Karakteristik plastik *biodegradable* dari limbah polipropilena dan pati tandan kosong kelapa sawit melalui metode pencampuran kering

Characteristics of biodegradable plastic from polypropylene waste and starch of empty fruit bunch of palm oil with the dry mixing method

Elda Pelita¹, Tengku Rachmi Hidayani^{2*}, Risma Sari¹, Trisna Yuniarti², Irfan Rusmar²

¹ Politeknik ATI Padang, Jalan Bungo Pasang Tabing Padang 25171, Indonesia

² Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan, Jalan Medan Tenggara VII Medan Denai, Kota Medan 20228, Indonesia

*Penulis korespondensi. Telp. +62 81361906746, +62 8153040062

E-mail: rachmihidayani@yahoo.com

Diterima: 9 April 2020

Direvisi: 3 Juli 2020

Disetujui: 15 Juli 2020

ABSTRACT

Utilization of polypropylene plastic waste and empty fruit bunch palm oil is carried out by processing and combining polypropylene plastic waste with starch from empty fruit bunch palm oil into biodegradable plastic that is easily biodegradable. Modification of composition used in the manufacture of biodegradable plastics is plastic waste and oil palm empty fruit bunches (80:20; 70:30; 60:40). The method of printing biodegradable plastics is the hot press. The results of the characterization of biodegradable plastics with an optimum composition that is at a ratio of 60:40 show the value of the tensile strength of 6.54 N/m² and elongation of 2.42%. The results of the analysis of biodegradable properties obtained a decrease in mass that has been planted for 1 month, namely in the soil waste by 6.78% and the analysis with FT-IR, it is found that the wavenumber is 1165.00 cm⁻¹.

Keywords: oil palm empty fruit bunch, plastics, polypropylene waste, starch.

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah plastik polipropilena dan tandan kosong kelapa sawit dilakukan dengan cara mengolah serta menggabungkan limbah plastik polipropilena dengan pati tandan kosong sawit menjadi plastik *biodegradable* yang mudah terurai di alam. Modifikasi komposisi yang digunakan pada pembuatan plastik *biodegradable* adalah limbah plastik dan pati tandan kosong sawit adalah (80:20; 70:30; 60:40). Metode pencetakan plastik *biodegradable* adalah dengan metode kempa tekan panas. Hasil karakterisasi plastik *biodegradable* dengan komposisi optimum yaitu pada perbandingan 60:40 menunjukkan harga kekuatan tarik 6,54 N/m² dan kemuluran 2,42%. Hasil analisa sifat *biodegradable*-nya didapatkan penurunan massa yang telah ditanam selama 1 bulan yaitu pada tanah sampah sebesar 6,78% dan analisa dengan FT-IR ditemukan bilangan gelombang 1165 cm⁻¹ yang menunjukkan gugus fungsi C-O *bending* yang khas untuk menunjukkan ikatan antara limbah plastik polipropilena ter-*grafting* maleat anhidrida dan pati yang didukung dengan bilangan gelombang 1590-1560 cm⁻¹ yang menunjukkan gugus fungsi C=C pada maleat anhidrida dan polipropilena yang terikat silang.

Kata kunci: limbah polipropilena, pati, plastik, tandan kosong kelapa sawit.

PENDAHULUAN

Kantong plastik merupakan barang sekali pakai dengan kegiatan pasca konsumsi yang dapat menimbulkan bahaya jika dibuang

sembarangan. Indonesia merupakan negara dengan konsumsi kantong plastik terbesar kedua di dunia (Jambeck *et al.*, 2015). Usaha-usaha telah dilakukan untuk mengurangi limbah

kantong plastik seperti teknologi pengolahan sampah, daur ulang dan pembakaran. Selain itu mulai dilakukan diet terhadap kantong plastik dengan menggunakan kantong belanja yang dapat digunakan berulang. Salah satu cara untuk mengatasi masalah sampah plastik tersebut adalah penggunaan plastik *biodegradable* (Balestri *et al.*, 2017). Plastik *biodegradable* adalah plastik yang dapat terdegradasi oleh mikroorganisme seperti bakteri, alga, jamur dan yang lain, sehingga penggunaannya tidak menimbulkan dampak bagi lingkungan. Plastik *biodegradable* terbuat dari bahan yang dapat diperbarui atau campuran antara bahan sintetis dengan bahan alami (Mostafa *et al.*, 2018).

Beberapa penelitian telah dilakukan tentang pembuatan plastik *biodegradable* yang terus berkembang pada saat ini, mulai dari variasi pati yang digunakan misalnya dengan menggunakan pati biji durian (Hidayani *et al.*, 2015) yaitu dilakukan dengan matriks polipropilena, metode basah, dan menggunakan pelarut xilena. Komposisi pati maksimum yang digunakan pada alat refluks adalah 2 persen. Hidayani *et al.* (2017a) telah melakukan juga pembuatan plastik *biodegradable* dari campuran limbah plastik polipropilena dan pati biji durian dengan memodifikasi limbah plastik polipropilena serta menggunakan agen pengikat silang berupa maleat anhidrida sebanyak 1% serta bantuan inisiator benzoil peroksida sebanyak 1%. Hasil plastik *biodegradable* yang didapatkan pada kondisi optimum mengandung 4% pati biji durian dan dapat berinteraksi secara kimia berdasarkan data uji FT-IR namun hasil dari penelitian tersebut dianggap masih kurang karena tingkat homogenitas plastik yang kurang baik, dan tampilan fisik yang kurang. Hidayani *et al.* (2017b) melakukan perkembangan penelitian dengan mengganti pati biji durian yang dianggap buah musiman dengan pati yang bersumber dari tandan kosong kelapa sawit yang sediaannya hampir sepanjang waktu dan merupakan masalah bagi lingkungan karena merupakan limbah dari pengolahan buah kelapa sawit. Sumber plastik yang digunakan dalam pembuatan plastik *biodegradable* menjadi LDPE yang memiliki titik leleh yang rendah yaitu 110 °C, dimana diharapkan suhu tersebut tidak jauh berbeda dengan titik lebur dari pati. Hasil dari penelitian ini menunjukkan kondisi optimum variasi penambahan pati sebanyak 40%, namun yang menjadi kelemahan adalah penampakan fisik dari

plastik *biodegradable* yang dihasilkan berwarna hitam seperti jamur dan berbau menyengat. Berdasarkan komposisi pati yang cukup banyak yang dapat ditambahkan sebagai bahan pengisi pada pembuatan plastik *biodegradable* pada penelitian tahun sebelumnya, maka Hidayani *et al.* (2017b) melakukan variasi bahan dasar plastik yang digunakan yaitu menggunakan limbah plastik HDPE. Limbah plastik HDPE diharapkan memiliki sifat mekanis yang jauh lebih baik dibandingkan LDPE, dengan ketahanan panas yang lebih baik pula. Metode pencampuran yang dilakukan diubah menjadi metode pencampuran kering dengan alat ekstruder, dimana metode basah dianggap kurang ramah lingkungan karena menghasilkan limbah cair bahan kimia yang dibuang ke alam dan memiliki biaya yang cukup besar (Pelita *et al.*, 2019). Hasil dari penelitian ini menunjukkan kondisi optimum dari plastik *biodegradable* yang dihasilkan adalah pada variasi pati tandan kosong sawit 40% dengan penampakan fisik yang merata, namun warna plastik *biodegradable* masih kecoklatan. Pelita *et al.* (2018) melakukan pembuatan film plastik *biodegradable* melalui cara mencampurkan limbah plastik polipropilena dan pati tandan kosong sawit dengan metode kering menggunakan alat ekstruder serta menambahkan inisiator benzoil peroksida serta agen pengikat silang maleat anhidrida sebanyak 1% dengan perbandingan limbah plastik dan bahan pengisi 60:40.

Dari penelitian-penelitian tersebut di atas, maka peneliti melakukan pembuatan plastik *biodegradable* dengan matriks polipropilena yang memiliki kekuatan fisik lebih baik dibandingkan polietilen, dan bahan pengisi dari pati tandan kosong kelapa sawit dengan metode pencampuran kering menggunakan alat ekstruder dengan tujuan menghemat penggunaan bahan kimia, untuk meminimalisir limbah bahan kimia dan biaya, sehingga hasil plastik *biodegradable* sepenuhnya ramah lingkungan.

BAHAN DAN METODE

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah polipropilena dari limbah kantong plastik gula, benzoil peroksida, maleat anhidrida, tandan kosong kelapa sawit, dan air.

Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian

ini adalah neraca analitis dengan merk Mettler Toledo (range 4 desimal, maksimal 500 gram), alat DTADT-30 Shimadzu Japan, alat ekstruder rakitan, alat ekstruder jenis Rheomix 141, oven listrik merk Memmert, alat cetak tekan merk Torsee SC-2DE, alat-alat gelas merk Pyrex, alat uji tarik Tipe SC-2DE CAP 2000 kg.f dengan range suhu 80-350 °C, blender merk National, ayakan 140 mesh merk Tantalum 3N8 Purity, dan alat *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR) Shimadzu IRAffinity-1S.

Metode Kerja

Ekstraksi pati dari tandan kosong kelapa sawit

Tandan kosong kelapa sawit dicuci bersih dengan menggunakan air mengalir, kemudian tandan tersebut dibersihkan menggunakan pisau. Bagian dalam tandan kosong kelapa sawit dibelah dan diambil isinya. Setelah itu, dilakukan perendaman dengan air, kemudian pati yang mengendap setelah satu malam dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 110 °C.

Peng-grafting-an polipropilena dengan maleat anhidrida serta inisiator benzoil peroksida

Peng-grafting-an polipropilena dengan maleat anhidrida serta inisiator benzoil peroksida dengan metode pencampuran kering tanpa pelarut dengan melelehkan sampel menggunakan alat ekstruder Rheomix 141 pada suhu 158 °C untuk menghasilkan PP-g-MA. Awalnya, bahan dicampurkan secara manual (*dry mixing*) dengan total setiap campuran bahan adalah 10 gram.

Pencampuran plastik PP-g-MA dengan pati tandan kosong kelapa sawit

Pencampuran dilanjutkan dengan metode kering menggunakan alat ekstruder hasil rakitan dengan kondisi operasi yang telah diatur terlebih dahulu. Kondisi suhu yang digunakan adalah sesuai dengan titik lebur sampel yaitu 155 °C dengan kecepatan 60 rpm dan waktu pencampuran selama 1 jam. Awalnya, bahan dicampurkan secara manual (*dry mixing*) dengan total setiap campuran bahan adalah 10 gram.

Pencetakan campuran plastik *biodegradable* dengan metode pengepresan (*hot press*)

Pencetakan campuran plastik *biodegradable* dengan metode pengepresan (*hot press*) dengan suhu 155 °C dan kuat tekan sebesar 150 kg.f dengan plat cetak tekan berbentuk petak dengan

ketebalan 2 mm (Pelita *et al.*, 2017).

Pengujian atau karakterisasi plastik yang dihasilkan

Setelah dikeluarkan dari cetakan, selanjutnya plastik tersebut dilakukan karakterisasi dengan pengujian kekuatan tarik oleh ASTM D-1822 tipe L dengan beban 100 kg.f dan kecepatan 50 mm/menit dengan ketebalan spesimen 1 mm. Langkah awal pengujian dilakukan dengan mengubah sistem elektronik Torsee dan didiamkan selama 1 jam. Spesimen dijepitkan ke alat uji tarik kemudian regangan, tegangan, dan unit ditentukan dengan menggunakan *griff*. Kemudian perekam dihidupkan, menekan tombol *start*, lalu nilai *stroke* dan beban dibuat dalam kondisi nol. Catat nilai beban dan goresan ketika sampel pecah. Lakukan perlakuan yang sama untuk setiap sampel. Nilai beban dan langkah yang diperoleh digunakan untuk menghitung nilai kekuatan tarik dan perpanjangan spesimen.

Analisis kemampuan terurai dengan uji *biodegradable* dengan cara penanaman pada 3 jenis tanah yaitu tanah sampah, tanah pasir, dan tanah biasa yang diletakan dalam pot. Spesimen sampel dipotong ukuran 3x3 cm, kemudian ditanamkan pada kedalaman 10 cm dan ditimbang setiap minggu. Metode penimbangan yaitu sampel diambil dengan pinset, kemudian dicuci dengan akuades, dan dikeringkan menggunakan tisu, lalu ditimbang dengan neraca analitik.

Analisa sifat kimia dengan melakukan analisis gugus fungsi dengan FT-IR. Trasmisi cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detector, lalu dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang (cm^{-1}).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 merupakan penampakan limbah plastik polipropilena tanpa penambahan pati. Limbah plastik merupakan limbah plastik jenis polipropilena yang banyak digunakan sebagai wadah pengemas, yang dibersihkan terlebih dahulu kemudian dikeringkan lalu dihancurkan dengan cara dipotong-potong kecil. Sedangkan Gambar 2 merupakan plastik *biodegradable* yang dihasilkan dengan cara metode pencampuran kering, dan pencetakan dengan metode kempa tekan panas.

Nampak dilihat bahwa penambahan bahan pengisi membuat warna dari plastik *biodegradable* yang dihasilkan berwarna kecoklatan karena jauhnya perbedaan antara titik leleh antara pati yaitu sekitar suhu 90 °C dengan plastik polipropilena dengan suhu sekitar 157 °C.

Analisis Kemampuan Terurai

Pada Gambar 3 dapat dilihat perbedaan plastik *biodegradable* sebelum penanaman yaitu sebelah kanan, dengan plastik *biodegradable* setelah penguburan pada berbagai jenis tanah, yang telah mengalami penguraian yaitu gambar sebelah kiri. Penguburan spesimen komposit *biodegradable* pada berbagai jenis tanah (tanah bakaran sampah, tanah biasa, dan tanah pasir) dengan pengamatan setiap 10 hari selama 1 bulan bertujuan untuk

Gambar 1. Limbah plastik polipropilena tanpa penambahan pati.

melihat tingkat biodegradasinya di alam. Hal ini karena salah satu tempat akhir kemasan plastik adalah kembali ke tanah (Pelita *et al.*, 2018).

Merujuk kepada data pada Gambar 4 penurunan massa plastik *biodegradable* yang terurai di alam dengan uji *biodegradable* menunjukkan laju persentase biodegradasi dari plastik *biodegradable* yang paling tinggi yakni pada kemasan plastik *biodegradable* dengan perbandingan 60:40 yaitu pada tanah sampah dengan nilai 6,78%. Nilai penurunan plastik *biodegradable* yang terbesar adalah pada penanaman dalam tanah sampah lalu tanah biasa kemudian pasir. Hal ini disebabkan karena jumlah nutrisi dalam tanah sampah lebih banyak dibandingkan tanah lainnya sehingga jumlah dan jenis mikrobanya juga lebih banyak. Mikroba yang membantu

Gambar 2. Plastik *biodegradable* dengan penambahan pati pada kondisi optimum.

Gambar 3. Hasil penanaman plastik *biodegradable*.

Gambar 4. Grafik hasil penurunan massa (%) spesimen plastik *biodegradable* setelah penanaman dalam tanah.

proses degradasi kemasan di dalam tanah adalah bakteri *Pseudomous* dan *Bacillus* yang memutus rantai polimer menjadi monomer plastik terurai (Pelita *et al.*, 2017). Nilai penurunan massa pada uji *biodegradable* belum sepenuhnya optimum karena waktu analisa yang hanya 1 bulan. Plastik *biodegradable* akan terus terurai di alam sampai dengan waktu sekitar 3 bulan (90 hari) (Dewi & Yesti, 2018).

Analisis Sifat Mekanis

Uji kekuatan tarik dan kemuluran dari variasi komposisi pengisi yang berbeda untuk menghasilkan plastik *biodegradable* merupakan faktor penting untuk menentukan sifat mekanis plastik *biodegradable* yang diinginkan. Hasil dari pengujian didapatkan nilai beban dan defleksi.

Dari data pada grafik hasil karakterisasi sifat mekanis dengan uji tarik dan kemuluran yang terdapat pada Gambar 5 tersebut dapat dilihat nilai kekuatan tarik dari plastik *biodegradable* yang dihasilkan memiliki variasi, dimana kita mengharapkan bahan pengisi yang ditambahkan semakin besar, namun sifat bahan polimer tetap menonjol. Nilai kekuatan tarik dan kemuluran pada kondisi 90:10 menunjukkan nilai yang besar, namun komposisi bahan pengisi yang terlalu kecil membuat kemampuan *biodegradable* yang dihasilkan menjadi kurang optimum, sehingga dipilih komposisi bahan pengisi yang lebih banyak, namun sifat asli dari plastik tidak hilang dan nilai kemuluran tidak lebih dari 5%. Dari data tersebut dapat disimpulkan kondisi optimum adalah pada perbandingan 60:40, dengan nilai kekuatan 6,54

N/m² dengan nilai kemuluran 2,42%. Hal ini sejalan dengan hasil uji *biodegradable* dan teori yang mengatakan bahwa jumlah bahan pengisi maksimum untuk polimer campuran adalah 40% (Hidayani, 2018). Sedangkan penambahan bahan polimer dengan jumlah 50% atau lebih akan menghilangkan sifat elastisitas bahan asli/polimernya (Pelita *et al.*, 2018).

Analisis Gugus Fungsi dengan FT-IR

Gambar 6, 7, 8, dan 9 merupakan hasil spektrum FT-IR dari plastik *biodegradable* yang dihasilkan. Dapat dilihat bahwa dari masing-masing spektrum plastik *biodegradable* menunjukkan beberapa bilangan gelombang yang nilainya berdekatan atau hampir sama, yang dibahas dalam Tabel 1. Hal ini menunjukkan bahwa gugus fungsi dari masing-masing plastik *biodegradable* yang dihasilkan adalah hampir sama dan memiliki gugus fungsi yang spesifik untuk plastik *biodegradable*. Bilangan gelombang dari hasil FTIR plastik *biodegradable* yang dihasilkan menunjukkan adanya interaksi antara atau gabungan dari plastik yang telah ter-*grafting* dengan maleat anhidrida dan pati dari tandan kosong sawit. Ada beberapa bilangan gelombang yang khas untuk pati yaitu pada bilangan gelombang sekitar yaitu puncak pada 1165 cm⁻¹ mengindikasikan adanya ikatan C-O-C yang berasal dari ikatan pati TKS-MA-PP, 3062 cm⁻¹ untuk gugus fungsi C-H, dan untuk PP-g-MA pada bilangan gelombang 1600 cm⁻¹ (Iswarin *et al.*, 2013). Dapat dilihat pada bilangan gelombang yang menunjukkan gugus fungsi yang khas pada plastik *biodegradable* yaitu bilangan gelombang

Gambar 5. Perbandingan nilai kekuatan tarik dan kemuluran.

1165 cm^{-1} yang menunjukkan gugus fungsi C-O-C bending yang khas untuk menunjukkan ikatan antara limbah plastik polipropilena ter-grafting maleat anhidrida dan pati yang didukung

dengan bilangan gelombang 2885-2865 cm^{-1} yang menunjukkan gugus fungsi C-H *stretching* alkana pada maleat anhidrida dan polipropilena yang terikat silang (Butnaru *et al.*, 2016).

Gambar 6. Hasil spektrum FT-IR limbah plastik polipropilena.

Gambar 7. Hasil spektrum FT-IR plastik biodegradable 80:20.

Gambar 8. Hasil spektrum FT-IR plastik biodegradable 70:30.

Gambar 9. Hasil spektrum FT-IR plastik biodegradable 60:40.

Tabel 1. Bilangan gelombang FT-IR.

Sampel	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
Plastik <i>biodegradable</i>	3062	C-H <i>stretching</i>
	2890-2860	CH ₂ <i>bending</i>
	2885-2865	C-CH ₃ <i>bending</i>
	1590-1560	C=C <i>stretching</i>
	1165,00	C-O <i>bending</i>
	725-720	CH ₃ -CH ₂ <i>stretching</i>
	1400-1360	CH ₃ <i>bending</i>
	849,97	C-C <i>bending</i>
	1296,16	C-O <i>stretching</i>
	1851,66	C=O <i>stretching</i>

KESIMPULAN

Pembuatan plastik *biodegradable* dengan metode pencampuran kering dilakukan dengan tujuan meminimalisir limbah bahan kimia dan biaya yang digunakan. Plastik *biodegradable* dihasilkan dari limbah polipropilena sebagai matriks dengan pati tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan pengisi, dengan penambahan maleat anhidrida sebagai agen pengikat silang dan benzoil peroksida sebagai inisiator. Metode pencampuran kering dilakukan dengan alat ekstruder sehingga dihasilkan poliblend, sehingga tidak diperlukan penggunaan pelarut xilena untuk pencampuran bahan sehingga limbah bahan kimia dapat dikurangi. Kemudian pencetakan poliblend dilakukan dengan metode kempa tekan panas. Kondisi optimum komposisi plastik *biodegradable* yang dihasilkan pada perbandingan limbah polipropilena dan pati tandan kosong kelapa sawit adalah 60:40, dengan nilai kekuatan tarik 6,54 N/m² dan kemuluran 2,42%. Hasil analisa sifat *biodegradabelnya* didapatkan penurunan massa yang telah ditanam selama 1 bulan yaitu pada tanah sampah sebesar 6,78%. Plastik *biodegradable* yang dihasilkan tidak hanya berinteraksi secara fisika, namun juga berinteraksi secara kimia. Hal tersebut didukung pula dengan interaksi kimia dari plastik *biodegradable* yang dihasilkan dapat dilihat berdasarkan hasil analisa dengan FTIR ditemukan bilangan gelombang 1590-1560 cm⁻¹ yang menunjukkan gugus fungsi C=C pada maleat anhidrida dan polipropilena yang terikat silang antara sesamanya dan dengan pati tandan kosong kelapa sawit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih yang tidak terhingga kepada seluruh keluarga besar Kementerian Perindustrian pada umumnya, Politeknik ATI Padang dan PTKI Medan pada khususnya. Terimakasih kepada staf

laboratorium terpadu USU Medan dan semua pihak yang terlibat sehingga jurnal ini dapat dibuat dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewi, A. P., & Yesti, Y. (2018). Pemanfaatan limbah plastik menjadi kemasan ramah lingkungan serta uji biodegradasinya. *Journal of Pharmacy and Science*, 1(2), 33–38. <https://doi.org/10.36341/jops.v1i2.492>
- Balestri, E., Menicagli, V., Vallerini, F., & Lardicci, C. (2017). Biodegradable plastic bags on the seafloor: A future threat for seagrass meadows? *Science of the Total Environment*, 605–606, 755–763. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.249>
- Butnaru, E., Darie-Niță, R. N., Zaharescu, T., Balaeș, T., Tănase, C., Hitruc, G., Doroftei, F., & Vasile, C. (2016). Gamma irradiation assisted fungal degradation of the polypropylene/biomass composites. *Radiation Physics and Chemistry*, 125, 134–144. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.04.003>
- Hidayani, T. R. (2018). Grafting polipropilena dengan maleat anhidrida sebagai pengikat silang dengan inisiator benzoil peroksida. *Eksakta: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19(1), 56–62. <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss1/127>
- Hidayani, T. R., Pelita, E., & Nirmala, D. (2017a). Pembuatan dan karakterisasi plastik biodegradable dari limbah polipropilena dan pati biji durian dengan penambahan maleat anhidrida sebagai agen pengikat silang. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 39(1), 17–24. <https://doi.org/10.24817/jkk.v39i1.2027>
- Hidayani, T. R., Pelita, E., & Gusfiyeni. (2017b). Analisis sifat fisika pemanfaatan pati tandan kosong sawit dan limbah plastik LDPE sebagai bahan pembuatan plastik biodegradabel. *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, 33(1), 29–34. <https://doi.org/10.20543/mkpk.v33i1.2202>
- Hidayani, T. R., Pelita, E., & Nirmala, D. (2015). Karakteristik plastik biodegradabel dari limbah plastik polipropilena dan pati biji durian. *Majalah*

Kulit, Karet, dan Plastik, 31(1), 9–14. <https://doi.org/10.20543/mkkip.v31i1.178>

- Iswarin, S. J., Nuriyah, L., & Sriwilujeng, A. I. (2013). Hubungan gugus fungsi plastik biodegradabel metil akrilat dan pati garut terhadap sifat mekaniknya. *Natural B*, 2(2), 178–183. <https://doi.org/10.21776/ub.natural-b.2013.002.02.13>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Mostafa, N. A., Farag, A. A., Abo-dief, H. M., & Tayeb, A. M. (2018). Production of biodegradable plastic from agricultural wastes. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(4), 546–553. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.04.008>
- Pelita, E., Hidayani, T. R., & Rahmad, D. (2019).

Potency of paper mill waste as recyclable polypropylene filled with coconut fiber composite for mitigational material. *Rasayan Journal of Chemistry*, 12(3), 1144–1150. <https://doi.org/10.31788/RJC.2019.1235345>

- Pelita, E., & Hidayani, T. R. (2018). Perbandingan sifat fisika plastik biodegradabel dari limbah plastik polipropilena dan pati tandan kosong kelapa sawit yang dicampur dengan alat ekstruder dan alat rheomix. *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet, dan Plastik ke-7*, 7(1), 107–118.
- Pelita, E., Hidayani, T. R., & Akbar, A. (2017). Analysis physical properties of composites polymer from cocofiber and polypropylene plastic waste with maleic anhydride as crosslinking agent. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 223, 012060. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/223/1/012060>