Pengaruh penambahan pati tapioka terhadap sifat mekanis dan struktur komposit *high density polyethylene*

Effect of tapioca starch addition on the mechanical properties and structure of high density polyethylene composite

Dwi Wahini Nurhajati*, Ihda Novia Indrajati, Hesty Eka Mayasari,
Muhammad Sholeh

Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik, Jl. Sokonandi No. 9 Yogyakarta 55166, Indonesia

*Penulis korespondensi. Telp. (0274) 512929, Faks. (0274) 563655

E-mail: dwiwahininurhajati@gmail.com

Diterima: 27 Agustus 2018

Direvisi: 6 November 2018

Disetujui: 6 November 2018

ABSTRACT

The effect of adding tapioca starch on the mechanical properties and structure of high density polyethylene (HDPE) plastic composites was investigated. Tapioca starch filled HDPE composites were prepared using a Haake Rheomix internal mixer at 130°C and a rotor speed of 40 rpm for 15 minutes. Tapioca starch were processed in the presence of glycerol, water and acetic acid. The amount of starch in HDPE composites were varied 30, 40, 50, 60, and 70%. The addition of tapioca starch reduced the tensile strength but increased the elongation at break and density of the composites. Aging treatment of HDPE composites containing tapioca starch $\geq 50\%$ increased tensile strength but decreased the elongation at break. XRD diffractogram of HDPE composites showed that the addition of tapioca starch caused a shift in 2-theta values and decreased intensity. FTIR spectra of tapioca starch filled HDPE composites showed a shift in wavelength which was indicated to be an amorphous-crystal transition.

Keywords: Composite, HDPE, mechanical properties, tapioca starch, XRD

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan pati tapioka terhadap sifat mekanis dan struktur komposit plastik *high density polyethylene* (HDPE). Komposit HDPE berisi pati tapioka dibuat menggunakan *internal mixer* Haake Rheomix pada suhu 130°C dan kecepatan rotor 40 rpm selama 15 menit. Pati tapioka sebelum dibuat komposit dicampur lebih dulu dengan gliserol, air dan asam asetat. Jumlah pati di dalam komposit HDPE divariasi 30, 40, 50, 60, dan 70%. Penambahan pati tapioka menurunkan sifat kuat tarik namun meningkatkan nilai perpanjangan putus dan densitas komposit HDPE. Perlakuan *aging* terhadap komposit HDPE yang berisi pati tapioka $\geq 50\%$ menaikkan sifat kuat tarik namun menurunkan sifat perpanjangan putusnya. Difraktogram XRD komposit HDPE memperlihatkan bahwa penambahan pati tapioka menyebabkan terjadinya pergeseran nilai 2-theta dan penurunan intensitasnya. Spektra FTIR komposit HDPE yang berisi pati tapioka memperlihatkan pergeseran panjang gelombang yang diduga terjadinya transisi amorf-kristal.

Kata kunci: HDPE, komposit, pati tapioka, sifat mekanis, XRD

PENDAHULUAN

High-density polyethylene (HDPE) adalah salah satu jenis plastik polietilena yang umum dan murah digunakan untuk kemasan makanan (Tajeddin & Abdulah, 2010), selain itu juga untuk tas belanja dan produk lainnya. Menurut

Asosiasi Industri Olefin, Aromatik dan Plastik Indonesia (Inaplas), kapasitas produksi tas kresek dari HDPE di Indonesia mencapai 300.000 ton per tahun. HDPE memiliki sifat bahan yang kuat, keras, buram dan lebih tahan terhadap suhu tinggi namun tidak dapat terurai

oleh mikroba bila dibuang ke lingkungan. Oleh karena itu, banyak peneliti yang melakukan penggantian sebagian atau seluruh plastik polietilen dengan *biomaterial* yang murah seperti pati tapioka yang ketersediaannya di Indonesia cukup melimpah.

Pati tapioka sebagai *biomaterial* mempunyai kelemahan dibandingkan dengan polimer sintetik seperti polietilen, yaitu sifat mekanis kurang baik dan penyerapan airnya tinggi. Kelemahan ini dapat diperbaiki dengan pemberian bahan pemlastis (*plasticizer*). *Plasticizer* yang banyak digunakan adalah campuran air dan gliserol (Adamu *et al.*, 2017; Lutfi *et al.*, 2017; Mendes *et al.*, 2016; Maran *et al.*, 2014). Pencampuran antara pati yang bersifat hidrofilik dan HDPE yang bersifat hidrofobik memerlukan penambahan *compatibilizer*. *Compatibilizer* yang banyak digunakan untuk pencampuran pati dengan plastik polietilena adalah *maleic anhydride grafted polyethylene* (PE-g-MA) (Obashi & Igwe, 2014; Samper-Madrigal *et al.*, 2015; Sabetzadeh *et al.*, 2015; Oragwu, 2016).

Penelitian terkait penggunaan pati tapioka untuk membuat plastik *biodegradable* umumnya menggunakan plastik polipropilen (PP) (Obasi & Igwe, 2014), *low-density polyethylene* (Tanetrungroj & Prachayawarakorn, 2015; Nguyen *et al.*, 2016), *polyvinyl alcohol* (Zanela *et al.*, 2016) dan belum banyak laporan terkait pencampuran tapioka dengan HDPE sehingga terlalu sedikit pendalaman terhadap sifat mekanis dan struktur kompositnya. Oleh karena itu, fokus penelitian adalah untuk mempelajari pengaruh penambahan pati tapioka maksimum hingga 70% terhadap sifat komposit HDPE dan bagaimana dengan struktur polimernya.

BAHAN DAN METODE

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah resin HDPE Asrene SF 5007 buatan PT Chandra Asri (*extrusion grade*, densitas 0,950 g/cm³ dan *melt index* 0,05 g/10 menit (190°C/2,16 kg)), tepung tapioka merek Orang Tani buatan PT. CBSA Bogor, *compatibilizer* PE-g-MA dari Sigma-Aldrich, antioksidan Songnox 1010 buatan Songwon International AG, *aquadest*, asam stearat, dan gliserol diperoleh dari toko kimia Bratachem.

Peralatan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat proses dan alat uji yaitu Haake

Rheomix OS, *hydraulic press*, *universal testing machine* (UTM) merek Tinius Olsen-H25K, *hardness tester* merek Toyoseiki (Durometer D), *electron densimeter* EW-200SG merek Mirage, *melt flow index* (MFI) merek Tinius Olsen-MP 1200, spektrofotometer *fourier transform infrared* (FTIR) merek Shimadzu-Prestige 21, dan *X-ray diffraction* (XRD) merek Rigaku miniflex 600.

Metode Penelitian

Pembuatan komposit

Pati tapioka sebelum dibuat komposit dicampur dulu dengan gliserol, air dan asam asetat dengan komposisi 70% pati tapioka, 20% gliserol, 8,7% air dan 1,3% asam asetat. Bahan tersebut semuanya dicampur dan diaduk sampai homogen selama 15 menit. Campuran tersebut kemudian disimpan 2 hari untuk memberi kesempatan bahan tambahan tersebut masuk ke dalam granula pati. Pati tapioka selanjutnya dicampur dengan HDPE di dalam sebuah alat pencampur *batch* Haake Rheomix OS pada suhu 130°C dan kecepatan rotor 40 rpm selama 15 menit. Jumlah pati yang ditambahkan ke resin HDPE divariasi yaitu 30, 40, 50, 60, dan 70% dari jumlah resin HDPE. Bahan aditif lain yang ditambahkan adalah *compatibilizer* PE-g-MA (5 phr), antioksidan (1 phr) dan asam stearat (5 phr).

Pengujian

Pengujian sifat mekanis komposit meliputi kuat tarik, perpanjangan putus dan densitas. Uji kuat tarik dan perpanjangan putus mengacu ISO 527-3 dengan cuplikan bentuk *dumbbell* tipe 5 sebelum dan setelah pengusangan dipercepat (*aging*) menggunakan alat uji UTM merek Tinius Olsen-H25K. *Aging* dilakukan sesuai dengan metode yang ditetapkan pada ISO 188, dilakukan pada suhu 70°C ± 2°C selama 168 jam ± 2 jam. Uji densitas mengacu ISO 1183-1:2012 metode A menggunakan *electron densimeter* EW-200SG merek Mirage. Struktur komposit dilakukan dengan karakterisasi gugus fungsi menggunakan spektrofotometer FTIR dan pengujian kristalinitas menggunakan alat XRD.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Mekanis

Sifat mekanis komposit HDPE yang diuji meliputi sifat kuat tarik dan perpanjangan putus sebelum dan setelah *aging*, serta densitas. Pengaruh penambahan pati tapioka terhadap sifat

kuat tarik dan perpanjangan putus komposit HDPE sebelum dan setelah *aging* disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Gambar 1 memperlihatkan nilai rata-rata kuat tarik turun dengan meningkatnya jumlah pati tapioka. Kuat tarik tertinggi (166 kg/cm²) dan terendah (80,7 kg/cm²) berturut-turut diperlihatkan oleh komposit yang berisi pati tapioka 30% dan 70%. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak molekul pati tapioka yang dapat menempati ruang antarmolekul rantai HDPE maka interaksi bahan pengisi pati dengan pati menjadi lebih signifikan daripada interaksi pati dengan HDPE sebagai matriks, akibatnya bila terkena tarikan menyebabkan mudah putus. Penyebab lain adalah kurangnya pembentukan ikatan antar muka yang kuat seperti ikatan hidrogen antara bahan pengisi pati dan matriks HDPE. Hasil yang sama juga didapat oleh Ali *et al.* (2013), Yamak (2016), Roy *et al.* (2015), dan Sanyang *et al.* (2015), yang menyatakan bahwa kekuatan tarik komposit cenderung menurun dengan penambahan pati.

Pada penelitian ini juga dilakukan uji pengusangan (*aging*) pada suhu 70°C ± 2°C selama 168 jam ± 2 jam. Pada umumnya *aging* menyebabkan penurunan sifat mekanis. Perubahan suhu akan mempengaruhi ikatan sekunder yang mengikat molekul HDPE dengan molekul bahan aditif seperti molekul pati dan *plasticizer*. Namun dari Gambar 1 terlihat bahwa ada beberapa komposit yang mengalami kenaikan sifat kuat tarik yaitu komposit yang berisi pati tapioka 50% (naik 6,56%), 60% (naik 9,52%) dan 70% (naik 8,55%). Peningkatan ini mungkin karena penghilangan kandungan air yang ada di pati tapioka dari sampel komposit yang menyebabkan ikatan antara matriks HDPE dan pati lebih diperkuat. Selanjutnya, hasil penelitian ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Pg Adnan & Arshad (2017), yang menyatakan bahwa perlakuan panas lebih lanjut meningkatkan sifat kuat tarik dari komposit pati tapioka yang diisi dengan abu sekam padi.

Gambar 2 memperlihatkan nilai perpanjangan putus komposit naik dengan meningkatnya jumlah pati tapioka. Perpanjangan putus tertinggi (13,7%) dan terendah (8,88%) berturut-turut dihasilkan oleh komposit yang berisi pati tapioka 70% dan 30%. Hasil yang sama juga dilaporkan oleh Ali *et al.* (2013) yang menyatakan peningkatan jumlah pati tapioka meningkatkan keuletan contoh uji.

Gambar 1. Pengaruh jumlah pati tapioka terhadap sifat kuat tarik komposit HDPE.

Gambar 2. Pengaruh jumlah pati tapioka terhadap sifat perpanjangan putus komposit HDPE.

Pati tapioka yang digunakan dalam penelitian ini adalah pati tapioka yang telah dicampur dengan gliserol, air dan asam asetat. Menurut Prabha & Ranganathan (2017), adanya asam asetat meningkatkan kelarutan pati sehingga menaikkan perpanjangan putus. Gambar 2 juga memperlihatkan bahwa perpanjangan putus komposit HDPE menurun setelah dilakukan uji pengusangan (*aging*) pada suhu 70°C ± 2°C selama 168 jam ± 2 jam. Penurunan sifat perpanjangan putus komposit naik dengan meningkatnya jumlah pati tapioka. Penurunan sifat perpanjangan putus tertinggi (67,81%) diperlihatkan oleh komposit yang berisi pati tapioka 70%. Penurunan perpanjangan putus ini mungkin karena penghilangan kandungan air yang terdapat pada pati tapioka

dari sampel komposit yang menyebabkan ikatan antara matriks HDPE dan pati lebih diperkuat sehingga komposit HDPE menjadi kurang elastis. Penurunan sifat komposit plastik ini juga dapat disebabkan rusaknya ikatan sekunder pada molekul HDPE. Hasil penelitian ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Pg Adnan & Arshad (2017), yang menyatakan bahwa perlakuan panas lebih lanjut menurunkan sifat perpanjangan putus dari komposit pati tapioka yang diisi dengan abu sekam padi.

Pengaruh jumlah pati tapioka terhadap densitas komposit HDPE disajikan pada Gambar 3. Gambar 3 memperlihatkan densitas komposit HDPE meningkat dengan meningkatnya jumlah pati tapioka yang ditambahkan. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak bahan aditif yang mempunyai densitas lebih tinggi dari HDPE yang ditambahkan dalam suatu matriks polimer, maka berat dan kerapatan polimer semakin tinggi, sehingga densitas menjadi tinggi. Seperti diketahui bahan aditif terbesar di dalam komposit ini mempunyai densitas yang lebih besar dari plastik HDPE, seperti pati tapioka mempunyai densitas sekitar $1,5 \text{ g/cm}^3$, gliserol memiliki densitas $1,26 \text{ g/cm}^3$ sedangkan densitas HDPE $0,95 \text{ g/cm}^3$. Hasil yang sama juga diperoleh Roy *et al.* (2015) yang menyatakan bahwa nilai densitas meningkat dengan meningkatnya kandungan pati.

Analisis Difraktogram XRD

Difraksi sinar-X dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal dan pengaturan molekuler teratur pati. Pola difraksi komposit

Gambar 3. Pengaruh jumlah pati tapioka terhadap densitas komposit HDPE.

HDPE yang berisi tepung tapioka pada berbagai jumlah disajikan pada Gambar 4.

Menurut Chouit *et al.* (2014) HDPE memiliki dua puncak utama pada $2\text{-theta} = 21,6^\circ$ dan $24,0^\circ$ yang mencerminkan sel satuan ortorombik, tetapi ketika diproses menjadi komposit dengan penambahan pati tapioka 30%, tiga puncak utama komposit HDPE muncul pada $2\text{-theta} = 19,90^\circ$; $21,61^\circ$ dan $24,02^\circ$ dengan intensitas berturut-turut 716(77) cps, 3417(169) cps dan 1803(123) cps (Gambar 4a). Penambahan pati tapioka 50% menunjukkan pola campuran dengan tiga puncak utama pada $2\text{-theta} = 12,49^\circ$; $21,95^\circ$, dan $24,36^\circ$ dengan intensitas berturut-turut 100(29) cps, 2493(144) cps, 1426(109) cps (Gambar 4b).

Penggabungan pati singkong ke HDPE menggeser posisi 2-theta dari $19,90^\circ$ ke $12,49^\circ$. Penambahan pati tapioka 70% menunjukkan pola campuran dengan dua puncak utama pada $2\text{-theta} = 21,72^\circ$ dan $23,56^\circ$ dengan intensitas berturut-turut 967277 cps dan 1044.66 cps serta tidak munculnya posisi $2\text{-theta} 19,9^\circ$ (Gambar 4c) yang berarti terjadi penurunan kristalinitas. Dari Gambar 4 terlihat bahwa dengan penambahan pati tapioka terjadi pergeseran nilai 2-theta dan penurunan intensitasnya. Gambar 4 juga memperlihatkan bahwa komponen HDPE yang menyebabkan intensitas puncak utama dalam difraktogram, meskipun komponen HDPE dimasukkan ke dalam komposit lebih sedikit dibanding dengan pati tapioka (Gambar 4c). Hal ini juga sama dengan yang ditemukan oleh

Gambar 4. Difraktogram XRD dari komposit HDPE pada berbagai jumlah pati tapioka (a. 30%, b. 50%, c. 70%), dan pati tapioka yang berisi bahan aditif (d).

Tanetrungroj & Prachayawarakorn (2015). Pati tapioka murni merupakan material yang mempunyai struktur semi kristalin dan struktur kristalin pati akan rusak pada saat gelatinisasi. Menurut Lomeli-Ramirez *et al.* (2014) pati tapioka mempunyai 5 puncak utama pada 2-theta = 15,2°; 17, 2°, 18,1°; 20,1° dan 23,1° sedangkan pada Gambar 4d terlihat bahwa pati tapioka yang berisi bahan aditif (gliserol, air dan asam asetat) memperlihatkan karakteristik amorf karena mungkin sebagian struktur kristalin pati telah rusak tetapi terdapat kecenderungan untuk puncak kristal pada 2-theta = 22,70°.

Karakterisasi FTIR

Spektroskopi FTIR merupakan suatu metode analisis yang dipakai untuk karakterisasi bahan polimer dan analisis gugus fungsi. Gambar 5 menunjukkan spektrum FTIR dari komposit HDPE yang berisi pati tapioka 30%, 50% dan 70% (Gambar 5a, b dan c), pati yang berisi aditif (Gambar 5d) dan HDPE murni (Gambar 5e). Gambar 5d menunjukkan pita absorpsi yang sesuai dengan gugus fungsi pati dan gliserol, yaitu adanya puncak yang luas dan kuat di daerah 3282,36 cm⁻¹ (regangan OH), pita serapan pada 2914 cm⁻¹ (regangan CH), 1648 cm⁻¹ (air yang terserap) dan juga pita serapan pada daerah 1335,96; 1149,47; 1076,70; 995,91; dan 924,55 cm⁻¹.

Menurut hasil penelitian Deeyai *et al.* (2013) menyatakan pita serapan 1336 cm⁻¹ diidentifikasi sebagai tekuk C–O–H, pelintiran CH₂, pita serapan 1149 cm⁻¹ diidentifikasi sebagai ikatan glikosidik regangan asimetri C–O–C, 1078 cm⁻¹ adalah C–O, C–C dan regangan O–H, 1043 cm⁻¹ adalah tekuk C–O–H (pembentukan heliks), 1016 cm⁻¹ merupakan C–O, regangan C–C, tekuk C–O–H, 993 cm⁻¹ tekuk C–O–H, 924 cm⁻¹ adalah C–O–C (ikatan α -glycosidic).

Menurut Lomeli-Ramirez *et al.* (2014) pita serapan diantara 1400 dan 900 cm⁻¹ adalah vibrasi C–O dari alkohol atau kelompok eter dari gliserol dan pati karbohidrat dalam campuran. Untuk FTIR HDPE murni (Gambar 5e) menunjukkan puncak serapan kuat pada daerah 2914,21 cm⁻¹ dan 2846,69 cm⁻¹ masing-masing menunjukkan vibrasi regangan C–H asimetris dan simetris, puncak tajam pada 1472,23 cm⁻¹ dan 1461,75 cm⁻¹ (vibrasi tekuk CH₂), puncak ganda di 729,97 cm⁻¹ dan 718,66 cm⁻¹ (goyangan CH₂). Hasil penelitian Jung *et al.* (2018), ATR FTIR dari HDPE memperlihatkan pita serapan pada panjang gelombang 2915 cm⁻¹ (regangan

CH), 2845 cm⁻¹ (regangan CH), 1472 cm⁻¹ (tekuk CH₂), 1462 cm⁻¹ (tekuk CH₂), 730 cm⁻¹ (goyangan CH₂) dan 717 cm⁻¹ (goyangan CH₂).

Spektrum FTIR dari komposit HDPE yang berisi pati tapioka, semua puncak karakteristik

Gambar 5. Spektrum FTIR komposit HDPE pada berbagai jumlah pati tapioka (a. 30%, b. 50%, c. 70%), pati tapioka berisi aditif (d), HDPE (e).

milik HDPE terlihat, namun untuk puncak serapan pati tapioka yang berisi aditif ada beberapa puncak serapan yang hilang pada daerah 1648 cm^{-1} yaitu air yang terserap yang hilang pada saat proses pencampuran dengan panas, selain itu juga serapan di daerah $1076,70\text{ cm}^{-1}$ (tekuk C-O-H), dan $1335,96\text{ cm}^{-1}$ (kibasan CH_2). Serapan pada daerah $995,91\text{--}924,55\text{ cm}^{-1}$ dan didukung serapan pada daerah $1149,47\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan ikatan glikosida C-O-C sedikit bergeser menjadi serapan di daerah $1023,19\text{ cm}^{-1}$ (untuk kandungan pati 30%); $1022,81\text{ cm}^{-1}$ (untuk kandungan pati 50%); dan $1015,42\text{ cm}^{-1}$ (untuk kandungan pati 70%). Pergeseran panjang gelombang ini mungkin terjadinya transisi amorf-kristal. Bukti ini juga diperkuat dari hasil uji XRD untuk komposit yang berisi pati tapioka 70% muncul pita serapan $1261,30\text{ cm}^{-1}$ yang menurut Lomeli-Ramirez *et al.* (2014) mungkin merupakan rantai samping dari grup $\text{CH}_2\text{-OH}$.

KESIMPULAN

Penambahan pati tapioka yang telah diberi *plasticizer* menurunkan sifat kuat tarik dan meningkatkan nilai perpanjangan putus komposit HDPE. Perlakuan *aging* pada suhu $70^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ selama $168\text{ jam} \pm 2\text{ jam}$ untuk penambahan pati tapioka $\geq 50\%$ terjadi kenaikan sifat kuat tarik namun perlakuan *aging* ini menurunkan sifat perpanjangan putus komposit. Densitas komposit HDPE meningkat dengan meningkatnya jumlah pati tapioka yang ditambahkan. Difraktogram XRD komposit HDPE memperlihatkan bahwa penambahan pati tapioka menyebabkan terjadinya pergeseran nilai 2-theta dan penurunan intensitasnya walaupun terlihat bahwa komponen HDPE yang menyebabkan intensitas puncak utama dalam difraktogram. Spektra FTIR komposit HDPE yang berisi berbagai jumlah pati tapioka memperlihatkan pergeseran panjang gelombang dari pati tapioka yang berisi aditif yang mungkin terjadinya transisi amorf-kristal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik yang telah memberi kepercayaan untuk melakukan penelitian dan kepada Tim Kelompok Kerja 1866.001.001.052D tahun 2017 yang telah membantu penelitian ini sampai selesai.

DAFTAR PUSTAKA

Adamu, A. D., Jikan, S. S., Talip, B. H. A., Badarulzaman, N. A., & Yahaya, S. (2017).

- Effect of glycerol on the properties of tapioca starch film. *Materials Science Forum*, 888, 239-243.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.888.239>
- Ali, R. R., Rahman, W. A. W. A., Kasmani, R. M., Ibrahim, N., Mustapha, S. N. H., & Hasbullah, H. (2013). Tapioca starch biocomposite for disposable packaging ware. *Chemical Engineering Transactions*, 32, 1711-1716.
<https://doi.org/10.3303/CET1332286>
- Chouit, F., Guellati, O., Boukhezar, S., Harat, A., Guerioune, M., & Badi, N. (2014). Synthesis and characterization of HDPE/N-MWNT nanocomposite films. *Nanoscale Research Letters*, 9, 288-293. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-288>
- Deeyai, P., Suphantharika, M., Wongsagonsup, R., Dangtip, S. (2013). Characterization of modified tapioca starch in atmospheric argon plasma under diverse humidity by FTIR spectroscopy. *Chinese Physics Letters*, 30(1), 0181031.
<https://doi.org/10.1088/0256-307X/30/1/018103>
- Jung, M. R., Horgen, F. D., Orski, S. V., Rodriguez C, V., Beers, K. L., Balazs, G. H., Jones, T. T., Work, T. M., Brignac, K. C., Royer, S., Hyrenbach, K. D., Jensen, B. A., & Lynch, J. M. (2018). Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 704-716.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.061>
- Lomeli-Ramirez, M. G., Kestur, S. G., Manríquez-González, R., Iwakiri, S., Bolzon, M. G., de Muniz, G. B., & Flores-Sahagun, T. S. (2014). Bio-composites of cassava starch-green coconut fiber: Part II—Structure and properties. *Carbohydrate Polymers*, 102, 576-583.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.11.020>
- Lutfi, M., Sumarlan, S. H., Susilo, B., Wignyanto, Zenata, R., & Perdana, L. P. R. (2017). The glycerol effect on mechanical behaviour of biodegradable plastic from the *Walur* (*Amorphophallus paenifolius* var. *sylvestris*). *Nature Environment and Pollution Technology*, 16(4), 1121-1124.
- Maran, J. P., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., & Sridhar, R. (2014). Degradation behaviour of biocomposites based on cassava starch buried under indoor compost conditions. *Carbohydrate Polymers*, 101, 20-28.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.080>
- Mendes, J. F., Paschoalin R. T., Carmona V. B., Neto, A. R. S., Marques, A. C. P., Marconcini, J. M., Mattoso, L. H. C., Medeiros, E. S., & Oliveira, J. E. (2016). Biodegradable polymer blends based on corn starch and thermoplastic chitosan processed by extrusion. *Carbohydrate Polymers*,

- 137, 452-458.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.093>
- Nguyen, D. M., Do, T. V. V., Grillet, A., Thuc, H. H., & Thuc, C. N. H. (2016). Biodegradability of polymer film based on low density polyethylene and cassava starch. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 115, 257-265. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.004>
- Obasi, H. C., & Igwe, I. O. (2014). Effects of native cassava starch and compatibilizer on biodegradable and tensile properties of polypropylene. *American Journal of Engineering Research*, 3(2), 96-104.
- Oragwu, I. P. (2016). Investigations on the corn-starch modified low density polyethylene blends. *Matter: International Journal of Science and Technology*, 2(1), 01-11. <https://doi.org/10.20319/mijst.2016.21.0111>
- Pg Adnan, D. N., & Arshad, S. E. (2017). Effect of thermal treatment on mechanical properties rice husk ash filled tapioca starch composite. *Transactions on Science and Technology*, 4(3-2), 286-291.
- Prabha, P. H., & Ranganathan, T. V. (2017). Modelling and optimization of cassava starch based film for food packaging applications. *Pakistan Journal of Biotechnology*, 14(4), 571-586.
- Roy, S. B., Shit, S. C., Sengupta, R. A., & Shukla, P. R. (2015). Studies on biodegradability, morphology, physicomechanical and thermal properties of PP/potato starch bio-composite. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(2), 1074-1084.
- Sabetzadeh, M., Bagheri, R., & Masoomi, M. (2015). Study on ternary low density polyethylene/linear low density polyethylene/thermoplastic starch blend films. *Carbohydrate Polymers*, 119, 126-133.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.11.038>
- Samper-Madrigal, M. D., Fenollar, O., Dominici, F., Balart, R., & Kenny, J. M. (2015). The effect of sepiolite on the compatibilization of polyethylene-thermoplastic starch blends for environmentally friendly films. *Journal of Materials Science*, 50(2), 863-872.
<https://doi.org/10.1007/s10853-014-8647-8>
- Sanyang, M. L., Sapuan, S. M., Jawaid, M., Ishak, M. R., & Sahari, J. (2016). Effect of plasticizer type and concentration on physical properties of biodegradable films based on sugar palm (*Arenga pinnata*) starch for food packaging. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 326-336.
<https://doi.org/10.1007/s13197-015-2009-7>
- Tajeddin, B., & Abdulah, L. C. (2010). Thermal properties of high density polyethylene-kenaf cellulose composites. *Polymers and Polymer Composites*, 18(5), 257-261.
<https://doi.org/10.1177/096739111001800503>
- Tanetrungroj, Y., & Prachayawarakorn, J. (2015). Effect of starch types on properties of biodegradable polymer based on thermoplastic starch process by injection molding technique. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 37(2), 193-199.
- Yamak, H. B. (2016). Thermal, mechanical and water resistance properties of LDPE/starch bio-based polymer blends for food packing applications. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry*, 3(3), 637-656.
<http://doi.org/10.18596/jotcsa.287300>
- Zanela, J., Casagrande, M., Shirai, M. A., de Lima, V. A., & Yamashita, F. (2016). Biodegradable blends of starch/polyvinyl alcohol/glycerol: Multivariate analysis of the mechanical properties. *Polimeros*, 26(3), 193-196.
<https://doi.org/10.1590/0104-1428.2420>