

KAJIAN POTENSI PENGEMBANGAN DAUR ULANG MASKER SEBAGAI BAHAN BAKU FILAMEN 3D PRINTING

Gema Sukmawati Suryadi¹⁾, Elviana²⁾, Cholid Mawardi³⁾, dan Freddy Yakob⁴⁾

¹⁻³Jurusan Teknik Grafika, Politeknik Negeri Media Kreatif

⁴Jurusan Penerbitan, Politeknik Negeri Media Kreatif

E-mail: gema@polimedia.ac.id

Abstract

In the Covid-19 pandemic, face masks are the main protective equipment from potential virus exposure. However, the use of single-use masks contributes to the accumulation of waste and has the potential to become the next threat. An alternative solution to avoid plastic contamination due to the use of masks is the technology of recycling mask waste into thermoplastic products, such as 3D *Printing* filament products. The purpose of this study was to identify the thermal and microstructural characteristics of various types of disposable masks (surgical, *duckbill*, KF-94, and mixed masks) compared to conventional 3D *printing* filaments, namely Polylactic acid (PLA), Acrylonitrile butadiene styrene (ABS), and Polypropylene (PP). The mechanical properties test carried out is tensile strength. The results show that recycled mask materials can be used as an alternative to PP-based 3D *printing* filament raw materials. Mechanical testing and statistical analysis of Fisher's least significant difference (LSD) at a 95% confidence interval showed that the average tensile strength of *duckbill* and mixed masks were not significantly different from PP material, 30.23; 29.38; and 30,54 N/mm² respectively.

Keywords: *recycle, face mask, filament, 3d printing*

PENDAHULUAN

Pada situasi Pandemi Covid-19 masker menjadi alat pelindung utama dari potensi paparan virus. Masker sekali pakai menyumbang penumpukan limbah dan berpotensi menjadi ancaman selanjutnya. Data Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia menunjukkan bahwa jumlah limbah alat pelindung diri khususnya masker, tercatat sebanyak 1.662,75 ton dalam 6 bulan pertama pandemi sejak Maret-September 2020 (LIPI, 2021). Masker tersebut umumnya terbuat dari kain sintesis berbahan *Polypropylene* yang tidak dapat terurai secara biodegradasi. Limbah masker sekali pakai memiliki dampak buruk jika dibuang ke lingkungan, diantaranya menyebabkan pencemaran air, termakan oleh hewan, hingga potensi sumber mikroplastik (Crespo et al., 2021; Fadare & Okoffo, 2020). Oleh karena itu upaya pengembangan teknologi yang dapat mengatasi masalah limbah masker sekali pakai tersebut menjadi hal yang penting dan perlu mendapatkan perhatian khusus.

Alternatif solusi untuk menghindari kontaminasi plastik akibat penggunaan masker di masa pandemi adalah teknologi daur ulang limbah masker menjadi bahan baku produk termoplastik. Secara umum, proses daur ulang masker sekali pakai melalui empat tahap yaitu disinfeksi, pelepasan karet telinga dan penjepit hidung, penggilingan, ekstrusi dan injeksi (Crespo et al., 2021). Biji plastik hasil daur ulang masker dapat dicetak menjadi berbagai jenis produk sesuai dengan kebutuhan, salah satunya adalah produk filamen 3D *Printing*.

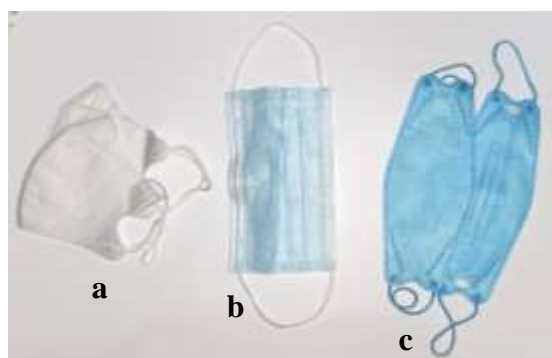
Filamen 3D *printing* adalah bahan termoplastik berbentuk gulungan benang yang umumnya tersedia dengan diameter 1,75 mm. Penggunaan material daur ulang masker baik secara keseluruhan maupun pencampuran dengan termoplastik yang umum digunakan dalam aplikasi 3D *printing* diharapkan dapat menjadi bahan alternatif yang lebih ramah lingkungan. Selain mengurangi jumlah limbah, penggunaan material daur ulang ini diharapkan dapat mengurangi penggunaan plastik baru khususnya dalam produk 3D *Printing*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi karakteristik termal, mikrostruktur dan sifat mekanik daur ulang berbagai jenis masker sekali pakai sebagai bahan baku filamen 3D *printing* dibandingkan dengan bahan filamen konvensional yaitu *Polypropylene* (PP).

METODE PENELITIAN

a. Preparasi Masker

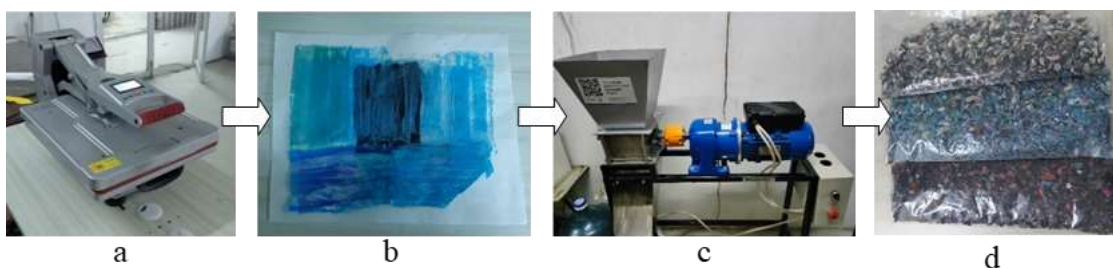
Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah masker sekali pakai dengan variasi beberapa jenis masker, yang merupakan limbah domestik dan bukan limbah fasilitas layanan kesehatan. Proses disinfeksi limbah masker menggunakan perlakuan *chemical-thermal*. Masker dibasahi Etanol 70% pada kedua sisi menggunakan botol semprot (dengan waktu paparan 1 menit) kemudian dipanaskan dalam oven selama satu jam pada suhu 80°C (Crespo et al., 2021; Rubio-Romero et al., 2020). Sortasi dilakukan dengan pemisahan limbah masker berdasarkan jenis, yaitu masker bedah, masker *duckbill*, masker KF94, dan campuran.



Gambar 1. Jenis masker yang digunakan yaitu a) *duckbill*, b) bedah, dan c) KF94

b. Proses Daur Ulang Masker

Proses daur ulang dimulai dengan pemisahan komponen utama masker dengan tali karet dan kawat hidung yang tidak didaur ulang dalam penelitian ini. Proses *hot press* dilakukan pada suhu 160-170°C selama 60 detik. Masker hasil *hot press* kemudian dicacah pada mesin *crusher* hingga mencapai ukuran <50mm.



Gambar 2. Proses daur ulang masker a) hot press, b) masker hasil hot press, c) pencacahan, dan d) hasil cacahan masker

c. Karakterisasi Sampel

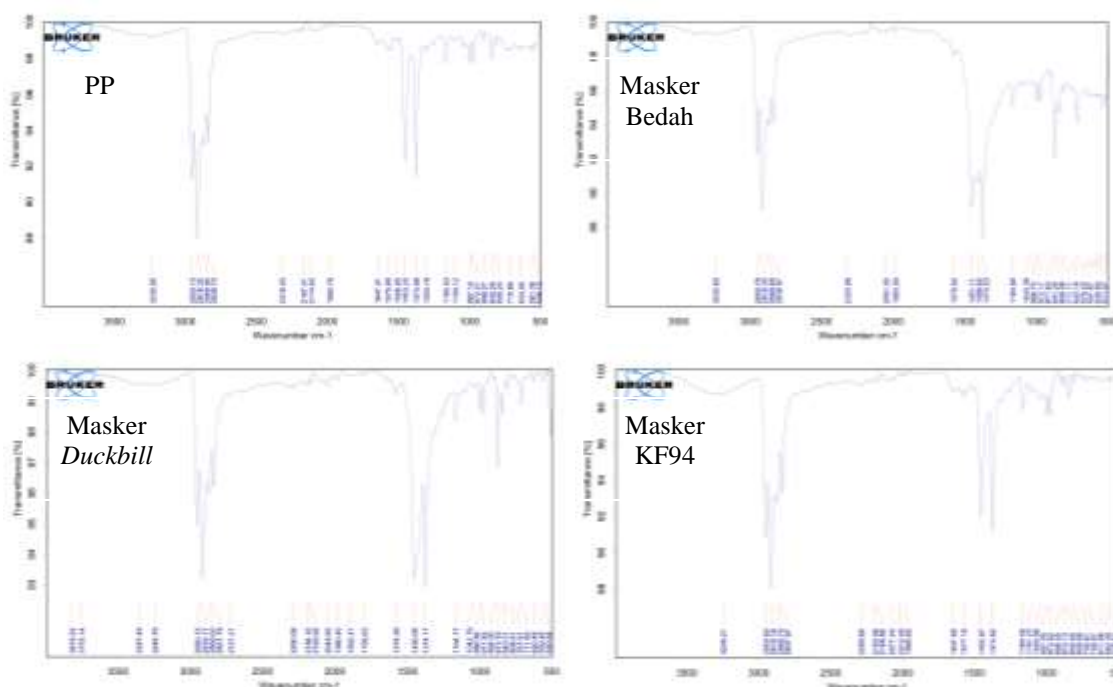
Kajian mikrostruktur terhadap Polypropylene (PP) dan variasi jenis masker hasil daur ulang dilakukan dengan pengujian *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), dengan mode bilangan transmisi pada rentang 3500-500 cm^{-1} . Adapun karakterisasi termal dilakukan dengan pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) pada rentang suhu 30-450°C dan scanning rate 20°C/menit pada atmosfer hidrogen.

Adapun pengujian sifat mekanik yang dilakukan adalah uji tarik dengan sampel berupa *test piece* yang dibuat menggunakan *mini injection molding* sesuai standar

ASTM D638-14. Parameter pengujian mekanik dalam penelitian ini adalah *tensile strength* dan *modulus elasticity* yang dilakukan menggunakan Universal Tester Machine 10 kN. Uji Tarik dilakukan dengan tiga kali pengulangan. Pengujian statistik dilakukan dengan metode *Outlier Test Dixon's Q Ratio* pada level signifikan 0.05 kemudian rata-rata sifat mekanik dianalisis dengan *One-way ANOVA* menggunakan Minitab 17 Statistical Software. Uji *Fisher least significant difference (LSD)* dilakukan untuk menentukan perbedaan yang signifikan secara statistik antara masing-masing kelompok sampel setelah uji-F dari ANOVA ditemukan signifikan pada level 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis FTIR dilakukan pada sampel Polypropilene (PP) dan variasi jenis masker untuk mengetahui struktur dalam bahan tersebut. Hasil pengujian mikrostruktur terhadap PP ditunjukkan pada Gambar 3.

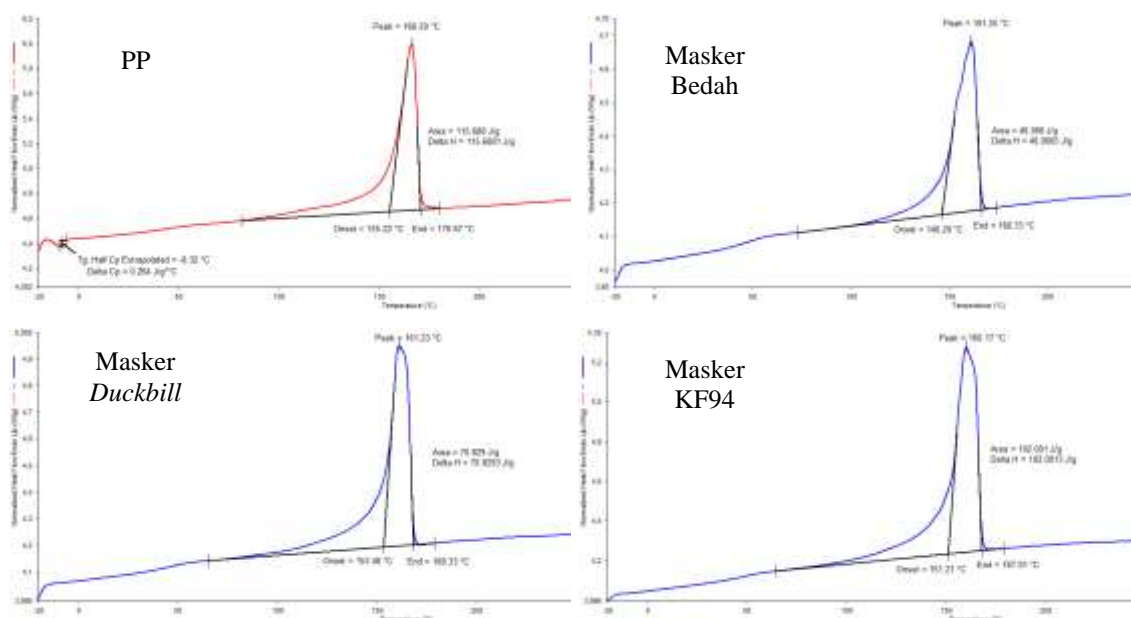


Gambar 3. Hasil FTIR sampel *Polypropylene* (PP) dan variasi masker

Gugus khas yang muncul dari PP ditandai dengan adanya puncak transmitansi pada panjang gelombang 2916 cm^{-1} , 1453 cm^{-1} , dan 1374 cm^{-1} (Batteggazzore et al., 2020; Crespo et al., 2021). Puncak Panjang gelombang yang sama ditemukan pada masker

bedah, masker *duckbill*, dan masker KF94. Hal ini menunjukkan bahwa masker sekali pakai sebagian besar berbahan dasar PP. Selain itu, terdapat puncak pada panjang gelombang sekitar 870 cm^{-1} pada sampel masker bedah dan masker *duckbill* yang menunjukkan keberadaan gugus aromatik (C-H) (Battezzore et al., 2020).

Hasil pengujian karakteristik termal pada sampel ditunjukkan oleh Gambar 4. Dapat diketahui bahwa pada sampel PP, MB, MD, dan MK hanya ditemukan satu puncak yang menunjukkan titik leleh pada rentang suhu $160\text{-}166,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, sebanding dengan titik leleh PP pada beberapa penelitian sebelumnya (Battezzore et al., 2020; Crespo et al., 2021; Mofokeng et al., 2012). Data titik leleh (*melting point*) tersebut menjadi dasar pengaturan suhu dalam proses ekstrusi bahan menjadi produk filamen 3D *printing*.



Gambar 4. Hasil Pengujian DSC

Tabel 1 menunjukkan data hasil pengujian sifat mekanik pada seluruh sampel. Pengujian dilakukan berulang dan dilakukan pengolahan secara statistik. *Tensile strength* merupakan kekuatan suatu bahan terhadap tegangan maksimum yang dapat ditahan pada kondisi tarik (Suryadi, 2017). Tabel 2 dan 3 menunjukkan informasi pengujian ANOVA terhadap nilai *tensile strength* dan pengelompokannya berdasarkan uji *Fisher least significant difference (LSD)* pada level 5%.

Rata-rata nilai *tensile strength* tertinggi adalah sampel PP yaitu $30,54\text{ N/mm}^2$. Berdasarkan hasil pengelompokan menggunakan metode Fisher LSD, sampel masker

duckbill dan masker campur memiliki nilai *tensile strength* yang tidak berbeda nyata secara statistik dengan sampel PP. Artinya baik masker *duckbill* maupun masker campur memiliki nilai *tensile strength* yang setara dengan *Polypropylene*. Adapun sampel masker bedah dan masker KF94 memiliki nilai yang lebih rendah dan berbeda signifikan dengan ketiga sampel tersebut.

Tabel 1
Hasil Uji Sifat Mekanik PP dan Variasi Jenis Masker

Sampel	<i>Tensile Strength</i> (N/mm ²)	<i>Modulus of Elasticity</i> (GPa)	<i>Elongation</i> (%)
PP	30,54 ± 0,23	1,40 ± 0.02	281,87 ± 15,43
Masker Bedah	25,76 ± 1,43	1,57 ± 0.21	2,39 ± 0,88
Masker <i>Duckbill</i>	30,23 ± 0,20	1,32 ± 0.03	7,95 ± 0,85
Masker KF94	25,02 ± 1,77	1,67 ± 0.10	1,96 ± 0,38
Masker Campur	29,38 ± 2,96	1,48 ± 0.10	4,77 ± 2,79

Tabel 2
Penguujian ANOVA terhadap *Tensile Strength* sampel PP dan variasi jenis masker

Source	DF	Adj. SS	Adj. MS	F-value	P-value
Factor	4	81,20	20,300	7,22	0,005
Error	10	28,12	2,812		
Total	14	103,32			

Tabel 3
Pengelompokan *Tensile Strength* menggunakan metode Fisher LSD

Faktor	Rataan	Grup
PP	30,54	A
Masker <i>Duckbill</i>	30,23	A
Masker Campur	29,38	A
Masker Bedah	25,76	B
Masker KF94	25,02	B

Adapun *Modulus of Elasticity* (MoE) adalah rasio dari tegangan tarik (*stress*) terhadap regangan Tarik (*strain*) yang menentukan nilai elastisitas suatu bahan (Sulaeman, 2018). Besarnya bahan mengalami deformasi atau regangan bergantung kepada besarnya tegangan. Sebuah material disebut mengalami deformasi elastis jika tegangan dan regangan besarnya proporsional. Deformasi elastis adalah tidak permanen, artinya jika beban dilepaskan maka bahan kembali ke bentuk semula (Suryadi, 2017).

Berdasarkan hasil pengujian, MoE tertinggi adalah pada sampel Masker KF94, masker bedah, dan masker campur yang tidak berbeda nyata secara statistik. Sampel masker campur berada pada seluruh grup, yang artinya sampel tersebut tidak berbeda

secara signifikan terhadap seluruh sampel yang diuji. Pengelompokan MoE berdasarkan uji statistik *Fisher LSD* pada pengujian ANOVA pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4
Pengujian ANOVA terhadap *Modulus of Elasticity* sampel PP dan variasi jenis masker

Source	DF	Adj. SS	Adj. MS	F-value	P-value
Factor	4	0,2274	0,05686	4,44	0,026
Error	10	0,1282	0,01282		
Total	14	0,3556			

Tabel 5
Pengelompokan *Modulus of Elasticity* menggunakan metode Fisher LSD pada selang kepercayaan 95%

Faktor	Rataan	Grup
Masker KF94	1,672	A
Masker Bedah	1,566	A B
Masker Campur	1,476	A B C
PP	1,396	B C
Masker <i>Duckbill</i>	1,323	C

Berdasarkan hasil uji, maka sampel daur ulang masker campur dapat menjadi bahan baku filamen 3D printing berbasis *Polypropylene*. Pembuatan prototipe filamen menggunakan mesin Wellzoom Desktop Filament Extruder B pada suhu 180°C dengan extrusion rate 26"/menit. Proses ekstrusi dimulai dengan memasukkan sampel campuran masker dan PP pada *hopper*, sampel dipanaskan dan didorong oleh *screw* hingga lelehan sampel keluar menjadi *single filament*.



Gambar 5. Prototipe Filamen 3D printing

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa material daur ulang masker dapat digunakan sebagai bahan baku filamen 3D printing berbasis *Polypropylene* (PP). Nilai *tensile strength* daur ulang masker jenis *duckbill* dan masker campuran tidak berbeda nyata dengan material PP. Begitu pun dengan Nilai *Modulus of Elasticity* masker campuran yaitu 1,48 GPa, tidak berbeda nyata secara statistik dengan seluruh sampel yang diuji. Oleh karena itu material daur ulang masker campuran (tanpa sortasi jenis masker) dapat

digunakan sebagai alternatif bahan baku filamen 3D *printing* berbasis *Polypropylene* (PP). Penelitian lebih lanjut adalah pengembangan daur ulang masker menjadi bahan campuran filamen 3D *printing* dengan variasi komposisi pencampuran masker dan PP dan implementasi pada mesin cetak 3D.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Riset Keilmuan Terapan Dalam Negeri – Dosen PT Vokasi Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Battegazzore, D., Cravero, 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>
- Crespo, C., Ibarz, G., Sáenz, C., Gonzalez, P., & Roche, S. (2021). Study of Recycling Potential of FFP2 Face Masks and Characterization of the Plastic Mix-Material Obtained. A Way of Reducing Waste in Times of Covid-19. *Waste and Biomass Valorization*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01476-0>
- Fadare, O. O., & Okoffo, E. D. (2020). Covid-19 face masks: A potential source of microplastic fibers in the environment. *Science of the Total Environment*, 737, 140279. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140279>
- LIPI. (2021). *Urgensi Pengelolaan Limbah Medis di Masa Pandemi Covid-19*. <http://lipi.go.id/siaranpress/Urgensi-Pengelolaan-Limbah-Medis-di-Masa-Pandemi-Covid-19/22339>
- Mofokeng, J. P., Luyt, A. S., Tábi, T., & Kovács, J. (2012). Comparison of injection moulded, natural fibre-reinforced composites with PP and PLA as matrices. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 25(8), 927–948. <https://doi.org/10.1177/0892705711423291>
- Rubio-Romero, J. C., Pardo-Ferreira, M. del C., Torrecilla-García, J. A., & Calero-Castro, S. (2020). Disposable masks: Disinfection and sterilization for reuse, and non-certified manufacturing, in the face of shortages during the COVID-19 pandemic. *Safety Science*, 129 (April), 104830. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104830>
- Sulaeman, B. (2018). Modulus Elastisitas Berbagai Jenis Material. *PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 3(2), 127. https://doi.org/10.51557/pt_jiit.v3i2.176
- Suryadi, G. S. (2017). *Kajian Mikrostruktur, Sifat termal, Mekanik, dan permukaan Biokomposit Berokuat Tandan Kosong Kelapa Sawit*. Institut Pertanian Bogor.