powder katalis memasuki *dosing valve*, dimana pada *dosing valve* ini terhubung dengan *high pressure nitrogen drum* yang siap menginjeksikan katalis langsung ke reaktor polimerisasi.

**b. *Polymerisation Unit (PU)***

Etilen, hidrogen, nitrogen dan 1-butena masuk ke dalam reaktor fluidisasi melalui bagian bawah, yang sebelumnya melewati *final cooler* dengan tujuan mengkondisikan umpan agar sesuai dengan kondisi operasi di dalam reaktor. Sedangkan katalis di injeksikan dengan bantuan N<sub>2</sub> high pressure dengan tekanan 30 barg. Katalis yang digunakan adalah *Ziegler Natta* dengan menggunakan kokatalis trietilaluminium (TEA). Kokatalis TEA ini berfungsi sebagai penghilang impurities pada katalis sehingga dapat menjaga keaktifan katalis, namun kelebihan Aliran *cycle gas* akan membentuk fluidisasi dengan bantuan *compressor* dengan tekanan 22 barg.

Gelembung gas yang terbentuk akan naik keatas dengan ukuran yang makin besar dan akan membawa partikel – partikel padat. Pada

proses ini akan terjadi penghomogenisasian bed. Partikel-partikel besar akan jatuh turun kebawah sehingga diharapkan terjadi reaksi polimerisasi menghasilkan resin polietilena. Gas hidrokarbon yang keluar dari atas reactor masuk kedalam *Gas cyclone*. Sedangkan, gas bersuhu 86 °C akan dikontakkan dengan 1-butena cair dengan tujuan untuk merubah fasa 1-butena menjadi gas. Gas yang telah bercampur dengan 1-butena ini kemudian masuk ke Primary Cooler untuk didinginkan suhunya dari 86 °C ke 58 °C. Primary Cooler ini merupakan heat exchanger berjenis shell and tube dengan bagian tube berisi gas dan bagian shellnya berisi air pendingin. Jika *finer* tidak dipisahkan dari gas di Gas cyclone tadi, maka dikhawatirkan akan membentuk kerak pada tube.

Setelah gas keluar dari Primary Cooler, gas kembali dicampurkan dengan bahan baku sesuai dengan kebutuhan dan masuk kedalam Main kompresor. Kompresor ini berfungsi untuk menaikkan tekanan gas sampai 2 bar diatas tekanan reaktor. Main Compressor ini juga berfungsi menyediakan flowrate gas (LLDPE) dan tekanan sebesar 22 bar. Aliran keluaran dari Main Compressor ini terbagi dua yaitu sebagian besar masuk ke *final cooler*.

Dalam final cooler ini, laju alir air dingin yang divariasikan untuk memberikan suhu gas yang dibutuhkan dalam reaksi polimerisasi. Setelah suhu, tekanan dan laju alir gas memenuhi kondisi operasi, maka gas akan kembali masuk ke reaktor polimerisasi.

**c. *Degassing Unit***

Powder polimer keluar dari reaktor polimerisasi bersamaan dengan gas hidrokarbon dan dikeluarkan menuju unit *Primary Degasser*. Pada *Primary Degasser* ini, gas hidrokarbon dipisahkan dari *powder* dan dikembalikan lagi ke reaktor untuk direaksikan kembali. Gas yang kembali masuk kedalam reaktor dikompresi terlebih dahulu dengan *Multiple Recycle* untuk menaikkan tekanan gas secara bertahap agar gas bisa masuk ke reaktor, karena tekanan gas pada *Primary Degasser* ini sekitar 0,5 bar sedangkan tekanan reaktor adalah 22 bar. Pada *Multiple Recycle Compressor* ini tekanan gas dinaikan dari 0.5 – 2 bar, 2 – 8 bar, dan terakhir 8 – 22 bar. Gas yang telah dikompresi masuk kembali kedalam reaktor. Powder yang telah dihilangkan hidrokarbonnya kemudian ditransfer ke *Product Bin*. Pada unit ini dialirkan steam dan nitrogen sebagai udara pembawa yang berfungsi untuk deaktivasi katalis.

**d. *Pelletizing***

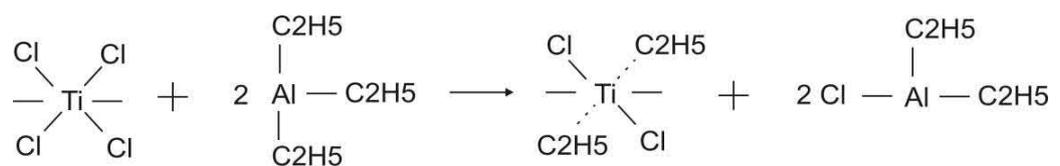
Powder dari *Degassing Unit* sebagian akan dimasukkan menuju ke *Ekstruder*. Pada *Ekstruder* ini akan terjadi proses homogenisasi dan pembentukan adonan selama bergerak sepanjang ekstruder. Semua umpan yang telah masuk ke ekstruder dilelehkan hingga suhu 220°C. Suhu pemotongan ini berada pada 60 °C. Fungsi air pendingin ini adalah sebagai pembeku lelehan pelet yang telah dipotong-potong.

**e. *Product Storage And Bagging Unit (PBU)***

*Product Storage and Bagging Unit* ini merupakan unit yang bertujuan sebagai tempat penyimpanan produk pelet polietilen yang telah terbentuk yang kemudian akan dilanjutkan dengan proses pengepakan.

Pembuatan LLDPE dengan polimerisasi fase gas, terjadi dengan dasar reaksi polimerisasi etilen terjadi melalui mekanisme adisi koordinasi karena menggunakan katalis logam transisi, yaitu  $\text{TiCl}_4$  dan kokatalis  $\text{Al}_2(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ . Pada polimerisasi adisi tidak terjadi pengakhiran, karena polimerisasi akan terus berlangsung sampai tidak ada lagi gugus fungsi yang tersedia untuk beraksi. Reaksi dapat dihentikan dengan penambahan sejumlah hydrogen sebagai agen terminasi.

Mekanisme reaksi polimerisasi terjadi pada reaktor fluidized bed. Sebelum terjadi reaksi polimerisasi, katalis  $\text{TiCl}_4$  diaktifkan dengan kokatalis  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$  sehingga akan terbentuk pusat aktif (*active center*) katalis. Reaksi pembentukan pusat aktif dapat dilihat pada Gambar 2.4.

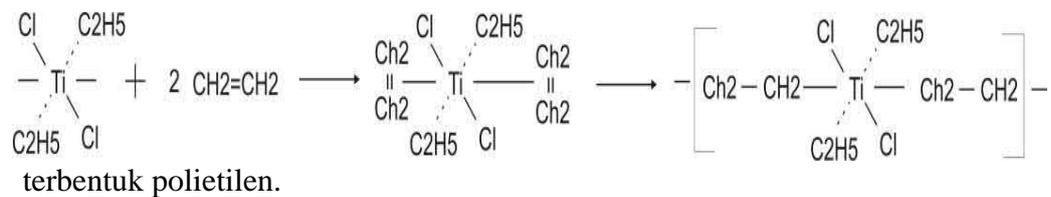


Gambar 2.4 Reaksi Pembentukan pusat aktif katalis

Mekanisme reaksi polimerisasi meliputi tiga tahapan reaksi sebagai berikut:

### 1. Inisiasi

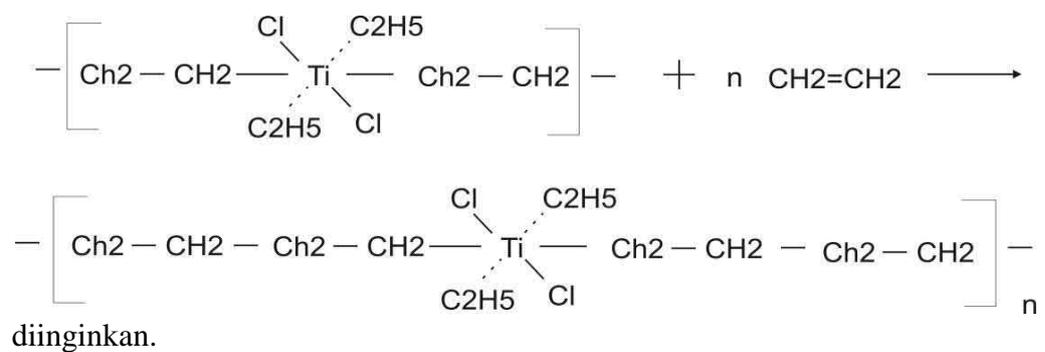
Monomer etilen akan terkoordinasi pada sisi aktif katalis hingga terbentuk kompleks dengan gugus alkil, yaitu gugus etil. Molekul monomer terikat dalam kompleks aktif dengan memutuskan ikatan  $\pi$ , hingga mulailah



Gambar 2.5 Reaksi inisiasi

### 2. Propagansi

Monomer etilen yang kontak dengan katalis akan berikatan secara terus menerus sehingga akan terbentuk rantai polimer yang panjang. Tahap ini berlangsung sampai terbentuk polimer homolog dengan density yang

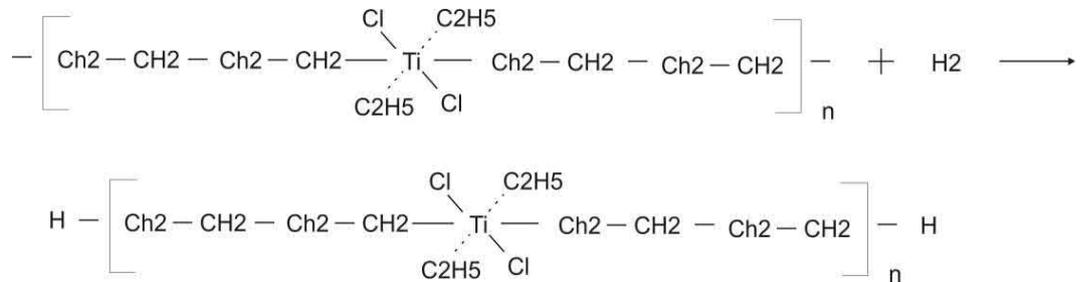


Gambar 2.6 Reaksi Propagansi

### 3. Terminasi

Pada tahap ini diinjeksikan sejumlah besar hydrogen yang berfungsi sebagai terminator. Hidrogen dapat memutuskan ikatan antara Ti dan C pada rantai polimer sehingga terbentuk ikatan antara Ti dan H. Hal ini

menghentikan reaksi polimerisasi etilen, seperti yang ditunjukkan pada reaksi berikut.



Gambar 2.7 Reaksi Terminasi

Reaksi tersebut berlangsung dengan kondisi operasi sebagai berikut :

Tabel 2.1 Kondisi Operasi Polimerisasi LLDPE

Parameter	Nilai
Suhu (C)	86
Tekanan (bar)	22
RH <sub>2</sub> /C <sub>2</sub>	0,08
C <sub>4</sub> /C <sub>2</sub> (kg/ton)	100
PPC <sub>2</sub> (bar)	6,5
PPH <sub>2</sub>	0,52
PPC <sub>4</sub>	2,567
PP <sub>inert</sub>	13,413
R Al/Ti	50

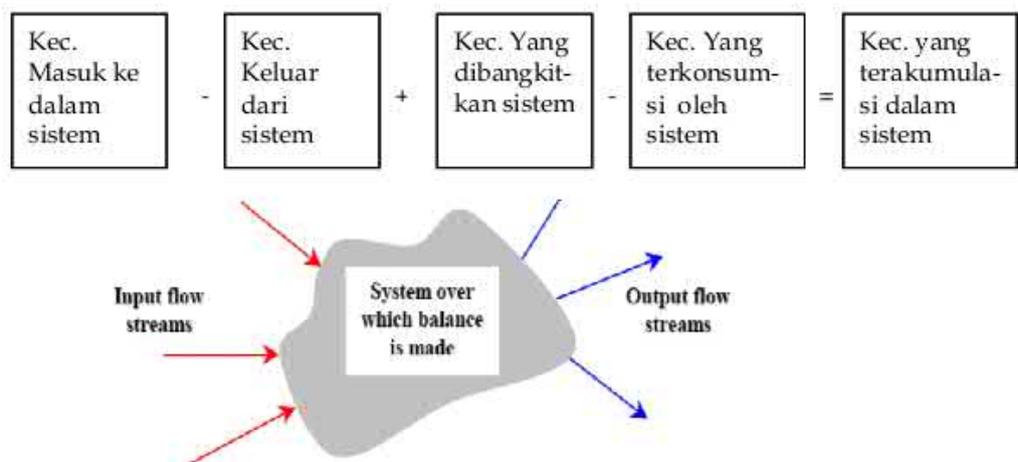
## 2.2 Neraca Massa

Neraca massa adalah menghitung aliran material dan perubahan pada material dalam sebuah system. Neraca massa digunakan untuk melihat aliran bahan yang masuk dan keluar dalam suatu proses berdasarkan Hukum

kekekalan Massa, yaitu jumlah aliran masuk sama dengan jumlah aliran keluar (Sugiharto, *et al.*2016).

Prinsip dasar yang digunakan apabila didalam suatu proses tidak ada akumulasi dalam peralatan prosesing, maka jumlah bahan yang masuk akan sama dengan jumlah bahan keluaran, dengan kata lain tidak ada bahan yang hilang maupun penambahan dari luar. Suatu system apapun, jumlah materi akan tetap walaupun terjadi perubahan bentuk ataupun keadaan fisik (Maflahah, I. 2010).

Dasar perhitungan neraca massa ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut,



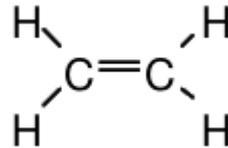
Gambar 2.8. Dasar Perhitungan umum Neraca massa

Bahan-bahan utama pembuatan LLDPE ini adalah etilen, buten, Ziegler-natta dan kokatalis TEAL. Spesifikasi bahan-bahan tersebut adalah sebagai berikut:

#### 1) Etilen

Etilen merupakan produk olahan petrokimia yang banyak diproduksi di dunia. Etilen digunakan untuk membuat etilbenzena, alkohol, olefin, asetaldehid dan polietilena. Serta sejumlah kecil digunakan sebagai gas

anestetis untuk pematangan buah, pengelasan dan juga pemotongan logam. Proses produksi etilen secara komersil selama ini berdasar pada proses cracking petroleum hidrokarbon. Berikut adalah struktur senyawa etilen:



Gambar 2.9 Struktur Etilen

Berikut sifat fisik etilen:

- Rumus molekul : C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>
- Berat Molekul : 28 g/mol
- Wujud : cair
- Kenampakan : Bening, tidak bewarna
- Densitas : 0.5684 kg/m<sup>3</sup>
- Titik leleh : -169.1 °C
- Titik didih : -103.9 °C
- Suhu kritis : 9.15 °C
- Tekanan kritis : 50.5 bar
- Volume kritis : 131 cm<sup>3</sup>/mol
- Komposisi
  - C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> : 99,99 % vol
  - C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> : 0,0001 % vol
  - CO : 0,00002 % vol

CO <sub>2</sub>	: 0,00002 % vol
H <sub>2</sub> O	: 0,0001 % vol
S	: 0,0001 % vol
O <sub>2</sub>	: 0,09966 % vol

(<http://www.chandra-asri.com/our-business/product>, 2018)

## 2) Buten

Buten digunakan sebagai *comonomer*, yang berguna untuk mengatur densitas pada proses polimerisasi. Pengaturan densitas dilakukan dengan rasio 1-butena terhadap etilen. Dimana hasilnya berkebalikan, jika 1-butena terlalu tinggi, maka densitas polimer akan turun dan sebaliknya jika densitas 1-butena terlalu rendah, maka densitas polimer akan naik.

Berikut sifat fisik dari 1-butena:

- Wujud : cair (30°C, 1 – 1,5 bar)
  - Kenampakan : Bening, tidak bewarna
  - Rumus molekul : C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>
  - Berat molekul : 56.108 g/mol
  - Densitas : 595 kg/m<sup>3</sup>
  - Titik leleh : - 185.4 °C
  - Titik didih : - 6.3 °C
  - Suhu kritis : 146.6 °C
  - Tekanan kritis : 37.2 atm
  - Komposisi
- |        |              |
|--------|--------------|
| Butene | : 99,9 % vol |
|--------|--------------|

CO	: 0,0005 % vol
CO <sub>2</sub>	: 0,001 % vol
H <sub>2</sub> O	: 0,0975 % vol
O <sub>2</sub>	: 0,002 % vol
Karbonil	: 0,0005 % vol
Methanol	: 0,0002 % vol

(<https://www.bp.com/en/global/petrochemicals>, 2018)

Sifat kimia 1-butena adalah sebagai berikut:

- a) 1-butena merupakan senyawa olefin yang merupakan turunan dari butana
- b) 1-butena memiliki titik didih yang sangat rendah sehingga dalam kondisi atmosfer akan berwujud gas

### 3) Ziegler-natta

Ziegler Natta (TiCl<sub>4</sub> dan MgCl<sub>2</sub>) berbahan dasar titanium digunakan katalis dalam proses polimerisasi, proses polimerisasi dibutuhkan waktu kontak dengan katalis sekitar 1,5 – 2 jam. Kondisi oprasinya berlangsung pada suhu 78-85 °C dan tekanan di bawah 1 MPa. Hexane digunakan sebagai pelarut dalam kedua proses ini. (Bulkatov, 2008; Naidoo, 2013; Jeremic, 2004)

Berikut sifat fisik dari *Ziegler Natta*:

- Titik leleh : -25 °C
- Titik didih : 135 – 136 °C
- Densitas : 1.73 g/mL at 20 °C
- Tekanan Uap : 50 mm Hg ( 55 °C)

- Indeks reaktif : 1.61
- Titik Nyala : 7,7 °F
- Kelarutan : larut terhadap air
- Fasa : Padat
- Warna : Kuning kecoklatan
- Kelarutan : larut terhadap air
- Komposisi
  - TiCl<sub>4</sub> : 97 % wt
  - MgCl<sub>2</sub> : 3 % wt

(<https://www.toho-titanium.co.jp/en/>, 2018)

#### 4) TEAL

Penambahan Trietilaluminium sebagai kokatalis, kokatalis adalah teknik untuk meningkatkan fraksi kristal polimerisasi etilen yang diproduksi dengan didukung katalis *ziegler natta* (TiCl<sub>4</sub> / dialkyl phthalate / MgCl<sub>2</sub>). (Kissin, Y. V., & Rishina, L. A, 2008) dan stereodistribusi fraksi kristal.

Berikut ini adalah sifat TEAL

- Rumus molekul : (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>Al
- Titik leleh : -50°C
- Titik didih : 128 – 130°C (50 mmHg)
- Kenampakan : Bening, tidak berwarna
- Densitas : 0.85 g/mL (20 °C)
- Titik nyala : -18 °C

- Fasa : Cair
- Warna : Transparan
- Kelarutan : Larut terhadap air
- Sensitif : Sensitif terhadap udara dan kelembapan
- Komposisi :
  - Triethylaluminum : 97,2 % wt
  - Tri-n-butylaluminum : 2,73 % wt
  - Aluminum : 23,5 % wt
  - Aluminum Trihydride : 0,07 % wt

(<https://www.chemicals-technology.com>, 2018)

Proses pembuatan LLDPE merupakan reaksi yang menghasilkan panas, dengan panas yang dihasilkan dapat dihitung dengan adanya tinjauan termodinamika. Termodinamika merupakan salah satu aspek penting berkaitan dengan energi. Secara umum reaksi dibagi menjadi reversibel dan irreversibel serta eksotermis dan endotermis. Penentuan suatu reaksi reversibel atau irreversibel dapat dilihat dari konstanta kesetimbangan reaksi. Apabila konstanta kesetimbangan lebih dari 1, maka reaksi tersebut irreversibel dan sebaliknya. Reaksi dikatakan eksotermis apabila saat proses pembentukan produk menghasilkan panas yang ditandai oleh nilai negatif entalpi reaksi. Reaksi dikatakan endotermis apabila menyerap sejumlah panas.

Reaksi polimerisasi etilena memiliki nilai entalpi dan entropi sebesar -109 kJ/mol dan -155 J/mol, pada suhu 25°C (298,15 K) (Stevens, 1989). Dari nilai entalpi yang negatif menunjukkan bahwa proses tersebut berjalan secara

eksotermis. Proses polimerisasi ini termasuk proses irreversible karena memiliki nilai konstanta kesetimbangan lebih dari 1.

Nilai energi Gibbs polimerisasi etilena adalah sebagai berikut

$$\Delta G_p = \Delta H_p - T\Delta S \quad \text{Persamaan (4)}$$

$$\Delta G_p = -109.000 - 298,15 \times (-155)$$

$$\Delta G_p = -62.789 \frac{J}{mol}$$

Untuk mencari konstanta kesetimbangan digunakan persamaan sebagai berikut

$$\Delta G = -RT \ln K \quad \text{Persamaan (5)}$$

$$-62.789 = -8.314 \times 298,15 \times \ln K$$

$$\ln K = 25,330$$

$$K = 100,1 \times 10^9$$

Konstanta kesetimbangan pada suhu 25 °C (298,15 K) adalah  $100,1 \times 10^9$ .

Konstanta kesetimbangan pada suhu 86 °C (359 K) dihitung dengan persamaan berikut:

$$\ln \frac{K}{K_{298,15}} = -\frac{\Delta H}{R} \left[ \frac{1}{T_{298,15}} - \frac{1}{T} \right] \quad \text{Persamaan (6)}$$

$$\ln \frac{K}{K_{298,15}} = -\frac{-109.000}{8,314} \times \left[ \frac{1}{298,15} - \frac{1}{359} \right]$$

$$\ln \frac{K}{K_{298,15}} = 7,453$$

$$\frac{K}{K_{298,15}} = 1.725$$

$$K = 1725 \times 100,1 \times 10^9$$

$$K = 1,727 \times 10^{14}$$

#### Keterangan

$\Delta G$  : Energi Gibbs (kJ/mol)

$\Delta H$  : Entalpi (kJ.mol)

$\Delta S$  : Entropi (J/mol.K)

T : Suhu (K)

R : Tetapan Gas (8.314 J/mol.K)

K : Konstanta Keseimbangan

Pada suhu operasi 86 °C diperoleh harga  $K = 1,727 \times 10^{14}$ . Dengan nilai konstanta keseimbangan yang lebih besar dari satu ( $>1$ ) dapat disimpulkan bahwa reaksi berlangsung secara searah atau irreversible. (Smith, JH, et al., 2001).

Dengan adanya tinjauan termodinamika, maka diperlukan juga adanya tinjauan kinetika. Reaksi polimerisasi LLDPE termasuk adisi koordinasi. Mekanisme tersebut membutuhkan suatu katalis logam transisi dan kokatalis untuk aktivasi. Katalis yang digunakan adalah Ziegler-Natta dan kokatalisnya adalah TEAL yang mengandung alkilaluminium. Sisi aktif katalis yakni atom

logam (Mt) dikelilingi oleh suatu logam (X) yang membentuk ikatan kovalen koordinasi (Mt-X). Polimerisasi LLDPE berjalan dengan ikatan kovalen dengan logam aktif katalis. Kecepatan reaksi dari katalis pada mulanya adalah nol. Aktivitas katalis akan muncul ketika kokatalis mencapai logam aktif.

Kecepatan polimerisasi alkena dengan katalis Ziegler-Natta sebanding dengan konsentrasi katalis ( $MtX_n$ ) dan monomer namun tidak bergantung kepada konsentrasi kokatalis (TEAL). Dengan nilai  $K_p$  sebesar  $0.242 \times 10^3$  L/mol.s pada suhu  $83^\circ\text{C}$  (Steven, 1989) dan energi aktivasi sebesar 43 kJ/mol (Kuran, 2001), maka nilai  $K_p$  pada kondisi operasi yakni suhu  $86^\circ\text{C}$  dapat ditentukan melalui persamaan arhenius.

$$T_1 = 83^\circ\text{C} = 356,15 \text{ K}$$

$$T_2 = 86^\circ\text{C} = 359,15 \text{ K}$$

$$K_p = 0,242 \times 10^3 \frac{\text{L}}{\text{mol s}}$$

$$U = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Persamaan (7)

$$R = 0,0821 \frac{\text{L atm}}{\text{mol K}}$$

$$E_A = 43 \text{ kJ} = 0,4243 \text{ L.atm}$$

$$\frac{K_1 = A e^{-\frac{E_a}{RT}}}{K_2 = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}}$$

Persamaan (8)

$$0,242 \times 10^3 = e^{-\frac{0,4243}{0,082 \times 356,15}}$$

$$0,242 \times 10^3 = e^{-\frac{0,4243}{0,082 \times 359,15}}$$

$$\frac{0,242 \times 10^3}{K} = \frac{0,9856046}{0,9857032}$$

$$K = \frac{0,242}{0,999}$$

$$K = 0,242 \times 10^3 \frac{L}{mol \cdot s}$$

## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Simpulan

Berdasarkan uraian diatas maka dapat disimpulkan bahwan:

- a. Aliran neraca massa pada pabrik *linier low density polyethylene* setimbang antara aliran massa masuk sama dengan massa produk yang keluar.
- b. Secara keseluruhan, *input* bahan baku yang dibutuhkan adalah etilen sebesar 182421 Ton/tahun, butene sebesar 18239 Ton/tahun, katalis Ziegler natta sebesar 10,100 ton/tahun, dan kokatalis TEAL sebesar 304,017 ton/tahun untuk menghasilkan LLDPE dengan kapasitas 200000 ton/tahun.

#### 5.2 Saran

- a. Perhitungan aliran massa perlu dilakukan dengan detail untuk setiap alat proses yang didalamnya terjadi perubahan komposisi
- b. Ketelitian dalam menghitung sangat diperlukan untuk mendapatkan keakuratan nilai aliran massa

## DAFTAR PUSTAKA

- Air Liquide. 2018. [www.airliquide.com](http://www.airliquide.com). 18 November 2018 (10:45)
- Air Product Indonesia. 2018. [www.airproducts.co.id](http://www.airproducts.co.id). 18 November 2018 (10:30)
- Chandra Asri. 2017. [www.chandra-asri.com](http://www.chandra-asri.com). 18 November 2018 (10:00)
- Dormenval, R., H. Laszlo, M. Piere. 1975. *Process for Dry Polymerization of Olefins*. Amerika Serikat. US. Patent 3922322.
- Dye, R.F. 1962. *Polymerization Process*. Amerika Serikat. U.S. Patent 3,023,203
- Geyer, R., K.R. Law, J. Jambeck. 2017. [Production, Use, And Fate Of All Plastics Ever Made](#). *Science Advances* 3(7)
- Killinger, J. 2015. Report Calculates Growing Role For Plastics Composites In Autos. <https://www.americanchemistry.com/Media/PressReleasesTranscripts/ACC-news-releases/Report-Calculates-Growing-Role-for-Plastics-Composites-in-Autos.html>. 15 November 2018 (14:20)
- Kuran, W. 2001. *Principles of Coordination Polymerisation*. John Wiley & sons Ltd.
- Maflahah, I. 2010. *Analisis Proses Pembuatan Pati Jagung (Maizena) Berbasis neraca Massa*. Madura. Jurnal Embryo Vol. 7 No. 1, Juni 2010. ISSN 0216-0188.
- Malpass, D.B. 2010. *Introduction to Industrial Polyethylene: Properties, Catalyst, Processes*. Los Angeles: Scrivener Publishing LLC

- Moeliana,H. 2017. Indonesia's Plastic & Packaging Industry: Still Dependent on Raw Material Imports.  
<http://www.gbgindonesia.com/en/manufacturing/article/2016/indonesia-splastic-andamp-packaging-industry-still-dependent-on-raw-material-imports-11500.php>. 16 November 2018 (08:00)
- PGJ Magazine. 2014. Global Demand For Polyethylene To Reach 99.6 Million Tons In 2018. <https://pgjonline.com/magazine/2014/december-2014-vol-241-no-12/features/global-demand-for-polyethylene-to-reach-996-million-tons-in-2018>. 15 November 2018 (15:30)
- Peacock, A.J. 2000. Handbook of Polyethylene Structure and Applications. Texas: Marcel Dekker Inc.
- Schmid, K., S. Joachim, J. Guenther, H. Manfred, L. Hans, T.H. Georg. 1967. *Process and Apparatus for the Polym-erization of Monoolefins*. Amerika Serikat. U.S. Patent 3300457
- Smith, M. Handbook of Petrochemicals Production Processes. New York: McGraw-Hill Education.
- Steven, M.P. 2007. *Polymer Chemistry: An Introduction*. Oxford: Oxford University Press.
- Sugiharto, *et al.* 2016. *Tinjauan Neraca Massa pada Proses Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Penambahan air Limbah Pabrik Kelapa Sawit*. Lampung. Jurnal teknologi Industri & Hasil Pertanian Vol. 21 No.1, Maret 2016.

- Susanto, J.A.2010.Pengaruh Penambahan Polibutilensuksinat (PBS) terhadap Sifat MEkanik dan Biodegrabilitas *Linier Low Density Polyethylene* (LLDPE). Skripsi. Universitas Indonesia, Fakultas Teknik. Depok.
- Xie T., K.B. McAuley, J.C.C. Hsu, D.W. Bacon. 1994. Gas Phase Ethylene Polymerization: Productio Processes, Polymer Properties and Modelling. *Ind.Eng.Chem.Res.* 33: 449-479.