

PENGARUH BEDA TEMPERATUR PROSES INJEKSI TERHADAP SIFAT MEKANIS BAHAN POLYPROPYLENE (PP) DAUR ULANG

Jamirul Hakim¹, Cahyo Budiyanoro², Aris Widyo Nugroho³
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

Program Studi S1 Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Brawijaya, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia 55183
Telp. 0274-387656 Fax. 0274-387646
e-mail: jamirulhakim28@gmail.com

INTISARI

Polipropilen merupakan material plastik yang banyak digunakan sebagai pengemas makanan dan peralatan rumah tangga, karena plastik polipropilen mempunyai sifat material yang kuat dan keras. Maka perlu dilakukan penelitian tentang penggunaan material daur ulang dengan variasi temperatur injeksi dalam pembuatan produk dari bahan plastik polipropilen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beda temperatur proses injeksi terhadap sifat mekanis dan fraktografi material polipropilen daur ulang.

Penelitian ini dilakukan dengan membuat spesimen multipurpose sesuai dengan standar ISO 294-1:2012 menggunakan material polypropylene daur ulang 2 kali menggunakan proses fabrikasi mesin injection molding. Pengujian yang dilakukan yaitu menggunakan uji tarik dengan ISO 527-1b dan uji impak dengan metode charpy ISO 179. Patahan dari uji impak dianalisa menggunakan mikroskop optik digital untuk mengetahui fraktografi dari patahan spesimen.

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan mendapatkan nilai kuat tarik maksimal pada temperatur injeksi 190°C sebesar 33,2 MPa, pada temperatur injeksi 220°C sebesar 32,7 MPa dan nilai kuat tarik terakhir pada temperatur injeksi 250°C sebesar 33,1 MPa. Nilai maksimal uji impak pada pada temperatur injeksi 190°C sebesar 3,04 KJ/m², pada temperatur injeksi 220°C sebesar 2,72 KJ/m² dan nilai kuat impak pada temperatur injeksi 250°C sebesar 1,77 KJ/m². 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 terdapat void (berongga) disetiap spesimen hasil patahan uji impak. Void (berongga) pada spesimen dapat menurunkan nilai mekanisnya didukung dari hasil uji mekanis. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur dan penggunaan material yang semakin banyak di daur ulang maka akan menurun kualitas dari material tersebut.

Kata Kunci: polypropylene, daur ulang, injection molding, kekuatan tarik, impak, fraktografi.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan plastik semakin populer dikalangan masyarakat Indonesia dari peralatan rumah tangga atau pun dikalangan industri. Bertambahnya zaman semakin banyak pula penggunaan plastik yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia (Tiwon, 2008). 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, (2005) melakukan penelitian tentang permasalahan daur ulang limbah sampah plastik. Hasil penelitian menyebutkan bahwa presentase penggunaan limbah sampah plastik relatif meningkat yaitu pada tahun 1981 sebesar 3,67% sampai tahun 2002 sebesar 8,88%. Hasil ini terus meningkat apabila tidak ada penanganan yang serius dalam menghadapi limbah sampah plastik.

Bahan plastik yang diaplikasikan ke bidang otomotif sebagian dari bahan polypropylene. Polypropylene (PP) adalah bahan plastik semi kristalin yang bersifat ulet dan tahan terhadap temperatur tinggi. Akan tetapi, dalam keadaan tertentu polypropylene mampu menjadi getas. Polypropylene mempunyai titik leleh yang cukup tinggi (190-

200)°C, sedangkan titik kristalisasinya antara (130-135)°C. Sesuai dengan material data sheet, polypropylene memiliki nilai kuat tarik mencapai 34 MPa, modulus elastisitas mencapai 1280 MPa (lides dkk, 2012).

Sugeri (2018) melakukan penelitian menggunakan mesin injeksi molding dengan dengan suhu injeksi 200°C untuk mengetahui sifat mekanis dari material polipropilen daur ulang 1 kali dan 2 kali. Hasil analisa dari pengujian kuat tarik menunjukkan bahwa polipropilen yang berbahan murnilah yang mempunyai nilai kuat tarik tertinggi dengan nilai 36,228 MPa dan nilai uji impak maksimal pada variasi polipropilen murni sebesar 30,58 Joule.

Untuk mengatasi permasalahan limbah plastik dilakukan pemanfaatan produk menjadi bahan baku kembali. Shent dkk, (1999) 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 polipropilen yang mempunyai sifat padat, kuat dan keras sehingga menjadi penyebab penyebaran lingkungan. Maka pada penelitian ini dilakukan proses injeksi molding dengan variasi tempeatur injeksi dengan bahan plastik polyprophylene (PP) daur ulang 2 kali, untuk mengetahui pengaruh temperatur injeksi terhadap sifat mekanis dan struktur mikro. Dengan referensi dari penelitian sebelumnya peneliti melakukan penelitian dengan variasi temperatur injeksi 190°C, 220°C dan 250°C bahan PP daur ulang.

2. DASAR TEORI

2.1 Polypropylene

Polypropylene (PP) merupakan polimer hidrokarbon yang termasuk ke dalam polimer termoplastik yang dapat diolah pada suhu tinggi. Polypropylene berasal dari monomer propilena yang diperoleh dari pemurnian minyak bumi. Polypropylene (PP) adalah bahan plastik semi kristalin yang bersifat ulet dan tahan terhadap temperatur tinggi. Akan tetapi, dalam keadaan tertentu polypropylene mampu menjadi getas. Polypropylene mempunyai titik leleh yang cukup tinggi (190-200)°C, sedangkan titik kristalisasinya antara (130-135)°C (lides dkk, 2012).

2.2 Daur Ulang

Daur ulang adalah teknik pembentukan kembali dari material yang sudah diproduksi sebelumnya karena mengalami gagal produk (*reject*) atau tidak sesuai (*NG*) dengan standar produk dengan tujuan mengurangi pembelian material baru, mengurangi polusi, dan mengurangi tenaga. Daur ulang dapat diolah dengan tiga proses yaitu perajangan (*Crusher*), peleburan (*melting*), dan pembentukan (*formation*) kembali

Daur ulang dan pembakaran adalah aspek biasa dari metode pemulihan dalam kasus polimer termoplastik. Pembakaran ini menimbulkan beberapa masalah seperti produksi gas beracun dan residu abu yang mengandung timbal dan kadmium. Daur ulang ini menghadirkan keuntungan seperti pengurangan masalah lingkungan dan menghemat bahan dan energy (Grigore,2017).

2.3 Injection Molding Machine

Injection Molding merupakan salah satu metode dalam pengolahan plastik dengan teknik menyuntikan plastik kedalam cetakan (*Mold*). Produk yang dibentuk secara bersamaan dengan cetakan yang didesain khusus, material yang digunakan pada injection moulding berupa bijih-bijih plastik, cacahan plastik atau bisa juga plastik dicampur dengan serat. Sebelum masuk kedalam proses, material harus dipanaskan terlebih dahulu dalam barrel. Pemanasan material ini dilakukan untuk mengurangi kadar air yang terkandung pada bijih plastik dan mengeringkan material dari uap air yang diserap.

Oktem (2007) menyatakan bahwa *Plastic Injection Molding* merupakan salah satu mesin berat yang digunakan sebagai pembentukan produk dengan material plastik dalam dunia industri. Mesin injeksi molding ini memiliki kelebihan yaitu bagian permukaan berkualitas tinggi, siklus produk pendek, bobot yang ringan, sifat mekanik yang baik, dan biaya yang relatif terjangkau sehingga sangat berperan penting dalam perusahaan

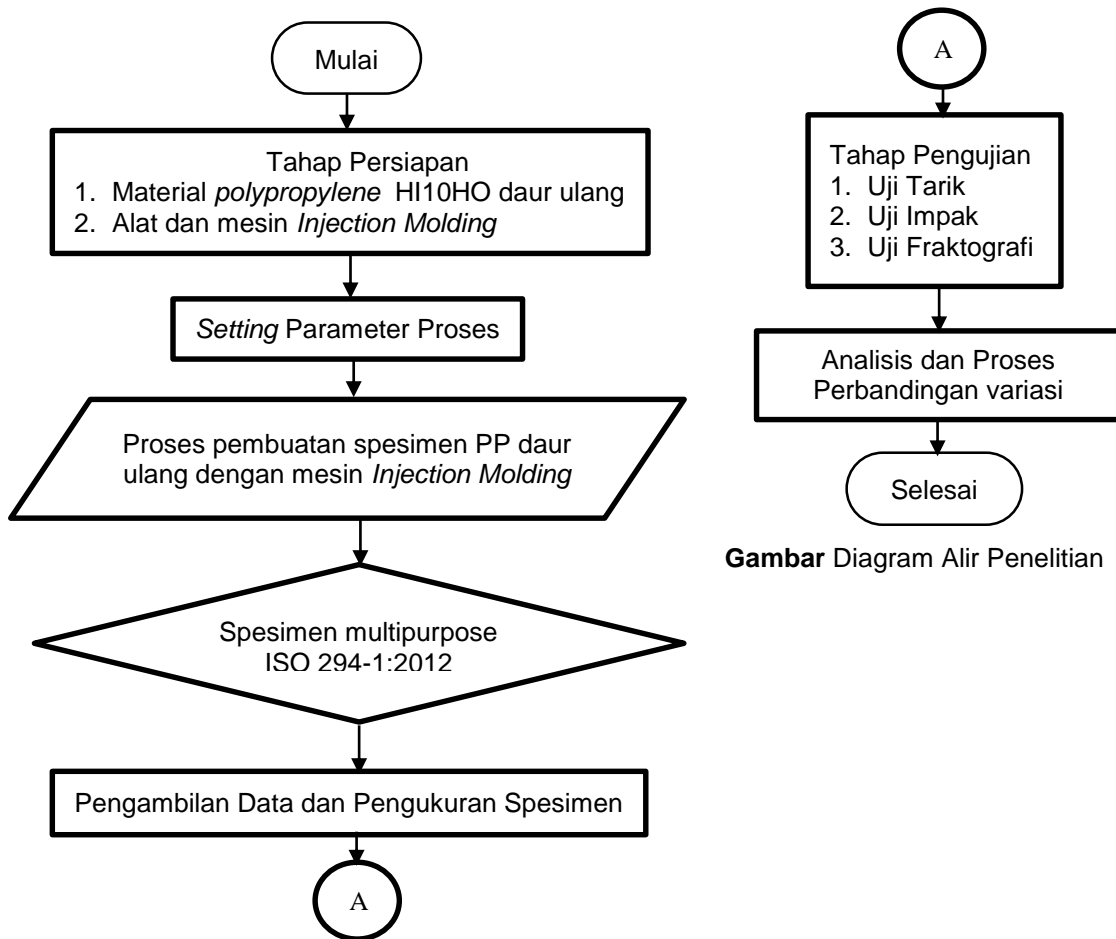
industri plastik sekarang ini. Mesin plastik injeksi molding juga harus selalu update baik dalam proses maupun *design* mengikuti kemajuan teknologi agar membantu mencukupi kebutuhan pelanggan sesuai dengan fungsi dan kualitas.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Material

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah plastik *polypropylene* (PP) HI10HO murni yang memiliki *melt flow rate index* (230°/2.16kg) 10g/10min dan densitas 0,9039/cm³ sebagai material matriks. *polypropylene* merupakan biji plastik yang berbentuk bening, *polypropylene* merupakan biji plastik yang mudah diproses dan juga multifungsi. Material ini banyak digunakan untuk produksi komponen elektronik, komponen otomotif, dan wadah kemasan. Metode manufaktur yang digunakan dalam pembuatan produk yaitu *injection molding*, *polypropylene* murni dicetak menggunakan mesin injeksi molding dan di daur ulang sebanyak 2 kali. Material didapat dari PT. Yogya Presisi Tehnikatama Industri (YPTI).

3.2 Pembuatan Spesimen Multipurpose

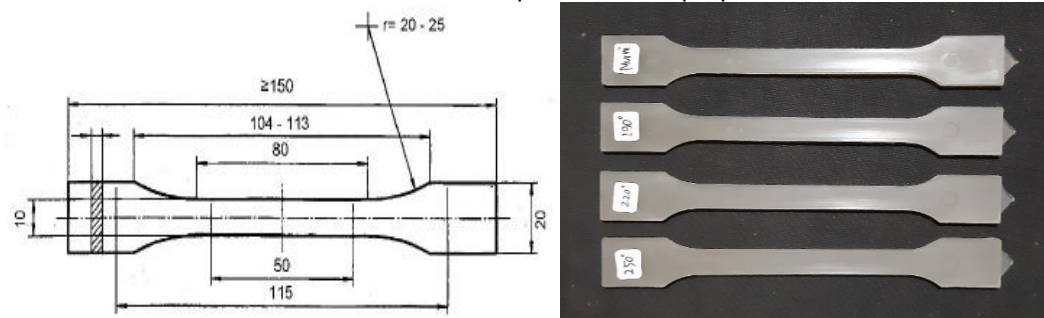


Gambar Diagram Alir Penelitian

3.3 Pembuatan Spesimen Multipurpose

Pembuatan spesimen multipurpose dibuat dari material *polypropylene* daur ulang 2 kali. Spesimen multipurpose difabrikasi dengan menggunakan mesin *injection molding type* Meiki 70 B dengan kapasitas *clamping* maksimum 70 ton, dioperasikan pada kondisi temperatur *barrel* 190°C, 220°C dan 250°C dalam siklus waktu 38,50 detik. Pembuatan spesimen multipurpose mengacu pada international standar (ISO) 294-1.

Bentuk dan ukuran spesimen multipurpose



Panjang keseluruhan : 150 mm
 Tebal : 4 mm

Panjang gauge : 50 mm
 Lebar : 20 mm

Keterangan :

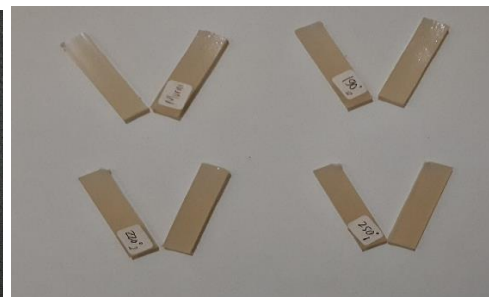
- polypropylene* murni temperatur injeksi 200°C
- polypropylene* daur ulang temperatur injeksi 190°C
- polypropylene* daur ulang temperatur injeksi 220°C
- polypropylene* daur ulang temperatur injeksi 250°C

3.4 Uji mekanis dan Karakterisasi

Pengujian mekanis dilakukan pada spesimen multipurpose yang telah difabrikasi. Pengujian tarik dilakukan dengan mengacu pada standar ISO 527-1a menggunakan alat Universal Testing Machine (UTM) zwick roell Z020 (Germany) di Akademi Teknik Mesin Industri (ATMI) dengan rate speed pengujian 100 mm/min. Sedangkan pengujian impact dilakukan dengan mengacu pada standar ISO 179-1/1 e A dengan nomilan work capacity 0,5 J. Fraktografi patahan hasil uji impact diamati menggunakan mikroskop optik digital untuk melihat penyebab menurunnya sifat mekanis material.



Gambar hasil uji tarik



Gambar hasil uji impact

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

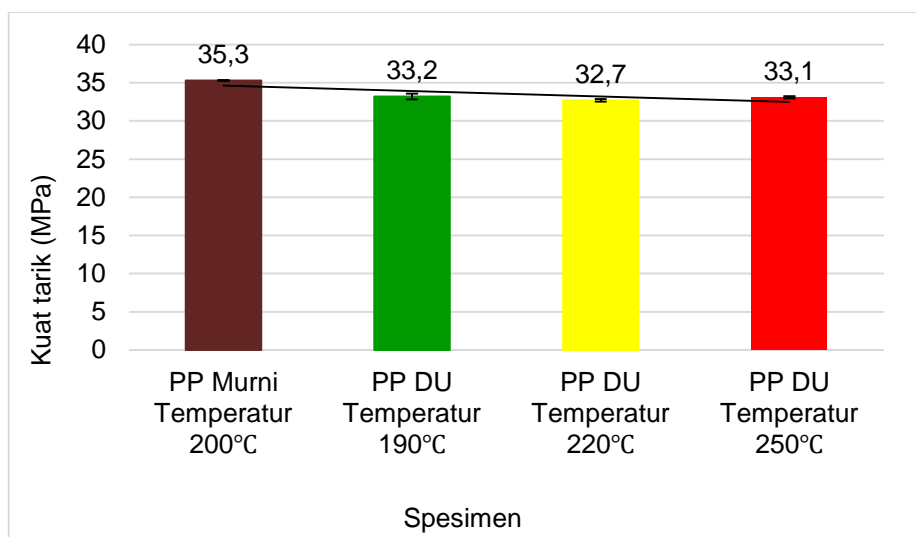
4.1 Uji Tarik

a. Tegangan

Tabel 4.1. Hasil perhitungan nilai Kuat Tarik material *polypropylene* daur ulang dengan temperatur 190°C, 220°C dan 250°C

Nilai Kuat Tarik σ (MPa)				
No.	PP MURNI 200°C	190°C	220°C	250°C
1	35,3	33,7	32,4	33,2
2		33,2	32,6	33,2

3	-	32,9	32,8	32,9
4	-	32,8	32,7	33,2
5	-	33,5	32,8	33,2
AVARAGE	35,3	33,2	32,7	33,1
STDEV	0	0,4	0,2	0,1
MAX	-	33,7	32,8	33,2
MIN	-	32,8	32,4	32,9



Gambar 4.1. Grafik nilai rata-rata tegangan

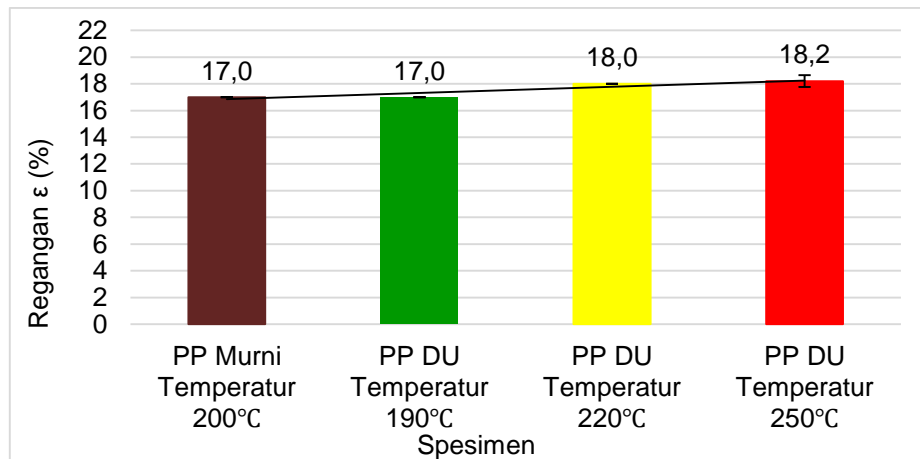
Analisis:

Pada Gambar 4.1 dijelaskan dari hasil data pengujian variasi temperatur injeksi material PP daur ulang 2 kali dapat dianalisis bahwa penurunan nilai tegangan dari material PP daur ulang 2 kali tidak terlalu banyak perubahan nilai tegangannya. Dari nilai acuan 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 dan Ariadne (2010) menjelaskan PP daur ulang masih mempunyai sifat mekanik yang sama dengan PP murni sehingga masih layak digunakan untuk aplikasi non struktural lainnya.

b. Regangan

Tabel 4.2. Hasil perhitungan nilai Regangan material *polypropylene* daur ulang dengan temperatur 190°C, 220°C dan 250°C

Nilai Regangan ϵ (%)				
No.	PP MURNI 200°C	190°C	220°C	250°C
1	17,0	17,0	18,0	18,0
2	-	17,0	18,0	18,0
3	-	17,0	18,0	18,0
4	-	17,0	18,0	18,0
5	-	17,0	18,0	19,0
AVARAGE	17,0	17,0	18,0	18,2
STDEV	0,0	0,0	0,0	0,4
MAX	-	17,0	18,0	19,0
MIN	-	17,0	18,0	18,0



Gambar 4.2. Grafik nilai rata-rata regangan

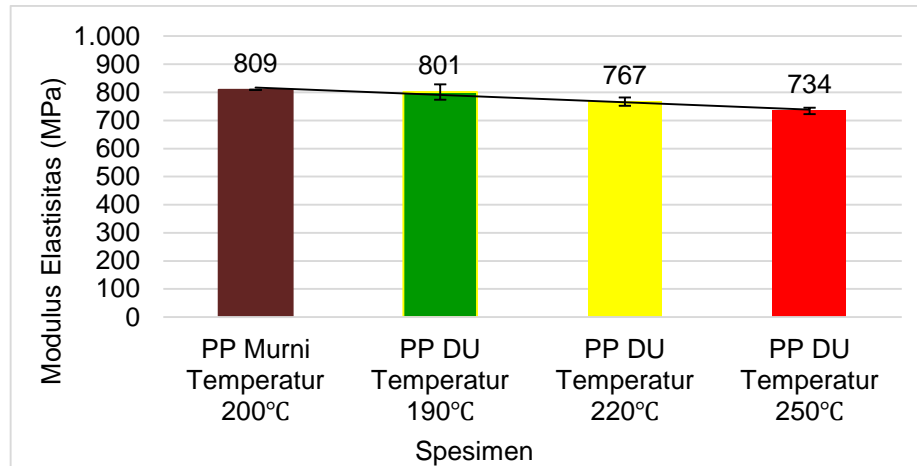
Analisis:

Pada Gambar 4.2 dijelaskan dari data data pengujian variasi temperatur injeksi material PP daur ulang 2 kali dapat dianalisis bahwa semakin rendah nilai regangan dapat mengakibatkan spesimen daur ulang tersebut menjadi getas. Dari nilai acuan PP murni nilai regangan sebesar 17%, dapat dilihat terjadi kenaikan nilai regangan pada PP DU variasi temperatur 220°C dan 250°C. Nilai perubahan regangan tertinggi didapatkan 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 dengan 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.

c. Modulus Elastisitas

Tabel 4.3. Hasil perhitungan nilai Modulus Elastisitas material *polypropylene* daur ulang dengan temperatur 190°C, 220°C dan 250°C

Nilai Modulus Elastisitas E (MPa)				
No.	PP MURNI 200°C	190°C	220°C	250°C
1	809	819	742	746
2	-	838	777	717
3		781	775	730
4		773	772	743
5		791	770	735
AVERAGE		809	801	767
STDEV	0	27,5	14,5	11,6
MAX	809	838,0	777	746
MIN	809	773,0	742	717



Gambar 4.7. Grafik nilai rata-rata Modulus Elastisitas

Analisis:

Pada Gambar 4.3 dijelaskan dari data pengujian variasi temperatur injeksi material PP daur ulang 2 kali dapat dianalisis bahwa semakin meningkat nilai modulus elastisitasnya maka berpengaruh terhadap sifat kekakuan material tersebut. Dari nilai acuan PP murni nilai modulus elastisitas sebesar 809 MPa, pada material PP DU terjadi penurunan nilai modulus elastisitas yang cukup signifikan. hasil uji PP DU nilai modulus elastisitas tertinggi terjadi pada variasi temperatur 190°C, nilai rata-rata modulus elastisitas yaitu sebesar 801 MPa dan nilai rata-rata modulus 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.

d. Penurunan Nilai Kuat Tarik

Tabel 4.4. Hasil penurunan kuat tarik material PP daur ulang

Nilai Penurunan Kuat Tarik			
No.	Variasi temperatur (°C)	Kuat Tarik (MPa)	Penurunan (%)
1	190	33,2	5,95
2	220	32,7	7,37
3	250	33,1	6,23

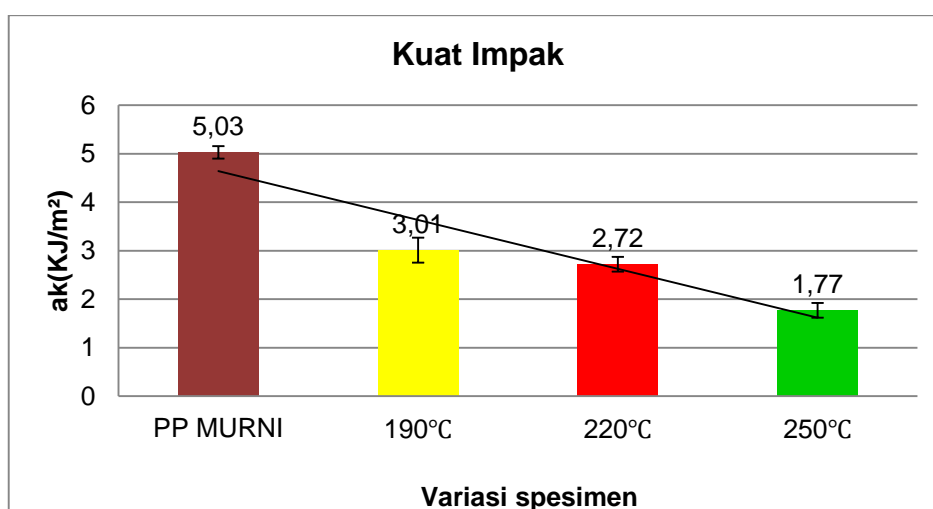
Analisis:

Perbandingan nilai kuat tarik antara polipropilen murni dan polipropilen daur ulang yang mengacu pada nilai kuat tarik polipropilen murni mengalami penurunan persentase antara PP murni temperatur injeksi 200°C dengan PP DU temperatur injeksi 190°C mendapatkan penurunan persentase sebesar 5,95% sedangkan perbandingan antara PP murni dengan PP DU temperatur injeksi 200°C mendapatkan nilai penurunan persentase sebesar 7,37% dan perbandingan antara PP murni dengan PP DU temperatur injeksi 250°C mendapatkan nilai penurunan persentase sebesar 6,23%. Nilai kuat tarik mengalami penurunan diakibatkan bahan daur ulang yang mengalami proses pemanasan yang berulang-ulang dan temperatur proses pada saat pembentukan produk.

4.2 Uji Impak

Tabel 4.5. Hasil perhitungan uji Impak material material *polypropylene* daur ulang dengan temperatur 190°C, 220°C dan 250°C

Nilai energi yang di serap (Ak = KJ/m ²)					
No.	PP Murni	190°C	220°C	250°C	Tipe
1	5,12	2,95	2,55	1,97	C
2	4,94	2,64	2,62	1,6	C
3	-	2,98	2,75	1,73	C
4		3,15	2,73	1,88	C
5		3,34	2,95	1,67	C
AVARAGE	5,03	3,01	2,72	1,77	
STDEV	0,13	0,26	0,15	0,15	
MAX	5,12	3,34	2,95	1,97	
MIN	4,94	2,64	2,55	1,6	



Analisis:

Hasil dari data pengujian impak polipropilen daur ulang 2 kali variasi temperatur injeksi 190°C mendapat nilai rata-rata energi impak sebesar 3,01 KJ/m², variasi temperatur injeksi 220°C mendapat nilai rata-rata energi impak sebesar 2,27 KJ/m² dan variasi temperatur injeksi 250°C mendapat nilai rata-rata energi impak sebesar 1,77 KJ/m². Dari nilai acuan impak PP murni nilai kuat impak sebesar 4,5 KJ/m² lebih tinggi dari hasil pengujian impak PP daur ulang variasi temperatur. Maka dapat diketahui bahwa hasil dari pengujian material polipropilen daur ulang variasi temperatur memiliki nilai penurunan yang signifikan terhadap temperatur injeksi.

Dari data variasi temperatur injeksi polipropilen dapat dianalisis bahwa semakin tinggi nilai kekuatan impak 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 (complete break), artinya patahan yang dihasilkan adalah sempurna ketika diberi energi dari pendulum sebesar 0,5 Joule yang disesuaikan dengan standar ISO 179-1 material polipropilen, sehingga plastik tersebut cenderung getas.

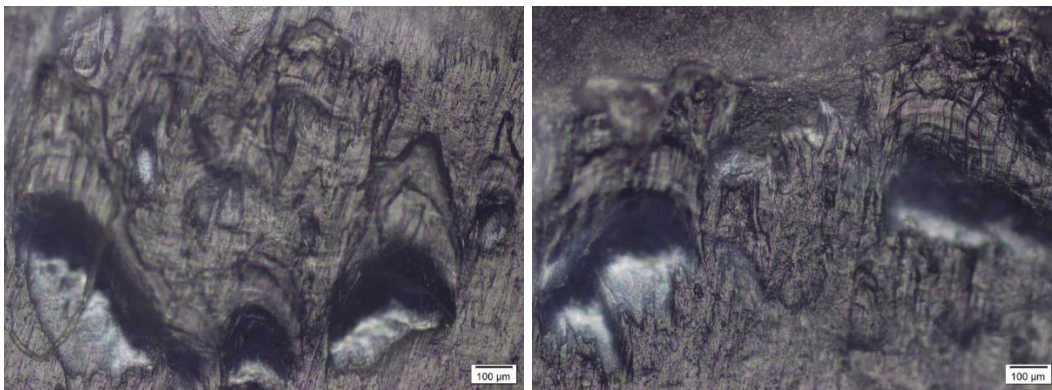
a. Penurunan Kuat Impak

Nilai Penurunan Impak			
No.	Variasi temperatur (°C)	Kuat impak (KJ/m ²)	Penurunan (%)
1	190	3,01	40,12
2	220	2,72	45,92
3	250	1,77	64,81

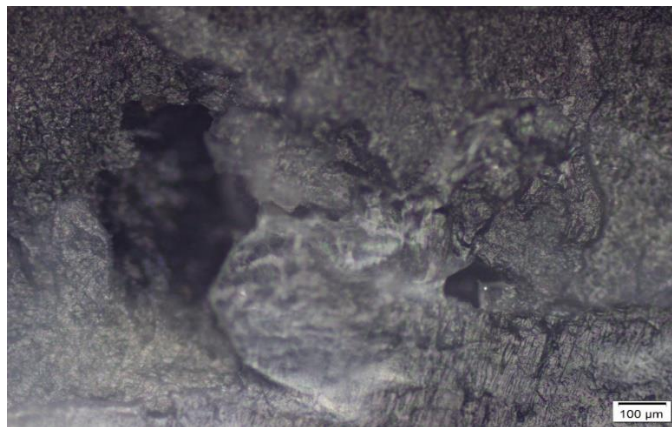
Analisis:

Perbandingan nilai uji impak antara polipropilen murni dan polipropilen daur ulang yang mengacu pada nilai uji impak polipropilen murni mengalami penurunan persentase antara PP murni temperatur injeksi 200°C dengan PP DU temperatur injeksi 190°C mendapatkan penurunan persentase sebesar 40,12% sedangkan perbandingan antara PP murni dengan PP DU temperatur injeksi 200°C mendapatkan nilai penurunan persentase sebesar 45,92% dan perbandingan antara PP murni dengan PP DU temperatur injeksi 250°C mendapatkan nilai penurunan persentase sebesar 64,81%. Sama seperti halnya pada uji tarik, perbandingan nilai uji impak pun mengalami penurunan diakibatkan temperatur proses pembentukan dan bahan daur ulang diakibatkan proses pemanasan yang berulang-ulang.

4.3 Hasil Pengujian Fraktografi



Gambar bentuk patahan impak variasi temperatur 190°C dan 220°C



Gambar bentuk patahan impak variasi temperatur 250°C

Analisis:

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa setiap variasi temperatur pada spesimen terdapat rongga (void) yang akan mengakibatkan penurunan sifat mekanis. Ada beberapa penyebab void pada spesimen yaitu gas yang masih terperangkap didalam cilynder dan udara yang masih terjebak didalam cavity. Pada gambar 4.13 menunjukan fraktografi PP DU 190°C menggunakan mikroskop optik digital pada patahan impak spesimen ke-4. Pada gambar 4.14 menunjukan fraktografi PP DU 220°C menggunakan mikroskop optik digital pada patahan impak spesimen ke-5. Pada gambar 4.15 menunjukan fraktografi PP DU 250°C menggunakan mikroskop optik digital pada patahan impak spesimen ke-4.

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. Hasil mikroskop optik digital ini juga didukung oleh hasil uji mekanis.

Menurut Asror (2003) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa 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.

5. KESIMPULAN

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

1. Hasil analisa dari pengujian kuat tarik secara keseluruhan menunjukkan bahwa material polipropilen 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 polipropilen dapat menurunkan sifat mekaniknya, diantaranya uji tarik dan uji impak, karena bahan yang digunakan sudah melalui proses pembentukan dan proses pemanasan berulang-ulang.
2. Hasil dari fraktografi temperatur injeksi berpengaruh terhadap rongga (*void*) pada spesimen hasil produksi. Hasil dari patahan impak menggunakan mikroskop optik digital dijelaskan 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.

Untuk keperluan penelitian selanjutnya diperlukan uji SEM untuk mengetahui kandungan dari struktur material tersebut. Selain itu perlu adanya penelitian campuran dari material murni dan material daur ulang dengan perbandingan tertentu untuk mengetahui kelayakan pemakaian dalam penggunaan material daur ulang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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*. *Jurnal Prosiding symposium nasional polimer IV Sentra Teknologi Polimer (STP)-BPPT*, 188-192.
- [2] Bernadeth, J.H.J., dan Ariadne, L.J., 2010. *Studi perbandingan sifat mekanik polypropylene murni dan daur ulang*. Program Pascasarjana Fisika, Departemen fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia.
- [3] DeBoest, J.F., 1988. *Reinforced polypropylenes*. In: Dostal C.A. and Reinhart J. (Eds.) *Engineering plastics*. ASM International, 192–193.
- [4] Grogore, M.E., 2017. *Methods of recycling, properties and applications of recycled thermoplastic polymers*. Department of Polymers, National Research & Development Institute for Chemistry & Petrochemistry (ICECHIM), *Faculty of Engineering in Foreign Languages, University Politehnica of Bucharest, 313 Independentei Avenue, Sector 6, Bucharest 060042, Romania*
- [5] Oktem, H., Erzurumlu, T., dan Uzman, I. 2007. *Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part*. *Jurnal Material & Design* 28, 1271-1278.

- [6] Mawardi, I., Hasrin dan Hanif. 2015. *Analisis Kualitas Produk dengan Pengaturan Parameter Temperatur Injeksi Material Plastik Polypropylene (PP) Pada Proses Injection Molding*. *Malikussaleh Industrial Engineering Journal* 4 (2) 30-35.
- [7] Mujiarto, I. 2005. *Sifat dan karakteristik material plastik dan bahan aditif*. Nomor (02), 3, Edisi Desember 2005
- [8] Naik L, dkk. 2014. *A Study on Reducing the Sink mark in Plastic Injection Moulding - Taguchi Technique*. *International Journal of Engineering Research and Development*. 10 (3) 40- 43.
- [9] Sahwan, Firman L., dkk. 2005. *Sistem Pengelolaan Limbah Plastik di Indonesia*. *Jurnal Penelitian* 6 (1) *Tek. Ling. P3TL-BPPT*, 311-318.
- [10] Shent, H., Pugh R.J., and Forssberg, E. 1999. *A Review of Plastics Waste Recycling and the Flotation of Plastics*. *Journal of Resources, Conservation and Recycling*, 25 (2): p. 85–109.
- [11] Sugeri, A. 2018. *Komparasi sifat mekanis polipropilen dari bahan polipropilen murni dengan variasi baur ulang 1 kali dan 2 kali*. Program Study Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [12] Sumaryono. 2012. *Perilaku Pengujian Tarik Pada Polimer Polistiren dan Polipropilen*. *Jurnal Penelitian Gardan* 1 (1) Jurusan PTMO IKIP Veteran Semarang, 66-80.
- [13] Tiwan. 2008. *Pengaruh penambahan bahan daur ulang pada kekuatan tarik, modulus elastisitas dan kekerasan bahan acrylonitrile butadiene styrene (ABS)*. UNY, Yogyakarta, 1-8
- [14] Zulianto, D. 2015. *Analisa pengaruh variasi suhu plastik terhadap cacat warpage dari produk injection molding berbahan polypropylene (PP)*. Naska publikasi Jurusan Teknik mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta.