



Studi Karakteristik Mekanis Material Limbah *Polypropilene* (PP) untuk Pembuatan Produk *Cone* Benang dengan Penambahan Material Kalsium Karbonat

Adhi Setya Utama¹, Perwita Kurniawan², Adi Nugroho³, Winastwan Sista Hayu⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Perancangan Manufaktur, Politeknik ATMI Surakarta
Jl. Mojo 01, Surakarta 57145

Email: setya.hutama@atmi.ac.id, perwita.kurniawan@atmi.ac.id, adi.nugroho@atmi.ac.id,
winastwan.20175035@student.atmi.ac.id

Abstract

Based on data from SIPSN (Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional) Ministry of Environment and Forestry, Indonesia's waste stockpile in 2020 reached 33 million tons, and 17.12% of it was plastic waste. The government has several alternative solutions in waste management, such as the creation of a waste bank, compost house, maximizing the 3R (reduce, reuse, and recycle) program, and applied plastic waste for renewable energy. Research on the use of PP plastic waste for the manufacture of recycled yarn cones is also included in the use of the 3R program which is being discussed by the government. The aim of this research is to obtain the mechanical characteristics (flexural strength) and mass weight between the cones made from recycled PP and pure PP. Based on the observations that have been made, the cone product with PP material has a compressive strength characteristic of 0.4 – 0.8 kg/mm² and a weight of 10.5 – 11.5 grams. The study of the use of PP plastic waste to be used as a cone product begins with preliminary research related to optimizing product manufacturing parameters on injection machines. The next step process is making cone products with added calcium material. After the product has been printed, the next step is flexural testing and measurement of the mass of the product. Based on the test results, the product of pure PP cone material with 5% and 10% calcium carbonate added, and recycled PP material with 15% calcium carbonate addition is the result that meets the mass standard (10.5 g to 11.5 g) and flexural strength. (0.4 kg/mm² to 0.8 kg/mm²). Because the focus of research is on the use of plastic waste, so the ideal cone product is recycled PP material with the addition of 15% calcium carbonate.

Keywords: *recycle program, recycle polypropylene, yarn cone, flexural test, mass weight*

Abstrak

Berdasarkan data dari SIPSN (Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, timbunan sampah di Indonesia tahun 2020 mencapai 33 juta ton, dan 17,12% diantaranya merupakan sampah plastik. Pemerintah telah memiliki beberapa alternatif solusi dalam pengelolaan sampah, seperti pembuatan bank sampah, rumah kompos, pemaksimalan program 3R (*reduce, reuse, dan recycle*), dan pemanfaatan sampah sebagai sumber energi. Penelitian pemanfaatan limbah plastik PP untuk pembuatan *cone* benang daur ulang juga termasuk dalam pemanfaatan program 3R yang diwacanakan oleh pemerintah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan karakteristik mekanis (kekuatan *flexural*) dan massa *cone* benang berbahan PP daur ulang dan PP murni. Berdasarkan observasi yang telah dilakukan, produk *cone* dengan material PP memiliki karakteristik kekuatan lentur 0,4 – 0,8 kg/mm² dan massa sebesar 10,5 – 11,5 gram. Studi pemanfaatan limbah plastik PP untuk dijadikan produk *cone* benang diawali dengan penelitian awal terkait dengan pengoptimalan parameter pembuatan produk pada mesin injeksi. Proses selanjutnya adalah pembuatan produk *cone* benang dengan ditambahkan material kalsium karbonat. Setelah produk selesai dicetak, langkah berikutnya adalah pengujian *flexural* dan pengukuran massa produk. Berdasarkan hasil pengujian, produk *cone* material PP murni dengan tambahan kalsium karbonat 5% dan 10%, serta material PP daur ulang dengan tambahan kalsium karbonat 15% merupakan hasil yang

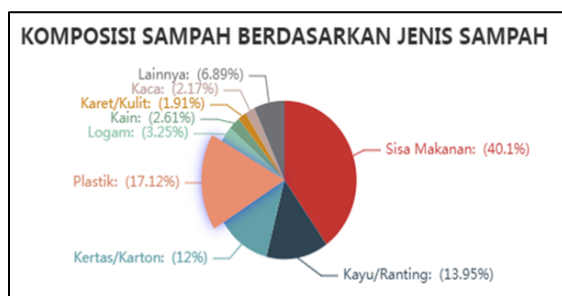
memenuhi standar massa (10,5 gr hingga 11,5 gr) dan kekuatan fleksural (0,4 kg/mm² hingga 0,8 kg/mm²). Dikarenakan fokus penelitian dalam pemanfaatan limbah plastik, maka untuk pembuatan produk cone yang ideal adalah material PP daur ulang dengan tambahan kalsium karbonat 15%.

Kata kunci: program daur ulang, polypropilene daur ulang, cone benang, uji flexural, uji massa

Pendahuluan

Berdasarkan data dari SIPSN (Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, timbunan sampah di Indonesia tahun 2020 mencapai 33 juta Ton, dan 17,12% diantaranya merupakan sampah plastik. Sampah plastik menempati urutan nomor 2 terbesar setelah jenis sampah sisa makanan (40,1%). Grafik persentase komposisi jenis sampah dapat dilihat pada Gambar 1.

Pemerintah telah memiliki beberapa alternatif solusi dalam pengelolaan sampah, seperti pembuatan Bank Sampah, Rumah Kompos, Pemaksimalan Program 3R (*Reduce, Reuse, dan Recycle*), dan pemanfaatan sampah sebagai sumber energi. Pada ranah sampah plastik, Program 3R merupakan solusi yang harus tetap dikerjakan hingga didapatkan hasil yang maksimal, yaitu *zero plastic waste*.



Gambar 1. Grafik komposisi jenis sampah Indonesia tahun 2020

Terdapat beberapa penelitian dalam penanganan sampah plastik dengan cara mendaur ulang sampah plastik atau limbah plastik, seperti mengonversi menjadi bahan bakar, memanfaatkan sebagai material komposit, mendaur ulang kembali menjadi produk yang sama, dan pembuatan biokomposit. Surono (2013) menjelaskan bahwa sampah plastik berjenis PE (Polyethylene) dan PP (PolyPropylene) dapat dikonversi menjadi bahan bakar minyak sejenis bensin dengan proses *hydrocracking* dengan tambahan katalis *hydrocarbon*. Purwaningrum (2016) mengemukakan bahwa limbah plastik

PE dapat daur ulang menjadi bahan bakar dan dapat digunakan sebagai bahan pembuatan karbon aktif pada proses adsorpsi dalam pengolahan limbah cair. Surono dan Ismanto (2016) menjelaskan bahwa sampah plastik PP dapat dijadikan bahan bakar minyak sejenis minyak tanah dan bensin, dengan proses pembuatan paling cepat dan kebutuhan gas LPG paling sedikit. Amanda et al (2019) dalam penelitiannya menyatakan bahwa limbah plastik PP dapat diolah menjadi bahan pembuat papan komposit dengan ditambahkan serat alam sisal dan abaka. Pemanfaatan limbah plastik berjenis PP dapat diolah menjadi plastik komposit *biodegradable* dengan penambahan serbuk ampas aren (Juniarto, 2018). Hasil dari penelitian tersebut adalah sebuah produk plastik berbahan dasar PP daur ulang yang memiliki karakteristik yang sesuai dengan plastik komersial.

Limbah plastik PP (PolyPropylene) termasuk jenis plastik yang mudah didaur ulang dan dimanfaatkan untuk produk-produk yang berguna. Plastik PP (PolyPropylene) merupakan jenis plastik yang sering kita jumpai karena keunggulannya, yaitu tahan terhadap bahan kimia (Sahwan et al., 2005). Hal ini ditekankan oleh Widyatmoko et al. (2016) dengan menjelaskan data sampah plastik PP sebesar 32%, yang lebih banyak dibandingkan dengan jenis sampah plastik lainnya seperti PET 21%, dan jenis lainnya 30%.

Berdasarkan pemaparan penelitian terdahulu, maka penelitian pemanfaatan limbah plastik PP untuk pembuatan *cone* benang daur ulang juga termasuk dalam penelitian yang mendukung program 3R yang diwacanakan oleh pemerintah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan karakteristik mekanis (kekuatan lentur) dan massa produk *cone* benang berbahan PP daur ulang dan PP murni yang sesuai ketentuan. Berdasarkan observasi yang telah dilakukan, produk *cone* dengan material PP memiliki karakteristik kekuatan lentur antara 0,4 hingga 0,8 kg/mm² dan massa sebesar 10,5 hingga 11,5 gram.

Metode

Studi pemanfaatan limbah plastik PP untuk dijadikan produk *cone* benang diawali dengan penelitian awal terkait dengan pengoptimalan parameter pembuatan produk pada mesin injeksi. Proses selanjutnya adalah pembuatan produk *cone* benang dengan ditambahkan material kalsium karbonat. Setelah produk selesai dicetak, langkah berikutnya adalah pengujian *flexural* dan pengukuran massa produk.

Penelitian Awal

Pada penelitian awal, langkah yang dilakukan adalah pembuatan desain *cavity cone*, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain *cavity cone*

Setelah didapatkan desain tersebut, langkah berikutnya adalah proses optimasi parameter yang terdapat pada mesin injeksi. Proses optimasi parameter mesin injeksi mengacu pada penelitian Hayu (2021), dengan pengoptimalan parameter seperti *holding time*, *injection time*, *injection speed*, dan *melt temperature* untuk mendapatkan massa produk dan *cycle time* yang sesuai.

Setiap parameter dalam variabel bebas memiliki tingkatan level yang berbeda-beda. Hal ini didapatkan dari observasi proses produksi sebelumnya dan *Technical Data Sheet* material seperti pada Tabel 1. Berdasarkan kedua sumber data tersebut, diperoleh level variabel bebas yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Setelah diperoleh data parameter awal, langkah selanjutnya adalah melakukan proses simulasi pembuatan produk dengan menggunakan perangkat lunak *moldflow*. Sebelum dilakukan simulasi, terdapat tahapan yang dilakukan seperti pembuatan urutan proses eksperimen. Pada langkah ini, metode Taguchi digunakan untuk mengefektifkan

jumlah eksperimen. Hutama (2015) mengemukakan tentang penggunaan *orthogonal array*, yang merupakan alat dalam metode Taguchi, dapat memudahkan peneliti dalam pembuatan tabel eksperimen. Bagian terpenting dari *orthogonal array* terletak pada pemilihan kombinasi level dari setiap variabel bebas untuk masing-masing eksperimen. Tabel 3 memberikan informasi tentang jumlah eksperimen, kombinasi setiap eksperimen dan hasil dari simulasi.

Tabel 1. *Data sheet range* variabel respon

Parameter	Keterangan
Holding Time (s)	1 – 4
Injection Time (s)	1 – 2
Injection Speed (mm/s)	140 – 145
Melt Temperature (°C)	220 – 250

Tabel 2. Parameter dan *level* yang terdapat pada variabel bebas

Parameter	Level		
	Lv 1	Lv 2	Lv 3
<i>Holding Time</i> (s)	1	2	4
<i>Injection Time</i> (s)	1	1,5	2
<i>Injection Speed</i> (mm/s)	140	142	145
<i>Melt Temperature</i> (°C)	220	235	250

Tabel 3. *Orthogonal array* eksperimen dan hasil simulasi

Eksp	<i>Holding Time</i> (s)	<i>Injection Time</i> (s)	<i>Injection Speed</i> (mm/s)	<i>Melt Temp</i> (°C)	<i>Product Weight</i> (gram)
1	Lv.1	Lv.1	Lv.1	Lv.1	8,80
2	Lv.1	Lv.2	Lv.2	Lv.2	10,45
3	Lv.1	Lv.3	Lv.3	Lv.3	10,25
4	Lv.2	Lv.1	Lv.2	Lv.3	9,58
5	Lv.2	Lv.2	Lv.3	Lv.1	10,83
6	Lv.2	Lv.3	Lv.1	Lv.2	10,77
7	Lv.3	Lv.1	Lv.3	Lv.2	9,57
8	Lv.3	Lv.2	Lv.1	Lv.3	11,00
9	Lv.3	Lv.3	Lv.2	Lv.1	11,06

Setelah dilakukan proses pembuatan *orthogonal array* eksperimen dan proses simulasi, langkah berikutnya adalah melakukan proses analisis dari hasil simulasi tersebut. Proses analisis menggunakan metode *Analysis of Mean*, yang juga termasuk *tools* dari Metode Taguchi. Pada proses analisis ini terdapat beberapa langkah, antara lain: pemilihan karakteristik kualitas, perhitungan, dan mendapatkan hasil yang berupa jenis

parameter yang paling mempengaruhi dan kombinasi parameter yang optimal.

Pembuatan Produk

Setelah didapatkan parameter yang optimal, langkah berikutnya adalah pembuatan produk *cone* benang dengan tambahan kalsium karbonat antara 5%, 10%, 15%, dan 20%. Tujuan penambahan kalsium karbonat adalah agar produk *cone* tersebut memiliki karakteristik kuat dan lentur ketika ditekan (Laksana & Waluyo, 2021).

Pengujian *Flexural*

Pengujian *Flexural* bertujuan untuk mendapatkan hasil berupa data tentang kekuatan lentur dari suatu produk. Pada penelitian produk *cone*, pengujian langsung dilakukan pada produk, dan menggunakan tipe pengujian *three point bending*. Khamid (2011) mengemukakan keunggulan pengujian dengan tipe *three point bending*, antara lain: kemudahan dalam persiapan, pengujian dan penetapan titik pengambilan.

Pengujian Massa

Pengujian massa produk bertujuan untuk memvalidasi massa produk *cone* sesuai dengan target yang diharapkan.

Hasil dan Diskusi

Penelitian Awal

Penelitian awal bertujuan untuk mendapatkan parameter permesinan yang optimal pada pembuatan produk *cone*. Metode Taguchi digunakan untuk menganalisis optimasi parameter. Salah satu tahap analisis adalah pemilihan karakteristik kualitas. Pada penelitian awal, karakteristik yang dipilih adalah *nominal the better*, karena pada variabel respon (massa produk *cone*) memiliki target yang harus terpenuhi, yaitu antara 11 -12 gram.

Tahap selanjutnya adalah proses analisa dengan metode *Analysis of Mean*. Pada Tabel 4. tampak hasil analisis yang didapatkan seperti kombinasi parameter dan jenis parameter yang mempengaruhi proses pembuatan produk.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan kombinasi parameter pembuatan *cone* benang yang optimal, antara lain *holding time 4s, injection time 1.5s, injection speed 142 mm/s, dan melt temperature 250°C*. Parameter yang berpengaruh terhadap

pembuatan *cone* benang ini adalah *injection time*.

Tabel 4. Tabel Hasil *Analysis of Mean*

Level	Holding Time (s)	Inject Time (s)	Inject Speed (mm/s)	Melt Temp (°C)
1	9,799	9,316	10,187	10,228
2	10,392	10,725	10,333	10,231
3	10,543	10,694	10,215	10,276
Effect	0,744	1,409	0,146	0,047
Optm	3	2	2	3
Rank	2	1	3	4

Pembuatan Produk

Setelah kombinasi parameter permesinan didapatkan, kombinasi tersebut digunakan untuk pembuatan produk *cone*. Pada pembuatan produk, material PP ditambahkan penguat kalsium karbonat sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20%. Proses pembuatan produk dilakukan di Pusat Unggulan Teknologi Plastik, ATMI Surakarta. Pada Gambar 3. ditampilkan mesin injeksi yang digunakan untuk pembuatan produk *cone*. Gambar 4. dan Gambar 5. merupakan hasil dari produk *cone* dengan penambahan kalsium karbonat.



Gambar 3. Mesin injeksi PUTP



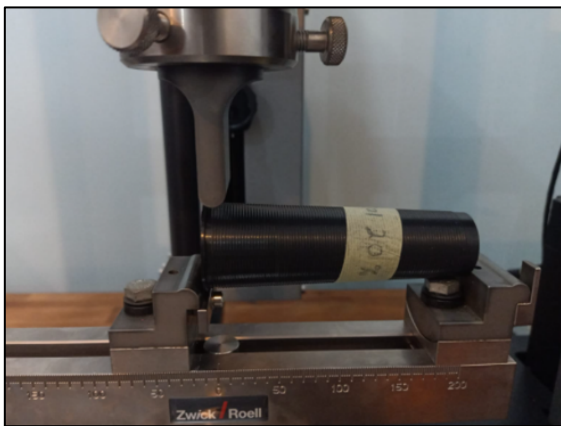
Gambar 4 . Produk *cone* benang dari material PP daur ulang dan penambahan kalsium karbonat 15%



Gambar 5 Produk *cone* benang dari material PP Murni dan penambahan kalsium karbonat 15%

Pengujian Flexural

Pengujian *flexural* pada produk *cone* benang dilakukan di laboratorium *Material Testing* Pusat Unggulan Teknologi Plastik, ATMI Surakarta. Pengujian menggunakan tipe *three point bending*. Setiap produk *cone* yang diuji dikelompokkan berdasarkan jenis material, yaitu material murni dan material daur ulang, serta dibedakan berdasarkan kandungan kalsium karbonat. Tahap setelah itu adalah proses pengujian *flexural three point bending* (Gambar 6). Selama proses pengujian, terdapat beberapa variabel yang dikontrol, seperti batas maksimal penekanan yang diberikan sebesar 2 kg, dan panjang deformasi maksimal sebesar 5mm.

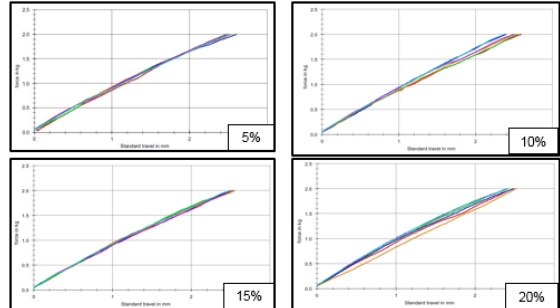


Gambar 6. Contoh proses pengujian *flexural three point bending* produk *cone* benang

Hasil dari pengujian produk *cone* dengan material murni yang ditambahkan dengan kalsium karbonat ditampilkan pada Gambar 7.

Tahap sesudah pengujian adalah perhitungan kekuatan lentur untuk setiap produk. Hasil perhitungan kekuatan lentur ditampilkan pada Tabel 5. Berdasarkan hasil pengujian terhadap produk *cone*, dapat

diketahui bahwa produk *cone* dengan material PP murni yang ditambahkan Kalsium karbonat sebanyak 20% merupakan produk yang dapat digunakan untuk *cone* benang, karena memiliki kekuatan lentur yang paling tinggi.

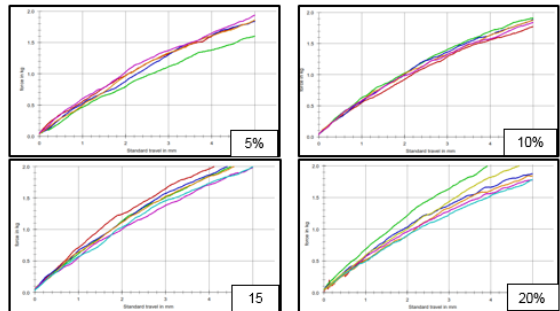


Gambar 7. Grafik pengujian *flexural* produk *cone* PP murni dengan penambah kalsium karbonat

Tabel 5. Tabel perhitungan kekuatan lentur produk *cone* dengan material PP murni

Kalsium karbonat (%)	Force (kg)	Area (mm ²)	Flexural Tension (kg/mm ²)
5	2,00	2,52	0,79
10	2,00	2,49	0,80
15	2,00	2,52	0,79
20	2,00	2,45	0,82

Hasil dari pengujian produk *cone* dengan material daur ulang yang ditambahkan kalsium karbonat ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik pengujian *flexural* produk *cone* PP daur ulang dengan penambah kalsium karbonat

Seperti pada proses pengujian *cone* dengan material PP murni, langkah selanjutnya adalah perhitungan kekuatan lentur untuk setiap produk *cone* berbahan material PP daur ulang dengan penambah kalsium karbonat. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 6. Berdasarkan hasil pengujian, dapat diketahui bahwa produk *cone* dengan material PP daur ulang yang ditambahkan kalsium 15% merupakan produk yang hampir mendekati karakteristik kekuatan lentur dari produk *cone*

dengan material PP murni. Nilai kekuatan lenturnya adalah sebesar 0,43 kg/mm².

Tabel 6. Tabel perhitungan kekuatan lentur produk *cone* dengan material PP daur ulang

Kalsium karbonat (%)	Force (kg)	Area (mm ²)	Flexural Tension (kg/mm ²)
5	1,82	5,00	0,36
10	1,86	5,00	0,37
15	2,00	4,60	0,43
20	1,69	4,24	0,40

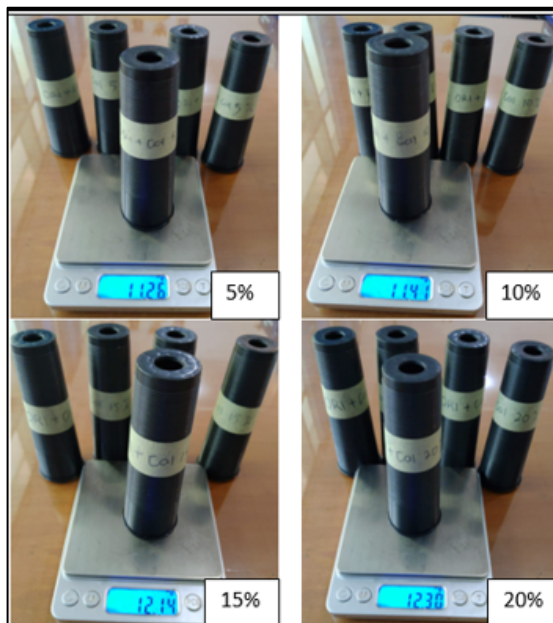
Berdasarkan pengujian terhadap 2 jenis produk *cone* benang, dapat disimpulkan bahwa kekuatan lentur yang tertinggi pada *cone* yang terbuat dari material PP murni diperoleh dari penambahan 20% kalsium karbonat, yaitu sebesar 0,82 kg/mm². Sedangkan pada material PP daur ulang, diperoleh dari penambahan 15% kalsium karbonat, yaitu sebesar 0,43 kg/mm².

Pengujian Massa Produk

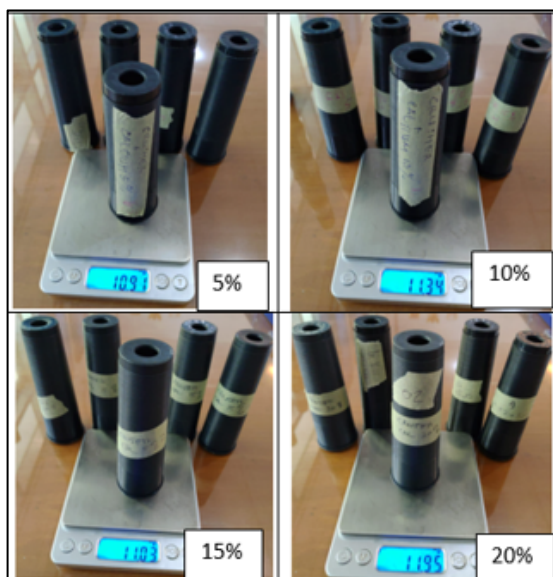
Berdasarkan hasil observasi yang telah dilakukan, massa produk *cone* berada pada kisaran nilai 10,5 -11,5 gram. Hal ini bertujuan agar *cone* mampu menahan massa benang, dan memiliki sifat kekakuan yang baik (Mawardi et al., 2015). Massa produk plastik merupakan hal yang wajib diketahui di industri, karena menentukan jumlah material plastik yang akan digunakan dalam proses injeksi. Jika massa produk melebihi dari batas yang ditentukan, maka material yang digunakan untuk proses pengerjaan terlalu banyak. Material yang terlalu banyak memungkinkan proses produksi pada produk tersebut mengalami kegagalan.

Gambar 9. merupakan hasil perhitungan massa produk *cone* dengan material PP murni. Berdasarkan pengukuran massa tersebut, terdapat 2 produk *cone* yang memiliki massa diluar ketentuan. Produk *cone* dengan penambahan kalsium karbonat 15% dan 20% memiliki massa yang melebihi ketentuan, yaitu sebesar 12,14 gram, dan 12,30 gram.

Gambar 10. menampilkan hasil pengukuran massa produk *cone* dengan material PP daur ulang yang ditambahkan kalsium karbonat antara 5% hingga 20%. Berdasarkan data pengukuran, hanya terdapat 1 produk *cone* yang melebihi massa yang telah ditentukan, yaitu *cone* dengan tambahan kalsium karbonat sebesar 20%.



Gambar 9. Pengukuran produk *cone* dengan material PP murni



Gambar 10 . Pengukuran produk *cone* dengan material PP daur ulang

Pada tahap akhir, seluruh hasil pengujian *flexural* dan pengukuran massa produk disederhanakan di Tabel 7. Berdasarkan tabel 7 tersebut, dapat disimpulkan bahwa, produk *cone* material PP murni dengan tambahan kalsium karbonat 5% dan 10%, serta material PP daur ulang dengan tambahan kalsium karbonat 15% merupakan hasil yang memenuhi standar massa (10,5 gr hingga 11,5 gr) dan kekuatan fleksural (0,4 kg/mm² hingga 0,8 kg/mm²). Berdasarkan fokus penelitian dalam pemanfaatan limbah plastik dan ditinjau dari hasil tersebut, maka untuk pembuatan produk

cone yang ideal adalah material PP daur ulang dengan tambahan kalsium karbonat 15%.

Tabel 7. Tabel hasil analisis kekuatan lentur dan berat massa produk *cone*

Kalsium karbonat (%)	PP Murni		PP Daur Ulang	
	Flexural	Massa	Flexural	Massa
5	0,79	11,26	0,36	10,91
10	0,80	11,41	0,37	11,34
15	0,79	12,14	0,43	11,03
20	0,82	12,30	0,40	11,95

Kesimpulan

Studi pemanfaatan limbah plastik PP yang dibuat menjadi produk *cone* benang dapat dinyatakan berhasil, karena material PP daur ulang yang ditambahkan material Kalsium Karbonat sebesar 15% memiliki kekuatan lentur 0,43 kg/mm², dan massa sebesar 11,03 gram. Hal ini sesuai dengan standar yang telah ditentukan, yaitu kekuatan lentur yang maksimal dan massa produk *cone* yang berada di antara 10,5 gram hingga 11,5 gram.

Daftar Pustaka

- Data Timbunan Sampah Indonesia Tahun 2020, [Online], Diakses dari: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbunan> [2021, 4 Oktober].
- Surono, U. B. (2013). Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak. *Jurnal Teknik*, 3(1), 32-40.
- Purwaningrum, P. (2016). Upaya Mengurangi Timbunan Sampah Plastik Di Lingkungan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 8(2), 141-147.
- Surono, U. B., & Ismanto. (2016). Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET Dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*, 1(1), 32-37.
- Amanda, P., Fratika, I. S., Burhani, S. D. A., & Masruchin, N. (2019). Pemanfaatan Limbah Plastik Komersial Polipropena (PP) untuk Biokomposit dengan Penambahan Serat Alam. *Prosiding Seminar Lignoselulosa*, 65-72.
- Widyatmoko, H., Purwaningrum, P., & Febrina, P. A. P. (2016). Analisis Karakteristik Sampah Plastik di Permukiman Kecamatan Tebet dan Alternatif Pengolahannya. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 7(1), 24-33.
- Sahwan, F. L., Djoko, H. M., Sri, W., & Lies, A. W. (2005). Sistem Pengelolaan Limbah Plastik Di Indonesia. *Jurnal Teknik Lingkungan. P3TL-BPPT*, 6(1), 2311-318
- Juniarto, A. (2018). Pemanfaatan Limbah Plastik Polipropilen Sebagai Material Komposit Plastik Biodegradable dengan Penambahan Serbuk Ampas Aren. *Skripsi Teknik Mesin*, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Hayu, W. S. (2021). Optimasi Parameter Injection Molding untuk Mengurangi Cycle Time dan Berat Produk Cone Benang dengan Metode Taguchi. *Tugas Akhir Perancangan Manufaktur*, Politeknik ATMI. Surakarta
- Hutama, A. S. (2015). Optimasi Pembuatan Biokeramik dengan Struktur Pori-pori Beraturan. *Thesis*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Laksana, A. H., & Waluyo, M. B. (2021). Effect Pengaruh Komposisi Serat Kenaf dan Serbuk CaCO₃ Terhadap Kekuatan Tekuk dan Water Absorption Komposit Hybrid-Poliester. *Indonesian Journal of Mechanical Engineering Vocational*, 1 (2), 58-64.
- Khamid, A. (2011). Rancang Bangun Alat Uji Bending dan Hasil Pengujian untuk Bahan Besi Cor. *Tugas Akhir Diploma III Teknik Mesin*. Universitas Diponegoro. Semarang
- Mawardi, I., Hasrin, & Hanif. Analisis Kualitas Produk dengan Pengaturan Parameter Temperatur Injeksi Material Plastik Polypropylene (PP) pada Proses Injection Molding. *Malikussaleh Industrial Engineering Journal*, 4(2), 30-35.

Halaman ini sengaja dikosongkan.
This page is intentionally left blank.