MAKARA, SAINS, VOL. 14, NO. 1, APRIL 2010: 95-100

STUDI PERBANDINGAN SIFAT MEKANIK *POLYPROPYLENE* MURNI DAN DAUR ULANG

Bernadeth Jong Hiong Jun dan Ariadne L. Juwono*)

Program Pascasarjana Fisika, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

*)*E-mail: ariadne@fisika.ui.ac.id*

Abstrak

Penelitian ini membandingkan sifat mekanik dan permukaan patahan *polypropylene* (PP) murni, PP daur ulang dan PP daur ulang komersial yang biasa dipakai sebagai gantungan pakaian. Pengujian termal dengan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) menunjukkan bahwa daur ulang tidak menyebabkan perubahan titik leleh yang signifikan (tetap berada pada kisaran 160-163 ^{o}C). Identifikasi dengan *Fourier Transform Infrared* (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 menunjukkan tidak ada perubahan yang signifikan antara PP murni dan PP daur ulang. Di sisi lain, hasil uji tarik PP daur ulang menunjukkan bahwa kuat tarik lebih rendah 22,1% daripada PP murni, modulus *Young* turun 8,1%, dan *strain-at-break* berkurang secara drastis sebesar 65,7%. Uji kekerasan pada PP daur ulang komersial menunjukkan bahwa kekerasan relatif tidak berubah. Pengamatan permukaan dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) memperlihatkan PP daur ulang komersial memiliki permukaan yang relatif lebih datar dengan ukuran butir lebih kecil dibandingkan dengan permukaan PP murni, yang menunjukkan bahwa bahan PP daur ulang komersial lebih *brittle* dibandingkan PP daur ulang. Hasil ini mendukung hasil uji tarik dimana terjadi penurunan signifikan pada *strain-at-break* PP daur ulang komersial. Dapat disimpulkan bahwa PP daur ulang memiliki sifat mekanik yang sama dengan PP murni, sehingga layak digunakan sebagai gantungan pakaian.

Abstract

Comparative Studies on Mechanical Properties of As-received and Recycled Polypropylenes Characteristic of Pure and Recycled Polypropylene. In this study, the mechanical properties and the fracture areas of as-received, recycled, and commercial recycled Polypropylenes (PPs) used for cloth hanger materials were compared. Differential Scanning Calorimetry (DSC) test results showed that recycling process did not cause a significant change to the material's melting point, which stayed in a range of 160-163 ^{o}C. Meanwhile, Fourier Transform Infrared (FTIR) test results showed that the commercial recycled PPs contained of polyethylene (PE), which was not found in the as-received and recycled PPs. Tensile and hardness tests demonstrated that there were no significant differences between the as-received and recycled PPs. In contrast, tensile test results of the commercial recycled PPs showed that the tensile strength, Young modulus and strain-at-break were lower than those of the as-received PPs by 22.1%, 8.1% and 65.7% respectively. The hardness test results of the commercial recycled PPs showed that the recycling process had a little effect on the material's hardness. These facts were supported by Scanning Electron Microscope (SEM) observation on the surface that the contour of the commercial recycled PPs was relatively flatter and had smaller grain size than those of the as-received PPs. This indicated that the commercial recycled PPs were more brittle compared to the recycled PPs. To conclude, the recycled PPs have similar properties to the as-received PPs so that recycled PPs are suitable to be applied as cloth hanger application.

Keywords: DSC, FTIR, hardness, polypropylene, SEM, tensile strength

1. Pendahuluan

Polypropylene (PP) adalah termoplastik yang serba guna dan banyak ditemukan dalam pemakaian sehari-hari di rumah dan dalam bidang industri, misalnya pengemas makanan, bahan tekstil, peralatan laboratorium, loudspeaker, komponen otomotif, penjilid buku/*binder* dan gantungan pakaian [1-3].

Melalui pembanding sifat termal, sifat mekanik dan pengamatan morfologi permukaan patahan antara PP murni, PP daur ulang dan PP daur ulang komersial, maka kelayakan penggunaan PP daur ulang dapat diketahui. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan struktur dan sifat mekanik PP murni, PP daur ulang dan daur ulang komersial sehingga dapat diketahui performa masing-masing bahan.

2. Metode Penelitian

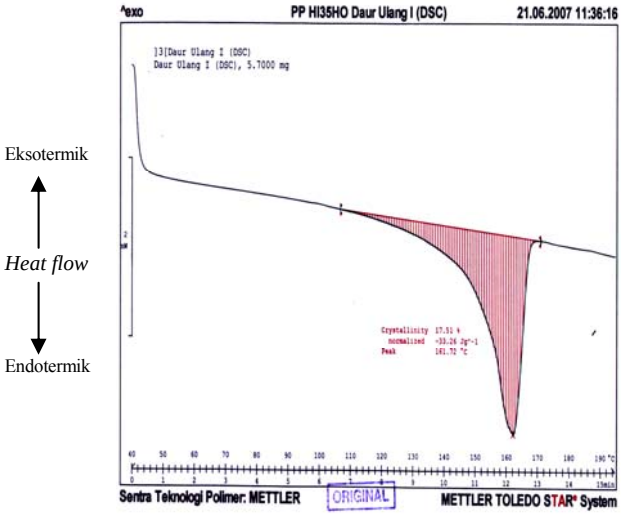
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah PP homopolimer HI35HO dan PP daur ulang komersial yang mudah dibeli di pasaran. Sampel PP HI35HO diproses dengan *Injection Molding Machine* (IMM), untuk mendapatkan bentuk dan ukuran sampel yang sesuai dengan *American Society for Testing and Materials* (ASTM) D638 untuk sampel uji tarik. Sampel ini disebut sebagai sampel PP murni. Selanjutnya, 5 (lima) sampel PP murni diuji dengan DSC berdasarkan ASTM D3418, diidentifikasi dengan FTIR sesuai ASTM E1252 dan uji kekerasan berdasarkan ASTM D2240 (*Shore Hardness D*).

Sepuluh sampel PP murni diproses lagi dengan IMM dan diperoleh sampel PP daur ulang 1. Pengujian yang sama dilakukan pada sampel PP daur ulang 1. Sedangkan sampel PP daur ulang 2 diperoleh dari sampel PP daur ulang 1 dengan cara yang sama serta mengalami pengujian yang sama. Sampel PP daur ulang komersial diproses dengan cara dan pengujian yang sama dengan bahan sebelumnya. Terakhir, pengamatan morfologi permukaan patahan akibat uji tarik pada seluruh sampel dilakukan dengan SEM.

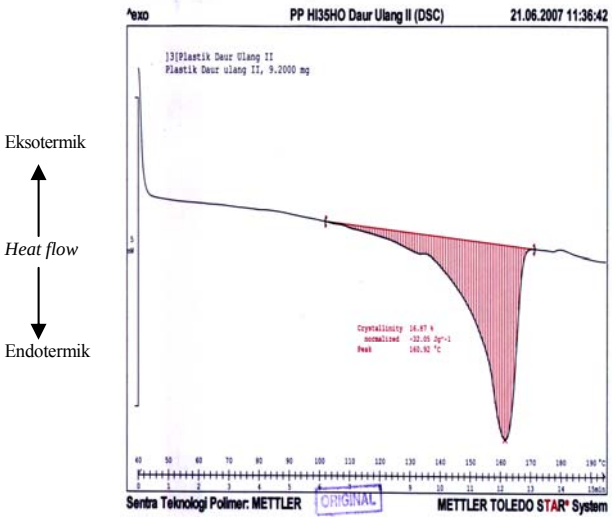
3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 1(a), 1(b) dan 1(c) menunjukkan hasil pengamatan dengan DSC pada bahan PP daur ulang 1, PP daur ulang 2 dan PP daur ulang komersial. Tidak ada perubahan yang signifikan pada nilai titik leleh (T_m), yaitu 161,72 ^oC untuk PP daur ulang 1 dan 160,92 ^oC untuk PP daur ulang 2 Gambar 1 (a) dan (b). Angka-angka ini sesuai dengan angka referensi [3-5]. Kristalinitas dan jumlah kalor per massa pelelehan dari PP daur ulang 1 masing-masing sebesar 17,51 % dan 33,26 J/g, sedangkan untuk PP daur ulang 2 masing-masing sebesar 16,87 % dan 32,05 J/g.

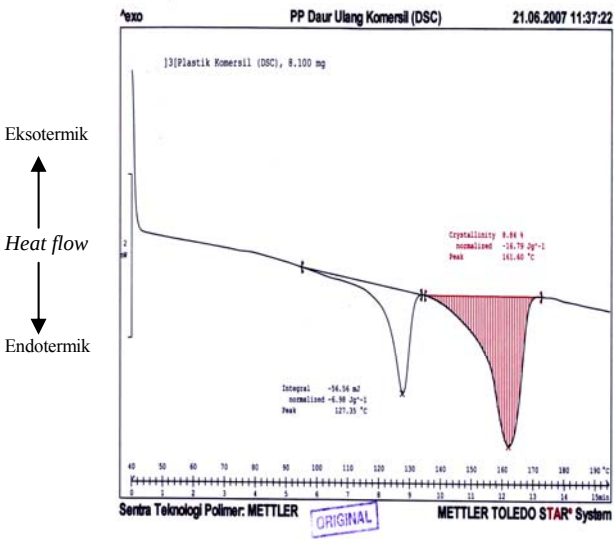
PP daur ulang komersial mempunyai dua puncak T_m, yaitu 127,35 ^oC dan 161,60 ^oC pada Gambar 1(c). Ini berarti, PP daur ulang komersial bukan termasuk homopolimer, melainkan kopolimer. Menurut data referensi, suhu leleh, T_m = 127,35 ^oC adalah titik leleh PE [4]. Selain itu, PP daur ulang komersial yang merupakan kopolimer PP dan PE, mengalami penurunan jumlah kalor per massa yang diserap dalam pelelehan sebesar 49,5 % dibandingkan dengan PP daur



Gambar 1(a). PP Daur Ulang 1



Gambar 1(b). PP Daur Ulang 2



Gambar 1(c). PP Daur Ulang Komersial

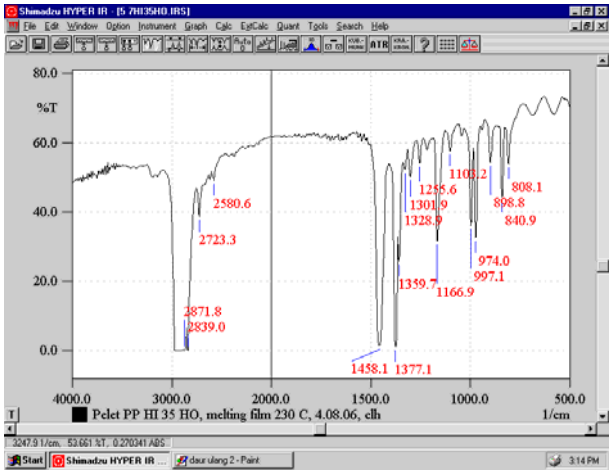
ulang pertama. Hal ini terjadi karena ada dua jenis polimer yang masing-masing jenisnya membutuhkan energi untuk pelelehan. Keberadaan monomer atau polimer PE pada rantai PP mengubah struktur kristal PP sehingga kristalinitas bahan menurun secara berarti menjadi 8,84 %.

Gambar 2(a), 2(b), 2(c), dan 2(d) serta Tabel 1 memperlihatkan hasil identifikasi sampel dengan FTIR untuk bahan PP murni, PP daur ulang 1, PP daur ulang 2 dan PP daur ulang komersial.

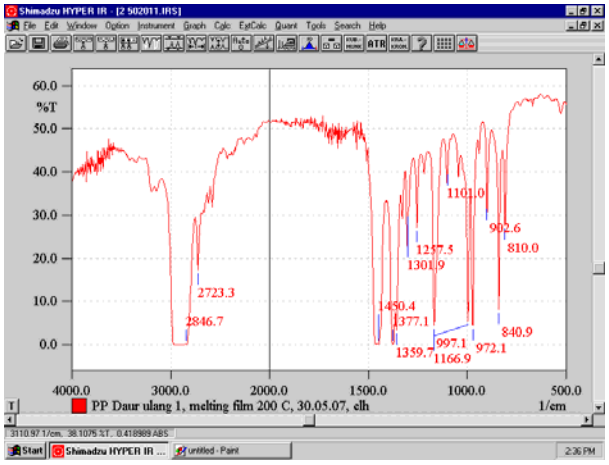
Tabel 1 memperlihatkan hasil pengukuran FTIR yang berupa bilangan gelombang puncak-puncak khas dari PP. Puncak-puncak FTIR untuk PP murni (referensi) mempunyai puncak vibrasi valensi CH_3-CH_2 (2957,5 cm^{-1}), puncak vibrasi deformasi CH_2 (1452,1 cm^{-1}), puncak vibrasi deformasi CH_3 (1376,5 cm^{-1}), serta lima buah puncak karakteristik PP. Kedelapan puncak FTIR yang diukur pada PP murni HI35HO mempunyai harga 1/λ yang mirip dengan puncak-puncak FTIR PP referensi [6]. Harga 1/λ vibrasi valensi CH_3-CH_2 bahan PP murni HI35HO, PP daur ulang 1 dan 2 mengecil dari 2871,8 cm^{-1} menjadi 2864,1 cm^{-1}, jadi energi vibrasi valensi semakin kecil. Sedangkan harga 1/λ vibrasi deformasi CH_2 berubah dari 1458,1 cm^{-1} menjadi 1460,0 cm^{-1}. Dengan demikian, energi vibrasi deformasi semakin besar. Dalam hal ini, ada perubahan lingkungan molekul CH_3 dan CH_2 yang berkaitan dengan kristalinitas dan pemanasan ulang.

Harga 1/λ vibrasi deformasi CH_3 relatif sama, yang berarti energi vibrasi deformasi CH_3 sama atau pemanasan ulang tidak mempengaruhi deformasi CH_3. Nilai 1/λ kelima puncak karakteristik PP daur ulang tepat sama dengan nilai 1/λ kelima puncak karakteristik PP murni.

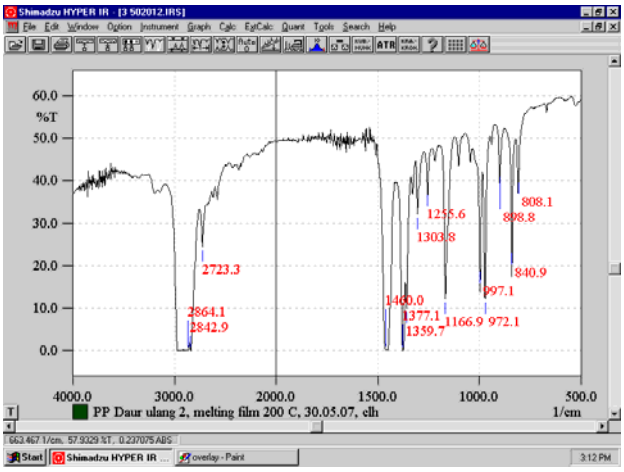
Temuan yang menarik dari riset ini munculnya harga 1/λ = 719,4 cm^{-1} yang merupakan puncak karakteristik polyethylene (PE) [7]. Hasil ini mendukung hasil pengukuran DSC yang menggambarkan adanya kandungan PE pada bahan PP daur ulang komersial. Energi vibrasi valensi CH_3-CH_2 jauh mengecil dan



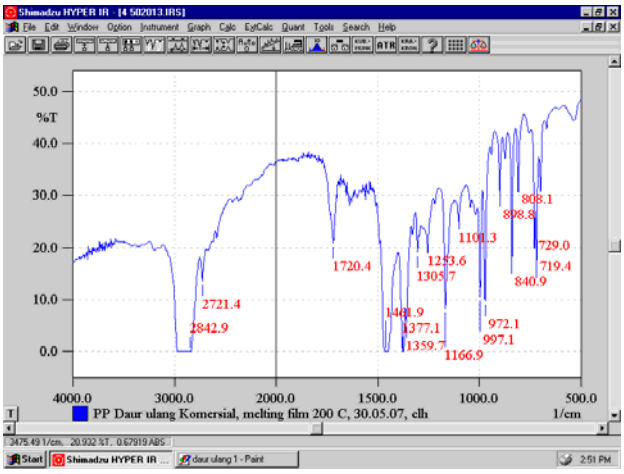
Gambar 2(a). Identifikasi FTIR PP Murni



Gambar 2(b). Identifikasi FTIR PP Daur Ulang 1



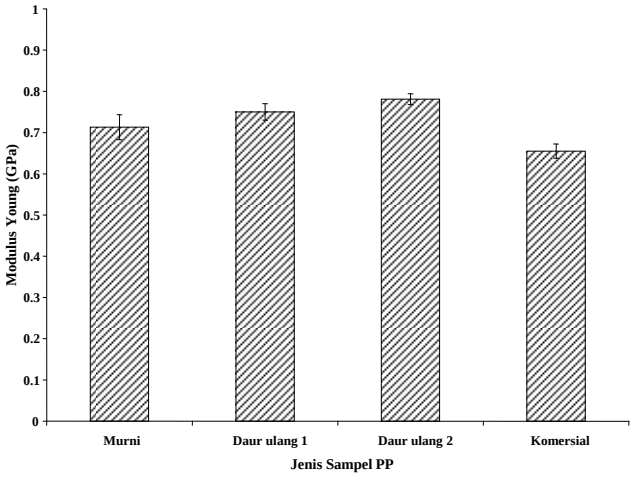
Gambar 2(c). Identifikasi FTIR PP Daur Ulang 2



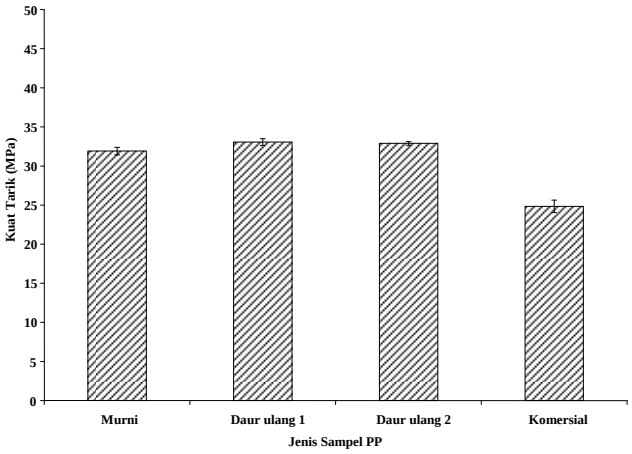
Gambar 2(d). Identifikasi FTIR PP Daur Ulang Komersial

Tabel 1. Hasil Pengukuran FTIR untuk PP Murni dan PP Daur Ulang

Hasil pengukuran FTIR	1/λ (cm^{-1})								
	Vibrasi valensi	Vibrasi deformasi	Vibrasi deformasi	Lima puncak karakteristik PP					PE
	CH_3-CH_2	CH_2	CH_3	1	2	3	4	5	
PP referensi [5]	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



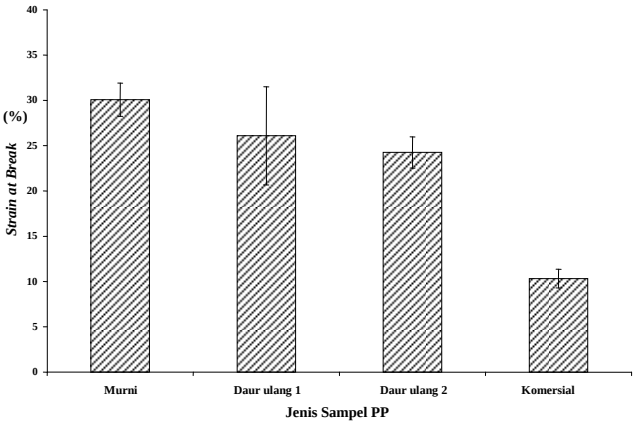
Gambar 3(a). Modulus Young PP Murni dan PP Daur Ulang



Gambar 3(b). Kuat Tarik PP Murni dan PP Daur Ulang

energi vibrasi deformasi CH_2 membesar dibandingkan dengan kedua energi milik PP murni. Hal ini wajar terjadi keberadaan polimer polyethylene di dalam PP mempengaruhi ikatan CH_3 dan CH_2 pada rantai utama PP.

Gambar 3(a), 3(b) dan 3(c) menunjukkan hasil uji tarik PP murni, PP daur ulang dan PP daur ulang komersial, yaitu modulus Young, kuat tarik dan *strain-at-break*.



Gambar 3(c). *Strain-at-break* PP Murni dan PP Daur Ulang

Secara umum dapat dikatakan bahwa tidak ada perubahan yang signifikan pada modulus Young dan kuat tarik bahan PP murni, PP daur ulang 1 dan PP daur ulang 2. Sebaliknya, ada penurunan modulus Young dan kuat tarik masing-masing sebesar 8,1% dan 22,1% untuk PP daur ulang komersial. Penurunan ini wajar terjadi karena PP daur ulang komersial merupakan campuran antara PP dan PE. Jadi harga modulus Young dan kuat tarik yang diperoleh merupakan perpaduan antara harga modulus Young dan kuat tarik dari masing-masing PP dan PE.

Khusus *strain-at-break* ada perbedaan yang besar antara bahan PP murni dan daur ulangnya, masing-masing untuk PP daur ulang 1, PP daur ulang 2 dan PP daur ulang komersial menurun sebesar 13,3%, 19,3% dan 65,7%. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut: Keliatan/*ductility* bahan polimer sangat tergantung pada proses. Polimer yang sudah mengalami pemanasan berkali-kali akan cenderung menjadi getas/*brittle*, karena derajat kristalinitasnya berkurang.

Nilai *strain-at-break* tertinggi, yaitu 30%, dimiliki oleh PP murni, sedangkan nilai *strain-at-break* terendah, yaitu 10%, dimiliki oleh PP daur ulang komersial. PP daur ulang komersial mempunyai nilai *strain-at-break* yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan PP daur ulang. Didukung dengan data dari DSC, hal ini wajar

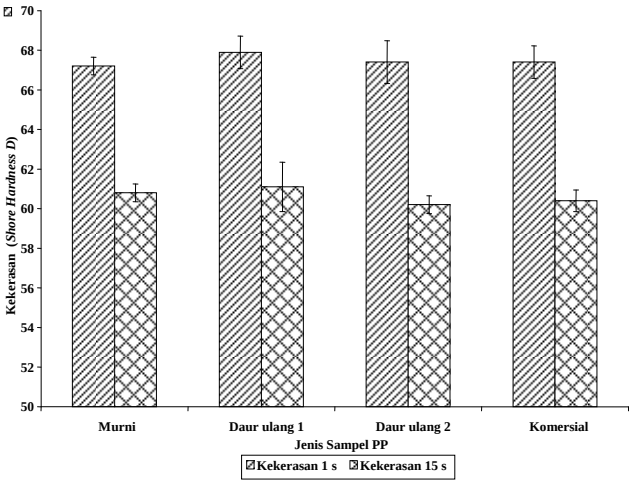
terjadi karena PP daur ulang komersial merupakan bahan kopolimer dengan kristalinitas rendah.

Gambar 4 menunjukkan grafik kekerasan PP murni dan PP daur ulang untuk waktu tekan masing-masing 1 detik dan 15 detik. Kekerasan bahan dapat dikatakan relatif sama untuk semua sampel dan untuk kedua waktu tekan. Untuk semua sampel, penekanan selama 15 detik mempunyai harga kekerasan yang lebih kecil dari pada harga kekerasan dengan penekanan satu detik. Hal ini disebabkan oleh sifat *"resilience"* dari materi karet dan plastik. Dalam hal ini PP termasuk dalam kategori bahan plastik [8] sehingga penekanan dalam waktu lama memiliki kekerasan lebih kecil.

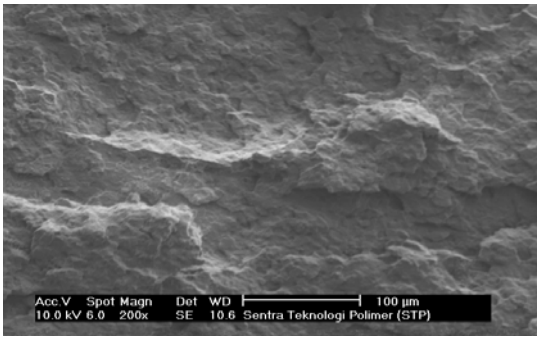
Gambar 5(a)-(d) menunjukkan citra SEM permukaan patahan PP murni dan PP daur ulang. Citra SEM pada bahan PP murni, PP daur ulang 1 dan PP daur ulang 2 tidak begitu berbeda, tetapi ada perbedaan yang cukup besar dengan PP daur ulang komersial dimana tekstur pada permukaan PP daur ulang komersial mempunyai "pola pulau" lebih halus dibandingkan dengan kedua "pola pulau" PP daur ulang 1 dan PP daur ulang 2.

Jika kedua permukaan yang kontras tersebut dibandingkan, dapat dijelaskan bahwa bahan dengan "pola pulau" yang cukup besar ini menunjukkan bahwa bahan bersifat liat, sedangkan permukaan dengan "pola pulau" yang yang relatif lebih kecil atau datar menunjukkan bahwa bahan bersifat lebih getas. Citra SEM ini juga mendukung hasil pengukuran DSC, FTIR, dan uji mekanik.

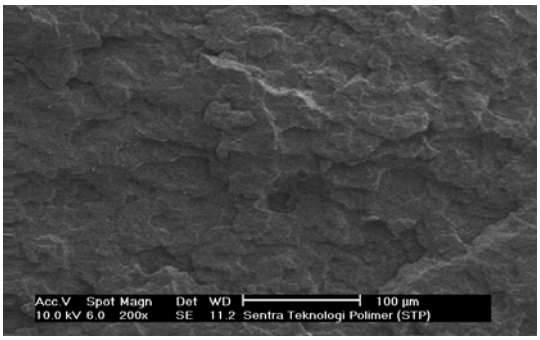
Jika dipandang dari segi keamanan dan performa, PP daur ulang komersial aman digunakan sebagai gantungan pakaian. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa PP daur ulang dapat diproses kembali sampai harga *strain-at-break* tidak kurang dari 10% seperti yang dimiliki oleh PP daur ulang komersial.



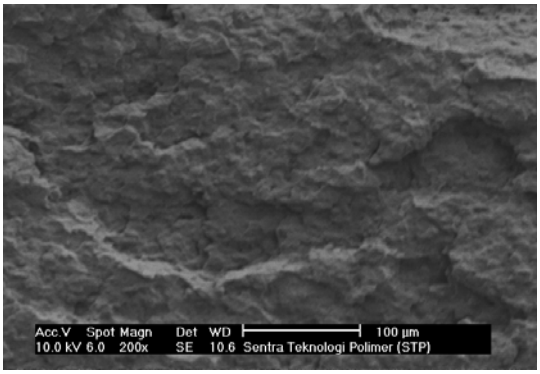
Gambar 4. Kekerasan PP Murni , PP Daur Ulang dan PP Daur Ulang Komersial untuk Kekerasan 1 s dan Kekerasan 15 s



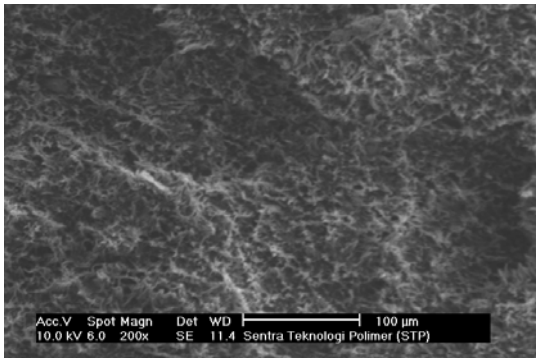
Gambar 5(a). Citra SEM Permukaan Patahan PP Murni



Gambar 5(b). Citra SEM Permukaan Patahan PP Daur Ulang 1



Gambar 5(c). Citra SEM Permukaan Patahan PP Daur Ulang 2



Gambar 5(d). Citra SEM Permukaan Patahan PP Daur Ulang Komersial

4. Simpulan

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa bahan PP mempertahankan sifat-sifat mekaniknya melalui proses daur ulang sebanyak dua kali melalui proses *injection molding* kecuali sifat keliatan (*ductility*) yang berkurang hanya 19,3%. penggunaan PP daur ulang dua kali masih layak digunakan untuk gantungan pakaian dan aplikasi non struktural lainnya. Sedangkan PP daur ulang komersial mempunyai sifat mekanik yang menurun dan lebih getas dibandingkan PP daur ulang. Penggunaan komersial PP daur ulang komersial harus memperhatikan aplikasi yang tidak mengandalkan keliatan dan secara umum juga layak digunakan untuk aplikasi non-struktur. Pada PP daur ulang komersial, diperlukan adanya pemisahan PP dan PE sehingga penggunaan bahan daur ulang PP maupun bahan daur ulang PE masing-masing dapat lebih efektif, tanpa adanya perubahan sifat mekanik yang signifikan, sesuai dengan kebutuhan.

Daftar Acuan

[1] W.D. Callister, Jr., Materials Science and Engineering, An Introduction, 2nd ed, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2005, p.844.

[2] F.W. Billmeyer, Jr., Text Book of Polymer Science, 3rd ed, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1984, p.368.

[3] J.R. Fried, Polymer Science and Technology, Prentice Hall International, New Jersey, 1995, p.290.

[4] M. Sepe. Plastic Today, The Materials Analyst, Part 66, IMM, 2005.

[5] B. Degamber, D. Winter, J. Tetlow, M. Teagle, G.F. Fernando, Rapid Communication 15 (2004) 5.

[6] Anon., Training on Plastics Engineering, Infrared Spectroscopy Evaluation of Spectra, Austrian Plastics Institute, 1999.

[7] M. Sepe. Plastic Today, The Materials Analyst, Part 20, IMM, 1999.

[8] Anon., Shore (Durometer) Hardness Testing of Plastics, *http://www.MatWeb.com/reference/shorehardness.aspx*. 2008.