



UNIVERSITAS INDONESIA

**Studi Pengaruh Kadar Komonomer Etilena
terhadap Karakteristik Polipropilena (PP) Homopolimer
*grade Thermoforming***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**Sapto Raharjo
0405040643**

**Fakultas Teknik
Departemen Metalurgi dan Material
Kekhususan Polimer
Depok
Juni 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Sapto Raharjo
NPM : 0405040643

Tanda Tangan :
Tanggal : 10 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Sapto Raharjo
NPM : 0405040643
Program Studi : Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Studi Pengaruh Kadar Komonomer Etilena
terhadap Karakteristik Polipropilena (PP)
Homopolimer *grade Thermoforming*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1: Dra. Sari Katili, MS (.....)
Pembimbing 2: Ir. Soemadi Agustinus (.....)
Penguji 1 : Dr. Ir. A. Herman Yuwono, M.Phil.Eng (.....)
Penguji 2 : Ir. Rini Riastuti, M.Sc (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 10 Juli 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji hanya milik Allah, atas segala limpahan nikmat dan karunia-Nya sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi ini. Dari masa perkuliahan sampai dengan penyusunan skripsi ini, banyak sekali pihak yang membantu dan *support* saya dalam menimba ilmu dan menyelesaikan studi di kampus ini khususnya dalam menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, pantaslah kiranya bagi saya untuk mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dra. Sari Katili M.Si, sebagai dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Ir. Soemadi Agustinus, selaku dosen pembimbing lapangan;
- (3) Ihsan Safari, M.Si, selaku pembimbing lapangan dan juga fasilitator penelitian selama di PT Tri Polyta Indonesia, Tbk., Cilegon, Banten.
- (4) Dr. Ir. Dedi Priadi, D.E.A, selaku pembimbing akademik saya di Departemen Metalurgi dan Material FTUI;
- (5) Pandu Lanang, ST., selaku senior, sahabat dan juga pembimbing 'bayangan' yang hebat dan menyenangkan;
- (6) Teman-teman staf karyawan Lab Polimer PT Tri Polyta Indonesia, Tbk., yang banyak membantu selama penelitian.
- (7) Ibu tercinta dan kakak-kakak saya, khususnya mas Achmat Sudrajat, ST. yang sudah banyak memfasilitasi berbagai keperluan untuk pengerjaan skripsi ini;
- (8) Semua saudara, kawan dan sahabat saya atas segala bantuan serta pengertiannya selama pengerjaan skripsi ini.

Tiada yang dapat saya berikan sebagai balas budi selain doa, dengan harapan Alloh membalas segala kebaikan dengan kebaikan yang lebih baik. Akhirnya, saya berharap semoga penelitian dan skripsi ini, bisa memberi manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Jakarta, 26 Juni 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sapto Raharjo
NPM : 0405040643
Program Studi : Polimer
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Noneksklusif Bebas Royalti (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Studi Pengaruh Kadar Komonomer Etilena terhadap Karakteristik Polipropilena
(PP) Homopolimer *grade Thermoforming*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Noneksklusif Bebas Royalti ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 10 Juli 2009

Yang menyatakan

(Sapto Raharjo)

ABSTRAK

Nama : Sapto Raharjo

Program Studi : Metalurgi dan Material

Judul : Studi Pengaruh Kadar Komonomer Etilena terhadap Karakteristik Polipropilena (PP) Homopolimer *grade Thermoforming*

Modifikasi polipropilena klasik melalui variasi kecepatan alir lelehan (*melt flow rate, MFR*) ternyata tidak cukup untuk memenuhi tuntutan industri. Pada perkembangannya, performa PP-Homopolimer dipengaruhi oleh penambahan komonomer etilena. Skripsi ini ingin mengetahui pengaruh penambahan komonomer etilena terhadap sifat mekanik dan optik PP sebagai suatu modifikasi PP. Sampel yang digunakan adalah PP Trilene® HE2.0TF (*on spec product*), dengan variasi kadar komonomer etilena yaitu 0.4 %, 0.6 %, 0.9 % dan 1.0 %. Dari penelitian ini didapatkan bahwa kadar komonomer etilena yang meningkat menghasilkan nilai kekerasan, ketahanan impak gardner dan keburaman yang meningkat. Sedangkan nilai kekuatan tarik, kekakuan, ketahanan impak izod dan kemengkilapan menurun. Sementara itu elongasi tidak mengalami perubahan (13 %).

Kata kunci:

polipropilena (PP), etilena, sifat mekanik, sifat optik

ABSTRACT

Name : Sapto Raharjo
Majoring Study : Matallurgy and Material Engineering
Title : Study on Effect of Ethylene Co-monomer Content on the Characteristics of Polypropylene (PP)- Homopolymer Thermoforming grade

Classic modification of polypropylene through variation on melt flow rate (MFR) is in fact has not sufficiently met the industrial demand. On its development, the performance of PP-Homopolymer is affected by addition of ethylene co-monomer. This research is aimed to discover the effect of ethylene co-monomer addition to the optical and mechanic properties of PP as a modification to PP. The sample used is PP Trylene® HE2.0TF (on spec product) by varying the content of ethylene co-monomer which are; 0.4% , 0.6%, 0.9%, and 1.0%. It is observed that the increasing content of ethylene co-monomer resulting in the increasing of hardness value, gardner impact resistance and opacity, respectively. Whereas, the tensile strength value, stiffness, izod impact resistsnce and glossy is decrease. Meanwhile, the elongation is unaffected.

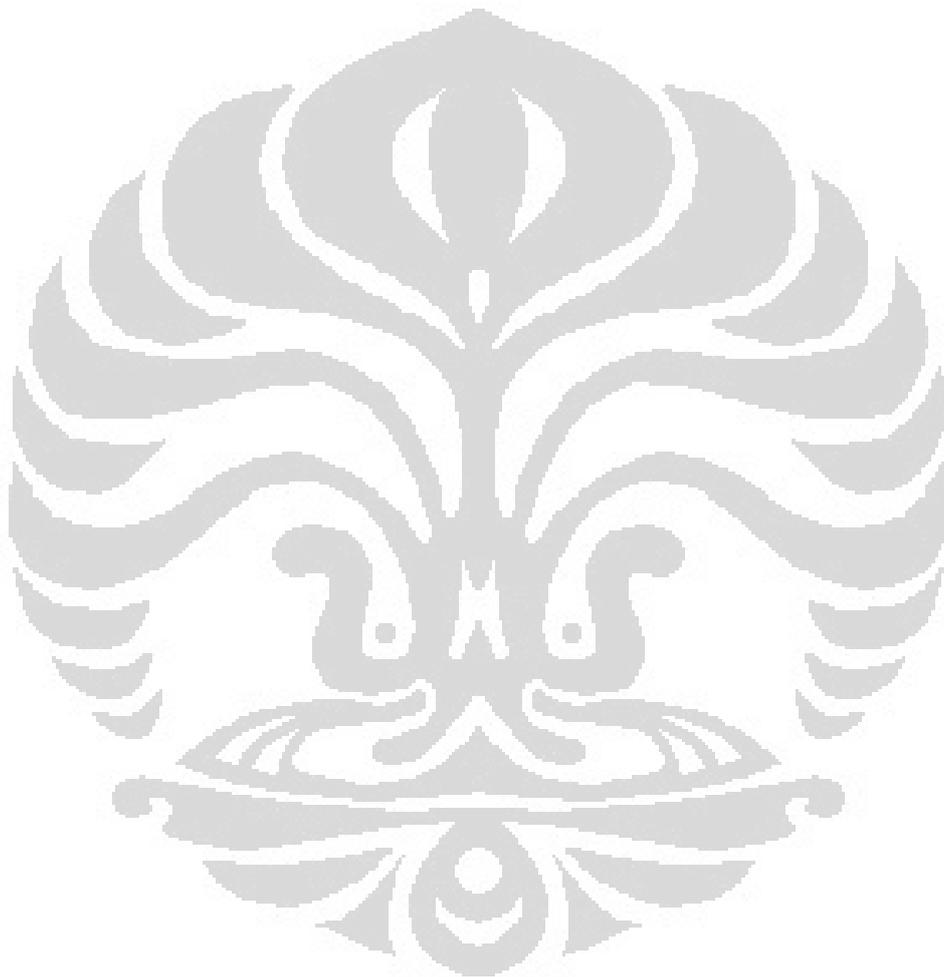
Keywords: polypropylene (PP), ethylene, mechanic properties, optical properties

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Polipropilena.....	5
2.1.1 Pengertian	5
2.1.2 Sifat-Sifat Dasar	5
2.1.3 Klasifikasi.....	7
2.1.3.1 Klasifikasi Berdasarkan Taktisitas (<i>Stereisomerism</i>).....	7
2.1.3.2 Klasifikasi Berdasarkan Monomer Penyusun.....	9
2.2 Etilena.....	10
2.3 Kopolimerisasi.....	11
2.3.1 Pengertian Kopolimer.....	11
2.3.2 Jenis-Jenis Kopolimer.....	11
2.3.3 Pengertian Kopolimerisasi.....	13
2.3.4 Kopolimerisasi PP Dengan Komonomer Etilena	13
2.4 Kristalinitas.....	13
2.4.1 Kristalinitas Pada Polimer	13
2.4.2 Pengaruh Kristalinitas Pada Polimer	15
2.5 Karakterisasi Polimer	16
2.5.1 Sifat-Sifat Umum.....	16
2.5.1.1 Temperatur Transisi Glass, Temperatur Kristalisasi Dan Temperatur Leleh	16
2.5.1.2 Kecepatan Alir Lelehan (<i>Melt Flow Rate – MFR</i>)	18
2.5.1.3 <i>Xylene Soluble (Xs)</i>	19
2.5.2 Sifat-Sifat Mekanik.....	19
2.5.2.1 Kekuatan Tarik	19
2.5.2.2 Fleksural	20
2.5.2.3 Kekerasan	20
2.5.2.4 Kekuatan Impak.....	21

2.5.3 Sifat-Sifat Optik.....	22
2.5.3.1 Keburaman (<i>Haze</i>).....	22
2.5.3.2 Kemengkilapan (<i>Gloss</i>)	23
2.6 Mesin Pembuat Plastik	24
2.6.1 <i>Extrusion</i> (Ekstrusi)	24
2.6.1.1 <i>Pelletasi</i>	25
2.6.1.2 <i>Cast Film</i>	27
2.6.2 <i>Injection Molding</i> (Pencetakan Injeksi)	28
2.6.3 <i>Thermoforming</i>	30
3. METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Diagram Alir Penelitian	32
3.2 Bahan Dan Peralatan	33
3.2.1 Bahan	33
3.2.2 Peralatan	33
3.3 Spesifikasi Bahan	33
3.4 Prosedur Penelitian	34
3.4.1 Prosedur Persiapan Sampel	34
3.4.1.1 <i>Hot Press And Cold Press</i>	34
3.4.1.2 <i>Injection Molding</i>	34
3.4.1.3 <i>Cast Film</i>	35
3.4.2 Prosedur Pengujian	35
3.4.2.1 Pengujian Laju Alir Leleh (<i>MFR</i>).....	35
3.4.2.2 Pengujian <i>Xylene Soluble (Xs)</i>	36
3.4.2.3 Pengujian Kandungan Etilena (% Et).....	37
3.4.2.4 Pengujian DSC	38
3.4.2.5 Pengujian Kuat Tarik	40
3.4.2.6 Pengujian Fleksural	40
3.4.2.7 Pengujian Kekerasan	41
3.4.2.8 Pengujian Impak Izod	41
3.4.2.9 Pengujian Impak Gardner	42
3.4.2.10 Pengujian Kemengkilapan	43
3.4.2.11 Pengujian Keburaman.....	44
4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Pengujian Sifat Mekanik	45
4.1.1 Pengujian Kuat Tarik (<i>Tensile Strenght</i>).....	45
4.1.1.1 Pengujian Kuat Tarik (<i>Tensile Strenght</i>).....	45
4.1.1.2 Pengujian Kuat Tarik Untuk Elongasi (<i>Elongation</i>).....	47
4.1.2 Pengujian Fleksural (<i>Flexural Test</i>).....	48
4.1.3 Pengujian Kekerasan (<i>Hardness</i>)	50
4.1.4 Pengujian Impak	51
4.1.4.1 Pengujian Impak Gardner (<i>Gardner Impact</i>).....	51
4.1.4.2 Pengujian Impak Tertakik (<i>Izod Impact</i>)	54
4.2 Pengujian Sifat Optik.....	55
4.2.1 Pengujian Tingkat Kemengkilapan (<i>Gloss</i>).....	55
4.2.2 Pengujian Tingkat Keburaman (<i>Haze</i>)	57

5. KESIMPULAN.....	59
DAFTAR REFERENSI	60



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel hubungan peningkatan ataktik terhadap karakteristik PP.....	9
Tabel 3.1 Karakteristik Sampel Pengujian.....	38
Tabel 3.2 Spesifikasi karakteristik PP Trilene® HE2.0TF.....	38
Tabel 3.3 <i>Molding Temperatur Setting</i> untuk HE2.0TF (°C).....	39
Tabel 4.1 Data tegangan tarik (<i>yield strength</i>).....	45
Tabel 4.2 Data <i>Elongation</i>	47
Tabel 4.3 Kekuatan Fleksural.....	49
Tabel 4.4 Data Kekerasan (<i>Hardness</i>).....	50
Tabel 4.5 Data Energi Impak Gardner.....	52
Tabel 4.6 Data Ketahanan Impak Tertakik.....	54
Tabel 4.7 Data Kemengkilapan (% <i>Gloss</i>).....	56
Tabel 4.8 Data Keburaman (% <i>Haze</i>).....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Kimia Polipropilena (PP).....	5
Gambar 2.2	Struktur PP: Fasa kristalin dan amorf	6
Gambar 2.3	Kurva temperatur-laju kristalisasi untuk polimer linear	7
Gambar 2.4	Berurut dari atas ke bawah, PP isotaktik; PP sindiotaktik; dan PP ataktik.....	8
Gambar 2.5	Struktur kimia etilena/etena.....	11
Gambar 2.6	Ilustrasi kopolimer blok.....	12
Gambar 2.7	Ilustrasi kopolimer <i>graft</i>	12
Gambar 2.8	Ilustrasi kopolimer berseling (<i>alternating</i>).....	12
Gambar 2.9	Ilustrasi kopolimer acak (<i>random</i>).....	13
Gambar 2.10	Ilustrasi Hasil Pengukuran DSC.....	16
Gambar 2.11	Ilustrasi Pengukuran MFR.....	18
Gambar 2.12	Prinsip Dasar <i>Haze</i> dan <i>Gloss</i>	23
Gambar 2.13	Ekstruder dan komponennya.....	25
Gambar 2.14	Susunan Peralatan Pelletasi.....	26
Gambar 2.15	<i>Strand Pelletizer</i> , <i>Rotary Blade</i> , dan <i>Pellet Polymer</i> (dari kiri ke kanan).....	26
Gambar 2.16	Mesin dan produk <i>Cast Film</i>	27
Gambar 2.17	Produk-Produk <i>Injection Molding</i>	28
Gambar 2.18	Penampang mesin <i>injection molding</i>	29
Gambar 2.19	Skema <i>Mold</i> Sederhana (kiri); Contoh <i>Mold</i> (atas).....	29
Gambar 2.20	<i>Gating & Runner system</i>	30
Gambar 2.21	Skema mesin <i>thermoforming</i>	31
Gambar 4.1	Grafik Perbandingan pengaruh kadar komonomer etilena terhadap <i>yield strength</i>	46
Gambar 4.2	Grafik perbandingan pengaruh kadar komonomer etilena terhadap elongation.....	47
Gambar 4.3	Grafik perbandingan pengaruh kadar komonomer etilena terhadap kekuatan fleksural.....	49

Gambar 4.4	Grafik perbandingan pengaruh kadar komonomer etilena terhadap kekerasan.....	51
Gambar 4.5	Grafik perbandingan pengaruh kadar komonomer etilena terhadap karakteristik impak (energi impak gardner).....	52
Gambar 4.6	Grafik perbandingan pengaruh kadar komonomer etilena terhadap karakteristik impak (ketahanan impak izod).....	54
Gambar 4.7	Grafik perbandingan pengaruh kadar komonomer etilena terhadap kemengkilapan (% <i>Gloss</i>).....	56
Gambar 4.8	Grafik perbandingan pengaruh kadar komonomer etilena terhadap keburaman (% <i>Haze</i>).....	58



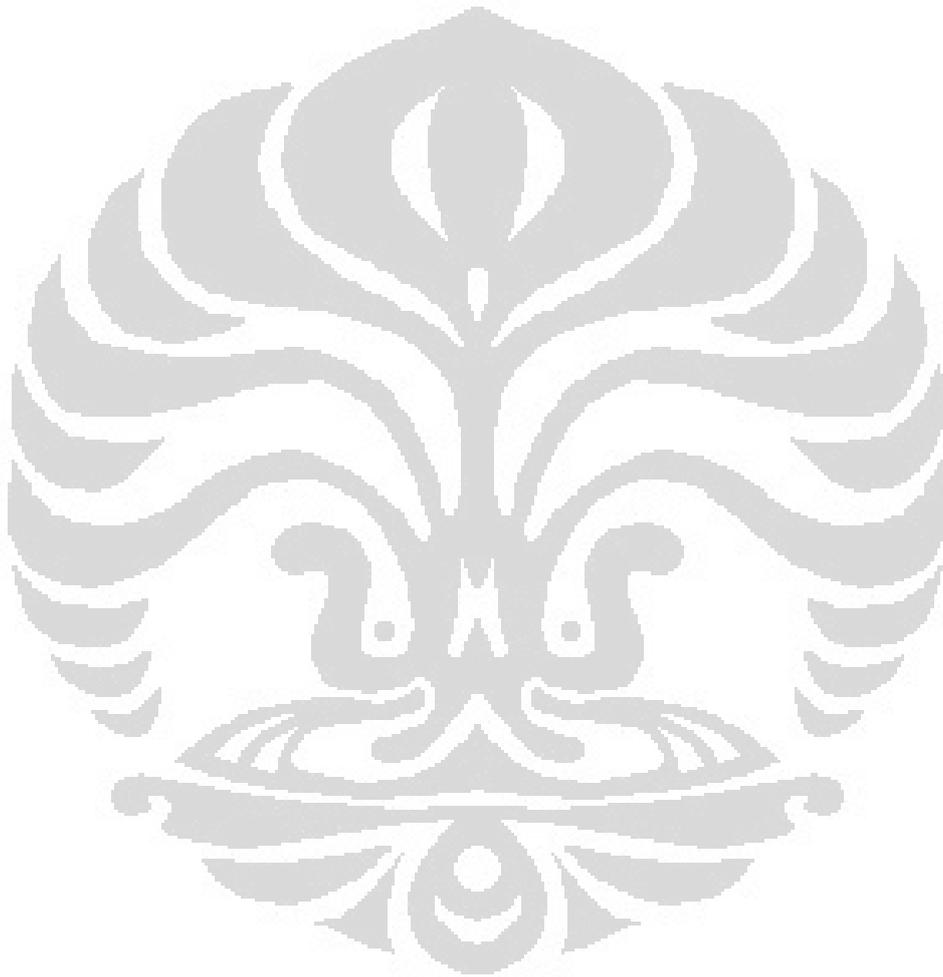
DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Data penelitian

Lampiran 2 : Grafik DSC

Lampiran 3 : Gambar alat penelitian

Lampiran 4 : Standar Pengujian ASTM



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era industrialisasi seperti sekarang ini, bahan baku plastik sebagai kemasan paling banyak digunakan. Konsumsi plastik dalam negeri diserap industri kemasan sebanyak 60-70 % dari total sebanyak 20 ribu ton konsumsi dalam negeri, sisanya kemasan dari kertas, gelas dan kaleng[1]. Terlihat bahwa pemakaian bahan plastik oleh para produsen kemasan lebih diminati karena cukup efisien sehingga mampu menekan biaya produksi.

Selain memperhatikan biaya produksi, performa dari bahan plastik juga menjadi perhatian utama dalam dunia industri. Performa menunjukkan kualitas produk yang dihasilkan, dimana kualitas memiliki pengaruh terhadap :

1. *Reputasi perusahaan.* Setiap perusahaan menyadari bahwa reputasi perusahaan akan mengikuti kualitas produk yang dihasilkan - apakah itu baik atau buruk.
2. *Keandalan produk.* Telah diketahui bahwa kini pengadilan terus-menerus berusaha menangkap perusahaan yang memiliki desain, memproduksi atau mengedarkan produk yang penggunaannya mengakibatkan kerusakan atau kecelakaan.
3. *Keterlibatan global.* Bagi perusahaan yang ingin bersaing secara efektif pada ekonomi global, maka produk mereka harus memenuhi harapan kualitas, desain dan harga global. Produk yang rendah kualitasnya akan mengurangi keuntungan perusahaan[2].

Salah satu bahan (material) plastik yang digunakan dalam memproduksi kemasan adalah polipropilena (PP). Dalam rantai produksi di sektor petrokimia, PP merupakan salah satu komponen vital yang digunakan sebagai bahan baku produk kemasan plastik[3]. PP jenis homopolimer adalah salah satu PP yang digunakan sebagai bahan baku produk kemasan.

Produk kemasan yang dihasilkan dari PP jenis homopolimer disesuaikan dengan *grade* masing-masing, misalnya *grade* film digunakan untuk

memproduksi kemasan makanan ringan (*snack*), gula dan roti; *grade yarn* (tenun) untuk memproduksi karung beras; serta *grade thermoforming* untuk memproduksi gelas (*cup*) air mineral, lembaran plastik (*sheets*) dan wadah makanan maupun minuman (*container*)[4].

Namun, seiring dengan berkembangnya teknologi pembuatan kemasan produk olahan -terutama cup air mineral- dewasa ini, maka tantangan yang dihadapi oleh para produsen bahan/material juga meningkat. Para produsen dituntut untuk memperhatikan beberapa hal utama yaitu berat material, kecepatan produksi dan juga spesifikasi performa produk. Produk kemasan diharapkan memiliki berat material yang semakin ringan untuk mengurangi biaya produksi. Kemudian kecepatan produksi diharapkan semakin meningkat untuk menambah jumlah produk yang dihasilkan. Dan tentunya spesifikasi performa produk yang diharapkan tetap atau tidak mengalami penurunan. Itulah beberapa faktor yang kemudian mendorong para produsen bahan untuk memproduksi bahan yang lebih kaku agar kecepatan produksi mampu ditingkatkan, namun juga secara bersamaan lebih ulet agar performa ketahanan impak bahan tetap meskipun kemasan (*cup*) yang dihasilkan menjadi semakin tipis.

Kalangan industri menginformasikan bahwa modifikasi polipropilena (PP) klasik melalui variasi kecepatan alir lelehan (*melt flow rate, MFR*) ternyata tidak lagi cukup untuk memenuhi tuntutan industri. Pada perkembangannya, performa PP-Homopolimer dipengaruhi oleh kopolimerisasi etilena atau penambahan komonomer etilena pada PP-Homopolimer[5]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini penulis mencoba mengamati pengaruh penambahan komonomer etilena terhadap karakteristik PP terutama sifat mekanik dan optik sebagai salah satu modifikasi PP.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengamati pengaruh penambahan komonomer etilena pada PP-Homopolimer terhadap sifat mekanik dan optiknya.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

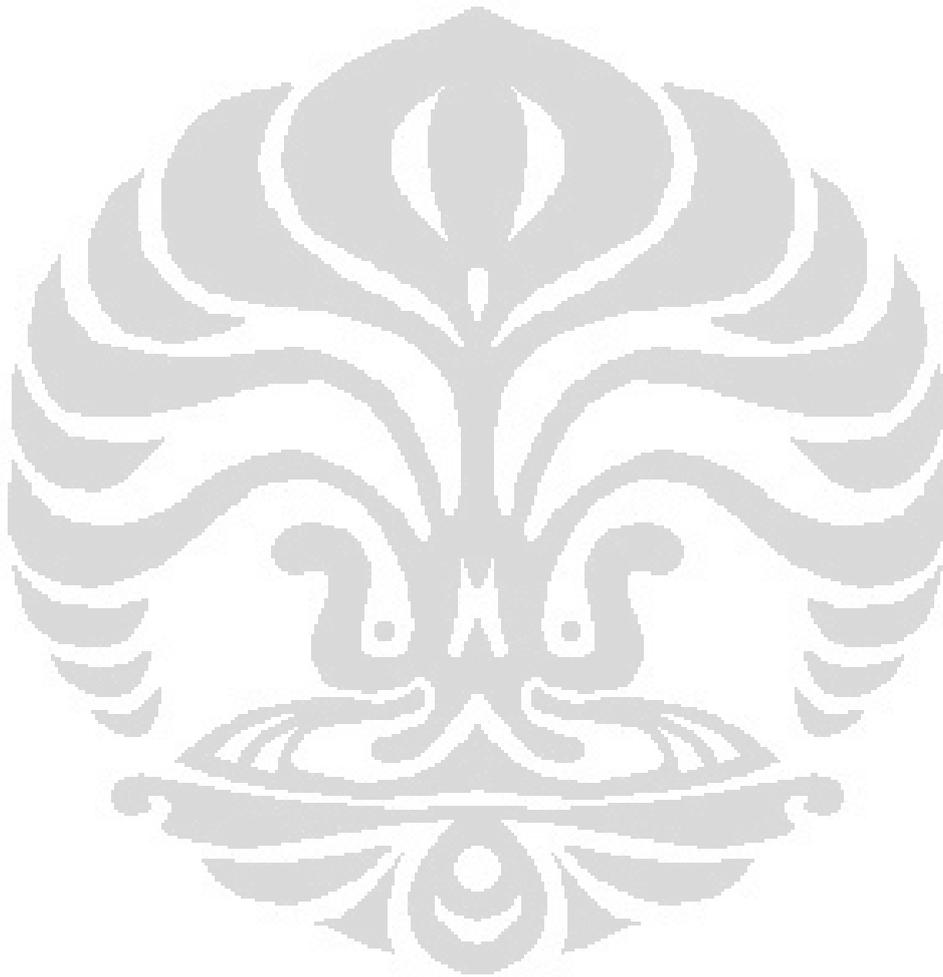
1. Material dasar (bahan baku) yang digunakan adalah pellet PP Trilene® HE2.0TF pada skala reaktor (*reactor scale*) dimana variasi sampel yang digunakan dengan kadar komonomer etilena yang semakin meningkat , masing-masing 25 kg.
2. Pembuatan sampel pengujian sifat mekanik dilakukan dengan metode pencetakan injeksi menggunakan mesin *Injection Molding Arburg Type: 221-55-250*.
3. Pembuatan sampel pengujian sifat optik dilakukan dengan metode pencetakan injeksi dengan menggunakan mesin *Injection Molding Arburg Allrounder Type: 221-55-250* dan metode *cast film extrusion* menggunakan *extruder Killion extruder, Inc.*
4. Pembuatan sampel pengujian kandungan aditif dilakukan dengan metode *hot pressing* menggunakan *hydraulic hot press machine*.
5. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian sifat mekanik, yaitu uji kecepatan alir lelehan (*melt flow rate, MFR*), kuat tarik, fleksural, kekerasan, dampak izod (tertakik) dan dampak gardner; pengujian sifat optik, yaitu uji tingkat keburaman, kemengkilapan, dan kekuningan; pengujian kandungan aditif; dan pengujian kadar xilen (*xylene soluble*) pada laboratorium PT Tri Polyta Indonesia,tbk.
6. Kopolimerisasi etilena-propilena pada penelitian ini dengan kadar komonomer etilena yang ditambahkan $\leq 1 \%$ pada setiap variabel (sampel).

1.4 Sistematika Penulisan

Penulis menyajikan skripsi ini terdiri atas enam bab, yaitu:

- **Bab I Pendahuluan**, berisi latar belakang, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penelitian.
- **Bab II Tinjauan Pustaka**, berisi studi literatur yang berkaitan dengan penelitian ini.

- **Bab III Metodologi Penelitian**, berisi kegiatan yang dilakukan selama proses preparasi sampel maupun pengujian.
- **Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan**, berisi tentang data hasil pengujian dan perbandingan dari parameter yang diteliti serta analisis dari data tersebut.
- **Bab V Kesimpulan**, berisi kesimpulan berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan.



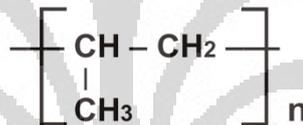
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polipropilena

2.1.1 Pengertian

Secara terminologi, polipropilena berasal dari dua suku kata yaitu “*poly*” yang berarti banyak dan “*propylene*” yang berarti senyawa hidrokarbon di mana atom karbonnya berjumlah tiga buah dan atom hidrogennya enam buah dengan satu ikatan rangkap pada atom karbonnya dan memiliki rumus molekul C_3H_6 . Sehingga secara umum polipropilena dapat diartikan sebagai suatu molekul besar dengan banyaknya unit perulangan di mana setiap unitnya identik dengan propilena[6]. Adapun struktur kimia polipropilena (PP) seperti tertera pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Struktur Kimia Polipropilena (PP)[6]

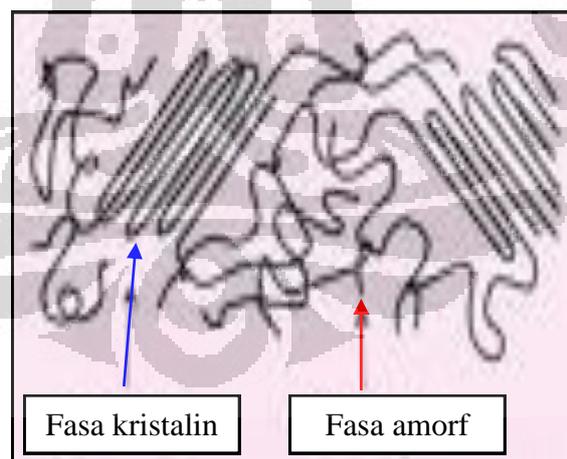
Polipropilena (PP) merupakan salah satu jenis polimer alifatik jenuh yang memiliki rantai lurus dan tanpa ada ikatan rangkap pada atom karbon. PP berasal dari golongan poliolefin yang bersumber dari gas hasil *cracking* minyak bumi.

2.1.2 Sifat-sifat Dasar

Seperti polimer pada umumnya, PP bersifat insulator (penghambat) listrik dan panas yang baik, mudah dibentuk dan bahan relatif ringan. PP memiliki ketahanan terhadap fatik dan kimia yang baik, termasuk keretakan tegangan akibat kondisi lingkungan. PP memiliki tingkat kejernihan *translucent*, yaitu pertengahan antara tembus pandang dan berkabut. PP merupakan material yang memiliki perbandingan kekuatan dan berat jenis paling tinggi di antara material-material polimer lainnya, sehingga sifat ini menjadikan PP sebagai polimer yang paling banyak penggunaannya.

PP merupakan salah satu polimer termoplastik, yaitu polimer yang mampu mengalami pelelehan apabila dipanaskan pada temperatur tertentu. Sifat termoplastik ini yang kemudian menyebabkan PP dapat diproses dengan pemanasan sampai di atas temperatur lelehnya lalu dapat dibentuk dan setelah pemakaian dapat didaur ulang kembali menjadi produk baru.

PP merupakan polimer semi-kristalin, yang terdiri atas campuran dua bagian, yaitu fasa kristalin dan fasa amorf. Fasa kristalin adalah bagian di mana rantai-rantai molekul PP tersusun secara teratur, sedangkan fasa amorf adalah bagian di mana rantai-rantai molekul tersusun secara acak dan tidak beraturan. Perbedaan itu seperti tampak pada Gambar 2.2 di bawah ini. Fasa kristalin merupakan fasa dengan berat jenis lebih berat dibandingkan dengan fasa amorf. Fasa kristalin memberikan kekuatan, kekakuan, dan kekerasan pada PP, namun di sisi lain fasa kristalin juga menyebabkan PP menjadi lebih getas sehingga mengurangi ketangguhan dan mudah pecah terutama pada temperatur rendah. Oleh karena itu, agar tidak mudah pecah, maka pada penggunaan komersial umumnya PP terdiri dari 95 - 98 % isotaktik dan 2 - 5 % ataktik[6].

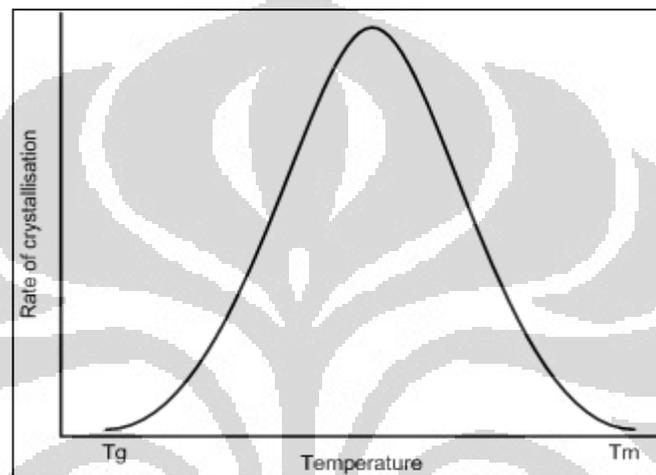


Gambar 2.2 Struktur PP: Fasa kristalin dan amorf [7]

Sebagai polimer semi-kristalin, PP memiliki dua temperatur transisi, yaitu temperatur transisi glass (T_g) dan temperatur leleh (T_m). Temperatur transisi glass adalah temperatur di mana terjadi perubahan fasa dari fasa *glassy* atau *rigid*

(kaku) menjadi fasa *rubbery* (bersifat lentur seperti karet), sedangkan temperatur leleh adalah temperatur di mana PP mulai meleleh menjadi lelehan kental.

Pembentukan inti kristal pada PP terjadi pada saat pendinginan dari temperatur kristalisasi sampai temperatur transisi glass atau sampai kristal yang telah tumbuh saling menyentuh kristal yang lain. Temperatur kristalisasi adalah temperatur di antara temperatur transisi glass dan temperatur leleh, di mana pada temperatur ini mulai terjadi pertumbuhan inti kristal.



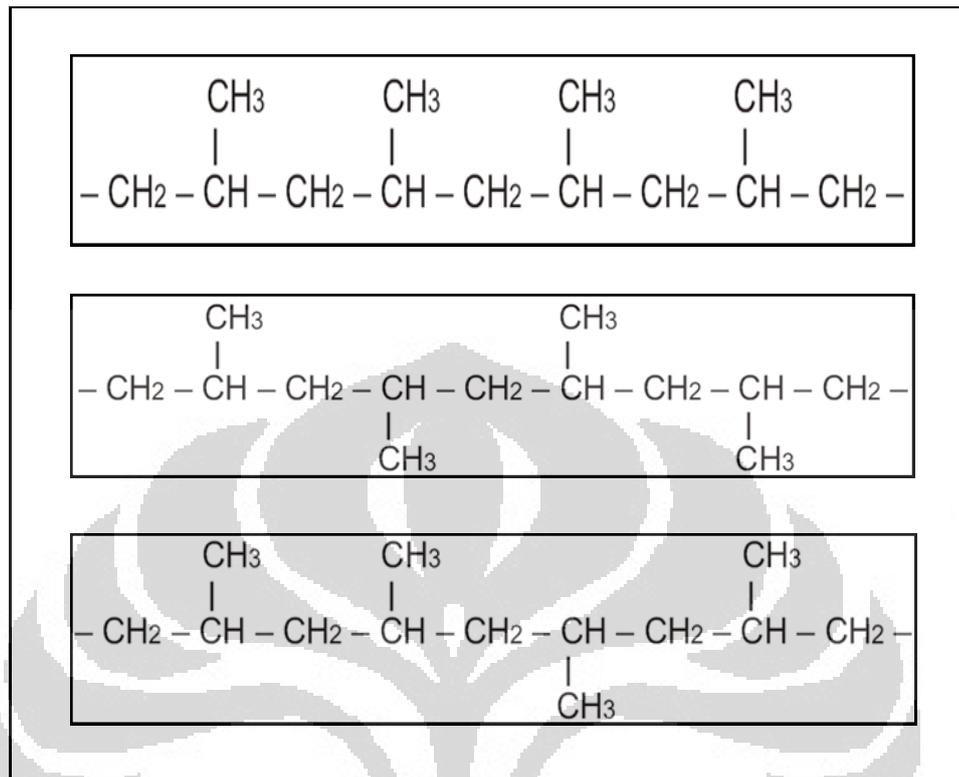
Gambar 2.3 Kurva temperatur-laju kristalisasi untuk polimer linear [8]

2.1.3 Klasifikasi

2.1.3.1 Klasifikasi Berdasarkan Taktisitas (*stereisomerism*)

Taktisitas adalah posisi alkil secara molekular pada sisi rantai utama polimer. Pada PP yang merupakan alkil adalah gugus metil yang berada pada rantai polimer tersebut. Berdasarkan taktisitasnya, PP diklasifikasikan menjadi :

- a. *PP isotaktik (i-PP)*, yaitu PP dengan gugus-gugus metil seluruhnya tersusun di salah satu sisi dari rantainya.
- b. *PP sindiotaktik (s-PP)*, yaitu PP dengan gugus-gugus metil tersusun pada kedua sisi dari rantai utama secara bergantian (*alternating*).
- c. *PP ataktik (a-PP)*, yaitu PP dengan gugus-gugus metil terletak tidak beraturan (*random*) pada kedua sisi dari rantai utama[9].



Gambar 2.4 Berurut dari atas ke bawah, PP isotaktik; PP sindiotaktik; dan PP ataktik[6]

Adanya fasa isotaktik dalam PP dapat meningkatkan derajat kristalinitas karena secara molekular memiliki letak gugus-gugus metil yang teratur pada salah satu sisi rantai utama, sehingga memungkinkan untuk dapat tersusun secara beraturan membentuk suatu kisi kristal pada saat dilakukan pemanasan sampai temperatur kristalisasi[6]. PP dengan kristalinitas yang tinggi menghasilkan sifat-sifat mekanik yang baik (tinggi) seperti kekakuan (*stiffness*) dan kekuatan tarik (*tensile strength*)[10].

Fasa sindiotaktik juga memungkinkan untuk dapat tersusun secara beraturan sehingga membentuk kisi kristal karena masih memiliki keteraturan susunan gugus-gugus metilnya, namun keteraturan yang dapat dibentuk oleh fasa sindiotaktik terbatas pada tingkat tertentu. PP sindiotaktik memiliki kekakuan yang lebih rendah, namun memiliki kekuatan impak dan kejernihan yang lebih baik dari pada PP isotaktik[10]. Umumnya, PP sindiotaktik sangat sedikit dan

jarang sekali terbentuk.

Fasa ataktik pada PP tidak dapat tersusun secara teratur karena secara tingkat molekularnya sudah tidak beraturan, sehingga fasa ini akan membentuk fasa amorf pada PP[6]. Fasa ataktik yang meningkat ini menghasilkan kekakuan dan kekuatan tarik yang rendah serta menurunkan nilai keburaman film. Secara umum hubungan ataktik yang meningkat dengan karakteristik PP ditampilkan pada Tabel 2.1 di bawah ini[10].

Tabel 2.1 *Tabel hubungan peningkatan ataktik terhadap karakteristik PP*

Karakteristik	Ataktik yang meningkat
Kekakuan (<i>stiffness</i>)	Turun
Kekuatan tarik (<i>strength</i>)	Turun
Ketahanan impact (<i>impact resistance</i>)	Naik
Ketahanan sobek (<i>stretchability</i>)	Naik
Elongasi (<i>elongation</i>)	Naik
Keburaman (<i>haze</i>) film	Turun
Temperatur leleh (<i>T_m</i>)	Turun
Temperatur kristalisasi (<i>T_c</i>)	Turun

2.1.3.2 Klasifikasi Berdasarkan Monomer Penyusun

Berdasarkan monomer penyusunnya, PP dibedakan menjadi:

a. Polypropylene-homopolymer

- Terdiri dari satu jenis monomer, yaitu propilena.
- Pembuatannya dilakukan di dalam sebuah reaktor.
- Sifat-sifat PP-homopolimer umumnya kuat, kaku, keras, kurang fleksibel, getas, mudah pecah pada temperatur rendah dan kejernihannya buruk.

b. Polypropylene-random-copolymer

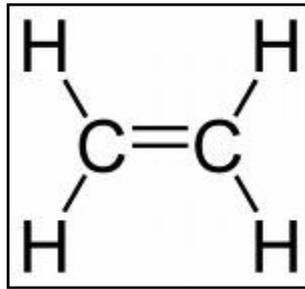
- Terdiri dari dua jenis monomer, yaitu propilena dan etilena. Monomer etilena secara acak di dalam rantai molekul PP sehingga mengurangi derajat kristalinitas.
- Pembuatan *PP-random-copolymer* dilakukan di dalam sebuah reaktor dengan penambahan etilena yang secara umum berkisar 2 - 8 % dari jumlah propilena.
- Sifat-sifat *PP-random-copolymer* antara lain fleksibel, tidak terlalu getas, kekuatan dan kekerasannya kurang dibandingkan dengan PP-homopolimer serta memiliki kejernihan yang baik.

c. Polypropylene-block-copolymer

- Terdiri dari dua jenis monomer, yaitu propilena dan etilena. *PP-block-copolymer* ini tersusun atas dua fasa, yaitu PP-homopolimer dan *ethylene-propylene-rubber (EPR)*.
- Pembuatan *PP-block-copolymer* dilakukan dengan dua tahap, masing-masing tahap membutuhkan sebuah reaktor. Tahap pertama ialah mempolimerisasi EPR dengan perbandingan etilena dengan propilena 2:3 dan tahap kedua ialah mempolimerisasikan EPR dengan propilena pada reaktor yang berbeda, sehingga menghasilkan *PP-block-copolymer*.
- Sifat-sifat *PP-block-copolymer* antara lain tangguh, kekuatan impaknya tinggi, tidak mudah pecah pada temperatur tinggi, sangat fleksibel, buram dan tidak jernih[6].

2.2 Etilena

Etena atau etilena adalah senyawa alkena paling sederhana yang terdiri dari empat atom hidrogen dan dua atom karbon yang terhubung oleh suatu ikatan rangkap, sebagaimana tampak pada Gambar 2.5[11]. Etilena merupakan bahan baku pembuatan random kopolimer dan juga bisa sebagai produksi homopolimer dengan kadar etilena yang sangat kecil tergantung dengan permintaan.



Gambar 2.5 Struktur kimia etilena/etena[11]

Sifat fisik etilena mirip dengan sifat fisik propilena dimana etilena merupakan gas reaktif sehingga diupayakan untuk menghindari kontak dengan oksidator, halogen, asam, aluminium klorida dan halokarbon. Etilena dapat berubah menjadi propana dengan cara hidrogenasi langsung dengan katalis nikel pada temperatur 300°C. Etilena dapat menyebabkan bahaya kebakaran dan kesehatan. Apabila terjadi kebakaran maka digunakan zat penyemprot pemadam kebakaran yang biasanya yang dipakai adalah CO₂ dan *dry chemical*[12].

2.3 Kopolimerisasi

2.3.1 Pengertian Kopolimer

Kopolimer adalah suatu polimer yang dibuat dari dua atau lebih monomer yang berlainan dalam sebuah kombinasi sepanjang rantai molekul[13].

2.3.2 Jenis-jenis kopolimer :

Berikut ini adalah jenis-jenis kopolimer yang terbentuk dari monomer pertama (A) dan monomer ke dua (B).

Jenis-jenis kopolimer :

a) Kopolimer blok

Kopolimer blok mengandung blok dari satu monomer yang dihubungkan dengan blok monomer yang lain. Kopolimer blok biasanya terbentuk melalui proses polimerisasi ionik. Untuk polimer ini, dua sifat fisik yang khas yang dimiliki dua homopolimer tetap terjaga. Ilustrasi kopolimer blok terlihat pada Gambar 2.6 berikut ini.

d) *Kopolimer Acak*

Dalam kopolimer acak, tidak ada sequensial yang teratur, seperti tampak pada Gambar 2.9 di bawah ini. Kopolimer acak sering terbentuk jika jenis monomer olefin mengalami kopolimerisasi lewat proses jenis radikal bebas. Sifat kopolimer acak sungguh berbeda dari homopolimernya[14].



Gambar 2.9 *Ilustrasi kopolimer acak (random)*

2.3.3 Pengertian Kopolimerisasi

Kopolimerisasi adalah proses polimerisasi dari dua jenis monomer atau lebih untuk memperoleh kopolimer dengan sifat-sifat yang lebih unggul dari masing-masing komonomer dasarnya[15].

2.3.4 Kopolimerisasi PP dengan komonomer etilena

Kopolimerisasi PP dengan komonomer etilena biasanya mengandung antara 1 dan 7 % etilena yang menempati tubuh (*backbone*) PP secara acak. Hal tersebut mengganggu kemampuan rantai polimer untuk kristalisasi, sehingga memberikan produk bersifat fleksibel. Hal ini juga meningkatkan ketahanan impak dan fleksibilitas polimer serta menurunkan titik lelehnya (*melting point*). Tingkat fleksibilitas meningkat dengan kadar etilena, sehingga akhirnya membentuk polimer menjadi sebuah elastomer (*ethylene propylene rubber*). Kopolimer tersebut juga memperlihatkan peningkatan kejernihan (*clarity*) dan digunakan di dalam cetak tiup (*blow molding*), cetak tekan (*injection molding*) dan ekstrusi (*extrusion*)[16].

2.4 Kristalinitas

2.4.1 Kristalinitas pada polimer

Kristalinitas pada polimer merupakan bentuk penyusunan atom berulang dan tertentu yang diperoleh melalui pengaturan (membariskan) rantai molekul. Kita akan membayangkan kristalinitas polimer sebagai suatu kumpulan (*packing*) rantai-rantai molekul sehingga menghasilkan susunan atom yang tertib[15].

Beberapa polimer komersial, seperti poliolefin adalah bahan polimer kristalin tinggi yang memiliki struktur lamelar dari rantai yang melipat di dalam mikrostruktur. Sekalipun kristal tunggal dapat dibuat di dalam laboratorium, namun tidak ada polimer yang sepenuhnya 100 % kristal. Umumnya polimer adalah semikristalin, yaitu adanya fase kristalin yang terikat dengan fase amorf yang memiliki konformasi rantai tak beraturan. Fraksi fasa kristalin dalam suatu polimer dinyatakan dalam derajat kristalinitas. Dalam semua hal, aspek struktur dan morfologi yang ada dalam polimer sangat mempengaruhi sifat-sifat polimer[17].

Derajat kristalinitas suatu polimer tergantung pada laju pendinginan selama proses pemadatan/pembekuan maupun pada konfigurasi rantai. Selama kristalisasi di atas pendinginan sampai temperatur leleh, rantai-rantai yang tingkat ketidakteraturan (acak) dan pengkusutan (*entangled*) tinggi di dalam cairan kental, akan membentuk konfigurasi yang teratur. Agar ini dapat terjadi maka waktu yang cukup harus disediakan bagi rantai-rantai untuk bergerak dan mengatur dirinya sendiri[13].

Bentuk kimia molekul seperti halnya pada konfigurasi rantai juga mempengaruhi kemampuan polimer untuk berkristalisasi. Kristalisasi jarang terjadi pada polimer-polimer yang terdiri atas struktur-struktur mer yang rumit secara kimiawi seperti poliisoprena, akan tetapi mudah terjadi pada polimer-polimer yang sederhana secara kimiawi seperti polipropilena.

Pada polimer linear seperti polipropilena, kristalisasi sangat mudah terjadi karena tidak ada halangan yang dapat menghindari terjadinya pengaturan rantai. Sedangkan adanya cabang akan membuat proses kristalisasi terganggu yang menyebabkan polimer bercabang tidak memiliki derajat kristalinitas yang tinggi [13].

Jika memperhatikan taktisitas (*stereoisomerism*), polimer ataktik sulit berkristalisasi; akan tetapi, polimer isotaktik dan sindiotaktik mampu berkristalisasi lebih mudah karena keteraturan geometri pada sisi gugusnya memudahkan proses pencocokan bersama dari rantai-rantai yang berdekatan[13].

Untuk kopolimer, sebagai kaidah umumnya adalah susunan mer yang lebih acak dan tidak teratur, lebih besar kecenderungannya untuk pengembangan

nonkristalin (amorf,-pen). Untuk kopolimer berseling (*alternating*) dan blok ada beberapa kemungkinan untuk terjadinya kristalisasi. Sedangkan di sisi lain, kopolimer acak dan graft biasanya adalah amorf[13].

2.4.2 Pengaruh kristalinitas pada polimer

Sebagaimana telah dipaparkan sebelumnya mengenai kristalinitas, sehingga pada dasarnya kristalinitas memiliki pengaruh terhadap karakteristik polimer. Kristalinitas yang semakin tinggi maka molekul polimer berkumpul lebih rapat sehingga karakteristik seperti densitas, kekerasan dan *shrinkage* akan bertambah. Molekul-molekul yang lebih rapat akan membutuhkan gaya yang lebih besar untuk memisahkannya sehingga akan menghasilkan kekakuan dan kekuatan tarik yang meningkat pula[13].

Sementara itu, kristalinitas yang meningkat justru akan menurunkan ketahanan impaknya. Hal ini disebabkan oleh kehadiran struktur kristal teratur yang besar yang tidak dapat menghentikan retakan yang tumbuh di dalam produk permesinan dan ketangguhan yang secara umum menurun. Jika kristal tunggal tumbuh menjadi besar maka akan ada bidang yang lemah pada bidang pertemuan antar kristal[18].

Selain berpengaruh terhadap sifat mekanik sebagaimana dijelaskan pada paragraf sebelumnya, kristalinitas juga berpengaruh dan penting dalam menentukan sifat-sifat optik[19]. Kristalinitas yang tinggi maka menyebabkan tingkat kemengkilapan meningkat. Hal itu akibat dari banyaknya kristal sehingga bidang sentuh antar kristal pun menjadi lebih besar, hal ini akan menyebabkan banyaknya pemantulan cahaya yang ditandai dengan meningkatnya harga *gloss* sampel[6].

Selain itu, pentingnya kristalinitas dalam menentukan sifat-sifat optik polimer adalah karena indeks bias daerah kristalin selalu lebih tinggi dari pada komponen amorf. Perbedaan dalam indeks bias ini terhadap fasa amorf menyebabkan tingginya penghamburan sinar, akibatnya polimer bersifat tembus cahaya atau bahkan buram. Untuk polimer amorf biasanya bersifat transparan atau jernih[19].

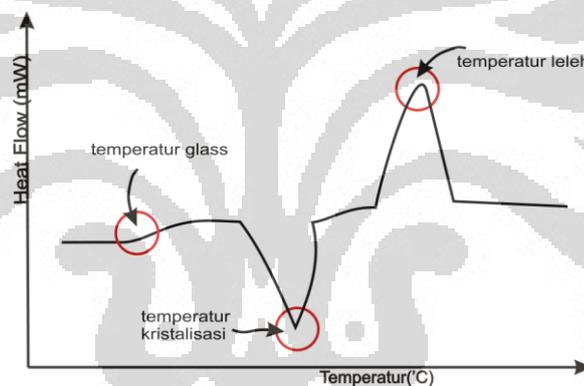
2.5 Karakterisasi polimer

Pada bagian ini akan dipaparkan mengenai prinsip kerja pengujian-pengujian yang biasa dilakukan untuk mengetahui karakteristik material polimer, berikut dengan alat dan standarnya.

2.5.1 Sifat-sifat umum

2.5.1.1 Temperatur Transisi Glass, Temperatur Kristalisasi dan Temperatur Leleh

Prinsip pengujian DSC ialah dengan membandingkan sampel pengujian dengan sampel referensi, dimana keduanya terisolasi secara termal dan dipanaskan secara linier. Perbedaan perilaku eksotermik dan endotermik sampel, seperti perubahan spesifik *heat capacity*, *heat flow*, dan nilai temperatur, akan dicatat dan diolah menjadi suatu informasi termal. Contoh ilustrasi kurva hasil pengujian DSC dapat dilihat pada Gambar 2.10 di bawah ini.



Gambar 2.10 Ilustrasi Hasil Pengukuran DSC [6]

Aplikasi pengujian DSC, antara lain untuk mengetahui:

- a. Temperatur Leleh dan Derajat Kristalinitas,
Temperatur leleh polimer akan diukur berdasarkan perilaku endotermik dari sampel saat temperatur dinaikkan. Sedangkan derajat kristalinitas dapat diketahui dari perbandingan antara *heat of fusion* dari sampel (digambarkan dengan luas daerah dibawah kurva pada grafik hasil DSC) dan *heat of fusion* dari material kristalin murni (referensi).
- b. Temperatur Kristalisasi,
Temperatur Kristalisasi akan terukur saat terjadi isothermal kristalisasi saat pendinginan sampel dan terjadi perilaku eksotermik.

c. Temperatur Transisi Glass untuk material amorf.

Temperatur Leleh (T_m) dan Transisi Glass (T_g) memiliki hubungan yang erat terhadap karakteristik polimer, sebagaimana dijelaskan sebagai berikut:

a. *Temperatur Leleh (T_m)*

Selama polimer mengalami pelelehan tentunya akan terjadi suatu penyusunan ulang molekul-molekul dari keadaan teratur menjadi tidak teratur. Molekul dan struktur kimia akan mempengaruhi kemampuan dari rantai molekul polimer untuk melakukan penyusunan ulang, hal itu juga akan mempengaruhi temperatur leleh. Semakin besar ukuran gugus molekul maka temperatur leleh juga akan semakin meningkat. Hal itu dikarenakan ukuran (dan jenis) gugus molekul mempengaruhi kebebasan dan fleksibilitas rantai untuk berotasi, di mana gugus yang besar cenderung membatasi rotasi molekul dan menaikkan temperatur leleh. Sebagai contoh, PP memiliki temperatur leleh yang lebih besar daripada PE (175°C vs 115°C); di mana gugus metil CH_3 pada PP lebih besar daripada atom H yang terdapat pada PE. Untuk polimer tertentu, temperatur leleh juga tergantung pada berat molekul.

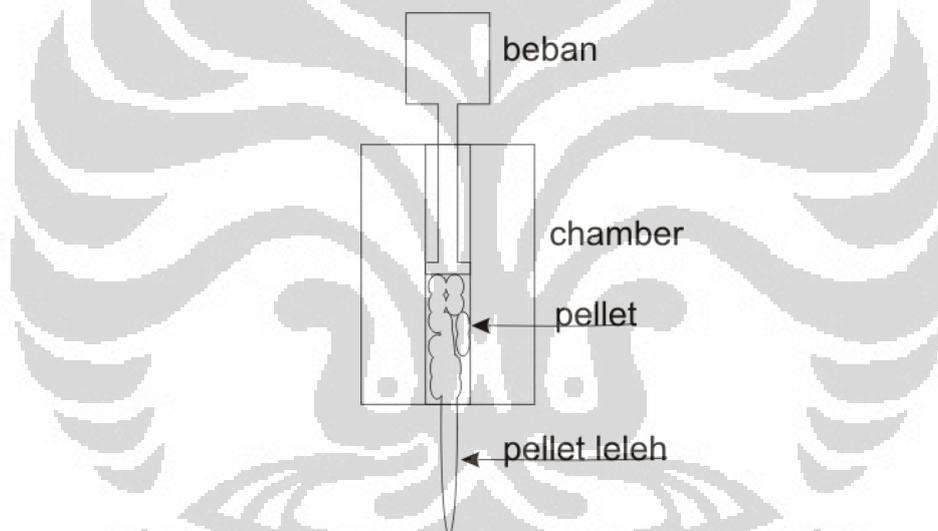
Tingkat percabangan juga akan mempengaruhi temperatur leleh polimer. Permulaan dari sisi cabang mengawali cacat ke dalam material polimer dan menurunkan temperatur leleh. Polimer linear seperti High Density Polyethylene (HDPE) memiliki temperatur leleh lebih tinggi (137°C) daripada Low Density Polyethylene (LDPE) (115°C) yang memiliki beberapa cabang[13].

b. *Temperatur Transisi Glass (T_g)*

Meningkatnya berat molekul juga cenderung meningkatkan temperatur transisi glass; (penjelasan faktor dan pengaruhnya adalah sama seperti pada penjelasan temperatur leleh di atas). Sejumlah kecil percabangan akan cenderung menurunkan T_g ; di sisi lain, densitas yang tinggi dari suatu percabangan menurunkan pergerakan rantai dan meningkatkan T_g . Beberapa polimer amorf adalah *crosslink*, yang mana telah diamati meningkatkan T_g ; karena *crosslink* menghambat pergerakan molekul[13].

2.5.1.2 Kecepatan Alir Lelehan (*Melt Flow Rate – MFR*)

Salah satu pengujian yang sangat praktis sehingga mudah diaplikasikan untuk mengetahui karakteristik dari suatu polimer ialah pengukuran kecepatan alir lelehan (*melt flow rate, MFR*). *Melt flow rate* (MFR) adalah besaran yang menunjukkan karakteristik material untuk mengalir ketika proses permesinan. Pengukuran ini sangat berguna untuk mempelajari prosesabilitas dari suatu material polimer. Prinsipnya adalah dengan mengukur banyaknya sampel (bentuk bisa pellet ataupun serbuk) yang meleleh pada waktu 10 menit apabila menerima pembebanan tertentu yang sesuai dengan standar. Ilustrasi pengukuran MFR dapat dilihat pada Gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.12 Ilustrasi Pengukuran MFR[6]

MFR juga memiliki hubungan yang erat terhadap karakteristik polimer. Semakin tinggi MFR maka daya atau laju alirnya pada mesin semakin mudah, namun sebaliknya semakin rendah MFR mengindikasikan laju alirnya semakin lambat.

MFR erat kaitannya dengan viskositas suatu polimer. Viskositas menunjukkan karakteristik resistansi polimer untuk mengalir. Semakin tinggi nilai MFR maka akan semakin tinggi laju alirnya namun semakin rendah viskositasnya. Viskositas yang rendah mengindikasikan berat molekul material tersebut lebih rendah. Semakin rendah berat molekulnya maka rantai molekulnya lebih pendek.

Sebaliknya semakin rendah nilai MFR menunjukkan semakin rendah laju alirnya namun semakin tinggi viskositasnya.[20] Viskositas dalam bahan polimer berpengaruh terhadap pembentukan sifat mekanik dari polimer seperti kekuatan tarik, fleksural, ketahanan impak dan lainnya.

2.5.1.3 *Xylene Soluble (XS)*

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan jumlah polimer non-kristalin atau fasa ataktik di dalam PP. *Xylene soluble (XS)* ditentukan dengan melarutkan semua polimer dalam *xylene* mendidih dan fasa isotaktik diendapkan. Fasa ataktik yang tinggal dalam larutan dinyatakan dalam % XS atau % soluble. Nilai XS yang berkisar antara 2-5 % adalah normal untuk resin homopolimer. Penentuan XS merupakan metode yang penting untuk proses kontrol.

Kadar *xylene* yang menunjukkan fraksi ataktik terutama pada PP memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik dan optik. Sebagaimana dijelaskan pada sub bab II.1.3.1 di atas, fasa ataktik pada PP tidak dapat tersusun secara teratur karena secara tingkat molekularnya sudah tidak beraturan, sehingga fasa ini akan membentuk fasa amorf pada PP[6]. Fasa ataktik yang meningkat ini menghasilkan kekakuan dan kekuatan tarik yang rendah serta menurunkan nilai keburaman film. Secara umum hubungan ataktik yang meningkat dengan karakteristik PP ditampilkan pada Tabel 2.1 pada sub bab II.1.3.1[10].

2.5.2 Sifat-Sifat Mekanik

2.5.2.1 Kekuatan Tarik

Prinsip kerjanya yaitu material polimer yang berbentuk *dog-bone* dengan ukuran yang sesuai standar diletakan pada dudukan sampel mesin uji tarik (*Multi Testing Machine – Mode Tensile*) dan pembebanan tarik bisa mulai diberikan.

Pembebanan ini dilakukan hingga sampel tersebut putus dan dari hasil komputerisasi, kita akan mendapatkan berbagai data uji tarik seperti titik luluh (batas keuletan atau deformasi elastis), *Ultimate Tensile Stress* (beban maksimum yang mampu diterima sampel), dll.. Hasil pengujian ini dapat kita intepretasi dari grafik beban terhadap regangan yang dapat diplot dengan printer atau bisa juga hanya melihat nilai-nilai data uji yang ditampilkan pada alat ukur[6].

2.5.2.2 Fleksural

Prinsipnya yaitu sampel *plaque* yang berbentuk *stick* diletakan pada mesin uji fleksural. Kemudian pembebanan fleksural bisa mulai diberikan. Pembebanan ini dilakukan hingga beban yang tercatat pada komputer maksimal dan membentuk *peak* sudut pada hasil grafik. Mungkin saja hal ini akan mengakibatkan sampel tersebut robek atau patah, tetapi yang perlu diingat ialah tujuan awal pengujian ini ialah mengetahui beban fleksural maksimum yang mampu diterima sampel, sehingga tidak masalah jika sampel tersebut sampai patah atau tidak.

Pengujian ini penting untuk material polimer yang akan digunakan dalam aplikasi-aplikasi yang sering mengalami beban tekuk atau fleksural. Data yang didapat dari pengujian adalah: data awal berupa dimensi dari spesimen, untuk setiap langkah pembebanan didapat besar beban dan defleksi maksimum dari spesimen.

Pengujian ini berguna untuk aplikasi-aplikasi desain yang umumnya menanggung beban, sehingga dapat dipilih material yang cocok untuk aplikasi tersebut tanpa mengalami pembengkokan karena menahan beban[6].

2.5.2.3 Kekerasan

Prinsipnya ialah mengukur ketahanan suatu material terhadap deformasi berupa indentasi permanen. Prinsip pengujian kekerasan ini yaitu melakukan penekanan pada permukaan material dengan material lain yang lebih keras yang dikonsentrasikan pada suatu daerah tertentu pada sampel. Mekanisme penekanan tersebut dapat berupa mekanisme penggoresan (*scratching*), pantulan (*re-bouncing*), ataupun indentasi dengan indenter yang sesuai dengan parameter (diameter, beban dan waktu).

Pada sampel plastik, umumnya digunakan metode indentasi *Rockwell*. Skala *Rockwell* didapat dari kombinasi beberapa jenis indenter dan beban tergantung material yang ingin diuji. Pada sampel plastik, skala yang digunakan ialah skala R (indenter: bola baja diameter 1/2" dengan beban mayor 60 kgf).

Pembebanan pada metode indentasi *Rockwell* dilakukan dengan dua tahap; tahap pertama adalah pembebanan minor (beban 10 kg) untuk memposisikan indenter, kemudian dilanjutkan dengan pembebanan mayor (60 – 150 kg) dengan

besar beban yang tergantung jenis *Rockwell* yang digunakan. Kemudian nilai kekerasan ditentukan dengan perbandingan kedalaman kedua tahap pembebanan.

Pengukuran kekerasan dengan metode ini sangat praktis, sehingga mudah diaplikasikan. Sebab pembebanan dan pembacaan nilai kekerasan dilakukan dengan *direct reading* (otomatis) sehingga penguji tinggal mencatat nilai yang tertera pada alat ukur[6].

2.5.2.4 Kekuatan Impak

Pengujian impak merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan material terhadap beban kejut (beban dengan kecepatan pembebanan yang tinggi). Hal inilah yang membedakan uji impak dengan pengujian tarik atau kekerasan yang dilakukan perlahan-lahan. Dasar dari pengujian impak ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga terdeformasi.

Ada beberapa macam metode pengujian Impak, antara lain Charpy (biasanya untuk sampel logam), Izod, Gardner, Impak Film, Falling Dart, dll. Pada pengujian impak ini, banyaknya energi yang diserap oleh polimer untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impak atau ketangguhan bahan tersebut. Semakin tangguh suatu material maka material tersebut memiliki kemampuan untuk menyerap beban kejut yang besar tanpa terjadinya retak atau terdeformasi dengan mudah. Pembebanan ini dilakukan hingga jumlah tertentu yang disesuaikan standar.

Data yang didapat dari pengujian impak metode Izod ialah berupa Modulus Resilience (*Resilience Impact Energy* – satuan J/m) dari sampel. *Resilience* adalah kemampuan material untuk menyerap energi dari luar tanpa terjadinya kerusakan struktur (kapasitas/kemampuan suatu material untuk menyerap sejumlah energi ketika berdeformasi elastis dan kembali lagi ke kondisi semula ketika beban dilepaskan). Sehingga modulus resilience merupakan energi regangan per satuan panjang (dibawah takik) yang diperlukan untuk memberikan tegangan pada material dari kondisi awal (tanpa pembebanan) hingga titik luluh (*yield point*) tercapai.

Pada pengukuran Izod, data yang didapat berupa Modulus Resilience.

Sedangkan pada pengukuran impak dengan metode Gardner dan Film Impak, data yang didapat ialah berupa energi impak (modulus ketangguhan). Modulus Ketangguhan (*Impact Energy*) yaitu kemampuan material dalam menyerap energi hingga terjadinya perpatahan.

Selain perbedaan pengukuran energi, pengukuran impak dibedakan menjadi beberapa jenis, sebenarnya didasarkan pada tujuan/prinsip dasar masing-masing metode. Sehingga penggunaan beberapa metode selain dapat sebagai bahan pembandingan (mengurangi kemungkinan kesalahan analisa akibat kesalahan data uji), juga dapat memperlengkap sudut pandang dalam menyikapi permasalahan yang ada. Metode Izod merupakan metode impak dengan sampel bertakik, hal ini pada dasarnya ingin mensimulasikan kondisi sampel yang memiliki *initial crack* bila mengalami pembebanan impak. Atau dengan kata lain, ingin mengetahui jumlah energi maksimum yang dapat diserap oleh sampel pada kondisi kritisnya.

Sedangkan metode Gardner didasarkan pada tinjauan sifat viskoelastik dari polimer. Mengingat karena sifat viscoelastik ini, maka kecepatan pembebanan sangat berpengaruh terhadap perilaku polimer ketika menerima pembebanan, yang dalam hal ini berupa pembebanan impak. Pengaruh kecepatan pembebanan ini disimulasikan dalam perbedaan ketinggian awal pendulum. Hal ini mengingat bahwa prinsip pengujian Gardner ialah menjatuhkan beban dari ketinggian tertentu, atau dalam hal ini berarti perubahan energi potensial menjadi energi kinetik. Sehingga, kecepatan tumbukan merupakan fungsi dari ketinggian beban. Akibatnya dengan menjatuhkan beban dari ketinggian yang berbeda, maka perilaku polimer ketika menerima pembebanan impak (dengan kecepatan berbeda) dapat diamati[6].

2.5.3 Sifat-Sifat Optik

2.5.3.1 Keburaman (*Haze*)

Prinsip kerjanya yaitu material polimer diletakkan pada tempat sampel, kemudian sampel tersebut disinari dengan sinar tampak biasa lalu dideteksi secara digital banyaknya sinar yang ditransmisikan/diteruskan dan banyaknya sinar yang dikaburkan/disebarkan. Kemudian dari perbandingan keduanya (biasanya dalam persen) dapat dihitung derajat keburamannya. Atau secara matematis,

$$H = \frac{T_d}{T_t} \times 100 \%$$

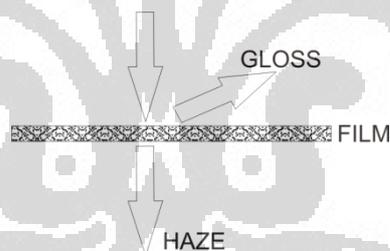
dimana, $H = haze$ (keburaman),

$T_t = total\ transmission$ (sinar yang diteruskan),

$T_d = total\ diffuse\ transmission$ (sinar yang dikaburkan).

Dari rumus tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin kecil persentase *haze* berarti sampel tersebut semakin transparan, sebab semakin banyak cahaya yang diteruskan[6], sebagaimana terlihat pada Gambar 2.12 di bawah ini.

Pengujian ini penting untuk material polimer yang akan digunakan dalam aplikasi-aplikasi kemasan, sebab setiap produk memiliki kebutuhan akan tingkat keburaman yang berbeda. Contohnya untuk produk-produk yang mengandung zat-zat kimia yang mudah teroksidasi oleh sinar, maka biasanya dipilih kemasan yang buram agar produk tersebut tidak rusak dan sebaliknya.



Gambar 2.12 Prinsip Dasar Haze dan Gloss[6]

2.5.3.2 Kemengkilapan (Gloss)

Prinsip kerjanya mirip dengan pengujian haze diatas, yaitu material polimer diletakkan pada tempat sampel, kemudian sampel tersebut disinari dengan sinar tampak biasa dengan sudut yang berbeda-beda tergantung jenis polimer yang menjadi sampel. Untuk polimer yang memang bersifat mengkilap akan digunakan *gloss angle* yang kecil dan sebaliknya untuk polimer yang tidak mengkilap akan digunakan *gloss angle* yang besar. Apabila kita menggunakan *gloss angle* yang kecil untuk polimer yang tidak mengkilap maka hasil yang didapat pasti adalah nilai gloss yang kecil dan tidak lagi presisi (sebab perbedaan skala).

Kemudian setelah sampel disinari dan komputer secara digital menganalisa kekuatan sinar pantul (berdasarkan *Hukum Snellius*), kita dapat melihat nilai kemengkilapan sampel tersebut dalam skala persentase (%). Semakin mengkilap suatu material maka persentase kemengkilapannya semakin besar. Hal ini karena sinar pantul yang terdeteksi semakin banyak[6].

Pengujian ini juga penting untuk material polimer yang akan digunakan dalam aplikasi-aplikasi kemasan, sebab agar dapat terlihat menarik tentu setiap produk membutuhkan tingkat kemengkilapan yang berbeda. Contohnya untuk produk-produk yang memang sudah berwarna-warni dan mengkilap biasanya menggunakan kemasan yang relatif kurang mengkilap agar memudahkan konsumen melihat produk tersebut dan sebaliknya.

2.6 Mesin Pembuat Plastik

2.6.1 *Extrusion* (ekstrusi)

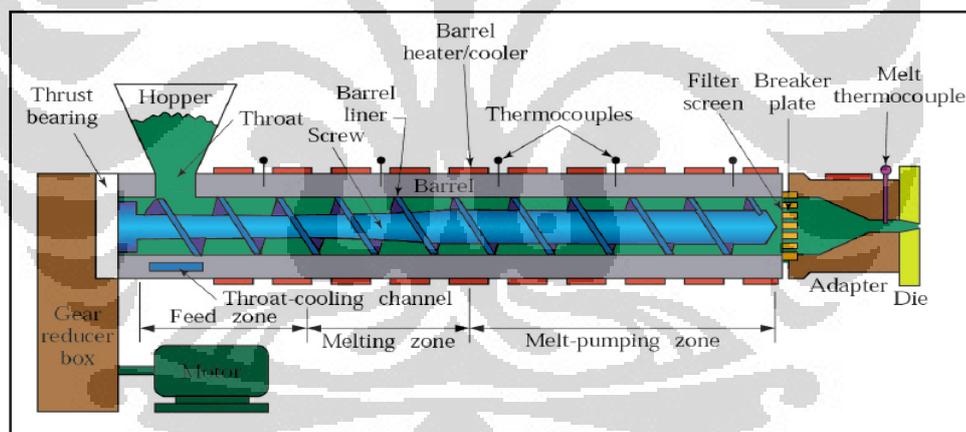
Ekstrusi merupakan proses produksi dengan penampang (*cross-section*) produk (plastik) yang tetap secara kontinyu. Prinsip kerjanya ialah mengubah pellet/resin polimer menjadi produk jadi atau setengah jadi, dengan cara mencetak polimer leleh dengan *dies* (*fix-cross-section*) secara kontinyu, kemudian mendinginkannya. Contohnya ialah pembuatan pipa, pellet, atau lembaran plastik.

Pelelehan polimer tersebut dilakukan di dalam *barrel* akibat adanya panas. Mekanisme yang terjadi di dalam *barrel* yaitu:

- a. *Screw chamber* yaitu ruangan dengan ukuran memanjang dari *hopper* (ruang pengumpanan) hingga *breaker plate*, yang berada diantara *screw* dan *barrel*;
- b. *Heater band* yang terdapat di sepanjang *screw chamber* yang berfungsi sebagai sumber panas untuk melelehkan pellet;
- c. Selama *screw* berputar, pellet padat akan terdorong maju dari *hopper* kemudian melewati *breaker* dan *screen plate* sehingga mengalami penyearahan aliran dan penyaringan dari kotoran;
- d. Akhirnya keluar melalui *dies* (cetakan).

Pelelehan polimer dilakukan secara bertahap, di mana daerah dalam *screw chamber* dapat dibedakan menjadi 3 zona menurut urutan pelelehan polimer yaitu:

- a. *Zona Feeding*, daerah dengan ruang yang cukup besar untuk menampung lebih banyak pellet yang masuk melalui *hopper*. Pada zona ini pelelehan akibat *heater band* baru sedikit terjadi;
- b. *Zona Compression*, seiring dengan kedalaman kepala *screw* berkurang maka tekanan dalam *chamber* akan meningkat dan akibatnya gesekan antar pellet dan antara pellet dengan *screw* semakin sering terjadi. Akibat panas tambahan ini, maka pada zona ini polimer akan menyelesaikan pelelehan yang dimulai sejak *zona feeding*;
- c. *Zona Metering*, pada daerah yang kecil dan seragam ini terjadi pencampuran antara polimer yang telah leleh sempurna dengan aditif atau zat tambahan lainnya[6]. Secara singkat, Gambar 2.15 di bawah ini memperlihatkan penampang mesin ekstruder.



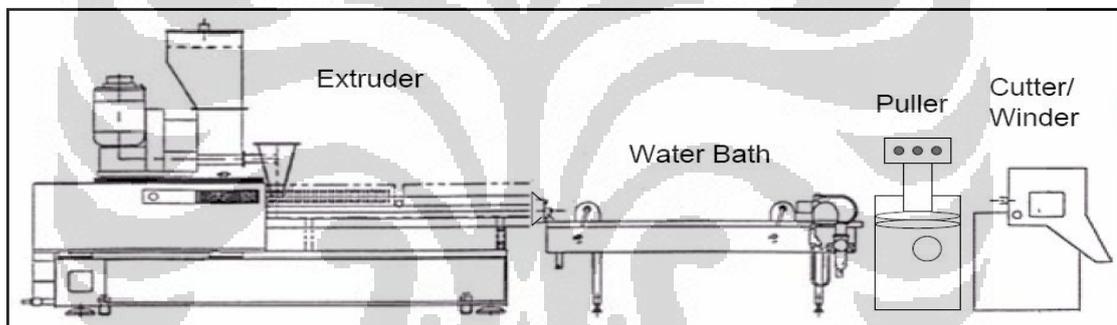
Gambar 2.13 Ekstruder dan komponennya[6]

2.6.1.1 Pelletasi

Pelletasi adalah proses pembuatan pellet atau bijih plastik. Pellet polimer ialah suatu produk setengah jadi yang terbuat dari material polimer atau plastik, yang berbentuk bulat atau silinder. Ukuran pellet bisa dibilang cukup kecil, untuk pellet berbentuk silinder panjangnya hanya sekitar 3 mm dengan diameter yang bervariasi sedangkan untuk bentuk bulat ukurannya juga bervariasi tetapi juga tetap kecil.

Pellet merupakan produk dengan penampang yang tetap, maka proses produksinya termasuk ekstrusi. Untuk membuat pellet polimer digunakan mesin ekstruder yang dilengkapi dengan *pelletizer* atau alat pembentuk pellet. Ada 3 jenis *pelletizer* yang lazim digunakan, yaitu: *Strand Pelletizer*; *Water Ring Pelletizer*; dan *Underwater Pelletizer*.

Pelletizer yang paling konvensional ialah *Strand Pelletizer*. Prinsip kerjanya ialah *extrudate* (material hasil ekstrusi dengan mulut *dies* berbentuk lubang-lubang lingkaran) kemudian didinginkan dalam air sambil terus ditarik masuk ke dalam *strand pelletizer* untuk kemudian dipotong-potong menggunakan *rotary blade*. Lalu dikeluarkan dan ditampung dalam tempat yang telah disiapkan. Hasilnya ialah pellet dengan bentuk silinder. Prinsip kerja dan susunan peralatan pelletasi dapat dilihat pada Gambar 2.14 dan 2.15 di bawah ini.



Gambar 2.14 Susunan Peralatan Pelletasi[6]



Gambar 2.15 *Strand Pelletizer*, *Rotary Blade*, dan *Pellet Polymer* (dari kiri ke kanan)[6]

2.6.1.2 Cast Film

Film merupakan produk plastik dengan ketebalan hingga 0.01 in (0.254 mm). Produk lembaran plastik dengan ketebalan lebih dari batas tersebut, biasanya dikenali sebagai *sheet*. Film juga termasuk kedalam produk hasil proses ekstrusi, sebab film memiliki penampang tetap berbentuk persegi panjang. Sehingga dapat diketahui bahwa dies produk film memiliki *dies lip* (mulut cetakan) berbentuk persegi panjang dengan lebar/ketebalan tertentu. *Dies* yang banyak dipakai untuk mencetak film ialah *dies* berbentuk *coat hanger*. Sebab aliran lelehan polimer yang melewati *dies* dapat mengalami proses pendinginan yang relatif seragam sehingga film yang dihasilkan baik.

Prinsip produksi film pada dasarnya juga sama seperti proses ekstrusi lainnya. Proses diawali dengan pelelehan pellet dengan menggunakan ekstruder. Lalu lelehan polimer ini akan mengalir melewati *dies cast* film. Kemudian *ekstrudate* tersebut akan ditarik dan dinginkan dengan suatu mekanisme tertentu hingga didapatkan film dengan ketebalan yang diinginkan. Kemudian produk film ini dikumpulkan oleh suatu *take-off* unit, yang biasanya berupa *wind-up roll*. Mesin cast film dan produknya dapat terlihat pada Gambar 2.16 di bawah ini.



Gambar 2.16 Mesin dan produk Cast Film

Selain ketebalan *dies lip*, variabel penting yang perlu diperhatikan pada saat ingin memproduksi film ialah kecepatan penarikan *ekstrudate*. Sebab kecepatan penarikan ini akan berpengaruh pada ketebalan film yang dihasilkan. Semakin tinggi kecepatan penarikan, maka ketebalan film akan semakin berkurang.

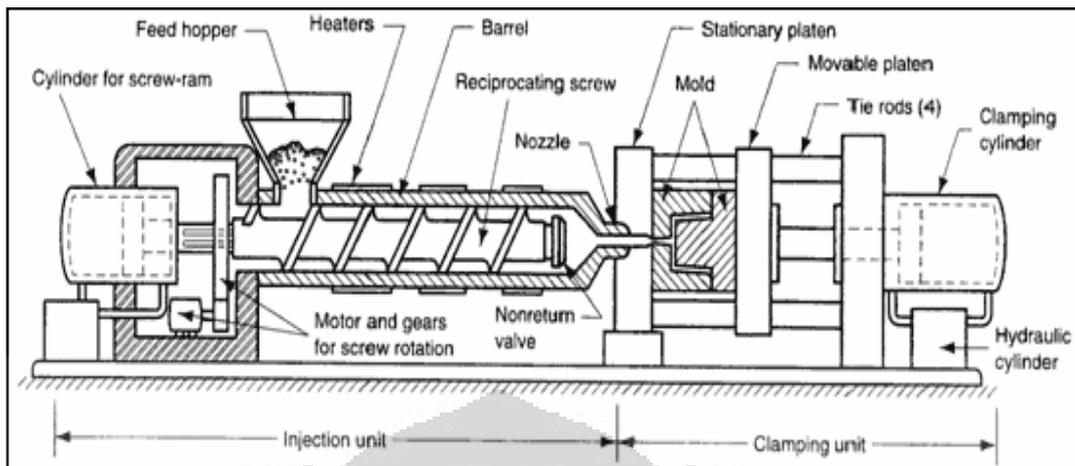
2.6.2 *Injection Molding* (pencetakan injeksi)

Injection molding merupakan salah satu metode pengubahan bentuk polimer dari produk setengah jadi (terutama berupa pellet) menjadi produk jadi. Contoh produk hasil pencetakan injeksi antara lain wadah (*container*), tutup botol, sendok plastik, dll. Beberapa gambar produk *injection molding* dapat dilihat pada Gambar 2.17 di bawah ini.



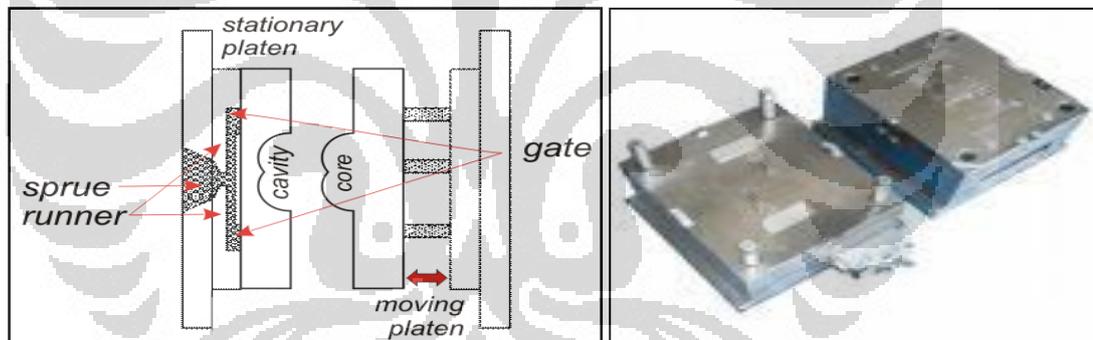
Gambar 2.17 Produk-Produk *Injection Molding*

Prinsip dasar proses *injection molding* sebenarnya mirip dengan ekstrusi, yaitu dengan memanaskan pellet polimer sampai meleleh di dalam ekstruder, lalu ditekan masuk ke dalam cetakan (*mold*) dengan tekanan tertentu hingga memenuhi cetakan tersebut (kemudian didinginkan). Lalu ketika polimer tersebut telah tercetak dan padat, baru dikeluarkan dari cetakan. *Mold injection molding* inilah yang menjadi poin pembeda dengan *dies* pada ekstrusi. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, *dies* merupakan cetakan dengan penampang tetap dan digunakan untuk mencetak secara kontinyu. Sedangkan *mold* merupakan cetakan dengan bentuk tertentu dan digunakan secara *intermitten* (bersiklus). Penampang mesin *injection molding* dapat terlihat pada Gambar 2.18 di bawah ini.



Gambar 2.18 Penampang mesin injection molding

Berbeda dengan ekstrusi, umumnya cetakan atau *mold injection molding* terbuat dari baja atau paduannya. Berikut ini skema mold sederhana beserta contoh mold yang terbuat dari logam yang terlihat pada Gambar 2.19.

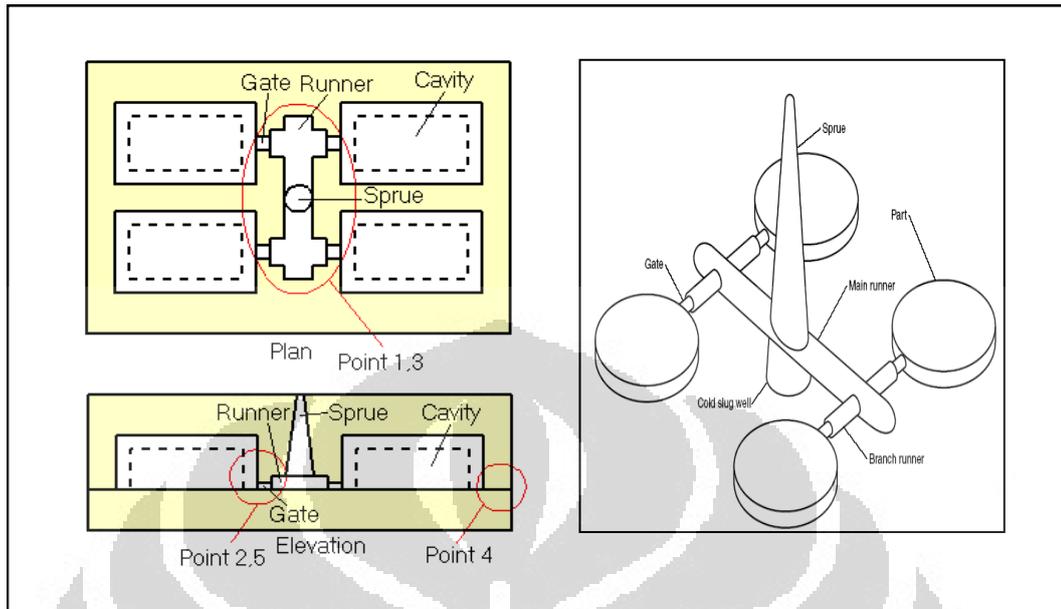


Gambar 2.19 Skema Mold Sederhana (kiri); Contoh Mold (atas)

Mold atau cetakan biasanya terpisah dalam 2 bagian (disebut inti/*core* dan lubang/*cavity*). Cetakan ini juga terdiri dari 2 bagian dimana 1 bagian bergerak (*moving platen*) dan 1 bagian diam (*stationary platen*). Pada cetakan tersebut terdapat *cavity* yang merupakan gambaran negatif bentuk akhir dari produk. Faktor-faktor yang sering divariasikan dalam disain cetakan, yaitu:

- a. *Gating*;
- b. *Runners*;
- c. sistem pendingin cetakan;

d. sistem pengeluaran produk (*ejection*).



Gambar 2.20 *Gating & Runner system*

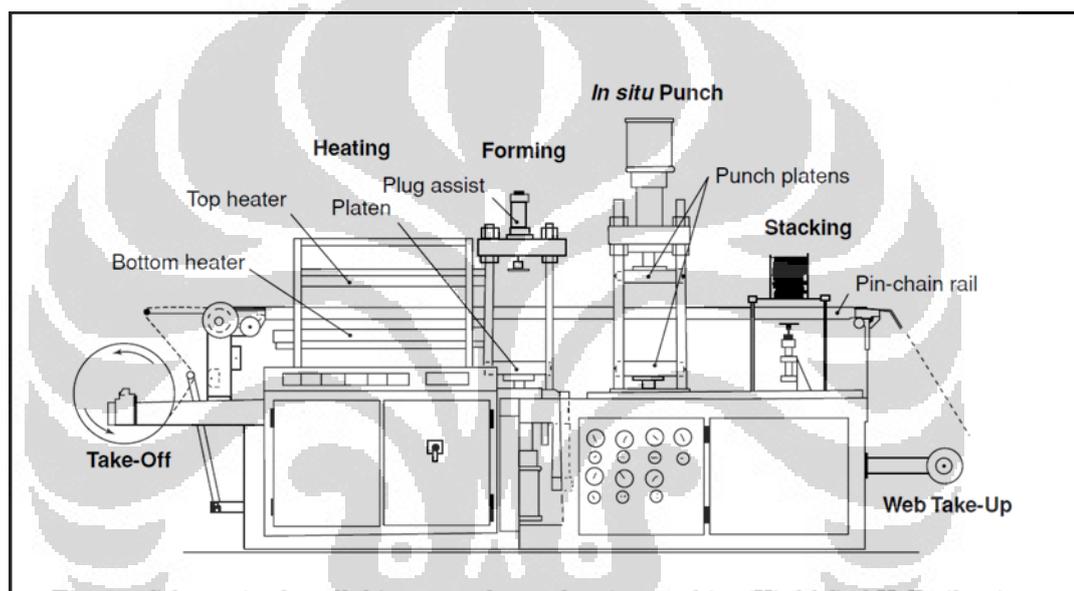
Pada proses pengisian mold, setelah keluar dari *screw* polimer cair akan masuk ke saluran pada *mold* yang disebut *sprue*. *Sprue* ialah saluran utama tempat masuknya polimer cair yang sejajar dengan arah *draw*. Selanjutnya polimer cair akan melewati suatu saluran lain yang tegak lurus arah *draw* yang disebut *runners*. *Runner* ialah saluran penghubung antara *sprue* dengan *gate* atau titik injeksi (gerbang tempat masuknya polimer cair ke dalam cetakan). Adanya sistem *runner* ini menyebabkan dimungkinkannya pencetakan lebih dari 1 produk dalam sekali injeksi.

Sprue, *runner*, dan *gate* ini tidak termasuk dalam produk akhir, sehingga dapat di potong dan di daur ulang (jika material polimernya termoplastik) tetapi mungkin juga tidak dapat (jika material polimernya termoset). Sistem pelepasan ketiga bagian ini dapat dilakukan secara manual atau otomatis, tergantung pada disain sistem *mold*.

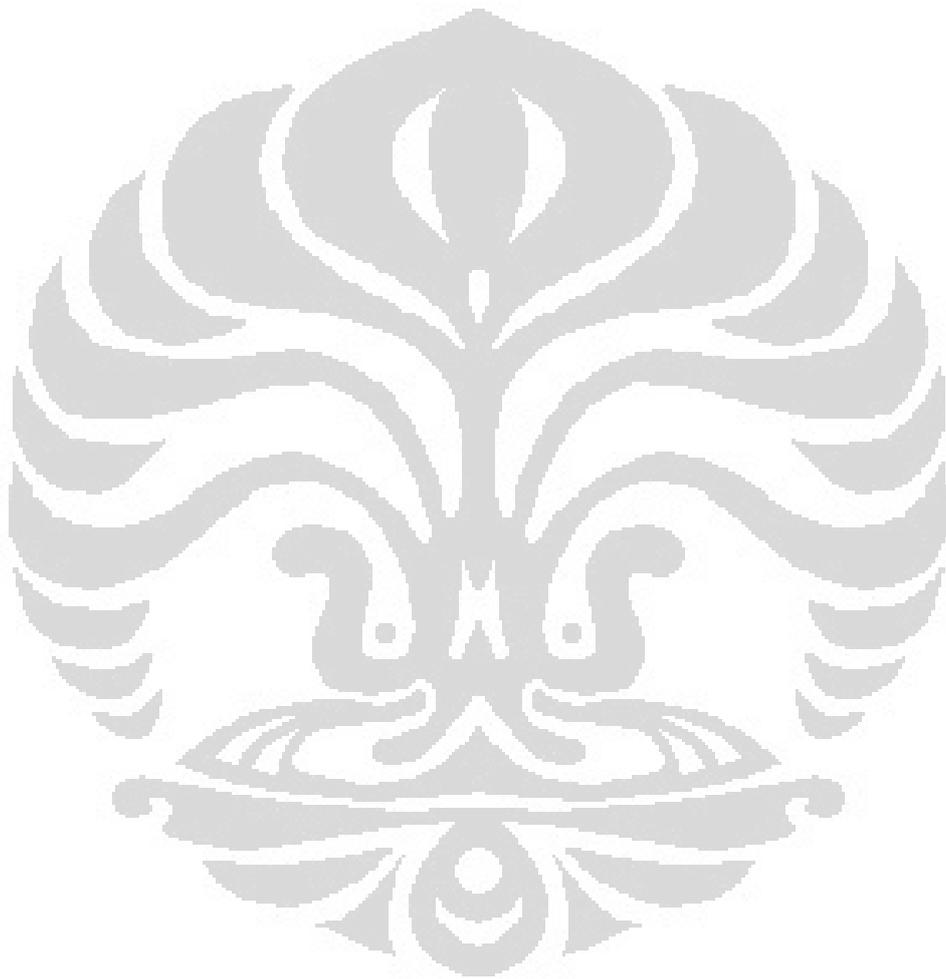
2.6.3 *Thermoforming*

Thermoforming adalah seni dan pengetahuan mengenai pembentukan produk komersil melalui pemanasan lembaran plastik menjadi lebih lunak dan lentur,

kemudian dilanjutkan dengan menekan lembaran pada cetakan dingin hingga berbentuk sesuai cetakan, lalu menahan lembaran pada cetakan hingga mengeras dan diakhiri dengan merapikan bagian sekelilingnya. Pada umumnya, thermoforming digunakan saat dibutuhkan produk dengan ketebalan dinding yang memiliki luas permukaan besar, saat dikehendaki desain produk dengan evaluasi yang cepat, saat diinginkan produk berdinding tipis dengan kecepatan produksi yang tinggi dan saat dibutuhkan produk berdinding tebal dalam jumlah beberapa ratus[22]. Skema mesin thermoforming terlihat pada Gambar 2.21 berikut ini.



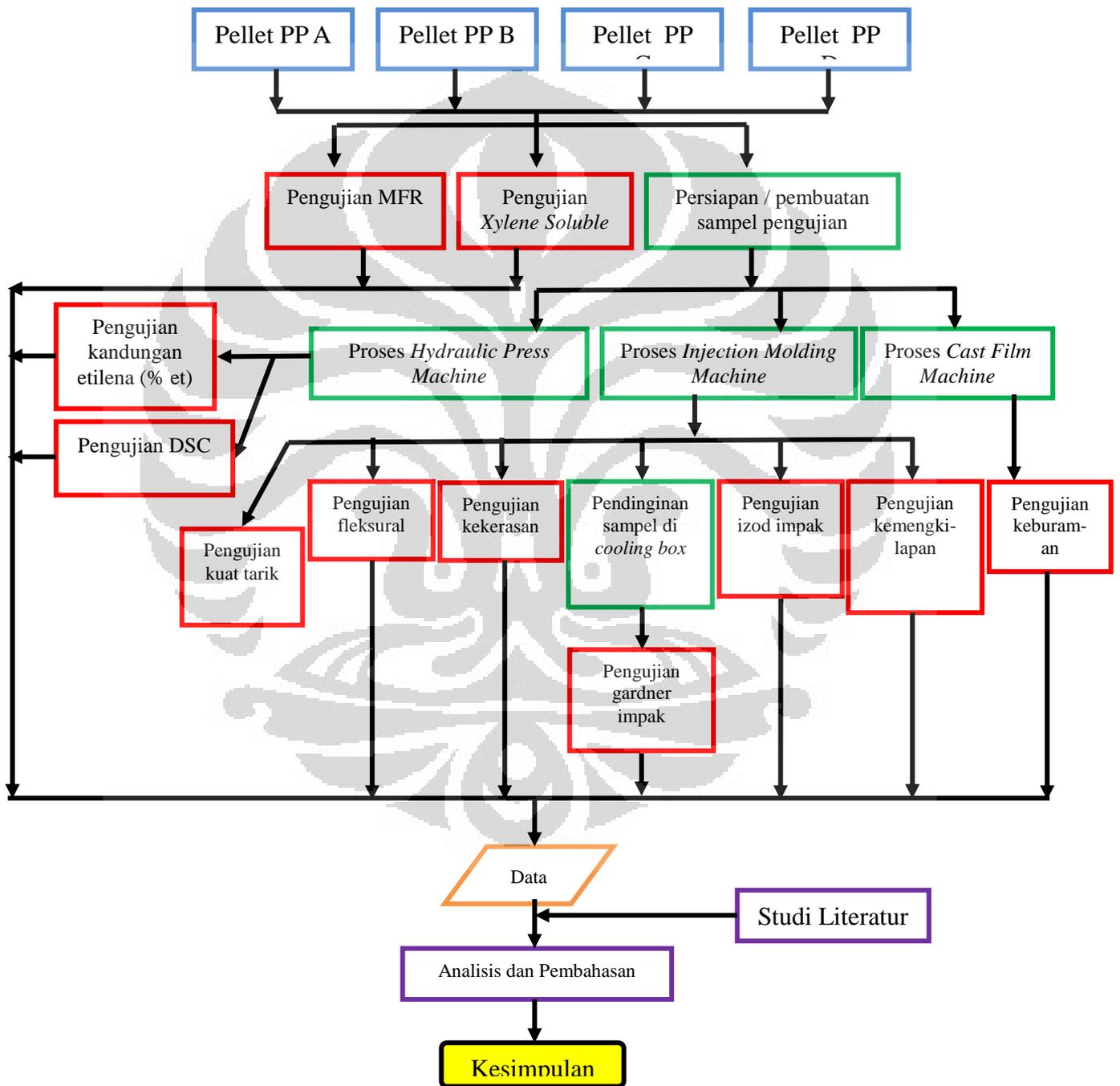
Gambar 2.21 Skema mesin thermoforming[22]



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah diagram alir penelitian yang dilakukan mulai dari awal hingga akhirnya menentukan kesimpulan melalui analisa-analisa dan pembahasan.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Bahan dan Peralatan

3.2.1 Bahan

Material dasar (bahan baku) yang digunakan adalah pellet PP Trilene® HE2.0TF pada skala reaktor (*reactor scale*) dimana variasi sampel yang digunakan dengan kadar komonomer etilena yang semakin meningkat seperti yang tertera pada **Tabel 3.1**, masing-masing 25 kg.

Tabel 3.1 Karakteristik Sampel Pengujian

Karakteristik	PP A	PP B	PP C	PP D
MFR	2.5	3.0	3.0	3.1
Kadar Etilena	0.4	0.6	0.9	1.0
Ataktik	4.1	3.8	4.2	4.4
Keterangan	HE2.0TF (sebagai kontrol/referensi)	HE2.0TF Dasar	HE2.0TF Kadar Etilena Tinggi 1	HE2.0TF Kadar Etilena Tinggi 2

Berikut ini adalah tabel spesifikasi formula sampel PP Trilene® HE2.0TF (prime/dasar):

Tabel 3.2 Spesifikasi karakteristik PP Trilene® HE2.0TF

PARAMETER	SATUAN (UNIT)	NILAI
MFR	Gram / 10 menit	2.5 – 3.1
Kadar Etilena Kopolimer	% w	0.5 – 0.7
Ataktik	% w	3.8 – 4.6

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini akan di jelaskan pada setiap pengujian-pengujian karakterisasi.

3.3 Spesifikasi Bahan

Pellet PP Trilene® HE2.0TF adalah pellet PP hasil reaksi dari reaktor Unipol PT. X, yang merupakan PP jenis homopolimer, memiliki laju alir leleh (MFR) 2.0 gram/10 menit, umumnya digunakan dalam pembuatan gelas (*cup*) air mineral, lembaran plastik (*sheets*) dan wadah makanan maupun minuman (*container*).

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Prosedur Persiapan Sampel

3.4.1.1 Hot Press and Cold Press

Penggunaan metode *hot and cold press* adalah untuk membuat sampel yang akan digunakan dalam pengujian kadar/kandungan etilena dan aditif.

Alat :

Hydraulic Press Machine, Calif, USA

Prosedur Operasi :

- a. Tempatkan susunan mold pada press panas (hot press). Panaskan selama 2 menit pada tekanan kontak dan 1 menit pada tekanan 2500 psi;
- b. Pindahkan mold pada press dingin (cold press) pada tekanan 2500 psi selama 2 menit atau sampai dingin.

3.4.1.2 Injection Molding

Penggunaan mesin *injection molding* adalah untuk membuat sampel yang akan digunakan dalam pengujian-pengujian sifat mekanik yang meliputi pengujian kuat tarik, fleksural, kekerasan, izod impak dan impak gardner, serta pengujian sifat optik yaitu pengujian tingkat kemengkilapan.

Alat :

Injection Molding Arburg Allrounder

Kondisi Operasi :

Tabel 3.3 *Molding Temperatur Setting untuk HE2.0TF (°C)*

Grade	Nozzle	Zone 1	Zone 2	Zone 3 (Feed)	Melt Flow
HE2.0TF	280	270	260	250	2

Prosedur Operasi :

1. Pastikan *hopper* dalam keadaan kosong. Bila ternyata masih terdapat sisa pellet, maka pellet tersebut harus dibuang terlebih dahulu dengan cara mendorong *hopper* ke arah samping sampai pellet mengalir turun melalui selang yang tersedia. Kemudian kembalikan *hopper* ke posisi semula.

2. Masukkan sampel ke dalam *hopper*.
3. Hidupkan mesin pendingin dan mesin injeksi.
4. Buang sisa polimer leleh yang berada di dalam *extruder* dan bilas menggunakan pellet sampel.
5. Setting temperatur dan tekanan sebagai variabel *trial and error* untuk memperoleh hasil injek-kan yang sesuai agar diperoleh spesimen yang baik.
6. Kondisikan spesimen pada temperatur $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ & kelembaban relatif $50 \pm 2\%$ minimal selama 40 jam.

3.4.1.3 Cast Film

Penggunaan mesin *cast film* adalah untuk membuat sampel yang akan digunakan dalam pengujian tingkat keburaman film (% *haze*).

Alat :

Cast Film Extrusion Machine

Prosedur Operasi :

Pada tahap preparasi ini, dibuat sampel film dengan cara ekstrusi dengan *coat hanger dies*, didinginkan oleh *press air* dan *water chill roll* kemudian digulung oleh *take-off roll*. Sehingga dihasilkan sampel film dengan spesifikasi:

- Ketebalan $\pm 95-105$ micron;
- Lebar 12 cm;
- Panjang @ 20m (gulungan).

3.4.2 Prosedur Pengujian

3.4.2.1 Pengujian Laju Alir Leleh (MFR)

Laju alir leleh diukur berdasarkan berat lelehan yang keluar dari *chamber* pada alat *melt indexer* setiap 10 menit. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM D1238 dengan kondisi alat dan kondisi pengujian sebagai berikut.

Alat :

“Tinius Olsen” Extrusion Plastometer digital, direct measurement

Kondisi pengujian:

Setting Temperature = 230°C

Actual Temperature = 230°C

Real Time Preheat = 300 detik

Beban = 2060 gram

Prosedur Operasi :

1. Cek kondisi peralatan bila sudah sesuai dengan standar, pengujian bisa dimulai;
2. Masukkan pellet sekitar 20 gram ke dalam *extrusion plastometer*;
3. Tekan-tekan dan padatkan pellet dengan cepat;
4. Singkirkan kelebihan pellet, lalu pasang piston dan beban;
5. Aktifkan mode pengukuran dan tunggu hasilnya;
6. Catat hasil untuk 2 kali pengambilan data tiap formula dan ulangi pengukuran jika perlu;
7. Bersihkan alat uji sesuai prosedur kebersihan alat;
8. Ulangi pengujian untuk formula yang berbeda.

3.4.2.2 Pengujian Xylene Soluble (XS)

Pengujian / penentuan *xylene soluble* bertujuan untuk menentukan jumlah polimer non kristalin atau faksi ataktik di dalam PP. *Xylene soluble* ditentukan dengan melarutkan semua polimer dalam *xylene* mendidih dan faksi isotaktik diendapkan. Faksi ataktik yang tinggal di dalam larutan dinyatakan dalam % XS atau % soluble. Penentuan XS merupakan metode yang penting untuk proses kontrol.

Alat :

Peralatan gravimetric

Prosedur Operasi:

1. Menimbang pellet ± 2 gram, kemudian dicatat;
2. Masukkan pellet yang sudah ditimbang ke dalam labu *Erlenmeyer*;
3. Isi labu dengan cairan *xylene* (blanko);
4. Kemudian lakukan *reflux* (memanaskan) labu yang sudah diberi *tearer* (magnet) di atas alat pemanas (± 45 menit);

5. Turunkan dan diamkan labu (± 15 menit);
6. Masukkan labu ke dalam *water bath* (± 45 menit);
7. Menyaring larutan;
8. Memipet larutan yang sudah disaring tadi (100 ml);
9. Menimbang cawan;
10. Masukkan larutan yang sudah dipipet ke dalam cawan;
11. Evaporasi (penguapan) sampai kering;
12. Setelah kering, kemudian cawan ditimbang lalu lakukan perhitungan.

$$\frac{2 (\text{berat cawan akhir} - \text{berat cawan mula-mula}) - \text{blanko} \times 100 \%}{\text{Berat sampel}}$$

3.4.2.3 Pengujian Kandungan Etilena (% et)

Pengujian ini untuk menyatakan fraksi etilena (% wt) di dalam Polipropilena (PP) dengan menggunakan sampel hasil *hot pressing*. Berikut ini adalah alat dan prosedur operasi pengujian kandungan etilena pada PP.

Alat :

FTIR (Fourier Transport Infra Red) BIORAD

Prosedur Operasi :

1. Masukkan sampel ke dalam sampel *compartment*.
2. Scan sampel menggunakan icon “scan” yang terdapat di bagian kiri STOP.
3. Klik scan hingga muncul window baru pada layar.
4. Klik tombol scan pada window tersebut.
5. Tunggu sampai keluar data hasil pembacaan dan catat nilai H720, H734, dan A4325.

Perhitungan :

1. Perhitungan di lakukan komputer dengan metode *Grimsby-Short* dengan menggunakan program EXCEL.

2. Masukkan angka *height* pada H720, H734, dan A4325 dan baca hasil Et, Ec, dan Fc pada *screen*.

3.4.2.4 Pengujian DSC

Pengujian DSC dilakukan berdasarkan standar ASTM D3418. Sampel yang digunakan adalah sampel hasil *hot pressing* yang diambil sedikit bagiannya, sekitar 5 mg. Berikut ini adalah alat dan prosedur pengujian DSC.

Alat :

Differential Scanning Calorimeter (DSC)

Prosedur Operasi :

Sebelum Pengujian

1. Sampel dipanaskan sampai 50°C;
2. Kemudian sampel dipanaskan lagi dari 50°C sampai 200°C dengan laju pemanasan 10°C/menit dan ditahan pada temperatur 200°C selama 5 menit;
3. Setelah itu, sampel didinginkan sampai 60°C dengan laju 10°C/menit dan ditahan pada temperatur 60°C selama 5 menit sebelum dilakukan pengujian;

Pengujian

1. Melakukan pemanasan sampai 200°C dengan laju 10°C/menit dan ditahan selama 5 menit pada 200°C;
2. Kemudian dilakukan pendinginan sampai temperatur ruang dengan laju pendinginan 10°C/menit;
3. Kurva hasil pengujian DSC didapat dari pendinginan dan langsung dapat dilihat melalui layar monitor.

3.4.2.5 Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik mengacu pada standar ASTM D638. Sampel yang digunakan adalah sampel hasil dari pencetakan injeksi yang berbentuk

tulang anjing (*dog bone*). Berikut ini adalah alat dan prosedur pengujian kuat tarik.

Alat :

1. *Zwick/Roell Z005* yang dilengkapi dengan *Compression Load Cell & Support Span*.
2. *Micrometer* dengan ketelitian ± 0.01 mm
3. *Personal Computer (PC)*

Prosedur Operasi :

1. Pasang *Compression Load Cell* pada sisi bagian atas (*Movable Cross Head*)
2. Pasang *Support Span* pada sisi bagian bawah.
3. Hidupkan *Zwick/Roell Z005*.
4. Hidupkan PC pilih *file test Xpert II* kemudian masukkan *password*.
5. Buka *file open program tensile test II ASTM D638.Zp2*.
6. Pilih icon *Startpos* untuk menurunkan *Movable Cross Head* .
7. Pastikan posisi *Absolute Cross Head Travel* pada alat *Zwick/Roell* dan pada monitor di PC sama.

3.4.2.6 Pengujian Fleksural

Pengujian fleksural mengacu pada standar ASTM D790. Pengujian fleksural yang dilakukan adalah dengan melakukan pembebanan pada 3 titik. Sampel yang digunakan adalah sampel hasil dari pencetakan injeksi yang berbentuk tulang anjing (*dog bone*). Berikut ini adalah alat dan prosedur pengujian fleksural.

Alat :

1. *Zwick/Roell Z005* yang dilengkapi dengan *Compression Load Cell & Support Span*.
2. *Micrometer* dengan ketelitian ± 0.01 mm
3. *Personal Computer (PC)*

Parameter Pengujian:

Speed Flexural Modulus : 1.3 mm/min

Test Speed : 1.3 mm/min

Force Shutdown Threshold : 80% F max

Max. Deformation : 12 mm

Prosedur Operasi :

a. Persiapan alat :

1. Pasang *Compression Load Cell* pada sisi bagian atas (*Movable Cross Head*)
2. Pasang *Support Span* pada sisi bagian bawah dan atur jaraknya 60 mm.

Catatan : lebar support span dipertahankan untuk setiap variabel data, kecuali untuk variabel lebar support span, yaitu dengan lebar 16,1 X tebal spesimen rata-rata. Dimana dalam pengujian ini, lebar support span untuk variabel support span, yaitu sebesar 54,82.

3. Hidupkan *Zwick/Roell Z005*.
4. Hidupkan PC pilih *file test Xpert II* kemudian masukkan *password*.
5. Buka *file open program flexure test II ASTM D790.Zp2*.
6. Pilih icon *Startpos* untuk menurunkan *Movable Cross Head* sehingga *Load Cell Hamper* mendekati *Support Span* pada jarak *tool separation* 4mm.
7. Pastikan posisi *Absolute Cross Head Travel* pada alat *Zwick/Roell* dan pada monitor di PC sama yaitu 298.000mm

b. Pengukuran :

1. Ukur tebal dan lebar dari 5 spesimen pada 3 titik yang berbeda. Input tebal dan lebar yang minimum pada komputer dengan ketelitian 0.01 mm.
2. Tempatkan spesimen pada *support span* sedemikian rupa sehingga penekanan *Load Cell* tepat di tengah specimen.

Catatan: posisi spesimen untuk variabel bentuk spesimen dan variabel lebar support span dikondisikan sama, yaitu pijakan ejector pin menghadap ke atas dengan posisi gate disebelah kiri.

3. Klik *Force 0* dan *Start* pada monitor komputer.

4. Tunggu beberapa menit sampai terbaca *Secant Modulus* dan *Flexure Modulus*.
5. Catat pembacaan *Flexure Modulus* kemudian *save* sesuai *folder* dan nama sampel.

Catatan: Setiap data yang diperoleh ditambah nilai 100, sebagai faktor koreksi mesin pengujian ini.

3.4.2.7 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan berdasarkan standar ASTM D 785. Sampel untuk pengujian ini adalah sampel berbentuk lingkaran hasil dari pencetakan injeksi dengan tebal 3.5 mm. Pada pengujian ini sampel dijejak dengan penjejakan Rockwell R dan diambil satu titik pada bagian pusat sampel. Berikut ini adalah alat dan prosedur pengujian kekerasan.

Alat :

“Matsuzawa” digital Rockwell type hardness tester

Prosedur Operasi :

1. Aktifkan alat uji kekerasan *Rockwell* tipe R;
2. Pasang sampel plaque bulat (tebal 3.5 mm) pada tempat dudukan sampel;
3. Putar dan turunkan indenter hingga lampu indikasi *READY* menyala;
4. Tunggu hasil pengukuran, catat hasilnya, lalu ulangi untuk mendapatkan 6 data untuk setiap formula;
5. Ulangi pengujian untuk pellet yang berbeda.

Catatan: Setiap data yang diperoleh ditambahkan nilai 20, sebagai faktor koreksi mesin pengujian ini.

3.4.2.8 Pengujian Impak Izod

Pengujian impak izod dilakukan berdasarkan standar ASTM D 256. Sampel untuk pengujian ini adalah sampel dari pencetakan injeksi berbentuk balok. Sebelum diujikan, sampel ditakik (*notch*) secara manual menggunakan alat *notching machine* bermotor dengan sudut 45° dan kedalaman takik 2.5 mm. Berikut ini adalah alat dan prosedur pengujian impak izod.

Alat:

Izod Impact Tester Zwick roel /HIT 5.5P

Kondisi pengujian:

Temperatur Pengujian = Temperatur kamar

Kelembaban = $50 \pm 5\%$ *humidity*

Temperatur Sampel = $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$

Prosedur Operasi:

1. Sampel yang telah di-*notching*, diukur ketebalannya, dan didiamkan selama 24 jam ditempatkan pada alat.
2. Kemudian sampel dipasang pada tempatnya.
3. Lalu pendulum diayunkan mengenai sampel sampai patah.
4. Hasil dari perlakuan itu akan otomatis terhitung dalam komputer.

3.4.2.9 Pengujian Impak Gardner

Pengujian impak gardner dilakukan berdasarkan standar ASTM D 5420. Sampel untuk pengujian ini adalah sampel hasil dari pencetakan injeksi berbentuk lingkaran sebanyak 20 sampel untuk setiap variasi (PP A sampai PP D). Sebelum diujikan, sampel dimasukkan ke dalam *cooling box* selama 2 jam pada temperatur -10°C . Untuk lebih jelasnya, berikut ini adalah alat dan prosedur pengujian impak gardner.

Alat :

Gardner Impact Tester

Kondisi pengujian:

Temperatur Pengujian = Temperatur kamar

Kelembaban = $50 \pm 5\%$ *humidity*

Temperatur Sampel = $-10 \pm 1^{\circ}\text{C}$

Prosedur Operasi :

1. Dinginkan sampel pada *Cold Box* hingga temperatur sampel sesuai standar selama 2 jam;
2. Siapkan beban dan alat uji impak Gardner;
3. Mulai meng-impak 5 sampel awal untuk mencari setting ketinggian awal pengujian Gardner;

4. Mulai meng-impak untuk mengambil data dengan cepat agar temperatur sampel tidak terlalu berubah drastis sambil terus mencatat hasilnya;
5. Ulangi proses impak hingga didapatkan 20 data uji untuk tiap sampel;
6. Ulangi pengujian untuk sampel yang berbeda;
7. Hitung energi impak Gardner untuk masing-masing formula dengan menggunakan rumus yang tersedia.

3.4.2.10 Pengujian Kemengkilapan

Pengujian kemengkilapan dilakukan berdasarkan standar ASTM D2457. Sampel untuk pengujian ini adalah sampel hasil dari pencetakan injeksi berbentuk lingkaran. Berikut ini adalah alat dan prosedur pengujian kemengkilapan.

Alat :

Glossmeter UD Toyo Seiki Seisakusho Ltd

Kondisi Sampel:

Permukaannya harus benar-benar bersih, bebas debu, lemak, atau goresan. Waktu penyimpanan (sejak dicetak hingga diuji) tidak boleh lebih dari 40 jam.

Kondisi pengujian :

Temperatur Pengujian = Temperatur kamar

Kelembaban = $50 \pm 5\%$ humidity

Temperatur Sampel = Temperatur Kamar

Prosedur Operasi :

1. Aktifkan alat uji Glossmeter (gunakan *gloss angle* 45°);
2. Kalibrasi alat uji dengan sampel standar;
3. Pasang sampel plaque bulat (tebal 3.5 mm) pada tempat dudukan sampel;
4. Mulai pengukuran dan catat hasilnya;
5. Ulangi pengukuran pada sampel yang berbeda hingga didapat 10 data uji setiap formula;
6. Ulangi pengujian untuk formula yang berbeda.

3.4.2.11 Pengujian Keburaman

Pengujian keburaman dilakukan berdasarkan standar ASTM D1003. Sampel untuk pengujian ini adalah berupa film hasil dari mesin *cast film*. Berikut ini adalah alat dan prosedur pengujian keburaman.

Alat :

Direct Reading Hazemeter Toyo Seiki Seisakusho Ltd

Kondisi Sampel:

Permukaannya harus benar-benar bersih, bebas debu, lemak, atau goresan.

Prosedur Operasi :

1. Aktifkan alat uji Direct Reading Hazemeter;
2. Pasang sampel film pada tempatnya dengan posisi yang sesuai;
3. Mulai pengukuran dan catat hasilnya;
4. Ulangi pengukuran pada sampel yang berbeda hingga didapat 5 data uji setiap formula;
5. Ulangi pengujian untuk formula yang berbeda.

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Sifat Mekanik

4.1.1 Pengujian Kuat Tarik (*Tensile Strenght*)

Dari pengujian kuat tarik didapatkan data berupa kuat tarik (*yield strength* / σ_y) dan elongasi (*yield strain* / ϵ_y) yang tercatat secara komputerisasi. Masing-masing data akan dipaparkan di bawah ini.

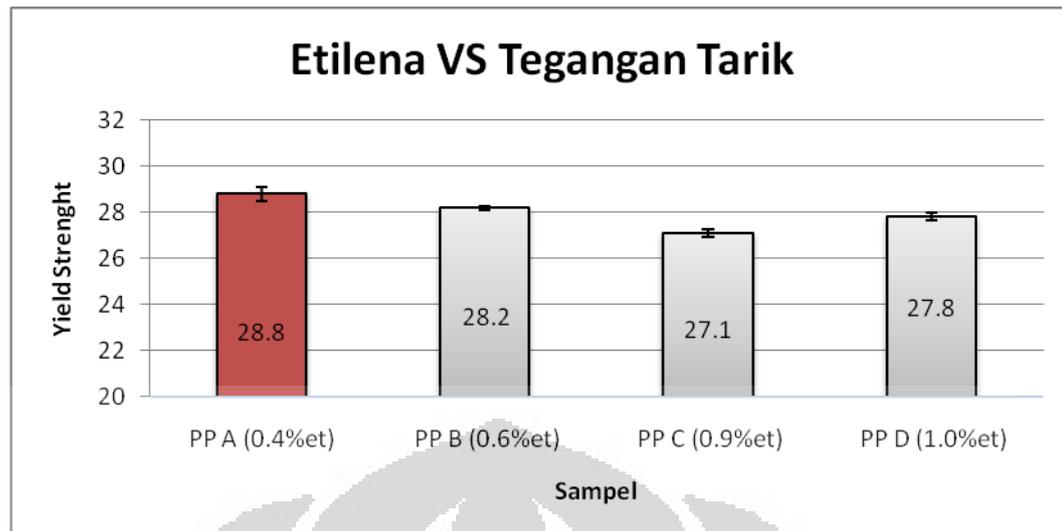
4.1.1.1 Pengujian Kuat Tarik (*Yield Strenght*)

Berikut ini adalah tabel data *yield strength* dari pengujian kuat tarik untuk sampel PP A (sampel kontrol), PP B (sampel dasar), PP C (kadar etilena tinggi=0.9%) dan PP D (kadar etilena tinggi=1.0%) yang ditampilkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data tegangan tarik (*yield strength*)

PARAMETER	SAMPEL			
	PP A	PP B	PP C	PP D
Kandungan Etilena (%)	0.4	0.6	0.9	1.0
<i>Yield strength</i> (σ_y)	28.8	28.2	27.1	27.8
Standar Deviasi	0.32	0.08	0.18	0.16

Berikut ini adalah grafik berdasarkan data *yield strength* Tabel 4.1 yang ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan pengaruh kadar komonomer etilena terhadap *yield strength*

Berdasarkan Gambar 4.1 di atas, dapat diketahui secara keseluruhan bahwa nilai kekuatan tarik pada saat *yield* (tegangan tarik) relatif mengalami penurunan. Penurunan nilai kekuatan tarik pada saat *yield* disebabkan karena keberadaan komonomer etilena pada PP yang akan menurunkan kristalinitas. Sebagaimana diketahui bahwa kehadiran etilena pada level antara 0.5% - 3% membantu menceraikan kristalinitas di dalam matriks PP dan mengarah pada peningkatan fleksibilitas[23]. Dalam literatur lain disebutkan bahwa keberadaan etilena (1% - 7%) pada PP mengganggu kemampuan rantai polimer untuk kristalisasi sehingga struktur kristalin berkurang sedangkan struktur amorf bertambah[16]. Berkurangnya struktur kristalin menjadikan PP lebih fleksibel atau lentur sehingga kekuatan tariknya melemah, sebagaimana PP dengan kristalinitas yang tinggi menghasilkan sifat-sifat mekanik yang baik (tinggi) seperti kekakuan (*stiffness*) dan kekuatan tarik (*tensile strength*)[10].

Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada PP A yang memiliki kadar komonomer etilena terendah. Sementara itu, sampel yang memiliki kekuatan tarik terendah adalah sampel PP C yang memiliki kadar etilena sebesar 0.9%. Terlihat pula bahwa kembali terjadi sedikit kenaikan nilai kekuatan tarik pada sampel PP D sekitar 0.7 MPa. Namun, bila dilihat dari pola pada sampel PP A hingga PP D terlihat bahwa bertambahnya kadar/kandungan komonomer etilena cenderung menurunkan tegangan tarik.

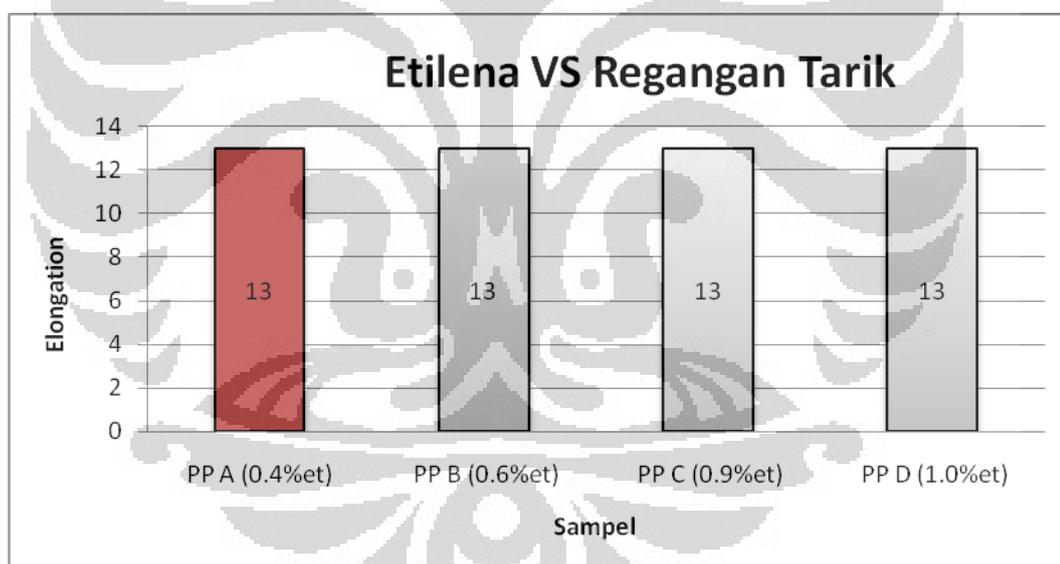
4.1.1.2 Pengujian Kuat Tarik (*Yield Strain/elongation*)

Berikut ini adalah data elongasi (*yield strain*) dari pengujian kuat tarik untuk sampel PP A (sampel kontrol), PP B (sampel dasar), PP C (kadar etilena tinggi=0.9%) dan PP D (kadar etilena tinggi=1.0%) yang ditampilkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Elongation

PARAMETER	SAMPEL			
	PPA	PPB	PPC	PPD
Kandungan Etilena (%)	0.4	0.6	0.9	1.0
<i>Yield strain/elongation</i> (ϵ_y)	13	13	13	13
Standar Deviasi	0	0	0	0

Berikut ini adalah grafik berdasarkan data elongasi Tabel 4.2 yang ditampilkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik perbandingan pengaruh kadar komonomer etilena terhadap elongation

Berdasarkan Gambar 4.2 di atas, terlihat secara keseluruhan bahwa harga regangan tarik relatif tetap atau tidak berubah yaitu sebesar 13 %. Sebagaimana yang telah diketahui bahwa seharusnya semakin bertambah kadar komonomer etilena pada PP, maka regangan tariknya (elongasi) semakin besar. Hal itu disebabkan karena keberadaan komonomer etilena yang akan menurunkan

struktur kristalin dan menambah struktur amorf pada PP. Dengan bertambahnya struktur amorf, menjadikan fleksibilitas PP semakin tinggi sehingga ketika diberi pembebanan tarik, maka regangan tarik (elongasi) meningkat[10,23].

Pada pengujian tarik ini, harga regangan tarik (elongasi) tidak berubah untuk keempat sampel tersebut. Hal itu mungkin dikarenakan kadar penambahan komonomer etilena yang relatif sangat rendah kuantitasnya, yaitu tidak lebih dari 1 % ($\leq 1\%$). Hal itu dapat diperkirakan berdasarkan literatur yang menyebutkan bahwa kehadiran etilena pada level antara 0.5% - 3% membantu menceraikan kristalinitas di dalam matriks PP dan mengarah pada peningkatan fleksibilitas[23]. Namun, literatur tidak menyebutkan angka spesifik dari rentang angka tersebut (0.5% - 3%), pada angka berapa fleksibilitas (elongasi) berubah naik secara signifikan. Kemungkinan fleksibilitas berubah secara signifikan pada angka di atas 2%, sebagaimana yang terjadi pada PP-kopolimer random (2% - 8%). Hal itu diperkuat dengan nilai kekakuan pada data pengujian fleksural yang tidak naik secara signifikan pada penambahan komonomer etilena sebesar 0.6%. Sehingga, penambahan komonomer etilena $\leq 1\%$ ini cenderung tidak mempengaruhi karakteristik mekanik yaitu regangan tarik (*elongasi*), yang mana hal itu juga diutarakan oleh kalangan industri polimer PP dewasa ini.

4.1.2 Pengujian Fleksural (*Flexural Test*)

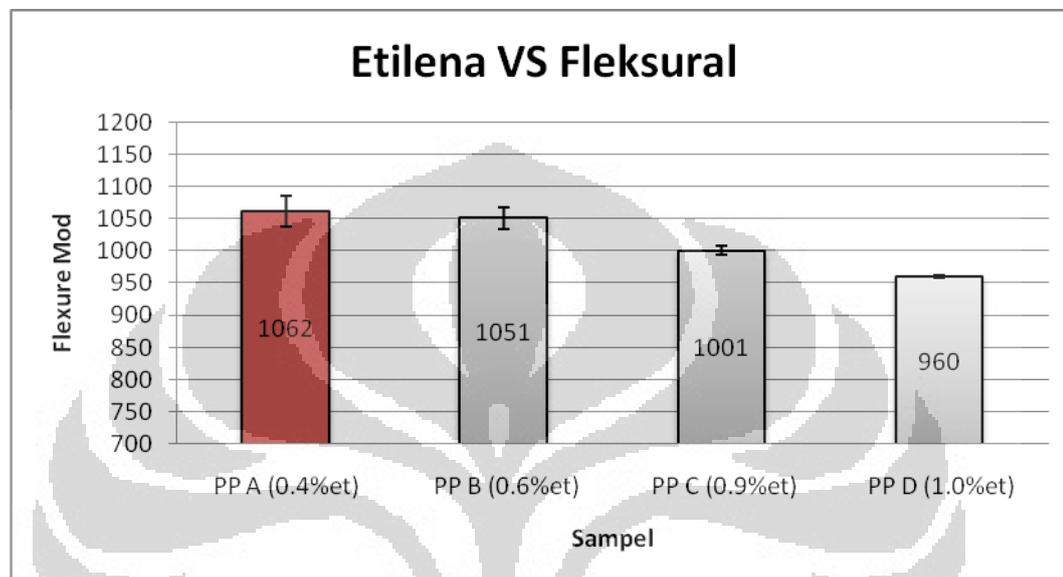
Berikut ini adalah data kekuatan fleksural dari pengujian fleksural untuk sampel PP A (sampel kontrol), PP B (sampel dasar), PP C (kadar etilena tinggi=0.9%) dan PP D (kadar etilena tinggi=1.0%) yang ditampilkan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 *Kekuatan Fleksural*

PARAMETER	SAMPEL			
	PP A	PP B	PP C	PP D
Kandungan Etilena (%)	0.4	0.6	0.9	1.0
Modulus Fleksural (E_H)	1062	1051	1001	960

Standar Deviasi	24.37	16.73	7.50	20.03
-----------------	-------	-------	------	-------

Berikut ini adalah grafik berdasarkan data kekuatan fleksural Tabel 4.3 yang ditampilkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik perbandingan pengaruh kadar komonomer etilena terhadap kekuatan fleksural

Berdasarkan Gambar 4.3 di atas, dapat diketahui secara keseluruhan bahwa tingkat kekuatan fleksural relatif mengalami penurunan. Penurunan kekuatan fleksural menunjukkan bahwa tingkat kekakuan (*stiffness*) semakin berkurang sehingga semakin mudah dibengkokkan. Semakin sukar dibengkokkan dengan suatu penekanan, maka kekakuan material semakin besar. Begitu pula sebaliknya, semakin mudah dibengkokkan, maka kekakuan material semakin kecil.

Adapun penurunan kekuatan fleksural (kekakuan) seperti yang tampak pada Gambar 4.3 di atas, disebabkan karena keberadaan komonomer etilena pada PP yang berpengaruh terhadap tingkat kristalinitas[10,16], di mana struktur kristalin berkurang sedangkan struktur amorf semakin bertambah. Struktur kristalin yang berkurang menjadikan PP lebih fleksibel sehingga mudah dibengkokkan. Semakin mudah dibengkokkan, maka tingkat kekakuan semakin rendah[10].

Harga kekuatan fleksural (kekakuan) tertinggi berada pada sampel PP A yaitu sebesar 1062 MPa yang memiliki kadar komonomer etilena terendah.

Sedangkan sampel yang memiliki tingkat kekakuan yang paling rendah adalah sampel PP D yaitu sebesar 960 MPa yang memiliki kadar komonomer etilena tertinggi. Bila dilihat dari pola pada sampel PP A hingga PP D terlihat bahwa seiring bertambahnya kadar komonomer etilena pada PP, maka tingkat kekakuan PP berkurang.

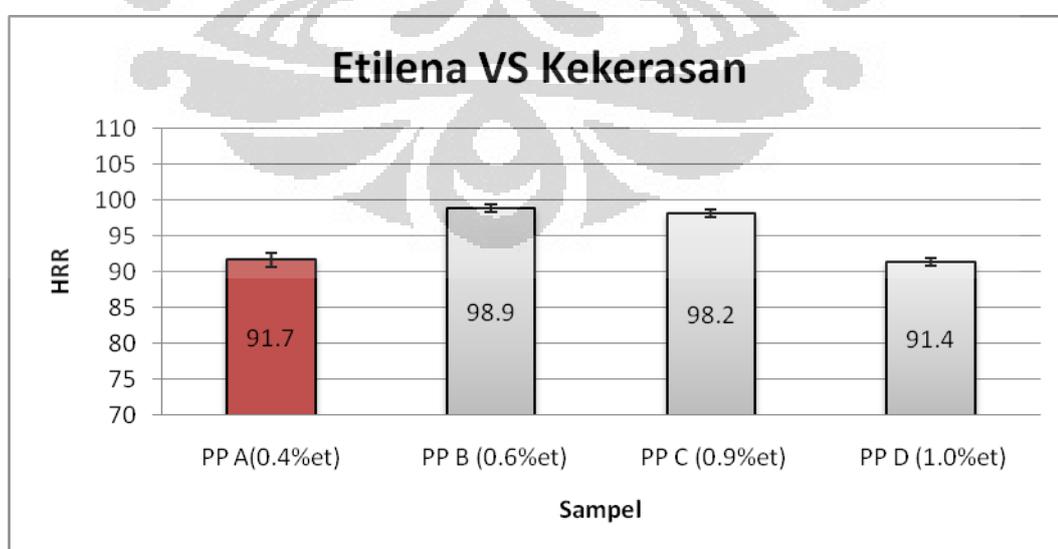
4.1.3 Pengujian Kekerasan (*Hardness*)

Berikut ini adalah data tingkat kekerasan (*HRR*) dari pengujian kekerasan untuk sampel PP A (sampel kontrol), PP B (sampel dasar), PP C (kadar etilena tinggi=0.9%) dan PP D (kadar etilena tinggi=1.0%) yang ditampilkan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 *Data Kekerasan (*Hardness*)*

PARAMETER	SAMPEL			
	PP A	PP B	PP C	PP D
Kandungan Etilena (%)	0.4	0.6	0.9	1.0
Tingkat kekerasan (HRR)	91.7	98.9	98.2	91.4
Standar Deviasi	1.01	0.60	0.58	0.54

Berikut ini adalah grafik berdasarkan data tingkat kekerasan Tabel 4.4 yang ditampilkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 *Grafik perbandingan pengaruh kadar komonomer etilena terhadap kekerasan*

Berdasarkan Gambar 4.4 di atas, maka terlihat bahwa harga kekerasan cenderung mengalami kenaikan dengan bertambahnya kadar komonomer etilena. Padahal penambahan komonomer etilena seharusnya akan menurunkan harga kekerasan, di mana hal itu disebabkan karena struktur kristalin yang semakin berkurang sedangkan struktur amorf bertambah sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya. Dengan berkurangnya struktur kristalin ini, maka struktur yang keras juga semakin berkurang sehingga tingkat kekerasan menurun[10].

Adapun kenaikan harga kekerasan yang terjadi pada pengujian tingkat kekerasan kali ini, mungkin disebabkan karena terjadinya kekusutan rantai (*entanglement chain*) pada struktur amorf yang mengeraskan struktur. Hal itu sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa pada polimer semikristalin, fasa kristalin tidak berkontribusi terhadap *strain hardening* (peningkatan kekerasan dan kekuatan), yang mana *strain hardening* justru sangat dikendalikan oleh kerapatan kekusutan (*entanglement density*) pada fasa amorf[24].

4.1.4 Pengujian Impak

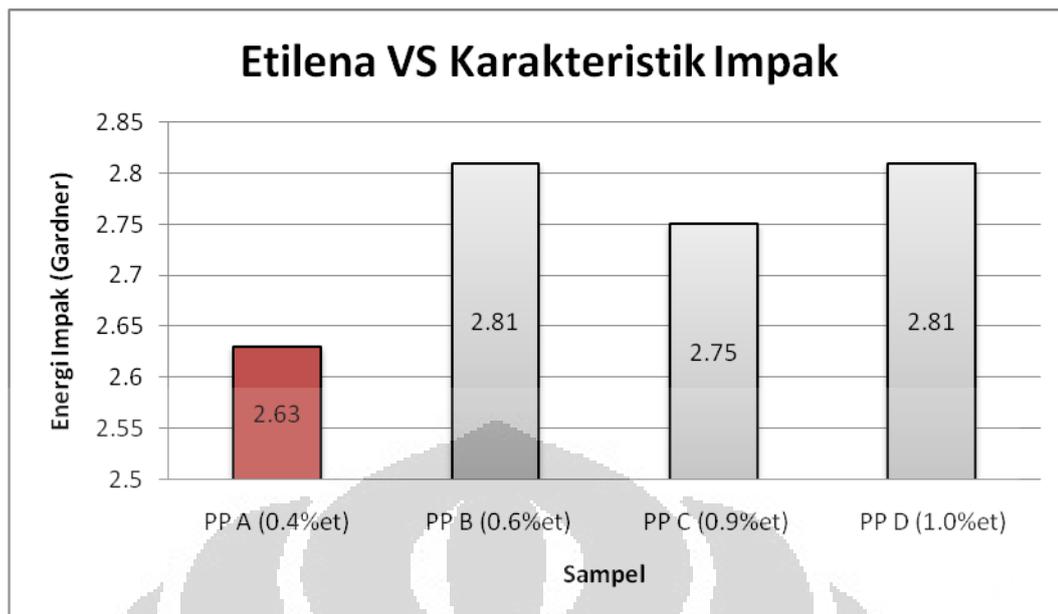
4.1.4.1 Pengujian Impak Gardner (*Gardner Impact*)

Berikut ini adalah data ketahanan impak berdasarkan besar energi impak yang diserap dari pengujian impak gardner untuk sampel PP A (sampel kontrol), PP B (sampel dasar), PP C (kadar etilena tinggi=0.9%) dan PP D (kadar etilena tinggi=1.0%) yang ditampilkan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5 *Data Energi Impak Gardner*

PARAMETER	SAMPEL			
	A	B	C	D
Kandungan Etilena (%)	0.4	0.6	0.9	1.0
Energi Impak (J)	2.63	2.81	2.75	2.81

Berikut ini adalah grafik berdasarkan data energi impak dari pengujian impak gardner pada Tabel 4.5 yang ditampilkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan pengaruh kadar komonomer etilena terhadap karakteristik impak (*energy impak gardner*)

Berdasarkan Gambar 4.5 di atas, terlihat secara umum bahwa terjadi kenaikan ketahanan impak yang diperlihatkan dengan semakin besarnya jumlah energi impak yang diserap. Kenaikan tingkat tahanan impak pada pengujian impak gardner ini mengindikasikan adanya pengaruh kadar komonomer etilena terhadap ketahanan impak PP. Meningkatnya ketahanan impak ini dikarenakan menurunnya kristalinitas akibat dari kehadiran etilena pada PP[23]. Kehadiran etilena sebagaimana yang dijelaskan pada bagian sebelumnya akan meningkatkan keuletan (fleksibilitas) sehingga mampu menyerap energi lebih banyak saat diberikan pembebanan. Sementara itu, kristalinitas yang meningkat justru akan menurunkan ketahanan impaknya. Hal ini disebabkan oleh kehadiran struktur kristal teratur yang besar yang tidak dapat menghentikan retakan yang tumbuh di dalam produk permesinan dan ketangguhan yang secara umum menurun. Jika kristal tunggal tumbuh menjadi besar maka akan ada bidang yang lemah pada bidang pertemuan antar kristal[18].

Pada Gambar 4.5 di atas, terlihat bahwa terjadi penyimpangan secara teoritis yang ditunjukkan oleh diagram sampel PP C, di mana seiring bertambahnya kadar komonomer etilena seharusnya akan semakin menaikkan ketahanan impak material[10]. Namun, pada penelitian ini nilai ketahanan impak

sampel PP C (2.75 J) lebih rendah dari pada sampel PP B (2.81 J). Penyimpangan juga terjadi pada sampel PP D yang memiliki nilai ketahanan impact yang sama dengan sampel PP B. Berdasarkan literatur mengenai pengujian impact gardner polimer, secara teknis ada beberapa kesalahan utama dalam melakukan pengujian impact gardner, di antaranya:

1. Pengkondisian (*Conditioning*) yang tidak benar, menyebabkan hasil data yang tidak konsisten. Hasil data yang tidak konsisten disebabkan oleh temperatur kondisi, waktu dan kecepatan sampel saat ditransfer ke *impact tester* kurang akurat.
2. Kondisi *injection molding* yang tidak tepat menyebabkan variasi *impact strength*.
3. *Test support* yang tidak sesuai. *Drop tube* harus vertikal dan *tester* yang terpasang di meja tidak menyerap energi impact.
4. Pemilihan beban yang tidak benar untuk sampel *impact strength*. Ini perlu diperhatikan mengingat *impact strength* (gardner) merupakan fungsi dari berat beban dan kecepatan impact[25].

Dari berbagai faktor kesalahan di atas, maka yang paling mungkin menjadi faktor penyimpangan dalam Gambar 4.5 di atas adalah *conditioning* yang kurang tepat, yaitu pada saat transfer sampel uji dari dalam box pendingin menuju *impact tester*. Kesalahan ini mengakibatkan terjadi selisih waktu yang cukup berpengaruh terhadap struktur kristal sampel.

4.1.4.2 Pengujian Impact Tertakik (*Izod Impact*)

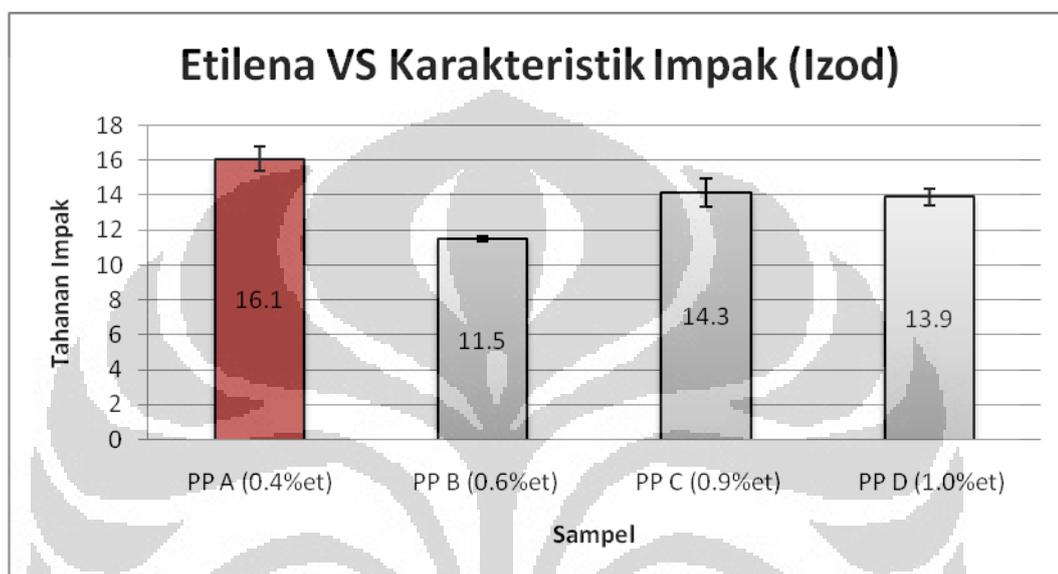
Berikut ini adalah data ketahanan impact dari pengujian impact tertakik untuk sampel PP A (sampel kontrol), PP B (sampel dasar), PP C (kadar etilena tinggi=0.9%) dan PP D (kadar etilena tinggi=1.0%) yang ditampilkan dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data Ketahanan Impact Tertakik

PARAMETER	SAMPEL			
	PPA	PPB	PPC	PPD
Kandungan Etilena (%)	0.4	0.6	0.9	1.0

Ketahanan Impak (J/m)	16.1	11.5	14.3	13.9
Standar Deviasi	0.71	0.15	0.74	0.45

Berikut ini adalah grafik berdasarkan data ketahanan impak dari pengujian impak tertakik pada Tabel 4.6 yang ditampilkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan pengaruh kadar komonomer etilena terhadap karakteristik impak (ketahanan impak izod)

Berdasarkan Gambar 4.6 di atas, dapat terlihat secara keseluruhan bahwa harga ketahanan impak dari pengujian impak tertakik relatif mengalami penurunan. Dalam pengujian impak tertakik, ketahanan impak menunjukkan seberapa besar energi maksimum yang dapat diserap oleh sampel pada kondisi kritisnya. Semakin besar energi yang dapat diserap, maka menunjukkan bahwa material tersebut memiliki ketangguhan yang baik karena memiliki waktu yang lebih lama untuk mempertahankan diri dari kegagalan/kerusakan setelah adanya *initial crack*.

Harga ketahanan impak seharusnya bertambah seiring dengan adanya penambahan kadar komonomer etilena[10]. Namun, pada pengujian kali ini didapatkan hasil berupa penurunan tingkat ketahanan impak. Diawali oleh sampel PP B yang mengalami penurunan cukup drastis dari 16.1 J/m (PP A) menjadi 11.5 J/m (PP B). Sehingga dapat dikatakan terjadi suatu penyimpangan pada data pengujian PP B yang kemudian diikuti penyimpangan oleh sampel PP C dan PP D yang juga relatif turun terhadap sampel kontrol (PP A).

Secara teoritis, ketahanan/kekuatan impact PP dipengaruhi oleh derajat kristalinitas. Derajat kristalinitas ternyata dipengaruhi oleh kondisi proses yang mencapai persentase sekitar 50-65% [26]. Dalam penelitian kekuatan impact izod ini, sepertinya memang terjadi suatu kesalahan yang menghasilkan data pengujian tidak sesuai. Kesalahan tersebut terdapat pada pengkondisian sampel. Pengkondisian sampel yang dilakukan sesuai prosedur instruktur adalah mendiamkan sampel yang sudah di *notch* selama 24 jam sebelum melakukan pengujian. Namun, ternyata mendiamkan selama 24 jam masih dianggap tidak memenuhi berdasarkan standar pengkondisian dari ASTM D 256. Standar pengkondisian yang dikehendaki oleh ASTM D 256 adalah selama 40 jam [16]. Hal inilah yang mungkin menjadi faktor kesalahan dalam melakukan pengujian impact izod, sehingga memperoleh data hasil pengujian yang tidak sesuai dengan teori.

4.2 Pengujian Sifat Optik

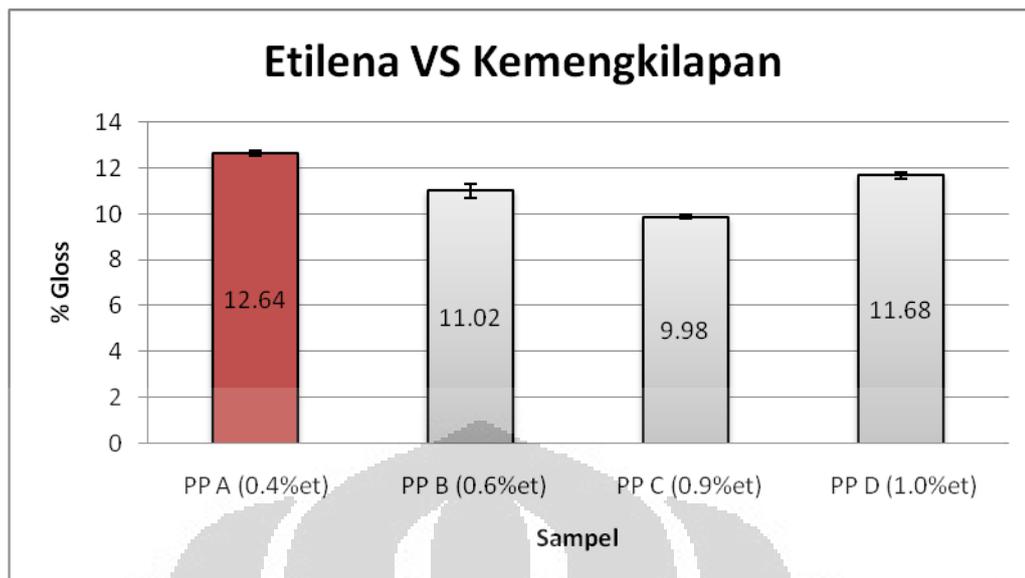
4.2.1 Pengujian Tingkat Kemengkilapan (*Gloss*)

Berikut ini adalah data tingkat kemengkilapan dari pengujian tingkat kemengkilapan untuk sampel PP A (sampel kontrol), PP B (sampel dasar), PP C (kadar etilena tinggi=0.9%) dan PP D (kadar etilena tinggi=1.0%) yang ditampilkan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data Kemengkilapan (% *Gloss*)

PARAMETER	SAMPEL			
	PP A	PP B	PP C	PP D
Kandungan Etilena	0.4	0.6	0.9	1.0
Gloss (%)	12.64	11.02	9.98	11.68
Standar Deviasi	0.09	0.31	0.08	0.15

Berikut ini adalah grafik berdasarkan data tingkat kemengkilapan dari pengujian tingkat kemengkilapan (*gloss*) dengan sampel berupa plaque pada Tabel 4.7 yang ditampilkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik perbandingan pengaruh kadar komonomer etilena terhadap kemengkilapan (% Gloss)

Berdasarkan Gambar 4.7 di atas, dapat diketahui secara keseluruhan bahwa nilai tingkat kemengkilapan dari sampel PP A hingga PP D relatif mengalami penurunan. Hal itu mengindikasikan bahwa dengan bertambahnya kadar komonomer etilena pada PP menjadikan material cenderung semakin berkurang kemengkilapannya. Kemengkilapan yang berkurang ini akibat dari bertambahnya fasa amorf pada PP yang bersifat mentransmisikan (menyerap/meneruskan) sinar yang datang bukan memantulkan. Sedangkan kristalinitas yang tinggi maka menyebabkan tingkat kemengkilapan meningkat. Hal itu akibat dari banyaknya kristal sehingga bidang sentuh antar kristal pun menjadi lebih besar, hal ini akan menyebabkan banyaknya pemantulan cahaya yang ditandai dengan meningkatnya harga *gloss* sampel[6].

Harga *gloss* tertinggi pada tabel dan grafik di atas terdapat pada sampel PP A dan bila dilihat dari pola sampel PP A hingga PP D terlihat bahwa seiring dengan bertambahnya kadar komonomer etilena, maka tingkat kemengkilapan cenderung mengalami penurunan.

4.2.2 Pengujian Tingkat Keburaman (Haze)

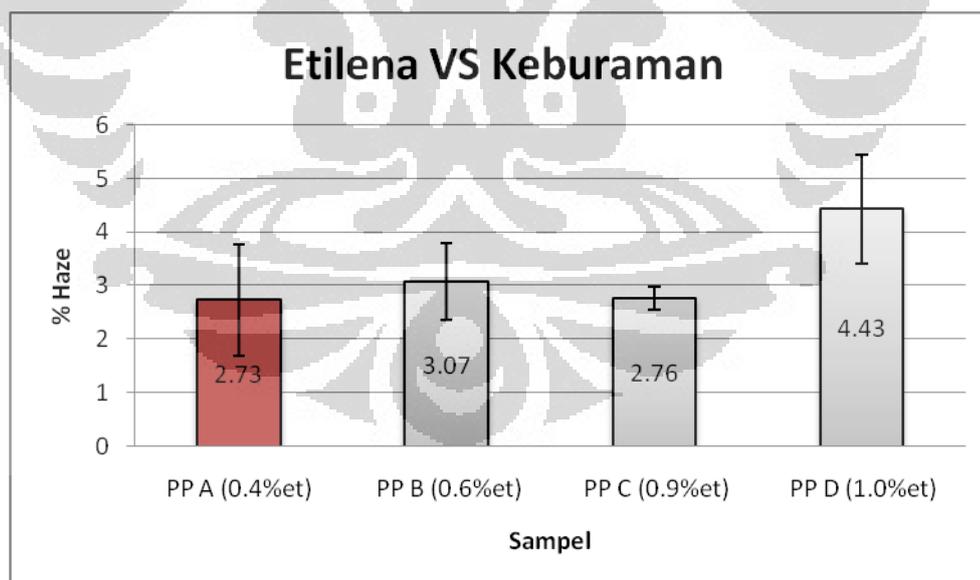
Berikut ini adalah data tingkat keburaman dari pengujian tingkat keburaman untuk

sampel film PP A (sampel kontrol), PP B (sampel dasar), PP C (kadar etilena tinggi=0.9%) dan PP D (kadar etilena tinggi=1.0%) yang ditampilkan dalam Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Data Keburaman (% Haze)

PARAMETER	SAMPEL			
	PP A	PP B	PP C	PP D
Kandungan Etilena	0.4	0.6	0.9	1.0
Ketebalan Film (micron)	98 - 105	97 - 104	95 - 102	99 - 105
Haze (%)	2.73	3.07	2.76	4.43
Standar Deviasi	1.05	0.72	0.22	1.01

Berikut ini adalah grafik berdasarkan data tingkat keburaman dari pengujian tingkat keburaman (*haze*) dengan sampel berupa film pada Tabel 4.8 yang ditampilkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik perbandingan pengaruh kadar komonomer etilena terhadap keburaman (% Haze)

Berdasarkan Gambar 4.8 di atas, dapat terlihat secara keseluruhan bahwa harga

tingkat keburaman dari sampel PP A hingga PP D relatif mengalami kenaikan. Padahal seharusnya, secara teoritis seiring bertambahnya kadar komonomer etilena, maka tingkat keburaman semakin rendah dan sampel (film) semakin tampak jernih[23]. Tingkat keburaman yang semakin rendah dikarenakan intensitas sinar yang ditransmisikan pada PP semakin banyak yang melalui struktur amorf di mana struktur amorf semakin bertambah seiring bertambahnya kadar komonomer etilena[6].

Adapun meningkatnya tingkat keburaman pada pengujian kali ini mungkin disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu ketebalan film dan permukaan film. Ketebalan film pada pengujian ini untuk masing-masing sampel tidak sama namun masih berkisar antara 95 – 105 mikron. Walaupun masih dalam kisaran tersebut, namun variasi ketebalan cukup berpengaruh terhadap hasil data yang diperoleh. Kemudian permukaan sampel (film) juga berpengaruh terhadap hasil data yang diperoleh di mana pada pengujian ini, sampel yang dibuat memiliki permukaan bergaris akibat mesin pembuat yang mulai mengalami ketidakstabilan proses.

BAB 5

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengaruh kadar komonomer etilena terhadap sifat mekanik PP *grade thermoforming*, yaitu:
 - a. tegangan tarik dan kekakuan (fleksural) cenderung semakin menurun seiring bertambahnya kadar komonomer etilena (0.4%et, 0.6%et, 0.9%et dan 1.0%et) walaupun tidak terlihat penurunan yang signifikan;
 - b. regangan tariknya (elongasi) adalah konstan (tidak berpengaruh) yaitu 13%;
 - c. tingkat kekerasan mengalami kenaikan pada sampel PP B (98.9 HRR) yang memiliki kadar komonomer etilena 0.6%, kemudian turun kembali untuk PP C (98.2 HRR) dan PP D (91.4 HRR);
 - d. ketahanan impak (gardner) cenderung semakin meningkat cukup signifikan dengan bertambahnya kadar komonomer etilena (0.4%et, 0.6%et, 0.9%et dan 1.0%et) pada PP.
2. Pengaruh kadar komonomer etilena terhadap sifat optik PP *grade thermoforming*, yaitu:
 - a. tingkat kemengkilapan (*gloss*) cenderung semakin menurun seiring bertambahnya kadar komonomer etilena (0.4%et, 0.6%et, 0.9%et dan 1.0%et) pada PP.

DAFTAR REFERENSI

- [1] *Daya Beli Turun, Permintaan Plastik Berkurang*. 7 Mei 2008
www.tempointeraktif.com,
- [2] Data CV. Panca Putra Perkasa, 6 Mei 2009
- [3] Heizer, Jay., & Render Barry. (2006). *Operations Management, Manajemen Operasi* (Edisi Ketujuh). Jakarta: Penerbit Salemba Empat
- [4] *Kategori Produk*
<http://www.tripolyta.com/product_categories.php?component_product_type_id=1>
- [5] Lanang, Pandu. (Januari, 2009). Personal Interview
- [6] Setiawan, Rahmat.,& Lanang, Pandu. (2007). *Laporan Kerja Praktek, Studi Komparatif Pengaruh Penambahan Zat Aditif Clarifying Agent (Millad 3988) Dan Nucleating Agent (Adk Na-21 Dan Hpn-68l) Pada Produk Polipropilena Homopolimer IPP-Film Grade*. Depok: Departemen Metalurgi dan Material FTUI
- [7] Robert B. Rosner, B. Robert. *Conductive Materials for ESD Applications: An Overview*. www.ce-mag.com/archive/01/Spring/Rosner.html
- [8] *Shrinkage in plastics processing*
pslc.ws/macrogcss/crystal.html
- [10] Haber, Theresa,. & Maier, Clive. (1999). *Polypropylene: The Definitive User's Guide and Databook (PDL Handbook Series)*
- [11] <http://id.wikipedia.org/wiki/Etena>
- [12] Arif, Dendy,. Adam, Hatta.,& Syarif, Ridwan. 2007. *Pengaruh Preparasi Sampel Dan Alat Terhadap Hasil Data Pengujian Ftir, Flexural Dan Izod-Impact*. Depok: Departemen Metalurgi dan Material FTUI
- [13] Callister, William, Jr. (2003). *Materials Science and Engineering an Introduction 6th ed*. New York: John Willey & Sons Inc.
- [14] <http://kimia.uny.ac.id/siokim/resources/coba.doc>
- [15] Agustinus, Soemadi. (2008). *Kuliah Turunan Material Polimer*. Depok:

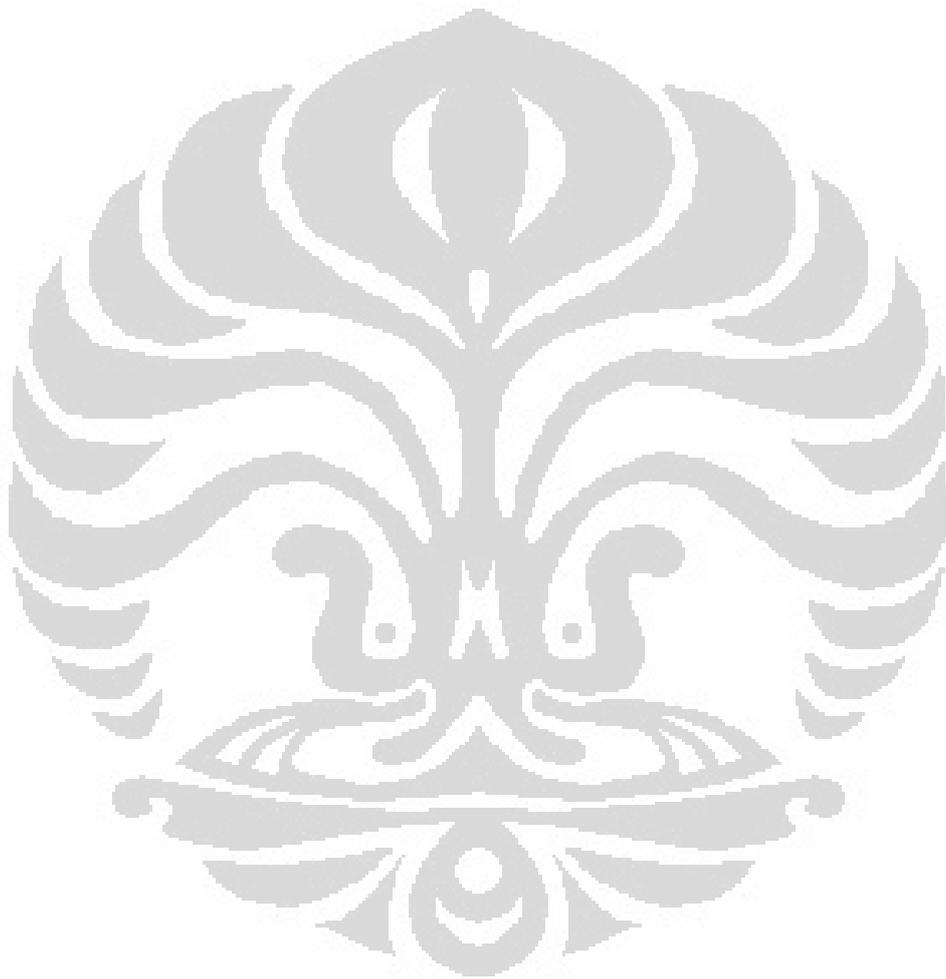
Departemen Metalurgi dan Material, FTUI.

- [16] Harper, A. Charles. (2000). *Modern Plastics Handbook*. USA: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [17] Park. (1969). *Plastic Film Technology*. USA: Van Nostrand Reinhold Company.
- [18] Shah, Vishu. (1998). *Handbook of Plastics Testing Technology 2nd ed.* Kanada: John Willey & Sons Inc.
- [19] Ebeuwele, R. Oboigbaotor. *Polymer science and technology* .
[http://books.google.co.id/books?id=2Xfe3G8g1loC&pg=PA80&dq=polyp
propylene%3B+xylene+solubles%3B+crystallinity&lr](http://books.google.co.id/books?id=2Xfe3G8g1loC&pg=PA80&dq=polyp+propylene%3B+xylene+solubles%3B+crystallinity&lr)
- [20] Saptoraharjo, Asmu Wahyu. (2005). *Sifat Polimer*. Indonesia: PT Tri Polyta .
- [21] Stevens, M.P. (2001). *Kimia Polimer*. Alih Bahasa Lis Sofyan. Jakarta: Pradya paramita.
- [22] *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. Copyright John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved
- [23] Andrady, L. Anthony. (2003). *Plastics and the Environment*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [24] Bernard A. G. Schrauwen, Roel P. M. Janssen, Leon E. Govaert, and Han E. H. Meijer. *Intrinsic Deformation Behavior of Semicrystalline Polymers*
- [26] Menachem Lewin, Eli M. Pearce *Handbook of Fiber Chemistry* .
[http://books.google.co.id/books?id=ySm_c1lZTzkC&pg=PA168&dq=poly
propylene%3B+xylene+solubles%3B+crystallinity](http://books.google.co.id/books?id=ySm_c1lZTzkC&pg=PA168&dq=polypropylene%3B+xylene+solubles%3B+crystallinity)



LAMPIRAN 1

DATA PENELITIAN



DATA PENGUJIAN KUAT TARIK (YIELD STRENGTH)

NO	PP A		PP B		PP C		PP D		σ_y (Mpa)			
	h	b	h	b	h	b	h	b	PP A	PP B	PP C	PP D
1	3.32	12.54	3.35	12.59	3.37	12.58	3.36	12.6	28.8	28.1	27.1	28
2	3.32	12.55	3.35	12.59	3.4	12.58	3.36	12.6	28.4	28.2	26.9	27.9
3	3.32	12.55	3.35	12.59	3.4	12.58	3.37	12.6	28.6	28.3	27.1	27.9
4	3.32	12.55	3.35	12.6	3.36	12.59	3.39	12.61	29	28.2	27.3	27.7
5	3.32	12.55	–	–	3.38	12.59	3.4	12.64	29.2	–	27.1	27.6
RATA-RATA									28.8	28.2	27.1	27.8
STDEV									0.32	0.08	0.18	0.16

keterangan:

h = ketebalan sampel (mm)

b = lebar sampel (mm)

σ_y = tegangan tarik (Mpa)

DATA PENGUJIAN KUAT TARIK (YIELD STRAIN/ELONGATION)

NO	PP A		PP B		PP C		PP D		$\epsilon\gamma$ (%)			
	h	b	h	b	h	b	h	b	PP A	PP B	PP C	PP D
1	3.32	12.54	3.35	12.59	3.37	12.58	3.36	12.6	13	13	13	13
2	3.32	12.55	3.35	12.59	3.4	12.58	3.36	12.6	13	13	13	13
3	3.32	12.55	3.35	12.59	3.4	12.58	3.37	12.6	13	13	13	13
4	3.32	12.55	3.35	12.6	3.36	12.59	3.39	12.61	13	13	13	13
5	3.32	12.55	-	-	3.38	12.59	3.4	12.64	13	-	13	13
RATA-RATA									13	13	13	13
STDEV									0	0	0	0

keterangan:

h = ketebalan sampel (mm)

b = lebar sampel (mm)

$\epsilon\gamma$ = regangan tarik

(%)

DATA PENGUJIAN FLEKSURAL

NO	PP A		PP B		PP C		PP D		E _H (Mpa)			
	d	b	d	b	d	b	d	b	PP A	PP B	PP C	PP D
1	3.32	12.54	3.33	12.59	3.35	12.58	3.42	12.6	996	947	911	863
2	3.32	12.55	3.35	12.59	3.35	12.58	3.44	12.59	935	929	901	862
3	3.32	12.54	3.33	12.59	3.37	12.58	3.45	12.58	965	963	891	859
4	3.33	12.55	3.34	12.6	3.35	12.59	3.47	12.59	942	965	897	860
5	3.34	12.55	–	–	3.36	12.59	3.47	12.59	971	–	904	858
RATA-RATA									962	951	901	860
Ditambah 100 (faktor koreksi)									1062	1051	1001	960
STDEV									24.37	16.73	7.5	2.07

keterangan:

d = ketebalan sampel (mm)

b = lebar sampel (mm)

E_H = modulus fleksural (Mpa)

DATA PENGUJIAN KEKERASAN

NO	HRR			
	PPA	PPB	PPC	PPD
1	72,5	79,8	78,3	71,6
2	72,8	78,6	77,5	71,4
3	71	78,5	78,5	70,6
4	70,4	79,1	78,9	71,3
5	71,9	78,3	77,7	72,1
RATA2	71.7	78.9	78.2	71.4
Ditambah 20 (f.koreksi)	91.7	98.9	98.2	91.4
STDEV	1.01	0.6	0.58	0.54

Ditambah 20 (f.koreksi)

DATA PENGUJIAN IMPAK GARDNER (1/2)

SAMPLE INDENT	PPA	WEIGHT USED : 0.25 KG
DATE/TIME PREPARED :	CONDITIONING :	
DATE/TIME RUN :	ANALYST :	

SAMPLE NO. HEIGHT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	W x N
7.5								O				O								O	5.625
10	O		O		O		X		O		X		O		O		O		X		25
12.5		X		X		X				X				X		X		X			21.875
15																					
TOTAL																				52.5/20	
Impact E.																				2.625	

SAMPLE INDENT	PPB	WEIGHT USED : 0.25 KG
DATE/TIME PREPARED :	CONDITIONING :	
DATE/TIME RUN :	ANALYST :	

SAMPLE NO. HEIGHT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	W x N
7.5																					
10	O		O		O		O		O		O		O		O		O		O		25
12.5		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	31.25
15																					
TOTAL																				56.25/20	
Impact E.																				2.813	

DATA PENGUJIAN IMPAK GARDNER (2/2)

SAMPLE INDENT	PP C	WEIGHT USED : 0.25 KG
DATE/TIME PREPARED	:	CONDITIONING :
DATE/TIME RUN	:	ANALYST :

SAMPLE NO. HEIGHT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	W x N
15	X																				3.75
12.5		X				X		X		X		X		X		X				X	25
10			X		O		O		O		O		O		O		X		O		22.5
7.5				O														O			3.75
TOTAL																				55/20	
Impact E.																				2.75	

SAMPLE INDENT	PP D	WEIGHT USED : 0.25 KG
DATE/TIME PREPARED	:	CONDITIONING :
DATE/TIME RUN	:	ANALYST :

SAMPLE NO. HEIGHT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	W x N
7.5																					
10	O		O		O		O		O		O		O		O		O		O		25
12.5		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	31.25
TOTAL																				56.25/20	
Impact E.																				2.8125	

DATA PENGUJIAN IMPAK IZOD

NO	b				W				Ak			
	PP A	PP B	PP C	PP D	PP A	PP B	PP C	PP D	PP A	PP B	PP C	PP D
1	12.65	12.69	12.68	12.67	0.17673	0.13372	0.19147	0.16225	13.97	10.54	15.1	12.81
2	12.65	12.69	12.68	12.68	0.19725	0.1309	0.18006	0.16514	15.59	10.32	14.2	13.02
3	12.66	12.66	12.69	12.69	0.19136	0.12809	0.16802	0.15363	15.12	10.12	13.24	12.11
4	12.68	12.65	12.68	12.7	0.19136	0.1309	0.18602	0.16514	15.09	10.35	14.67	13
					RATA2	16.1	11.5	14.3	13.9			
					STDEV	0.71	0.15	0.8	0.45			

keterangan:

b = tebal sampel (mm)

W = energi impact yg diserap (J)

Ak = tahanan impact (J/m)

Notch radius = 0.25 mm

Depth below the notch = 10 mm

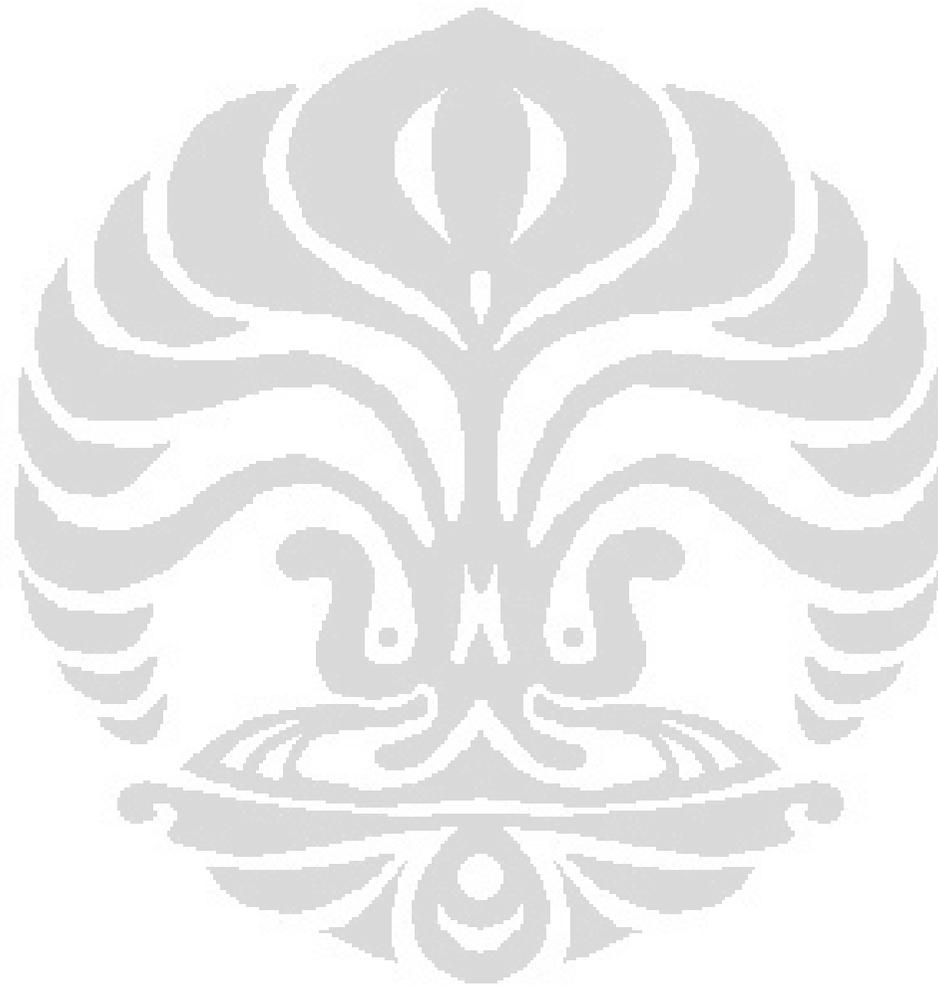
DATA PENGUJIAN KEMENGGILAPAN (GLOSS) DAN KEBURAMAN (HAZE)

NO	% GLOSS			
	PPA	PPB	PPC	PPD
1	12,6	10,7	9.8	11,7
2	12,5	11,3	9.9	11,5
3	12,7	10,9	9.9	11,6
4	12,7	10,8	10	11,7
5	12,7	11,4	10.3	11,9
RATA2	12,64	11,02	9.98	11,68
STDEV	0.09	0.31	0.08	0.15
NO	% HAZE			
	PPA	PPB	PPC	PPD
1	2.79	2.95	2.5	4.48
2	2.63	3.12	2.6	4.46
3	2.81	3.06	2.8	4.41
4	2.61	3.13	2.8	4.52
5	2.83	3.09	3.1	4.26
RATA2	2.73	3.07	2.76	4.43
STDEV	1.05	0.72	0.22	1.01

	PPA	PPB	PPC	PPD
Ketebalan Film(μ)	98-105	97-104	95-102	99-105

DATA KARAKTERISASI UMUM SAMPEL

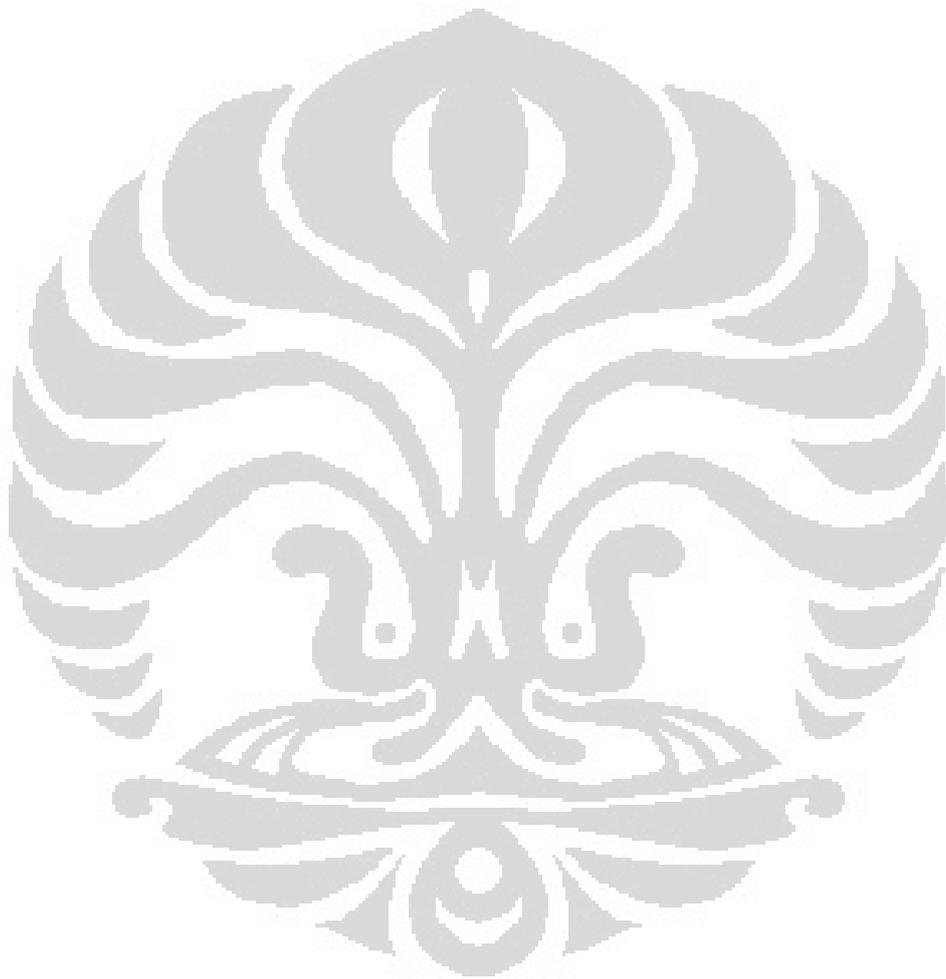
PARAMETER	Unit	SAMPEL			
		PP A	PP B	PP C	PP D
Sifat Umum					
MF	gr/10min	2.5	3.0	3.0	3.1
XS	% w	4.05	3.8	4.2	4.4
Et	% w	0.4	0.6	0.9	1.0
Sifat Termal					
MP ^{1st}	°C	159.7	158.6	156.5	156.1
MP ^{2nd}	°C	156.1	155.1	153.8	153.9
CT	°C	105.9	104.9	104.8	103.5
Sifat Mekanik					
Tensile	MPa	28.8	28.2	27.1	27.8
Elongation	%	13	13	13	13
Flexural	MPa	1061	1047	1001	960
Izod Impact	J/m	16.1	11.5	14.2	13.9
Gardner Impact	Kg.cm	2.63	2.81	2.75	2.81
Hardness	R-scale	91.7	98.9	98.18	91.4
Sifat Optik					
Gloss	%	12.64	11.02	9.98	11.68
Haze	%	27.3	30.7	2.76	44.3

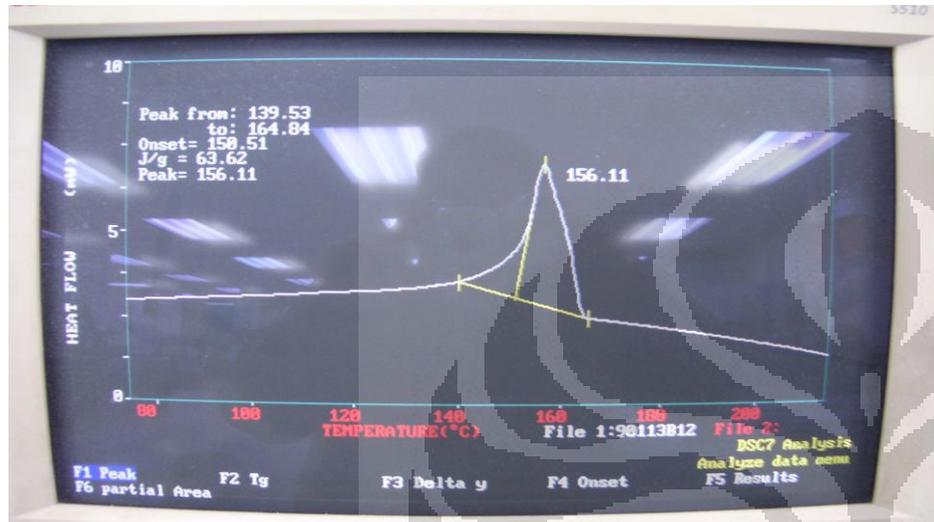




LAMPIRAN 2

GRAFIK DSC





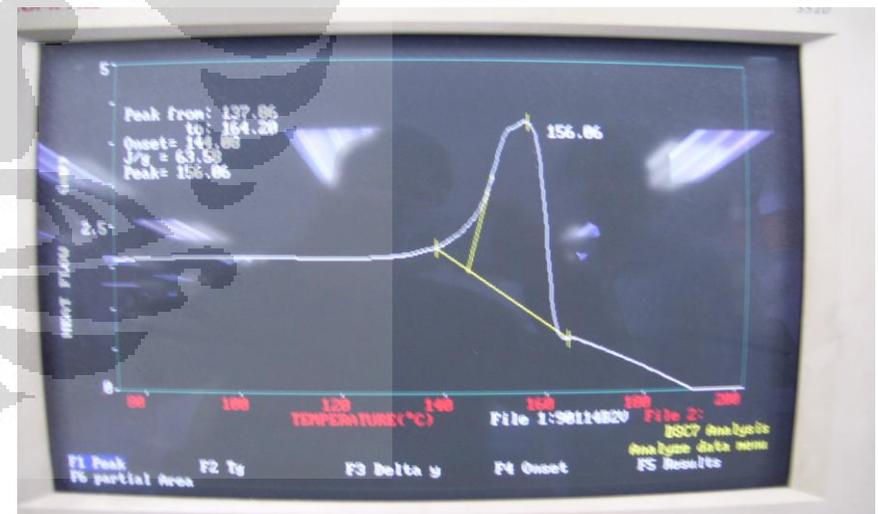
PPA



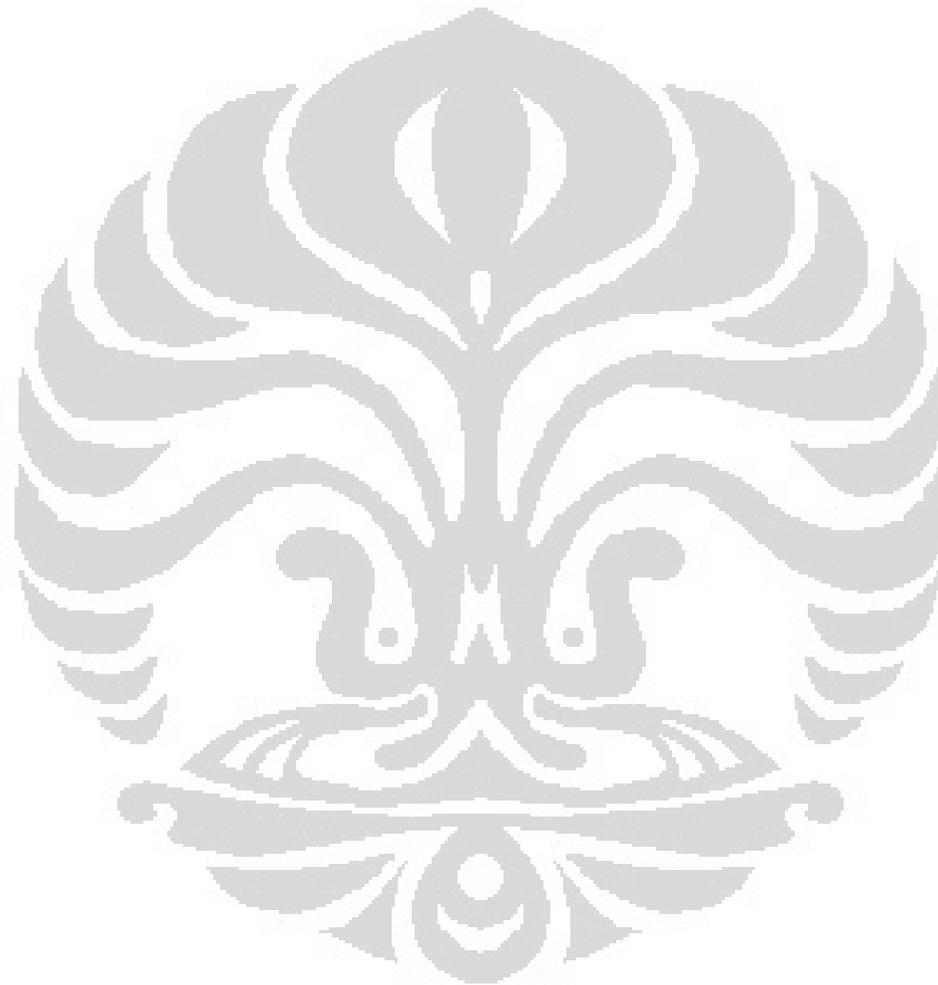
PPB



PPC



PPD





LAMPIRAN 3

GAMBAR ALAT PENELITIAN

A. MESIN PEMBUATAN SAMPEL UJI

1. MESIN HOT & COLD PRESS



Hydraulic Hot Press Machine

S/N : 91-10-012
Model no. : SPWL420-X-4-M1-X67
Mfg. date : 10-91
Control circuit volts : 120

Heater

AC volts : 220 Cycle 50
Phase 3

KW : 5.28 Amps : 14.5

Motor

AC volts : 220 Cycle 50
Phase 3

2. MESIN INJECTION MOLDING



Arburg Allrounder

Type : 221-55-250
S/N : 153108
Manufacture : 1991
weight : 1030 Kg
Clamp. Force : 250 KN
Operating Voltage : 380 V - 50 Hz
Heating : 3.5 KW
Pump. motor : 5.5 KW
Total load : 9 KW
Toggle Clamp. Mechanism

ABDIPG Maschinenfabrik

B. MESIN PENGUJIAN SIFAT UMUM

1. MESIN PENGINDEKS LELEHAN (MELT INDEXER)



“Tinius Olsen” Extrusion Plastometer

digital, direct measurement
Model MP993 Controller/timer
Tinius Olsen
Willow Grove, PA, USA

Universitas Indonesia

Studi pengaruh ..., Septo Raharjo, FT UI, 2009

2. MESIN PENGUJIAN KANDUNGAN ETILENA



FTIR

Computerized (O.S. : MS-DOS)
230V AC 50 - 60Hz 1A
The Perkin-Elmer Corp.
Norwalk, Conn.

3. PERALATAN PENGUJIAN XYLENE SOLUBLE



Gravimetric equipment



C. MESIN PENGUJIAN SIFAT MEKANIK

1. MESIN PENGUJIAN KUAT TARIK, ELONGASI DAN FLEKSURAL



Zwick/Roell Multi-Testing Machine with Compression Load Cell & Support Span Computerized (O.S.: Windows XP)
Direct measurement
Mode : tensile, compression, flexural, fatigue
Load max.: 1000 kgf

2. MESIN PENGUJIAN KEKERASAN



“Matsuzawa” digital Rockwell type hardness tester

Model : DXT-1
S/N : DX1416
Date : 1 – 1994
Min. load : 15 Kg
Max. load : 150 Kg
Hydraulic system
Matsuzawa Seiki Co, Ltd.
Tokyo Japan

3. MESIN PENGUJIAN IZOD IMPACT



Izod Impact Tester Zwick/Roell
digital (4 decimals)
direct reading
direct data printable

4. MESIN PENGUJIAN GARDNER IMPACT



BYK-Gardner

D. MESIN PENGUJIAN SIFAT OPTIK

1. MESIN PENGUJIAN KEMENGGILAPAN



Direct Reading Gloss-meter UD
Type : UD
Gloss angle : 75, 60, 45, 20
No. : B – 121 206 101
Date : 11 – 1998
Volt : 220 Amps : 1 Phase : 1
Toyo Seiki Seisaku-SDH Ltd.
Tokyo

2. MESIN PENGUJIAN KEBURAMAN



Direct Reading Hazemeter
Mode : Tt, Td, Haze
No. : 121 302 503
Date : 12 – 1993
Volt : 220 Amps : 1 Phase : 1
Toyo Seiki Seisaku-SDH Ltd. Tokyo