

Pengaruh Beda Temperatur Proses Injeksi Terhadap Sifat Mekanis Bahan Polypropylene (PP) Daur Ulang

(Effect of Different Temperature in the Injection Process on the Mechanical Properties of Recycled Polypropylene (PP) Materials)

Jamirul Hakim^a, Johannes Wawan Joharwan^b, Martinus Heru Palmiyanto^b

^aUniversitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Brawijaya, Tamantirto, Bantul, Indonesia
0274) 387656
e-mail: jamirulhakim28@gmail.com

^bProgram Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta
Jalan Raya Solo-Baki KM. 2, Kwarasan, Solo Baru, Sukoharjo, Jawa Tengah, Indonesia
Telp. (0271) 621176, 621178 / Fax. (0271) 621178
Corresponding author, e-mail: joharwan.jw@gmail.com

Abstrak

Tujuan penelitian ini untuk melihat bagaimana perbedaan temperatur injeksi mempengaruhi sifat mekanik dan fraktografi bahan *polypropylene* daur ulang. Penelitian ini dilakukan dengan membuat spesimen *multipurpose* yang sama dengan ISO 294-1:2012 dengan material *polypropylene* daur ulang 2 kali dan proses fabrikasi mesin *injection molding* dengan kapasitas pengekaman 70 ton dengan material *polypropylene* daur ulang 2 kali. Pengujian dilakukan menggunakan uji tarik dengan ISO 527-1 dan uji impak dengan metode Charpy ISO 179. Uji impak patahan dianalisis dengan mikroskop optik digital untuk mengetahui fraktografi patahan spesimen. Hasil pengamatan mikroskop optik digital menunjukkan bahwa fraktografi pada spesimen PP daur ulang variasi temperatur injeksi 190°C, 220°C, dan 250°C tidak terlalu berbeda ada rongga di setiap spesimen hasil patahan uji impak. Rongga pada spesimen dapat menurunkan nilai mekanisnya didukung dari hasil uji mekanis.

Kata kunci: *polypropylene*, daur ulang, *injection molding*, kekuatan tarik, kekuatan impak, fraktografi

Abstract

The purpose of this study was to see how the differences in injection temperature affect the mechanical and fractographic properties of recycled polypropylene materials. This research was conducted by making the same multipurpose specimen with ISO 294-1: 2012 with 2 times recycled polypropylene material and fabricating an injection molding machine with a clamping capacity of 70 tons with 2 times recycled polypropylene material. The test was carried out using a tensile test with ISO 527-1 and an impact test using the Charpy ISO 179 method. The fracture impact test was analyzed using a digital optical microscope to determine the fracture fracture of the specimen. The results of digital optical microscope observations show that the fractography of recycled PP specimens with the variation of injection temperature 190 ° C, 220 ° C, and 250 ° C is not too different, there is a cavity in each specimen resulting from the impact test fracture. The cavity in the specimen can decrease its mechanical value, supported by the results of mechanical tests.

Keywords: *polypropylene*, recycling, *injection molding*, tensile strength, impact strength, fractography

1. PENDAHULUAN

Semakin meningkatnya penggunaan plastik dapat menimbulkan dampak negatif seperti pencemaran lingkungan dan sampah plastik membutuhkan waktu yang panjang

untuk bisa hancur dan terurai. Pemakaian produk berbahan plastik mempunyai dampak yang buruk terhadap lingkungan. Sahwan dkk [1] melakukan penelitian tentang permasalahan daur ulang limbah sampah plastik. Hasil penelitian menyebutkan bahwa persentase penggunaan limbah sampah plastik relatif meningkat yaitu pada tahun 1981 sebesar 3,67% sampai tahun 2002 sebesar 8,88%. Hasil ini terus meningkat sehingga diperlukan penanganan yang serius dalam menghadapi limbah sampah plastik.

Bernadeth dan Ariande [2] melakukan penelitian tentang perbandingan sifat mekanik *polypropylene* murni dengan daur ulang. Penelitian ini menggunakan *polypropylene* murni dan *polypropylene* komersial yang biasa digunakan sebagai gantungan baju. Hasil perbandingan kekuatan tarik dan uji kekerasan pada plastik *polypropylene* murni dan daur ulang tidak ada perubahan yang signifikan. Hasil dari kekuatan tarik *PP* daur ulang itu lebih rendah dari *PP* murni yang berkisar 22,1%, pada modulus young juga rendah 8,1% dan berkurang drastis pada *strain-at break* sebesar 65,7%. Dari hasil tersebut *PP* daur ulang masih mempunyai sifat mekanik yang sama dengan *PP* murni, di mana *PP* daur ulang masih layak digunakan untuk aplikasi non-struktural lainnya.

Tiwan [3] melakukan penelitian dengan *PP* murni dan *PP* daur ulang. Hasil uji tarik dan uji kekerasan menunjukkan terdapat perubahan antara *PP* murni dengan *PP* daur ulang. Hasil uji tarik *PP* daur ulang menunjukkan bahwa kuat tariknya lebih rendah 22,1% daripada *PP* murni. Pengujian kekerasan dilakukan dengan *scanning electron microscope (SEM)* memperlihatkan *PP* daur ulang memiliki permukaan lebih datar dengan ukuran butiran lebih kecil dibandingkan dengan permukaan *PP* murni, yang menunjukkan bahwa bahan *PP* daur ulang lebih *brittle* (getas) dibandingkan *PP* murni. Dapat disimpulkan bahwa *PP* daur ulang memiliki sifat mekanis yang tidak berubah terlalu signifikan dengan *PP* murni, sehingga layak digunakan sebagai gantungan pakaian.

Sugeri [4] melakukan penelitian menggunakan mesin *injection molding* dengan dengan suhu injeksi 200°C untuk mengetahui sifat mekanis dari material *polypropylene* daur ulang 1 kali dan 2 kali. Hasil analisis dari pengujian kuat tarik menunjukkan bahwa *polypropylene* yang berbahan murnilah yang mempunyai nilai kuat tarik tertinggi dengan nilai 36,228 MPa dan nilai uji dampak maksimal pada variasi *polypropylene* murni sebesar 30,58 Joule. Dari penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa material *polypropylene* murni dan daur ulang sebanyak dua kali mengalami penurunan yang tidak terlalu jauh maka bahan daur ulang *polypropylene* 80% masih layak digunakan kembali.

Untuk mengatasi permasalahan limbah plastik dilakukan pemanfaatan produk menjadi bahan baku kembali. Shent dkk, [5] menyebutkan bahwa dalam daur ulang plastik, dibutuhkan pemisahan plastik menjadi plastik individual sesuai jenis resinnya, yang bertujuan untuk menghasilkan plastik dari bahan daur ulang yang berkualitas. Dalam hal ini contohnya daur ulang plastik dari bahan *polypropylene* yang mempunyai sifat padat, kuat dan keras sehingga menjadi penyebab penyebaran lingkungan.

Dari penelitian terdahulu bisa disimpulkan bahwa penelitian tentang sifat mekanis dan struktur mikro terhadap bahan *polypropylene (PP)* sebagai pembuatan produk sudah banyak dilakukan, namun penelitian tentang beda temperatur injeksi bahan *polypropylene* daur ulang masih belum banyak dilakukan. Maka dari itu dilakukan penelitian dengan beda variasi temperatur injeksi bahan *PP* daur ulang dengan pengujian mekanis dan struktur mikro dengan tujuan hasil dari pengujian dapat digunakan sebagai referensi. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan proses *injection molding* dengan variasi temperatur injeksi dengan bahan plastik polypropylene (*PP*) daur ulang 2 kali, untuk mengetahui pengaruh temperatur injeksi terhadap sifat mekanis dan fraktografi. Dengan referensi dari penelitian sebelumnya peneliti melakukan penelitian dengan variasi temperatur injeksi 190°C, 220°C, dan 250°C bahan *PP* daur ulang.

2. MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

2.1 Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Polypropylene* homopolimer (*PP*) HI10HO buatan PT Chandra Asri Petrochemical, Indonesia. *Polypropylene* memiliki beberapa keunggulan diantaranya yaitu, mudah dalam pengolahannya, tahan terhadap

penyerapan air dan ketahanan kimia yang baik sebagai pelarut. Namun untuk pengaplikasian dibidang rekayasa termoplastik masih terbatas penggunaannya karena memiliki tingkat susut yang tinggi dan temperatur polypropylene yang rendah [6]. Aplikasi *polypropylene* HI10HO dalam bidang manufaktur misalnya: material *polypropylene* diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti wadah minuman botol, alat rumah tangga, interior mobil, kotak makan, komponen otomotif. Sifat *polypropylene* ditunjukkan pada Tabel 2.1.

 Tabel 2.1. Sifat *polypropylene*

Sifat fisis	Nilai	Satuan
<i>Melt flow rate</i>	10	g/10 menit
Massa jenis	0.9	g.cm ³
<i>Tensile yield strength</i>	35	Mpa
<i>Tensile yield elongation</i>	13	%
<i>Flexural modulus</i>	1500	Mpa
<i>Notched Izod impact strength</i>	30	J/m
Kekerasan Rockwell	90	R-scale
<i>Titik lebur</i>	163	°C

Sumber: Chandra Asri

2.2 Injection Molding

Mesin *injection molding* Meiki 70 B dengan kapasitas clamping 70 ton digunakan untuk pembuatan spesimen. Spesifikasi mesin dapat ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Spesifikasi mesin injeksi

Nama Bagian dan Spesifikasi	Satuan	Ukuran	
Unit injeksi	<i>Screw</i>	mm	32
	Tekanan injeksi	Kg/cm ²	2020
	Volume injeksi	Cm ³	116
	Kecepatan injeksi	mm/detik	136
Unit Pencekaman	Gaya pencekaman	kN	687
	<i>Open daylight</i>	mm	630
	<i>Mold open stroke</i>	mm	460
	<i>Mold height</i>	mm	170
	<i>Platen size (H x V)</i>	mm	560 x 560
	Dimensi mesin	mm	3850 x 1100 x 1600

2.3 Tahapan Penelitian

2.3.1 Persiapan Bahan Baku

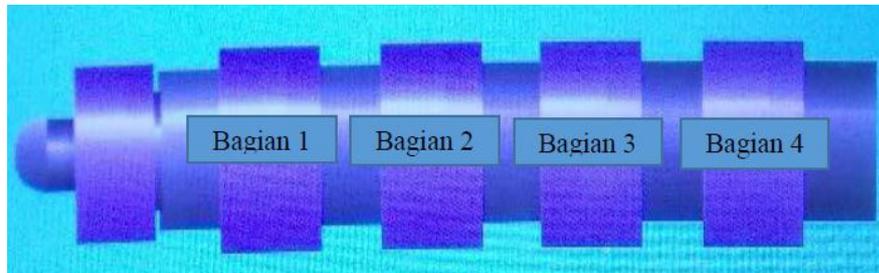
Pada tahapan ini bahan baku yang digunakan adalah *polypropylene (PP)* HI10HO murni yang diproduksi dengan temperatur 200°C dan didaur ulang sebanyak 2 kali menggunakan mesin *crusher*. Membuat spesimen dengan 3 variasi temperatur injeksi yaitu dengan temperatur 190°C, 220°C, dan 250°C.

2.3.2 Persiapan Bahan Baku

Pembuatan spesimen dalam kondisi optimal tidak lepas dari parameter yang sesuai dalam pembuatan spesimen material *polypropylene* untuk mengurangi terjadinya cacat yang terjadi pada spesimen [7]. Pembuatan spesimen *multipurpose* standar ISO 294 menggunakan mesin *injection molding* dengan kapasitas 70 ton menggunakan material *polymer polypropylene* HI10HO daur ulang. Langkah – langkah dalam pembuatan spesimen adalah sebagai berikut:

- a) Persiapan material *PP* murni sebanyak 10 kg.

- b) Mengatur parameter temperatur material pada tiap pemanas (Gambar 2.1), tekanan saat injeksi, dan tekanan *holding* agar material PP melebur dan menginjeksi dengan optimal. Parameter temperatur PP ditunjukkan pada Tabel 2.3, Tabel 2.4, dan Tabel 2.5.
- c) Proses produksi sebanyak 45 buah (15 buah variasi temperatur 190°C, 15 buah daur variasi temperatur 220°C, dan 15 buah variasi temperatur 250°C).



Gambar 2.1. Bagian pemanas barel injeksi

Tabel 2.3. Parameter tekanan injeksi

Suhu Nozzle (°C)	Tekanan (bar)			
	Bagian 1	Bagian 2	Bagian 3	Bagian 4
190	130	127	120	117
220	125	122	120	117
250	130	125	122	117

Tabel 2.4. Parameter holding

Parameter	Bagian 1	Bagian 2	Bagian 3	Bagian 4
Tekanan (bar)	80	80	80	80
Waktu (detik)	3	3	3	3

Tabel 2.5. Parameter Temperatur material plastik PP Daur Ulang

Suhu Nozzle	Setting Temperatur (°C)			
	Bagian 1	Bagian 2	Bagian 3	Bagian 4
190	190	180	170	160
220	220	200	190	180
250	250	235	200	190

2.3.3 Pengukuran Spesimen

Pada tahapan ini melakukan pengukuran pada spesimen yang telah diproduksi untuk mendapatkan nilai rata – rata lebar dan rata-rata ketebalan.

2.3.4 Pengujian Produk

Pengujian yang dilakukan meliputi uji tarik mengikuti standar ISO 527 dan uji impak sesuai standar ISO 179 [8].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Spesimen *Multipurpose*

Hasil spesimen *PP* daur ulang dengan temperatur injeksi 190°C, 220°C, dan 250°C ditunjukkan pada Gambar 3.1.

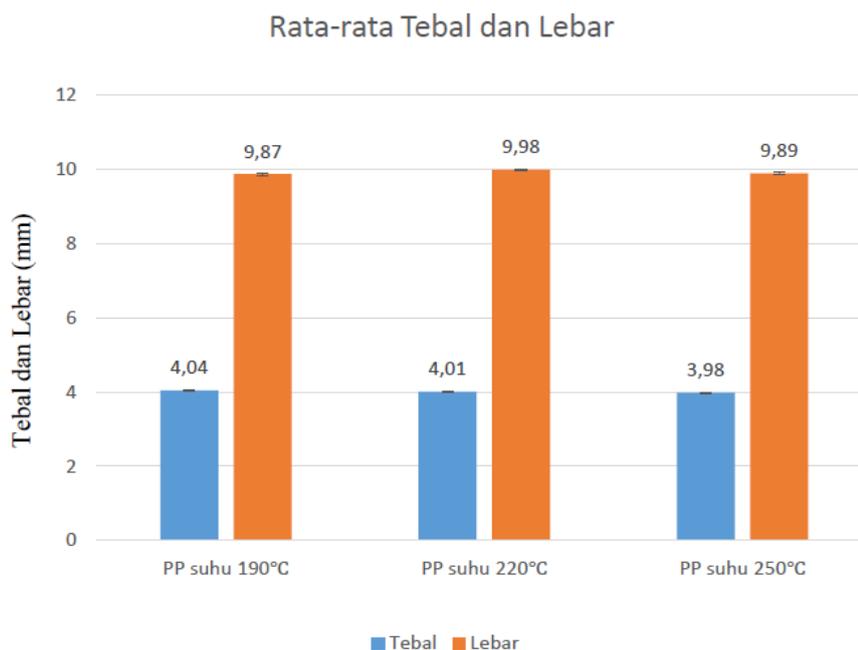


Gambar 3.1 Spesimen *multipurpose polypropylene daur ulang*

3.2 Hasil Pengukuran Spesimen

Gambar 3.2 menjelaskan bahwa dimensi pada spesimen telah sesuai dengan standar 527-1 dapat ditetapkan toleransi untuk dimensi spesimen *multipurpose* tersebut adalah nilai tebal 4 mm ± 0,5 dan lebar 10 mm ± 0,5. Pengukuran lebar dari spesimen *PP* daur ulang menggunakan alat jangka sorong, didapatkan nilai rata-rata ketebalan minimum yaitu 3,98 mm dan nilai ketebalan maksimum 4,04 mm. Untuk nilai rata-rata lebar minimum diperoleh 9,87 mm dan nilai rata-rata lebar maksimum sebesar 9,89 mm.

Syarat lain untuk melakukan pengujian selain dimensi ukuran adalah bentuk spesimen yang tidak memiliki cacat, karena bentuk spesimen yang memiliki cacat akan menghasilkan nilai kekuatan uji yang tidak seragam. Jenis cacat yang dapat memengaruhi nilai pada saat pengujian adalah cacat *bubbles* (gelembung udara). Penyebab cacat *bubbles* adalah udara yang masih terperangkap didalam silinder injeksi atau udara yang masih terjebak didalam *cavity*.



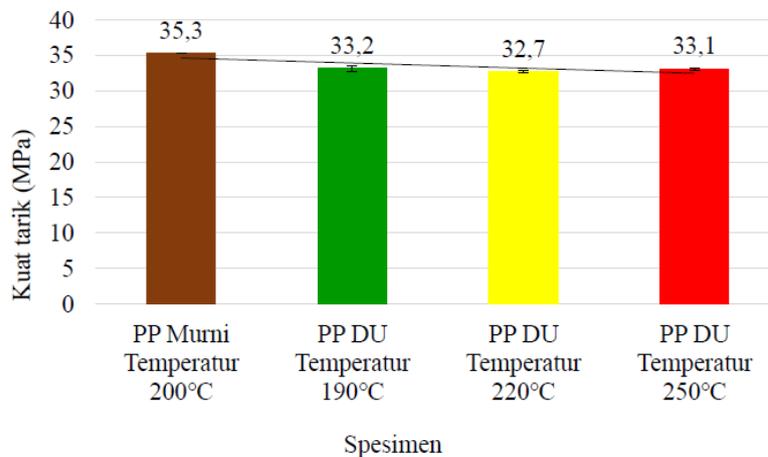
Gambar 3.2. Grafik nilai rata-rata tebal dan lebar spesimen

3.3 Hasil Pengujian Tarik

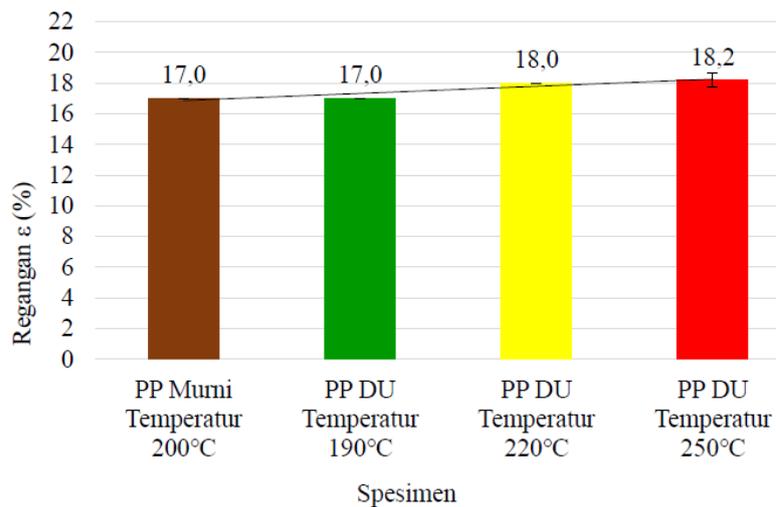
Gambar 3.3 menjelaskan bahwa, pada variasi temperatur 190°C nilai rata-rata uji tarik dari 5 spesimen yaitu sebesar 33,2 MPa. Dari 5 spesimen uji tarik didapatkan nilai maksimum pada spesimen yang ke-1 yaitu sebesar 33,7 MPa dan nilai minimum pada spesimen ke-4 yaitu sebesar 32,8 MPa.

Pada variasi temperatur 220°C nilai rata-rata uji tarik dari 5 spesimen yaitu sebesar 32,4 MPa. Dari 5 spesimen uji tarik didapatkan nilai maksimum yang sama yaitu pada spesimen yang ke-3 dan ke-5 yaitu sebesar 32,8 MPa dan nilai minimum pada spesimen ke-1 yaitu sebesar 32,4 MPa.

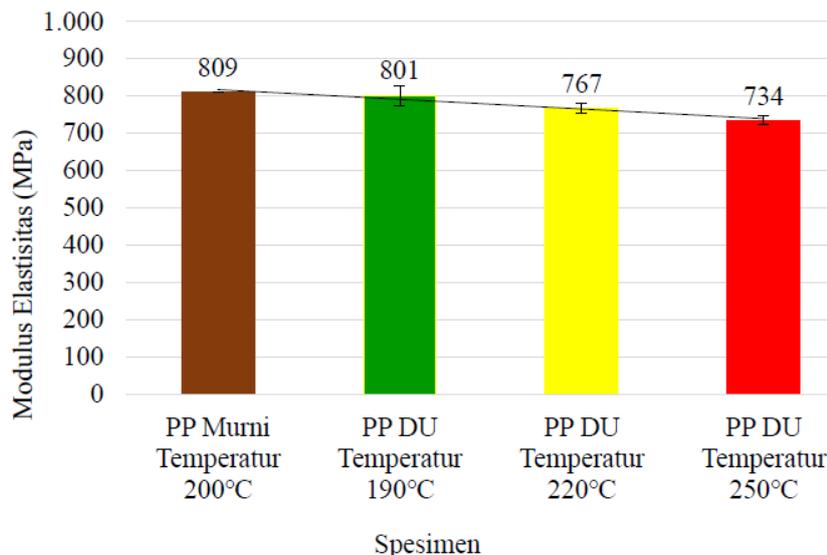
Pada variasi temperatur 250°C nilai rata-rata uji tarik dari 5 spesimen yaitu sebesar 33,1 MPa. Dari 5 spesimen uji tarik didapatkan nilai maksimum yang sama yaitu pada spesimen yang ke-1,2, dan 4 yaitu sebesar 33,2 MPa dan nilai minimum pada spesimen ke-3 yaitu sebesar 32,9 MPa.



Gambar 3.3. Nilai rata-rata tegangan



Gambar 3.4. Nilai rata-rata regangan



Gambar 3.5. Nilai rata-rata modulus elastisitas

Pada Gambar 3.3. dijelaskan dari hasil data pengujian variasi temperatur injeksi material *PP* daur ulang 2 kali, diketahui bahwa penurunan nilai tegangan dari material *PP* daur ulang 2 kali tidak mengalami terlalu banyak perubahan pada nilai tegangannya. Jika dibandingkan dengan *PP* murni nilai tegangan sebesar 35,3 MPa, penurunan nilai tegangan terjadi pada tiap variasi temperatur injeksi. Penurunan nilai tegangan terbesar terjadi pada variasi temperatur 220°C, nilai rata-rata dari 5 spesimen pengujian yaitu sebesar 32,7 MPa terendah dari nilai tegangan variasi 190°C dan 250°C. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur pada proses injeksi maka semakin rendah nilai ketahanan sifat mekanis pada material daur ulang. Menurut Bernadeth [2] *PP* daur ulang masih mempunyai sifat mekanik yang sama dengan *PP* murni sehingga masih layak digunakan untuk aplikasi non-struktural lainnya.

Pada Gambar 3.4 dijelaskan dari pengujian variasi temperatur injeksi material *PP* daur ulang 2 kali, diperoleh fakta bahwa semakin rendah nilai regangan dapat mengakibatkan spesimen daur ulang tersebut menjadi getas. Jika dibandingkan dengan *PP* murni dengan nilai regangan sebesar 17%, dapat dilihat terjadinya kenaikan nilai regangan pada *PP* DU variasi temperatur 220°C dan 250°C. Nilai perubahan regangan tertinggi didapat pada variasi temperatur 250°C yaitu sebesar 18,2% mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Menurut Asror (2003) perubahan temperatur dan tekanan injeksi pada proses injection molding terhadap material plastik daur ulang berpengaruh signifikan pada hasil regangan produk tersebut. Hal itu terjadi karena proses pemanasan dan tekanan pada saat injeksi kemudian pengaruh banyaknya kadar amorf pada material dapat meningkatkan kekerasan.

Pada Gambar 3.5 dijelaskan bahwa pada material *PP* DU terjadi penurunan nilai modulus elastisitas yang cukup signifikan, hasil uji *PP* DU dengan modulus elastisitas tertinggi terjadi pada variasi temperatur 190°C, nilai rata-rata modulus elastisitas yaitu sebesar 801 MPa dan nilai rata-ratamodulus elastisitas terendah yaitu pada variasi temperatur 250°C yaitu sebesar 734 MPa. Dapat dilihat dari data pengujian bahwa penurunan nilai modulus elastisitas dipengaruhi oleh bahan daur ulang dan temperatur injeksi, hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur injeksi *PP* daur ulang pada saat pembuatan produk maka nilai modulus elastisitasnya semakin menurun.

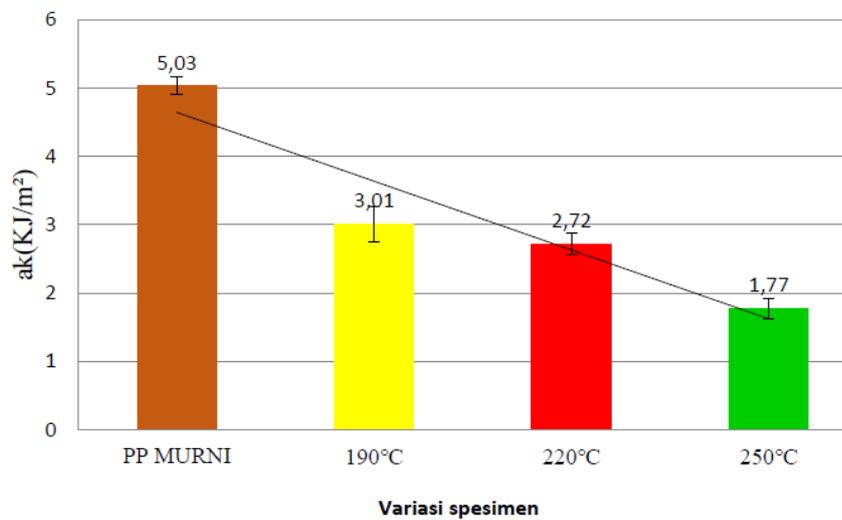
3.4 Hasil Pengujian Impak

Hasil dari data pengujian impak *polypropylene* daur ulang 2 kali pada temperatur injeksi 190°Cdidapatkan nilai rata-rata energi impak sebesar 3,01 KJ/m², pada temperatur injeksi 220°Cdidapatkan nilai rata-rata energi impak sebesar 2,27 KJ/m² dan pada temperatur injeksi 250°Cdiperoleh nilai rata-rata energi impak sebesar 1,77 KJ/m². Nilai kuat impak *PP* sebesar 4,5 KJ/m², lebih tinggi dari hasil pengujian impak *PP* daur ulang pada semua variasi temperatur. Dapat diketahui bahwa hasil dari pengujian material *polypropylene*

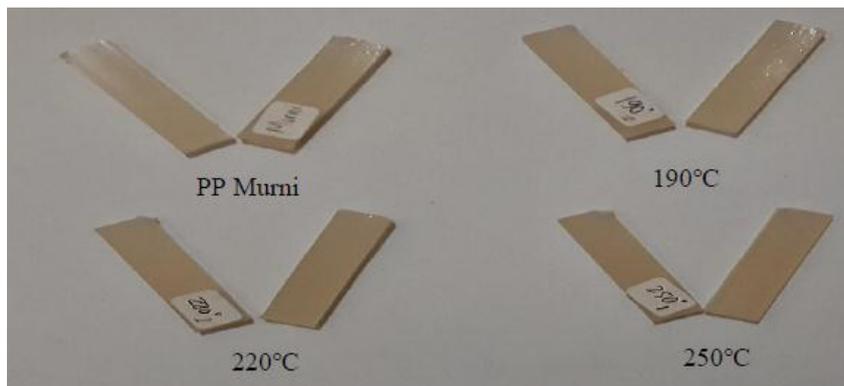
daur ulang variasi temperatur memiliki nilai penurunan yang signifikan terhadap temperatur injeksi.

Dari Gambar 3.6 dapat diketahui bahwa semakin tinggi nilai kekuatan impact yang di hasilkan pada spesimen PP daur ulang maka semakin baik dalam ketahanan menerima beban kejut yang datang dan semakin lunak. Bentuk type of failure patahan dari spesimen PP daur ulang tersebut dikategorikan tipe C (completebreak), artinya patahan yang dihasilkan adalah sempurna ketika diberi energi dari pendulum sebesar 0,5 Joule yang disesuaikan dengan standar ISO 179-1 material *polypropylene*, sehingga plastik tersebut cenderung getas (Gambar 3.7).

Tekanan pada saat melakukan proses injeksi memengaruhi kekuatan energi impact menjadi turun. Menurut Asror [8] pengaruh suhu proses dan tekanan injeksi berpengaruh terhadap nilai kekuatan energi impact dengan standar ISO 179-1 pada proses pembuatan spesimen. Semakin tinggi suhu dan tekanan injeksi pada saat proses produksi, maka semakin meningkatkan atom-atom yang tersusun secara tidak teratur (*amorphous*) yang terbentuk pada material plastik tersebut.

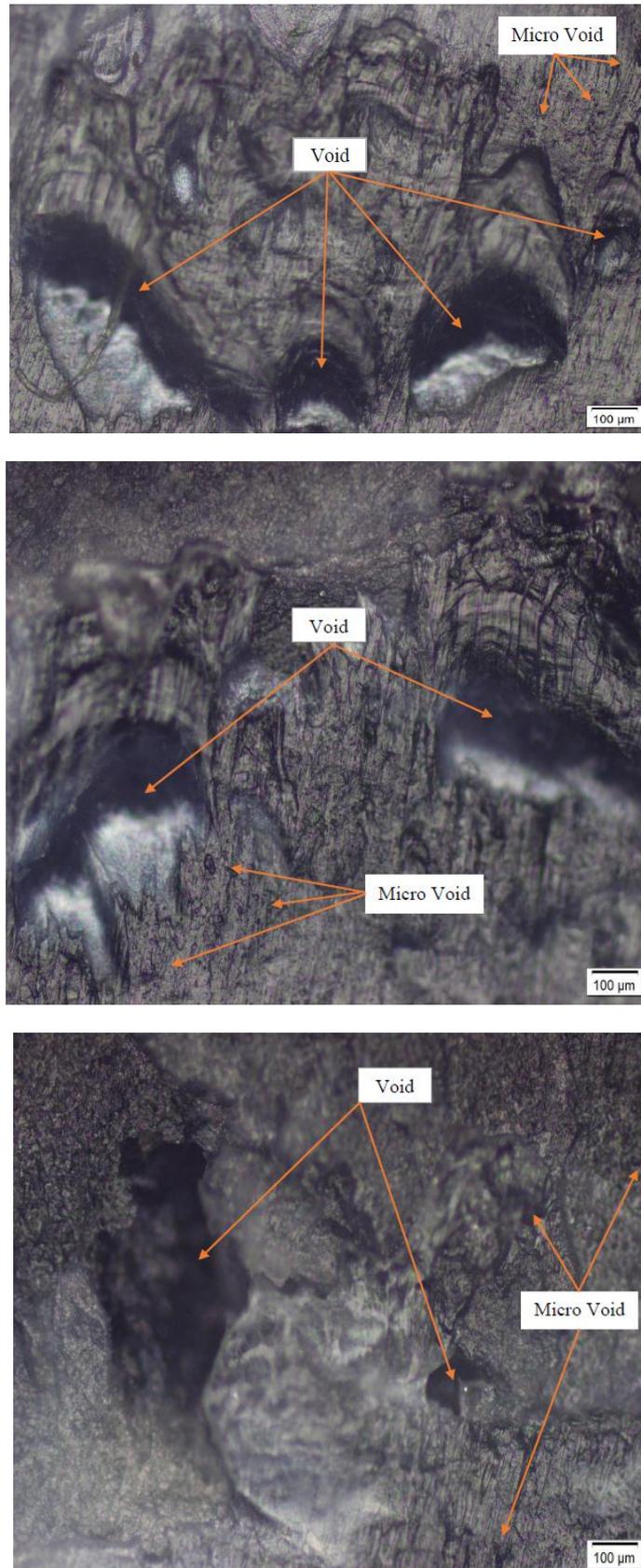


Gambar 3.6. Nilai rata-rata kuat impact



Gambar 3.7. Kondisi patah complete break pada semua spesimen

Penurunan kuat impact pada kondisi suhu injeksi yang semakin tinggi berkaitan dengan tingkat void pada penampang spesimen [9] seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8. Pada gambar tersebut ditunjukkan fraktografi untuk PP DU hasil injeksi dengan suhu 190°C, 220°C dan 250°C menggunakan mikroskop optik digital pada patahan impact.



Gambar 3.8. Fraktografi pada penampang patah uji impak: (a) Suhu 190 °C; (b) suhu 220 °C; (c) suhu 250 °C

Jika dilihat pada hasil pengujian dapat dijelaskan bahwa pada temperatur injeksi 250°C terdapat rongga yang cukup besar dibandingkan pada variasi temperatur 190°C dan 220°C. Hal ini menunjukkan bahwa *PP* daur ulang temperatur injeksi 250°C memiliki luas penampang yang lebih kecil dari variasi temperatur 190°C dan 220°C yang akan mengakibatkan penurunan nilai uji mekanisnya. Ada beberapa penyebab *void* pada spesimen yaitu gas yang masih terperangkap di dalam silinder dan udara yang masih terjebak di dalam *cavity*.

Menurut Grogore[10] semakin tinggi suhu dan tekanan injeksi pada saat proses produksi, maka semakin meningkatkan atom-atom yang tersusun secara tidak teratur (*amorphous*) yang terbentuk pada material plastik tersebut.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian tentang pengaruh beda temperatur proses injeksi terhadap sifat mekanis bahan *Polypropylene (PP)* daur ulang, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a) Hasil analisa dari pengujian kuat tarik secara keseluruhan menunjukkan bahwa material *polypropylene* daur ulang dengan variasi temperatur antara 190°C, 220°C dan 250°C dengan tekanan injeksi yang sama tidak mengalami penurunan nilai yang signifikan. Hal ini dibuktikan dengan nilai kekuatan tarik terbesar yaitu sebesar 33,2 MPa pada variasi temperatur 190°C sedangkan pada material *PP* murni temperatur 200°C sebesar 35,3 MPa (penurunan sebesar 5,95%). pada nilai uji impak pada *PP* murni temperatur injeksi 200°C nilai uji impaknya sebesar 5,03 KJ/m². Pada *PP* daur ulang variasi temperatur injeksi 190°C sebesar 3,01 KJ/m² (penurunan sebesar 40,12%) dan yang terendah *PP* daur ulang variasi temperatur injeksi 250°C sebesar 1,77 KJ/m² (penurunan sebesar 64,81%). Penggunaan bahan daur ulang sebagai produk *polypropylene* dapat menurunkan sifat mekaniknya, diantaranya uji tarik dan uji impak, karena bahan yang digunakan sudah melalui proses pembentukan dan proses pemanasan berulang-ulang.
- b) Hasil dari fraktografi menunjukkan bahwa temperatur injeksi berpengaruh terhadap rongga (*void*) pada spesimen hasil produksi. Hasil dari patahan impak menggunakan mikroskop optik digital memperlihatkan bahwa besar dan banyaknya jumlah *void* akan mengurangi luas penampang spesimen yang mengakibatkan berkurangnya kekuatan material tersebut. semakin besar rongga (*void*) yang terdapat pada spesimen maka akan mengurangi nilai kuat impaknya, yang akan mengakibatkan spesimen lebih getas.

REFERENSI

- [1] Sahwan, Firman L. Sistem Pengelolaan Limbah Plastik di Indonesia. *Jurnal Penelitian*. 2005; 6 (1): 311-318.
- [2] Bernadeth, J.H.J. Studi perbandingan sifat mekanik polypropylene murni dan daur ulang. Thesis. Depok: Program Pascasarjana Fisika, Departemen fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia; 2010.
- [3] Tiwan. Pengaruh penambahan bahan daur ulang pada kekuatan tarik, modulus elastisitas dan kekerasan bahan acrylonitrile butadiene styrene (ABS). UNY Yogyakarta. 2008; 1-8.
- [4] Suger, A. Komparasi sifat mekanis polipropilen dari bahan polipropilen murni dengan variasi baur ulang 1 kali dan 2 kali. Thesis. Yogyakarta: Program Study Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. 2018.

- [5] Shent, H., Pugh R.J., and Forssberg, E. A Review of Plastics Waste Recycling and the Flotation of Plastics. *Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 1999; 25 (2): 85–109.
- [6] DeBoest, J.F., Dostal C.A. and Reinhart J.1988,*Reinforced polypropylenes*, Engineering plastics. ASM International, 192–193.
- [7] Mawardi, I., Hasrin dan Hanif. Analisis Kualitas Produk dengan Pengaturan Parameter Temperatur Injeksi Material Plastik Polypropylene (PP) Pada Proses Injection Molding. *Malikussaleh Industrial Engineering Journal*. 2015; 4 (2) 30-35.
- [8] Asror, M.F., dan Torno, H.S.S., 2003. Pengaruh suhu proses dan tekanan injection moulding terhadap kekuatan benturan dan kekerasan pada material High density polyethylene. Prosiding symposium nasional polimer IV Sentra Teknologi Polimer (STP)-BPPT, 188-192.
- [9] Naik L. A Study on Reducing the Sink mark in Plastic Injection Moulding - Taguchi Technique. *International Journal of Engineering Research and Development*.2014; 10 (3) 40- 43.
- [10] Grogore, M.E. Methods of recycling, properties, and applications of recycled thermoplastic polymers. Thesis. Bucharest: Department of Polymers, National Research & Development Institute for Chemistry & Petrochemistry (ICECHIM), Faculty of Engineering in Foreign Languages, University Politehnica of Bucharest, Romania. 2017