PENGARUH PADUAN JENIS PLASTIK PP, HDPE, DAN LDPE DAUR ULANG TERHADAP SIFAT MEKANIK BALOK PLASTIK HASIL INEJCTION MOLDING

THE EFFECT OF MIXED RECYCLED PLASTICS PP, HDPE, AND LDPE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF PLASTIC BLOCK PROCESSED USING INJECTION MOLDING

Hendra[1)*], Basuki Abdulah[1)], Shofiatul Ula[1)], Reski Septiana[1)], Hernadewita[2)] , Hermiyetti[3)]
[1)] Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten, Indonesia
[2)] Magister Teknik Industri, Universitas Mercu Buana, DKI Jakarta, Indonesia
[3)]Fakultas Ekonomi, Universitas Bakrie, DKI Jakarta, Indonesia

[*]email corresponding: hendra@untirta.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Diperbaiki:
Revised
01/05/2025

Diterima:
Accepted
23/05/2025

Publikasi Online:
Online-Published
28/06/2025

ABSTRAK

Banyaknya limbah plastik dan tingginya permasalahan lingkungan akibat limbah plastik mendorong upaya pemanfaatan material plastik daur ulang dalam berbagai aplikasi, termasuk pembuatan produk balok plastik menggunakan mesin injection molding. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh paduan jenis plastik daur ulang (PP, HDPE, dan LDPE) terhadap sifat mekanik balok plastik. Dua dari tiga jenis plastik daur ulang yang digunakan dipadukan dengan komposisi 1:1 lalu dicetak menjadi balok plastik. Pengujian dilakukan melalui uji tarik dan uji impak untuk menilai kekuatan tarik dan ketangguhan material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa paduan PP + HDPE menghasilkan nilai tegangan tarik sebesar 26,2 MPa, regangan 29,2%, dan modulus elastisitas sebesar 89,6 MPa. Sedangkan nilai uji impak rata-rata paduan ini mencapai 0,168 Joule/mm² dengan beban lentur maksimal 3,94 kgf/cm². Paduan ini dapat dijadikan referensi material untuk pembuatan balok plastik yang memiliki sifat mekanik yang baik.

***Kata Kunci** : sifat mekanis, balok plastik, plastik daur ulang, injection molding*

ABSTRACT

The abundant amount of plastic waste and the high environmental problems it caused encourage the efforts to utilize recycled plastic materials in various applications, including the manufacture of plastic block produced using injection molding. This study aimed to analyze the effect of a mixture of recycled plastic types (PP, HDPE, and LDPE) on the mechanical properties of plastic blocks. Two of the three types of recycled plastic used were combined with a 1:1 composition and then molded into plastic blocks. Testing was carried out through tensile tests and impact tests to assess the tensile strength and toughness of the material. The results showed that the PP + HDPE alloy produced a tensile stress value of 26.2 MPa, a strain of 29.2%, and an elastic modulus of 89.6 MPa. While the average impact test value of this alloy reached 0.168 Joules/mm² with a maximum bending load of 3.94 kgf/cm². This alloy can be used as a reference material for manufacturing plastic blocks that have good mechanical properties.

***Keywords** : mechanical properties, plastic block, recycled plastic, injection molding*

©2025 The Authors. Published by AUSTENIT (Indexed in SINTA)

doi:

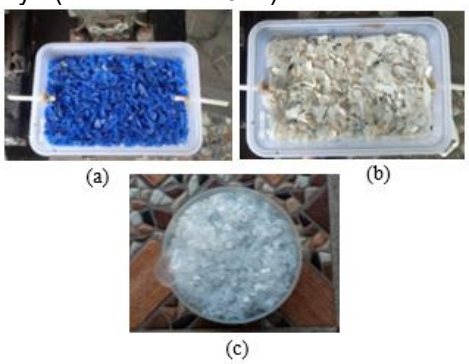
10.53893/austenit.v17i1.10589

1 PENDAHULUAN

Penggunaan plastik dalam berbagai industri menyebabkan peningkatan jumlah limbah plastik yang sulit terurai. Berdasarkan data statistik, negara Indonesia berada pada peringkat kelima sebagai negara dengan penyumbang sampah plastik terbesar ke laut dengan volume mencapai 56.333 ton (Pratama et. al. 2025). Plastik sendiri merupakan salah satu material molekul besar yang diperoleh melalui tahapan polimerisasi. Molekul plastik sering disebut makromolekul karena ukurannya yang besar, ditinjau dari jumlah atom karbon yang dimilikinya. Plastik banyak digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan berbagai produk sehari-hari, seperti peralatan rumah tangga, produk otomotif, dan perangkat elektronik. Plastik terdiri dari beberapa macam dan pada tiap jenisnya terdapat kode daur ulang berbentuk segitiga dengan panah melingkar yang diperkenalkan oleh *American Society of Plastik Industry* pada tahun 1988 (Homan et al. 2011).

Plastik dibentuk melalui proses yang dikenal dengan sebutan *injection molding* pada dunia industri. Adapun proses *injection molding* dimulai dengan memasukkan bahan baku plastik berupa serbuk atau bijih ke dalam *hopper*. Plastik kemudian dialirkan dan dipanaskan di dalam *barrel* sesuai dengan suhu yang telah ditetapkan. Seiring dengan meningkatnya suhu, butiran plastik akan meleleh dan didorong keluar melalui *nozzle* untuk diinjeksi ke dalam cetakan yang telah disiapkan. Setelah cetakan terisi sepenuhnya, plastik dibiarkan membeku dan mendingin pada suhu ruang selama beberapa waktu sebelum cetakan dibuka dan hasil cetakan dikeluarkan (Fernandes et al. 2018).

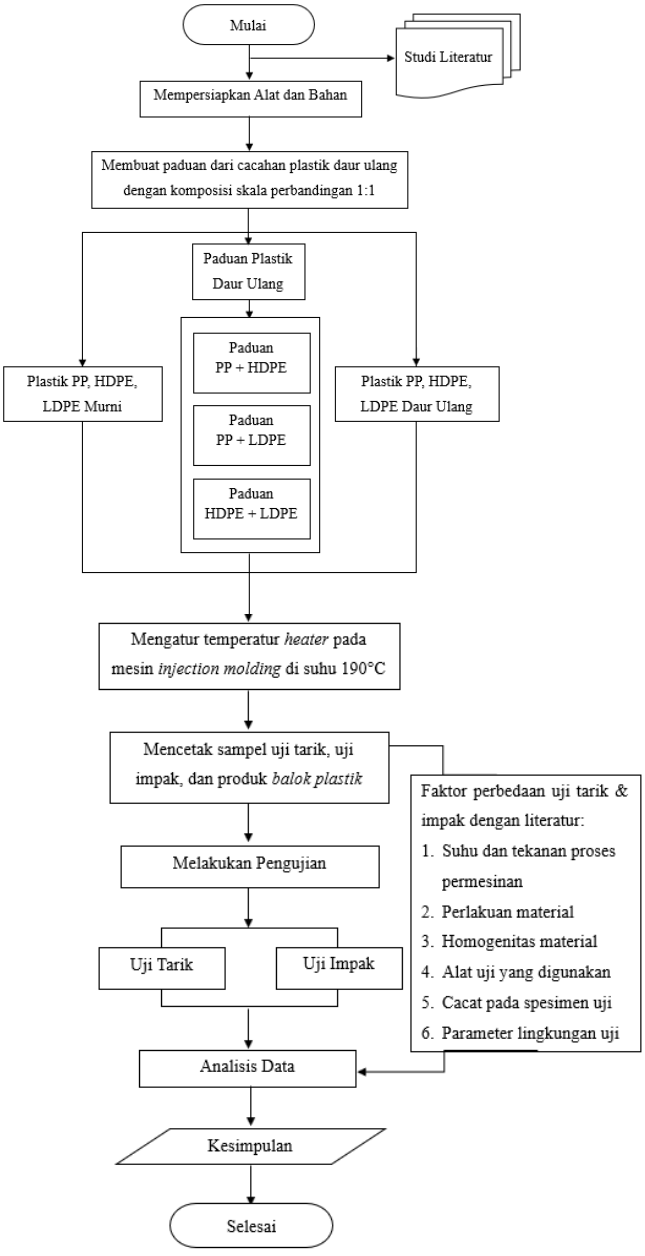
Plastik hasil *injection molding* melalui beberapa pengujian, salah satunya uji impak (*fatigue*) untuk menentukan ketangguhan material, apakah material cenderung rapuh atau ulet. Uji impak merupakan jenis pengujian yang melibatkan penggunaan beban dinamis (pendulum) untuk menguji ketangguhan material. Energi yang diserap oleh spesimen diukur berdasarkan perbedaan energi potensial pendulum sebelum dan sesudah mengenai benda uji untuk kemudian dihitung nilai impaknya (Aldian et al. 2024).



Gambar 1. Plastik daur ulang (a) PP, (b) HDPE, (c) LDPE

Plastik juga melalui pengujian uji tarik untuk mengetahui tegangan yang mampu ditahan plastik serta mengetahui seberapa besar regangan yang dialami oleh plastik saat tegangan maksimum. Uji tarik merupakan metode pengujian yang bersifat merusak, di mana gaya diterapkan secara terus-menerus pada spesimen hingga spesimen tersebut mengalami kegagalan (putus). Hasil yang dapat dianalisis dari pengujian tarik biasanya mencakup perubahan panjang spesimen serta beban maksimum yang dapat diterima oleh spesimen tersebut (Diana et al. 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh paduan jenis plastik daur ulang (PP, HDPE, dan LDPE) terhadap sifat mekanik balok plastik yang dihasilkan.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

2. BAHAN DAN METODA

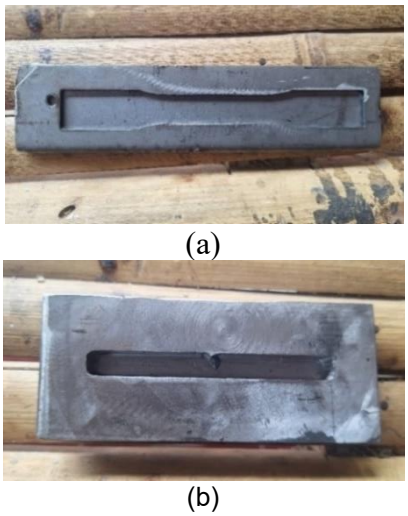
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah plastik daur ulang PP, HDPE, dan LDPE dalam bentuk cacahan, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Kemudian dua jenis plastik daur ulang dipadukan dengan skala 1:1 untuk dicetak menjadi balok plastik dengan menggunakan mesin *injection molding*. Hasil cetakan paduan plastik daur ulang kemudian diuji tarik dan impak untuk menentukan sifat mekanis hasil paduan tersebut (Suryana et al. 2018). Sifat mekanis paduan plastik dibandingkan dengan sifat mekanis dari masing-masing PP, HDPE, dan LDPE murni maupun daur ulang. Secara grafis, alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin *injection molding*, cetakan specimen uji tarik dan impak, serta mesin uji tarik dan impak, yang secara berurutan ditunjukkan oleh Gambar 3, 4, dan 5.

Prosedur uji tarik mengikuti standar ASTM D638 tipe 1 untuk mengetahui kekuatan material baik itu tegangan tarik, regangan, dan modulus elastisitas material (Miller et al. 2019). Prosedur uji impak mengikuti standar ASTM D256 metode Izod, dilakukan untuk mengetahui ketahanan material terhadap benturan (Bachi Al-Fahad et al. 2023 dan Rashid et al. 2017**)**.

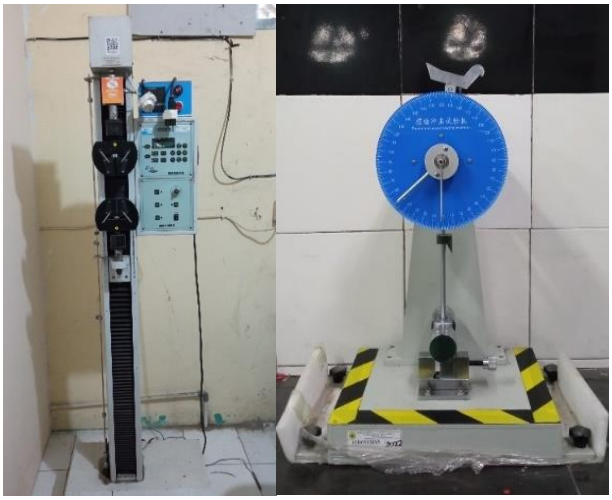


Gambar 3. Mesin *injection molding*



(a) (b)

Gambar 4. Cetakan specimen (a) uji tarik ASTM D638, (b) uji impak ASTM D256



(a) (b)

Gambar 5. Alat (a) uji tarik, (b) uji impak

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian sifat mekanis paduan plastik daur ulang disajikan dalam data di bawah ini.

3.1 Hasil Uji Tarik

Spesimen uji tarik hasil paduan plastik daur ulang ditunjukkan oleh Gambar 6. Spesimen dibentuk menyesuaikan standar ASTM D638 tipe 1.

Hasil uji tarik material murni, daur ulang, dan paduan ditampilkan dalam Tabel 1, dimana kekuatan tarik dan regangan yang dihasilkan material murni lebih tinggi dibandingkan material daur ulang, namun modulus elastisitas material murni lebih rendah dibandingkan material daur ulang. Secara grafis perbandingan hasil uji tarik material paduan plastik daur ulang ditunjukkan oleh Gambar 7, dimana berdasarkan pengujian diketahui bahwa paduan PP + HDPE daur ulang memiliki tegangan tarik dan modulus elastisitas tertinggi dengan nilai 26,2 MPa dan 89,6 MPa. Nilai regangan paduan PP + HDPE daur ulang yang berkisar 29,2% menandakan bahwa selain kaku dan kuat, paduan ini juga cukup fleksibel.

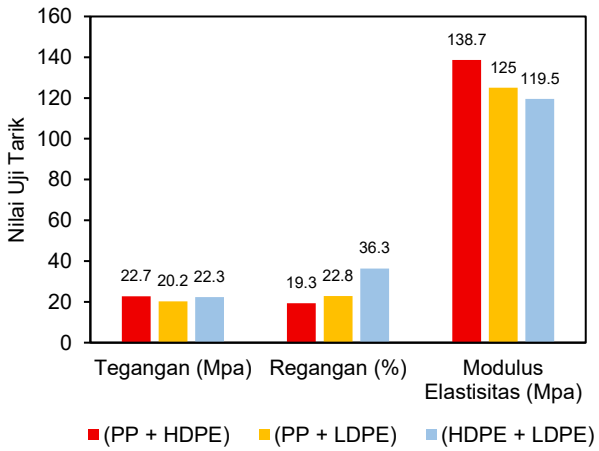
Paduan PP + HDPE daur ulang merupakan paduan dengan nilai tegangan tarik tertinggi, sehingga mampu memberikan kekuatan mekanik terbaik. Dari segi regangan, paduan PP + HDPE daur ulang juga memiliki regangan yang cukup baik, sehingga tahan terhadap deformasi. Paduan ini juga memiliki modulus elastisitas yang tinggi sehingga mampu memberikan kekakuan yang diperlukan untuk menjaga bentuk balok plastik di bawah pembebanan.



Gambar 6. Sampel spesimen uji tarik ASTM D638 tipe 1

Tabel 1. Perbandingan Kekuatan Mekanis Berbagai Material Plastik

No	Material	Tegangan Tarik Maks. (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
1	PP Murni	30,7	19,3	159,3
2	HDPE Murni	29,8	85,0	34,9
3	LDPE Murni	17,5	48,0	36,1
4	PP Daur Ulang (DU)	25,5	15,8	161,4
5	HDPE Daur Ulang (DU)	26,6	53,2	50,0
6	LDPE Daur Ulang (DU)	16,5	34,8	47,0
7	Paduan (PP + HDPE) DU	26,2	29,2	89,6
8	Paduan (PP + LDPE) DU	19,4	25,7	76,2
9	Paduan (HDPE + LDPE) DU	21,0	39,7	52,8



Gambar 7. Grafik perbandingan hasil uji tarik tiap paduan

3.2 Hasil Uji Impak

Semua spesimen untuk pengujian mempunyai luas penampang yang sama yaitu 832 mm2 karena berasal dari satu cetakan dan mengikuti standard ASTM D256 dengan metode izod. Hasil uji impak material murni, daur ulang, dan paduan ditampilkan dalam Tabel 2, dimana LDPE murni memiliki nilai impak tertinggi dibanding material lainnya. Hal ini dikarenakan LDPE murni memiliki struktur molekul bercabang yang banyak, memiliki densitas yang besar, dan sangat ulet sehingga lebih kuat menyerap energi impak dibanding HDPE dan PP murni. Namun jika dibandingkan dengan LDPE daur ulang, terjadi penurunan nilai impak yang sangat signifikan sebesar 16% dari 0,162 menjadi 0,136 Joule/mm2. Penurunan nilai ini terjadi juga pada sampel HDPE dan PP, dimana sampel HDPE daur ulang mengalami penurunan nilai impak sebesar 4,58% dari HDPE murni, dan untuk PP mengalami penurunan sebesar 3,55% dari PP murni.

Menurut Zhang et al (2024) penurunan nilai impak untuk material daur ulang terjadi dikarenakan plastik daur ulang telah mengalami degradasi, sehingga pada tahap awal degradasi rantai molekul pada permukaan plastik daur ulang menjadi teroksidasi dan retak yang diakibatkan oleh interaksi dengan cahaya, panas, dan oksigen. Dengan demikian menyebabkan berat molekul berkurang dan retakan permukaan muncul, seiring dengan bertambahnya waktu degradasi, oksigen dan panas menembus bahan dan kemudian menyebabkan oksidasi rantai molekul internal. Sehingga dapat dikatakan bahwa penyebaran retakan permukaan dan degradasi merupakan penyebab utama penurunan sifat mekanik yang menyebabkan mikrostruktur material berubah dan mengalami penurunan kualitas. Kemudian plastik daur ulang juga telah terkontaminasi oleh bahan asing (impuritas), baik itu kotoran-kotoran berupa debu, minyak, ataupun air yang ada di tempat sampah, dan juga terkena paparan sinar matahari dalam waktu lama sehingga mengakibatkan plastik daur ulang mengalami penurunan kekuatan jika dibandingkan dengan plastik murni.

Nilai impak paduan plastik daur ulang mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan plastik daur ulang non paduan. Nilai impak terbesar didapatkan oleh paduan plastik daur ulang PP + HDPE, yaitu sebesar 0,168 Joule/mm2, diikuti oleh paduan HDPE + LDPE sebesar 0,159 Joule/mm2, dan yang terendah yaitu paduan PP + LDPE dengan nilai impak sebesar 0,153 Joule/mm2.

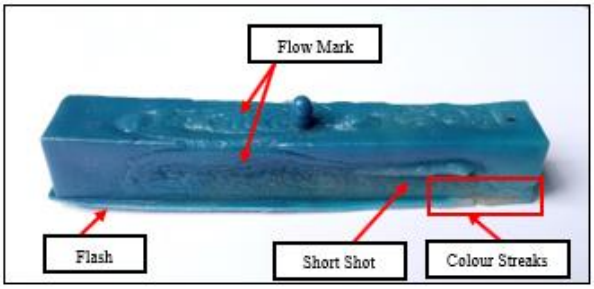
Paduan PP + HDPE daur ulang merupakan kombinasi yang menghasilkan karakteristik material yang memiliki sifat mekanik gabungan dari kedua material penyusun. PP memberikan kekuatan mekanik dasar yang baik karena sifat kekakuan dan ketahanannya terhadap deformasi, sementara HDPE menambah sifat ketangguhan material karena kristalinitasnya yang tinggi sehingga mengakibatkan paduan ini menghasilkan spesimen uji dengan kemampuan untuk menahan beban tumbukan yang besar.

3.3 Analisis Produk yang Dihasilkan

Dalam penelitian ini dilakukan analisis cacat untuk mengevaluasi kualitas produk balok plastik yang dihasilkan dari paduan material daur ulang dengan nilai uji tarik dan uji impak tertinggi (PP + HDPE). Produk balok plastik yang dihasilkan dari paduan PP + HDPE daur ulang ditunjukkan oleh Gambar 8. Dimensi produk setelah dicetak yaitu 125 mm x 20 mm x 20 mm atau mempunyai volume sebesar 50 cm3.



Gambar 8. Hasil Produk Balok Plastik Paduan PP + HDPE DU



Gambar 9. Kecacatan pada Produk Balok Plastik Paduan PP + HDPE DU

Setelah dicetak, produk mempunyai berbagai kecacatan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9. Cacat *flash* terjadi karena adanya kelebihan material pada saat proses pencetakan dimana material lelehan plastik keluar dari rongga cetakan yang ditandai dengan kemunculan lapisan tipis plastik yang meluber pada bagian tepi atau sambungan cetakan. Penyebab terjadinya cacat *flash* antara lain dikarenakan pada saat proses pencetakan material yang masuk melibihi kapasitas cetakan yang ada sehingga pada saat pengepresan material meluber dan cetakan tidak tertutup rapat. Solusi untuk cacat *flash* yaitu dengan meningkatkan waktu penjepitan cetakan agar cetakan tertutup rapat pada saat material telah diinjeksikan (Widiastuti et al. 2019).

Terdapat cacat *flow mark* atau biasa disebut sebagai "*flow line*" atau "*weld line*" dalam proses *injection molding*. Cacat jenis ini adalah cacat yang timbul pada bagian permukaan produk berbahan plastik yang diakibatkan oleh penggabungan dua aliran lelehan plastik yang berbeda selama proses *injection molding*. Cacat ini terbentuk ketika aliran lelehan plastik bergabung kembali setelah mengalami perubahan arah di dalam cetakan. Solusi untuk *flow mark* yakni dengan memastikan posisi cetakan sejajar dengan mesin injeksi (Widiastuti et al. 2019).

Terdapat juga cacat *short shot* atau disebut juga dengan istilah *short mold*, istilah ini mengacu pada kondisi ketika cetakan tidak terisi penuh oleh material plastik yang diinjeksikan. Sehingga menyebabkan beberapa bagian pada produk tidak terisi oleh material plastik. Hal yang harus diperhatikan untuk mencegah *short shot* yaitu dengan mengontrol parameter-parameter seperti suhu dan volume bahan yang diinjeksikan kedalam cetakan (Zhang et al. 2024).

Dan yang terakhir terdapat *colour streaks* yakni cacat produk yang diakibatkan oleh adanya campuran warna pada suatu produk sehingga produk yang dihasilkan menjadi belang, contohnya seperti pada gambar 13 dimana plastik PP tidak tercampur merata dengan plastik HDPE sehingga menyebabkan pada salah satu bagian terlihat belang (Wibawansyah, 2024).

Tabel 2. Perbandingan Nilai Impak Berbagai Material Plastik

No	Material	Rata-rata energi yang diserap (Joule)	Rata-rata nilai impak (Joule / mm2)
1	PP Murni	117,7	0,141
2	HDPE Murni	127,0	0,153
3	LDPE Murni	134,7	0,162
4	PP Daur Ulang (DU)	112,7	0,136
5	HDPE Daur Ulang (DU)	121,7	0,146
6	LDPE Daur Ulang (DU)	112,7	0,136
7	Paduan (PP + HDPE) DU	139,7	0,168
8	Paduan (PP + LDPE) DU	127,3	0,153
9	Paduan (HDPE + LDPE) DU	132,3	0,159

4. KESIMPULAN

Material plastik daur ulang mempunyai sifat mekanik yang lebih rendah dibandingkan material plastik murni, sehingga diperlukan proses pemaduan untuk mendapatkan sifat mekanik balok plastik yang lebih baik. Paduan dua material plastik daur ulang dengan skala 1:1 terbukti mampu meningkatkan kekuatan mekanik balok plastik dari segi kekuatan tarik, fleksibilitas, dan kemampuan menyerap energi benturan. Paduan plastik daur ulang yang dibuat menggunakan mesin *injection molding* dengan temperatur peleburan 190°C terdiri dari paduan PP + HDPE, PP + LDPE, dan HDPE + LDPE. Secara keseluruhan, paduan-paduan tersebut menunjukkan peningkatan kekuatan tarik dibandingkan plastik daur ulang non-paduan. Hanya paduan PP + HDPE yang tidak mengalami peningkatan kekuatan tarik, namun nilai regangannya mengalami kenaikan dan paduan ini tercatat sebagai paduan dengan kekuatan tarik tertinggi dibanding paduan lainnya dengan nilai tegangan tarik sebesar 26,2 MPa, nilai regangan 29,2%, dan nilai modulus elastisitas sebesar 89,6 MPa. Paduan plastik daur ulang PP + HDPE juga memiliki nilai ketangguhan tertinggi pada pengujian uji impak diantara semua paduan, dengan nilai yang diperoleh yaitu 0,168 Joule/mm2. Hal ini memberikan gambaran bahwa kombinasi antara HDPE yang fleksibel dan PP yang memiliki kekakuan tinggi dan tahan benturan memberikan kontribusi signifikan terhadap ketangguhan material. Sebaliknya, pada paduan PP + LDPE memiliki nilai ketangguhan terendah, yang menunjukkan keterbatasan kombinasi ini dalam menyerap energi tumbukan.

Berdasarkan analisis kekuatan tarik dan ketangguhan, didapatkan hasil paduan PP + HDPE merupakan kombinasi terbaik untuk digunakan sebagai material balok plastik yang membutuhkan daya tahan beban tarik dan benturan. Material paduan PP + HDPE dengan komposisi 1:1 memiliki kekuatan untuk menahan tekanan sebesar 0,386 MPa dengan ketebalan produk balok plastik setebal 20 mm.

DAFTAR PUSTAKA

Aldian, A., Siahaan, E., & Tanujaya, H. (2024). Karakteristik Kekuatan Mekanis Komposit Serat Karbon Poros Roda Belakang Go-Kart. *Journal of Syntax Literate*, *9*(11). DOI: https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v9i11.16849

Bachi Al-Fahad, I.O., Hassan, A.D., Faisal, B.M., Sharaf, H.K. (2023). Identification Of Regularities In The Behavior Of A Glass Fiber-Reinforced Polyester Composite Of The Impact Test Based On Astm D256 Standard. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (7 (124)), 63–71. doi: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.286541.

Diana, L., Safitra, A. G., & Ariansyah, M. N. (2020). Analisis kekuatan tarik pada material komposit dengan serat penguat polimer. Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material, 4(2), 59-67. https://doi.org/10.30588/jeemm.v4i2.754

Fernandes, C., Pontes, A. J., Viana, J. C., & Gaspar-Cunha, A. (2018). Modelling and Optimization of the Injection-Molding Process: A Review. *Advances in Polymer Technology*, *37*(2), 429-449. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/adv.21683

Homan, D. K. (2011). Simbol untuk menunjang sistem informasi desain kemasan makanan dan minuman plastik. *Humaniora*, *2*(1), 33-39. DOI: https://doi.org/10.21512/humaniora.v2i1.2945

Miller, A., Brown C., Warner G. (2019). Guidance on the Use of Existing ASTM Polymer Testing Standards for ABS Parts Fabricated Using FFF. *Smart Sustain. Manuf. Syst.,* 3(1): 122-138, https://doi.org/10.1520/SSMS20190051.

Pratama, Z. I. S., & Astuti, W. R. D. (2025), Kerja Sama Multistakeholder National Plastik Action Partnership (NPAP) sebagai Upaya Penanganan Sampah Plastik di Perairan Bali Melalui Edukasi Pada Pelajar, *Padjadjaran Journal of International Relations*, *7*(1), 67-82.). DOI: https://doi.org/10.24198/padjir.v7i1.57019

Rasid, M., Ginting, M., & Apriansyah, M. R. (2017). Pengaruh Fraksi Volume Serat Serabut Kelapa dan Serbuk Plastik HDPE Bermatrik Resin Polyester terhadap Kekuatan Mekanik Komposit. *AUSTENIT*, *9*(2).

Suryana, D., & Junaidi, A. (2018). Pengaruh komposisi komposit serat-serat eceng gondok dan pasir silika terhadap uji impact dan uji tarik untuk point panjat dinding. *AUSTENIT*, *10*(2), 56-60

Wibawansyah, S. (2024). Identify Product Defects in The Injection Molding Process. Proceeding of The 7th Seminar Nasional Sains 2024, Procedia of Engineering and Life Science, vol. 5, pp. 223 - 226, Doi: https://doi.org/10.21070/pels.v7i0.1448

Widiastuti, H., Surbakti, S. E., Restu, F., Albana, M. H., & Saputra, I. (2019). Identifikasi Cacat Produk Dan Kerusakan Mold Pada Proses Plastik Injection Molding. *Jurnal Teknologi Dan Riset Terapan (JATRA)*, *1*(2), 76–80. https://doi.org/10.30871/jatra.v1i2.1805

Zhang, W, Shen J., Guo X., Wang K., Jia J., Zhao J. and Zhang J. (2024), Comprehensive Investigation into the Impact of Degradation of Recycled Polyethylene and Recycled Polypropylene on the Thermo-Mechanical Characteristics and Thermal Stability of Blends, *Molecules*, *29*(18), 4499; https://doi.org/10.3390/molecules29184499.