

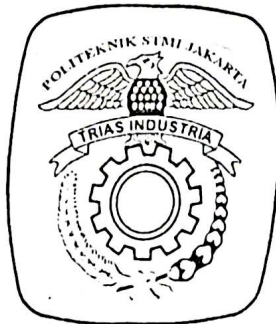
No. Dok: 5072.

Copy : 1

D
668-9-
uta
P

LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
PENGARUH HIDROGEN TERHADAP AKTIVITAS
POLIMERISASI PADA PROSES POLIMERISASI HDPE

Diajukan sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik
Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta



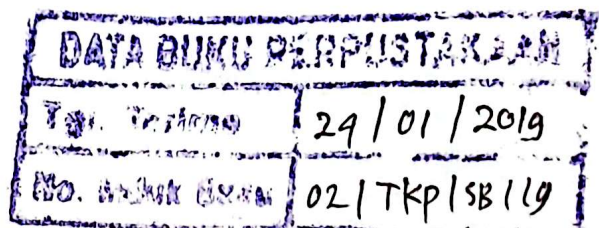
OLEH :

DINDA ANGGUNANTI UTAMI

1514040

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I

2017



LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG

JUDUL PENELITIAN

PENGARUH HIDROGEN TERHADAP AKTIVITAS POLIMERISASI PADA
PROSES POLIMERISASI HDPE

DISUSUN OLEH :

NAMA : DINDA ANGGUNIANTI UTAMI

NIM : 1514040

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Penelitian Program Studi Teknik
Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta pada hari Sabtu, 25 November 2017.

Jakarta, November 2017

Penguji,



Sakri Widhianto, S.Teks., MM.
NIP. 195303171978031001

Penguji,



Ir. P. Leonard Marpaung, MM.
NIP. 195702141985031002

Penguji,



Ir. Roosmariharso, MBA.
NIP. 195405231980031004

Penguji,



Dr. Erfina Oktariani, S.T., M.T.
NIP. 198210012014022001

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

JUDUL PENELITIAN:

PENGARUH HIDROGEN TERHADAP AKTIVITAS POLIMERISASI
PADA PROSES POLIMERISASI HDPE

DISUSUN OLEH :
NAMA : DINDA ANGGUNIANTI UTAMI
NIM : 1514040
PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diperiksa dan disetujui sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik
Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta.

Jakarta, November 2017

Menyetujui

Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA.
NIP. 195405231980031004

Dosen Pembimbing



Sakri Widhianto, S.Teks., MM.
NIP. 195303171978031001

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING PENELITIAN

JUDUL PENELITIAN:

PENGARUH HIDROGEN TERHADAP AKTIVITAS POLIMERISASI
PADA PROSES POLIMERISASI HDPE

DISUSUN OLEH :
NAMA : DINDA ANGGUNIANTI UTAMI
NIM : 1514040
PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Cilegon, November 2017

Telah diperiksa dan disetujui oleh:
Pembimbing

 Chandra Asri
petrochemical


Ramos Vischer H.

LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR PENELITIAN

Nama : Dinda Anggunianti Utami
 NIM : 1514040
 Judul TA Penelitian : Pengaruh Hidrogen terhadap Aktivitas Polimerisasi pada Proses Polimerisasi HDPE
 Pembimbing : Sakri Widhianto, S.Teks, MM.

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
04-09-17	I	-Perbaiki rumusan masalah -Perbaiki tujuan penelitian	1.
07-09-17	I	- Penambahan rumusan masalah - Penambahan tujuan penelitian	2.
12-09-17	II	- Perbaiki sub bab 2.4 - Perbaiki format penulisan	3.
19-09-17	II	- Perbaiki sub bab pada BAB II - Keterangan hidrogen	4.
25-09-17	III	- Perbaiki variabel penelitian variabel tetap dan tidak tetap	5.
29-09-17	III	- Perbaiki tahapan proses penelitian - Perbaiki diagram alir penelitian dan tabel variabel	6.
03-10-17	III	- Perbaiki penulisan penentuan konsentrasi katalis	7.
11-10-17	IV	- Perbaiki hasil penelitian dan pembahasan	8.
17-10-17	IV	- Kelengkapan pembahasan mengenai hasil penelitian	9.
20-10-17	V	- Perbaiki kesimpulan dan saran	

Mengetahui,
 Ketua Program Studi
 Teknik Kimia Polimer

Ir. Roosmariharso, MBA
 NIP. 195405231980031004

Pembimbing,

Sakri Widhianto, S.Teks, MM.
 NIP. 195303171978031001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Kami Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta,
Kementerian Perindustrian Republik Indonesia:

Nama : Dinda Anggunianti Utami

NIM : 1514040

Program Studi : Teknik Kimia Polimer

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir Penelitian yang saya
buat dengan judul Pengaruh Hidrogen terhadap Aktivitas Polimerisasi pada
Proses Polimerisasi HDPE:

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah,
survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing
penelitian, melalui tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal
acuan yang tertera dalam referensi pada karya tulis Tugas Akhir Penelitian
ini.
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah
dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi
lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu digunakan referensi pendukung
untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan
melalui referensi yang semestinya.
- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal
acuan yang tertera dalam referensi pada karya Tugas Akhir Penelitian saya.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan seperti apa yang
di atas, maka karya Tugas Akhir Penelitian saya ini dibatalkan.

Jakarta, November 2017


Dinda Anggunianti Utami



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT., karena atas ridho dan karunia-Nya laporan tugas akhir penelitian dengan judul "*Pengaruh Hidrogen terhadap Aktivitas Polimerisasi pada Proses Polimerisasi HDPE*" dapat terselesaikan. Penyusunan laporan ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi agar dapat menyelesaikan studi di program studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian R.I. Pengambilan data dilakukan di laboratorium polimer PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk, Cilegon, Banten. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2016. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih atas segala bentuk dukungan selama pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir penelitian ini, kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga.
2. Dr. Mustofa, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
3. Ir. Roosmariharso, MBA. selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
4. Fitria Ika Aryanti, S.T., M.Eng. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
5. Sakri Widhianto, S.Teks., MM. selaku dosen pembimbing penelitian di Politeknik STMI Jakarta.
6. Ramos Vischer selaku pembimbing penelitian di laboratorium polimer PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk, Cilegon.
7. Pak Irwan, Pak Sugiyanto, Pak Samsu Rijal, Mas Yusuf dan segenap divisi laboratorium polimer PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk yang telah menyediakan waktu untuk memberikan ilmu selama penelitian.
8. Seluruh karyawan di laboratorium polimer PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk, Cilegon.
9. Teman-teman Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta kelas KA. 02 angkatan 2014 selaku keluarga dan teman seperjuangan.
10. Teman-teman Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta angkatan 2014 selaku kawan seperjuangan.

DAFTAR ISI

	Halaman
Laporan Tugas Akhir Penelitian.....	i
Lembar Pengesahan Tim Penguji Sidang.....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing.....	iii
Lembar Pengesahan Pembimbing Penelitian.....	iv
Lembar Bimbingan Penyusunan Tugas Akhir Penelitian.....	v
Lembar Pernyataan Keaslian Penelitian.....	vi
Kata Pengantar.....	vii
Daftar Isi.....	ix
Daftar Tabel.....	xi
Daftar Gambar.....	xii
Daftar Istilah.....	xiii
Abstrak.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Polimer.....	6
2.2 Polimerisasi.....	6
2.2.1 Polimerisasi Adisi.....	7
2.2.2 Polimerisasi Kondensasi.....	9
2.3 Polietilena.....	10
2.4 HDPE.....	11
2.5 Katalis.....	13
2.5.1 Katalis Ziegler-Natta.....	14

2.5.2 Mekanisme Polimerisasi Polietilena dengan Katalis Ziegler Natta.....	15
2.5.3 Performa Katalis Ziegler-Natta.....	18
2.6 Hidrogen.....	19
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.2 Alat dan Bahan	22
3.2.1 Alat	22
3.2.2 Bahan	24
3.3 Variabel Penelitian	24
3.4 Prosedur Penelitian.....	25
3.4.1 <i>Sampling</i> Katalis.....	25
3.4.2 Persiapan Sampel <i>Slurry</i> Katalis	25
3.4.3 Polimerisasi.....	27
3.4.4 Pengujian Produk.....	28
3.4.5 Penentuan Konsentrasi Katalis	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Hasil Penelitian.....	30
4.1.1 Perhitungan Aktivitas Polimerisasi.....	30
4.1.2 Karakteristik Polimer HDPE	32
4.2 Pembahasan.....	33
BAB V PENUTUP.....	36
5.1 Kesimpulan.....	36
5.2 Saran.....	36
Daftar Pustaka.....	37
Lampiran	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Polietilena	10
Tabel 2.2 Tipe Ikatan Polietilena	11
Tabel 2.3 Aplikasi HDPE.....	12
Tabel 2.4 Sifat Fisik Gas Hidrogen.....	20
Tabel 3.1 Variabel Penelitian.....	25
Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian.....	30
Tabel 4.2 Pengaruh Variasi Tekanan Hidrogen terhadap Indeks Laju Leleh	32
Tabel 4.3 Pengaruh Variasi Tekanan Hidrogen terhadap Ukuran Partikel.....	32
Tabel 4.4 Pengaruh Variasi Tekanan Hidrogen terhadap Densitas Curah.....	33
Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Penelitian dan Standar	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Permintaan Termoplastik di Dunia (2005-2025).....	1
Gambar 2.1 Penurunan Energi Aktivasi.....	13
Gambar 2.2 Reaksi Inisiasi Alkilasi Pentakoordinat ion Ti (III)	16
Gambar 2.3 Reaksi Propagasi Alkil-Titanium	16
Gambar 2.4 Mekanisme Reaksi Propagasi Polimerisasi.....	17
Gambar 3.1 Tahapan Proses Penelitian.....	26
Gambar 4.1 Nilai Aktivitas Polimerisasi pada Variasi Tekanan Gas Hidrogen .	31
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Variasi Tekanan Hidrogen dan MFI.....	32

DAFTAR ISTILAH

PE	Polietilena
HDPE	Polietilena Densitas Tinggi (<i>high density polyethylene</i>)
LDPE	Polietilena Densitas Rendah (<i>low density polyethylene</i>)
LLDPE	Polietilena Rantai Lurus Densitas Rendah (<i>linear low density polyethylene</i>)
TiBAL	Triisobutilaluminium
MFI	Indeks Laju Lelehan/ <i>melt flow index</i> (g/10 min)
SCB	Rantai Cabang Pendek (<i>short chain branch</i>)
LCB	Rantai Cabang Panjang (<i>long chain branch</i>)
Rsp	Reaktivitas Spesifik/ Aktivitas Polimerisasi (g-polimer/g-katalis/jam/(kgf/cm ²))
TL	Titik Leleh (°C)

ABSTRAK

Polietilena telah berkembang menjadi bahan utama plastik yang didapatkan dari proses polimerisasi etilena. Sebagian besar polietilena komersial dibuat dengan katalis Ziegler-Natta dan kokatalis triisobutilaluminium (TiBAL). Aktivitas polimerisasi katalis memengaruhi produk polietilena yang dihasilkan melalui jumlah gas hidrogen. Pada penelitian ini ingin didapatkan aktivitas polimerisasi katalis dengan waktu reaksi polimerisasi selama 1 jam dan variasi tekanan gas hidrogen 0; 0,6; 1,0; 1,8; 2,2 kgf/cm². Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tekanan gas hidrogen yang diperlukan untuk mendapatkan aktivitas polimerisasi terbaik dan pengaruhnya pada produk yang dihasilkan. Penelitian dilakukan dengan mereaksikan gas etilena dengan heksana dan gas hidrogen pada suhu 90 °C selama satu jam. Pada penelitian ini digunakan metode reaksi polimerisasi adisi radikal bebas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meningkatnya tekanan gas hidrogen mengakibatkan nilai aktivitas polimerisasi yang dihasilkan semakin menurun. Tekanan gas hidrogen untuk mendapatkan nilai aktivitas polimerisasi terbaik adalah sebesar 1,0 kgf/cm², karena menghasilkan produk yang sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh perusahaan.

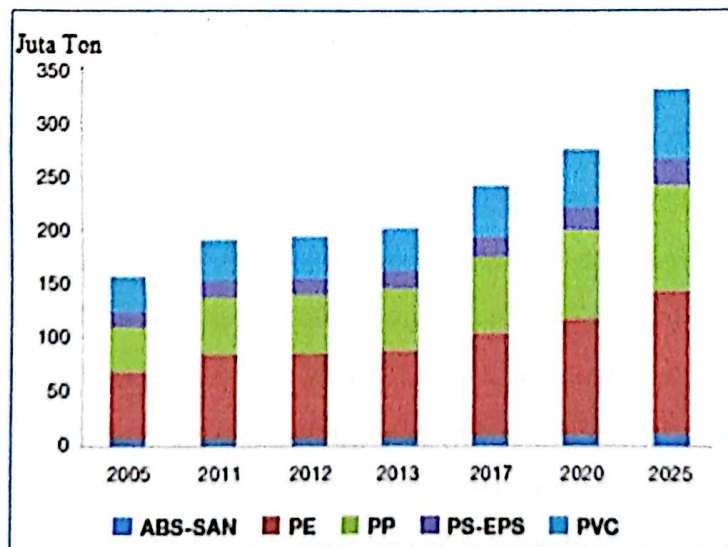
Kata kunci: Polietilena, katalis Ziegler-Natta, aktivitas polimerisasi, gas hidrogen.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Polimer merupakan salah satu bahan sintesis yang memiliki banyak manfaat dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu polimer yang sering kita temui dalam kehidupan sehari-hari adalah plastik. Plastik dalam bentuk kantong umumnya terbuat dari polimer olefin berupa polietilena. Polietilena telah berkembang menjadi bahan utama plastik yang didapatkan dari proses polimerisasi etilena [1]. Permintaan akan kantong plastik yang kian meningkat [2] menyebabkan peningkatan pada permintaan polietilena sebagai bahan utama pembuatan kantong plastik.

Sepanjang tahun 2005-2013 permintaan polietilena terus meningkat, bahkan diprediksi peningkatan ini terus terjadi hingga tahun 2025 [2]. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 1.1. Gambar 1.1 menunjukkan pada tahun 2005 total permintaan polietilena (PE) dari 60 juta ton menjadi 80 juta ton pada tahun 2011 (kenaikan rata-rata 0,75% per tahun).



Gambar 1.1 Permintaan Termoplastik di Dunia (2005-2025)
Sumber: *World Polymers Outlook ICIS, 2014*

Permintaan dunia yang kian meningkat terhadap polietilena menjadikan peluang bagi Indonesia untuk ikut memproduksi polietilena dalam skala Internasional. Sejak tahun 1989, Indonesia melalui PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk telah berupaya untuk dapat menjadi salah satu produsen polietilena kelas dunia [3]. Melalui PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk saat ini Indonesia mampu menghasilkan etilena yang merupakan bahan baku utama pembuatan polietilena dengan kapasitas sebesar 860.000 ton per tahun [3].

Polietilena pertama kali disintesis pada tahun 1898 oleh ahli kimia Jerman bernama Hans von Pechmann yang melakukannya secara tidak sengaja ketika sedang memanaskan diazometana [4]. Pada tahun 1900, Eugen Bamberger dan Friedrich Tschirner mencari tahu tentang substansi putih, berkilau, mereka mengetahui bahwa yang ia buat mengandung rantai panjang $-CH_2-$ dan menamakannya polimetilena [4]. Kegiatan sintesis polietilena secara industri pertama kali dilakukan oleh Eric Fawcett dan Reginald Gibson pada tahun 1933 di fasilitas ICI Northwich, Inggris [4]. Ketika memperlakukan campuran etilena dan benzaldehida pada tekanan yang sangat tinggi, mereka mendapatkan substansi yang sama seperti yang didapatkan oleh Pechmann. Reaksi ini diinisiasi oleh keberadaan oksigen dalam reaksi sehingga sulit mereproduksinya pada saat itu. Namun, Michael Perrin, ahli kimia ICI lainnya, berhasil mensintesisnya sesuai harapan. Pada tahun 1935-1939 industri polietilena densitas rendah (*low density polyethylene*) LDPE pertama dimulai [4].

Pada tahun 1953, Karl Ziegler dan Erhard Holzkamp berhasil menemukan pembuatan polietilena secara *organometalic* dan berhasil memproduksinya setahun kemudian. Polietilena yang dihasilkan adalah polietilena densitas tinggi (*high density polyethylene*) HDPE dengan proses yang berlangsung pada tekanan rendah dan menggunakan katalis. Proses ini kemudian menjadi dasar formulasi untuk berbagai jenis polietilena [5]. Polietilena adalah bahan termoplastik yang transparan, berwarna putih yang mempunyai titik leleh bervariasi antara 110-137 °C [6]. Umumnya polietilena bersifat tahan terhadap zat kimia. Pada suhu kamar, polietilena tidak larut dalam pelarut organik dan anorganik [6].

Reaksi polimerisasi dapat dilakukan pada fase cair, gas, maupun padat. Proses polimerisasi yang mula-mula banyak digunakan adalah polimerisasi dalam fase cair atau larutan [7]. Permasalahan utama yang timbul dari proses ini adalah pemisahan katalis dan sisa pelarut dari produk memerlukan biaya yang tinggi. Reaksi polimerisasi baru dengan menggunakan katalis yang jauh lebih baik berkembang pada tahun 1970-an [7]. Proses ini memiliki kelebihan yaitu, tidak memerlukan adanya proses pemisahan katalis dari polimer karena katalis telah menyatu dalam produk. Kesulitan utama dari proses polimerisasi fasa gas adalah pengendalian aktivasi katalis dan kemungkinan terbentuknya oligomer. Oligomer adalah molekul yang terbentuk dari beberapa monomer [8] misalnya dimer, trimer, tetramer, tetapi bukan polimer.

Proses dasar polimerisasi etilena yang mula-mula dipatenkan adalah proses yang digunakan oleh Imperial College Industri (ICI) pada tahun 1936 [4]. Proses ini menghasilkan polietilena linear densitas rendah (*linear low density polyethylene*) LLDPE pada kondisi tekanan tinggi. Pada tahun 1943 ditemukan cara lain untuk reaksi polimerisasi etilena, dengan proses Ziegler-Natta yang menggunakan katalis aluminium alkil (TiCl_4) [7]. Melalui proses ini polietilena dapat diproduksi pada tekanan dan suhu yang rendah. Katalis yang saat ini banyak digunakan adalah katalis organometal seperti TiCl_4 .

Dalam proses polimerisasi etilena, polimerisasi katalitik merupakan proses konversi etilena menjadi polietilena densitas tinggi (*high density polyethylene*) HDPE dengan menggunakan katalis Ziegler-Natta [9,10]. Katalis Ziegler-Natta yang dikenal sebagai '*highly active catalyst system*' merupakan kombinasi senyawa logam transisi golongan IV-VIII (Ti, V, Cr, Mg, dll) yang dikenal sebagai senyawa golongan organologam dengan senyawa golongan I-V sebagai kokatalis [11].

Karakteristik terpenting dari katalis Ziegler-Natta adalah kemampuannya untuk memproduksi *stereoregular polymer* yaitu polietilena linear (tanpa cabang) dari etilena dan polimer isotaktik dari α -olefin seperti propilena [12]. Stereoisotaktik inilah yang kemudian menjadi pertimbangan utama katalis Ziegler-Natta dipilih dalam proses polimerisasi etilena menjadi polietilena.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tekanan hidrogen yang diperlukan untuk mendapatkan aktivitas polimerisasi yang sesuai dengan standar pada proses polimerisasi etilena; dalam hal ini dinyatakan sebagai kgf/cm^2 ; serta mengetahui pengaruh tekanan hidrogen terhadap hasil reaksi polimerisasi etilena. Katalis yang digunakan adalah katalis koordinasi kompleks yang terdiri dari TiCl_4 sebagai katalis dan kokatalis triisobutilaluminium (TiBAL).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka masalah yang dapat dirumuskan adalah:

1. bagaimana pengaruh variasi tekanan gas hidrogen terhadap aktivitas polimerisasi pada proses polimerisasi HDPE?
2. berapa tekanan gas hidrogen yang diperlukan untuk mendapatkan aktivitas polimerisasi sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh perusahaan?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. katalis berupa katalis Ziegler-Natta atau disebut juga *catalyst-B* yang digunakan oleh PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk, Cilegon, Banten.
2. variasi tekanan gas hidrogen, yaitu 0; 0,6; 1,0; 1,8 dan 2,2 kgf/cm^2 .

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. mengetahui pengaruh variasi tekanan gas hidrogen terhadap aktivitas polimerisasi pada proses polimerisasi adisi dengan katalis Ziegler-Natta dan kokatalis triisobutilaluminium (TiBAL).
2. mengetahui tekanan hidrogen yang diperlukan untuk mendapatkan aktivitas polimerisasi terbaik pada reaksi polimerisasi adisi dengan katalis Ziegler-Natta dan kokatalis triisobutilaluminium (TiBAL) sesuai dengan standar perusahaan.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil pada penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi tambahan mengenai aktivitas polimerisasi dalam proses polimerisasi polietilena densitas tinggi (HDPE) untuk menghasilkan polimer yang sesuai dengan standar yang ditetapkan perusahaan.

1.6 Sistematika Penelitian

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian, rumusan masalah yang akan dibahas, batasan masalah dari penelitian yang akan dilakukan, tujuan dan manfaat dari dilakukannya penelitian ini, serta penjelasan mengenai sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan umum mengenai polimer, polietilena (PE), polimerisasi, katalis, dan hidrogen dalam polimerisasi.

BAB III: METODE PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, variabel penelitian serta prosedur penelitian (persiapan penelitian dan metode penelitian).

BAB IV: HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data hasil pengukuran, analisa data yang sudah diolah menjadi grafik, pembahasan terhadap hasil pengukuran dan analisa data.

BAB V: PENUTUP

Bab ini berisi dua bagian, kesimpulan dan saran yang telah dilakukan berdasarkan hasil yang telah didapat pada bab sebelumnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polimer

Polimer merupakan rangkaian molekul panjang yang tersusun dari pengulangan kesatuan molekul yang kecil dan sederhana. Molekul kecil dan sederhana penyusun polimer disebut dengan monomer. Polimer dengan massa molekul yang besar disebut dengan polimer tinggi. Polimer tinggi terdapat di alam seperti pati, selulosa, protein, dan kitosan serta yang dapat disintesis di laboratorium misalnya : polivinil klorida, polivinil alkohol, poliasam laktat, polimetil metakrilat, polietilena.

2.2 Polimerisasi

Polimer terbentuk dari susunan monomer-monomer melalui proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses pembentukan polimer dari monomernya. Reaksi tersebut akan menghasilkan polimer dengan susunan ulang tertentu. Dalam proses reaksinya, polimerisasi tidak hanya melibatkan senyawa monomer untuk pembentukan polimer. Senyawa lain yang perlu ditambahkan adalah komonomer, katalis, dan gas hidrogen.

Penambahan katalis dalam reaksi polimerisasi bertujuan untuk mempercepat reaksi. Sedangkan komonomer ditambahkan untuk menyesuaikan nilai densitas agar sesuai dengan yang diharapkan. Penambahan gas hidrogen dalam reaksi polimerisasi bertujuan untuk memutuskan rantai polimer yang terbentuk agar tidak terlalu panjang, karena rantai polimer yang terlampau panjang dengan bobot molekul yang besar menyebabkan kesulitan pada pengukuran indeks lelehan.

Reaksi polimerisasi dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu reaksi polimerisasi adisi dan reaksi polimerisasi kondensasi.

2.2.1 Polimerisasi Adisi

Polimerisasi adisi adalah polimerisasi yang melibatkan reaksi rantai dan disebabkan oleh radikal bebas atau ion. Polimerisasi adisi melibatkan ikatan antar molekul melalui pemecahan ikatan rangkap dua atau rangkap tiga. Dalam proses ini, monomernya merupakan senyawa tak jenuh [19]. Contoh polimer adisi yakni polietilena, polipropilena, dan polivinil klorida.

Berdasarkan uraian diatas, maka polimerisasi adisi dapat digolongkan menjadi 2, yaitu:

a) Polimerisasi Radikal Bebas

Polimerisasi radikal bebas adalah metode polimerisasi dimana suatu polimer terbentuk dari penambahan berturut-turut radikal bebas gugus atau atom-atom membentuk molekul. Radikal bebas dapat dibentuk melalui sejumlah mekanisme yang berbeda biasanya melibatkan molekul inisiator terpisah. Setelah penciptaan radikal bebas monomer unit, rantai polimer tumbuh pesat dengan penambahan berurutan dari bangunan gugus ke situs radikal bebas. Tahapan yang terjadi pada reaksi radikal bebas yaitu:

(1) Inisiasi

Tahap inisiasi adalah tahap pembentukan radikal bebas untuk tahap propagasi. Pembentukan radikal bebas dapat melalui suatu inisiator, seperti molekul peroksida. Peruraian suatu inisiator dapat dilakukan menggunakan panas, sinar UV, dan sinar gamma (radiasi).

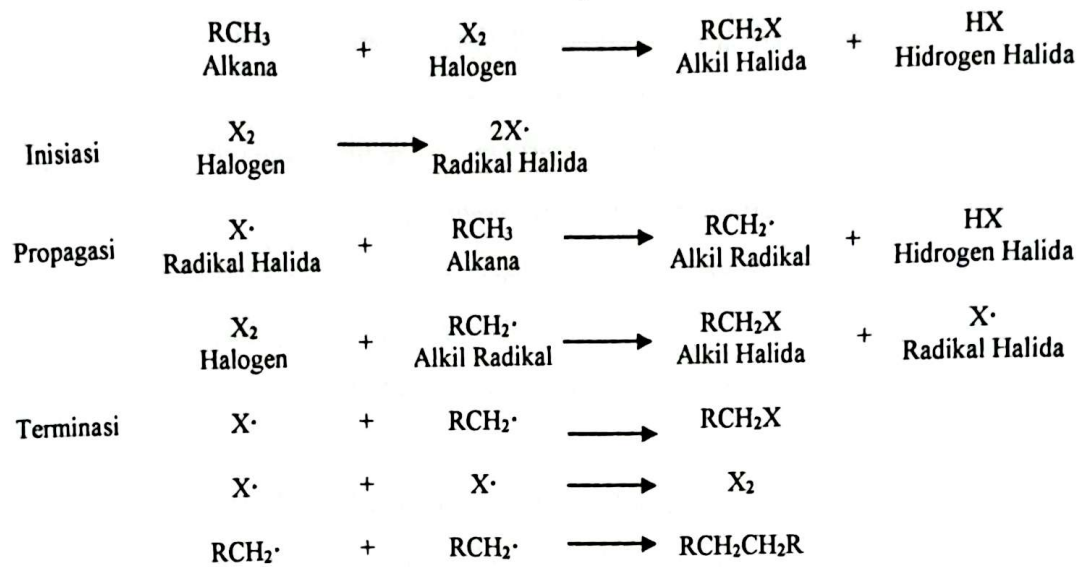
(2) Propagasi (perambatan)

Tahapan dimana radikal bebas bereaksi dengan monomer secara adisi kontinyu (berlanjut).

(3) Terminasi (pengakhiran)

Tahapan dimana radikal bebas dinonaktifkan pada tahap akhir. Penonaktifan ini dapat dilakukan dengan menggandengkan radikal atau kombinasi dan disporposionasi yang melibatkan transfer satu atom dari satu ujung rantai ke ujung rantai lainnya.

Mekanisme reaksi radikal bebas adalah sebagai berikut:

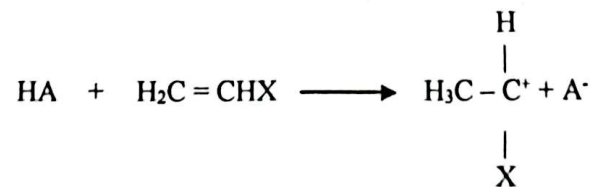


b) Polimerisasi Ion

Polimerisasi ion dapat berlangsung dengan mekanisme yang tidak melibatkan radikal bebas [19]. Misalnya, pembawa rantai dapat berupa ion karbonium (polimerisasi kation) atau ion karbon (polimerisasi anion).

(1) Polimerisasi Kation

Pada pembahasan kali ini, pembawa rantai yang digunakan adalah karbonium dan monomernya adalah $\text{CH}_2=\text{CHX}$. Katalis yang digunakan adalah asam *Lewis* (penerima pasangan elektron) dan katalis *Friedel Crafts* (AlCl_3 , AlBr_3 , BF_3 , TiCl_4 dan asam kuat lainnya). Polimerisasi kation paling baik berlangsung pada suhu rendah.



(2) Polimerisasi Anion

Pembawa rantai yang digunakan kali ini adalah karbon ion dan monomernya adalah $\text{CH}_2=\text{CHX}$. Polimerisasi anion berlangsung pada suhu rendah (-37°C) dan katalis yang umum digunakan adalah golongan logam alkali, alkil, aril, dan amida logam alkali.

2.2.2 Polimerisasi Kondensasi

Polimerisasi kondensasi adalah polimerisasi yang terjadi pada zat bermassa molekul rendah, dimana terjadi reaksi antar dua molekul bergugus fungsi banyak (molekul yang mengandung dua gugus fungsi atau lebih yang dapat bereaksi) dan terbentuk satu molekul besar yang bergugus fungsi banyak dengan disertai pelepasan molekul kecil seperti air melalui reaksi kondensasi [19].

Ciri-ciri polimerisasi kondensasi adalah:

1. Berlangsung secara bertahap melalui reaksi antara pasangan-pasangan gugus fungsi ujung.
2. Berat molekul polimer bertambah secara bertahap.
3. Kereaktifan suatu gugus fungsi dalam bentuk polimernya sama dengan dalam bentuknya sewaktu dalam bentuk monomer.
4. Dapat membentuk struktur cincin, bergantung pada keluwesan gugus yang terlibat dan ukuran cincin yang terbentuk.
5. Dapat membentuk polimer bercabang atau sambung silang apabila gugus fungsi kedua monomer lebih dari dua.
6. Dalam tahap tertentu terbentuknya struktur jaringan, maka terjadi perubahan sifat polimer yang mendadak misalnya campuran reaksi berubah dari cairan menjadi bentuk gel.
7. Derajat polimerisasi dikendalikan dengan variasi waktu dan suhu.
8. Penghentian polimerisasi kondensasi dapat dilakukan dengan penambahan penghenti ujung seperti asam etanoat, penambahan salah satu monomer berlebih dan penambahan pada suhu tertentu.

2.3 Polietilena

Polietilena adalah senyawa termoplastik yang diproduksi dari polimerisasi etilena. Berbeda dengan senyawa organik monomer umumnya, polietilena tidak dihasilkan dari molekul-molekul yang sama. Polietilena umumnya dihasilkan dari berat molekul yang tidak sama dengan panjang molekul yang bervariasi [14].

Polietilena linear (PE) merupakan polimer dengan komposisi kimia polimetilena $(CH_2)_n$ yang tersusun secara teratur. Sifat fisika polietilena dipengaruhi antara lain oleh berat molekul rata-rata, distribusi berat molekul, dan jumlah rantai cabang.

Polietilena adalah bahan termoplastik yang transparan, berwarna putih yang mempunyai titik leleh bervariasi antara 110-137 °C. Umumnya polietilena bersifat resisten terhadap zat kimia. Pada suhu kamar, polietilena tidak larut dalam pelarut organik dan anorganik [6].

Polietilena dapat diklasifikasikan berdasarkan densitas yang secara kualitatif berkaitan dengan panjang-pendeknya cabang dan berdasarkan indeks laju leleh (*melt flow index*) yang berkaitan dengan berat molekul polietilena [14] seperti pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Klasifikasi Polietilena

No	PE	Densitas (g/cm ³)	MI (g/10 min)	TL (°C)
1.	<i>High Density Polyethylene</i> (HDPE)	0,941 – 0,965	0,4 – 10	134
2.	<i>Linear Low Density Polyethylene</i> (LLDPE)	0,910 – 0,940	1,0 – 20	126
3.	<i>Low Density Polyethylene</i> (LDPE)	0,915 – 0,925	0,2 - 70	112

Sumber: Dokumen PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk

Polietilena berdasarkan sifat fisiknya, dibedakan menjadi:

1. *High Density Polyethylene* (HDPE)

HDPE dicirikan dengan densitas yang melebihi atau sama dengan 0.941 g/cm³. HDPE memiliki derajat rendah dalam percabangannya dan memiliki gaya antar molekul yang sangat tinggi, hal ini menyebabkan HDPE memiliki kekuatan tarik yang tinggi. HDPE dapat diproduksi dengan katalis kromium/silika, katalis Ziegler-Natta, atau katalis *metallocene*.

2. Low Density Polyethylene (LDPE)




LDPE dicirikan dengan densitas 0.910–0.940 g/cm³. LDPE memiliki derajat percabangan rantai panjang dan pendek, yang berarti tidak akan berubah menjadi struktur kristal. Ini juga mengindikasikan bahwa LDPE memiliki kekuatan antar molekul yang rendah. LDPE diproduksi dengan polimerisasi radikal bebas. LDPE memiliki titik leleh pada suhu 112°C.

3. Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)

LLDPE dicirikan dengan densitas antara 0.915–0.925 g/cm³. LLDPE adalah polimer linier dengan percabangan rantai pendek dengan jumlah yang cukup signifikan. LLDPE memiliki titik leleh pada suhu 126°C. Umumnya dibuat dengan kopolimerisasi etilena dengan rantai pendek α -olefin (1-butena, 1-heksena, 1-oktana, dan sebagainya). LLDPE memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dari LDPE, dan memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap tekanan.

Densitas Polietilena ditentukan dari jumlah cabang pada ikatan molekul. Rantai cabang yang pendek (*short chain branching*), memiliki sekitar enam atau kurang atom karbon melalui kopolimerisasi dengan α -olefin, sedangkan rantai cabang yang panjang (*long chain branching*) dibentuk dari radikal polimerisasi tekanan tinggi dengan spesifikasi seperti pada tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Tipe Ikatan Polietilena

	HDPE	LDPE	LLDPE
Model Struktur			
Tipe Ikatan	SCB	SCB, LCB	SCB
Jumlah Cabang	≤ 6	10-30	10-30

2.4 HDPE

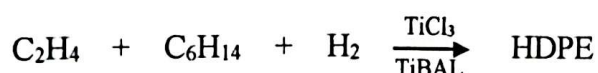
HDPE diproduksi melalui proses reaksi bertekanan rendah antara 5-140 kgf/cm² pada suhu 60-300°C menggunakan katalis *slurry* Ziegler-Natta dan isobutana sebagai pelarut.

Produk HDPE dengan distribusi berat molekul yang besar (*broad molecular weight distribution*) digunakan untuk aplikasi pembuatan pipa, *blow film* dan *blow molding*. Sedangkan produk HDPE dengan distribusi berat molekul sempit (*narrow molecular weight distribution*) digunakan untuk aplikasi seperti *injection molding* [15]. Aplikasi HDPE dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Aplikasi HDPE

Metode Fabrikasi	Aplikasi
<i>Injection Molding</i>	Kontainer, kontainer dinding tipis, alat tulis, tutup botol, peralatan industri
Monofilamen	Tali, Jaring (net)
<i>Blow Molding</i>	Indstri botol-botol kimia, botol-botol farmasi, botol detergen, pengepakan makanan
Tali Lentur	Kantong pupuk, kantong makanan
<i>Blow Film</i>	Film plastik, pengepakan, tas belanja
Pipa	Pipa gas, pipa air

Polimerisasi etilena menjadi HDPE di PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk melalui reaksi:



Etilena (C_2H_4) adalah monomer yang berperan sebagai bahan baku utama proses produksi. Sedangkan heksana (C_6H_{14}) sebagai komonomer ditambahkan untuk meningkatkan fleksibilitas rantai, hidrofilisitas, dan kinerja proses. Pada proses ini ditambahkan pula katalis Ziegler-Natta yang dinamakan sebagai *catalyst-B* dan berperan untuk mempercepat laju reaksi.

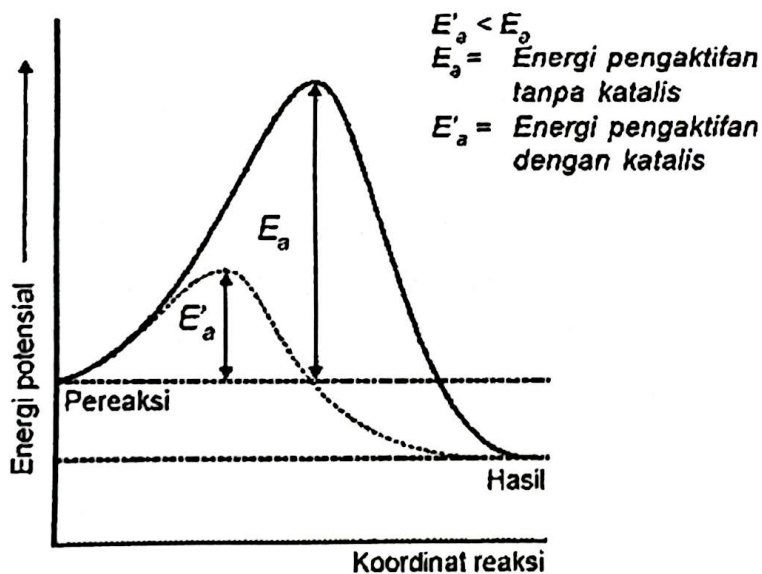
Penambahan kokatalis triisobutilaluminium (TiBAL) berfungsi untuk meningkatkan kinerja katalis. Gas hidrogen ditambahkan untuk memutus rantai polimer agar sesuai dengan berat molekul polimer yang diinginkan. Karena berat molekul polimer memengaruhi sifat fisik dan mekanik suatu polimer.

Semakin besar berat molekul suatu polimer, akan semakin baik sifat mekanik yang dimiliki polimer tersebut. Selain itu, berat molekul juga memengaruhi temperatur leleh polimer dimana semakin besar berat molekul suatu polimer, maka semakin besar temperatur yang diperlukan untuk membuat polimer tersebut meleleh.

Beberapa sifat yang dipengaruhi oleh berat molekul dibutuhkan untuk mempermudah proses produksi polimer menjadi barang jadi atau barang siap pakai. Diantaranya temperatur leleh polimer yang memengaruhi juga pada indeks laju lelehan polimer. Bobot molekul rendah memberikan indeks laju lelehan yang tinggi, kondisi ini cocok untuk proses produksi secara *injection molding*.

2.5 Katalis

Katalis, menurut J.J. Berzelius pada tahun 1836, adalah senyawa yang meningkatkan laju reaksi kimia. Katalis hanya memengaruhi laju reaksi dan tidak memengaruhi kesetimbangan maupun termodinamika reaksi. Katalis tidak memberikan tambahan energi pada sistem dan secara termodinamika tidak dapat memengaruhi keseimbangan. Katalis mempercepat reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi reaksi, penurunan energi aktivasi tersebut terjadi karena dari interaksi antara katalis dan reaktan. Kemampuan katalis dalam meningkatkan laju reaksi kimia dicapai melalui mekanisme reaksi alternatif dengan energi aktivasi (E_a) yang lebih rendah, seperti pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Penurunan Energi Aktivasi
Sumber: chemistrymedia.blogspot.com

Katalis menyediakan fasa-fasa aktif yang berperan dalam proses reaksi. Fasa-fasa aktif ini dapat berasal dari logam-logam yang terdeposit pada pengemban atau dapat pula berasal dari pengemban sendiri. Umumnya logam-logam transisi yang menyediakan orbital kosong atau elektron tunggal yang akan disumbangkan pada molekul reaktan sehingga terbentuk ikatan baru dengan kekuatan ikatan tertentu [20].

Jenis katalis dapat diklasifikasikan menjadi tiga golongan, yaitu: katalis homogen, katalis heterogen, dan bio-katalis (enzim). Katalis homogen memiliki fasa yang sama dengan reaktan, misalnya reaksi antara sulfur dioksida dengan oksigen yang dikatalisis oleh nitrogen dioksida untuk membentuk sulfur trioksida. Sebaliknya, katalis heterogen memiliki fasa yang berbeda dengan reaktan, misalnya reaksi antara karbon monoksida dengan oksigen untuk membentuk karbon dioksida yang dikatalisis oleh logam platina (Pt) pada konverter katalitik kendaraan bermotor yang sengaja dipasang untuk mengeliminasi karbon monoksida dari gas buang kendaraan bermotor [16].

2.5.1 Katalis Ziegler-Natta

Sistem katalis Ziegler-Natta, secara umum terdiri dari kombinasi dua komponen utama yaitu senyawa logam transisi golongan IV-VI dan senyawa organologam golongan I-V [10,11,12]. Jenis logam transisi yang digunakan dalam katalis Ziegler-Natta ini adalah titanium dan vanadium yang secara sinergis dan interaktif membentuk *active site* katalis yang merupakan kontributor utama dalam aktifitas katalitik, selektivitas, dan stabilitas reaksi [13]. Senyawa organologam yang umum dikenal sebagai kokatalis dan yang berfungsi sebagai aktivator katalis adalah senyawa alkilaluminium seperti triisobutilaluminium (TiBAL) [13].

Pada dasarnya, komponen-komponen pembentuk katalis Ziegler-Natta terdiri dari, prekursor, promotor, dan support (matriks).

Prekursor, pembentuk pusat aktif katalis umumnya terdiri dari satu atau lebih atom logam transisi. Showa Denko mengkombinasikan titanium dan vanadium sebagai basis katalis untuk membentuk *highly active catalyst* [13].

Promotor dalam katalis umumnya terdiri dari senyawa asam lewis seperti, etilaluminium sesquiclorida $(C_2H_5)_3Al_2Cl_3$, untuk menjaga aktivitas katalis [17].

Support (matriks) tidak selalu ada pada katalis, dan berfungsi untuk meregenerasi daerah aktif pada katalis. Poros area permukaan katalis umumnya tidak lebih dari 3 m²/g. Umumnya ukuran partikel support katalis merupakan replika ukuran partikel polimer [17].

Prekursor, dalam katalis Ziegler-Natta berfungsi membentuk daerah valensi logam aktif dan menyeimbangkan aktifitas katalis dengan morfologi partikel polimer sehingga berpengaruh pada berat molekul dan distribusi berat molekul HDPE. Showa Denko mereduksi campuran titanium tetraklorida (TiCl₄), vanadium oksitriklorida (VOCl₃), heksa metildisiloksana (CH₃)₃SiOSi(CH₃)₃, dan tetrabutoksilana Si(OBu)₄ dalam heksana untuk membentuk TiCl₃ [13].

2.5.2 Mekanisme Polimerisasi Polietilena dengan Katalis Ziegler Natta

Reaksi polimerisasi polietilena densitas tinggi (HDPE) merupakan polimerisasi adisi dengan melalui 3 tahapan, yaitu:

1) Inisiasi

Tahap ini dimulai dengan pengaktifan katalis oleh kokatalis. Katalis yang digunakan adalah TiCl₃ dan kokatalisnya adalah C₁₂H₂₇Al. Setelah katalis diaktifkan oleh kokatalis, akan terbentuk rantai polietilena sebagai hasil penyisipan monomer etilena di antara Ti dengan isobutil.

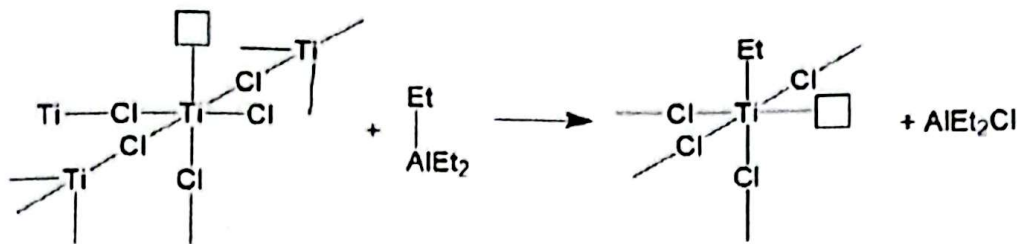
2) Propagasi

Radikal etilena yang terbentuk akan menyerang monomer etilena lain secara terus-menerus sehingga membentuk rantai polimer yang panjang. Pada tahap ini tidak terjadi pengakhiran reaksi hingga tidak ada lagi gugus fungsi yang tersedia untuk terjadinya reaksi.

3) Terminasi

Pada tahap ini, terjadi reaksi hidrogenasi. Hidrogen sebagai terminator akan bergabung dengan sisi aktif katalis sehingga terjadi pemotongan radikal polimer menjadi senyawa polimer dan senyawa hidrid. Senyawa hidrid akan bergabung kembali dengan monomer etilena lain untuk membentuk rantai yang baru.

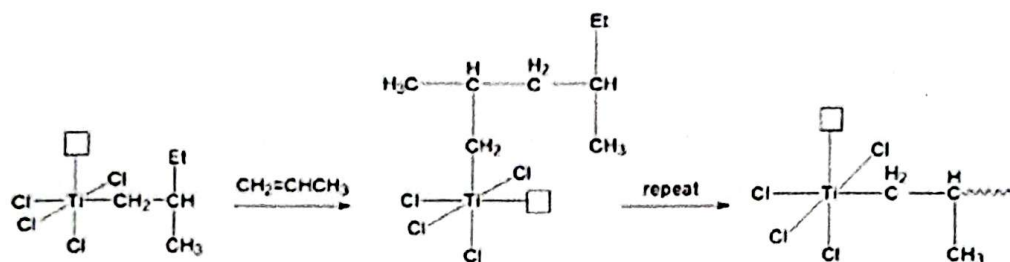
Dalam pentakoordinat Ti (III), lima ion Cl mengelilingi setiap ion Ti yang tersusun pada lima dari enam sudut oktahedron. Reaksi inisiasi terjadi dari alkilasi pentakoordinat ion Ti (III), seperti pada gambar berikut



Gambar 2.2 Reaksi Inisiasi Alkilasi Pentakoordinat ion Ti (III)

Sumber: *Creative Commons Attribution- United States License*

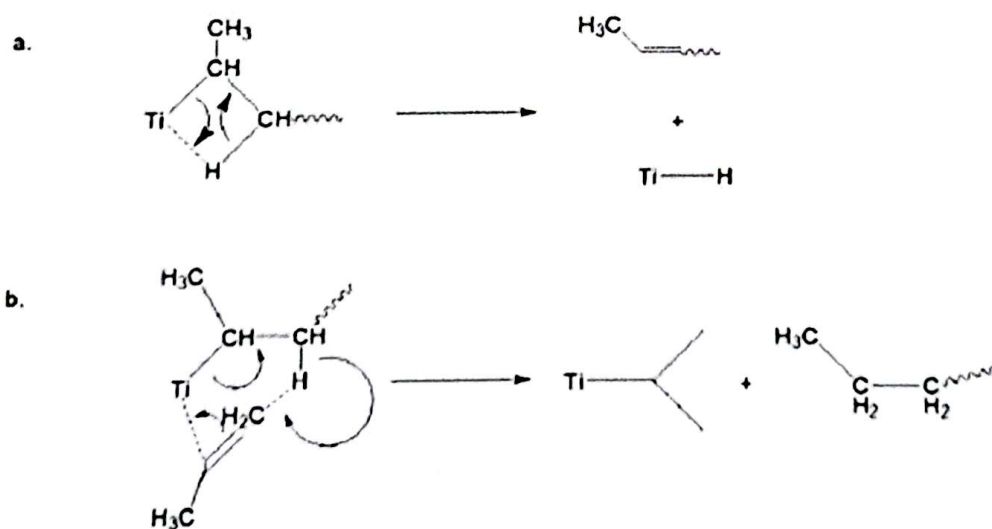
Reaksi propagasi terjadi dengan koordinasi olefin pada posisi vakansi oktahedral dan perpindahan grup alkil untuk meregenerasi daerah oktahedral baru yang diperluas oleh ikatan alkil-titanium.

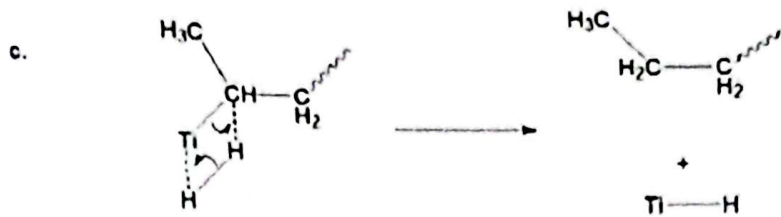


Gambar 2.3 Reaksi Propagasi Alkil-Titanium

Sumber: *Creative Commons Attribution- United States License*

Mekanisme polimerisasi pada tahapan propagasi adalah sebagai berikut





Gambar 2.4 Mekanisme Reaksi Propagasi Polimerisasi
 Sumber: *Creative Commons Attribution-United States License*

Pada tahapan reaksi polimerisasi adisi yang melibatkan radikal bebas, katalis dan kokatalis berperan sebagai pusat aktif reaksi. Dimana katalis Ziegler-Natta yang berupa senyawa TiCl_3 mengalami reaksi radikal bebas dengan kehilangan satu elektron. Hal ini menyebabkan TiCl_3 menjadi *highly active catalyst*. Bersama dengan kokatalis TiBAL , keduanya menarik monomer etilena untuk melengkapinya kehilangan elektronnya.

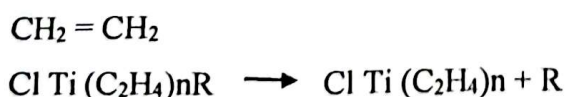
Hingga pada tahap propagasi, rantai polimer terbentuk. reaksi pembentukan polimer polietilena terus berlangsung hingga etilena yang tersedia habis bereaksi. Jika dibiarkan, rantai polimer yang terbentuk dapat menjadi sangat panjang dan bobot molekul yang dihasilkan menjadi besar.

Maka ditambahkan gas hidrogen sebagai agen terminator yang berfungsi untuk tahap terminasi. Dimana hidrogen akan berikatan dengan radikal bebas katalis dan kokatalis, dan menyebabkan rantai polimer terputus.

Adsorpsi organometal dan pembentukan titanium alkil diasumsikan sebagai berikut,



Sisi aktif permukaan katalis terletak pada ion $\text{Ti}(\text{II})$ [12],



2.5.3 Performa Katalis Ziegler-Natta

Selama proses polimerisasi adisi, kokatalis triisobutilaluminium (TiBAL) memiliki peranan penting dalam meningkatkan aktivitas katalis. Peranan TiBAL sebagai kokatalis untuk meningkatkan aktivitas katalis dapat diketahui melalui pengukuran aktivitas polimerisasi. Aktivitas polimerisasi dapat diketahui dengan membandingkan polimer hasil reaksi (g) terhadap jumlah katalis yang digunakan (g) dalam waktu satu jam dan tekanan 5,0 kgf/cm² C₂H₄ [13].

$$R_{sp} = \frac{H \times (1 + \Delta P)}{(T \times S) \times t \times P_{C_2}}$$

dimana,

R_{sp} : reaktivitas spesifik/ aktivitas polimerisasi

(g-polimer/g-katalis/jam/(kgf/cm²))

H : jumlah bubuk polietilena (gram)

ΔP : rasio polimerisasi (gram/gram)

T : jumlah katalis (gram)

S : konsentrasi katalis (gram/gram)

t : waktu polimerisasi (keadaan standar = 1,0 jam)

P_{C₂} : tekanan parsial etilena (keadaan standar = 5,0 kgf/cm²)

Beberapa parameter yang memengaruhi aktivitas katalis antara lain, temperatur reaksi, waktu reaksi, tekanan dan kemurnian bahan baku, konsentrasi kokatalis, dan jumlah gas hidrogen yang digunakan [13]. Parameter-parameter ini saling berkaitan dan memengaruhi satu dengan yang lainnya.

Aktivitas polimerisasi bersama-sama dengan parameter-parameter yang saling berkaitan dapat direkayasa sedemikian rupa untuk memperoleh hasil polimer sesuai dengan yang diinginkan. Lebih jauh daripada itu, aktivitas polimerisasi dapat memengaruhi hasil produk polimer pada sifat-sifat dan karakteristik polimer tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan, memberikan stimulasi dan optimasi terhadap parameter yang memengaruhi. Dari keseluruhannya, yang akan dilakukan adalah penelitian terhadap parameter variasi tekanan gas hidrogen yang digunakan. Karena berhubungan langsung dengan kualitas produksi dan sangat berpengaruh dalam diversifikasi polietilena untuk berbagai aplikasi [17].

2.6 Hidrogen

Hidrogen (bahasa Latin: hydrogenium, dari bahasa Yunani: hydro: air, genes : membentuk) adalah unsur kimia pada tabel periodik yang memiliki simbol H dan nomor atom 1. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Dengan massa atom 1,00794 amu, hidrogen adalah unsur teringan di dunia. Hidrogen adalah unsur paling melimpah dengan persentase kira-kira 75% dari total massa unsur alam semesta [18].

Senyawa hidrogen relatif langka dan jarang dijumpai secara alami di bumi, dan biasanya dihasilkan secara industri dari berbagai senyawa hidrokarbon seperti metana. Hidrogen juga dapat dihasilkan dari air melalui proses elektrolisis. Unsur ini ditemukan dalam kelimpahan yang besar di bintang-bintang dan planet-planet gas raksasa. Di seluruh alam semesta ini, hidrogen kebanyakan ditemukan dalam keadaan atomik dan plasma yang sifatnya berbeda dengan molekul hidrogen. Sebagai plasma, elektron hidrogen dan proton terikat bersama, dan menghasilkan konduktivitas elektrik yang sangat tinggi dan daya pancar yang tinggi.

Isotop hidrogen yang paling banyak dijumpai di alam adalah protium, yang inti atomnya hanya mempunyai proton tunggal dan tanpa neutron. Senyawa ionik hidrogen dapat bermuatan positif (kation) ataupun negatif (anion). Hidrogen dapat membentuk senyawa dengan kebanyakan unsur dan dapat dijumpai dalam air dan senyawa-senyawa organik.

Hidrogen sangat penting dalam reaksi asam dan basa yang mana banyak reaksi ini melibatkan pertukaran proton antar molekul terlarut. Oleh karena hidrogen merupakan satu-satunya atom netral yang persamaan Schrödingernya dapat diselesaikan secara analitik, kajian pada energetika dan ikatan atom hidrogen memainkan peran yang sangat penting dalam perkembangan mekanika kuantum.

Hidrogen atau H_2 mempunyai kandungan energi per satuan berat tertinggi, dibandingkan dengan bahan bakar manapun. Gas hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% H_2 di udara bebas. Entalpi pembakaran hidrogen adalah -286 kJ/mol.

Hidrogen adalah gas ringan (lebih ringan dari udara), tidak berwarna dan tidak berbau. Jika terbakar tidak menunjukkan adanya nyala dan akan menghasilkan panas yang sangat tinggi.

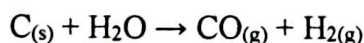
Tabel 2.4 Sifat Fisik Gas Hidrogen

Parameter	Keterangan
Titik lebur	-259,14 °C
Titik didih	-252,87 °C
Warna	Tidak berwarna
Bau	Tidak berbau
Densitas	0,08988 g/cm ³ pada 293 K
Kapasitas panas	14,304 J/g K

Ketika dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan, hidrogen meledak seketika disulut dengan api dan akan meledak sendiri pada temperatur 560°C. Lidah api hasil pembakaran hidrogen-oksigen murni memancarkan gelombang ultraviolet dan hampir tidak terlihat dengan mata telanjang. Oleh karena itu, sangatlah sulit mendeteksi terjadinya kebocoran hidrogen secara visual.

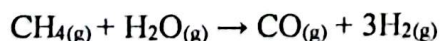
Hidrogen bereaksi secara langsung dengan unsur-unsur oksidator lainnya. Ia bereaksi dengan spontan dan hebat pada suhu kamar dengan klorin dan fluorin, menghasilkan hidrogen halida berupa hidrogen klorida dan hidrogen fluorida. Hidrogen sebagai bahan bakar dapat diperoleh melalui cara-cara berikut:

- a. Mengalirkan uap air melalui karbon panas

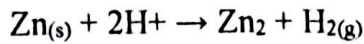


H₂ yang dihasilkan dengan cara ini tidak murni sebab sukar memisahkan CO. Campuran H₂ dan CO disebut gas air. Gas air termasuk bahan bakar penting dan mempunyai kalor pembakaran besar.

- b. Pada kilang minyak bumi, hidrogen merupakan hasil samping dari cracking hidrokarbon. Gas hidrokarbon dialirkan melalui katalis panas dan terurai menjadi hidrogen dan hidrokarbon lain. Hidrokarbon yang lebih ringan seperti metana, dipanaskan dengan suhu 750 °C dan tekanan 10 atm.



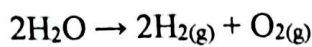
- c. Di laboratorium hidrogen murni diperoleh dari reduksi ion hidrogen dengan logam seng (pada prinsipnya dengan logam yang potensial elektrodanya negatif).



- d. Mengalirkan uap air melalui besi panas.



- e. Hidrogen yang sangat murni (99,9%), tetapi mahal, diperoleh dengan cara elektrolisis air.



Jumlah hidrogen yang cukup banyak diperoleh dari hasil samping industri klor-alkali, dimana Cl_2 dan NaOH dari elektrolisis larutan NaCl .

Reaksi polimerisasi etilena membentuk polietilena densitas tinggi (*high density polyethylene*) melibatkan reaksi antara gas etilena sebagai monomer, 1-heksena sebagai komonomer, katalis Ziegler-Natta, triisobutilaluminium (TiBAL) sebagai kokatalis, dan gas hidrogen.

Hidrogen pada reaksi polimerisasi ditambahkan dengan tujuan untuk memutuskan ikatan rangkap pada polimer yang terbentuk. Dengan terputusnya ikatan rangkap senyawa polimer, maka berat molekul polimer yang dihasilkan tidak terlampau besar. Berat molekul yang terlampau besar menyebabkan rantai polimer memiliki titik leleh yang tinggi. Hal ini akan berpengaruh pula pada indeks laju lelehan polimer yang menjadi kecil.

Indeks laju lelehan polimer yang kecil mengindikasikan suatu polimer memiliki viskositas yang besar. Sedangkan dalam proses produksinya, HDPE banyak diproduksi melalui proses *injection molding* yang akan terhambat jika HDPE memiliki viskositas yang besar.

Dengan demikian, maka dianggap penting untuk dapat mengetahui tekanan hidrogen yang diperlukan dalam reaksi polimerisasi untuk mendapatkan produk polimer yang sesuai dengan standar.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data penelitian dilaksanakan di *mini plant* PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk, Cilegon, pada bulan Desember 2016.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- a) peralatan pengambilan sampel katalis
 - 1) labu leher-dua 100 ml dengan *three-way cock* dan *plug*
 - 2) *stirrer bar*
 - 3) pompa vakum 1×10^{-3} torr

- b) peralatan untuk pengaturan konsentrasi, sampel *slurry* katalis dan tes polimerisasi
 - 1) labu leher-dua 100 ml dengan *three-way cock* dan *plug*
 - 2) pengaduk magnet dan *stirrer bar*
 - 3) *graduated glass syringe* 100 ml dan *needle* no. 14 x 200 mm
 - 4) *graduated glass syringe* 50 ml dan *needle* no. 16 x 200 mm
 - 5) *graduated glass syringe* 10 ml dan *needle* no. 18 x 200 mm
 - 6) *graduated glass syringe* 5 ml dan *needle* no. 18 x 200 mm
 - 7) dua *graduated glass syringe* 2 ml dan *needle* no. 18 x 200 mm
 - 8) *plug* karet silikon
 - 9) sendok *stainless steel* kapasitas 100 ml
 - 10) *thermocontrolled vacuum oven*, $\pm 1^{\circ}\text{C}$, 50~130°C, 1×10^{-3} torr
 - 11) neraca, batas timbang 1~310 g, presisi $\pm 0,01$ g

c) peralatan reaksi polimerisasi

- 1) *autoclave*
- 2) dua *stainless needle valve* untuk masukan dan keluaran
- 3) dua *stainless needle valve* untuk detektor tekanan
- 4) *safety valve*
- 5) pengaduk induktif-magnet
- 6) indikator tekanan, skala 0~50 kg/cm²G, ± 0,25 kg/cm²A
- 7) *variable speed motor* 0,5 HP
- 8) rangka untuk motor
- 9) rangka untuk *autoclave*
- 10) *trapezoidal belt* untuk penghubung ke pengaduk
- 11) indikator kecepatan pengadukan
- 12) silinder untuk hidrogen murni pengaduk tekanan (tekanan keluar, 50 kg/cm²G)
- 13) 100 ml *metering pot* dengan indikator tekanan, skala 0~50 kg/cm²G, ± 0,25 kg/cm²A
- 14) *metering pot* untuk isobutan dengan alat ukur level, *safety valve* (tekanan atur 25 kg/cm²G) dan indikator tekanan, skala 0~50 kg/cm²G, ± 0,25 kg/cm²A
- 15) pengatur tekanan etilena
- 16) silinder untuk nitrogen murni, dengan pengatur tekanan (tekanan keluar, 15 kg/cm²G)
- 17) pengatur suhu, pencatat dan *thermocouple* (tipe-K 0~200°C)
- 18) pencampur *steam-air*

d) peralatan untuk penentuan konsentrasi *slurry* katalis yang telah diencerkan

- 1) *graduated glass syringe* 50 ml dan *needle* no. 16 x 200 mm
- 2) penangas air
- 3) neraca, batas timbang 1~310 g, presisi ± 0,001 g
- 4) *trap* dengan *dry ice*/etanol dalam Dewar *Vessel*

e) peralatan untuk penentuan kualitas produk polimerisasi

1) *melt indexer*

2) *robot sifter*

3) statif dan corong

4) wadah silinder

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. larutan triisobutilaluminium (TiBAL) dalam heksan
 - 0,02 mol/liter untuk pengenceran
 - 0,5 mol/liter untuk polimerisasi
2. Heksana
3. Etilena
4. Hidrogen
5. Isobutana

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi aktivitas polimerisasi selama proses polimerisasi berlangsung, antara lain, temperatur reaksi, waktu reaksi, tekanan dan kemurnian bahan baku, konsentrasi kokatalis, serta jumlah gas hidrogen yang digunakan [13]. Namun karena keterbatasan waktu maka variabel tidak tetap yang digunakan adalah variasi tekanan gas hidrogen. Pada penelitian ini, variabel tetap adalah tekanan gas etilena, konsentrasi katalis, waktu polimerisasi, dan kondisi operasi selama proses reaksi.

Variasi tekanan gas hidrogen dilakukan untuk mengetahui jumlah produk yang dihasilkan dari proses polimerisasi dengan dan tanpa adanya gas hidrogen. Selain jumlah produk yang dihasilkan, nilai indeks laju lelehan dan ukuran partikel produk juga dipengaruhi oleh variasi tekanan gas hidrogen yang digunakan. Variasi yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Variabel Tidak Tetap	Variabel Tetap			
H ₂ (kgf/cm ²)	C ₂ H ₄ (kgf/cm ²)	Katalis (g/g)	Waktu Polimerisasi (jam)	Temperatur Polimerisasi (°C)
0	5,0	0,02717	1,0	90
0,6				
1,0				
1,8				
2,2				

3.4 Prosedur Penelitian

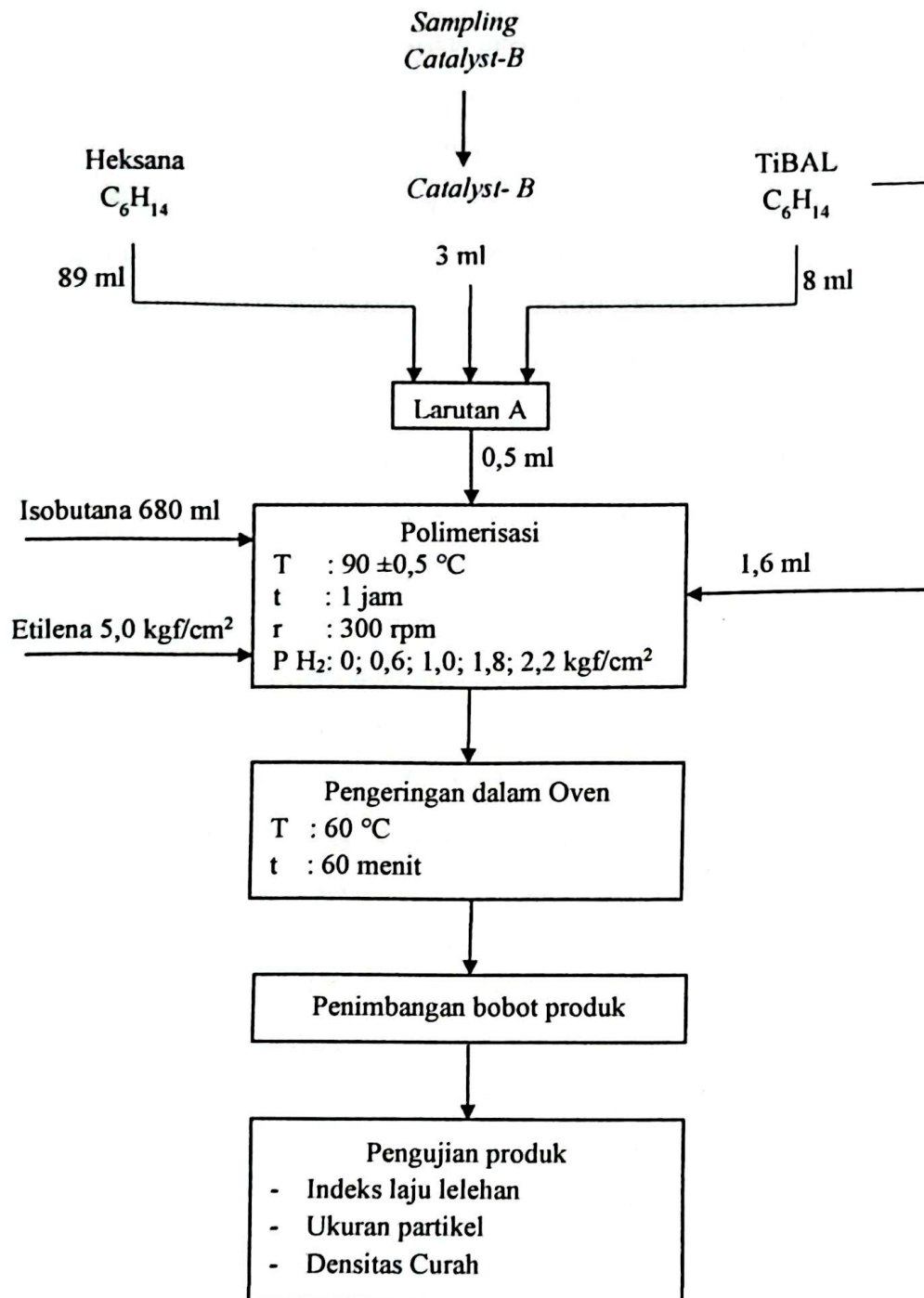
Prosedur penelitian dilakukan untuk memperoleh data yang diperlukan melalui beberapa tahapan, yaitu *sampling* katalis, pengaturan konsentrasi sampel *slurry* katalis, tes polimerisasi, dan pengujian produk hasil polimerisasi sehingga setelah tahapan ini tekanan hidrogen yang diperlukan untuk mendapatkan aktivitas polimerisasi sesuai standar yang ditetapkan.

3.4.1 *Sampling* Katalis

Katalis (*catalyst-B*) diambil dari *tank catalyst preparation unit* PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk dengan menggunakan labu leher-dua 100 ml yang dilengkapi dengan *three-way cock* dalam suasana nitrogen. Sebanyak 100 ml katalis diambil dari *catalyst-B slurry check tank*. Katalis disimpan dalam atmosfer nitrogen.

3.4.2 Persiapan Sampel *Slurry* Katalis

Karena katalis yang diambil dari *slurry check tank* secara kuantitatif memiliki konsentrasi yang terlalu tinggi untuk tes polimerisasi, maka dilakukan penurunan konsentrasi katalis melalui pengenceran dengan larutan TiBAL dalam heksana (0,02 mol/liter). Pengenceran dilakukan dengan mencampurkan heksana, TiBAL, dan sampel *slurry catalyst-B* masing-masing dengan perbandingan 89:3:8 ml ke dalam labu leher-dua 100 ml yang dilengkapi dengan *three-way cock* yang telah diketahui bobot kosongnya dalam suasana nitrogen. Larutan *catalyst-B* yang telah diencerkan, dijaga dalam atmosfer nitrogen selama 24 jam.



Gambar 3.1 Tahapan Proses Penelitian

3.4.3 Polimerisasi

Proses polimerisasi dilakukan dengan menggunakan alat autoklaf pada suhu 90°C selama 60 menit. Sebanyak 1,6 ml larutan TiBAL dalam heksan ($0,5 \text{ mol/liter}$) dimasukkan ke dalam autoklaf menggunakan *syringe* 2 ml dibawah aliran nitrogen. Kemudian ditambahkan 0,5 ml larutan *catalyst-B* yang telah diencerkan menggunakan *syringe* 2 ml dibawah aliran nitrogen. *Syringe* yang digunakan untuk mengambil larutan *catalyst-B* yang telah diencerkan, ditimbang bobot sebelum dan sesudah digunakan hingga dua tempat desimal dalam gram untuk mengetahui bobot larutan *catalyst-B* yang digunakan.

Sebanyak 680 ml isobutana ditambahkan ke dalam autoklaf, kemudian dilakukan agitasi menggunakan pengaduk magnetik-induktif dengan kecepatan 300 rpm. Setelah proses agitasi berlangsung selama 2-3 menit, nitrogen dalam autoklaf dibuang perlahan hingga habis melalui valve bagian samping dari autoklaf. Kemudian suhu autoklaf dijaga agar stabil pada 90°C dan dicatat tekanan autoklaf yang tertera pada indikator tekanan.

Setelah suhu cukup stabil, ditambahkan gas hidrogen ke dalam autoklaf sebanyak variasi tekanan yang telah ditentukan 0; 0,6; 1,0; 1,8; 2,2 kgf/cm^2 . Penambahan gas hidrogen dicukupkan dengan melihat pertambahan tekanan autoklaf pada indikator tekanan yang ada. Kemudian suhu autoklaf dijaga agar tetap stabil pada 90°C dan dicatat tekanan autoklaf yang tertera pada indikator tekanan.

Kemudian ditambahkan $5,0 \text{ kgf/cm}^2$ gas etilena ke dalam autoklaf. Reaksi polimerisasi dianggap telah berlangsung setelah gas etilena ditambahkan ke dalam autoklaf. Proses polimerisasi berlangsung selama 60 menit dan suhu autoklaf dijaga tetap pada $90 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Setelah proses polimerisasi selesai, produk polietilena yang dihasilkan segera diambil dan dikeringkan dalam oven suhu 60°C selama 60 menit. Kemudian didinginkan dan ditimbang bobot polietilena yang dihasilkan.

3.4.4 Pengujian Produk

Pengujian produk polimer yang dihasilkan dari proses polimerisasi dilakukan untuk menentukan kesesuaian kualitas produk dengan standar yang ditetapkan. Hasil pengujian produk kemudian digunakan untuk membandingkan rektifitas katalis terbaik untuk mendapatkan produk yang sesuai. Pengujian produk dilakukan menggunakan 3 instrumen, yaitu *melt indexer*, *robot sifter*, dan *bulk density*.

1. *Melt Indexer*

Produk Polietilena yang telah dikeringkan dalam oven ditimbang sebanyak 5,0 gram menggunakan neraca digital. Kemudian dimasukkan ke dalam *melt indexer* dan diberikan beban sebesar 2,16 kg menggunakan piston pada suhu 190°C selama 10 menit. Laju lelehan produk yang diuji ditampilkan pada komputer dalam satuan g/10 min.

2. *Robot Sifter (automatic particle size)*

Sebanyak $7 \pm 0,2$ gram produk Polietilena ditimbang menggunakan neraca digital dan dimasukkan dalam wadah sampel robot sifter. Dilakukan pengaturan alat untuk getaran, *sift timer*, dan *pulse interval* dengan ukuran level 5 untuk getaran, 3 menit untuk *sift timer*, dan 1 detik untuk *pulse interval*. Hasil pengukuran diperoleh sebagai rata-rata ukuran produk.

3. Densitas Curah

Alat untuk pengukuran densitas curah terdiri dari statif, corong, dan wadah *stainless*. Ditimbang wadah *stainless* kosong menggunakan neraca digital sebagai bobot wadah kosong dalam satuan gram. Corong dipasang pada statif dengan wadah *stainless* yang telah ditimbang diletakkan dibagian bawah corong. Dituang produk kedalam corong agar memenuhi wadah *stainless*. Ditimbang bobot wadah *stainless* yang berisi produk sebagai nilai densitas curah. Pengukuran dilakukan sebanyak triplo dengan hasil akhir rata-rata bobot densitas curah dalam satuan gram.

3.4.5 Penentuan Konsentrasi Katalis

Ditimbang bobot labu leher-dua 100 ml yang berisi larutan katalis yang telah diencerkan hingga tiga tempat desimal dalam gram. Larutan dalam labu leher-dua 100 ml diendapkan hingga terpisah antara cairan jernih dan endapan. Kemudian dipisahkan cairan jernih yang berupa heksan dengan endapan menggunakan *syringe* 50 ml. Endapan dalam labu dikeringkan menggunakan penangas air pada temperatur 40-50°C selama 30 menit.

Untuk menghilangkan sisa cairan dalam endapan yang masih tersisa, dilakukan pengeringan dengan oven. Pengeringan dilakukan pada temperatur 60°C selama 60 menit. Kemudian endapan yang telah kering didinginkan hingga temperatur kamar ± 27 °C. Ditimbang bobot labu leher-dua 100 ml dan endapan kering hingga tiga tempat desimal dalam gram.

Konsentrasi katalis yang digunakan diperoleh dengan membandingkan selisih antara bobot endapan kering dan bobot labu kosong dengan selisih antara bobot larutan katalis yang digunakan dan bobot labu kosong. Konsentrasi katalis diperoleh dalam satuan g/g.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Perhitungan Aktivitas Polimerisasi

Penelitian dilakukan dengan variasi tekanan gas hidrogen 0;0,6;1,0;1,8;2,2 kgf/cm². Penentuan aktivitas polimerisasi diperoleh melalui perhitungan dan analisis data. Untuk mengetahui tekanan gas hidrogen yang sesuai dengan nilai aktivitas polimerisasi yang diinginkan, maka data yang diperoleh kemudian diolah melalui perhitungan menggunakan rumus berikut:

$$R_{sp} = \frac{H \times (1 + \Delta P)}{(T \times S) \times t \times P_{C2}}$$

dimana,

R_{sp} : reaktivitas spesifik/ aktivitas polimerisasi
(g-polimer/g-katalis/jam/(kgf/cm²))

H : jumlah bubuk polietilena (gram)

ΔP : rasio polimerisasi (gram/gram)

T : jumlah katalis (gram)

S : konsentrasi katalis (gram/gram)

t : waktu polimerisasi (keadaan standar = 1,0 jam)

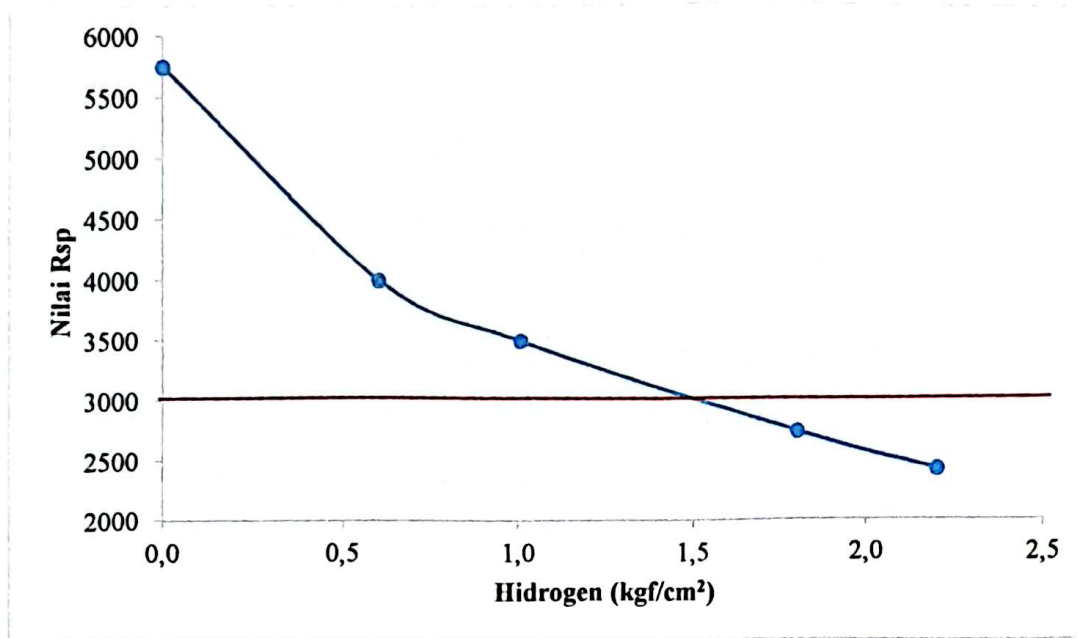
P_{C2} : tekanan parsial etilena (keadaan standar = 5,0 kgf/cm²)

Setelah polimerisasi dilakukan, diperoleh data sebelum, sesaat, dan setelah polimerisasi yang diperlukan untuk perhitungan seperti yang ditunjukkan tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian

	Satuan	H ₂ (kgf/cm ²)				
		0	0,6	1,0	1,8	2,2
Bobot polimer (Q)	g	223,48	161,08	140,80	108,41	92,47
Rasio polimerisasi (ΔP)	g/g	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959
Bobot <i>catalyst-B</i> (P)	g	0,56	0,58	0,58	0,57	0,55
Konsentrasi katalis (D)	g/g	0,02717	0,02717	0,02717	0,02717	0,02717
Waktu polimerisasi	Jam	1	1	1	1	1
Konsentrasi etilena	kgf/cm ²	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
R_{sp}	≥ 3.000	5.755	4.005	3.501	2.743	2.425

Setelah melakukan pengolahan data dan memperhitungkan nilai Rsp dari variasi tekanan gas hidrogen yang digunakan, diperoleh grafik nilai Rsp seperti pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Nilai Aktivitas Polimerisasi pada Variasi Tekanan Gas Hidrogen

Berdasarkan data yang diperoleh dan perhitungan yang telah dilakukan, nilai aktivitas polimerisasi dari variasi tekanan gas hidrogen disajikan dalam grafik pada gambar 4.1. Melalui grafik diatas, dapat diketahui bahwa nilai aktivitas polimerisasi dari variasi tekanan gas hidrogen pada tekanan 0;0,6; dan 1,0 kgf/cm² memenuhi ketentuan yang ditetapkan sebesar ≥ 3.000 g-polimer/g-katalis/jam/(kgf/cm²). Sedangkan nilai aktivitas polimerisasi dari variasi tekanan gas hidrogen pada tekanan 1,8 dan 2,2 kgf/cm² tidak memenuhi ketentuan dengan hasil masing-masing 2.743 dan 2.425 g-polimer/g-katalis/jam/(kgf/cm²).

Dengan demikian, berdasarkan keterangan diatas, secara umum terlihat bahwa kenaikan tekanan gas hidrogen dalam reaksi polimerisasi adisi polietilena dengan katalis Ziegler-Natta cenderung menurunkan aktivitas polimerisasi. Untuk tekanan gas hidrogen yang paling rendah 0 kgf/cm² nyatanya aktivitas polimerisasi katalis Ziegler-Natta mencapai 5.755 g-polimer/g-katalis/jam/(kgf/cm²). Dan selanjutnya aktivitas polimerisasi katalis semakin menurun dengan meningkatnya tekanan gas hidrogen pada 1,8 kgf/cm² dan 2,2 kgf/cm².

4.1.2 Karakteristik Polimer HDPE

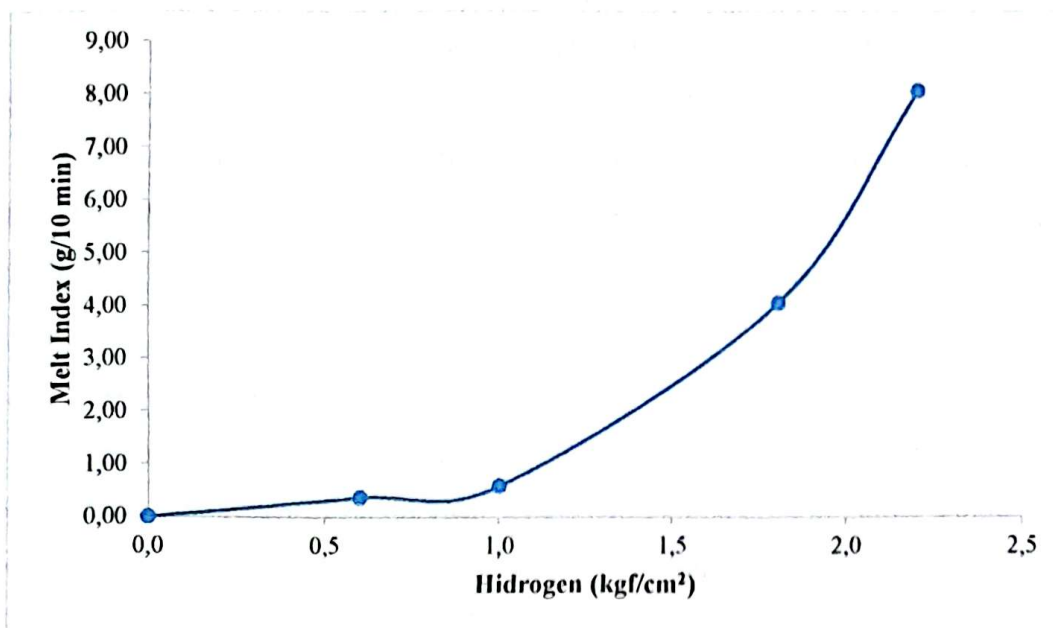
1) Indeks Laju Leleh (*Melt Flow Index*)

Indeks laju leleh (*melt flow index*) umumnya digunakan sebagai kendali mutu suatu produk polimer, karena indeks laju leleh memegang peranan bagi konsistensi kualitas produksi [17]. Hasil pengukuran indeks laju leleh diperoleh hasil seperti terlihat pada tabel 4.2 berikut

Tabel 4.2 Pengaruh Variasi Tekanan Hidrogen terhadap Indeks Laju Leleh

H ₂	kgf/cm ²	0	0,6	1,0	1,8	2,2
MI	g/10 min	-	0,37	0,59	4,06	8,06

Kenaikan tekanan gas hidrogen cenderung menaikkan MFI atau dengan kata lain, untuk setiap kenaikan konsentrasi hidrogen membuat berat molekul cenderung turun, seperti yang terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Variasi Tekanan Hidrogen dan MFI

2) Ukuran Partikel (*automatic particle size, APS*)

Ukuran partikel produk polimer yang dihasilkan dari polimerisasi adisi Polietilena dianalisis menggunakan *particle size analyzer* dengan hasil pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Pengaruh Variasi Tekanan Hidrogen terhadap Ukuran Partikel

H ₂	kgf/cm ²	0	0,6	1,0	1,8	2,2
APS	micron	231	208	203	164	160

Berdasarkan tabel 4.3, kenaikan tekanan gas hidrogen cenderung menghasilkan ukuran partikel yang semakin kecil. Atau dengan kata lain, hidrogen menyebabkan proses polimerisasi menghasilkan partikel yang semakin kecil. Hal ini berbanding lurus dengan berat molekul yang semakin menurun dengan peningkatan konsentrasi hidrogen.

3) Densitas Curah (*bulk density*)

Pengukuran densitas curah (*bulk density*) dari polimer produk polimerisasi adisi dilakukan menggunakan peralatan yang sesuai dengan standar dan memberikan hasil seperti pada tabel 4.4 berikut

Tabel 4.4 Pengaruh Variasi Tekanan Hidrogen terhadap Densitas Curah

H ₂	kgf/cm ²	0	0,6	1,0	1,8	2,2
Densitas Curah	Gram	26,0	28,0	28,0	29,7	31,3

Densitas curah yang dihasilkan dari produk polimer cenderung mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya tekanan gas hidrogen.

Dengan demikian, dapat diperoleh sebuah keterkaitan satu sama lain dimana peningkatan tekanan gas hidrogen menyebabkan partikel hasil reaksi berukuran lebih kecil dan berat molekul polimer yang dihasilkan menurun sehingga densitas curah produk polimer yang dihasilkan mengalami peningkatan.

4.2 Pembahasan

Setelah melakukan penelitian pengaruh hidrogen terhadap aktivitas polimerisasi pada proses polimerisasi HDPE, diperoleh nilai aktivitas polimerisasi yang semakin kecil seiring dengan bertambahnya tekanan gas hidrogen. Berdasarkan standar yang dimiliki PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk, aktivitas polimerisasi harus memenuhi standar sebesar ≥ 3.000 g-polimer/g-katalis/jam/(kgf/cm²).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tekanan gas hidrogen 0;0,6; dan 1,0 kgf/cm² aktivitas polimerisasi memenuhi standar yang ditetapkan, masing-masing sebesar 5.755, 4.005, dan 3.501 g-polimer/g-katalis/jam/(kgf/cm²).

Standar indeks laju leleh yang ditetapkan PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk untuk polimer HDPE adalah sebesar 0,4-10 g/10 min. Berdasarkan hasil pengukuran indeks laju leleh produk, variasi tekanan gas hidrogen 1,0;1,8 dan 2,2 kgf/cm² memenuhi standar yang ditetapkan dengan hasil masing-masing 0,59;4,06 dan 8,06 g/ 10 min.

Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Penelitian dan Standar

	Satuan	Standar	Hidrogen (kgf/cm ²)				
			0	0,6	1,0	1,8	2,2
Rsp	g-polimer/g-katalis/jam/(kgf/cm ²)	≥3.000	5.755	4.005	3.501	2.743	2.425
MFI	g/ 10 min	0,4-10	-	0,37	0,59	4,06	8,06

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan membandingkan dengan standar yang ditetapkan, maka tekanan gas hidrogen yang diperlukan untuk mendapatkan nilai aktivitas polimerisasi terbaik adalah sebesar 1,0 kgf/cm². Hal ini disebabkan karena pada tekanan gas hidrogen 1,0 kgf/cm² diperoleh hasil yang sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Pada tekanan gas hidrogen 1,0 kgf/cm² diperoleh nilai aktivitas polimerisasi sebesar 3.501, angka ini telah memenuhi standar sebesar ≥ 3.000 g-polimer/g-katalis/jam/(kgf/cm²). Indeks laju leleh yang dihasilkan pada tekanan gas hidrogen 1,0 kgf/cm² adalah sebesar 0,59 g/10 min, memenuhi standar indeks laju lelehan polimer HDPE sebesar 0,4-10 g/10 min.

Melalui penelitian ini, diketahui bahwa peningkatan tekanan gas hidrogen pada reaksi polimerisasi adisi yang melibatkan katalis Ziegler-Natta menyebabkan penurunan aktivitas polimerisasi. Hal ini disebabkan karena penambahan tekanan gas hidrogen yang mengindikasikan bertambahnya jumlah gas hidrogen memengaruhi pada proses reaksi polimerisasi. Dimana gas hidrogen berperan sebagai agen pengakhiran atau pemutus rantai polimer pada tahap terminasi. Sehingga polimer yang dihasilkan memiliki rantai pendek yang menyebabkannya memiliki berat molekul yang rendah. Berat molekul yang rendah dapat diindikasikan dari bobot bubuk polietilena yang semakin sedikit dengan bertambahnya tekanan gas hidrogen. Bobot bubuk polietilena yang semakin sedikit menyebabkan nilai aktivitas polimerisasi yang diperoleh semakin kecil.

Berat molekul yang rendah mengindikasikan bahwa polimer memiliki viskositas yang rendah pula. Viskositas polimer yang rendah menyebabkan polimer memiliki indeks laju lelehan yang tinggi. Hal ini sangat diharapkan pada polimer HDPE karena banyak diproses menggunakan metode *injection molding*.

Berat molekul yang rendah juga dapat dibuktikan melalui hasil pengukuran partikel yang semakin kecil seiring dengan meningkatnya tekanan gas hidrogen. Ukuran partikel yang semakin kecil menyebabkan densitas curah yang dihasilkan semakin besar.

Keterlibatan gas hidrogen pada reaksi polimerisasi yang menyebabkan bobot molekul polimer kecil juga berdampak pada densitas polimer. Namun karena keterbatasan waktu, pengukuran densitas produk polimer tidak dilakukan. Pengukuran densitas curah (*bulk density*) dan analisa ukuran partikel (*analysis particle size*) dilakukan untuk melengkapi informasi terkait dengan produk polimer yang dihasilkan dari polimerisasi adisi etilena dengan katalis Ziegler-Natta.

Selain itu, untuk melengkapi penelitian ini sebaiknya dilakukan penelitian dengan variasi konsentrasi katalis dan variasi konsentrasi kokatalis. Sehingga nilai aktivitas polimerisasi dapat diketahui dengan lebih akurat melalui data-data yang lebih lengkap.

Informasi mengenai karakteristik polimer yang dihasilkan akan lebih lengkap jika disertai data-data pengujian sifat mekanik polimer. Pengujian sifat mekanik polimer, dapat dilakukan ketika polimer telah menjadi sebuah produk siap pakai bukan dalam bentuk resin. Namun, karena keterbatasan waktu penelitian mendalam terkait sifat mekanik produk tidak dilaksanakan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada reaksi polimerisasi adisi polietilena dengan katalis Ziegler-Natta dan kokatalis triisobutilaluminium (TiBAL), diperoleh nilai aktivitas polimerisasi yang semakin kecil seiring dengan meningkatnya tekanan gas hidrogen. Semakin besar tekanan gas hidrogen, rantai polimer yang dihasilkan semakin pendek, sehingga berat molekul polimer semakin kecil dan bubuk polietilena yang dihasilkan semakin sedikit.
2. Tekanan gas hidrogen yang diperlukan untuk mendapatkan nilai aktivitas polimerisasi terbaik adalah sebesar 1,0 kgf/cm² karena memenuhi standar yang ditetapkan oleh perusahaan.

5.2 Saran

Mengingat informasi mengenai karakteristik polimer yang dihasilkan akan lebih lengkap jika disertai dengan data-data terkait pengujian sifat mekanik polimer, untuk mengetahui nilai aktivitas polimerisasi pada proses polimerisasi etilena dengan katalis Ziegler-Natta dan kokatalis triisobutilaluminium (TiBAL) perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi konsentrasi katalis Ziegler-Natta dan variasi konsentrasi kokatalis triisobutilaluminium (TiBAL). Selain itu, disarankan pula untuk melakukan analisis karakteristik lain, seperti densitas, *tensile strength*, dan kekerasan produk.

DAFTAR PUSTAKA

1. Uttam Ray Chaudhuri, "Fundamentals of Petroleum and Petrochemical Engineering", *Conversion Process for Selected Petrochemical*, New York: CRC Press, 2011.
2. ICIS, "World Polymer Outlook", 2014.
3. "Chandra Asri Petrochemical, Tbk Company Profile", PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk, 2016.
4. Leo Baekeland and Beyond, "100+ Years of Plastics", Chapter 9, America: American Chemical Society, 2011.
5. Lester H. Gabriel, Ph.D., P.E., "History and Physical Chemistry of HDPE", 2008.
6. Bilmeyer, F.W., "*Textbook of Polymer Science*", 2nd ed, John Wiley & Sons Inc., Singapore, 1984.
7. J. A. Brydson, "Plastics Material", 7th ed, 1999.
8. Stevens, M.P., '*Polymer Chemistry*': *An Introduction*, Terjemahan oleh Iis Sopyan, 'Kimia Polimer', Pradnya Paramita, Jakarta, 2011.
9. Goor, W.E., "Olefin (Ziegler Process Polyethylene)" in ECT 2nd ed., Hercules Incorporated.
10. Boor, John Jr., "Ziegler-Natta Catalyst and Polymerizations", Academic Press., New York, San Fransisco, London 1979.
11. Karol, Frederick J., "Catalyst Technology for Low Pressure Polyethylene Coordinated Anionic Polymerization and Polymerization Mehanisms", Refrinted from paper presented at the anual ACS meeting, Washington D.C., 1985.
12. Tominaga, Keii, "*Kinetics of Ziegler-Natta Polymerization*", Kodansha-Tokyo, Chapman & Hall-London, 1972.

13. "SDK Slurry Phase HDPE Process-Catalyst-F Technology", Copy No. 7, Showa Denko-Chandra Asri Petrochemical Center (Casd), 1994.
14. "SDK Slurry Phase HDPE Process-Polymer Design", Copy No. 5, Showa Denko-Chandra Asri Petrochemical Center (Casd), 1994.
15. "SDK Slurry Phase HDPE Process-Development of Narrow Molecular Weight Distribution Grade Manufactured by Single Stage Mode Operation", Copy No. 7, Showa Denko-Chandra Asri Petrochemical Center (Casd), 1994.
16. Ihsan Safari, "Pengaruh Tipe dan Karakteristik Katalis Ziegler-Natta terhadap Produktivitas Katalis dan Karakter Produk Polipropilena", Tesis, 2003.
17. Muhammad Zulkifli, "Pengaruh Kokatalis Triisobutilaluminium (TiBAL) terhadap Performa Katalis Ziegler-Natta", Tesis, 1997.
18. Dra. Sri Wardhani, M.Si, "Hidrogen", 2010.
19. Cowd, M.A., "Polymer Chemistry", John Murray, Ltd, London, 1991.
20. Ian M. Campbell, 1988, "Catalysis at Surface", London, Chapman and Hall.