



Perbandingan Sifat Kekerasan dan Penyusutan Produk Berbahan Dasar Polipropilena Murni dan Campuran Hasil Pemanasan Berulang

Singgih Prabowo^{1,a)}, Mochamad Chalid², dan Dasep Rusmana³

^{1,2}Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, 16424, Indonesia

³Pusat Riset Teknologi Polimer - Badan Riset dan Inovasi Nasional, 15314, Indonesia

E-mail: ^{a)}singgih.prabowo91@ui.ac.id

Diterima: 8 Oktober 2021

Direvisi: 18 Oktober 2021

Disetujui: 24 Oktober 2021

Abstrak: Bahan baku polipropilena (PP) memiliki cakupan luas dalam hal produk yang bisa dihasilkan, mulai dari alat-alat rumah tangga hingga industri. PP yang memiliki keunggulan dapat dibentuk ulang memberikan potensi pemakaian ulang bahan baku yang telah melalui proses pemanasan. Penelitian mengenai perbandingan sifat kekerasan dan penyusutan terhadap produk PP murni dan campuran PP yang telah mendapat pemanasan berulang sebanyak enam kali di dilakukan untuk melihat potensi penggunaannya. Hasil penelitian menunjukkan penurunan sifat kekerasan dan peningkatan penyusutan terjadi seiring penambahan komposisi PP hasil pemanasan ulang. Kekerasan PP 100% murni dibandingkan dengan PP 100% pemanasan ulang ke enam turun sebesar 5% yaitu dari 60,4 Shore D dan 57,4 Shore D. Penyusutan produk masih dibawah 2% baik arah panjang maupun arah lebar. Penyusutan pada arah panjang lebih besar dibandingkan arah lebar, pada produk PP murni terjadi penyusutan sebesar 1,43% pada arah panjang dan 1,35% arah lebar, sedangkan pada produk PP 100% pemanasan ulang arah panjang mencapai 1,65% dan arah lebar 1,61%. Penurunan ini menunjukkan bahwa material PP yang telah melalui pemanasan berulang mengalami degradasi walaupun tidak signifikan. Perubahan sifat mekanik (kekerasan) dan fisik (penyusutan) ini sebagai pertimbangan dalam pemilihan bahan dasar murni atau campuran agar mendapatkan produk sesuai dengan spesifikasi dengan memanfaatkan bahan dari sisa produk yang tidak terpakai.

Kata kunci: Polipropilena, kekerasan, penyusutan

Abstract: The raw material for polypropylene (PP) has a wide range of products that can be produced, ranging from household appliances to industry. PP, which has the advantage of being able to be reshaped, provides the potential for reuse of raw materials that have gone through the heating process. Research on the comparison of hardness and shrinkage properties of pure PP products and PP mixtures that have been reheated six times was carried out to see their potential use. The results showed a decrease in hardness and an increase in shrinkage occurred with the addition of PP composition resulting from reheating. The hardness of 100% pure PP compared to 100% PP on the sixth reheat decreased by 5%, namely from 60.4 Shore D and 57.4 Shore D. Product shrinkage was still below 2% in both the length and width directions. The shrinkage in the long direction is greater than the width direction, in pure PP products there is a shrinkage of 1.43% in the long direction and 1.35% in the width direction, while in 100% PP products, reheating in the long direction reaches 1.65% and the width direction. 1.61%. This decrease indicates that PP material that has been through repeated heating has degraded although not significantly. Changes in mechanical (hardness) and physical (shrinkage) properties are taken into consideration in the selection of pure or mixed basic materials in order to obtain products according to specifications by utilizing materials from unused product residues.

Keywords: Polypropylene, hardness, shrinkage

PENDAHULUAN

Polimer termoplastik jenis polipropilena (PP) merupakan salah satu bahan yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari baik dalam rumah tangga maupun industri. Aplikasi produk PP antara lain untuk kemasan, tekstil, alat tulis, alat laboratorium, speaker dan komponen otomotif. Luasnya aplikasi material PP secara tidak langsung memberikan peringatan akan bahaya limbah dimasa depan. Salah satu upaya mengurangnya adalah dengan daur ulang atau pembentukan ulang. Produk hasil pembentukan ulang dapat menyebabkan kerugian ekonomi dibandingkan dengan produk dari bahan dari murni [1,2]. Walaupun begitu pembentukan ulang dibandingkan dengan penimbunan dan pembakaran dampak ekologi dan ekonomi dari produk yang tidak terpakai lebih ramah terhadap lingkungan [3].

Ada dua bahan yang dapat digunakan dalam pembentukan ulang produk yaitu dari limbah produk yang telah digunakan dan limbah produk sisa produksi yang belum digunakan tetapi telah melalui proses pembentukan/pemanasan. Sisa bahan yang telah melalui proses pemanasan banyak dijumpai pada produk hasil *injection molding* yaitu pada bagian *runner*. Penerapan spesifikasi untuk produk tertentu perlu dinilai kasus per kasus karena kualitasnya persyaratan sering kali berbeda pada tiap produk [4]. Salah satu contoh aplikasi material PP pada komponen otomotif adalah bagian pijakan kaki (*footstep*). Produk ini umumnya dicetak menggunakan alat *injection molding*. Karena penggunaannya untuk pijakan maka satu tuntutan produk dengan bahan dasar PP pada komponen ini adalah kemampuannya dalam hal menahan beban *indentasi* atau penetrasi yang digambarkan dengan sifat kekerasannya. Sebagai polimer yang akan digunakan kembali, berapa kali diproses (dipanaskan kembali dan dibentuk ulang) mulai mempengaruhi sejumlah properti, seperti impak dan kekuatan tarik, kekerasan, *durability*, warna, penampilan dan tingkat pengotor dalam produk akhir [5,6]. Selain dari sisi sifat mekanik, proses pembentukan plastik dengan *injection molding* memiliki permasalahan umum yang sering terjadi pada industri injeksi plastik yaitu adanya penyusutan pada produk hasil proses injeksi. Penyusutan merupakan suatu cacat berupa perubahan dimensi produk hasil proses *injection molding*. Penyusutan ini berdampak langsung dalam hal dimensi produk. Untuk itu diperlukan kajian untuk mengetahui efek dari pemanasan berulang terhadap sifat mekanik (kekerasan) dan perubahan dimensi fisik produk (penyusutan). Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan efek komposisi dan parameter pemrosesan produk PP terhadap sifat fisik dan mekaniknya [7-11].

Penelitian mengenai produk dengan bahan PP murni dan campuran bahan PP yang telah melalui proses pemanasan berulang sebanyak enam kali lalu dicetak kembali dengan mesin *injection molding* dilakukan untuk melihat perbandingan sifat kekerasan dan penyusutan produk setelah di cetak.

METODOLOGI

Bahan utama dalam penelitian ini adalah biji plastik PP Copolymer (Cosmoplene) FC9413P diproduksi oleh The Polyolefin Company (Singapore) Pte. Ltd. Pembuatan sampel yaitu biji plastik PP Copolymer diproses pemanasan dengan alat *single screw extruder* merk Collin GMBH D-85560 untuk mendapatkan biji plastik pemanasan ulang ke-1, selanjutnya biji plastik ke-1 proses kembali dengan alat yang sama untuk mendapatkan biji plastik ke-2. Proses tersebut dilakukan berulang sampai didapatkan biji plastik PP pemanasan ulang ke-6. Biji plastik PP pemanasan ulang ke-6 dicampur dengan biji plastik PP murni dengan rasio tertentu (Tabel 1), hasil pencampuran diproses menggunakan alat *injection molding* merk Battenfeld BA 400 CDC untuk pembuatan spesimen uji dengan ukuran 60x60x2 mm.

Tabel 1. Rasio komposisi campuran biji plastik PP

Sampel	PP Pemanasan Berulang ke-6 (%)	PP Murni (%)
1	0	100
2	10	90
3	30	70
4	50	50
5	70	30
6	90	10
7	100	0

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D2240. Pengujian ini menggunakan alat Durometer Shore D SHR-D-GOLD SR. No.15298 dengan ukuran spesimen uji 60x60x2 mm. Selanjutnya

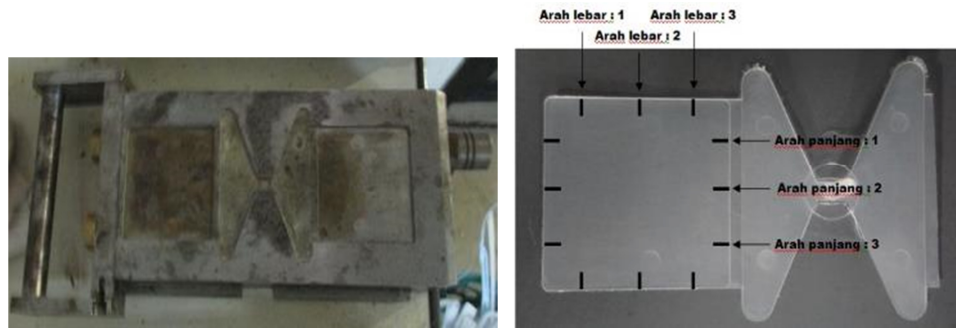
pengukuran penyusutan dilakukan pada arah sejajar aliran lelehan (diukur sebagai panjang) dan tegak lurus aliran lelehan (diukur sebagai lebar). Pengukuran dilakukan pada ruang dengan kondisi $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $50 \pm 10 \text{ } \%$ RH. Pengukuran dimensi dilakukan pada 3 (tiga) titik berbeda, pada masing-masing arah (3 pada arah panjang dan 3 pada arah lebar) seperti Gambar 1. Nilai penyusutan dirata-rata dari ketiga titik pada masing-masing arah pengukuran. Nilai penyusutan dihitung dengan membandingkan dimensi cetakan (*mold*) dan sampel hasil *injection molding* setelah 168 jam keluar dari *mold*, dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Penyusutan Panjang (mm)} = \text{Panjang Sampel Setelah 168 Jam} - \text{Panjang Cavity Mold} \quad (1)$$

$$\text{Penyusutan Lebar (mm)} = \text{Lebar Sampel Setelah 168 Jam} - \text{Lebar Cavity Mold} \quad (2)$$

$$\text{Penyusutan Panjang (\%)} = \frac{(\text{Panjang Sampel Setelah 168 Jam} - \text{Panjang Cavity Mold})}{\text{Panjang Cavity Mold}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{Penyusutan Lebar (\%)} = \frac{(\text{Lebar Sampel Setelah 168 Jam} - \text{Lebar Cavity Mold})}{\text{Lebar Cavity Mold}} \times 100\% \quad (4)$$



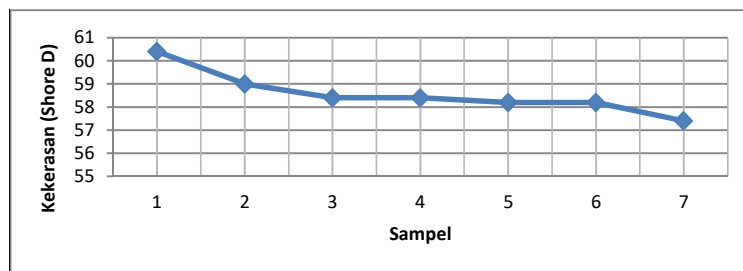
Gambar 1. Cetakan *injection molding* (kiri) dan arah pengukuran penyusutan (kanan)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini didapatkan penurunan linear pada sifat kekerasan dan peningkatan penyusutan seiring bertambahnya komposisi PP pemanasan ulang.

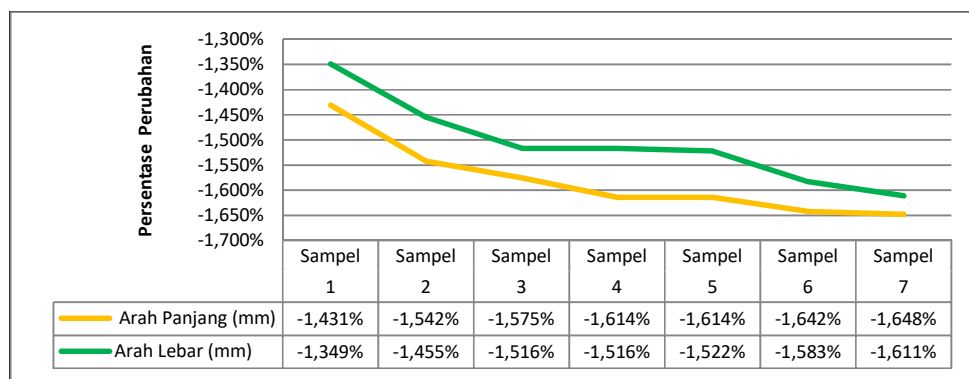
Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan

Sampel	Pemanasan Berulang ke-6 (%)	PP Murni (%)	Kekerasan (Shore D)
1	0	100	60,4 ± 1,7
2	10	90	59,0 ± 2,0
3	30	70	58,4 ± 2,1
4	50	50	58,4 ± 1,1
5	70	30	58,2 ± 2,0
6	90	10	58,2 ± 0,4
7	100	0	57,4 ± 2,4



Gambar 2. Grafik nilai kekerasan shore D PP pemanasan ulang ke-6 dan PP murni**Tabel 3.** Hasil Pengukuran Penyusutan

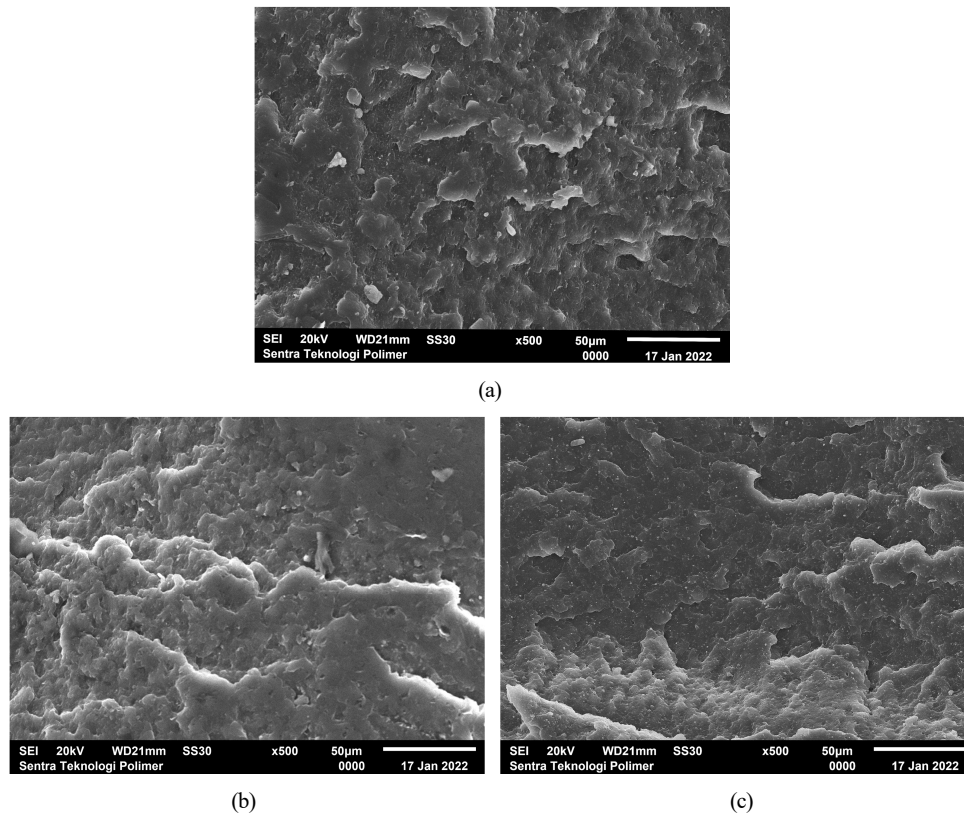
Sampel	Penyusutan (mm)		Penyusutan (%)	
	Arah Panjang	Arah Lebar	Arah Panjang	Arah Lebar
1	-0.86	-0.81	-1.43	-1.35
2	-0.92	-0.87	-1.54	-1.45
3	-0.94	-0.91	-1.58	-1.52
4	-0.97	-0.91	-1.61	-1.52
5	-0.97	-0.91	-1.61	-1.52
6	-0.98	-0.95	-1.64	-1.58
7	-0.99	-0.96	-1.65	-1.61

**Gambar 3.** Grafik persentase penyusutan PP pemanasan ulang ke-6 dan PP murni

Nilai kekerasan tertinggi adalah sampel 1 yaitu 100% PP murni sebesar 60,4 shore D dan terendah pada sampel 7 yaitu 100% PP pemanasan ulang ke-6 sebesar 57,4 shore D seperti terlihat pada Tabel 2. Hasil pengukuran penyusutan pada arah panjang didapatkan penyusutan terkecil terjadi pada sampel 1 yaitu 0,86 mm (-1,43%), dan nilai penyusutan terbesar pada sampel 7 yaitu -0,99 mm (-1,65%). Pada arah lebar dimana penyusutan terkecil terjadi pada sampel 1 yaitu 0,81 mm (-1,35%) dan terbesar pada sampel 7 yaitu -0,96 mm (-1,61%) seperti terlihat pada Tabel 3.

Sejalan dengan penelitian sebelumnya, semakin banyak jumlah komposisi PP pemanasan ulang ke-6 maka nilai kekerasannya semakin menurun dan tingkat penyusutannya semakin besar [5,6]. Hal ini dimungkinkan terjadi karena akibat pemanasan berulang yang menyebabkan biji plastik PP mengalami degradasi sehingga menyebabkan kekerasannya menurun dan juga peningkatan sifat alirannya (semakin encer) yang menyebabkan potensi penyusutan lebih besar seiring bertambahnya komposisi PP pemanasan ulang. Penyusutan umumnya mengarah ke tengah produk atau *center grafty* produk, karena dalam satu cetakan terdapat dua produk kanan dan kiri dengan *gate* berada ditengah dan runner sebagai penghubung kemungkinan *center grafty* produk bergeser sedikit kearah tengah *gate* sehingga jarak pinggir arah panjang lebih jauh dibandingkan arah lebar, hal ini yang mungkin menyebabkan penyusutan pada arah panjang lebih besar daripada arah lebar.

Gambar 4(a)-(c) menunjukkan citra SEM permukaan PP murni dan PP pemanasan ulang. Citra SEM pada sampel 1 bahan PP murni, sampel 4 bahan PP dengan komposisi 50% murni + 50% daur ulang dan sampel 7 bahan PP daur ulang 100% sedikit berbeda. Perbedaan yang cukup terlihat dimana "pola pulau" pada permukaan PP murni memiliki "pola pulau" yang cenderung halus dan kecil-kecil (homogen) sedangkan PP pemanasan ulang baik sebagian maupun 100% mempunyai "pola pulau" yang cenderung besar dan tidak homogen.



Gambar 4. (a) Citra SEM permukaan PP 100% murni, (b) PP 50% murni + 50% pemanasan ulang dan (c) PP 100% pemanasan ulang.

PP hasil pemanasan ulang merupakan produk daur ulang sehingga mengalami penurunan sifat termalnya akibat pemanasan berulang yang diterimanya [12]. Perbedaan sifat termal PP murni dan PP pemanasan ulang jika bercampur memungkinkan mempengaruhi struktur mikro yang terbentuk sehingga didapatkan "pola pulau" yang berbeda-beda. "Pola pulau" yang berbeda ini yang mempengaruhi sifat kekerasan serta potensi penyusutannya. Pola yang homogen mengindikasikan bahwa PP murni memiliki struktur padat sehingga kekerasannya lebih baik dan potensi penyusutannya akan lebih kecil dibandingkan PP hasil pemanasan ulang yang tidak homogen dan potensi penyusutannya lebih besar pada bagian yang tidak padat. "Pola pulau" yang terbentuk dan penurunan sifat kekerasan pada produk daur ulang ini sejalan dengan penelitian sebelumnya [12].

KESIMPULAN

Penurunan kekerasan Produk PP linear terjadi seiring penambahan komposisi PP pemanasan ulang. Perbandingan nilai kekerasan produk dengan PP 100% murni dengan PP 100% hasil pemanasan berulang sebanyak enam kali adalah 60,4 Shore D dan 57,4 Shore D. Penyusutan dimensi produk pada arah panjang lebih besar dibandingkan arah lebar. Pada arah panjang penyusutan terbesar terjadi pada produk 100% daur ulang pada arah panjang yaitu sebesar -1,65% lebih besar daripada produk dengan bahan PP 100% murni sebesar -1,43%. Hal yang sama juga terjadi pada arah lebar dengan penyusutan terbesar -1,61% pada produk PP 100% daur ulang dan terendah -1,35% pada PP 100% murni. Pemanfaatan produk dengan bahan dasar PP pemanasan ulang harus mempertimbangkan spesifikasi minimum produk yang akan digunakan dan dalam hal pembuatan produk untuk mencapai dimensi yang sesuai hendaknya mempertimbangkan potensi penyusutan yang mungkin terjadi pasca proses produksi sehingga dimensi produk yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Pusat Riset Teknologi Polimer – Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia yang telah mendukung dalam hal sarana dan fasilitas sehingga tulisan ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Kamleitner, B. Duscher, T. Koch, S. Knaus, & V. M. Archodoulaki. 2017. “Long chain branching as an innovative up-cycling process of polypropylene post-consumer waste – Possibilities and imitations.” *Waste Management*, 68, 32–37. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.022>.
- [2] D. Weckström. 2012. Changes in mechanical properties of recycled polypropylene.
- [3] N. Rudolph, R. Kiesel, & C. Aumnate. 2017. Understanding plastic recycling. Munich: Hanser Publishers. Schmiederer, D., Gardock
- [4] H. Dahlbo, V. Poliakova, V. O. Mylläri, Sahimaa, & R. Anderson. 2018. “Recycling potential of post-consumer plastic packaging waste in Finland.” *Waste Management*, 71, 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.033>.
- [5] A. Valenza, F.P. La Mantia, Recycling of polymer waste: part II—Stress degraded polypropylene, *Polymer Degradation and Stability* 20 (1988) 63–73.
- [6] A. Valenza, F.P. La Mantia, Recycling of polymer waste: part 1—Photo-oxidized polypropylene, *Polymer Degradation and Stability* 19 (1987) 135–145.
- [7] M.J. Roberts and R. Russo. 2014. A Student's Guide to Analysis of Variance (New York: J & L Composition Ltd.)
- [8] A.A.S.M. Atiqah, H. Salmah, Z. Firuz, and D.N.U Lan. 2014. *Malaysian Journal of Analytical Science* 18 2 344–350
- [9] R. Zuraimi, M.A. Sulaiman, E. Mohamad and J.A. Ghani. 2017. *Journal of Advanced Manufacturing Technology* 11 151–164
- [10] H. Jmal, N. Bahlouli, C. Wagner-Kocher, D. Leray D., F. Ruch, J.N. Munsch, and M. Nardin. 2018. *Waste Management* 75 160-173
- [11] A. Wavare and S. Ubale. 2016. *International Journal of Engineering Research and General Science* 4 2 323-331.
- [12] B.J.H Jun dan A.L. Juwono. 2010. “ Studi Perbandingan Sifat Mekanik Polypropylene Murni dan Daur Ulang”. *MAKARA, SAINS*, VOL. 14,/NO. 1/APRIL 2010 : 95-100