

THE EFFECT OF RECYCLED POLYPROPYLENE AND CALCIUM CARBONATE ADDITION ON MECHANICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE YARN

PENGARUH PENAMBAHAN POLIPROPILENA DAUR ULANG DAN KALSIUM KARBONAT TERHADAP SIFAT MEKANIK BENANG POLIPROPILENA

Heni Fitri Astuti¹, Muh Wahyu Sya'bani^{1, *}

¹Department of Rubber and Plastic Processing Technology, Politeknik ATK Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

* Corresponding author: mwsyabani@atk.ac.id

Abstract:

The use of recycled polypropylene can reduce the problem of plastic waste while lowering production costs. Likewise, the addition of calcium carbonate as a filler also reduces costs and influencing the mechanical characteristics of the plastic. However, this effort needs to consider the quality of the final product. This study aims to evaluate the effect of using recycled polypropylene and calcium carbonate on the mechanical characteristics of plastic yarn. Samples with PP : rPP : CaCO₃ compositions of 100:0:0, 80:20:0, and 60:20:20 were used as comparisons. Each sample was processed and molded using an extruder machine and the resulting yarn was tested for tensile strength, elongation at break, and tenacity. The mechanical testing value was further confirmed using FTIR spectroscopy analysis. The research results showed that the FTIR spectra between virgin (PP) and recycled polypropylene (rPP) were similar. The tensile strength, elongation at break, and tenacity values of virgin polypropylene are 3.40 kg/mm², 27.25%, and 5.70 kgf. The addition of 20% RPP shows a decrease in value to 3.10 kg/mm², 23.60%, and 4.60 kgf due to the presence of parts that were degraded during reprocessing. Meanwhile, the addition of 20% calcium carbonate also provided lower mechanical test results of 2.65 kg/mm², 22.50%, and 4.25 kgf due to the difficulties of distribution and dispersion of the filler in the polymer matrix.

Keywords: polypropylene, recycled, calcium carbonate, extruder, mechanical properties

Intisari:

Penggunaan polipropilena daur ulang dapat mengurangi masalah limbah plastik serta menekan biaya produksi. Demikian juga dengan penambahan kalsium karbonat sebagai filler turut menurunkan biaya sekaligus mempengaruhi karakteristik mekanik plastik. Akan tetapi upaya ini perlu mempertimbangkan kualitas produk yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan polipropilena daur ulang dan kalsium karbonat terhadap karakteristik mekanik benang karung plastik. Sampel dengan komposisi PP : rPP : CaCO₃ sebesar 100:0:0, 80:20:0 dan 60:20:20 digunakan sebagai perbandingan. Masing-masing sampel dicetak menggunakan mesin extruder dan benang yang dihasilkan diuji nilai kuat tarik, perpanjangan

putus, dan *tenacity*. Nilai pengujian mekanik ini selanjutnya dikonfirmasi menggunakan analisis gugus fungsi menggunakan FTIR spectroscopy. Hasil penelitian menunjukkan jika spektra FTIR antara polipropilena murni dengan daur ulang tidak menunjukkan perbedaan. Nilai kuat tarik, perpanjangan putus dan *tenacity* dari polipropilena murni sebesar 3,40 kg/mm², 27,25% dan 5,70 kgf. Penambahan rPP 20% menunjukkan penurunan nilai menjadi 3,10 kg/mm², 23,60% dan 4,60 kgf akibat adanya bagian yang terdegradasi saat pemrosesan sebelumnya. Sedangkan penambahan kalsium karbonat 20% juga memberikan hasil pengujian mekanik yang lebih rendah sebesar 2,65 kg/mm², 22,50% dan 4,25 kgf karena adanya pengaruh distribusi dan dispersi dari filler pada matriks polimer.

Kata kunci: polipropilena, daur ulang, kalsium karbonat, extruder, uji mekanik

Pendahuluan

Penggunaan plastik semakin meningkat setiap tahunnya dan menjadi pilihan utama dalam berbagai bidang berkat sifat-sifatnya yang ringan, mudah dibentuk, masa pakai panjang, ketahanan kimia, kekuatan yang baik, dan biaya terjangkau [1, 2]. Tingginya pemanfaatan plastik dalam berbagai aplikasi pada akhirnya turut berkontribusi pada peningkatan volume limbah padat [3]. Salah satu jenis plastik yang banyak digunakan adalah polipropilena, baik dalam peralatan rumah tangga, konstruksi, otomotif maupun kemasan seperti karung [4, 5]. Polipropilena termasuk jenis termoplastik sehingga dapat mengalami pelunakan saat dipanaskan dan pengerasan saat didinginkan kembali [1, 6]. Karakteristik unik ini menjadi nilai tambah dalam proses pemrosesan polipropilena seperti ekstrusi dan injection molding, di mana produk cacat dapat didaur ulang melalui peleburan kembali [6].

Polipropilena sebagaimana plastik pada umumnya, memiliki sifat yang sulit terurai oleh mikroorganisme sehingga memerlukan waktu yang lama untuk terdegradasi [3]. Dengan demikian, pengolahan sampah dengan cara landfill perlu dihindari karena memberikan dampak pada lingkungan [7]. Solusi berupa pembakaran plastik juga menghasilkan dampak negatif, seperti emisi dioksin yang bersifat karsinogen [2]. Sehingga diperlukan upaya penanganan limbah yang tidak menimbulkan permasalahan baru. Salah satu upaya yang menarik adalah proses daur ulang untuk mengubah limbah plastik menjadi biji plastik yang dapat dicetak kembali menjadi produk.

Namun, distribusi panas yang tidak homogen selama proses produksi dapat mengakibatkan kerusakan struktural pada plastik [7]. Sebagian dari plastik daur ulang yang mengalami degradasi maupun aditif yang terkandung di dalamnya berpotensi menurunkan kualitas hasil [8, 14]. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penggunaan plastik daur ulang tersebut. Hal ini dilakukan sebagai upaya menyeimbangkan antara perlindungan lingkungan dengan kualitas produk yang dihasilkan.

Di sisi lain, industri pengolahan plastik seperti pembuatan karung terus berupaya menekan biaya produksi tanpa mengorbankan kualitas. Selain menggunakan bahan daur ulang, kalsium karbonat sering juga digunakan sebagai filler pada matriks plastik untuk memperbaiki karakteristik mekanik sekaligus mengurangi biaya pemrosesan [5, 9]. Dengan demikian, penggunaan bahan baku dengan harga terjangkau seperti polipropilena daur ulang dan kalsium karbonat menarik bagi industri terkait [8, 10]. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi

pengaruh penggunaan dua bahan tersebut terhadap karakteristik mekanik benang karung plastik, termasuk kuat tarik (*tensile strength*), perpanjangan putus (*elongation at break*), dan keuletan (*tenacity*). Hasil pengujian mekanik ini selanjutnya dikonfirmasi menggunakan analisis gugus fungsi plastik melalui uji FTIR.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah *hopper dryer*, *extruder*, *universal testing machine* (UTM) merek Gester, neraca analitik, FTIR *spectroscopy* UATR merek Perkins Frontier.

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah homopolimer polipropilena (PP) Trilene HY3.8FY dari PT. Chandra Asri dengan nilai meltflow index 3,85 g/10min, kalsium karbonat dan polipropilena daur ulang (rPP) dari PT. Sami Surya Indah Plastik. Semua bahan penelitian digunakan tanpa ada preparasi secara khusus sebagaimana terlihat pada Gambar 1. berikut.



Gambar 1. Bahan penelitian (a) polipropilena (b) kalsium karbonat (c) polipropilena daur ulang

Metode

Dalam penelitian ini, variabel yang dipelajari adalah komposisi bahan baku bijih plastik yang digunakan (PP dan rPP) serta filler kalsium karbonat. Formulasi yang digunakan disajikan pada Tabel 1 berikut.

Table 1. Komposisi bahan baku

Jenis bahan	Jumlah (% berat)		
	SS1	SS2	SS3
Polipropilena (PP)	100	80	60
Polipropilena daur ulang (rPP)	0	20	20
Kalsium karbonat	0	0	20

Masing-masing formulasi selanjutnya digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan benang karung plastik yang meliputi beberapa tahapan proses. Tahapan persiapan bahan baku, proses pengeringan, pencetakan, pemotongan dan pengujian dilakukan sesuai prosedur. Bahan baku yang akan diproses dilakukan pengeringan pada suhu 90°C terlebih dahulu untuk menghilangkan kadar air. Keberadaan air pada bijih plastik dapat menyebabkan cacat pada produk plastik seperti void. Selanjutnya film plastik dicetak menggunakan mesin extruder

dengan suhu barel di set pada 230-250°C. Film yang dihasilkan didinginkan pada suhu 40 °C dan dipotong sesuai specimen uji yang digunakan.

Pengujian mekanik yang dilakukan meliputi kuat Tarik, perpanjangan putus, dan tenacity mengikuti metode SNI 19-0057-1998 dengan pengulangan sebanyak 5 kali. Sedangkan pembacaan spektra FTIR dilakukan dengan software PerkinsElmer Spectrum pada rentang panjang gelombang 650-5000 cm⁻¹. Semua pengukuran dilakukan pada suhu kamar.

Hasil dan Pembahasan

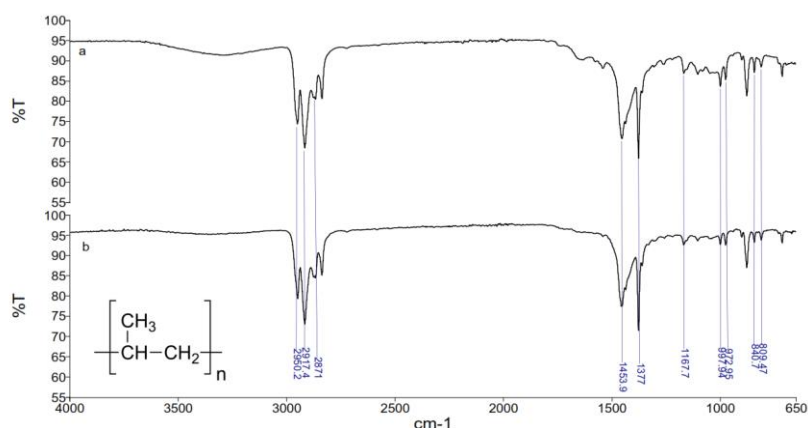
Analisis gugus fungsi

Spektra FTIR dari polipropilena murni dan daur ulang dibandingkan untuk mengetahui kemungkinan perubahan struktur yang terjadi akibat pemrosesan sebelumnya dari rPP. Puncak spektra yang menjadi karakteristik dari polipropilena disajikan pada table 2 berikut.

Table 2. Puncak spektra FTIR untuk polipropilena [11]

Panjang gelombang (cm ⁻¹)	Tipe vibrasi	Gugus
808	stretching	C-C
840	rocking	C-H
973	rocking	CH ₃
	stretching	C-C
996	rocking	CH ₃
1166	stretching	C-C
	wagging	C-H
	rocking	CH ₃
1376	symmetrical bending	CH ₃
1456	symmetrical bending	CH ₃
2870	stretching	CH ₃
2920	asymmetrical stretching	CH ₃
2950	asymmetrical stretching	CH ₃

Pada umumnya, keberadaan gugus karbonil pada panjang gelombang 1740 cm⁻¹ menjadi tanda terjadinya aging maupun degradasi pada rantai polimer [12]. Hasil analisa disajikan pada Gambar 2 berikut.



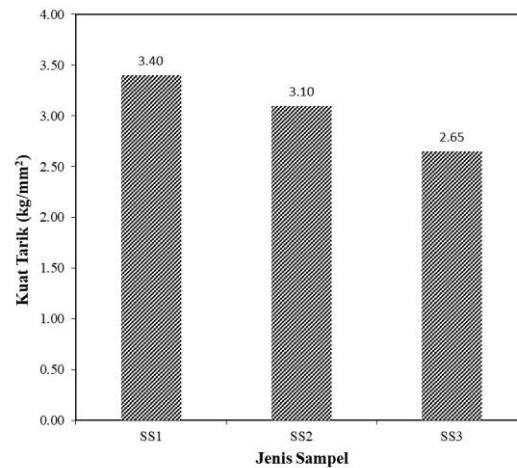
Gambar 2. Spektro FTIR (a) PP dan (b) rPP

Berdasarkan Gambar 2. terlihat jika spektra dari rPP tidak memiliki puncak pada panjang gelombang 1740 cm^{-1} yang menunjukkan keberadaan gugus karbonil. Bahkan, baik PP maupun rPP memberikan hasil yang mirip dan menunjukkan puncak khas dari polipropilena sebagaimana table 1 [11, 12]. Hal ini mengindikasikan jika polipropilene daur ulang yang digunakan pada penelitian ini belum mengalami kerusakan struktur kimia.

Uji kuat tarik

Hasil pengujian kuat tarik untuk masing-masing sampel disajikan pada Gambar 3. Sebagaimana terlihat pada Gambar 3. formulasi yang menggunakan polipropilena murni memberikan hasil uji kuat tarik rerata tertinggi yaitu $3,40\text{ kg/mm}^2$. Nilai pengujian turun sedikit menjadi $3,1\text{ kg/mm}^2$ ketika menggunakan 20% rPP, meskipun spektra FTIR menunjukkan hasil yang mirip. Hal ini dapat diakibatkan karena sebagian dari rPP telah mengalami degradasi akibat pemanasan pada proses sebelumnya, sementara itu pengujian FTIR tidak dapat dilakukan untuk keseluruhan bahan [7].

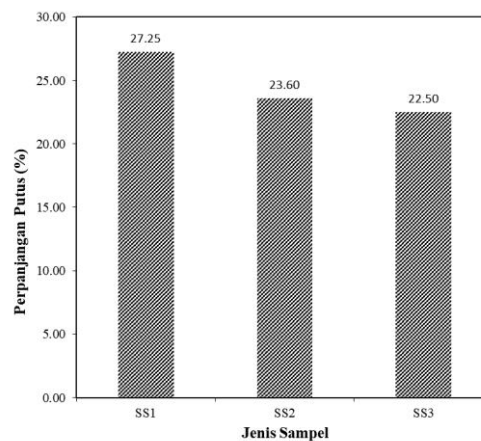
Sedangkan saat ditambahkan filler kalsium karbonat sebanyak 20%, nilai kuat tarik turun kembali ke angka $2,65\text{ kg/mm}^2$. Penambahan kalsium karbonat pada matriks plastik dapat menurunkan kuat tarik karena dipengaruhi oleh luas bidang kontak dan kekuatan interfacial dari filler tersebut [4]. Faktor tersebut berhubungan langsung dengan distribusi maupun dispersi filler di dalam matriks [13]. Distribusi merupakan kemampuan filler untuk menyebar merata ke keseluruhan bagian polimer, sedangkan dispersi menunjukkan kondisi aglomerasi filler. Penambahan filler ke dalam matriks polimer menyebabkan sistem menjadi heterogen [9]. Pada jumlah penambahan kalsium karbonat yang rendah, filler mudah terdistribusi dan mampu melakukan transfer *stress* melalui lapisan *interfacial* sehingga memberikan kenaikan kuat tarik. Akan tetapi, pada penambahan filler yang berlebihan akan menyulitkan distribusi dan dispersi sehingga merusak kontinuitas dari matriks plastik [5]. Oleh karena itu, sampel tanpa filler dapat memberikan hasil yang lebih baik pada penelitian ini.



Gambar 3. Nilai kuat tarik sampel plastik

Perpanjangan putus

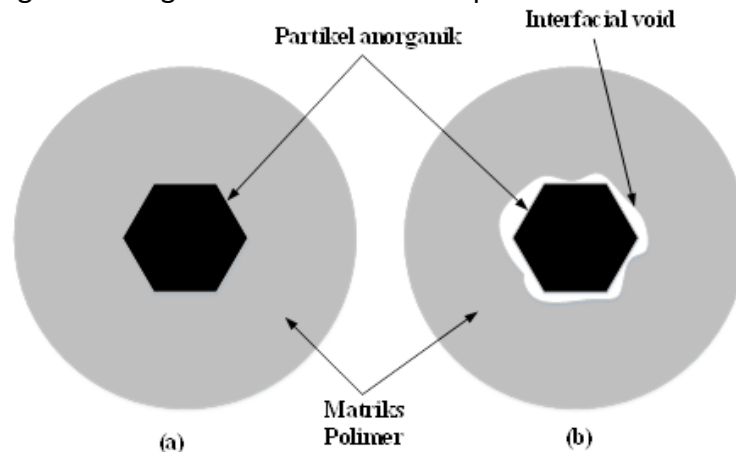
Hubungan antara jenis formulasi dengan hasil pengujian perpanjangan putus disajikan pada Gambar 4. berikut.



Gambar 4. Nilai perpanjangan putus sampel plastik

Sampel dengan polipropilena murni memberikan nilai perpanjangan putus tertinggi yaitu 27,25%, sedangkan penambahan rPP dan kemudian kalsium karbonat menurunkan nilainya menjadi 23,60% dan 22,50% secara berurutan. Rantai polimer rPP yang mengalami degradasi akibat pemrosesan ulang dapat menyebabkan kekuatan plastik lebih rendah [14]. Sementara itu, keberadaan partikel kalsium karbonat pada matriks plastik berpotensi memberikan nilai kekuatan impak yang menurun juga sehingga sampel menjadi lebih rapuh [4]. Keberadaan partikel berukuran besar dan aglomerat dapat meninggalkan ruang void di matriks polimer

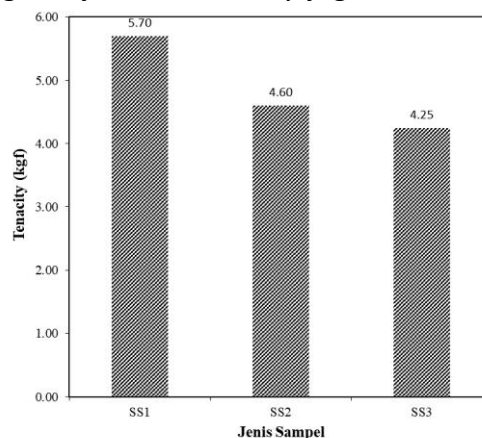
sehingga menjadi tempat awal terjadinya keretakan dan mempengaruhi nilai perpanjangan putus [9]. Skema pengaruh ruang *void* ini diGambar kan pada Gambar 5. berikut.



Gambar 5. Skema diagram pencampuran di matriks polimer (a) ideal (b) *interface void*
Ruang void dapat terjadi apabila gaya adhesi antara filler dan polimer tidak baik [15]. Hal ini sebenarnya dapat diperbaiki dengan melakukan *coating* permukaan kalsium karbonat menggunakan stearat [9, 13].

Tenacity

Nilai *tenacity* dari masing-masing variasi formulasi ditunjukkan pada Gambar 6. berikut. Kalsium karbonat biasanya disediakan dalam bentuk aglomerat dan diharapkan hancur selama pemrosesan berlangsung [9]. Apabila hal ini tidak terjadi, maka penambahan kalsium karbonat maupun partikel plastik terdegradasi dapat mengurangi pergerakan rantai molekuler dari matriks plastik, sehingga memberikan produk yang kaku [4]. Sedangkan keuletan dari bahan polimer tergantung pada tingkat mobilitas rantainya pada saat kondisi pengujian dilakukan [10]. Oleh karena itu, terlihat pada grafik jika nilai *tenacity* juga turut terpengaruh.



Gambar 6. Nilai *tenacity* sampel plastik

Pada Gambar terlihat jika polipropilena murni memberikan nilai *tenacity* tertinggi yaitu 5,7 kgf, dan nilainya menurun dengan penambahan rPP menjadi 4,6 kgf. Penambahan kalsium karbonat akan menurunkan kembali *tenacity* menjadi 4,25 kgf.

Kesimpulan

Penggunaan polipropilena daur ulang dan kalsium karbonat mempengaruhi karakteristik produk benang plastik. Hasil spektra FTIR menunjukkan jika tidak terlihat perbedaan antara polipropilena murni dengan daur ulang. Akan tetapi, nilai kuat tarik, perpanjangan putus dan tenacity dengan penambahan rPP 20% mengalami penurunan akibat adanya bagian yang terdegradasi saat pemrosesan sebelumnya. Sedangkan penambahan kalsium karbonat 20% juga memberikan hasil pengujian mekanik yang lebih rendah lagi karena adanya pengaruh distribusi dan dispersi dari filler pada matriks polimer. Dengan demikian, meskipun penggunaan rPP dan kalsium karbonat berpotensi menekan biaya produksi, perlu dianalisa lebih lanjut apakah nilai karakteristik mekaniknya masih masuk pada standar kualitas produk tersebut.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. Sami Surya Indah Plastik serta Laboratorium Teknik Polimer dan Instrumentasi Politeknik ATK Yogyakarta yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Wu, Z. et al., "Biodegradation of conventional plastics: Candidate organisms and potential mechanisms", *Science of The Total Environment*, 885, p. 163908, 2023.
- [2] Verma, R. et al., "Toxic Pollutants from Plastic Waste- A Review", *Procedia Environmental Sciences*, 35, Vol 35, pp. 701–708, 2016,.
- [3] Awoyera, P.O., Adesina, A., "Plastic wastes to construction products: Status, limitations and future perspective", *Case Studies in Construction Materials*, Vol 12, p. e00330, 2020.
- [4] Budiyanoro, C. et al., "The effect of CaCO₃ filler component on mechanical properties of polypropylene", in *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, Vol 432 (1) , p. 012043, 2018.
- [5] Jing, Y. et al., "Reinforcing polypropylene with calcium carbonate of different morphologies and polymorphs", *Science and Engineering of Composite Materials*, Vol 25 (4), pp. 745–751, 2018
- [6] Frizzo, J.A. et al., "Construction of a plastomer for the analysis of polypropylene fluidity under different temperatures and use of additives", *Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology*, Vol 2(7) , pp. 1–7, 2020.
- [7] Kassab, A. et al., "Advancing Plastic Recycling: Challenges and Opportunities in the Integration of 3D Printing and Distributed Recycling for a Circular Economy", *Polymers*, Vol 15 (19), p. 3881, 2023.
- [8] Alassali, A. et al., "Towards Higher Quality of Recycled Plastics: Limitations from the Material's Perspective", *Sustainability*, Vol 13 (23), p. 13266, 2021.
- [9] Zuiderduin, W.C.J. et al., "Toughening of polypropylene with calcium carbonate particles", *Polymer*, Vol 44 (1) , pp. 261–275, 2003.
- [10] Chan, C.-M. et al., "Polypropylene/calcium carbonate nanocomposites", *Polymer*, Vol 43 (10), pp. 2981–2992, 2002.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

- [11] Fang, J. et al., "Needleless Melt-Electrospinning of Polypropylene Nanofibres", *Journal of Nanomaterials*, Vol 2012, pp.1-9, 2012
- [12] Gall, M. et al., "Characterization of Composition and Structure–Property Relationships of Commercial Post-Consumer Polyethylene and Polypropylene Recyclates", *Polymers*, Vol 13 (10), pp. 1574, 2021.
- [13] Donate-Robles, J., Martín-Martínez, J.M., "Addition of precipitated calcium carbonate filler to thermoplastic polyurethane adhesives", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol 31 (8) ,p p. 795–804, 2011.
- [14] Ioniță, A. et al., "Properties Of Composites Based on Recycled Polypropylene and Lignocellulosic Agricultural Waste", *Revista Română de Materiale*, Vol 53 (1),pp. 94–100,2023.
- [15] Lin, R. et al., "Metal organic framework based mixed matrix membranes: An overview on filler/polymer interface", *Journal of Materials Chemistry A*, Vol 6(2), pp.293-312, 2017.