

Analisa Pengaruh Temperatur Plastik PP (*Polypropylene*) Murni Dan Daur Ulang Dengan Penguat Abu Sekam Padi Pada Mesin *Injection Moulding* Semi Otomatis Terhadap Uji *Impact* Dan Struktur Makro

Muh Hadi Khusna^{1,*}, I Komang Astana Widi¹

¹ Insititut Teknologi Nasional Malang

Kata kunci

Polypropylene
Daur ulang
Injeksi *molding*
Uji *impact*
Abu sekam padi

ABSTRAK

Perkembangan material plastik seperti *polypropylene* (PP) mendorong berbagai penelitian untuk meningkatkan kualitas mekanik dan keberlanjutan melalui penggunaan material daur ulang dan penguat alami. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan mengombinasikan PP murni dan daur ulang menggunakan abu sekam padi sebagai penguat serta memprosesnya menggunakan mesin *injection moulding* semi otomatis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur (200°C, 250°C, dan 300°C) pada komposisi PP murni dan daur ulang dengan penguat abu sekam padi terhadap kekuatan *impact* dan struktur makro hasil cetakan. Metode penelitian dilakukan dengan mencetak spesimen uji menggunakan mesin *injection moulding* semi otomatis pada variasi temperatur, dilanjutkan dengan pengujian menggunakan uji *impact* metode *Charpy* serta pengamatan struktur makro secara *visual*. Komposisi material yang digunakan mencakup PP murni, PP daur ulang, serta campuran dengan abu sekam padi sebanyak 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur *injection* berpengaruh signifikan terhadap kekuatan *impact* dan struktur makro produk. Temperatur 200°C menghasilkan kekuatan *impact* tertinggi sebesar 0,0258 J/mm² pada komposisi 100% PP murni, sedangkan temperatur 300°C cenderung menurunkan kekuatan *impact* dan meningkatkan porositas serta cacat makro. Penambahan abu sekam padi 5% dapat meningkatkan kekuatan mekanik dalam batas tertentu, tetapi berisiko menurunkan homogenitas pada temperatur tinggi. Kesimpulannya, kombinasi PP murni dengan penguat abu sekam padi pada temperatur 200°C menghasilkan performa terbaik dari segi kekuatan *impact* dan struktur makro. Penelitian ini menunjukkan potensi penggunaan material daur ulang dan limbah biomassa dalam aplikasi teknik yang lebih ramah lingkungan melalui optimasi temperatur proses *injection moulding*.

Muh Hadi Khusna (email: muhammadikhusna@gmail.com)

Diterima:

Disetujui:

Dipublikasikan:

1 Pendahuluan

Polimer termoplastik tipe *polypropylene* (PP) sering digunakan dalam rumah tangga dan industri. Umumnya, produk *polypropylene* digunakan dalam pengemasan, peralatan laboratorium, dan suku cadang otomotif. Menurut [1], salah satu cara efektif untuk mengurangi dampak lingkungan dari penggunaan PP adalah melalui daur ulang. Selain itu, kualitas PP daur ulang seringkali hampir setara dengan PP *virgin*. Keuntungan ekonomi juga menjadi pertimbangan penting.

Produk plastik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari banyak diproses dengan mesin *injection molding*. Proses produksi *injection molding* merupakan proses yang kompleks karena melibatkan beberapa langkah proses yang diawali dengan langkah pengisian material (*mold filling*) yaitu

bahan plastik leleh akan mengalir dari unit injeksi melalui *sprue*, *runner*, *gate* dan masuk ke dalam *cavity* [2]

Temperatur yang digunakan dalam proses *injection moulding* biasanya berkisar antara 180°C hingga 240°C. Pada suhu 160°C, meskipun material mulai meleleh, viskositasnya masih terlalu tinggi, sehingga dapat menyebabkan pengisian cetakan yang tidak optimal dan porositas pada produk akhir. Sementara itu, suhu yang lebih tinggi, seperti 180°C, memungkinkan PP untuk mencapai *viskositas* yang optimal, yang mendukung aliran material yang lebih baik ke dalam cetakan. Pengaturan suhu yang tepat tidak hanya mempengaruhi kualitas struktur makro produk, tetapi juga berkontribusi pada efisiensi produksi [3]

Penggunaan mesin injeksi *molding* untuk pengolahan plastik *polypropylene* (PP) murni maupun daur ulang sangat tepat karena mesin ini menawarkan presisi tinggi dan efisiensi dalam produksi massal. Injeksi *molding* dapat menghasilkan produk dengan toleransi yang ketat dan detail yang kompleks, yang sangat dibutuhkan dalam aplikasi industri dan konsumen. Selain itu, mesin ini mampu memproses material dengan *viskositas* tinggi, seperti PP murni maupun daur ulang, dan memberikan hasil akhir yang konsisten [4]

Dalam industri plastik, *polypropylene* (PP) merupakan salah satu bahan yang banyak digunakan karena sifatnya yang ringan, tahan kimia, dan mudah diproses. Namun, dengan meningkatnya kesadaran akan lingkungan, penggunaan material daur ulang menjadi penting untuk mengurangi limbah *plastic*. Dimana pemelihan abu sekam padi ini digunakan sebagai *filler* yang kaya akan kandungan silika (SiO_2 hingga 80%- 95%), yang mampu meningkatkan kekakuan dan kekuatan *impact*. Kombinasi ini memberikan alternatif material komposit ramah lingkungan yang kompetitif secara performa sebagai *filler* penguat komposit *plastic*. [5]

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh temperatur *injection moulding* semi otomatis (200°C, 250°C, dan 300°C) dengan material plastik PP (*polypropylene*) murni dan daur ulang dengan penguat abu sekam padi pada proses *injection moulding* terhadap uji *impact* dan struktur makro.

2 Metode Penelitian

Pelaksanaan penelitan dilakukan di Bengkel Jl. Perusahaan Losawi Kec. Singosari, Kab. Malang, yang dimulai pada tanggal Maret – Juli 2025, pengujian kekuatan *impact* dilakukan di laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Pengujian di Laboratorium Material Teknik Mesin S-1 Insititut Teknologi Nasional Malang

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur mesin injeksi *molding* semi otomatis menggunakan material *polypropylene* (PP) murni dan daur ulang dengan penambahan abu sekam padi terhadap sifat mekanik dan struktur makro material. Metode ini dipilih karena sesuai untuk menguji hubungan sebab-akibat antara variabel temperatur terhadap hasil pengujian kekuatan *impact* dan tampilan struktur makro.

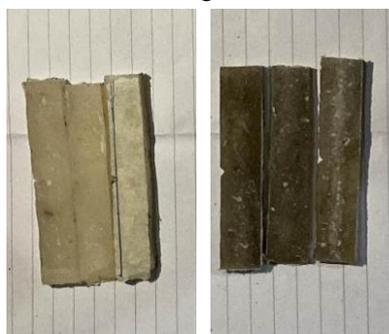
Langkah awal dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur dari berbagai sumber terkait material *polypropylene*, abu sekam padi sebagai *filler* alami, serta proses dan parameter injeksi molding. Setelah itu, dilakukan persiapan alat dan bahan yang meliputi biji plastik PP murni, biji plastik PP daur ulang, serta abu sekam padi yang sudah dikeringkan dan disaring. Mesin injeksi molding semi otomatis juga dirancang dan dibuat terlebih dahulu untuk mendukung proses pencetakan spesimen.

Proses eksperimen dilakukan dengan mencetak spesimen menggunakan mesin injeksi *molding* semi otomatis yang telah dirakit. Terdapat 3 temperatur yang digunakan pada setiap komposisi, yaitu 200 °C, 250 °C, dan 300 °C pada material PP murni dan PP daur ulang, masing-masing dengan penambahan abu sekam padi sebesar 5%.



Gambar 1. Mesin injeksi molding semi otomatis

Setelah spesimen berhasil dicetak, tahap berikutnya adalah melakukan pengujian kekuatan *impact* menggunakan metode Charpy berdasarkan standar ISO 179-1. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur seberapa besar energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen, sehingga dapat diketahui ketangguhan material dari tiap komposisi. Selain itu, dilakukan juga pengamatan terhadap struktur makro permukaan patahan menggunakan mikroskop digital untuk melihat karakteristik permukaan seperti porositas dan tipe patahan (ulet atau getas).



Gambar 2. Spesimen uji *impact*

Data hasil pengujian *impact* dan pengamatan struktur makro kemudian dianalisis untuk menentukan pengaruh temperatur terhadap sifat mekanik dan morfologi material. Analisis ini mencakup perbandingan antar variasi, identifikasi pola perubahan nilai *impact*, serta hubungan antara struktur permukaan patahan dengan kekuatan mekanik material. Hasil akhir dari penelitian ini digunakan sebagai

dasar untuk menarik kesimpulan dan memberikan saran terhadap aplikasi material daur ulang dan penguat alami dalam proses injeksi *molding* yang ramah lingkungan dan efisien

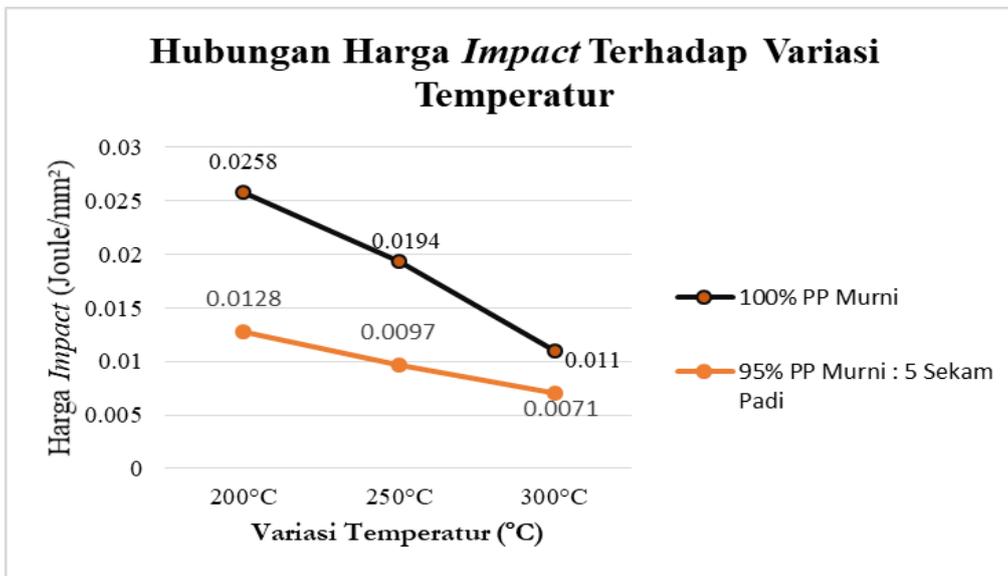
3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil dan Pembahasan Pengujian *Impact*

Dari proses pembentukan spesimen menggunakan mesin *injection moulding* semi otomatis dengan tekanan 3,8 Bar dan temperatur 200° C, 250° C, 300° C. Variasi komposisi material PP (*polypropylene*) murni dan limbah dengan campuran sekam padi, maka didapatkan data *impact* yang bertujuan mengetahui nilai energi dan harga *impact* pada spesimen hasil mesin *injection moulding*, pada pengujian *impact* ini menggunakan alat uji *impact Charpy* dengan standar spesimen ISO 179-1. Berikut ini merupakan hasil data hasil pengujian *impact* yang dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang.

Tabel 1. Data hasil pengujian *impact* PP Murni

Variasi	No Spesimen	Luas Penampang Takik (mm ²)	α (°)	β (°)	Energi (Joule)	HI (Joule/mm ²)
100% PP Murni 200°C	A	320	90	70	8.3880	0.0262
	B	320	90	71	7.9845	0.0249
	C	320	90	70	8.3880	0.0262
		Rata-rata				8.2535
100% PP Murni 250°C	A	320	90	75	6.3475	0.0198
	B	320	90	76	5.9331	0.0185
	C	320	90	75	6.3475	0.0198
		Rata-rata				6.2094
100% PP Murni 300°C	A	320	90	81	3.8365	0.0119
	B	320	90	82	3.4132	0.0106
	C	320	90	82	3.4132	0.0106
		Rata-rata				0.0194
95% PP Murni : 5% Sekam Padi 200°C	A	320	90	80	4.2587	0.0133
	B	320	90	81	3.8365	0.0119
	C	320	90	80	4.2587	0.0133
		Rata-rata				4.1173
95% PP Murni : 5% Sekam Padi 250°C	A	320	90	83	2.9888	0.0093
	B	320	90	82	3.4132	0.0106
	C	320	90	83	2.9888	0.0093
		Rata-rata				3.1303
95% PP Murni : 5% Sekam Padi 300°C	A	320	90	85	2.1374	0.0066
	B	320	90	85	2.1374	0.0066
	C	320	90	84	2.5635	0.0080
		Rata-rata				2.2795



Gambar 3. Grafik hubungan harga *impact* terhadap variasi temperatur PP murni

Berdasarkan grafik hubungan antara variasi temperatur terhadap nilai Harga *Impact* (HI) pada material berbasis PP murni, terlihat tren penurunan kekuatan *impact* seiring dengan peningkatan suhu. Pada komposisi 100% PP murni, nilai HI tertinggi tercatat pada suhu 200°C yaitu sebesar 0,0258 J/mm². Nilai ini menurun menjadi 0,0194 J/mm² pada suhu 250°C, dan mengalami penurunan drastis hingga 0,0110 J/mm² pada suhu 300°C. Hal ini menunjukkan bahwa suhu pemrosesan yang terlalu tinggi berdampak buruk terhadap ketangguhan material karena menyebabkan degradasi termal dan kerusakan struktur makromolekul PP. Penambahan abu sekam padi sebanyak 5% pada PP murni juga terlihat menurunkan nilai HI secara umum, dengan nilai tertinggi hanya sebesar 0,0128 J/mm² pada suhu 200°C dan terus menurun menjadi 0,0071 J/mm² pada suhu 300°C. Artinya, meskipun abu sekam padi berpotensi sebagai penguat, efeknya tidak signifikan pada suhu tinggi karena buruknya dispersibilitas dan kemungkinan terbentuknya *void* dalam struktur makro.

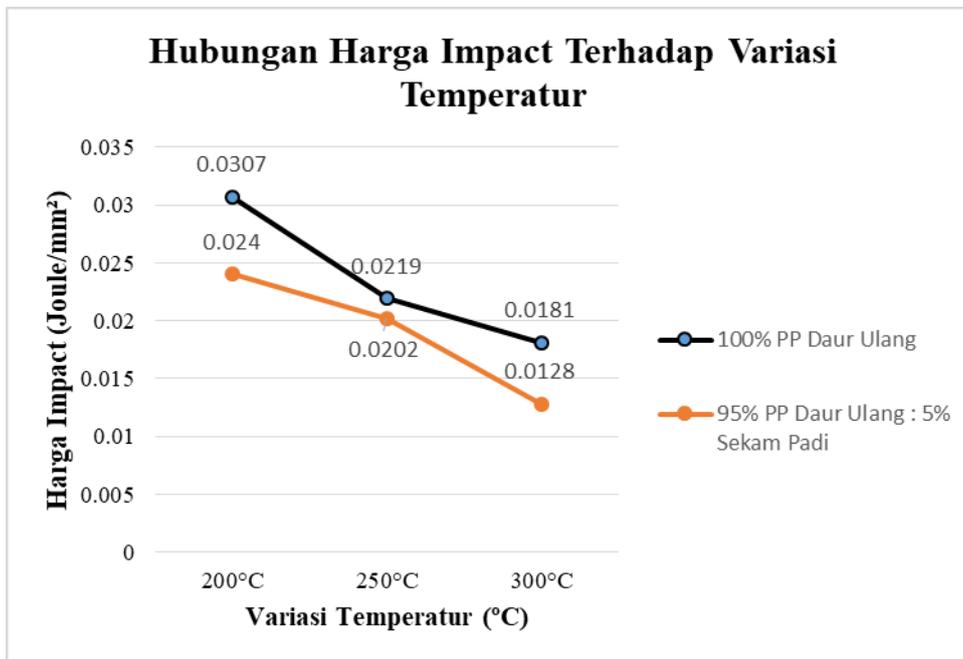
Hasil ini sejalan dengan temuan [6] yang menyatakan bahwa suhu optimal untuk pengolahan PP berada pada kisaran 200°C –230°C, karena pada suhu ini viskositas mencukupi untuk membentuk struktur yang homogen tanpa merusak rantai molekul. Di atas suhu tersebut, terjadi penurunan nilai uji *impact* akibat degradasi termal. Selain itu, [7] menemukan bahwa penambahan abu sekam padi pada PP murni atau daur ulang memang dapat meningkatkan sifat mekanik jika *filler* terdispersi merata dan suhu pemrosesan tidak terlalu tinggi. Namun, pada suhu di atas 250°C, abu sekam padi justru menurunkan ketangguhan material karena terjadi penggumpalan dan ketidak homogenan struktur yang memicu retakan awal saat pengujian *impact*.

Lebih lanjut, penelitian oleh [8] menguatkan bahwa penggunaan *filler* organik seperti abu sekam padi dalam komposit PP harus dilakukan dengan hati-hati terhadap suhu proses. Mereka menemukan bahwa suhu tinggi menurunkan kemampuan *filler* untuk memperkuat struktur karena berkurangnya kohesi antar partikel dan matriks akibat viskositas rendah serta kemungkinan terjadinya pembentukan gelembung udara (*void*) yang merusak integritas struktur makro. Fenomena yang sama terlihat pada hasil

penelitian ini, di mana nilai HI terus menurun pada suhu 300°C, baik pada PP murni maupun pada campuran dengan abu sekam padi.

Tabel 2. Data hasil pengujian *impact* PP daur ulang

Variasi	No Spesimen	Luas Penampang Takik (mm ²)	α (°)	β (°)	Energi (Joule)	HI (Joule/mm ²)
100% PP Limbah 200°C	A	320	90	70	9.9752	0.0311
	B	320	90	71	9.5826	0.0299
	C	320	90	70	9.9752	0.0311
		Rata-rata				9.8443
100% PP Limbah 250°C	A	320	90	75	7.1704	0.0224
	B	320	90	76	6.7600	0.0211
	C	320	90	75	7.1704	0.0224
		Rata-rata				7.0336
100% PP Limbah 300°C	A	320	90	81	5.9331	0.0185
	B	320	90	82	5.5169	0.0172
	C	320	90	82	5.9331	0.0185
		Rata-rata				5.7944
95% PP Limbah : 5% Sekam Padi 200°C	A	320	90	80	7.5786	0.0236
	B	320	90	81	7.9845	0.0249
	C	320	90	80	7.5786	0.0236
		Rata-rata				7.7139
95% PP Limbah : 5% Sekam Padi 250°C	A	320	90	83	6.3475	0.0198
	B	320	90	82	6.7600	0.0211
	C	320	90	83	6.3475	0.0198
		Rata-rata				6.4850
95% PP Limbah 5% Sekam Padi 300°C	A	320	90	85	4.2587	0.0133
	B	320	90	85	3.8365	0.0119
	C	320	90	84	4.2587	0.0133
		Rata-rata				4.1179



Gambar 4. Grafik hubungan harga *impact* terhadap variasi temperatur PP daur ulang

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan dalam grafik hubungan antara variasi temperatur terhadap Harga *Impact* (HI), terlihat bahwa material dengan komposisi 100% PP limbah menunjukkan nilai HI tertinggi pada suhu 200°C yaitu sebesar 0,0307 J/mm². Namun, seiring peningkatan suhu hingga 300°C, nilai HI terus menurun menjadi 0,0181 J/mm². Hal serupa juga terjadi pada material dengan campuran 95% PP limbah dan 5% abu sekam padi, di mana nilai HI optimal tercapai pada suhu 200°C sebesar 0,0240 J/mm² dan menurun tajam hingga 0,0128 J/mm² pada suhu 300°C. Penurunan nilai HI ini mengindikasikan bahwa suhu tinggi cenderung menyebabkan degradasi termal pada matriks PP, terlebih pada material hasil daur ulang yang struktur molekulnya sudah tidak sebaik material murni.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian [6] yang menunjukkan bahwa suhu pemrosesan optimal untuk PP daur ulang berada pada kisaran 200°C –230°C. Pada suhu tersebut, nilai *impact* tertinggi tercapai karena struktur material masih cukup stabil. Di atas suhu tersebut, material mengalami *degradasi termal* yang menyebabkan penurunan ketangguhan. Selain itu, [7] juga menyatakan bahwa penambahan abu sekam padi sebesar 5%–10% dapat meningkatkan kekuatan *impact* material PP, namun hanya pada suhu pemrosesan optimal. Jika diproses di atas suhu 250°C, abu sekam justru menurunkan kekuatan *impact* karena terjadi penggumpalan (*agglomeration*) dan pembentukan *void* yang merusak struktur material. Penelitian ini mendukung temuan tersebut, di mana nilai HI menurun tajam pada suhu tinggi meskipun terdapat penambahan abu sekam.

Lebih lanjut, penelitian oleh [8] menunjukkan bahwa penggunaan *filler* organik seperti abu sekam padi dalam komposit PP daur ulang dapat menghasilkan struktur makro yang lebih rapuh apabila di proses pada suhu tinggi. Hal ini disebabkan oleh penurunan viskositas material sehingga mengurangi kekompakan dan kekuatan ikatan antar molekul selama proses pendinginan. Hasil eksperimen ini menunjukkan kecenderungan serupa, yaitu semakin tinggi suhu pemrosesan, semakin rendah nilai HI yang dihasilkan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pemrosesan material komposit PP daur ulang

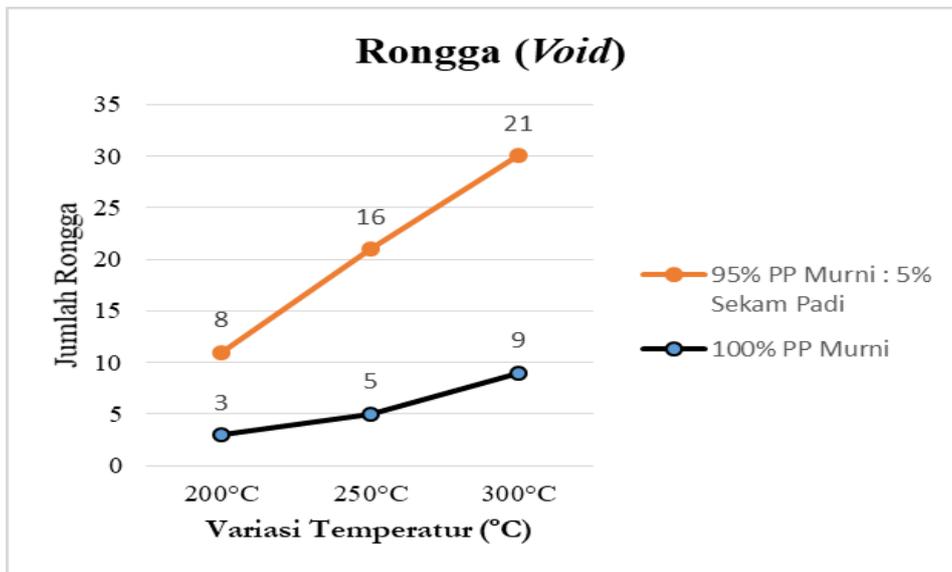
dengan abu sekam padi harus dilakukan pada suhu yang relatif rendah, sekitar 200°C, untuk mendapatkan kekuatan *impact* yang optimal serta struktur makro yang lebih stabil dan homogen.

3.2 Hasil dan Pembahasan Pengujian Struktur Makro

Dari proses pembentukan spesimen menggunakan mesin injeksi *molding* semi otomatis dengan tekanan 3,8 Bar dan temperatur 200°C, 250°C, dan 300°C. Variasi temperatur material PP (*polypropylene*) murni dan daur ulang dengan campuran sekam padi, maka didapatkan data struktur makro yang bertujuan mengetahui patahan dan porositas atau (*void*) hasil spesimen *impact* menggunakan mesin injeksi *molding*, Pengujian dilakukan secara visual dan *non-destruktif*, yang menekankan pada integritas dan kekuatan material secara keseluruhan, bukan pada struktur mikroskopis.

Tabel 3. Data jumlah rongga dan jenis patahan hasil uji struktur makro PP murni

Variasi			Jumlah rongga	Jenis patahan
100%	PP	Murni	3	<i>Transgranular Fracture</i>
Temperatur 200 °C				
100%	PP	Murni	5	<i>Intergranular fracture</i>
Temperatur 250 °C				
100%	PP	Murni	9	<i>Transgranular Fracture</i>
Temperatur 300 °C				
95%	PP Murni: 5% Sekam Padi		8	<i>Intergranular fracture</i>
Temperatur 200 °C				
95%	PP Murni: 5% Sekam Padi		16	<i>Intergranular fracture</i>
Temperatur 250 °C				
95%	PP Murni: 5% Sekam Padi		21	<i>Intergranular fracture</i>
Temperatur 300 °C				



Gambar 5. Grafik jumlah void pada variasi temperatur PP murni

Berdasarkan hasil pengujian, grafik jumlah rongga (*void*) pada spesimen menunjukkan adanya tren peningkatan seiring dengan naiknya temperatur dan penambahan abu sekam padi pada komposisi plastik PP. Pada spesimen 100% PP murni dengan temperatur 200°C, jumlah rongga yang terbentuk hanya sebanyak 3. Ketika temperatur di naikkan menjadi 250°C, jumlah rongga meningkat menjadi 5 atau terjadi peningkatan sebesar 66,67%. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya suhu yang memicu penurunan viskositas material, sehingga material lebih mudah mengalir, namun berpotensi menahan udara atau gas di dalamnya. Selanjutnya, pada temperatur 300°C, jumlah rongga meningkat menjadi 9 atau naik sekitar 80% dibandingkan temperatur sebelumnya. Peningkatan ini terjadi akibat suhu tinggi yang menyebabkan pelepasan gas lebih banyak serta kemungkinan terjadinya degradasi material.

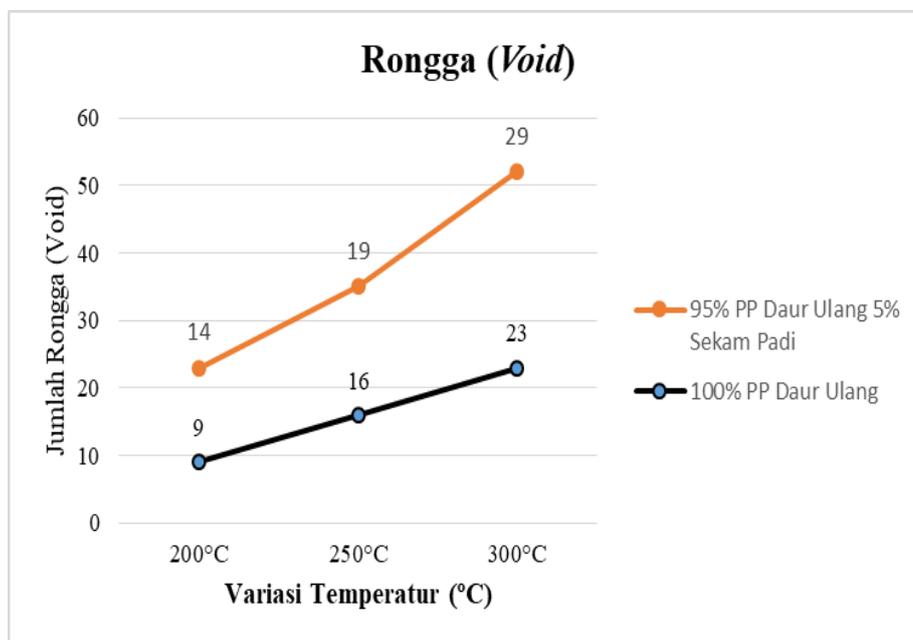
Ketika komposisi di ubah dengan penambahan abu sekam padi sebanyak 5% pada suhu 250°C, jumlah rongga justru menurun dari 9 menjadi 8 atau turun sekitar 11,11%. Penurunan ini mengindikasikan bahwa abu sekam padi dalam jumlah kecil mampu membantu distribusi material menjadi lebih homogen sehingga rongga lebih terkendali. pada suhu 250°C, jumlah rongga meningkat tajam menjadi 16 atau terjadi peningkatan sebesar 100%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi yang terlalu banyak menyebabkan distribusi material menjadi tidak merata, meningkatkan potensi terjebaknya gas atau udara selama proses *injection moulding*. Kenaikan jumlah rongga kembali terjadi saat spesimen dengan komposisi yang sama (95% PP murni : 5% abu sekam padi) di uji pada temperatur 300°C, di mana jumlah rongga mencapai 21 atau naik sebesar 31,25%. Kenaikan ini disebabkan oleh kombinasi suhu tinggi dan kandungan *filler* organik yang memicu degradasi material lebih lanjut serta meningkatkan pelepasan gas yang menyebabkan rongga makin banyak terbentuk.

Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya, seperti penelitian oleh [9] yang menyatakan bahwa peningkatan suhu pada proses *injection moulding* dapat meningkatkan porositas akibat pelepasan gas dari *filler* organik. Selain itu, penelitian [10] juga menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi di atas 5% menyebabkan peningkatan signifikan pada jumlah porositas akibat ke tidak homogenan campuran. Penelitian lain oleh [11] memperkuat temuan ini, di mana kombinasi antara suhu tinggi dan

filler organik seperti abu sekam padi memperbesar risiko terbentuknya *void* (rongga) karena efek degradasi termal dan pelepasan gas yang berlebihan. Secara keseluruhan, analisa ini menegaskan bahwa kontrol terhadap temperatur dan komposisi *filler* sangat krusial untuk meminimalisir jumlah rongga pada produk hasil proses *injection moulding* semi otomatis berbasis PP murni maupun daur ulang dengan penguat abu sekam padi.

Tabel 4. Data jumlah rongga dan jenis patahan hasil uji struktur makro PP daur ulang

Variasi	Jumlah rongga	Jenis patahan
100% PP Daur Ulang Temperatur 200 °C	9	<i>Intergranular fracture</i>
100% PP Daur Ulang Temperatur 250 °C	16	<i>Intergranular fracture</i>
100% PP Daur Ulang Temperatur 300 °C	23	<i>Intergranular fracture</i>
95% PP Daur Ulang: 5% Sekam Padi Temperatur 200 °C	14	<i>Intergranular fracture</i>
95% PP Daur Ulang: 5% Sekam Padi Temperatur 250 °C	19	<i>Intergranular fracture</i>
95% PP Daur Ulang: 5% Sekam Padi Temperatur 300 °C	29	<i>Intergranular fracture</i>



Gambar 6. Grafik jumlah *void* pada variasi temperatur PP daur ulang

Berdasarkan grafik mengenai jumlah rongga (*void*) pada variasi temperatur dan komposisi PP daur ulang, terlihat adanya tren peningkatan jumlah rongga seiring dengan peningkatan temperatur dan perubahan komposisi material. Pada kondisi awal, penggunaan 100% PP daur ulang pada temperatur 200°C menghasilkan jumlah rongga sebanyak 9. Ketika temperatur dinaikkan menjadi 250°C, jumlah rongga meningkat menjadi 16, atau mengalami kenaikan sebesar 77,78%. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa temperatur yang lebih tinggi menyebabkan pelepasan gas *volatil* lebih banyak dari material daur ulang, sehingga meningkatkan pembentukan porositas.

Lebih lanjut, ketika temperatur dinaikkan ke 300°C, jumlah rongga melonjak drastis menjadi 23, yang berarti terjadi peningkatan sebesar 43,75% dibandingkan dengan suhu 250°C. Lonjakan ini menandakan bahwa pada temperatur tinggi, degradasi termal limbah plastik semakin parah, memperparah pembentukan gas dan rongga selama proses *injection moulding*.

Kemudian, pada spesimen dengan campuran 95% PP daur ulang dan 5% abu sekam padi pada temperatur 250°C, jumlah rongga menurun menjadi 14, yang berarti terjadi penurunan sebesar 13,04% dibandingkan dengan spesimen 100% daur ulang pada temperatur yang sama (16 *void*). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi dalam jumlah kecil dapat mengisi sebagian ruang antar molekul dan mengurangi pembentukan rongga. Namun, ketika suhu dinaikkan ke 300°C dengan komposisi yang sama (95% daur ulang dan 5% abu sekam padi), jumlah rongga meningkat tajam menjadi 29, yang merupakan peningkatan sebesar 107,14% dibandingkan kondisi pada 250°C.

Secara keseluruhan, peningkatan suhu secara signifikan meningkatkan jumlah rongga pada PP daur ulang, baik murni maupun dengan tambahan abu sekam padi. Meskipun abu sekam padi sempat menunjukkan efek pengurangan rongga pada suhu 250°C, efek tersebut hilang pada suhu 300°C karena dominasi degradasi termal. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol suhu sangat krusial dalam proses *injection moulding* material daur ulang, dan bahwa penambahan *filler* harus disertai dengan optimalisasi suhu dan proses pencampuran agar benar-benar efektif dalam memperbaiki struktur internal material.

Hasil ini selaras dengan penelitian [12] yang menyimpulkan bahwa peningkatan temperatur di atas 240°C pada PP murni mulai memicu porositas akibat pelepasan gas dari struktur polimer. Penelitian [13] juga menemukan bahwa penggunaan PP murni pada 240°C menghasilkan kekompakan struktur yang baik, sedangkan penggunaan PP daur ulang tanpa pengontrol suhu menyebabkan cacat struktural berupa *void* dan retakan. Sementara itu, dalam penelitian [6], disebutkan bahwa penambahan abu sekam padi memang efektif dalam mengurangi porositas, namun hanya bila suhu proses dijaga agar tidak menyebabkan reaksi termal berlebih. Ketiga penelitian tersebut mendukung hasil studi ini, di mana penggunaan suhu terlalu tinggi (300°C) pada PP daur ulang memperburuk struktur material dengan meningkatkan jumlah rongga, dan penambahan abu sekam padi hanya efektif bila berada dalam rentang temperatur yang optimal.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kendali suhu dan komposisi *filler* harus disesuaikan secara tepat. Penggunaan PP daur ulang memiliki keterbatasan termal dibanding PP murni, sehingga suhu proses tidak boleh terlalu tinggi. Penambahan abu sekam padi dapat membantu mengurangi cacat

struktur, tetapi efektivitasnya sangat tergantung pada pengaturan temperatur dan distribusi yang merata dalam matriks polimer.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan *impact* dan struktur makro hasil produk mesin *injection moulding* semi otomatis maka dapat disimpulkan yaitu pengaruh temperatur terhadap uji *impact* yaitu temperatur *injection* yang lebih tinggi (hingga 300°C) cenderung menurunkan nilai kekuatan *impact* (*impact strength*) baik pada material PP murni maupun daur ulang. Hal ini disebabkan oleh terjadinya *degradasi termal* dan kerusakan struktur makromolekul material. Temperatur optimal diperoleh pada kisaran 200–230°C, terutama pada komposisi 100% PP murni, yang menunjukkan nilai *impact* tertinggi sebesar 0,0258 J/mm² pada 200°C. Pengaruh temperatur terhadap struktur makro menunjukkan bahwa temperatur tinggi menyebabkan peningkatan porositas dan cacat makro pada hasil cetakan, seperti retakan dan *void*. Pada temperatur 300°C, terlihat distribusi abu sekam padi yang tidak homogen, menyebabkan konsentrasi tegangan dan memicu patahan awal. Komposisi dengan PP murni dan abu sekam padi 5% menunjukkan hasil struktur makro yang lebih baik pada 200°C dibandingkan temperatur tinggi.

5 Referensi

- [1] S. Prabowo, M. Chalid, and D. Rusmana, “Perbandingan Sifat Kekerasan dan Penyusutan Produk Berbahan Dasar *Polipropilene* Murni dan Campuran Hasil Pemanasan Berulang,” *Pist. J. Tech. Eng.*, vol. 5, no. 2, p. 83, 2022, doi: 10.32493/pjte.v5i2.19379.
- [2] Firdaus, F., Umurani, K., Affandi, A., Nurdin, H., & Nasution, A. R. (2022). Pengaruh Suhu Cetakan Terhadap Produk Plastik Berbahan *Polypropylen* (Pp) Pada *Injection Molding*. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 5(1), 39-45
- [3] Hadi, I. N., Hastuti, S., Nurhadi, N., Riskia, A. P., Afandi, R., & Tarigan, R. A. P. (2021). Analisa Uji Tarik dan Uji Impact Pada Komposit Sekam Padi Perlakuan NaOH dan Pengisi Plastik *Polypropylene* (PP) dengan Matriks Resin BQTN-157. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 18(2), 155-162.
- [4] Hartono, E. F., & Rachmat, N. (2022). Klasifikasi Jenis Plastik HDPE, LDPE, Dan PS Berdasarkan Tekstur Menggunakan Metode *Support Vector Machine*. *JatISI (Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi)*, 9(2), 1403-1412.
- [5] Wahyudi, A., Prabowo, H., & Suryanto, E. (2020). Pengaruh Abu Sekam Padi Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Komposit *Polypropylene* pada Proses Injeksi *Molding*. *Jurnal Mekanika dan Material*, 9(4), 76–84.
- [6] Pambudi, W., & Mahfudin, M. C. (2022). *the Effect of Injection Speed, Injection Pressure, and Mold Position on the Production of Polypropylene (PP) Lounge Chairs*. 21, 275–281.
- [7] Lestari, N., Prasetyo, H., & Wulandari, A. (2022). Pengaruh Abu Sekam Padi terhadap

- Karakteristik Mekanik Komposit *Polypropylene* Daur Ulang pada Proses Injeksi *Molding*. *Jurnal Polimer dan Komposit*, 10(1), 33–40.
- [8] Setiawan, E., & Rahmatullah & M. Setiawan, E. (2020) *The Effect Of Mixture Composition On The Characteristics Of Briquette Products From Tea Waste: A Systematic Literature Review*6.
- [9] Rizky, M. A., Ramadhan, D., & Nuraini, S. (2022). Optimalisasi Komposisi *Polypropylene* Daur Ulang dan Abu Sekam Padi terhadap Struktur Mikro dan Ketangguhan *Impact*. *Jurnal Polimer dan Komposit*, 6(3), 110–118.
- [10] Rahmatullah, M., Hidayat, T., & Ananda, R. (2020). Analisis sifat mekanik dan *morfologi material polypropylene* daur ulang dengan metode *injection molding* pada variasi suhu dan tekanan. *Jurnal Teknik Mesin dan Energi*, 8(1), 30–38.
- [11] Yuniarti, L., & Siregar, M. (2019). Studi pengaruh bahan penguat organik terhadap kekuatan *impact* dan *struktur* makro komposit *polypropylene* hasil injeksi semi otomatis. *Jurnal Polimer dan Komposit*, 5(3), 101–109.
- [12] Santoso, R. D., Maulana, F., & Kurniawan, D. (2019). Pengaruh Variasi Komposisi *Filler* Organik terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan *Impact* Komposit *Polypropylene* Daur Ulang. *Jurnal Rekayasa Material*, 7(3), 112–121.
- [13] Widodo, A., Pratama, H., & Setiawan, B. (2020). Pengaruh Penggunaan *Polypropylene* Daur Ulang terhadap Struktur Mikro dan Kekuatannya pada Proses Injeksi *Molding*. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 15(2), 115-123.