

STUDI PERBANDINGAN
SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR *POLYPROPYLENE* MURNI
DENGAN *POLYPROPYLENE* DAUR ULANG

Tesis Magister Ilmu Fisika



Oleh :

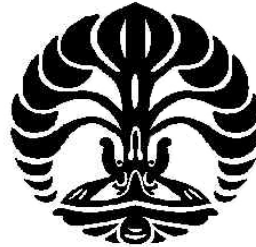
Bernadeth Jong Hiong Jun

NPM : 630 522 0106

PROGRAM PASCASARJANA FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
KEKHUSUSAN NANO STRUKTUR
UNIVERSITAS INDONESIA
D E P O K
2008

**COMPARATIVE STUDY OF
MECHANICAL PROPERTIES AND STRUCTURES BETWEEN
ORIGINAL AND RECYCLED POLYPROPYLENE**

Tesis Magister Ilmu Fisika



Oleh :

Bernadeth Jong Hiong Jun

NPM : 630 522 0106

**PROGRAM PASCASARJANA FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
KEKHUSUSAN NANO STRUKTUR
UNIVERSITAS INDONESIA
D E P O K
2008**

STUDI PERBANDINGAN
SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR *POLYPROPYLENE* MURNI
DENGAN *POLYPROPYLENE* DAUR ULANG

Tesis

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelas Magister Sains



Oleh :

Bernadeth Jong Hiong Jun

NPM : 630 522 0106

PROGRAM PASCASARJANA FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
KEKHUSUSAN NANO STRUKTUR
UNIVERSITAS INDONESIA
D E P O K
2008

LEMBAR PERSETUJUAN

TESIS INI TELAH DISETUJUI OLEH :

Mengetahui,

Ketua Program Magister Fisika

Pembimbing

Dr. Dedi Suyanto
NIP. 130 935 271

Ariadne L. Juwono, M.Eng, Ph.D
NIP. 131 851 261

Pernyataan Dewan Penguji

Dengan ini Kami, Dewan Penguji Tesis menyatakan bahwa :

N a m a : Bernadeth Jong Hiong Jun
NPM : 630 522 0106
Program Studi : Pascasarjana Fisika

Telah lulus mengikuti Ujian Tesis Pascasarjana Fisika

Pada tanggal 4 Juni 2008 dengan Judul Tesis

**Studi Perbandingan Sifat Mekanik Dan Struktur *Polypropylene* Murni
Dengan *Polypropylene* Daur Ulang**

Dewan Penguji

N a m a

Tanda Tangan

1. Pembimbing : Ariadne L. Juwono, M.Eng, Ph.D _____
2. Penguji I : Dr. Cuk Imawan _____
3. Penguji II : Dr. Djoko Triyono _____
4. Penguji III : Dr. Agus Salam _____

Mengetahui,

Ketua Program Magister Fisika

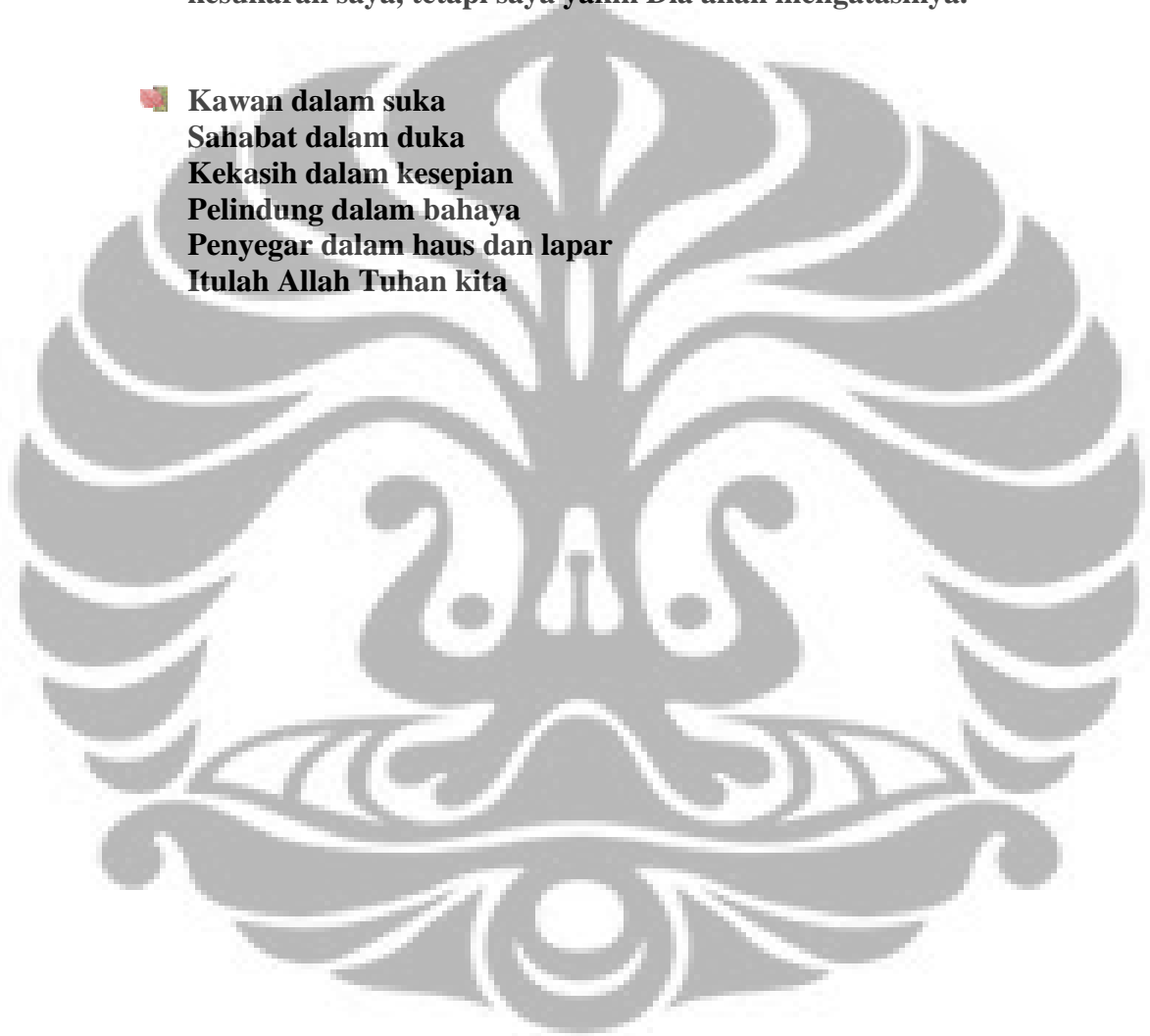
Dr. Dedi Suyanto
NIP. 130 935 271

MOTTO :

■ **Seorang Sahabat menaruh Kasih setiap waktu dan menjadi seorang Saudara dalam Kesukaran (Amsal 17 : 17)**

■ **Saya tidak mengetahui bagaimana Allah akan mengatasi kesukaran-kesukaran saya, tetapi saya yakin Dia akan mengatasinya.**

■ **Kawan dalam suka
Sahabat dalam duka
Kekasih dalam kesepian
Pelindung dalam bahaya
Penyegar dalam haus dan lapar
Itulah Allah Tuhan kita**



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur yang sedalam-dalamnya kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan kasihNya yang telah dilimpahkan kepada penulis, sehingga penulis berhasil menyelesaikan Tesis ini yang berjudul "Studi Perbandingan Sifat Mekanik Dan Struktur *Polypropylene* Murni Dengan *Polypropylene* Daur Ulang"

Tesis ini disusun guna memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sains pada Program Pascasarjana Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Kekhususan Nano Struktur Universitas Indonesia.

Dalam usaha menyusun Tesis ini banyak kesulitan-kesulitan yang penulis hadapi, tetapi berkat bimbingan yang sangat berharga dari Ibu Ariadne L. Juwono, M.Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar dan rela hati untuk mengorbankan waktu, tenaga dan pikiran demi menuju kesempurnaan Tesis ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih.

Kiranya pada tempatnya pula penulis menyampaikan hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Orang Tua penulis yang telah banyak memberikan dorongan moral maupun bantuan material dalam usaha penyusunan Tesis ini.

Juga tak lupa penulis sampaikan rasa terima kasih kepada Staf dan Karyawan Sentra Teknologi Polimer, Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi (STP-BPPT) kawasan Puspiptek Serpong, yang telah mengizinkan dan membantu penulis untuk melakukan penelitian.

Demikian pula kepada Ketua Program Magister Fisika beserta Staf Dosen yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyusun Tesis ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih.

Terakhir, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada rekan-rekan mahasiswa sejurusan serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya Tesis ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tesis ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun.

Jakarta, Juni 2008

Penulis.



**Kupersembahkan kepada :
Papa terkasih, Mama almarhum,
Kakak adik, Teman-teman dan
Sahabatku tercinta.**

ABSTRAK

Nama : Bernadeth Jong Hiong Jun
Program Studi : Pascasarjana Fisika
Judul : Studi Perbandingan Sifat Mekanik dan Struktur
Polypropylene Murni dengan *Polypropylene* Daur Ulang

Polypropylene (PP) adalah termoplastik yang sangat luas pemakaiannya. Kombinasi antara permintaan yang tinggi dan kemudahan daur ulang menyebabkan aplikasi PP daur ulang menjadi hal yang sangat biasa dan diterima secara umum. Dalam penelitian ini, penulis membandingkan struktur dan sifat mekanik PP murni, PP daur ulang dan PP daur ulang komersial yang dipakai sebagai gantungan pakaian.

Pengujian termal dengan DSC menunjukkan bahwa daur ulang tidak menyebabkan perubahan titik leleh yang signifikan, yaitu tetap berada pada kisaran 160 °C - 163 °C. Identifikasi bahan dengan FTIR menunjukkan bahwa PP daur ulang komersial mengandung campuran unsur *Polyethylene* (PE) yang tidak terdapat pada PP murni dan PP daur ulang. Hasil uji tarik dan uji kekerasan tidak menunjukkan perubahan yang signifikan antara PP murni dan PP daur ulang. Di sisi lain, uji tarik menunjukkan bahwa kuat tarik PP daur ulang komersial lebih rendah 22,1% daripada PP murni, modulus *Young* turun 8,1%, dan *strain-at-break* berkurang secara drastis sebesar 65,7%. Uji kekerasan dengan *Shore Hardness* menunjukkan bahwa kekerasan relatif tidak berubah karena daur ulang. Hal ini didukung dengan SEM yang memperlihatkan citra PP daur ulang komersial memiliki permukaan yang relatif lebih datar dengan ukuran butir lebih kecil daripada PP murni, yang menunjukkan bahwa bahan bersifat lebih *brittle*.

Kata kunci : *Polypropylene*, DSC, FTIR, Kuat Tarik, Kekerasan dan SEM

ABSTRACT

Name : Bernadeth Jong Hiong Jun
Study Program : Magister of Physich
Title : Comparative Study of Mechanical Properties and Structures
Between Original and Recycled Polypropylene

Polypropylene (PP) is a type of thermoplastic that is widely used in our daily activities. A combination of high demand and easinest recycling maker the recycled PP has been generally accepted. In this study, a study of the structure and mechanical characteristics of original PP, recycled PP, and commercial recycled PP is compared, especially the ones that is applied as cloth hanger.

DSC thermal tests showed that the recycling process did not cause a significant change to the material's melting point, which stays in the range of 160 °C - 163 °C. Meanwhile, FTIR tests showed that the commercially recycled PP contains of *Polyethylene* (PE), which element was not found in original PP and recycled PP. On the other side, tensile test showed that the tensile strength, Young modulus and strain-at-break are lower than those of original PP by 22,1 % ; 8,1 % and 65,7 % respectively. Tensile and hardness test demonstrated there is no significant differences between original PP and recycled PP. Furthermore, *Shore Hardness* tests show the recycling process has a little effect on the material's hardness. These fact is also supported by morphological observation using SEM that the surface contour of the images of commercial recycled PP is relatively more flat and has smaller grain size than those of original PP, which indicates that the commercial recycled PP is relatively more *brittle*.

Key words : *Polypropylene*, DSC, FTIR, tensile strength, hardness, SEM

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|----------------|
| Judul | i |
| Lembar Persetujuan | ii |
| Pernyataan Dewan Penguji | iii |
| Kata Pengantar | vi |
| Abstrak | viii |
| Daftar Isi | x |
| Daftar Gambar | xii |
| Daftar Tabel | xvi |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 3 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 4 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.4 Metodologi Penelitian | 5 |
| 1.5 Waktu dan Tempat Penelitian | 6 |
| BAB II STRUKTUR DAN KARAKTERISTIK <i>POLYPROPYLENE</i> | |
| 2.1 Sifat Termal Polimer | 10 |
| 2.2 Identifikasi bahan dengan FTIR | 14 |
| 2.3 Sifat Mekanik | 19 |
| 2.4 Citra SEM Permukaan Patahan | 22 |

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|----------------|
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | |
| 3.1 Bahan dan Alat | 23 |
| 3.2 Tahapan Penelitian | 23 |
| 3.3 Pengujian Termal dengan DSC | 27 |
| 3.4 Identifikasi bahan dengan FTIR | 28 |
| 3.5 Pengujian Sifat Mekanik | 29 |
| 3.6 Pengamatan Permukaan Patahan | 31 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1 Hasil Observasi Pembuatan Sampel | 32 |
| 4.2 Hasil Pengukuran Sifat Termal DSC | 33 |
| 4.3 Hasil Pengukuran FTIR | 36 |
| 4.4 Hasil Uji Mekanik | 40 |
| 4.5 Hasil Pengamatan Mikroskop Optik dan SEM | 46 |
| 4.6 Hubungan sifat mekanik dan struktur PP | 48 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 5.1 Kesimpulan | 51 |
| 5.2 Saran | 53 |
| DAFTAR PUSTAKA | 54 |
| CURRICULUM VITAE | 58 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|----------------|
| Gambar 2.1 Klasifikasi polimer | 7 |
| Gambar 2.2 Struktur polimer | 8 |
| Gambar 2.3 Struktur kimia <i>polypropylene</i> | 8 |
| Gambar 2.4 Tipe dari <i>Polypropylene</i> | 9 |
| Gambar 2.5 Jarak antar atom carbon | 9 |
| Gambar 2.6 Skema eksperimen DSC | 10 |
| Gambar 2.7 Grafik aliran kalor terhadap temperatur | 11 |
| Gambar 2.8 Kurva tipikal DSC | 12 |
| Gambar 2.9 Hasil DSC untuk T_m dari PP | 13 |
| Gambar 2.10 Hasil DSC untuk T_m dari PP film | 14 |
| Gambar 2.11 Klasifikasi vibrasi | 15 |
| Gambar 2.12 Kelompok frekuensi vibrasi | 15 |
| Gambar 2.13 Kurva FTIR dari PP | 16 |
| Gambar 2.14 Kurva FTIR dari PE | 17 |
| Gambar 2.15 Spektrum FTIR dari film PP <i>atactic</i> | 17 |
| Gambar 2.16 Hasil FTIR <i>Residue</i> , PP murni dan PE oksidasi | 18 |
| Gambar 2.17 Grafik <i>stress - strain</i> untuk polimer | 19 |
| Gambar 2.18 Karakteristik <i>stress - strain</i> polimer plastik | 19 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|----------------|
| Gambar 2.19 Perbandingan skala A dan D <i>Shore Hardness Durometer</i> | 22 |
| Gambar 2.20 Citra SEM permukaan patahan <i>epoxy</i> murni | 22 |
| Gambar 2.21 Citra SEM permukaan patahan <i>epoxy-rubber</i> | 22 |
| Gambar 3.1 ASTM D638 tipe I <i>specimen</i> | 24 |
| Gambar 3.2 Diagram <i>Injection Molding Machine</i> | 24 |
| Gambar 3.3 Diagram alur eksperimen PP HI35HO dan PP daur ulang komersial | 27 |
| Gambar 3.4 DSC 821 ^e (<i>Differential Scanning Calorimetry</i>) | 28 |
| Gambar 3.5 <i>Controller Temperature</i> dan <i>Hot Melt</i> untuk preparasi sampel FTIR | 29 |
| Gambar 3.6 FTIR - 8300 merk SHIMADZU bagian dalam | 29 |
| Gambar 3.7 Sampel PP Uji tarik dengan mesin <i>Autograph</i> | 30 |
| Gambar 3.8 <i>Durometer Shore D</i> | 30 |
| Gambar 3.9 Perangkat SEM XL 30 yang dihubungkan dengan Komputer | 31 |
| Gambar 3.10 Sampel PP yang telah dilapisi emas dianalisa dengan SEM | 31 |
| Gambar 4.1 Hasil pengukuran DSC PP HI35HO Daur Ulang 1 | 33 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|----------------|
| Gambar 4.2 Hasil pengukuran DSC PP HI35HO | |
| Daur Ulang 2 | 34 |
| Gambar 4.3 Hasil pengukuran DSC PP | |
| Daur Ulang Komersial | 34 |
| Gambar 4.4 Kurva FTIR PP HI35HO Murni | 37 |
| Gambar 4.5 Kurva FTIR PP HI35HO | |
| Daur Ulang 1 | 37 |
| Gambar 4.6 Kurva FTIR PP HI35HO | |
| Daur Ulang 2 | 38 |
| Gambar 4.7 Kurva FTIR PP Daur | |
| Ulang Komersial | 38 |
| Gambar 4.8 Grafik <i>stress - strain</i> gabungan | |
| PP HI35HO dan PP daur | |
| ulang komersial | 40 |
| Gambar 4.9 Grafik modulus <i>Young</i> | |
| sampel PP HI35HO | 41 |
| Gambar 4.10 Grafik kuat tarik | |
| sampel PP HI35HO | 42 |
| Gambar 4.11 Grafik <i>strain-at-break</i> | |
| sampel PP HI35HO | 43 |

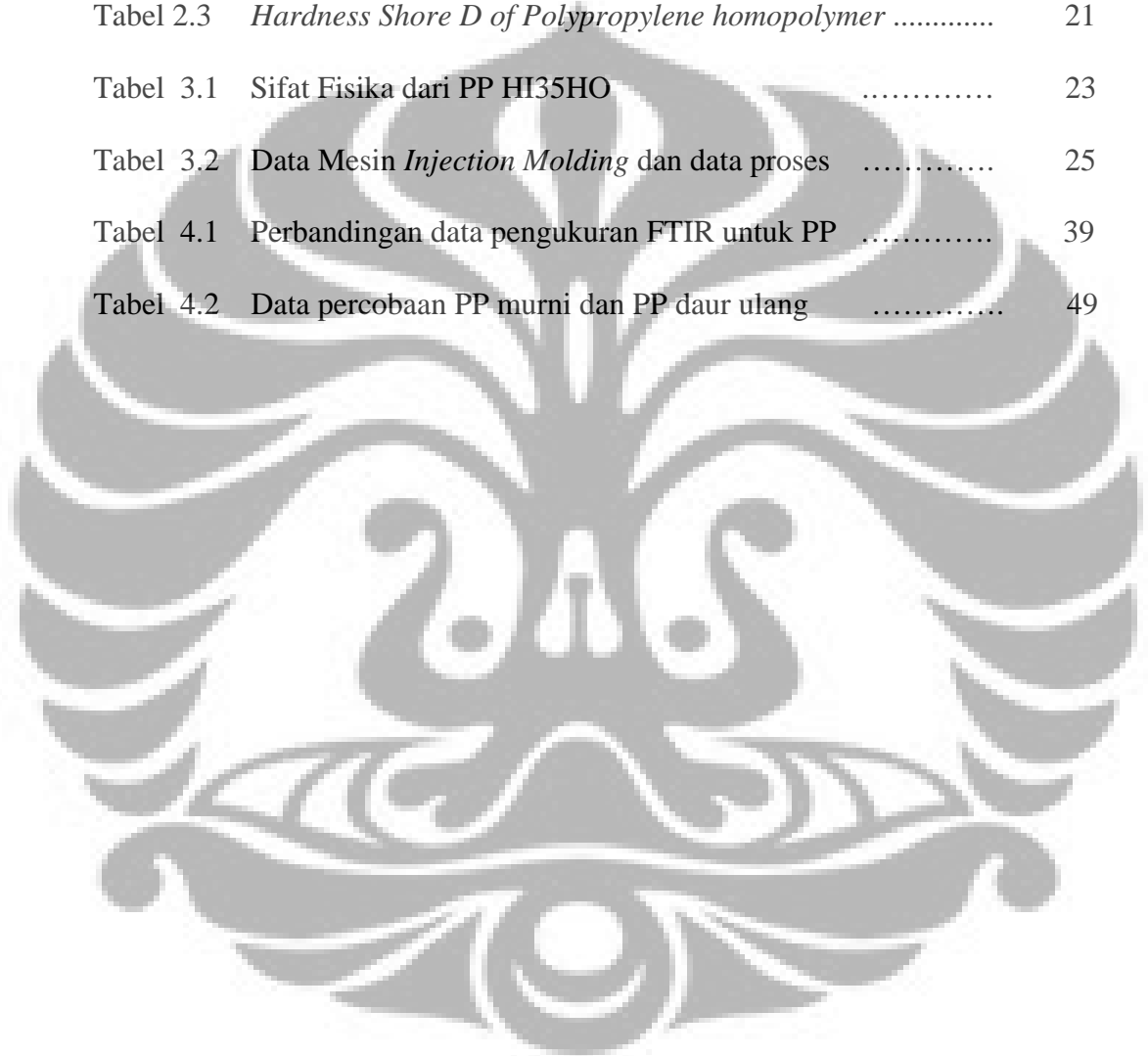
DAFTAR GAMBAR

Halaman

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 4.12 | Grafik kekerasan sampel PP HI35HO | 44 |
| Gambar 4.13 | Citra mikroskopik optik permukaan patahan PP HI35HO Murni | 46 |
| Gambar 4.14 | Citra mikroskopik optik permukaan patahan PP HI35HO Daur Ulang 1 | 46 |
| Gambar 4.15 | Citra mikroskopik optik permukaan patahan PP HI35HO Daur Ulang 2 | 47 |
| Gambar 4.16 | Citra mikroskopik optik permukaan patahan PP Daur Ulang Komersial | 47 |
| Gambar 4.17 | Citra SEM permukaan patahan PP HI35HO murni | 46 |
| Gambar 4.18 | Citra SEM permukaan patahan PP HI35HO Daur Ulang 1 | 46 |
| Gambar 4.19 | Citra SEM permukaan patahan PP HI35HO Daur Ulang 2 | 47 |
| Gambar 4.20 | Citra SEM permukaan patahan PP Daur Ulang Komersial | 47 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|----------------|
| Tabel 2.1 <i>TYPICAL PROPERTIES of POLYPROPYLENE</i> | 9 |
| Tabel 2.2 Tipikal frekuensi absorpsi inframerah | 16 |
| Tabel 2.3 <i>Hardness Shore D of Polypropylene homopolymer</i> | 21 |
| Tabel 3.1 Sifat Fisika dari PP HI35HO | 23 |
| Tabel 3.2 Data Mesin <i>Injection Molding</i> dan data proses | 25 |
| Tabel 4.1 Perbandingan data pengukuran FTIR untuk PP | 39 |
| Tabel 4.2 Data percobaan PP murni dan PP daur ulang | 49 |



BAB I

PENDAHULUAN

Polimer merupakan molekul besar yang terbentuk dari unit-unit berulang sederhana. Nama ini berasal dari bahasa Yunani, yaitu Polu yang berarti banyak dan meros yang berarti bagian. Contoh-contoh terkenal dari polimer adalah plastik, DNA dan protein. Istilah polimer ditemukan pada tahun 1833 oleh Jöns Jakob Berzelius⁽⁵⁾. Satu sumbangan yang penting kepada ilmu pengetahuan polimer sintetik diberikan oleh ahli kimia Italia yaitu Giulio Natta dan Karl Ziegler yang memenangkan hadiah Nobel di *Chemistry* dalam tahun 1963 untuk pembangunan dari katalis Ziegler – Natta⁽⁵⁾.

Struktur mempunyai pengaruh yang kuat dari suatu polimer. Sebagai contoh, suatu polimer rantai linear bisa tak mampu larut atau dapat larut di dalam air tergantung pada apakah terdiri atas monomer-monomer kutub (seperti oksida etilena) atau monomer-monomer tidak kutub (seperti stirena). Sebaliknya, dua contoh karet alam memperlihatkan daya tahan yang berbeda, meskipun molekul-molekulnya terdiri dari monomer-monomer yang sama.

Polimer yang terbentuk dari satu tipe monomer disebut homopolimer, sedangkan yang terbentuk dari campuran monomer disebut copolimer. Polistirena, sebagai contoh disusun hanya dari monomer-monomer stirena (homopolimer), sebaliknya *Ethylene vinyl acetate* terdiri lebih dari satu monomer dan disebut copolimer.

Bentuk paling sederhana dari polimer adalah rantai lurus atau polimer linear yang terdiri atas suatu rantai utama. Fleksibilitas dari polimer linear adalah panjangnya rantai. *Branched* polimer terdiri atas suatu rantai utama dengan satu atau lebih rantai samping / cabang. Jika polimer berisi suatu rantai samping yang mempunyai suatu komposisi yang berbeda dibanding rantai utama disebut copolimer.

Polimer-polimer yang tidak berikat silang (linear atau bercabang) biasanya bisa larut dalam beberapa pelarut dan dalam banyak hal mereka akan melebur atau mengalir. Materi-materi demikian dikatakan sebagai termoplastik. Polimer jaringan juga secara umum direferensikan sebagai polimer ikat silang, polimer ini tidak akan melebur atau mengalir dan tidak bisa dibentuk. Polimer yang demikian dikatakan termoset.

Ada tiga klasifikasi utama dari industri polimer yaitu plastik, serat dan karet (elastomer). Perbedaan dari tiga tipe polimer ini didasarkan atas sifat mekanik khusus polimer yaitu modulus. Serat mempunyai modulus tertinggi, sedangkan karet terendah. Plastik dibagi menjadi dua klasifikasi utama berdasarkan pertimbangan ekonomis dan kegunaannya yaitu plastik komoditi dan plastik teknik. Plastik komoditi sering dipakai dalam bentuk barang yang bersifat pakai buang (*disposable*), sedangkan plastik teknik lebih mahal harganya, tetapi memiliki sifat mekanik yang unggul dan daya tahan lebih baik. Plastik komoditi pada prinsipnya terdiri dari empat jenis polimer utama yaitu polietilena,

polypropylene, poli vinil klorida dan polistirena. Plastik-plastik komoditi mewakili sekitar 90 % dari seluruh produksi termoplastik⁽⁶⁾. Serat dicirikan oleh modulus yang tinggi, elongasi (daya rentang) yang baik dan stabilitas panas yang baik. Ada dua serat alam yang utama yaitu kapas (merupakan selulosa polisakarida) dan wol (merupakan suatu protein). Serat sintetis diklasifikasikan sebagai selulosa dan non selulosa. Poliester dan nilon menduduki 70 % dari seluruh produksi serat sintetis⁽⁶⁾. Karet (elastomer) merupakan polimer yang memperlihatkan resiliensi (daya pegas) atau kemampuan meregang dan kembali ke keadaan semula dengan cepat. Karet sintetis pada tahun 1950 an produksinya telah melampaui karet alam. Stirena-butadiena (SBR), polibutadiena dan etilena-propilena menduduki sekitar 70 % dari total produksi⁽⁶⁾.

1.1 Latar Belakang

Plastik atau polimer adalah material serba guna dan banyak ditemukan dimana-mana, di dalam pekerjaan, di rumah, di dalam bidang olah raga atau banyak benda-benda yang digunakan setiap hari.

Polypropylene (PP) adalah jenis termoplastik dan aplikasi / penggunaannya sangat luas dari pengemas makanan, bahan tekstil, peralatan / perlengkapan laboratorium, loudspeaker, komponen otomotif, penjilid buku / *binder* dan gantungan pakaian / *cloth hanger*. *Polypropylene* (PP) dapat didaur ulang dan prosesnya relatif mudah serta murah.

1.2 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini, sampel disiapkan di PT ERAPLASTIC INDUSTRY, yaitu pabrik yang memproduksi barang-barang dari plastik. Salah satu hasil produksinya adalah gantungan pakaian yang diproduksi melalui *Injection Molding Machine*. Hal yang menarik adalah sambungan dari sepasang gantungan pakaian digunting dan dikumpulkan lalu dihancurkan dengan *crusher* untuk didaur ulang dan diproses kembali dengan *Injection Molding Machine* menjadi gantungan pakaian lagi.

Dengan membandingkan sifat termal (DSC), *spectroscopy* (FTIR), uji mekanik (uji tarik dan uji kekerasan) dan morfologi permukaan patahan antara PP daur ulang dan PP murni, maka diharapkan dapat mengetahui performa dari PP HI35HO dan PP daur ulang komersial.

1.3 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan apa yang telah dijelaskan di atas, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Mempelajari pembuatan sampel PP dengan *Injection Molding Machine*
2. Mempelajari sifat termal PP
3. Mengidentifikasi bahan PP dengan FTIR
4. Mempelajari uji mekanik (uji tarik dan uji kekerasan)

5. Pengamatan morfologi permukaan patahan PP murni dan PP daur ulang (mikroskop optik dan SEM)
6. Mempelajari hubungan antara sifat mekanik dan struktur dengan performa bahan PP murni dan PP daur ulang.

1.4 Metodologi Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Polypropylene* (PP) Homopolimer tipe HI35HO dan PP daur ulang komersial. Sampel PP diproses dengan alat *Injection Molding Machine*.

Pengujian termal dengan DSC berdasarkan ASTM D3418 dan pengidentifikasian material dengan FTIR berdasarkan ASTM E1252 serta pengujian mekanik berupa uji tarik dan kekerasan dilakukan masing-masing berdasarkan ASTM D638 (*Tensile Test*) dan ASTM D2240 (*Shore Hardness D Test*). Selanjutnya pengamatan morfologi permukaan patahan akibat uji tarik dilakukan dengan mikroskop optik dan SEM (*Scanning Electron Microscope*).

1.5 Waktu dan Tempat Penelitian

Pembuatan sampel dilakukan di "PT ERAPLASTIC INDUSTRY" Jalan Tegal Alur Lingkungan 3 no. 28 Jakarta Barat. Pengujian termal (DSC), identifikasi bahan (FTIR) dan Uji mekanik (uji tarik dan uji kekerasan), pengamatan morfologi permukaan patahan dengan SEM dilakukan di Sentra Teknologi Polimer (STP), Gedung 460, Puspiptek Serpong serta pengamatan morfologi permukaan patahan dengan mikroskop optik di UI Depok. Penelitian ini berlangsung selama 6 bulan.

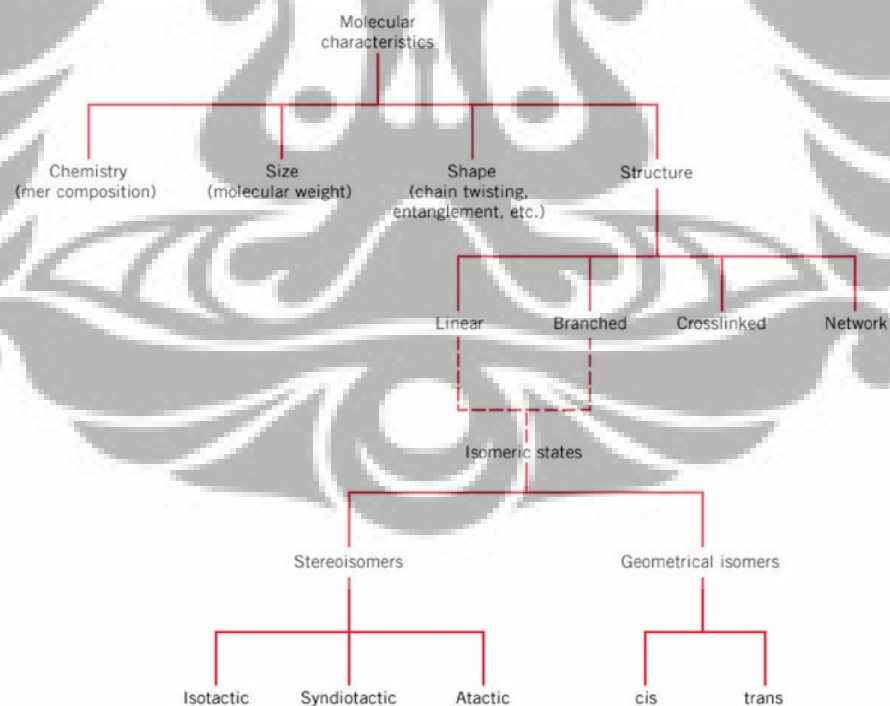


BAB II

STRUKTUR DAN KARAKTERISTIK *POLYPROPYLENE*

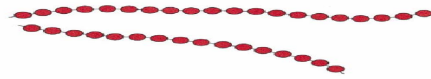
Pada tahun 1954, Ziegler dan Natta menemukan katalisator untuk polimerisasi stereo spesifik dari *polypropylene* (PP). Untuk prestasi ilmiah ini, Ziegler dan Natta dianugerahkan hadiah Nobel di *Chemistry* dalam tahun 1963. PP dianggap sebagai salah satu komoditas yang paling penting dalam termoplastik. PP adalah salah satu polimer yang mulai dipasarkan secara komersial pada tahun 1957⁽⁹⁾.

Secara umum, polimer dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimia, ukuran, bentuk dan struktur (lihat Gambar 2.1), sedangkan struktur polimer dapat dibagi menjadi beberapa jenis (lihat Gambar 2.2).



Gambar 2.1 : Klasifikasi polimer⁽⁷⁾

Linear polymers:



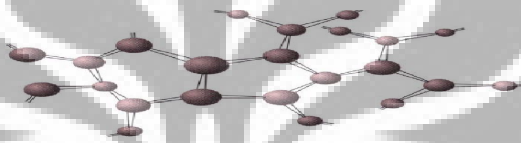
Branched polymers:



Cross-linked polymers:

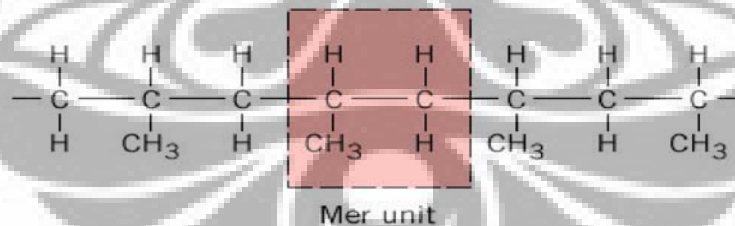


Network polymers:

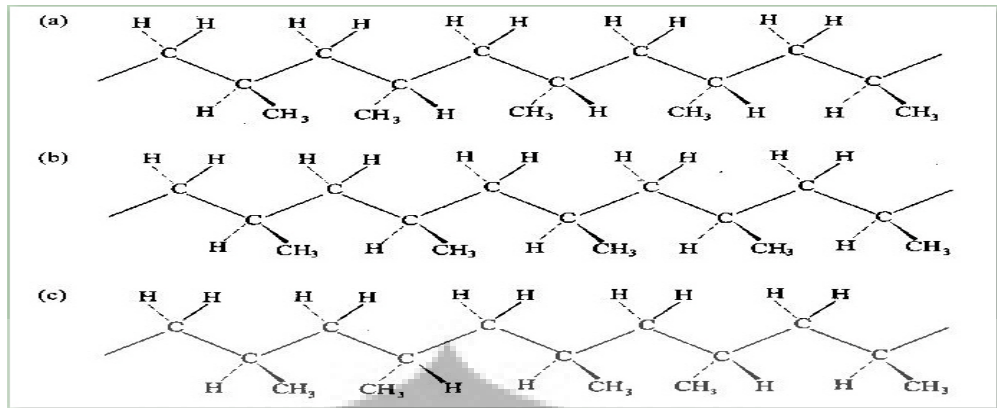


Gambar 2.2 : Struktur polimer ⁽⁷⁾

PP merupakan polimer linear yang mempunyai struktur yang dapat dilihat pada Gambar 2.3. Struktur linear PP memiliki tiga jenis *stereochemical* yang berbeda untuk polimer vinyl yaitu *atactic*, *isotactic* dan *syndiotactic* (lihat Gambar 2.4)

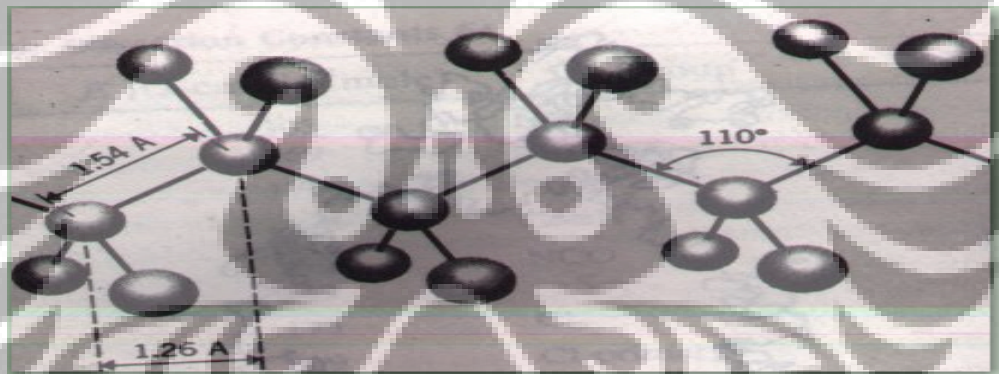


Gambar 2.3 : Struktur kimia *polypropylene* ⁽⁷⁾



Gambar 2.4 : Tipe dari Polypropylene : a. atactic b. isotactic c. syndiotactic

Panjang ikatan atau jarak antar carbon (C - C) adalah 1,54 Å dan sudut yang dibentuk sebesar 110° (lihat Gambar 2.5). Dan beberapa sifat karakteristik PP dapat dilihat pada Tabel 2.1



Gambar 2.5 : Jarak antar carbon (C - C)⁽⁸⁾

Tabel 2.1 : TYPICAL PROPERTIES of POLYPROPYLENE⁽⁹⁾.

| Property | ASTM | PP |
|-------------------------|-------|-------------|
| Specific gravity | D792 | 0,90 - 0,91 |
| Crystallinity (%) | - | 82 |
| Melt temperature (°C) | D3418 | 165 - 171 |
| Tensile strength (MPa) | D638 | 31 - 41 |
| Tensile modulus (GPa) | D638 | 1,10 - 1,55 |
| Elongation to break (%) | D638 | 100 - 600 |

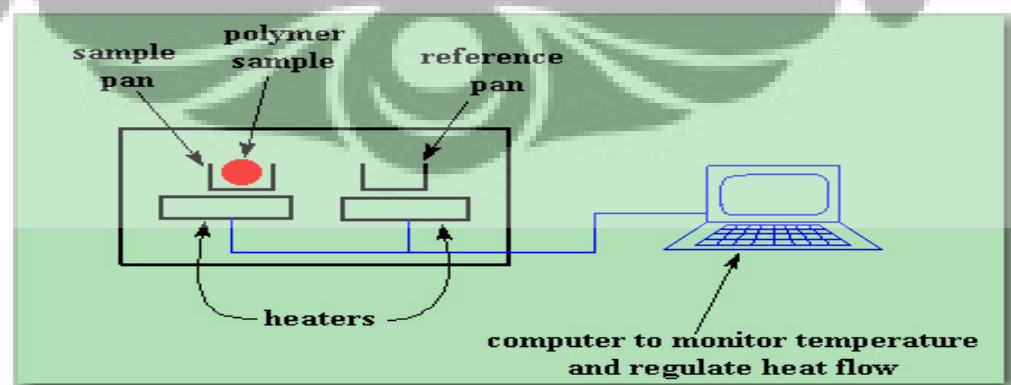
Keterangan : 1 GPa = $1,45 \times 10^5$ psi dan 1 MPa = 145 psi

2.1 Sifat termal polimer

Analisa termal secara umum didefinisikan sebagai sekumpulan teknik yang mengukur sifat fisis suatu sampel atau hasil-hasil reaksi yang diukur sebagai fungsi temperatur. Karakteristik termal memegang peranan penting terhadap sifat suatu sampel, karena berkaitan erat dengan struktur dalam sampel itu sendiri.

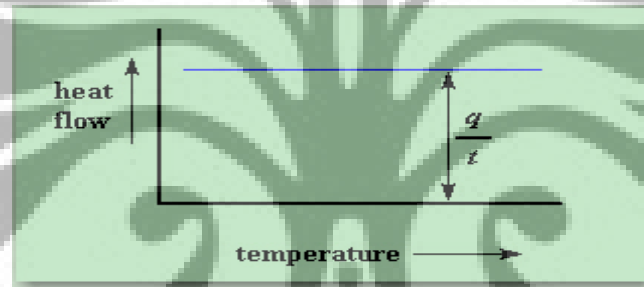
Suatu sampel bila dipanaskan akan terjadi perubahan struktur yang mengakibatkan adanya perubahan dalam kapasitas kalor atau energi termal sampel tersebut. Proses termal meliputi antara lain proses perubahan fase (transisi gelas), pelunakan, pelelehan, oksidasi, dan dekomposisi. Dalam analisis termal didapatkan kurva yang disebut termogram, di mana dapat dilihat perubahan entalpi endotermik dan eksotermik.

Skema eksperimen dan kurva tipikal dengan menggunakan DSC untuk sebuah polimer dapat dilihat pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.8.



Gambar 2.6 : Skema eksperimen DSC ⁽¹⁰⁾

Transduser (alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi kalor / panas) dapat merupakan termokoppel yang terpisah yang terdiri atas dua *pan* (*crucible 40 μℓ*) yang terbuat dari bahan aluminium (Al) diletakkan di atas pemanas / *heater*. Sampel yang diuji diletakkan pada salah satu *pan* dan *pan* yang lainnya dibiarkan kosong untuk referensi. Kemudian dihubungkan ke komputer dan oleh komputer dapat diplot sumbu x untuk temperatur dan sumbu y untuk *heat flow* (Gambar 2.7) serta selama eksperimen dijaga konstan kecepatan pemanasannya.

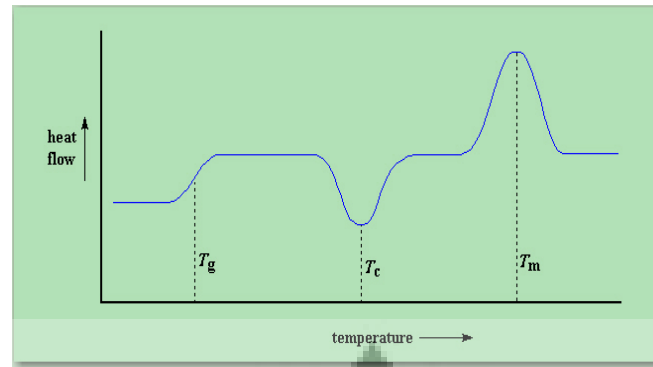


Gambar 2.7 : Grafik aliran kalor terhadap temperatur ⁽¹⁰⁾

$$\text{Aliran kalor (heat flow)} = \frac{\text{kalor}}{\text{waktu}} = \frac{q}{t} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{Kecepatan pemanasan (heating rate)} = \frac{\text{kenaikan temperatur}}{\text{waktu}} = \frac{\Delta T}{t} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Kapasitas kalor (heat capacity)} = C_p = \frac{\frac{q}{t}}{\frac{\Delta T}{t}} = \frac{q}{\Delta T} \quad \dots\dots (2.3)$$



Gambar 2.8 : Kurva tipikal DSC ⁽¹⁰⁾

Bila polimer dipanaskan, maka terjadi beberapa hal berikut ini :

1. Temperatur transisi gelas (*glass transition temperature* = T_g)

Temperatur dimana polimer amorf atau bagian tak berbentuk dari sebuah polimer kristalin berubah fasa dari keadaan *hard brittle* (sangat rapuh) ke keadaan *soft rubbery* (karet lunak) sebelum terjadi kristalisasi. Pada transisi ini besarnya aliran kalor terhadap temperatur meningkat secara drastis dan titik tengah dari kemiringan grafik disebut temperatur transisi gelas (T_g).

2. Temperatur pengkristalan (T_c)

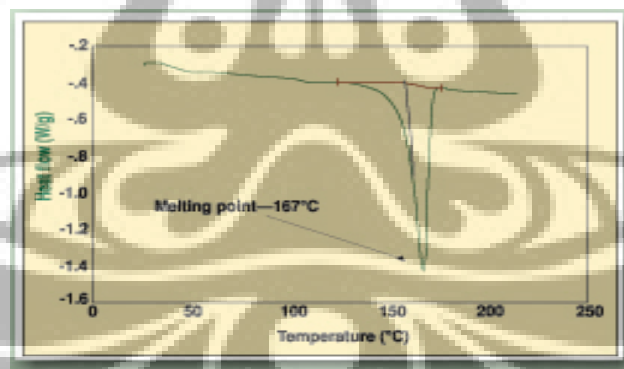
Di atas temperatur transisi gelas, atom polimer memiliki banyak kelincahan gerak, mereka bergoyang dan menggeliat dan tidak pernah tinggal di dalam satu posisi untuk waktu yang lama. Atom-atom tersebut akan berusaha untuk menempati posisi yang stabil dan pada saat itu energi kalornya akan mencapai minimum. Ketika atom-atom menjangkau suhu yang tepat, mereka memperoleh cukup energi untuk pindah ke posisi yang stabil atau disebut mengkristal. Ketika atom-atom

polimer berada pada posisi mengkristal, maka atom-atomnya akan kelebihan kalor dan kalornya akan dikeluarkan yang disebut proses eksotermik dan ini terjadi pada temperatur pengkristalan (T_c).

3. Temperatur pelelehan (T_m)

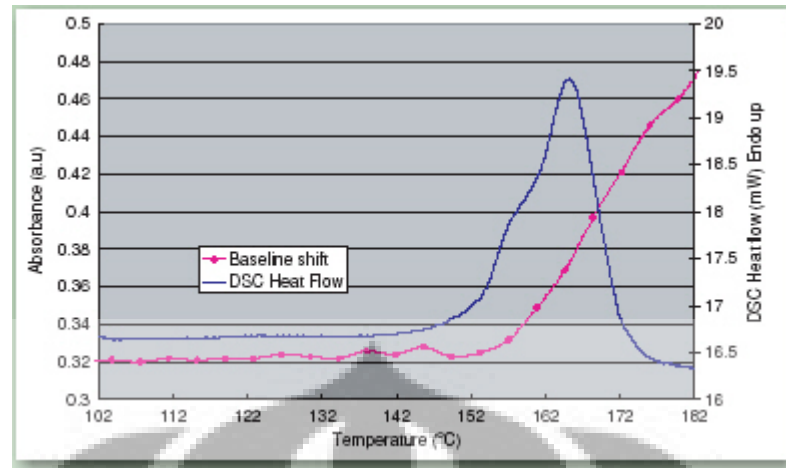
Pada saat polimer mengalami pelelehan, maka terjadilah perubahan fasa dari padat ke cair. Pada fasa ini kedudukan atom-atomnya tidak teratur dan diperlukan sejumlah energi untuk proses pelelehan (proses endotermik).

Sepe meneliti bahan PP murni, oxidized PE dan Residu. Untuk bahan PP, pengukuran DSC menunjukkan bahwa titik leleh sebesar $T_m = 167^\circ\text{C}$. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.9⁽¹¹⁾.



Gambar 2.9 : Hasil DSC untuk T_m dari Polypropylene⁽¹¹⁾

Sedangkan Degamber *et al* meneliti sampel film PP dengan ketebalan 0,5 mm dan diameter 5,5 mm, memperoleh titik leleh sebesar $T_m = 165^\circ\text{C}$ dari pengukuran DSC. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2.10⁽¹²⁾.



Gambar 2.10 : Hasil DSC untuk T_m dari sampel PP film ⁽¹²⁾

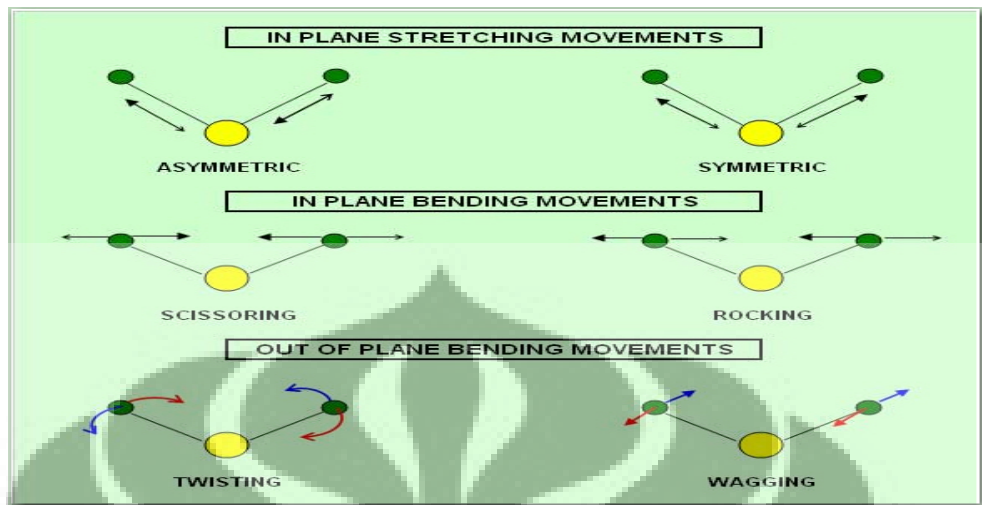
Kedua penelitian di atas menggunakan bahan PP murni, tanpa dijelaskan secara spesifik, apakah PP tersebut tipe *atactic*, *isotactic* atau *syndiotactic*.

Walaupun demikian harga T_m untuk kedua sampel terdapat dalam daerah titik leleh seperti pada Tabel 2.1, yaitu 165 °C - 171 °C

2.2 Identifikasi bahan dengan FTIR

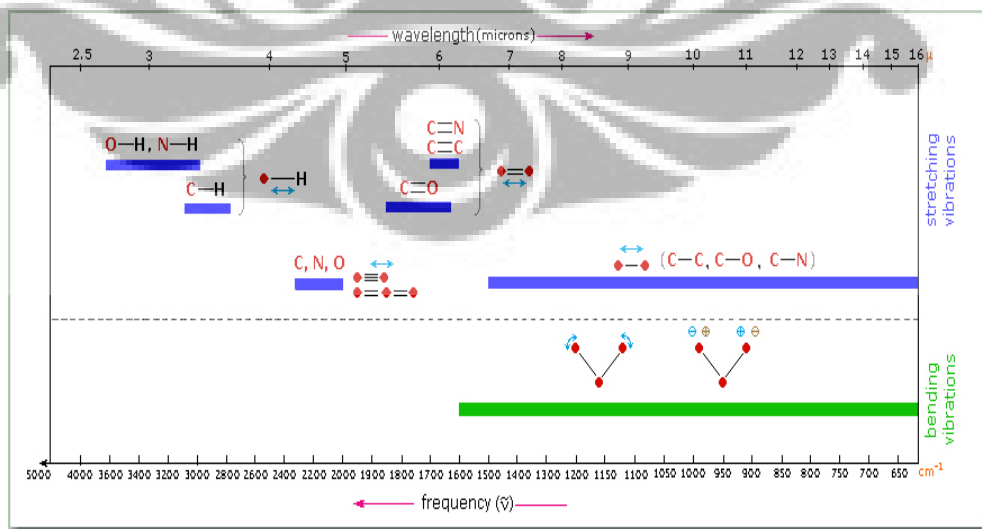
FTIR bermanfaat untuk mengidentifikasi bahan kimia yang anorganik maupun yang organik. Dapat juga digunakan pada beberapa komponen dari suatu campuran yang tak dikenal untuk menganalisis benda padat, benda cair atau gas. Dalam FTIR data-data dikumpulkan dan dikonversi dari satu pola interferensi ke suatu spektrum. Dewasa ini instrumen FTIR bersifat komputerisasi dan prosesnya lebih cepat serta peka. Oleh penginterpretasian spektrum absorpsi inframerah, ikatan kimia pada suatu molekul dapat ditentukan. Ikatan-ikatan molekular bergetar pada berbagai frekuensi tergantung pada unsur-unsur dan tipe dari ikatan-ikatan. Karena setiap ikatan

yang diberi, ada beberapa frekuensi yang spesifik di mana itu dapat bergetar.



Gambar 2.11 : Klasifikasi vibrasi ⁽¹³⁾

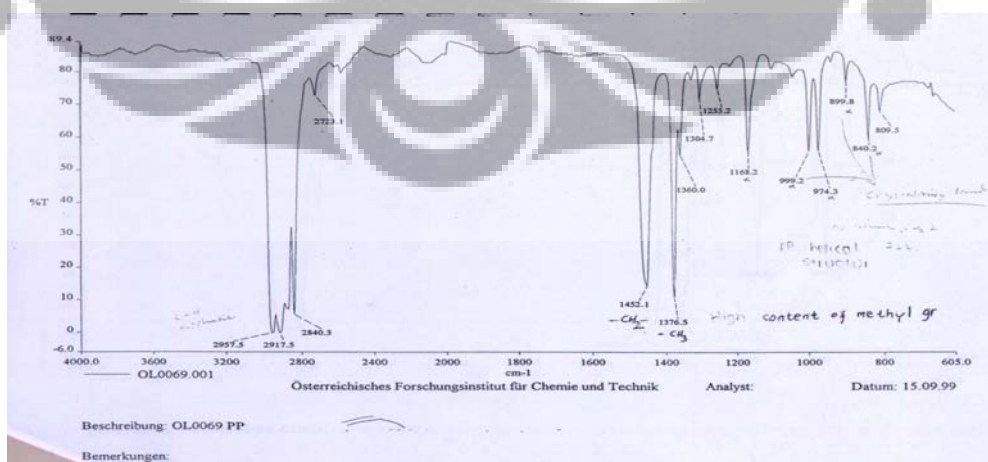
Molekul sampel yang selalu bervibrasi / bergetar, ketika mengabsorpsi sinar inframerah akan mengalami *stretching* vibrasi (*symmetric* dan *asymmetric*) atau *bending* vibrasi (*scissoring*, *rocking*, *twisting* dan *wagging*), seperti pada Gambar 2.11. Sedangkan hubungan antara vibrasi dengan frekuensi secara khusus ditampilkan pada Gambar 2.12 dan ditabelkan pada Tabel 2.2.



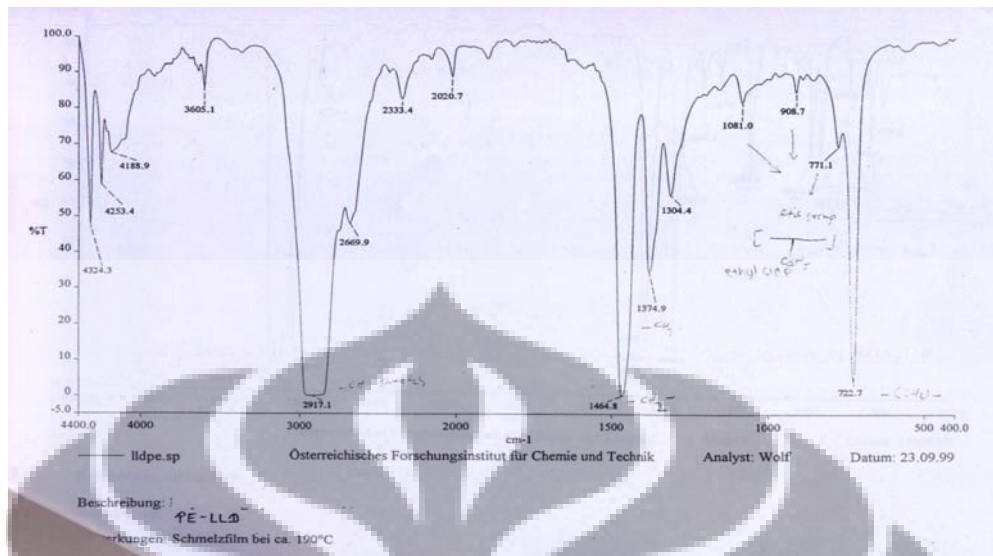
Gambar 2.12 : Kelompok frekuensi vibrasi ⁽¹⁴⁾Tabel 2.2 : Tipikal frekuensi absorpsi inframerah ⁽¹⁴⁾

| Stretching Vibrations | | | Bending Vibrations | | |
|---------------------------|-----------|--|---------------------------|-----------|---|
| Range (cm ⁻¹) | Intensity | Assignment | Range (cm ⁻¹) | Intensity | Assignment |
| 2850-3000 | str | CH ₃ , CH ₂ & CH 2 or 3 bands | 1350-1470 | med | CH ₂ & CH ₃ deformation |
| | | | 1370-1390 | med | CH ₃ deformation |
| | | | 720-725 | wk | CH ₂ rocking |
| 3020-3100 | med | =C-H & =CH ₂ (usually sharp) | 880-995 | str | =C-H & =CH ₂ |
| 1630-1680 | var | C=C (symmetry reduces intensity) | 780-850 | med | (out-of-plane bending) |
| 1900-2000 | str | C=C asymmetric stretch | 675-730 | med | cis-RCH=CHR |
| 3300 | str | C-H (usually sharp) | 600-700 | str | C-H deformation |
| 2100-2250 | var | C≡C (symmetry reduces intensity) | | | |

Spektrum FTIR dari PP memiliki puncak-puncak pada 2957,5 cm⁻¹, 1452,1 cm⁻¹, 1376,5 cm⁻¹ dan lima puncak karakteristik pada 1168,2 cm⁻¹, 999,2 cm⁻¹, 974,3 cm⁻¹, 899,8 cm⁻¹ dan 840,2 cm⁻¹ seperti pada Gambar 2.13 ⁽¹⁵⁾. Spektrum FTIR dari PE memiliki puncak karakteristik pada 2917,1 cm⁻¹, 1468,2 cm⁻¹, 1374,9 cm⁻¹, 1081,0 cm⁻¹, 908,7 cm⁻¹, 771,1 cm⁻¹ dan 722,7 cm⁻¹ seperti tampak pada Gambar 2.14.

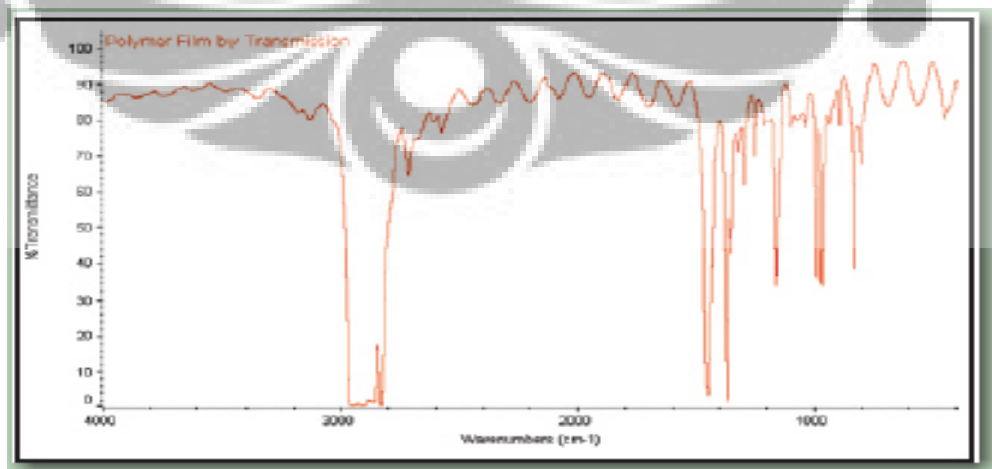


Gambar 2.13 : Kurva FTIR dari PP ⁽¹⁵⁾



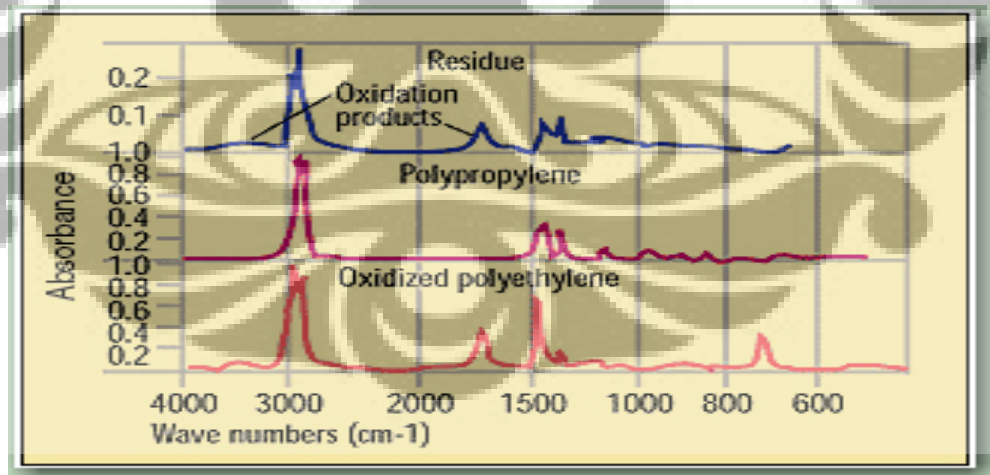
Gambar 2.14 : Kurva FTIR dari PE ⁽¹⁵⁾

Berdasarkan catatan hasil percobaan *Pike Technologies*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.15 yang menggunakan sampel PP *atactic* dengan ketebalan film mendekati ideal (sekitar 20 mikron) didapatkan spektrum FTIR dengan lima puncak karakteristik pada kisaran antara 800 cm^{-1} - 1200 cm^{-1} yang mendekati data pada Gambar 2.13.



Gambar 2.15 : Spektrum FTIR dari film PP atactic⁽¹⁶⁾

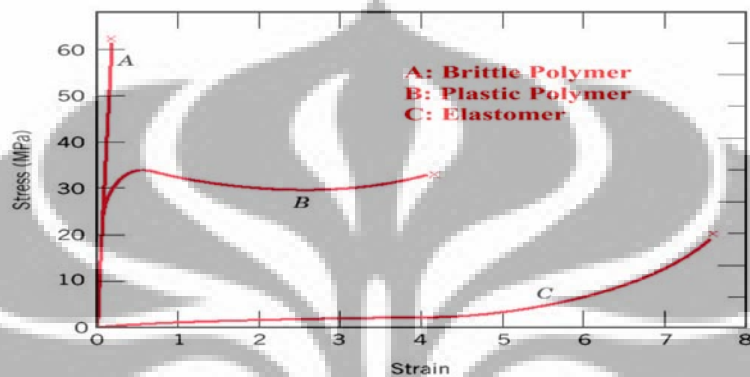
Sepe memperlihatkan hasil pengukuran FTIR untuk tiga jenis sampel, yaitu Residu (hasil pembakaran), *polypropylene* murni dan *oxidized polyethylene*, seperti tampak pada Gambar 2.16⁽¹⁷⁾. Puncak Residu ditunjukkan pada puncak 3200 cm^{-1} , $2957,5\text{ cm}^{-1}$, $1720,4\text{ cm}^{-1}$, $1452,1\text{ cm}^{-1}$, $1376,5\text{ cm}^{-1}$, $1168,2\text{ cm}^{-1}$, $999,2\text{ cm}^{-1}$ dan secara spesifik diperlihatkan bahwa puncak *oxidation products* pada 3200 cm^{-1} dan $1720,4\text{ cm}^{-1}$. Puncak-puncak PP ditunjukkan pada $2957,5\text{ cm}^{-1}$, $1452,1\text{ cm}^{-1}$, $1376,5\text{ cm}^{-1}$ dan lima buah puncak karakteristik, yang sesuai dengan data pada Gambar 2.13. Sedangkan *oxidized polyethylene* memiliki puncak-puncak pada $2917,1\text{ cm}^{-1}$, $1720,4\text{ cm}^{-1}$, $1468,2\text{ cm}^{-1}$, $1374,9\text{ cm}^{-1}$, $1081,0\text{ cm}^{-1}$ dan $722,7\text{ cm}^{-1}$. Dapat dilihat bahwa puncak $1720,4\text{ cm}^{-1}$ pada *oxidized polyethylene* merupakan puncak hasil oksidasi.



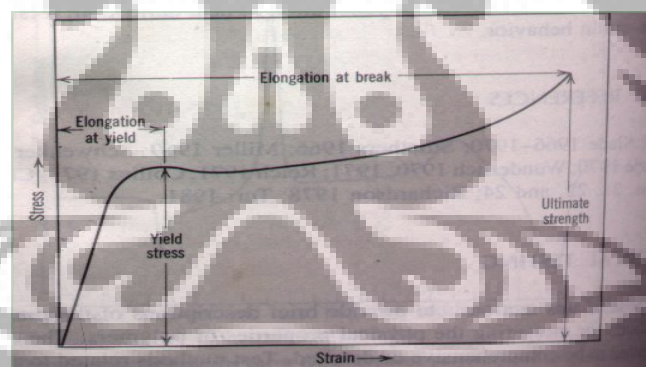
Gambar 2.16 : Hasil FTIR Residue, PP murni dan PE oksidasi⁽¹⁷⁾

2.3 Sifat Mekanik

Gambar 2.17 memperlihatkan grafik *stress-strain* untuk polimer secara umum dan secara khusus Gambar 2.18 menunjukkan karakteristik *stress-strain* polimer plastik.



Gambar 2.17 : Grafik *stress - strain* untuk polimer ⁽⁷⁾



Gambar 2.18 : Karakteristik *stress - strain* polimer plastik ⁽⁸⁾

Elastisitas adalah sifat benda yang berdeformasi untuk sementara, tanpa perubahan yang permanen, yaitu sifat untuk melawan deformasi yang terjadi. Sebuah benda dikatakan elastik, jika setelah gaya penyebab perubahan bentuk dihilangkan, benda akan kembali ke bentuk semula. Jika benda berdeformasi di atas batas elastiknya dan ketika gaya penyebabnya

dihilangkan, maka benda tersebut tidak kembali ke bentuk semula, benda yang demikian disebut plastik.

Gaya reaksi atau gaya untuk mengembalikan benda ke bentuk asli per satuan luas disebut tegangan. Tegangan adalah besaran yang berbanding lurus dengan gaya penyebabnya.

$$\sigma = F / A \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Perubahan pada ukuran sebuah benda karena gaya-gaya dibandingkan dengan ukuran semula disebut regangan, yaitu perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang semula.

$$\varepsilon = \Delta \ell / \ell \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

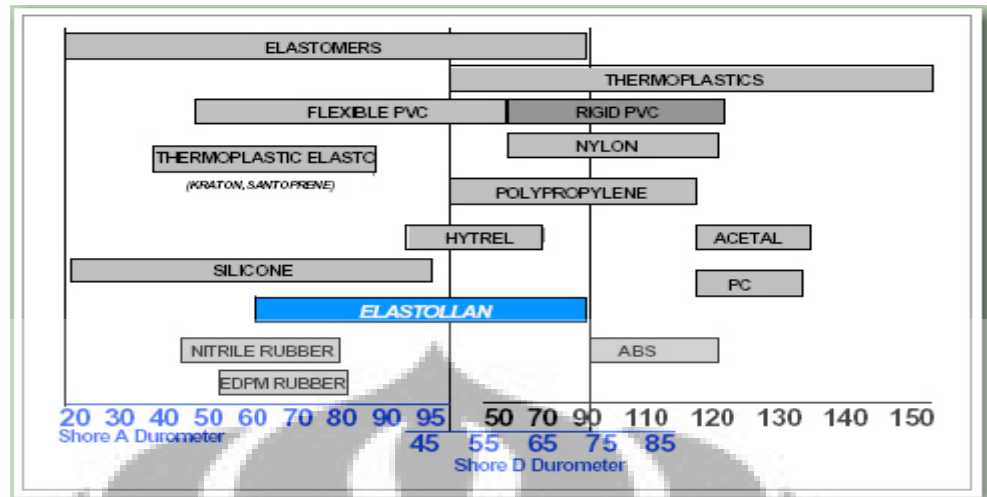
Untuk daerah elastis (garis linier), tegangan berbanding lurus dengan regangan dan berlaku hukum Hooke, dimana gradien atau kemiringan grafik menunjukkan modulus Young ($E \cdot \varepsilon = \sigma$). Kelengkungan yang menurun disebabkan oleh cepatnya pengurangan luas penampang. Pengurangan luas penampang terjadi terus dengan cepat sampai akhirnya putus / patah. Tegangan maksimum dinamakan kuat tarik (*tensile strength*), sedangkan tegangan pada *fracture point* (titik patah) dinamakan *ultimate strength* dan regangan pada titik patah dinamakan *strain-at-break* (*elongation-at-break*).

Menurut Mohanakrishnan *et al* hasil dari *tensile strength-at-yield*, *percent elongation-at-yield* dan *tensile modulus* untuk bahan PP, masing-masing besarnya 18,48 MPa, 13,34 % dan 0,913 GPa⁽²⁷⁾.

Kekerasan (*Hardness*) adalah ukuran dari resistansi suatu materi terhadap tekanan atau abrasi dari permukaan. Kekerasan dapat juga dikatakan sebagai fungsi dari besar tekanan yang diperlukan untuk menghasilkan tipe deformasi permukaan tertentu. Tidak ada ukuran mutlak bagi kekerasan karena itu pada umumnya kekerasan diekspresikan secara kualitatif sebagai hasil test, sedangkan masing-masing test memiliki skala kekerasan sendiri. Beberapa metoda untuk mengukur tekanan kekerasan antara lain Brinell, Rockwell, Vickers, Knoop test. *Shore Hardness* adalah ukuran dari resistansi materi terhadap penetrasi dari suatu jarum dengan ukuran pegas tertentu. *Shore Hardness* dinyatakan dalam skala A atau skala D dan dari angka 0 sampai angka 100. Semakin besar angka yang ditunjukkan, semakin besar kekerasannya. Skala A adalah untuk materi yang bersifat fleksibel / lentur, seperti *silicone, rubber, thermoplastic elastic*. Skala D adalah untuk materi yang bersifat kaku (*rigid*), seperti PC, acetal, ABS. Sedangkan bahan-bahan yang berada pada irisan antara skala A dan skala D adalah PVC, nylon dan *polypropylene*. Perbandingan skala *Shore Hardness* untuk beberapa bahan ditunjukkan pada Gambar 2.19 dan besarnya angka kekerasan untuk PP homopolimer ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 : *Hardness Shore D of Polypropylene homopolymer* ⁽¹⁹⁾

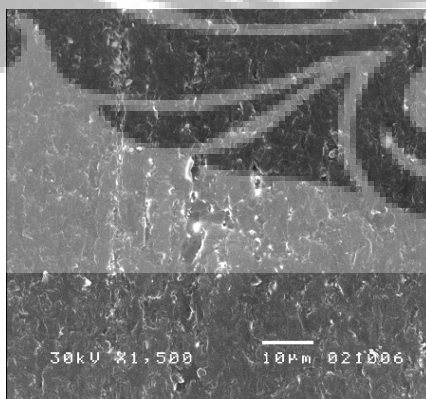
| <i>Property</i> | ASTM | PP |
|-------------------------|-------|---------|
| <i>Hardness Shore D</i> | D2240 | 70 - 83 |



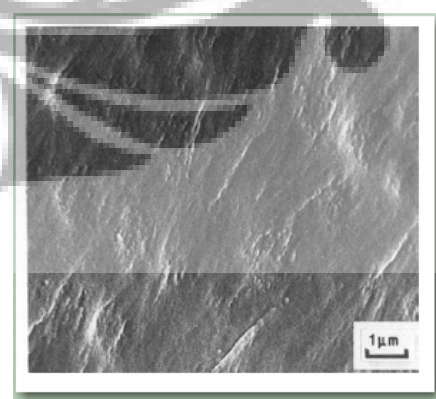
Gambar 2.19 : Perbandingan skala A dan D Shore Hardness Durometer⁽¹⁸⁾

2.4 Citra SEM Permukaan Patahan

Citra SEM permukaan patahan *epoxy* murni⁽²⁸⁾ dan citra SEM permukaan patahan *epoxy-rubber*⁽²⁹⁾ ditunjukkan masing-masing pada Gambar 2.20 dan Gambar 2.21. Citra SEM ini memperlihatkan kontur permukaan yang relatif lebih datar dan mengkilap serta kontur ini merupakan tipikal dari bahan termoset yang getas (*brittle*). Permukaan patahan bahan termoplastik, yang relatif liat (*ductile*) biasanya berupa kontur berbentuk pulau-pulau.



Gambar 2.20 : Citra SEM permukaan patahan *epoxy* murni⁽²⁸⁾



Gambar 2.21 : Citra SEM permukaan patahan *epoxy-rubber*⁽²⁹⁾

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan dan Alat

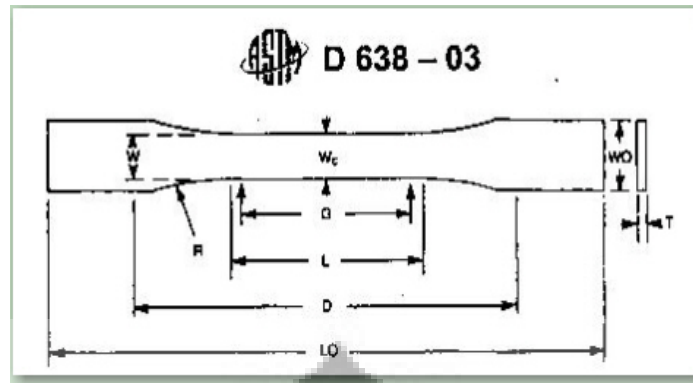
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *polypropylene* (PP) homopolimer tipe HI35HO dan PP daur ulang komersial. PP tipe HI35HO diproduksi oleh PT Tri Polyta Indonesia dengan sifat-sifat yang dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Sifat Fisika dari PP HI35HO ⁽²⁰⁾

| <i>Physical Properties</i> | <i>SI Units</i> | <i>ASTM Test</i> |
|--|-----------------|------------------|
| <i>Tensile yield strength at 50 mm/min</i> | 33 MPa | D638 |
| <i>Tensile yield elongation</i> | 13 % | D638 |
| <i>Melting temperature DSC, 10 °C/min, 2nd heat</i> | 163 °C | D3418 |

3.2 Tahapan Penelitian

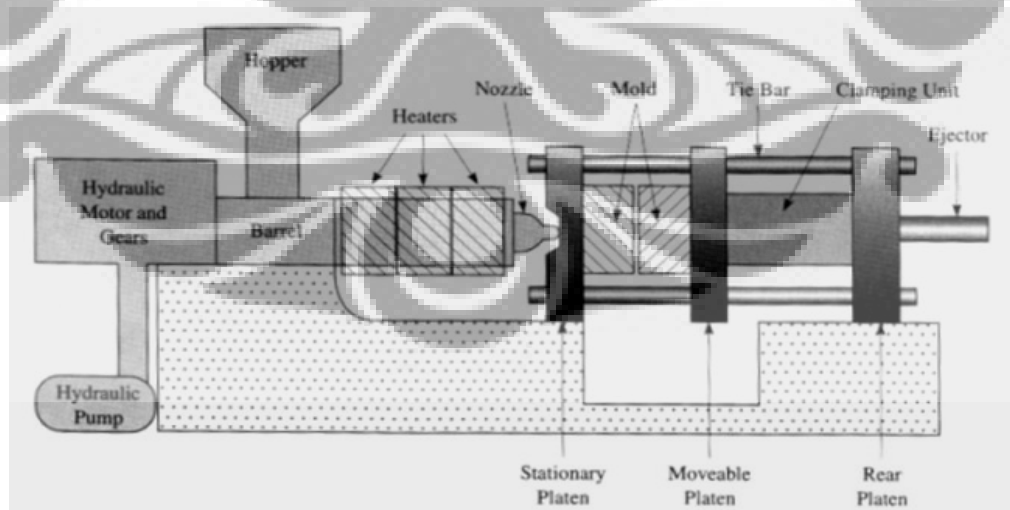
Pada penelitian ini sampel dibuat dengan proses *Injection Molding Machine*. Gambar 3.1 menunjukkan dimensi sampel berdasarkan ASTM D638 *type I* hasil dari proses *Injection Molding Machine*. Sedangkan Gambar 3.2 memperlihatkan diagram *Injection Molding Machine*.



Gambar 3.1 ASTM D638 tipe I specimen

Keterangan :

| | | |
|--------------------------|----|------------------|
| Thickness | T | $3,2 \pm 0,4$ mm |
| Length over-all | LO | 165 mm |
| Length of narrow section | L | $57 \pm 0,5$ mm |
| Gage length | G | $50 \pm 0,25$ mm |
| Distance between grips | D | 115 ± 5 mm |
| Width over-all | WO | 19 mm (+6,4 ; 0) |
| Width of narrow section | W | $13 \pm 0,5$ mm |
| Radius of fillet | R | 76 ± 1 mm |



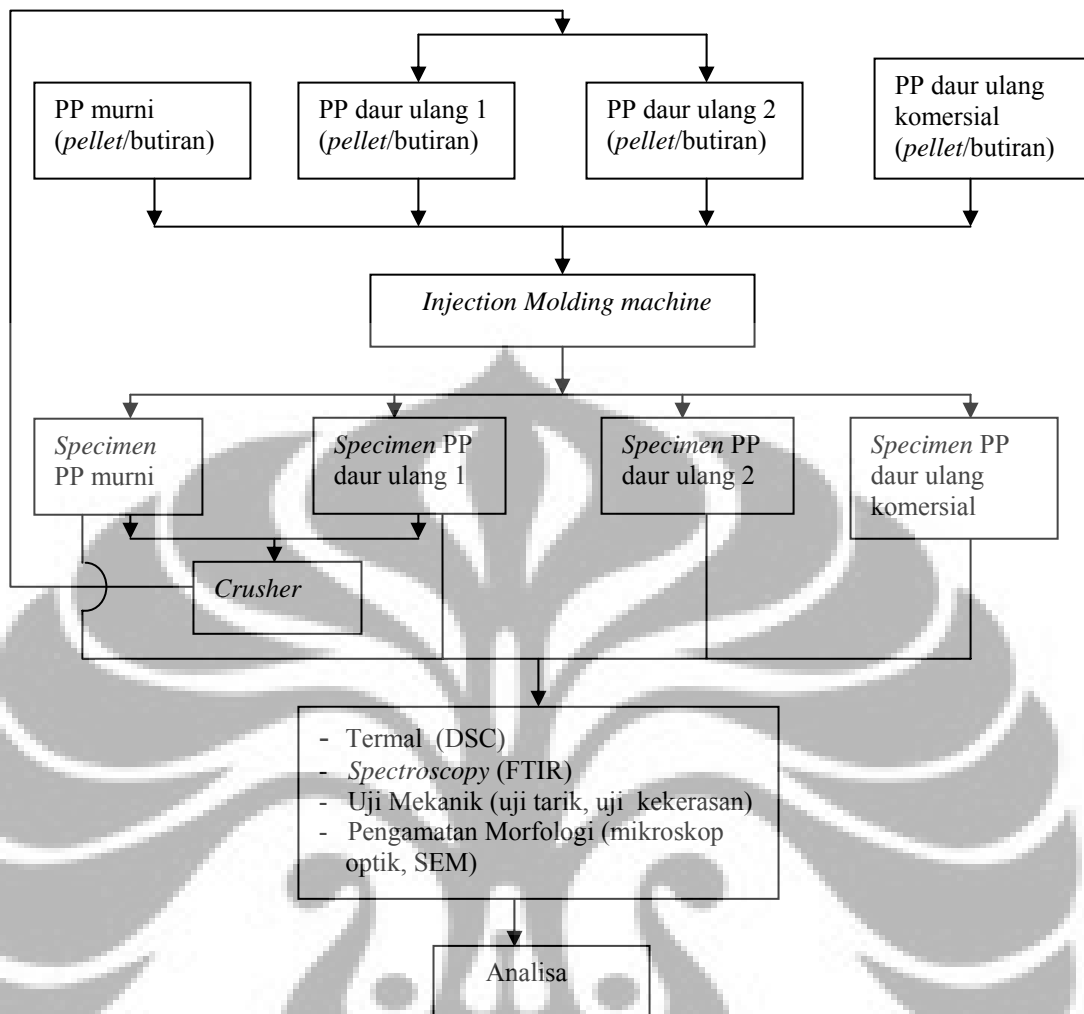
Gambar 3.2 Diagram Injection Molding Machine

Pada dasarnya *Injection Molding Machine* terdiri atas dua unit yaitu *Injection Unit* dan *Clamping Unit*. Bahan PP yang berbentuk butiran / *pellet* dimasukkan ke dalam *Hopper* oleh mesin hidrolik, kemudian roda gigi memutar *screw* dan mendorong *pellet* PP masuk ke dalam *Heaters* (alat pemanas) yang terdiri atas empat bagian dengan suhu berbeda dari 190 °C, 200 °C, 210 °C dan 220 °C bagian akhir dari *Heater* berada didekat *Nozzle* (mulut pipa). Di dalam *Injection Unit*, khususnya *Heater*, plastik PP yang berbentuk *pellet* mencair dan diinjeksikan atau bergerak ke dalam *Mold* (cetakan). *Clamping Unit* memegang cetakan pada saat posisi tertutup dan membuka cetakan sesudah didinginkan. Selanjutnya sampel PP siap untuk diuji.

Tabel 3.2 Data Mesin *Injection Molding* dan data proses

| Machine Data | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------|-----------------------|------------------------|-------|---------|-------|---------------|-------|
| Make | JAPAN NISSEI | Model | FS120S25 ASE | | | | | |
| Serial No. | S12 F128 | Clamp Tonnage: | 120 TON | | | | | |
| Oz. Capacity (PS) | 70z | Inj. Unit #: | | | | | | |
| Max. RPM | 250 | Screw Diameter | 35 mm | | | | | |
| L/D Ratio | | Existing Screw Design | | | | | | |
| Stroke of Injection Unit | | Max. Inj. Pressure | 250 kg/cm ² | | | | | |
| PROCESSING CONDITIONS | | | | | | | | |
| Part Description | HANGER | | | | | | | |
| Resin Type | PP | Manufacturer | | | | | | |
| Matl. Solids Density | | Total Shot Weight: | 68 gr | | | | | |
| Screw RPM | 195 | Back Pressure: | | | | | | |
| Inj. Speed | | Screw Recovery Time | 5 s | | | | | |
| Injection Forward Time | 5 s | Overall Cycle Time | 27.8 s | | | | | |
| Melt Decompression Distance | | Melt Temperature | | | | | | |
| How Measured | | | | | | | | |
| Barrel Temp Settings | | | | | | | | |
| Set Point: | Rear Zone #4 | 220 C | Zone #3 | 210 C | Zone #2 | 200 C | Front Zone #1 | 190 C |

Alur eksperimen secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.3. PP murni yang berbentuk *pellet* dimasukkan ke dalam *Hopper* dan melalui proses pemanasan dalam *Heater Injection Molding Machine*, lalu diinjeksikan ke dalam cetakan dan melalui proses pendinginan sampai proses pencetakan selesai dan dihasilkan *specimen* PP murni. Sebagian sampel akan diuji dan dianalisa, sebagian sampel dihancurkan dengan alat *Crusher* untuk pemerosesan daur ulang pertama. Proses ini diulang lagi untuk memperoleh sampel daur ulang kedua. Sampel PP daur ulang komersial dibuat dengan proses yang sama dengan sampel PP murni. Kemudian pada sampel PP murni, PP daur ulang 1, PP daur ulang 2 dan PP daur ulang komersial, dilakukan uji termal dengan DSC, diidentifikasi dengan FTIR, uji mekanik (uji tarik dan uji kekerasan) dan pengamatan struktur permukaan patahan dengan mikroskop optik dan SEM.



Gambar 3.3 : Diagram alur eksperimen PP HI35HO dan PP daur ulang komersial

3.3 Pengujian termal dengan DSC (*Differential Scanning Calorimetry*)

Pengujian dengan DSC dilakukan dengan mesin DSC type 821^e merk "METTLER TOLEDO" seperti terlihat pada Gambar 3.4. Sampel plastik PP dipotong kecil-kecil ditimbang sekitar 15 mg dan dimasukkan ke dalam *crucible* 40 μl . Sampel PP setelah itu di-*chrimp* dengan tutup yang telah dilubangi dan dilakukan uji sesuai dengan ASTM D3418 menggunakan DSC. Analisa dilakukan dengan program temperatur *heating-cooling-heating* dimulai dengan pemanasan dari 50 °C hingga 165 °C, pendinginan hingga

- 70 °C, kemudian pemanasan hingga 185 °C. Kecepatan pemanasan adalah 10 °C/menit. Sebagai *purge* gas digunakan gas nitrogen dengan kecepatan aliran 50 mL/menit.



Gambar 3.4 : DSC 821^o(*Differential Scanning Calorimetry*)

3.4 Identifikasi bahan dengan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

Sampel plastik PP dipotong kecil, lalu diletakkan atau diapit dengan aluminium foil dan dipanaskan selama 5 menit dengan alat *hot melt*, kemudian diberi beban sebesar 4 ton dengan alat *hand press* selama 5 menit, lalu didinginkan selama 5 menit. Alat - alat yang digunakan untuk preparasi sampel dapat dilihat pada Gambar 3.5. Metoda pengujian ASTM E1252, sampel PP dibentuk film dengan *hot melt* pada temperatur 180 °C, lalu dianalisa dengan FTIR - 8300 merk "SHIMADZU" seperti tampak pada Gambar 3.6.



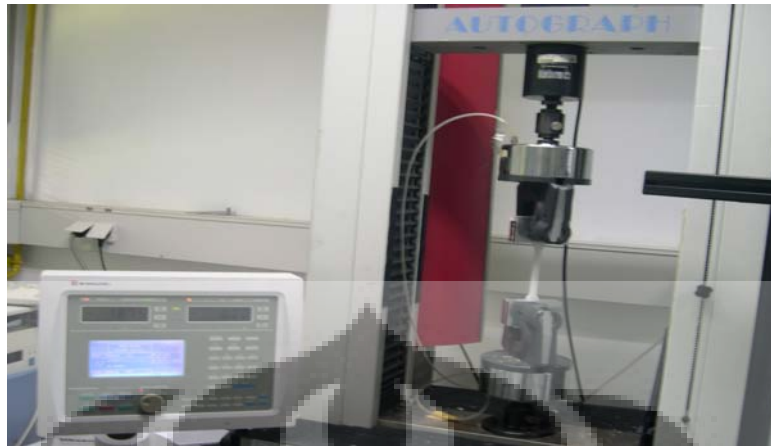
Gambar 3.5 : *ControllerTemperature* dan *Hot Melt* untuk preparasi sampel FTIR



Gambar 3.6 : FTIR - 8300 merk SHIMADZU bagian dalam

3.5 Pengujian Sifat Mekanik

Uji tarik dilakukan berdasarkan ASTM D638, yang diawali dengan pengkondisian sampel sebelum pengujian pada suhu 23 °C dan kelembaban relatif 50 % selama 48 jam. Pengujian dilakukan dengan mesin *Autograph* merk SHIMADZU AGS 10 kNG, type SPL-10kN / 10³ kgf seperti pada Gambar 3.7 dengan kecepatan penarikan 50 mm/menit. Kondisi saat pengujian pada temperatur 23,1 °C dan kelembaban relatif 58 %.



Gambar 3.7 : Sampel PP Uji tarik dengan mesin *Autograph*

Uji kekerasan dilakukan berdasarkan ASTM D2240 dengan alat *Durometer Shore D* model SHR-D-Gold SR No. 15298 seperti pada Gambar 3.8. Preparasi sampel PP dilakukan dengan menggunakan *injection molding machine*. Pengkondisian sampel sebelum pengujian dilakukan pada suhu 23 °C dan kelembaban relatif 50 % selama 48 jam. Kondisi saat pengujian pada temperatur 25,6 °C dan kelembaban relatif 51 %.



Gambar 3.8 : *Durometer Shore D*

3.6 Pengamatan Permukaan Patahan

Permukaan patahan akibat uji tarik diamati dengan mikroskop optik dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) type XL 30 merk "PHILIPS" seperti terlihat pada Gambar 3.9. Sebelum diamati dengan SEM, sampel PP dilapisi emas (lihat Gambar 3.10), kemudian dianalisa pada perbesaran 200 kali.



Gambar 3.9 : Perangkat SEM XL 30 yang dihubungkan dengan Komputer



Gambar 3.10 : Sampel PP yang telah dilapisi emas dianalisa dengan SEM

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

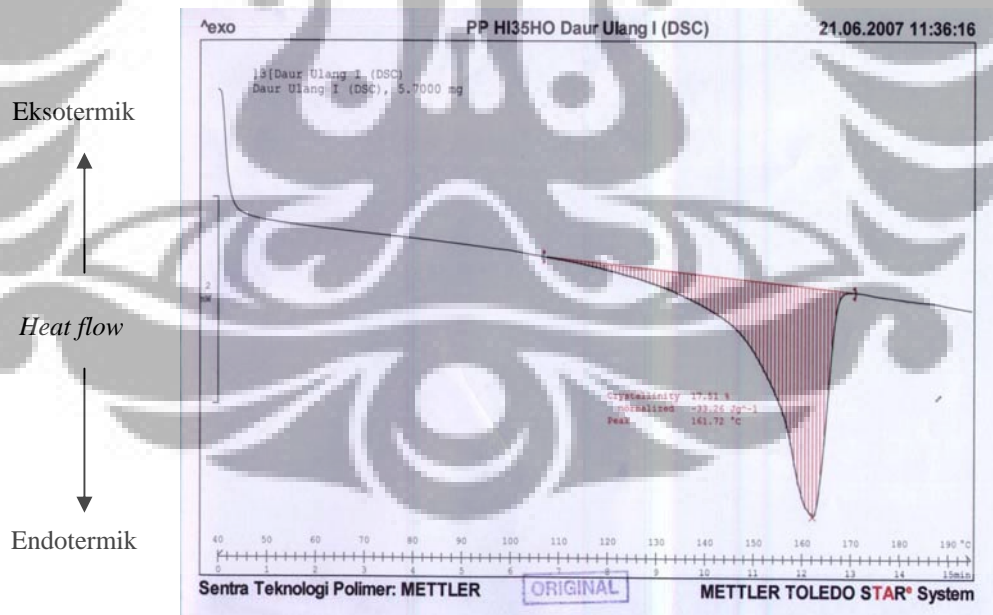
Pada Bab IV akan dibahas tentang hasil dan analisa data hasil pengukuran dari DSC, FTIR, uji mekanik (uji tarik dan uji kekerasan) serta hasil pengamatan permukaan patahan dengan mikroskop optik dan SEM sesuai dengan Tujuan Penelitian (1.3). Masing-masing pengukuran dilakukan pada sampel PP HI35HO murni, PP HI35HO daur ulang 1, PP HI35HO daur ulang 2 dan PP daur ulang komersial.

4.1 Hasil Observasi Pembuatan Sampel

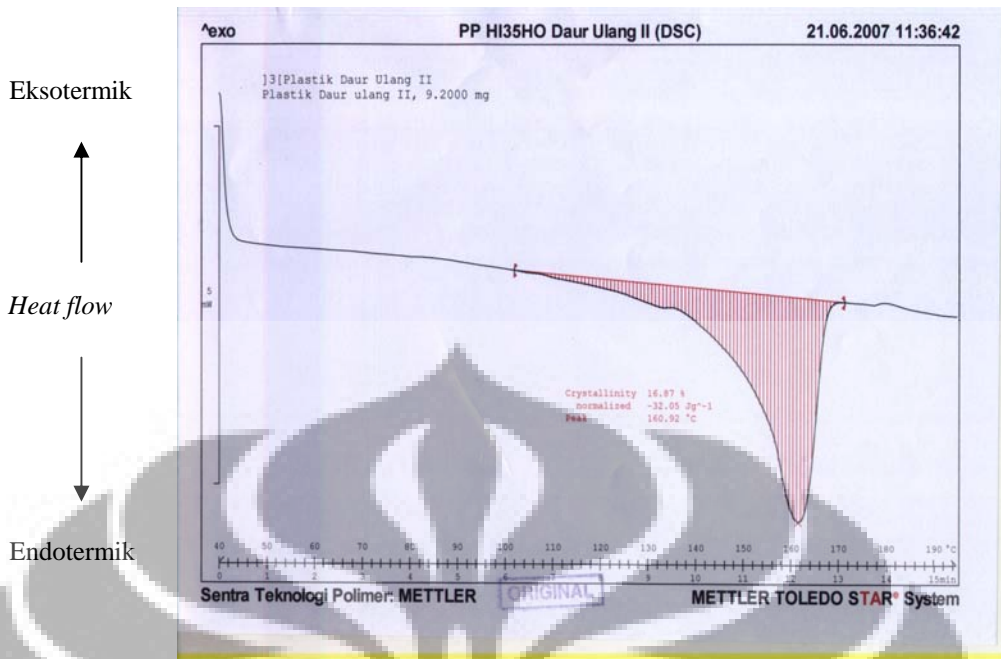
Bahan mentah PP dikeringkan pada suhu 80 °C selama dua hari sebelum diproses untuk mengurangi uap lembab ketika disimpan dalam ruangan yang dingin. Bahan mentah PP murni yang berbentuk butiran dimasukkan ke dalam *Injection Molding Machine* dengan melalui proses pemanasan dan dihasilkan *specimen / sampel* PP murni, sebagian diambil untuk dianalisa dan sebagian lagi dihancurkan dengan alat *Crusher* untuk pemerosesan daur ulang pertama. Proses di atas diulang lagi untuk memperoleh sampel PP daur ulang kedua. Bahan mentah PP komersial yang tidak diketahui berapa kali telah didaur ulang diproses seperti PP murni dan dihasilkan sampel PP daur ulang komersial. Kemudian keempat sampel PP murni maupun daur ulang dianalisa.

4.2 Hasil Pengukuran Sifat Termal DSC (*Differential Scanning Calorimetry*)

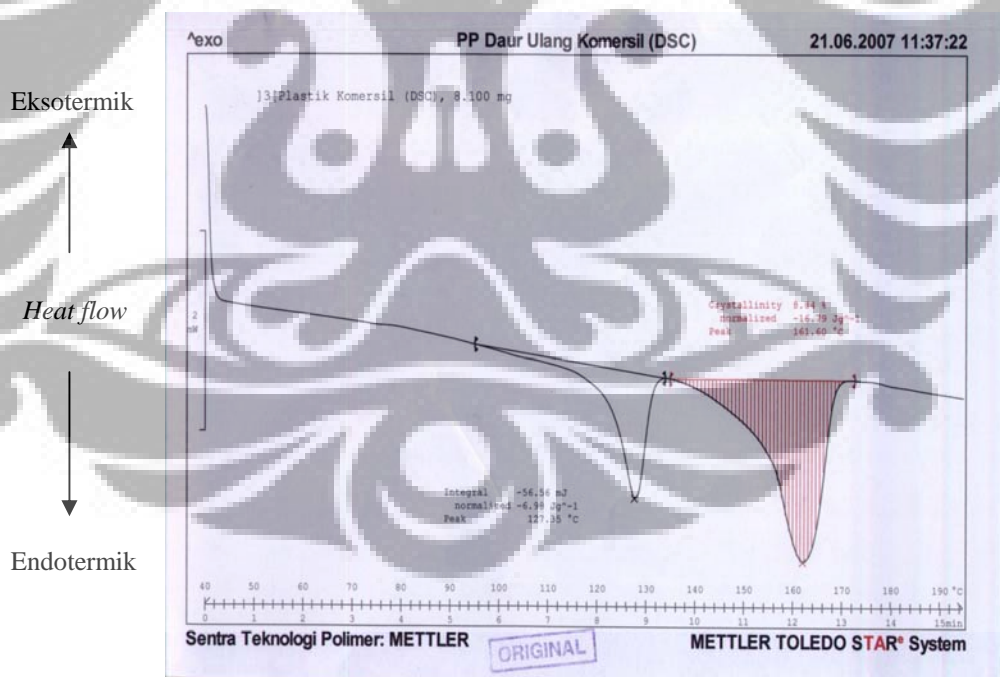
Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.3 menunjukkan hasil pengukuran DSC masing-masing untuk PP HI35HO daur ulang 1, PP HI35HO daur ulang 2 dan PP daur ulang komersial. Seperti yang ditulis pada sub bab 3.3, bahwa pengamatan dengan DSC dilakukan pada daerah suhu 50 °C - 165 °C, kemudian pada daerah suhu 165 °C - -70 °C, diakhiri dengan daerah suhu -70 °C - 185 °C. Puncak absorpsi teramati pada pemanasan kedua dari -70 °C ke 185 °C. Sedangkan pada pemanasan pertama 50 °C - 165 °C dan pendinginan dari 165 °C - -70 °C puncak absorpsi tidak terdeteksi. Pada bab ini hasil DSC yang ditampilkan adalah hasil pada pemanasan dari 40 °C ke 185 °C, dimana terdapat satu puncak yang dapat diamati.



Gambar 4.1 : Hasil pengukuran DSC PP HI35HO Daur Ulang 1



Gambar 4.2 : Hasil pengukuran DSC PP HI35HO Daur Ulang 2



Gambar 4.3 : Hasil pengukuran DSC PP Daur Ulang Komersial

Dari ketiga data yang diperoleh dan dibandingkan dengan pola DSC PP murni (Bab III, Tabel 3.1) menunjukkan adanya penurunan *melting temperature* (T_m), yaitu T_m berubah dari 163 °C untuk PP murni, menjadi 161,72 °C untuk PP HI35HO daur ulang 1, 160,92 °C untuk PP HI35HO daur ulang 2 dan 161,60 °C untuk PP daur ulang komersial.

Kalor yang diserap per satuan massa (J/g) pada saat terjadi perubahan fasa padat ke cair juga terjadi penurunan. Untuk PP HI35HO daur ulang 1 sebesar 33,26 J/g, PP HI35HO daur ulang 2 sebesar 32,05 J/g dan untuk PP daur ulang komersial sebesar 16,79 J/g. Kedua hal ini membuktikan bahwa posisi atom-atom C dan H pada rantai PP tidak kembali ke posisi semula secara sempurna, karena sampel mengalami proses pemanasan yang cukup tinggi dalam mesin *Injection Molding* (di atas T_m), yaitu 190 °C - 220 °C. Perubahan berarti terdapat pada PP daur ulang komersial, dimana T_m turun sebesar 1,40 °C dan kalor yang diserap per satuan massa turun hampir setengahnya.

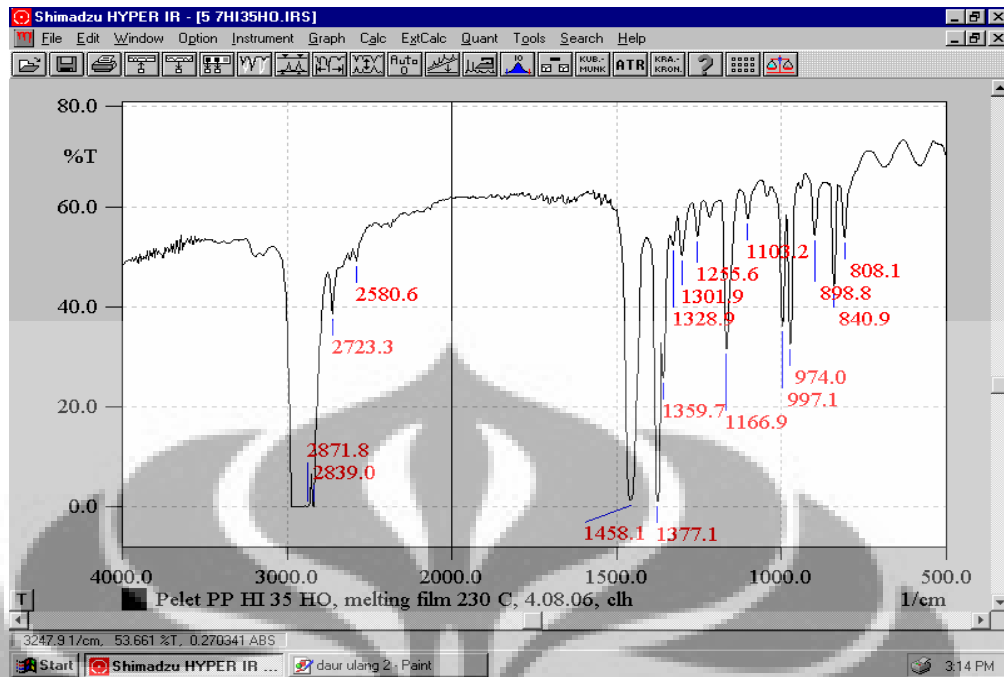
Selanjutnya, pola DSC PP daur ulang komersial mempunyai dua suhu puncak yaitu 127,35 °C dan 161,60 °C (Gambar 4.3), berarti PP daur ulang komersial bukan termasuk homopolimer, melainkan copolimer. Menurut data literatur suhu $T_m = 127,35$ °C dimiliki oleh PE⁽⁷⁾. Dapat dikatakan bahwa PP daur ulang komersial terdiri dari campuran PP dan PE dengan komposisi yang tidak dapat ditentukan secara langsung dari data DSC.

Dari hasil pengukuran DSC tidak terbentuk puncak atau tidak terjadi pengkristalan (T_C) dan hasil perhitungan komputer kristalinitasnya lebih kecil dari 20 % dibandingkan kristalinitas PP 82 % (BAB II, Tabel 2.1), sehingga dapat diduga bahwa PP HI35HO termasuk PP tipe *atactic (highly amorphous)*.

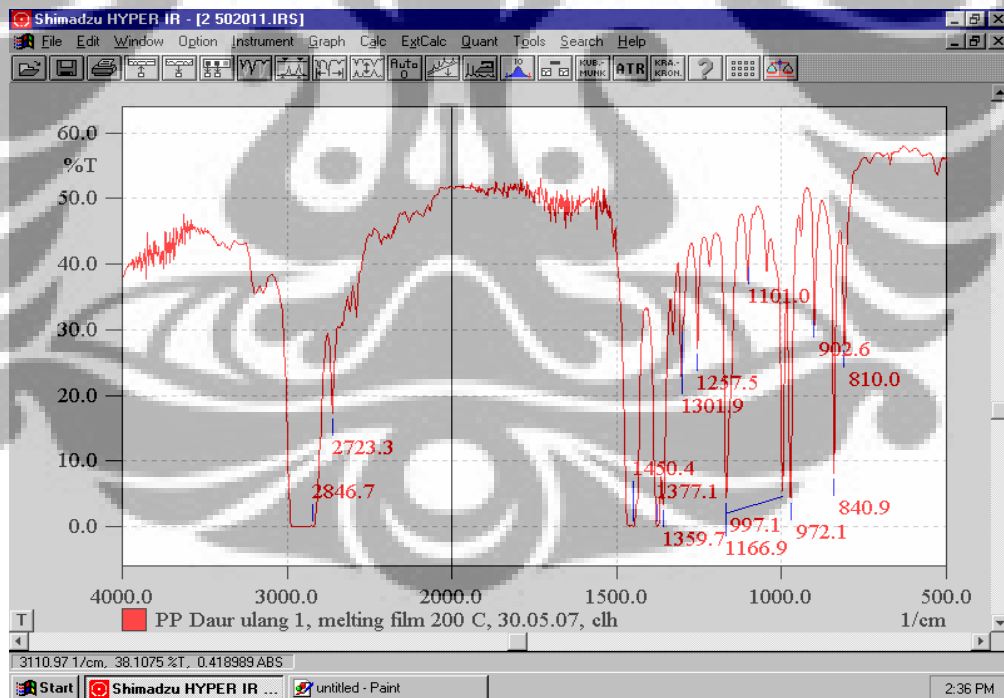
Menurut hasil penelitian dari Sepe dan Degamber, titik leleh PP diperoleh masing-masing sebesar $T_m = 167\text{ }^\circ\text{C}$ dan $T_m = 165\text{ }^\circ\text{C}$. Hal ini menunjukkan bahwa titik leleh bahan PP pada penelitian lebih kecil dari pada kedua bahan tersebut di atas. PP tipe *atactic* yang amorf mempunyai titik leleh lebih rendah dari pada titik leleh PP tipe *isotactic* atau *syndiotactic*, karena bahan amorf yang tidak memiliki keteraturan lebih mudah untuk meleleh, dibandingkan dengan bahan kristal yang keteraturannya lebih tinggi.

4.3 Hasil Pengukuran FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

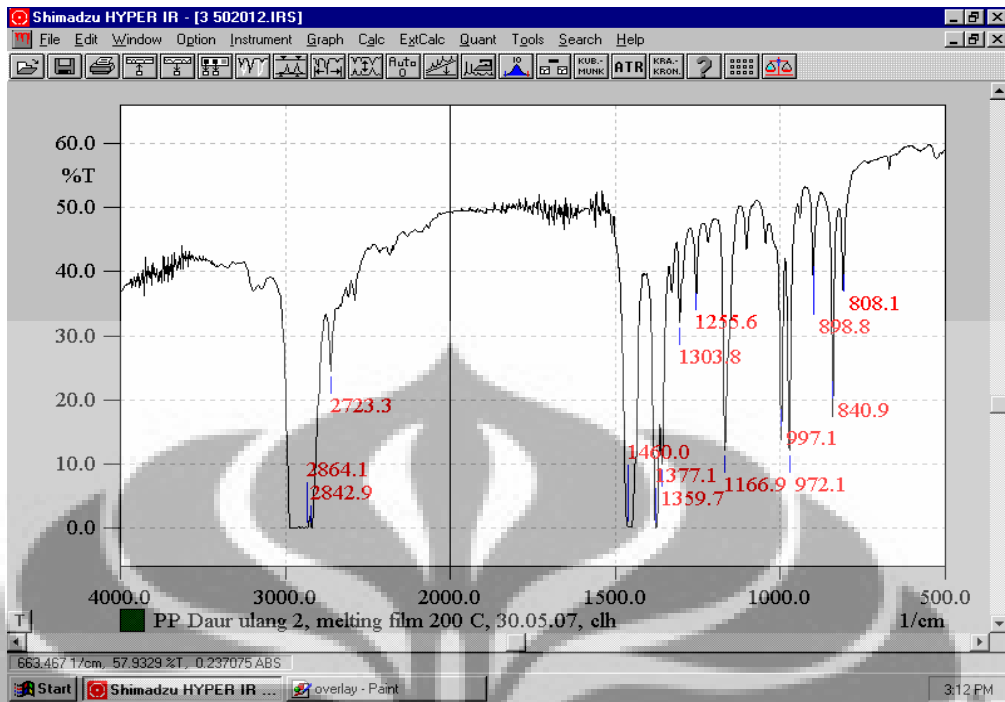
Hasil pengukuran FTIR untuk PP murni, PP daur ulang 1, PP daur ulang 2 dan PP daur ulang komersial ditunjukkan pada Gambar 4.4, 4.5, 4.6 dan 4.7. Hasil FTIR ini berkaitan dengan identifikasi tipe-tipe dari ikatan kimia pada suatu molekul dengan menghasilkan sebuah spektrum serapan khusus inframerah.



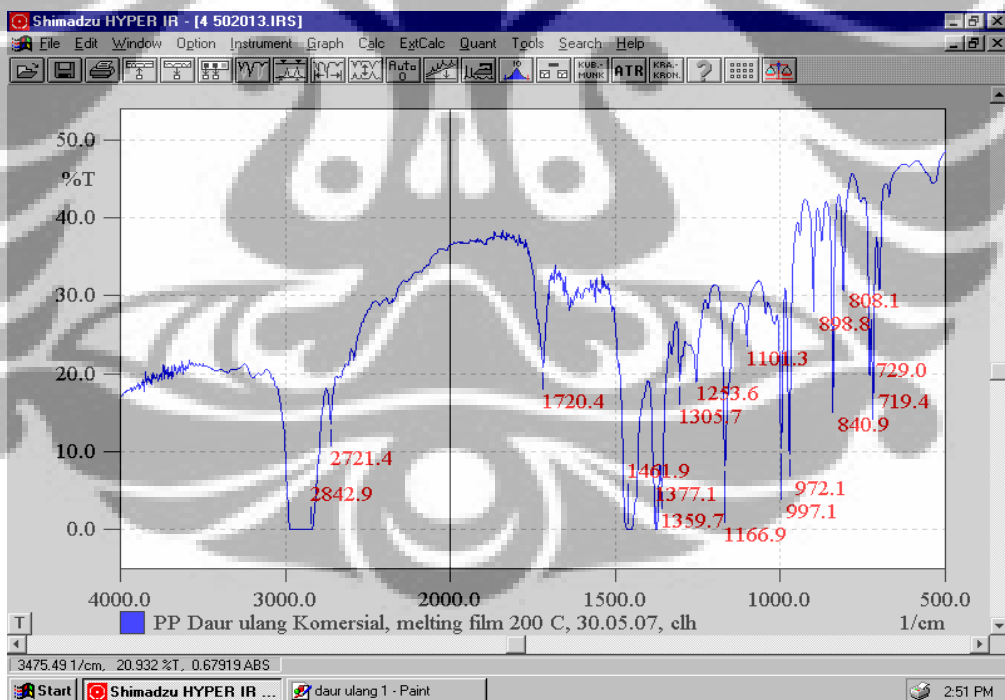
Gambar 4.4 : Kurva FTIR PP HI35HO Murni



Gambar 4.5 : Kurva FTIR PP HI35HO Daur Ulang 1



Gambar 4.6 : Kurva FTIR PP HI35HO Daur Ulang 2



Gambar 4.7 : Kurva FTIR PP Daur Ulang Komersial

Hasil pengukuran FTIR ini dibandingkan dengan referensi kurva FTIR pada Gambar 2.13 dan keberadaan puncak-puncak FTIR disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 : Perbandingan data pengukuran FTIR untuk PP

| Data pengukuran FTIR | $1/\lambda$ (cm^{-1}) | | | | | | | | |
|------------------------------|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Vibrasi valensi $\text{CH}_3\text{-CH}_2$ | Vibrasi deformasi CH_2 | Vibrasi deformasi CH_3 | Lima puncak karakteristik PP | | | | | PE |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| PP Referensi ⁽¹⁰⁾ | 2957,5 | 1452,1 | 1376,5 | 1168,2 | 999,2 | 974,3 | 899,8 | 840,2 | - |
| PP HI35HO murni | 2871,8 | 1458,1 | 1377,1 | 1166,9 | 997,1 | 974,0 | 898,8 | 840,9 | - |
| PP HI35HO daur ulang 1 | 2846,7 | 1450,4 | 1377,1 | 1166,9 | 997,1 | 972,1 | 902,6 | 840,9 | - |
| PP HI35HO daur ulang 2 | 2864,1 | 1460,0 | 1377,1 | 1166,9 | 997,1 | 972,1 | 898,8 | 840,9 | - |
| PP daur ulang komersial | 2842,9 | 1461,9 | 1377,1 | 1166,9 | 997,1 | 972,1 | 898,8 | 840,9 | 719,4 |

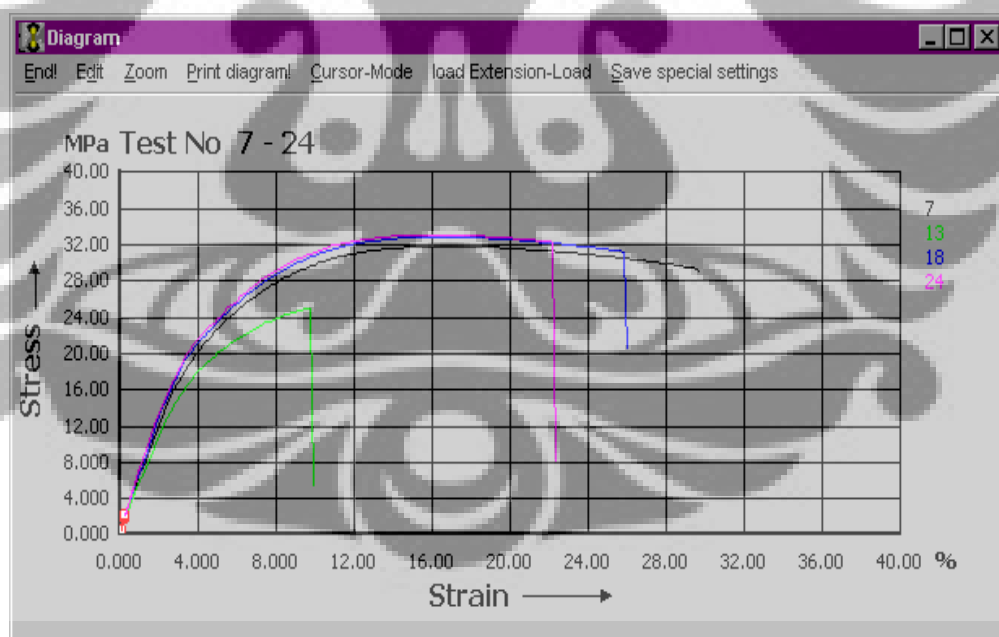
Puncak vibrasi valensi $\text{CH}_3\text{-CH}_2$ ($2957,5 \text{ cm}^{-1}$) dan vibrasi deformasi CH_2 ($1452,1 \text{ cm}^{-1}$) mengalami pergeseran, masing-masing ke arah kanan menjadi ($2871,8 \text{ cm}^{-1}$ - $2864,1 \text{ cm}^{-1}$) dan ke arah kiri menjadi ($1458,1 \text{ cm}^{-1}$ - $1460,0 \text{ cm}^{-1}$). Dengan demikian, energi vibrasi valensi semakin kecil dan energi vibrasi deformasi semakin besar. Dalam hal ini ada perubahan lingkungan molekul CH_3 dan CH_2 yang diduga berkaitan dengan kristalinitas. Puncak vibrasi deformasi CH_3 relatif sama, yang berarti energi vibrasi deformasi CH_3 relatif sama. Walaupun demikian, penampilan fisik PP murni dan PP daur ulang secara makroskopik tidak berubah.

Pada PP daur ulang komersial terdapat unsur PE sesuai dengan kurva FTIR pada Gambar 4.7. Puncak pada bilangan gelombang $1720,4 \text{ cm}^{-1}$ berhubungan dengan *stretching vibration* gugus C=O . Puncak $1720,4 \text{ cm}^{-1}$ merupakan puncak Residu yang diperoleh jika PE teroksidasi, sesuai dengan

pengamatan Sepe ⁽¹⁷⁾. Hal ini terjadi karena titik leleh PE berkisar antara 98 °C - 135 °C ⁽⁹⁾, sedangkan PP daur ulang komersial mengalami pemanasan pada *Injection Molding Machine* sampai 220 °C, sehingga PE teroksidasi dan puncaknya teramati dengan jelas pada 1720,4 cm⁻¹.

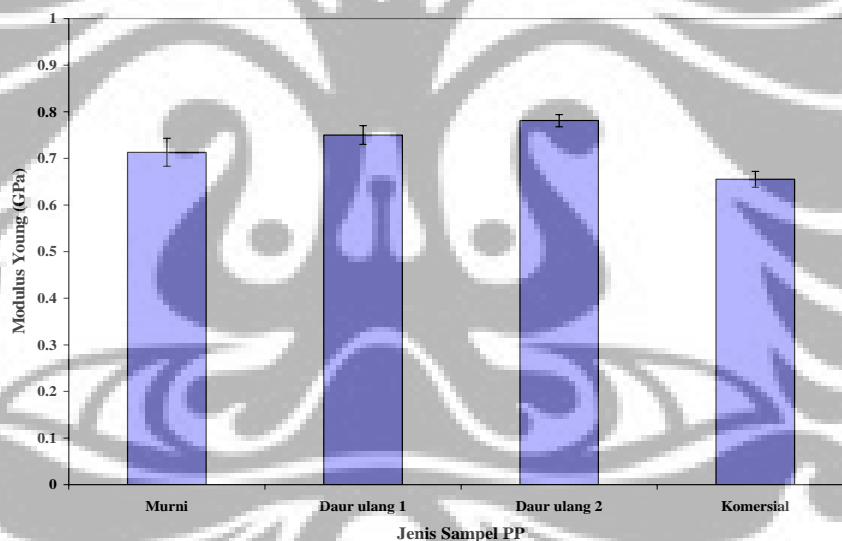
4.4 Hasil Uji Mekanik

Gambar 4.8 menunjukkan grafik *stress - strain* gabungan PP HI35HO dan PP daur ulang komersial, sedangkan Gambar 4.9 sampai dengan Gambar 4.11 menunjukkan hasil pengukuran uji tarik, yaitu masing-masing modulus *Young*, kuat tarik (*tensile strength*) dan *strain-at-break* terhadap jenis sampel.



Gambar 4.8 : Grafik *stress - strain* gabungan PP HI35HO dan PP daur ulang komersial

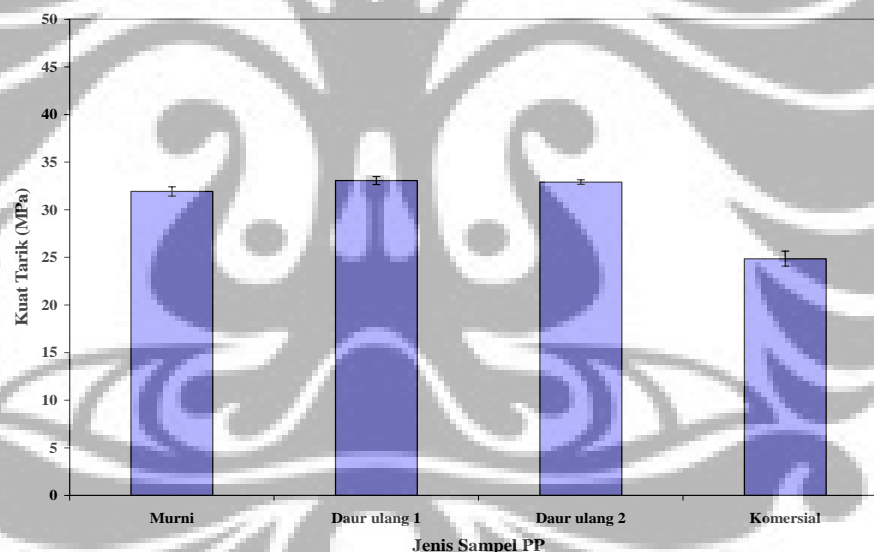
Hasil eksperimen uji tarik bila dibandingkan dengan Gambar 2.14 ada perbedaan dalam penampilan, dimana harga stress mencapai maksimum, sampai sampelnya putus / patah. Dari Gambar 4.8 terlihat bahwa *strain-at-break* berturut-turut dari terbesar sampai terkecil adalah PP HI35HO murni (30,08 %), PP HI35HO daur ulang 1 (26,09 %), PP HI35HO daur ulang 2 (24,26 %) dan PP daur ulang komersial (10,32 %). Dari grafik *stress* terhadap *strain* pada Gambar 4.8 ini dapat ditentukan besarnya modulus *Young*, yaitu perbandingan antara besar perubahan *stress* terhadap besar perubahan *strain* (Gambar 4.9) dan juga kuat tarik / *tensile strength* (Gambar 4.10).



Gambar 4.9 : Grafik modulus *Young* sampel PP HI35HO

Gambar 4.9 menunjukkan peningkatan Modulus *Young* untuk PP HI35HO murni (0,713 GPa), PP HI35HO daur ulang 1 (0,750 GPa), PP HI35HO daur ulang 2 (0,781 GPa) dan PP daur ulang komersial (0,655 GPa). Besar modulus *Young* sebanding dengan kekuatan ikatan antar atom

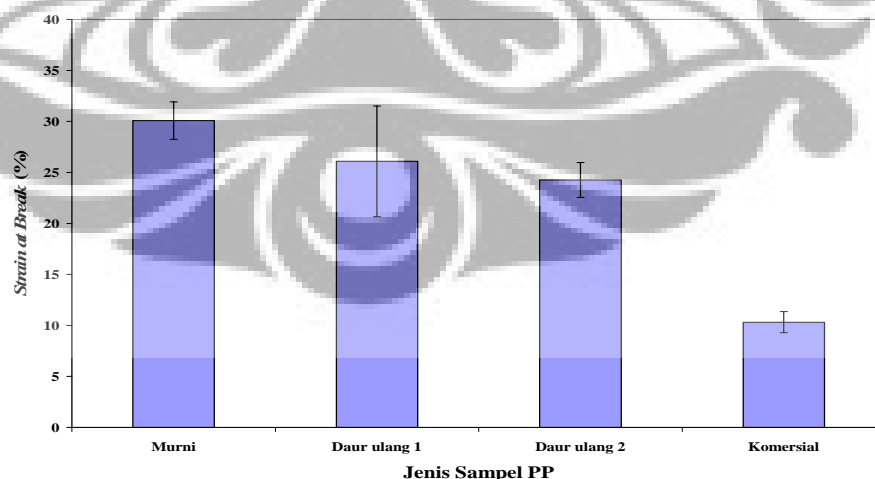
pembentuk material. Dengan mendaur ulang PP, posisi atom C-H dan C-C, sedemikian rupa, sehingga jarak ikatan C-H dan C-H bertambah besar. Walaupun derajat kristalinitas berkurang, seperti yang diperoleh dari hasil DSC (dalam hal ini keteraturan atom-atom berkurang), kekuatan ikatan C-H dan C-C bertambah besar. Bila dibandingkan dengan Tabel 2.1, harga modulus *Young* hasil eksperimen secara keseluruhan lebih rendah dari pada harga referensi modulus *Young* (1,10 - 1,55 GPa). Kemungkinan hal ini disebabkan karena harga referensi modulus *Young* biasanya diperoleh dari PP tipe *isotactic* atau *syndiotactic* yang memiliki keteraturan geometris lebih tinggi, sedangkan sampel adalah PP tipe *atactic*.



Gambar 4.10 : Grafik kuat tarik sampel PP HI35HO

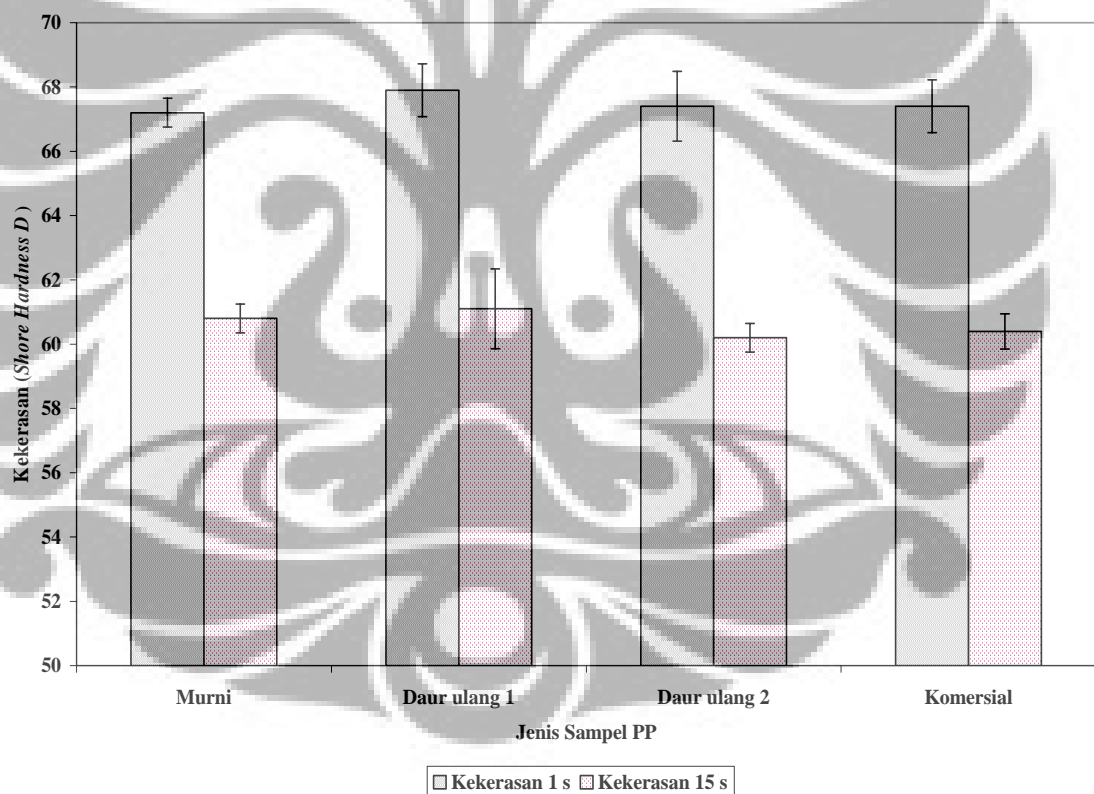
Gambar 4.10 menunjukkan kuat tarik (*tensile strength*), kuat tarik PP HI35HO daur ulang 1 sebesar 33,05 MPa lebih tinggi dari pada PP HI35HO murni sebesar 31,91 MPa, sedangkan kuat tarik PP HI35HO daur ulang 2 sebesar 32,89 MPa lebih rendah dibandingkan dengan

PP HI35HO daur ulang 1, tapi lebih tinggi bila dibandingkan dengan PP HI35HO murni. Kuat tarik PP daur ulang komersial sebesar 24,85 MPa jauh lebih rendah dari pada kuat tarik PP HI35HO dan PP daur ulangnya. Kuat tarik PP murni, PP daur ulang 1 dan PP daur ulang 2 masih sesuai dengan data secara teoritis pada Tabel 2.1 (31 - 41 MPa). Ini menunjukkan bahwa kuat tarik sampel PP murni, PP daur ulang 1 dan PP daur ulang 2 masih sesuai dengan data teoritis dengan sedikit toleransi, sedangkan untuk PP daur ulang komersial, hasilnya jauh di bawah harga referensi, ini dimungkinkan karena PP daur ulang komersial bukan termasuk homopolimer, melainkan copolimer. Jika dibandingkan dengan Tabel 3.1 produksi PT Tri Polyta kuat tariknya hampir sama besar, tetapi jika dibandingkan dengan penelitian Mohanakrishnan *et al* kuat tarik hasil penelitian ini jauh lebih besar ⁽²⁷⁾. Hal ini dimungkinkan karena bahan PP produksi PT Tri Polyta adalah homopolimer, sedangkan bahan PP pada penelitian Mohanakrishnan *et al* tidak dijelaskan jenisnya.



Gambar 4.11 : Grafik strain-at-break sampel PP HI35HO

Dari Gambar 4.11 ditunjukkan bahwa *strain-at-break* (*elongation-at-break*) makin berkurang berturut-turut untuk PP HI35HO murni, PP HI35HO daur ulang 1, PP HI35HO daur ulang 2 dan PP daur ulang komersial, masing-masing sebesar 30,08 %, 26,09 %, 24,26 % dan 10,32 %. Secara teori *strain-at-break* ada di daerah harga 100 - 600 % (Tabel 2.1), tetapi pada sampel PP murni maupun daur ulang, semuanya mencapai *strain-at-break* di bawah 100 %. Hal ini menunjukkan bahwa keliatan / *ductile* sampel jauh di bawah tingkat keliatan / *ductile* teoritis dan semakin didaur ulang keliatannya semakin rendah.



Gambar 4.12 : Grafik kekerasan sampel PP HI35HO

Gambar 4.12 adalah grafik kekerasan sampel PP HI35HO yang masing-masing ditekan dengan beban sebesar 5 kg selama satu detik pertama dan pada saat relaksasi atau waktu maksimum selama 15 detik. Harga *hardness* / *kekerasan* selama waktu penekanan satu detik adalah 67,2 (PP murni), 67,9 (PP daur ulang 1), 67,4 (PP daur ulang 2) dan 67,4 (PP daur ulang komersial), sedangkan untuk waktu penekanan selama 15 detik adalah 60,8 (PP murni), 61,1 (PP daur ulang 1), 60,2 (PP daur ulang 2) dan 60,4 (PP daur ulang komersial).

Berdasarkan referensi, nilai kekerasan yang diukur dengan penetrasi kaki indentasi Durometer ke dalam sampel dapat berubah terhadap waktu, karena itu lama indentasi tekanan juga dicatat bersama dengan nilai kekerasan. Dalam penelitian ini, semakin lama waktu penekanan, kekerasan makin berkurang. Kekerasan bahan dapat dikatakan relatif sama untuk semua sampel selama waktu tekan tertentu. Tetapi penekanan selama 15 detik secara umum untuk semua sampel mempunyai harga kekerasan yang lebih kecil dari pada harga kekerasan dengan penekanan satu detik. Hal ini disebabkan oleh sifat "*resilience*" dari materi *rubber* dan *plastic*, dimana *polypropylene* termasuk dalam kategori materi *plastic*.⁽²³⁾

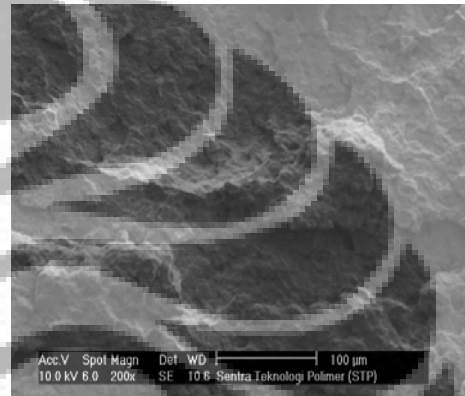
Jika dibandingkan dengan data pada Tabel 2.2 besarnya kekerasan adalah (70 - 83) semuanya lebih rendah. Ini dimungkinkan PP HI35HO tipe *atactic* bukan tipe *isotactic* atau *syndiotactic*.

4.5 Hasil Pengamatan Mikroskop Optik dan SEM (Scanning Electron Microscope)

Hasil pengamatan permukaan patahan setelah uji tarik dengan mikroskop optik dapat dilihat pada Gambar 4.13 sampai dengan Gambar 4.16, sedangkan hasil pengamatan dengan SEM dapat dilihat pada Gambar 4.17 sampai dengan Gambar 4.20. Masing-masing dengan pembesaran 200 kali.



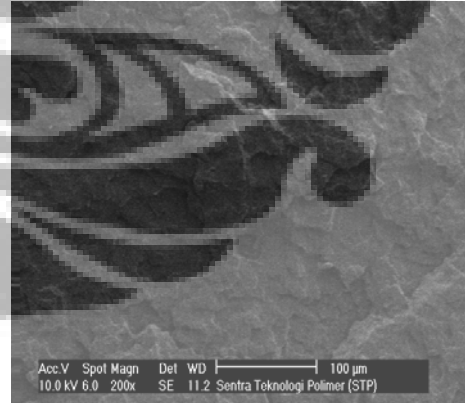
Gambar 4.13 : Citra mikroskopik optik permukaan patahan PP HI35HO Murni



Gambar 4.17 : Citra SEM permukaan patahan PP HI35HO murni



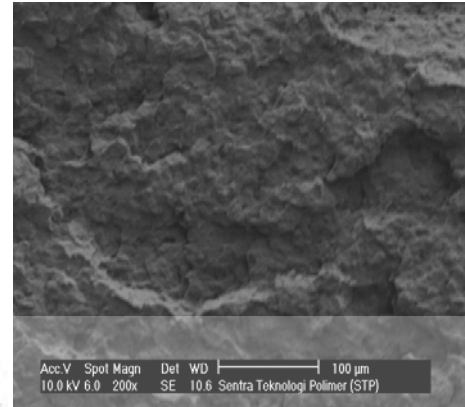
Gambar 4.14 : Citra mikroskopik optik permukaan patahan PP HI35HO Daur Ulang 1



Gambar 4.18 : Citra SEM permukaan patahan PP HI35HO Daur Ulang 1



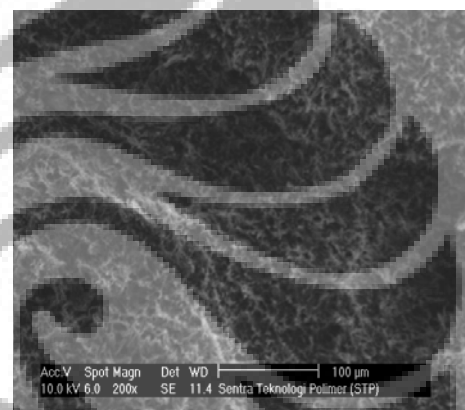
Gambar 4.15 : Citra mikroskopik optik permukaan patahan PP HI35HO Daur Ulang 2



Gambar 4.19 : Citra SEM permukaan patahan PP HI35HO Daur Ulang 2



Gambar 4.16 : Citra mikroskopik optik permukaan patahan PP Daur Ulang Komersial



Gambar 4.20 : Citra SEM permukaan patahan PP Daur Ulang Komersial

Citra mikroskop optik dan citra SEM pada bahan PP murni, PP daur ulang 1 dan PP daur ulang 2 tidak begitu berbeda, tetapi ada perbedaan yang cukup besar dengan PP daur ulang komersial, dimana tekstur pada permukaan PP daur ulang komersial bertambah kecil. Jika dibandingkan dengan antara kedua permukaan yang kontras tersebut, dapat dijelaskan sebagai berikut. Bahan dengan kontur pola "pulau" yang cukup besar ini menunjukkan bahwa bahan bersifat liat (*ductile*), sedangkan permukaan yang relatif lebih datar dengan ukuran "butir"

kecil menunjukkan bahwa bahan bersifat lebih getas (*brittle*). Jika dibandingkan dengan Gambar 2.20 dan Gambar 2.21, dapat dikatakan bahwa permukaan patahan PP daur ulang komersial relatif datar dan bersifat lebih getas. Semakin getas suatu bahan, modulus *Young* dan *strain-at-break* menurun dan ini sesuai dengan hasil yang diperoleh pada uji tarik.

4.6 Hubungan sifat mekanik dan struktur PP murni dan PP daur ulang

Secara umum dapat dikatakan bahwa tidak ada perubahan yang signifikan pada kuat tarik dan modulus bahan PP, PP daur ulang 1 dan PP daur ulang 2, dalam hal ini perubahannya masing-masing 3,6 % ; 3,1 % dan 5,2 % ; 9,5 %. Hal ini didukung dengan hasil pengamatan FTIR dan DSC yang menunjukkan tidak ada perubahan ikatan kimia pada struktur bahan, pergeseran T_m dan kalor yang diserap untuk pelelehan serta citra optik dan SEM.

Khusus sifat *strain-at-break* ada perubahan signifikan pada bahan PP dan daur ulangnya, masing-masing untuk PP daur ulang 1, PP daur ulang 2 dan PP daur ulang komersial penurunan sebesar 13,3 % , 19,3 % dan 65,7 %. Hal ini dapat dijelaskan bahwa keliatan / *ductile* bahan polimer sangat tergantung pada proses. Polimer yang sudah mengalami pemanasan berkali-kali akan cenderung menjadi getas / *brittle*, karena derajat kristalinitasnya berkurang. PP daur ulang dapat diproses berkali-kali sampai harga *strain-at-break* tidak kurang dari 10,32 % yang dimiliki oleh PP daur ulang komersial.

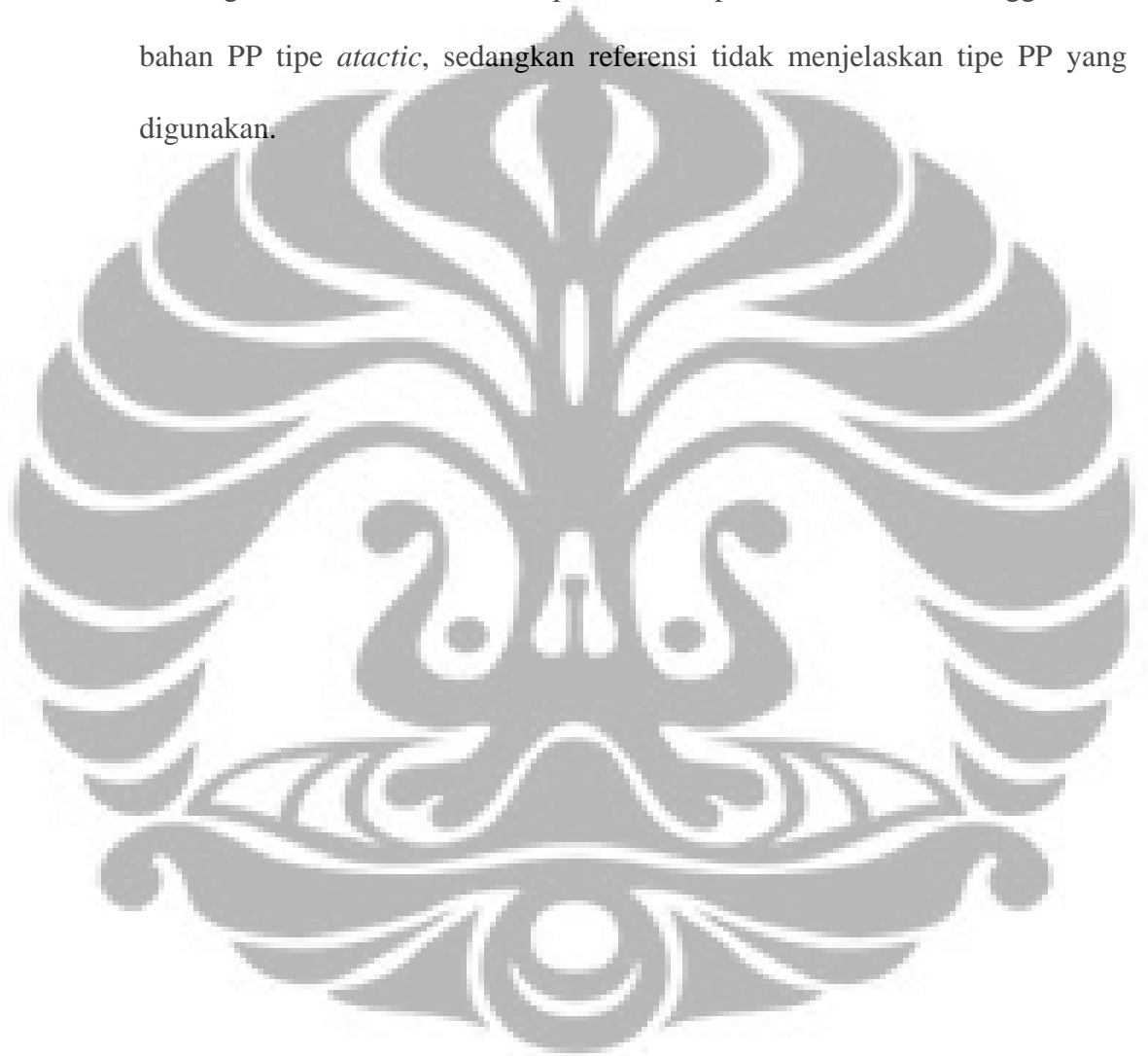
Khusus untuk bahan daur ulang komersial yang ternyata merupakan campuran antara PP dan PE (dari hasil pengamatan FTIR dan DSC), harga kuat tarik, modulus *Young* dan *strain-at-break* berubah secara signifikan, masing-masing sebesar 22,1 % , 8,1 % dan 65,7 %. Hal ini didukung dengan hasil citra mikroskop optik dan SEM yang menunjukkan adanya perubahan kontur permukaan bahan. Permukaan dengan ukuran butir lebih kecil dan lebih datar menunjukkan bahwa bahan bersifat lebih getas. Hal ini sangat menunjang penurunan harga *strain-at-break*.

Hasil uji termal dan uji mekanik untuk PP HI35HO murni, PP HI35HO daur ulang 1, PP HI35HO daur ulang 2 dan PP daur ulang komersial (PP dan PE) ditunjukkan pada Tabel 4.2. Persen kristalinitas dan jumlah kalor / massa untuk meleleh dari PP daur ulang 1 dan PP daur ulang 2 jauh lebih besar dibandingkan PP daur ulang komersial. Tetapi hasil ini tidak dapat dibandingkan, karena PP daur ulang komersial terdiri dari PP dan PE yang tidak diketahui jumlah massanya.

Tabel 4.2 : Data Percobaan PP murni dan PP daur ulang

| Bahan uji | Titik leleh (T_m) ($^{\circ}\text{C}$) | Kristalinitas (%) | Kalor / massa (J/g) | Modulus Young (E) (GPa) | Kuat tarik (MPa) | Strain at break (%) | Shore Hardness | |
|-------------------------------------|---|----------------------|------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|----------------|----------|
| | | | | | | | 1 detik | 15 detik |
| PP murni | 163 | * | * | 0,713 | 31,91 | 30,08 | 67,2 | 60,8 |
| PP daur ulang 1 | 161,72 | 17,51 | 33,26 | 0,750 | 33,05 | 26,09 | 67,9 | 61,1 |
| PP daur ulang 2 | 160,92 | 16,87 | 32,05 | 0,781 | 32,89 | 24,26 | 67,4 | 60,2 |
| PP daur ulang komersial (PP dan PE) | 161,60 | 8,84 | 16,79 | 0,655 | 24,85 | 10,32 | 67,4 | 60,4 |

- * Menurut catatan aplikasi termal analisis Perkin Elmer "*Measurement of Tg of Polypropylene Using the PYRIS Power Compensation DSC*" besarnya kristalinitas PP murni adalah 43,7 % dan jumlah kalor/massa sebesar 90,5 J/g. Perbedaan yang cukup besar dengan data hasil uji termal untuk PP daur ulang, kemungkinan disebabkan oleh perbedaan tipe PP. Studi ini menggunakan bahan PP tipe *atactic*, sedangkan referensi tidak menjelaskan tipe PP yang digunakan.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Rangkaian percobaan dan uji bahan atas sampel PP murni dan daur ulang yang dilaksanakan dalam studi ini telah menghasilkan beberapa informasi yang berharga. Penelitian ini mempelajari perbandingan antara struktur dan sifat mekanik PP murni dan PP daur ulang satu kali dan dua kali, serta PP daur ulang komersial. PP murni dan PP daur ulang dicetak dengan cara pemanasan dalam *injection molding machine* sampai suhu 220 °C, sedangkan pengujian yang telah dilakukan adalah uji termal dengan menggunakan metoda DSC, uji mekanik dengan metoda *Tensile Test* (uji tarik) dan uji kekerasan dengan metoda *Shore Hardness D*, serta identifikasi bahan dengan metoda FTIR dan pengamatan morfologi menggunakan SEM.

5.1 Kesimpulan

Hasil pengujian dan pengamatan di atas menunjukkan tidak ada perubahan yang signifikan pada nilai titik leleh, kekerasan, kuat tarik, modulus *Young* dan kontur permukaan patahan bahan PP dan PP daur ulang.

Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa bahan PP mempertahankan sifat-sifat mekaniknya melalui proses daur ulang yang menggunakan pemanasan dalam *injection molding machine* sampai jumlah daur ulang dua kali, kecuali sifat

keliatan / *ductilitas* yang berkurang hanya 19,3 %, sehingga penggunaan PP daur ulang dua kali aman digunakan untuk produksi gantungan pakaian atau produk plastik lainnya yang sejenis.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa PP daur ulang komersial mempunyai sifat mekanik yang menurun dan lebih getas dibandingkan PP daur ulang. Penggunaan komersial PP harus memperhatikan aplikasi yang tidak mengandalkan keliatan. PP daur ulang komersial yang merupakan *copolymer* PP dan PE, terjadi penurunan jumlah kalor per massa yang diserap dalam pelelehan sebesar 49,5 % (dari daur ulang pertama), penurunan kuat tarik sebesar 22,1 % dan modulus *Young* sebesar 8,1 %. Ini berarti proses daur ulang langsung berpengaruh pada sifat keliatan/ *ductilitas* bahan, dimana citra SEM menunjukkan perubahan kontur PP komersial.

Berdasarkan hasil uji mekanik (uji tarik dan uji kekerasan) PP daur ulang terhadap PP murni tidak ada perubahan yang signifikan untuk modulus *Young*, kuat tarik dan kekerasan. Yang berpengaruh secara langsung pada proses daur ulang adalah *strain-at-break*, dimana PP daur ulang yang kedua jika dibandingkan dengan PP daur ulang komersial, kualitasnya dua kali lebih besar, sehingga PP daur ulang boleh diproses kembali sampai harga *strain-at-break* minimal 10,32 %

yang dimiliki oleh PP daur ulang komersial. Sedangkan di bawah itu kualitasnya rendah atau tidak terjamin.

5.2 Saran

1. Studi ini dapat dilanjutkan dengan penelitian lebih lanjut untuk mempelajari sampai seberapa banyak proses daur ulang berbasis pemanasan dapat dilakukan dengan mempertahankan sifat-sifat mekanik dan kemurnian struktur bahan.
2. Studi DSC dan TGA yang lebih mendalam untuk mengetahui komponen PP dan PE serta T_g dalam PP daur ulang komersial.

DAFTAR PUSTAKA

- 1. ASTM Specification D4101-1998, Standard Specification for Propylene Plastic Injection and Extrusion Materials**
- 2. ASTM Standard D638-2003, Tensile Test of Plastics, ASTM Tensile Properties, Tensile Modulus, Elongation, Tensile Strength : Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**
- 3. ASTM Method D2240-1995, Durometer Hardness (A & D), Shore Hardness, Shore Durometer : Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness**
- 4. ASTM Standard D3418-2003, Standard Test Method for Transition Temperatures of Polymers By Differential Scanning Calorimetry**
- 5. Polymer. <http://en.wikipedia.org/wiki/Polymer>**
- 6. Iis Sopyan, Kimia Polimer, cetakan pertama, Pradnya Paramita, Jakarta, 2001**
- 7. William D. Callister, Jr., Materials Science and Engineering An Introduction, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1994**
- 8. Fred W. Billmeyer, JR., Text Book Of Polymer Science, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1984**
- 9. Joel R. Fried, Polymer Science and Technology, Prentice Hall International, New Jersey, 1995**

10. Differential Scanning Calorimetry

<http://www.pslc.ws/mactest/dsc.htm>

11. Michael Sepe. "The Materials Analyst : Part 66 Material control across 12 time zones - Part 2. IMM - July 2005

12. B Degamber, D Winter, J Tetlow, M Teagle and GF Fernando.

"Simultaneous DSC / FTIRS / TMA" . Rapid Communication' Published 5 July 2004.

13. Plastic Testing Leader - Elastomers - Composites - Polymer testing PTLI

<http://www.ptli.com/testlopedia/tests/FTIR-E168andE1252-2.asp>

14. Infrared Spectroscopy

[http://www.cem.msu.edu/~reusch/VirtualText/Spectrpy/InfraRed/irspec1.](http://www.cem.msu.edu/~reusch/VirtualText/Spectrpy/InfraRed/irspec1.html#ir1)

[html#ir1](http://www.cem.msu.edu/~reusch/VirtualText/Spectrpy/InfraRed/irspec1.html#ir1)

15. Training on Plastics Engineering, Infrared Spectroscopy Evaluation of Spectra, Austrian Plastics Institute, 1999

16. Application Note, Pike Technologies, "Transmission Sampling Techniques Theory and Applications" <http://www.piketech.com>

17. Michael Sepe. "The Materials Analyst, Part 20 : Finding problems in hot runners. IMM – May 1999

18. Mechanical Properties (mechanprop.pdf)

19. PP homo - *Polypropylene homopolymer*

<http://www.omnexus.com/tc/polymerselector/polymerprofiles.aspx>

20. PP HI35HO

<http://www.tripolyta.com/prodfile/hi35ho.htm>

21. Polypropylene

<http://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene>

22. TYPICAL PROPERTIES of POLYPROPYLENE Homopolymer

<http://www.professionalplastics.com>

23. Shore (Durometer) Hardness Testing of Plastics

<http://www.MatWeb.com/reference/shorehardness.aspx>

**24. Dr. M. Zouheir Jandali, Bielefeld, Georg Widmann, Schwerzenbach,
Collected Applications Thermal Analysis, THERMOPLASTICS, METTLER
TOLEDO**

25. All you wanted to know about Electron Microscopy

(2006_06_AllYouWanted_pb.pdf)

<http://www.feicompany.com>

**26. "Process Compatibility Parameters for Wet Bench Plastic Materials",
Technology Transfer # 98123623A-ENG, International SEMATECH,
December 30, 1998**

**27. Chittoor K. Mohanakrishnan, Graduate Student, and Ramani Narayan.
"Reactive extrusion processing of polypropylene - lignocellulosic blend
materials"**

28. Kencana, Surya, 2007. Tesis Magister Material Science UI, “Pengaruh Penambahan Tanah Lempung terhadap Sifat Mekanik dan Struktur *Fracture Nanokomposit*” , Departemen Fisika FPMIPA -UI.
29. F. LEDNICKY and G.H. MICHLER, ”Soft matrix fracture surface as a means to reveal the morphology of multi-phase polymer systems”, *J. Materials Science* 25 (1990) 4549 – 4554.

