

# Penambahan *Compatibilizer* pada *Polymer Blend* dari Limbah Masker Sekali Pakai dan *Polypropylene* Daur Ulang terhadap Sifat Mekanik Material

Anwar Ibrahim<sup>1</sup>, Indah Widiastuti<sup>2\*</sup>, Yuyun Estriyanto<sup>3</sup> 

<sup>1,2,3</sup> Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received July 28, 2024

Accepted October 13, 2024

Available online October 25, 2024

### Kata Kunci:

Limbah Masker, *Polymer Blend*, *Compatibilizer*, Sifat Mekanik, Daur Ulang

### Keywords:

Mask Waste, *Polymer Blend*, *Compatibilizer*, Mechanical Properties, Recycling



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2024 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

## ABSTRAK

Pandemi COVID-19 meningkatkan limbah masker sekali pakai secara signifikan, menghasilkan mikroplastik yang sulit terurai dan berbahaya bagi lingkungan. Masalah ini mendorong penelitian untuk mengembangkan solusi berbasis daur ulang menggunakan *polymer blend* dengan penambahan *compatibilizer* untuk meningkatkan sifat mekanis. Penelitian ini bertujuan menganalisis efek *compatibilizer Maleic Anhydride Grafted Polypropylene* (MAPP) pada *polymer blend* berbahan *polypropylene* limbah masker sekali pakai. Penelitian ini merupakan eksperimen dengan desain kuantitatif. Subjek penelitian terdiri dari spesimen *polymer blend* dengan variasi komposisi limbah masker (70-100%), *polypropylene* daur ulang (30%), dan *compatibilizer* MAPP (0-3%). Sebanyak 5 spesimen diuji untuk masing-masing variasi menggunakan standar ASTM D638 untuk uji tarik dan ASTM D256 untuk uji impak. Data dikumpulkan melalui pengujian mekanik dan dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan inferensial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *compatibilizer* meningkatkan sifat tarik dan impak *polymer blend* secara signifikan dibandingkan dengan campuran tanpa *compatibilizer*. Simpulan penelitian ini menunjukkan bahwa *polymer blend* berbasis limbah masker dengan *compatibilizer* MAPP dapat menjadi alternatif material ramah lingkungan dengan sifat mekanik yang lebih baik, berpotensi sebagai produk hijau bernilai komersial. Implikasinya, metode ini mendukung pengelolaan limbah plastik berkelanjutan dan ekonomi sirkular.

## ABSTRACT

The COVID-19 pandemic has significantly increased disposable mask waste, producing microplastics that are difficult to decompose and harmful to the environment. This problem has prompted research to develop a recycling-based solution using a *polymer blend* and a *compatibilizer* to improve mechanical properties. This study aims to analyze the effect of the *compatibilizer Maleic Anhydride Grafted Polypropylene* (MAPP) on a *polymer blend* made from *polypropylene* from disposable mask waste. This study is an experiment with a quantitative design. The subjects of the study consisted of *polymer blend* specimens with variations in the composition of mask waste (70-100%), recycled *polypropylene* (30%), and MAPP *compatibilizer* (0-3%). A total of 5 specimens were tested for each variation using the ASTM D638 standard for tensile testing and ASTM D256 for impact testing. Data were collected through mechanical testing and analyzed using descriptive and inferential statistics. The results showed that adding a *compatibilizer* significantly improved the tensile and impact properties of the *polymer blend* compared to the mixture without a *compatibilizer*. The conclusion of this study shows that a *polymer blend* based on waste masks with MAPP *compatibilizer* can be an alternative environmentally friendly material with better mechanical properties, potentially as a green product with commercial value. The implication is that this method supports sustainable plastic waste management and a circular economy.

## 1. PENDAHULUAN

Pada 11 Maret 2020, World Health Organization (WHO) secara resmi menetapkan virus SARS-CoV-2 sebagai peristiwa darurat kesehatan internasional dan pandemi global. Langkah pencegahan penyebaran virus, seperti penggunaan masker sekali pakai sebagai alat pelindung diri utama, segera diberlakukan secara luas. Hal ini mengakibatkan peningkatan signifikan dalam produksi masker sekali pakai untuk memenuhi kebutuhan global. Berdasarkan data, produksi masker ini menghasilkan limbah yang cukup besar, yaitu sekitar 13.600 ton per hari di seluruh dunia (Hiscott et al., 2020; Irez et al., 2022). Pengelolaan limbah ini menjadi tantangan baru, terutama karena masker sekali pakai tidak mudah terurai dan didominasi oleh material *polypropylene*. Masker sekali pakai sebagian besar terdiri dari *polypropylene*, yaitu polimer plastik yang memiliki daya tahan tinggi terhadap dekomposisi alami. Kandungan *polypropylene* ini diperkirakan mengandung mikroplastik berserat dengan kisaran 76 hingga 276 item per liter. Mikroplastik tersebut memiliki sifat inert yang membuatnya bertahan dalam lingkungan selama

\*Corresponding author.

E-mail addresses: [indahwidiastuti@staff.uns.ac.id](mailto:indahwidiastuti@staff.uns.ac.id) (Indah Widiastuti)

bertahun-tahun tanpa terurai. Masalah menjadi semakin kompleks karena mikroplastik dari limbah masker ini berpotensi mencemari ekosistem darat maupun laut. Partikel-partikel kecil ini dapat dengan mudah tertelan oleh organisme kecil seperti plankton, dan seiring waktu, mikroplastik tersebut masuk ke dalam rantai makanan hingga mencapai tingkat konsumen puncak, termasuk manusia. Dampak dari pencemaran mikroplastik akibat limbah masker sekali pakai sangat berbahaya. Mikroplastik dapat membawa zat-zat kimia beracun, seperti aditif plastik atau polutan organik, yang memiliki efek merugikan pada kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan (Liu et al., 2022; Zhou et al., 2020). Pada manusia, mikroplastik yang tertelan atau terhirup dapat menyebabkan stres oksidatif, peradangan, serta gangguan pada sistem endokrin. Pada organisme lain, mikroplastik ini dapat menghambat pertumbuhan, reproduksi, dan fungsi fisiologis. Dengan demikian, peningkatan penggunaan masker sekali pakai yang tidak diiringi pengelolaan limbah yang memadai telah menciptakan masalah lingkungan yang serius, menuntut adanya solusi yang inovatif dan berkelanjutan.

Pengurangan efek negatif pada limbah masker sekali pakai salah satunya adalah dengan daur ulang. Karena bahan dasar yang terbuat dari plastik, limbah masker secara langsung dapat didaur ulang dengan cara dipanaskan untuk kemudian diproses kembali secara mekanis. Literatur menjelaskan bahwa limbah masker mampu dijadikan sebagai kursi duduk anak karena memiliki sifat mekanik yang sesuai. Pada studi tersebut masker sekali pakai dikumpulkan kemudian dilakukan sterilisasi menggunakan sistem UVC, setelah disterilkan masker tersebut dimasukkan pada *granulator* kemudian diproses ke mesin *injection moulding* dimana masker dicampur dengan *polypropylene* dan sisa-sisa plastik. Studi lain juga menunjukkan daur ulang masker sekali pakai menjadi material komposit yang dijadikan bumper pada kendaraan roda empat (Irez et al., 2022; Sakinah et al., 2022).

Penambahan polimer lain agar menghasilkan produk dengan sifat baru atau disebut *polymer blend* merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan sifat produk daur ulang. *Polymer blend* merupakan proses pencampuran dua atau lebih polimer untuk mendapatkan produk baru dengan properti yang lebih baik dari segi teknisnya. Pengembangan *polymer blend* juga ditujukan untuk minimasi biaya ekonomi dan waktu pada proses daur ulang karena tidak perlu lagi dilakukan pemisahan. Ada dua jenis campuran pada polimer, yaitu campuran yang dapat bercampur (homogen) seperti *polistirena - polifenilena oksida* (PS-PPO) dan tidak bercampur (heterogen) seperti *polypropylene - polietilena* (PP-PE) (Bertin & Robin, 2002; Lin et al., 2015; Toh et al., 2021). Dalam proses pengembangan *polymer blend* ini ditemukan permasalahan yang menyebabkan sifat *polymer blend* menjadi tidak lebih baik daripada homopolimer. Pada pencampuran dua polimer yang berbeda sering terjadi campuran yang hasilnya menunjukkan morfologi yang kasar, partikel yang terdispersi secara buruk pada *matriks* dan distribusinya kurang merata. Adapun campuran *Polyethylene* (PE) dan *Polypropylene* (PP) yang tidak mampu bercampur secara termodinamika akan membentuk sistem biner yang sifat kerjanya lebih rendah dibandingkan homopolimer. Perpaduan antara polimer *High Density Polyethylene* (HDPE) dan *Polypropylene* (PP) akan menghasilkan kekuatan dampak yang lebih baik namun keduanya akan menghasilkan campuran yang tidak dapat bercampur dengan sifat fisik dan mekanik yang buruk (Dikobe & Luyt, 2017; Graziano et al., 2019; La Mantia et al., 2017).

Penggunaan *compatibilizer* pada *polymer blend* banyak dilakukan untuk meminimasi permasalahan pada pencampuran jenis polimer yang berbeda. Penambahan *compatibilizer* bertujuan untuk meningkatkan interaksi antar fase yang ada pada campuran dan memperkuat hubungan antarmuka sehingga mengurangi tegangan yang menimbulkan retak pada material (Seyni & Grady, 2021; Techawinyutham et al., 2021). Penelitian sebelumnya menunjukkan pengaruh penambahan 3% *compatibilizer anhidrida-g-Maleat* pada campuran polimer PLA/PETG (80/20 wt) dengan didapatkannya ukuran serta distribusi ukuran fase yang terdispersi dapat menurun secara signifikan yang terlihat dari tidak terlihatnya lagi rongga pada gambar struktur mikro material. Penelitian menunjukkan bahwa campuran HDPE dan PET dengan *compatibilizer* dapat menghasilkan campuran yang baik, dengan sifat tarik dan kekuatan lentur yang lebih tinggi sekitar 7% s/d 26% daripada HDPE murni (Chen et al., 2016; Jiang et al., 2014).

Penelitian ini menawarkan kebaruan dalam pengembangan *polymer blend* berbasis limbah masker sekali pakai dengan penambahan *compatibilizer* MAPP. Selain meningkatkan sifat mekanis produk, pendekatan ini juga memperkuat langkah menuju pengelolaan limbah yang berkelanjutan dan produk yang ramah lingkungan. Urgensi penelitian ini sangat tinggi, mengingat meningkatnya volume limbah masker sekali pakai dan dampaknya terhadap lingkungan. Selain itu, solusi ini berkontribusi langsung terhadap upaya global dalam mengurangi limbah plastik serta mendukung ekonomi sirkular. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efek penggunaan *compatibilizer Maleic Anhydride Grafted Polypropylene* (MAPP) pada *polymer blend* berbahan dasar *polypropylene* dari limbah masker sekali pakai. Hasil penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan material dengan sifat mekanis yang lebih baik dan memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai produk hijau yang bernilai komersial.

## 2. METODE

Penelitian ini dilakukan metode eksperimental. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah spesimen limbah masker dan *polymer blend* dengan penambahan MAPP. Pengujian sampel dilakukan dengan standar ASTM D638 dengan ukuran (63,5 x 9,53 x 3,2 mm) dan standar ASTM D256 (dengan ukuran 63 x 12,7 x 3 mm) untuk uji impak (Kholil et al., 2022; Kristiawan et al., 2022). Pada setiap jenis pengujian sifat mekanik dibuat sejumlah 5 spesimen untuk masing-masing variasi komposisi. Jenis limbah masker yang digunakan yaitu masker *3 ply surgical mask* dari berbagai macam merk. Masker sekali pakai didapatkan dari pengumpulan oleh mahasiswa secara kolektif pada salah satu universitas negeri di Surakarta. *Polypropylene* daur ulang didapatkan dari industri pengolah sampah plastik rumah tangga yang berlokasi di Desa Mayang, Kecamatan Gatak, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah dalam bentuk cacahan dengan ukuran 10 s/d 20 mm. Sampel dibuat dengan variasi komposisi spesimen ditunjukkan pada Tabel 1.

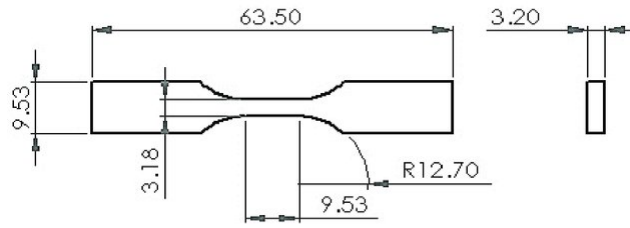
**Tabel 1.** Komposisi Spesimen

Limbah Masker	Recycled PP	MAPP
70%	30%	0%
67%	30%	30%
65%	30%	30%
100%	0%	0%

Sebelum diproses, limbah masker sekali pakai yang telah dikumpulkan sebelumnya didiamkan terlebih dahulu selama 7 s/d 10 hari kemudian disemprotkan alkohol untuk mendisinfeksi virus atau bakteri yang masih ada (Ali et al., 2022; Idrees et al., 2022). Selanjutnya dilakukan pencucian menggunakan sabun detergen, lalu dikeringkan di bawah paparan sinar matahari. Menurut penelitian yang ada, penggunaan air serta detergen pada proses sterilisasi dapat mempertahankan efisiensi penyaringan sebesar 54%. Setelah bersih, dilakukan pemisahan komponen yang ada pada masker sekali pakai yaitu *filter*, *ear loop*, dan *nose wire*. *Filter* masker dipotong kotak – kotak berukuran 10 s/d 20 mm (Batteggazzore et al., 2020; Juang & Tsai, 2020). Potongan masker tersebut kemudian dilelehkan menggunakan oven yang diatur pada suhu 200°C selama 15 menit agar membentuk material yang lebih padat sehingga mudah untuk diproses ekstrusi. Setelah itu masker yang sudah leleh didinginkan pada suhu ruangan sampai mengeras. Masker padat tersebut selanjutnya dihancurkan menggunakan mesin *crusher drillmill ffc 23* dengan saringan berukuran 5 s/d 6 mm untuk menghasilkan butir – butir masker agar mudah masuk ke *screw* yang ada di mesin *extruder*. Untuk memulai pemrosesan, potongan *polypropylene* daur ulang dibersihkan dahulu dengan mencuci menggunakan air bersih agar kotoran yang masih menempel dapat hilang untuk kemudian dijemur di bawah sinar matahari. Setelah kering, *polypropylene* daur ulang dihancurkan menggunakan mesin *crusher* hingga berukuran 10 mm s/d 20 mm. Setelah *polypropylene* daur ulang tersebut dipotong menjadi bentuk yang lebih kecil, selanjutnya adalah proses pencampuran untuk membuat *polymer blend* dengan menggunakan mesin *extruder* (Alghamdi, 2022; Orjuela et al., 2021). Proses pencampuran diawali dengan menimbang berat komposisi limbah masker, *polypropylene* daur ulang, dan *compatibilizer* MAPP menggunakan timbangan digital sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan (Sabri et al., 2020; Varghese P. J et al., 2022).

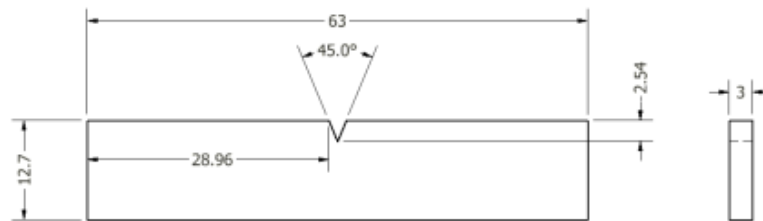
Persiapan spesimen dibuat menggunakan mesin *extruder* dan *compression moulding*. Pada mesin *extruder* dinyalakan dengan kecepatan *screw* sebesar 25 rpm, dengan temperatur pada mesin *extruder* 180°C (*zona feeding*), 185°C s/d 190°C (*zona transisi*), dan 150°C (*zona akhir*). Suhu yang digunakan untuk memanaskan mesin dan maskernya dipilih pada suhu dibawah 190°C selama 2 menit, karena jika suhu dan waktu lebih dari itu dapat terjadi degradasi pada masker dan PP (Cui et al., 2023; Orjuela et al., 2021). Lelehan yang keluar setelah proses *ekstrusion* kemudian dihancurkan lagi menggunakan mesin *crusher drillmill ffc 23* agar menjadi *pellet* dengan ukuran 5 s/d 6 mm untuk memudahkan ketika proses *compression moulding*. Sebelum memasukkan *pellet* hasil pencampuran pada *extruder* ke dalam cetakan, cetakan dilapisi dengan *wax* terlebih dahulu agar spesimen *polymer blend* tidak lengket dan menempel pada cetakan ketika proses berlangsung. Setelah bahan dan cetakan siap, *pellet* dicetak menggunakan mesin *compression moulding*, dengan ukuran cetakan 200 x 150 mm<sup>2</sup> dan mesin diatur pada suhu 180°C selama 5 menit pada tekanan 5 MPa. Setelah *polymer blend* dicetak dengan mesin *compression moulding*, selanjutnya adalah proses pemotongan menggunakan mesin CNC untuk mendapatkan spesimen dengan ukuran yang sesuai ASTM D638. Pengujian tarik dilakukan menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (UTM) *Zwick Z020* dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan tarik, *elongation*, dan modulus elastisitas material. Spesimen uji tarik disesuaikan dengan standar ASTM D638 dengan ukuran spesimen (63,5 x 9,53 x 3,2 mm) (Batteggazzore et al., 2020; Kristiawan et al., 2022; Xiang et al., 2022). Sampel yang sudah jadi kemudian

dipasang pada mesin pengujian untuk dilakukan pembebanan tarik. Beban uji tarik dilakukan dengan kecepatan 5 mm/menit. Setelah itu hasil uji yang diperoleh dicatat dan data diolah untuk dianalisis.



Gambar 1 Ukuran Spesimen Uji Tarik D638 Tipe V

Pada uji impact menggunakan spesimen dengan standar ASTM D256 dengan ukuran sampel adalah 63 mm x 12,7 mm x 3 mm (Kholil et al., 2022). Dalam pengujian ini menggunakan alat pengujian merk Zwick Roell. Pengujian ini merupakan pengujian Izod dengan gaya maksimum 5,5 kN dan kemiringan sudut alfa 148°. Uji impact harus melewati beberapa tahapan. Tahap pertama, sampel ditempatkan di tempat sampel, kemudian palu pendulum (dengan ujung baja yang dikeraskan dengan lemparan tertentu) dijatuhkan dari ketinggian tertentu. Hasil benturan tersebut menyebabkan geser bahan sampel karena beban mendadak. Hasil uji impact yang diperoleh kemudian dicatat dan diolah datanya untuk dianalisis.

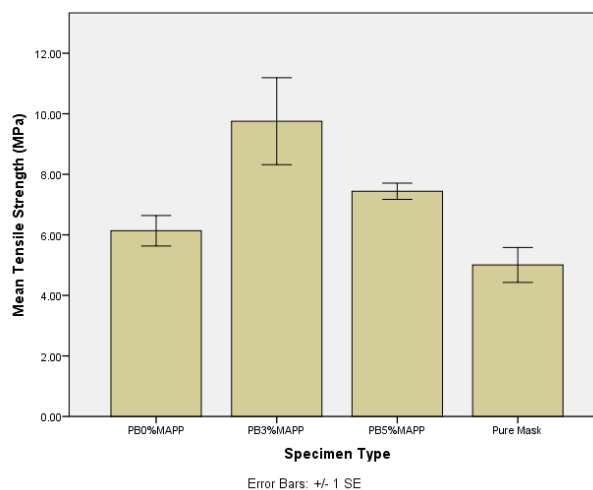


Gambar 2 Ukuran Spesimen Uji Impak D256

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

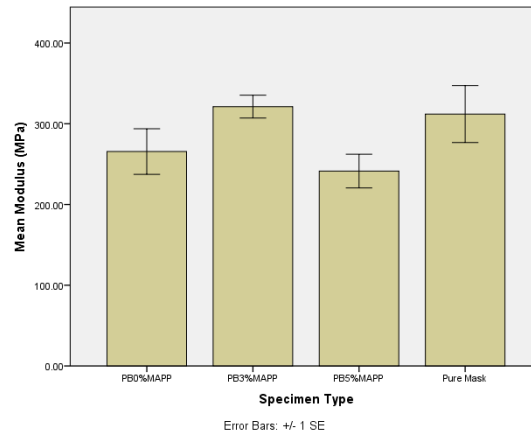
#### Hasil

Pengujian mekanik dengan uji tarik dan uji impact dilakukan untuk mengetahui kekuatan mekanik pada spesimen. Hasil perbandingan kekuatan tarik pada semua spesimen *polymer blend* dengan variasi massa MAPP dan masker murni ditunjukkan pada Gambar 3.



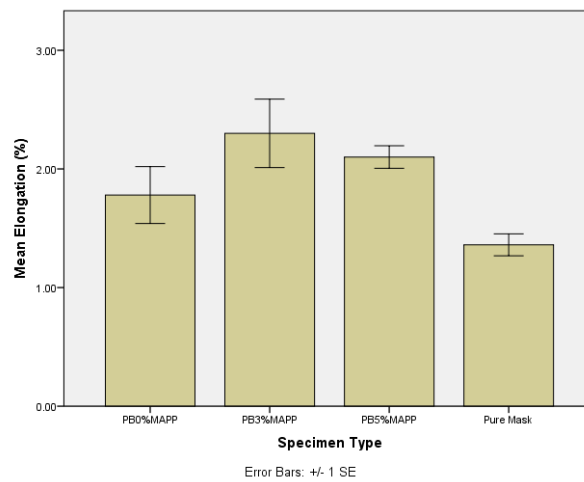
Gambar 3. Nilai Rata – Rata Tensile Strength

*Modulus elastisitas* menunjukkan kekakuan suatu material. Apabila nilai *modulus elastisitasnya* semakin besar, menandakan semakin kakunya suatu material. Adapun nilai modulus elastisitas untuk semua spesimen uji ditunjukkan pada Gambar 4.



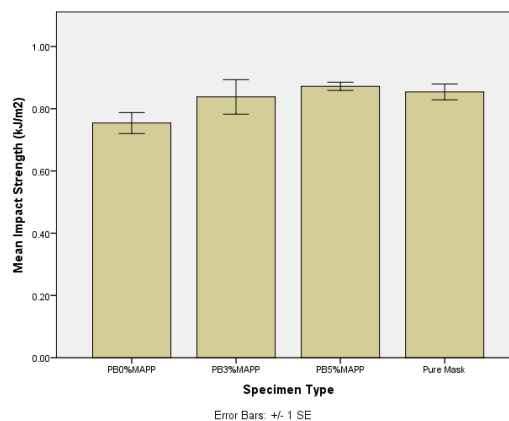
**Gambar 4.** Nilai Rata – Rata Modulus Elastisitas

Elongation digunakan untuk mengetahui kemampuan pemeluran/pemanjangan suatu benda. Adapun nilai elongation semua spesimen polymer blend dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Nilai Rata – Rata Elongation

Pada pengujian impact, pendulum diayunkan dari ketinggian sudut alfa ( $\alpha$ ) sebesar  $148^\circ$  dengan gaya maksimum 5,5 kN serta akan menghantam spesimen yang telah dicekam pada sudut  $0^\circ$ . Spesimen yang terhantam pendulum akan patah serta menghasilkan sudut beta ( $\beta$ ) dimana sudut tersebut merupakan titik maksimum pendulum setelah berayun. Pengujian ini dilakukan sebanyak lima kali pada setiap variasi massa MAPP yang menghasilkan rata – rata kekuatan impact yang dapat dilihat dalam Gambar 6.



**Gambar 6.** Nilai Rata – Rata Impact Strength

Uji statistika ANOVA satu arah dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *compatibilizer* terhadap sifat mekanik material. Hasil uji ANOVA untuk masing-masing variabel respon ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2 Hasil Uji Anova**

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tensile Strength	Between Groups	62,369	3	20,790	6,103	0,006
	Within Groups	54,502	16	3,406		
	<b>Total</b>	<b>116,871</b>	<b>19</b>			
Modulus	Between Groups	21583,750	3	7194,583	2,151	0,134
	Within Groups	53513,200	16	3344,575		
	<b>Total</b>	<b>75096,950</b>	<b>19</b>			
Elongation	Between Groups	2,526	3	0,842	4,262	0,022
	Within Groups	3,160	16	0,198		
	<b>Total</b>	<b>5,686</b>	<b>19</b>			
Impact Strength	Between Groups	0,041	3	0,014	2,168	0,132
	Within Groups	0,101	16	0,006		
	<b>Total</b>	<b>0,141</b>	<b>19</b>			

**Tabel 3 Hasil Uji Post-Hoc**

Dependent Variable	(I) Specimen Type	(J) Specimen Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tensile Strength	PB0%MAPP	PB3%MAPP	-3,61800	1,16728	0,031	-6,9576	-0,2784
		PB5%MAPP	-1,30600	1,16728	0,684	-4,6456	2,0336
		Pure Mask	1,13000	1,16728	769	-2,2096	4,4696
	PB3%MAPP	PB0%MAPP	3,61800	1,16728	0,031	0,2784	6,9576
		PB5%MAPP	2,31200	1,16728	0,236	-1,0276	5,6516
		Pure Mask	4,74800	1,16728	0,004	1,4084	8,0876
	PB5%MAPP	PB0%MAPP	1,30600	1,16728	0,684	-2,0336	4,6456
		PB3%MAPP	-2,31200	1,16728	0,236	-5,6516	1,0276
		Pure Mask	2,43600	1,16728	0,199	-9036	5,7756
	Pure Mask	PB0%MAPP	-1,13000	1,16728	769	-4,4696	2,2096
		PB3%MAPP	-4,74800	1,16728	0,004	-8,0876	-1,4084
		PB5%MAPP	-2,43600	1,16728	0,199	-5,7756	0,9036
Elongation	PB0%MAPP	PB3%MAPP	-52000	28107	0,287	-1,3241	0,2841
		PB5%MAPP	-0,32000	28107	0,672	-1,1241	4841
		Pure Mask	0,42000	28107	0,463	-0,3841	1,2241
	PB3%MAPP	PB0%MAPP	0,52000	28107	287	-2841	1,3241
		PB5%MAPP	0,20000	0,28107	0,891	-0,6041	1,0041
		Pure Mask	94000	28107	0,019	0,1359	1,7441
	PB5%MAPP	PB0%MAPP	0,32000	0,28107	0,672	-0,4841	1,1241
		PB3%MAPP	-0,20000	28107	0,891	-1,0041	0,6041
		Pure Mask	0,74000	28107	0,077	-0641	1,5441
	Pure Mask	PB0%MAPP	-42000	28107	0,463	-1,2241	0,3841
		PB3%MAPP	-94000	28107	0,019	-1,7441	-0,1359
		PB5%MAPP	-0,74000	28107	0,077	-1,5441	0,0641

**Pembahasan**

Kekuatan tarik tertinggi terletak pada spesimen polymer *blend* yang menggunakan variasi massa *compatibilizer* sebesar 3% dengan nilai sebesar 11,10 MPa. Penggunaan 3% MAPP dapat meningkatkan sifat tarik sebesar 71,83% dibandingkan polymer blend masker dan PP daur ulang tanpa MAPP. Kekuatan tarik terendah terletak pada spesimen masker murni dengan nilai 4,48 MPa dengan selisih kekuatan tarik sebesar 147,77% lebih rendah dibandingkan *polymer blend* dengan 3% MAPP. Berbeda dengan nilai kekuatan tarik, hasil *modulus elastisitas* pada gambar 4 menunjukkan bahwa nilai tertinggi terletak paka

masker murni dan nilai terendah pada *polymer blend* dengan 5% MAPP. Hal tersebut menjelaskan bahwa masker murni memiliki sifat yang lebih kaku daripada komposisi lain, seperti yang dijelaskan oleh peneliti lain yang menjelaskan bahwa, *modulus elastisitas* menunjukkan ketahanan material terhadap perubahan bentuk pada elastisitasnya, dimana bahan yang lebih kaku mempunyai nilai *modulus elastisitas* yang lebih tinggi dan lebih baik karena mempunyai kecenderungan yang lebih kecil untuk berubah bentuk ketika gaya diterapkan pada material. Hasil tersebut dapat disebabkan karena masker murni tidak melewati pengolahan serta proses yang panjang, sehingga tidak banyak mengalami degradasi polimer. Seperti yang dijelaskan oleh peneliti lain yang menyatakan bahwa campuran masker dengan polimer lain yang melewati berbagai pengolahan serta proses pemanasan, dapat mengalami degradasi dan sifat – sifat mekanisnya menurun (Badri et al., 2014; Shah et al., 2016).

Pada grafik yang dihasilkan, nilai *elongation* selaras dengan nilai tegangan tariknya dimana nilai tertinggi terletak pada *polymer blend* yang memiliki kandungan *compatibilizer* MAPP 3% dengan nilai *elongation* sebesar 2,48 %. Nilai *elongation polymer blend* tersebut lebih tinggi 60 % dibandingkan dengan *polymer blend* tanpa *compatibilizer* dan lebih tinggi 73,43% dibandingkan dengan masker murni. Hasil ini sejalan dengan penelitian lain yang menyatakan adanya peningkatan *elongation break* pada campuran PLA/PETG (80/20 wt) dengan 3% *compatibilizer*. Pada hasil pengujian impak didapatkan bahwa nilai tertinggi terletak pada masker murni dengan nilai sebesar 0,88 kJ/m<sup>2</sup> dan terendah pada *polymer blend* tanpa *compatibilizer* dengan nilai 0,73 kJ/m<sup>2</sup>. Dibandingkan dengan *polymer blend* yang menggunakan *compatibilizer* 5 %, *polymer blend* tanpa *compatibilizer* memiliki nilai *impact strength* 17,81% lebih tinggi. Hasil uji ANOVA tersebut menunjukkan adanya pengaruh penggunaan *compatibilizer* yang signifikan terhadap kekuatan tarik dan *elongation*. Uji *post-hoc* pada variabel respon *tensile strength* dan *elongation* menunjukkan perbedaan *tensile strength* dan *elongation* yang signifikan antara masker murni dengan *polymer blend* yang ditambahkan 3% MAPP. Perbedaan signifikan juga ditunjukkan pada *polymer blend* tanpa *compatibilizer*. Hal ini membuktikan pernyataan penelitian lain yang menyatakan bahwa penambahan *compatibilizer* mampu meningkatkan interaksi antar fase yang ada pada campuran dan memperkuat ikatan antarmuka. Sebagai contoh pada penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa campuran PE dan PP tanpa *compatibilizer* menghasilkan material dengan sifat mekanik yang lebih rendah dibandingkan dengan homopolimer (Graziano et al., 2019; Jiang et al., 2014; Seyni & Grady, 2021). Didukung oleh penelitian yang menjelaskan bahwa penambahan MAPP 3% pada campuran serat rami dengan *polypropylene* memberikan hasil yang optimal dimana kekuatan tarik tertinggi pada 27 MPa. Peneliti lain juga melaporkan bahwa penggunaan 5% *compatibilizer* pada komposit berpenguat serbuk kayu dapat meningkatkan 300% sifat tarik (Ma et al., 2023; Sanadi et al., 2023).

Tidak adanya perbedaan *impact strength* yang signifikan pada pencampuran masker murni dengan *recycled polypropylene* sesuai dengan pernyataan bahwa semakin banyaknya kandungan *recycled polymer* dapat menyebabkan penurunan sifat mekanis pada bahan. Hal ini sejalan dengan penelitian, yang menyebutkan bahwa kemampuan dalam ikatan antarmuka memiliki peran nyata dalam ketahanan benturan suatu material, ikatan antarmuka, penyebaran serat atau material adalah kontributor utama dalam pembentukan retakan (Roslan et al., 2021; Vallejos et al., 2023). Melalui penelitian ini menunjukkan kelayakan proses daur ulang limbah masker sebagai produk komersial melalui pencampuran dengan material lain yang sesuai. Penelitian selanjutnya perlu mempertimbangkan penggunaan polimer murni sebagai material campuran dalam pengembangan *polymer blend* dengan limbah masker sekali pakai yang memungkinkan dihasilkannya peningkatan sifat mekanik.

#### 4. SIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan evaluasi sifat mekanik pada proses daur ulang limbah masker sekali pakai sebagai *polymer blend* melalui pencampuran dengan *recycled polypropylene*. Hasil uji ANOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan antara masker murni dengan *polymer blend* pada kekuatan tarik dan *elongation*. Penelitian ini juga menunjukkan kontribusi penggunaan *compatibilizer* dalam meningkatkan sifat mekanik *polymer blend*. Walaupun belum ditunjukkan peningkatan yang signifikan pada *impact strength*, proses daur ulang masker sekali pakai masih memungkinkan untuk dieksplorasi lebih lanjut. Perlu diketahui bahwa, dalam menghasilkan produk komersial dengan sifat mekanik yang sesuai, penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan penggunaan material lain sebagai *polymer blend* atau evaluasi alternatif proses manufaktur lain.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

Alghamdi, M. N. (2022). Thermoplastic composite system using polymer blend and fillers. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 34(5), 361–365.

- <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.12.009>.
- Ali, M., Opulencia, M. J. C., Chandra, T., Chandra, S., Muda, I., Dias, R., Chetthamrongchai, P., & Jalil, A. T. (2022). An Environmentally Friendly Solution for Waste Facial Masks Recycled in Construction Materials. *Sustainability (Switzerland)*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/su14148739>.
- Badri, M. G., Darsin, M., & Dwilaksana, D. (2014). Sifat Mekanik Dan Cacat Penyusutan (Shrinkage) Akibat Variasi Komposisi Campuran Daur Ulang Polyethylene Pada Injection Moulding. *ROTOR*, 7(4).
- Battegazzore, D., Craverio, F., & Frache, A. (2020). Is it possible to mechanical recycle the materials of the disposable filtering masks? *Polymers*, 12(11), 1–18. <https://doi.org/10.3390/polym12112726>.
- Bertin, S., & Robin, J.-J. (2002). Study and characterization of virgin and recycled PE/PP blends. *European Polymer Journal* 38, 38, 2255–2264. [https://doi.org/10.1016/S0014-3057\(02\)00111-8](https://doi.org/10.1016/S0014-3057(02)00111-8).
- Chen, R. S., Ahmad, S., Gan, S., Salleh, M. N., Ab Ghani, M. H., & Tarawneh, M. A. (2016). Effect of polymer blend matrix compatibility and fibre reinforcement content on thermal stability and flammability of eco-composites made from waste materials. *Thermochimica Acta*, 640, 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2016.08.005>.
- Cui, J., Qi, M., Zhang, Z., Gao, S., Xu, N., Wang, X., Li, N., & Chen, G. (2023). Disposal and resource utilization of waste masks: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25353-6>.
- Dikobe, D. G., & Luyt, A. S. (2017). Thermal and mechanical properties of PP/HDPE/wood powder and MAPP/HDPE/wood powder polymer blend composites. *Thermochimica Acta*, 654(4), 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2017.05.002>.
- Graziano, A., Jaffer, S., & Sain, M. (2019). Review on modification strategies of polyethylene/polypropylene immiscible thermoplastic polymer blends for enhancing their mechanical behavior. In *Journal of Elastomers and Plastics* (Vol. 51, Issue 4). <https://doi.org/10.1177/0095244318783806>.
- Hiscott, J., Alexandridi, M., Muscolini, M., Tassone, E., Palermo, E., Soultsioti, M., & Zevini, A. (2020). The global impact of the coronavirus pandemic. *Cytokine and Growth Factor Reviews*, 53(5), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.cytogfr.2020.05.010>.
- Idrees, M., Akbar, A., Mohamed, A. M., Fathi, D., & Saeed, F. (2022). Recycling of Waste Facial Masks as a Construction Material, a Step towards Sustainability. *Materials*, 15(5), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ma15051810>.
- Irez, A. B., Okan, C., Kaya, R., & Cebe, E. (2022). Development of recycled disposable mask based polypropylene matrix composites: Microwave self-healing via graphene nanoplatelets. *Sustainable Materials and Technologies*, 31(12), e00389. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2022.e00389>.
- Jiang, W. R., Bao, R. Y., Yang, W., Liu, Z. Y., Xie, B. H., & Yang, M. B. (2014). Morphology, interfacial and mechanical properties of polylactide/poly(ethylene terephthalate glycol) blends compatibilized by polylactide-g-maleic anhydride. *Materials and Design*, 59, 524–531. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.03.016>.
- Juang, P. S. C., & Tsai, P. (2020). N95 Respirator Cleaning and Reuse Methods Proposed by the Inventor of the N95 Mask Material. *Journal of Emergency Medicine*, 58(5), 817–820. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2020.04.036>.
- Kholil, A., Syaefuddin, E. A., Supardi, F., & Wulandari, D. A. (2022). The Effect of Layer Thickness on Impact Strength Characteristics of ABS and PLA Materials. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2377, pp. 0–6). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2377/1/012001>.
- Kristiawan, R. B., Rusdyanto, B., Imaduddin, F., & Ariawan, D. (2022). Glass powder additive on recycled polypropylene filaments: A sustainable material in 3d printing. *Polymers*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/polym14010005>.
- La Mantia, F. P., Morreale, M., Botta, L., Mistretta, M. C., Ceraulo, M., & Scaffaro, R. (2017). Degradation of polymer blends: A brief review. *Polymer Degradation and Stability*, 145, 79–92. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.07.011>.
- Lin, J. H., Pan, Y. J., Liu, C. F., Huang, C. L., Hsieh, C. T., Chen, C. K., Lin, Z. I., & Lou, C. W. (2015). Preparation and compatibility evaluation of polypropylene/high density polyethylene polyblends. *Materials*, 8(12), 8850–8859. <https://doi.org/10.3390/ma8125496>.
- Liu, Z., Wang, J., Yang, X., Huang, Q., Zhu, K., Sun, Y., Van Hulle, S., & Jia, H. (2022). Generation of environmental persistent free radicals (EPFRs) enhances ecotoxicological effects of the disposable face mask waste with the COVID-19 pandemic. *Environmental Pollution*, 301(2), 119019. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119019>.
- Ma, H., Guna, V., Raju, T., Murthy, A. N., & Reddy, N. (2023). Converting flax processing waste into value added biocomposites. *Industrial Crops and Products*, 195(2), 116434. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116434>.
- Orjuela, D., Munar, D. A., Solano, J. K., & Becerra, A. P. (2021). Assessment of the thermal properties of a rice



- husk mixture with recovered polypropylene and high density polyethylene, using sulfur-silane as a coupling agent. *Chemical Engineering Transactions*, 87(4), 565–570. <https://doi.org/10.3303/CET2187095>.
- Roslan, N., Rahim, S. Z. A., Abdellah, A. E. H., Abdullah, M. M. A. B., Błoch, K., Pietrusiewicz, P., Nabiałek, M., Szmidla, J., Kwiatkowski, D., Vasco, J. O. C., Saad, M. N. M., & Ghazali, M. F. (2021). Optimisation of shrinkage and strength on thick plate part using recycled ldpe materials. *Materials*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/ma14071795>.
- Sabri, I. N., Bakar, M. B. A., Mohd, S. H., Rosdi, N. A. H. N., Mohamed, M., Sulaiman, M. A., Masri, M. N., & Chuangchote, S. (2020). Effects on MAPP Compatibilizer on Mechanical Properties of Kenaf Core Fibre/Graphene Nanoplatelets reinforced Polypropylene Hybrid Composites. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 596(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/596/1/012023>.
- Sakinah, A., Abidin, Z., Liyana Binti Dolmat, N., Binti, N. A., & Sabri, M. (2022). Green Recycling Approach To Produce Heavy Duty Kids Chair From Face Mask Waste. *International Journal of Technical Vocational and Engineering Technology*, 3(1), 2022. <https://journal.pktm.com.my/index.php/ijtv/article/view/79>.
- Sanadi, A. R., Guna, V., Hoysal, R. V., Krishna, A., Deepika, S., Mohan, C. B., & Reddy, N. (2023). MAPP Compatibilized Recycled Woodchips Reinforced Polypropylene Composites with Exceptionally High Strength and Stability. *Waste and Biomass Valorization*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s12649-023-02150-3>.
- Seyni, F. I., & Grady, B. P. (2021). Janus particles as immiscible polymer blend compatibilizers: a review. *Colloid and Polymer Science*, 299(4), 585–593. <https://doi.org/10.1007/s00396-021-04820-x>.
- Shah, A. U. M., Sultan, M. T. H., Jawaid, M., Cardona, F., & Talib, A. R. A. (2016). A Review on the Tensile Properties of Bamboo Fiber Reinforced Polymer Composites. *BioResources*, 11(4), 10654–10676. <https://doi.org/10.15376/BIORES.11.4.10654-10676>.
- Techawinyutham, L., Tengsuthiwat, J., Srisuk, R., Techawinyutham, W., Mavinkere Rangappa, S., & Siengchin, S. (2021). Recycled LDPE/PETG blends and HDPE/PETG blends: mechanical, thermal, and rheological properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 2445–2458. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.052>.
- Toh, H. W., Toong, D. W. Y., Ng, J. C. K., Ow, V., Lu, S., Tan, L. P., Wong, P. E. H., Venkatraman, S., Huang, Y., & Ang, H. Y. (2021). Polymer blends and polymer composites for cardiovascular implants. *European Polymer Journal*, 146(December 2020). <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.110249>.
- Vallejos, E., Vilaseca, F., M, A., Espinach, F. X., Aguado, R. J., Delgado-aguilar, M., & Mutj, P. (2023). *Response of Polypropylene Composites Reinforced with Natural Fibers: Impact Strength and Water-Uptake Behaviors*. <https://doi.org/10.3390/polym15040900>.
- Varghese P. J. G., David, D. A., Karuth, A., Manamkeri Jafferli, J. F., Sabura, S. B., George, J. J., Rasulev, B., & Raghavan, P. (2022). Experimental and Simulation Studies on Nonwoven Polypropylene-Nitrile Rubber Blend: Recycling of Medical Face Masks to an Engineering Product. *ACS Omega*, 7(6), 4791–4803. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c04913>.
- Xiang, M., Yang, Z., Yang, J., Lu, T., Wu, D., Liu, Z., Xue, R., & Dong, S. (2022). Conductive polymer composites fabricated by disposable face masks and multi-walled carbon nanotubes: Crystalline structure and enhancement effect. *Journal of Renewable Materials*, 10(3), 821–831. <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.017347>.
- Zhou, Y., Wang, J., Zou, M., Jia, Z., Zhou, S., & Li, Y. (2020). Microplastics in soils: A review of methods, occurrence, fate, transport, ecological and environmental risks. *Science of the Total Environment*, 748, 141368. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141368>.