



Kemasan Antistatis Ramah Lingkungan Berbahan Dasar Poli Asam Laktat

Fagan Rezka Azzadhiya, Aroya Desma Ramadita, Gina Karnela, Mujtahid Kaavessina*

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No.36, Kentingan, Kec. Jebres, Kota Surakarta, Jawa Tengah 57126, Indonesia

*E-mail: mkaavessina@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Kemasan antistatis digunakan untuk melindungi barang elektronik dari kerusakan fisik, lingkungan, dan terhadap *electrostatic discharge* (ESD). *Conductive Polymer Composites* (CPC) merupakan material yang dihasilkan dari penambahan nanopartikel konduktif dengan matriks polimer. *Poly lactic acid* (PLA) atau dikenal dengan poli asam laktat berpotensi sebagai matriks polimer. *Carbon nanotubes* (CNT) memiliki konduktivitas listrik yang tinggi dikombinasikan dengan rasio aspek yang besar sehingga kompatibel untuk dijadikan *filler* CPC. Metode penambahan *filler* dilakukan dengan *melt blending* dengan presentase berat *filler* 0; 0,5; 1; dan 1,5 wt%. Komposit nanomaterial PLA/CNT dikarakterisasi menggunakan uji SEM, FTIR, DSC, dan konduktivitas. Hasil uji SEM dan FTIR menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi *filler* CNT tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap morfologi dan struktur CPC. Uji DSC menunjukkan penambahan derajat kristalinitas seiring dengan penambahan konsentrasi CNT. Uji konduktivitas menunjukkan CNT meningkatkan nilai konduktivitas PLA. Nilai konduktivitas PLA menjadi $3,949 \times 10^{-10}$ S/cm dan $6,019 \times 10^{-7}$ S/cm setelah ditambahkan oleh CNT dengan presentase berat sebesar 0,5 wt% dan 1 wt% sehingga memenuhi syarat sebagai kemasan antistatis.

Kata kunci: CNT, CPC, kemasan antistatis, PLA.

ABSTRACT

Antistatic packaging is used to protect electronic goods from physical damage, the environment, and against electrostatic discharge (ESD). Conductive Polymer Composites (CPC) are materials produced from the addition of conductive nanoparticles with a polymer matrix. Poly lactic acid (PLA) has the potential as a polymer matrix. Carbon nanotubes (CNT) that have high electrical conductivity combined with a large aspect ratio making them compatible to be used as CPC fillers. The method of adding filler was done by melt blending with filler concentrations of 0, 0.5, 1, and 1.5 wt%. PLA/CNT nanomaterial composites were characterized using SEM, FTIR, DSC, and conductivity tests. The results of the SEM and FTIR tests showed that changes in CNT filler concentration did not have a significant effect on the morphology and structure of CPC. DSC test showed an increase in degree of crystallinity along with the addition of CNT concentration. The conductivity test showed that CNT increased the conductivity value of PLA. The conductivity values of PLA become 3.949×10^{-10} S/cm and 6.019×10^{-7} S/cm after being added by CNT of 0.5 wt% and 1 wt% so that they qualify as antistatic packaging.

Keywords: CNT, CPC, antistatic packaging, PLA.

1. PENDAHULUAN

Industri elektronik sebagai industri yang paling pesat kemajuannya, menyebabkan perkembangan teknologi pembuatan alat-alat elektronik semakin meningkat. Untuk melindungi alat-alat elektronik dari kerusakan fisik, lingkungan dan terhadap

electrostatic discharge (ESD) dibutuhkan kemasan khusus yang biasa disebut dengan kemasan *antistatic* [1]. ESD terjadi bila ada transfer muatan listrik antar benda yang memiliki potensi elektrostatik berbeda. Hal tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada komponen elektronik, dalam bentuk



kegagalan total, penurunan kinerja, dan operasi yang tidak menentu [2]. Selain itu, muatan pada permukaan bahan dapat menyebabkan beberapa masalah, seperti kontaminasi debu dan korsleting yang dapat mempengaruhi penampilan dan kinerja produk akhir dan bahkan menyebabkan kebakaran atau ledakan [3]. Untuk itu, kemasan *antistatic* dengan tingkat konduktivitas listrik tertentu diperlukan untuk melindungi perangkat elektronik. Alternatif untuk menghindari masalah ini adalah pengembangan kemasan dengan resistivitas listrik rendah terhadap akumulasi muatan listrik.

Sebagian besar kemasan terbuat dari bahan polimer karena memiliki sifat kepadatan rendah atau ringan, keserbagunaan penggunaan, dan biaya rendah [4]. Polimer termoplastik konvensional memiliki tingkat degradasi yang sangat rendah, yang dapat menyebabkan masalah serius pada pemeliharaan keseimbangan lingkungan. Oleh karena itu, polimer yang dapat terurai secara luas digunakan sebagai alternatif untuk pengurangan limbah dan agresi lingkungan. Menurut sumber perolehannya, polimer yang dapat terurai secara hayati diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu sintetik dan alami. Polimer sintetik merupakan polimer yang dihasilkan dari proses sintesis di laboratorium. Polimer sintetik yang paling banyak digunakan adalah poli asam laktat (PLA), polikaprolakton, poliesteramida, kopolimer alifatik, dan kopolimer aromatik [5].

PLA berpotensi sebagai matriks polimer. PLA memiliki karakteristik *biodegradable*, *biocompatible*, tahan terhadap pengaruh termal, dan kimia [6]. Penggunaan PLA sebagai matriks polimer telah disimulasi pada media seperti tanah dan pupuk kompos [7], hasilnya PLA dapat terhidrolisis. Sifat biodegradabilitas dari polimer PLA telah diteliti dan diterapkan dalam pembuatan kemasan bioplastik untuk makanan [8,9]. Dengan sifat tersebut, polimer PLA dapat dipertimbangkan sebagai alternatif polimer untuk pembentukan kemasan *antistatic*

ramah lingkungan, namun PLA tidak memiliki sifat konduktif sehingga dibutuhkan penambahan bahan isian (*filler*). Berbagai penelitian mengenai jenis bahan isian yang cocok untuk menambahkan konduktivitas PLA telah dilakukan, seperti bahan isian *Synthesised polyaniline* (PANI) [10], *Graphene Nanocomposites* [11], serta bahan isian yang paling populer yaitu *Carbon Black* (CB). Bahan isian CB populer digunakan karena dapat meningkatkan suhu degradasi, meningkatkan stabilitas termal, serta mengurangi resistivitas listrik PLA [11–13]. Namun sayangnya, sebagian besar *Carbon Black* diproduksi dari bahan bakar fosil yang tidak terbarukan [14]. Alternatif bahan isian yang dipilih adalah *Carbon Nanotubes* atau CNT. Potensi terbesar dari penggunaan CNT adalah degradasi polimer yang telah terbukti dapat meningkatkan stabilitas termal sebagian besar matriks polimer [15].

Penambahan nanopartikel konduktif dengan matriks polimer menghasilkan material baru yang disebut *conductive polymer nanocomposites* (CPC) [16]. CPC memiliki fungsi yang sangat banyak diantaranya sensor, sel fotovoltaik, kapasitor, dioda, dan perangkat energi yang sangat mudah meregang [17]. CPC memiliki beberapa sifat unggul diantaranya konduktivitas elektrik yang tinggi, ringan, tahan korosi, dan memiliki karakteristik mekanis yang bagus [18,19]. Konduktivitas elektrik yang lebih tinggi dapat diperoleh dengan menggunakan beberapa nanopartikel konduktif seperti Ag, Au, Pd, Pt, CNT, dan *graphene* [17]. Konduktivitas listrik yang tinggi dikombinasikan dengan rasio aspek yang besar, membuat CNT menjadi pilihan yang baik sebagai *filler* untuk CPC.

Penelitian ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan material di bidang elektronik yang lebih ramah lingkungan. PLA digunakan sebagai matriks polimer dan CNT ditambahkan sebagai *filler* untuk meningkatkan konduktivitas listrik PLA sehingga memenuhi syarat sebagai kemasan antistatis. Pengaruh CNT terhadap sifat

termal dan morfologi PLA dianalisa menggunakan DSC dan SEM.

2. METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian dilakukan dengan metode kuantitatif-kualitatif. PLA yang digunakan diproduksi oleh Shenzhen Cadit Plastic Material Co., Ltd., dengan nama komersial CADIT KD-195. Bahan PLA berbentuk pellet (*granule*) memiliki suhu transisi *glass* 60-62°C dan suhu leleh 180°C. CNT diperoleh dari Jiangsu XFNANO Materials Tech Co. Ltd. Kandungan karbon sekitar 95% dan konduktivitas listrik berkisar 100 S/cm dengan tipe *multiwalled carbon nanotube* (MWCNT). Proses pencampuran menggunakan alat *mini extruder single screw wellzoom type B*.

2.1. LOKASI

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bioproses dan Zat Warna Alam, Teknik Kimia, Universitas Sebelas Maret (UNS), Surakarta.

2.2. TAHAP Pengerjaan

Untuk mendapatkan kondisi optimum, ditetapkan variabel tetap dan variabel berubah. Variabel tetapnya adalah massa PLA sebanyak 20 gram dan *filler* CNT ditetapkan sebagai variabel berubah. Rasio massa *filler* berturut-turut 0%; 0,5%; 1,0%; dan 1,5% berat PLA. Pencampuran, pelelehan, dan homogenisasi komposit terjadi di dalam *single screw extruder* dengan adanya friksi yang tinggi antara motor dan bahan. Temperatur diset pada suhu 180-190°C. Dari *extruder* akan dihasilkan komposit berbentuk fiber dengan diameter 3 mm dengan panjang setelah pemotongan ± 30 mm.

2.2.1. PEMBUATAN CPC

Pembuatan sampel penelitian dilakukan menggunakan metode *melt blending*. Metode ini memiliki keunggulan utama yaitu ramah lingkungan karena tidak menggunakan pelarut organik dalam prosesnya, mudah digunakan, praktis, dan

lebih ekonomis. *Blending* atau pencampuran merupakan metode yang dikembangkan untuk menghasilkan material dengan peningkatan karakterisasi termal dan mekaniknya. Pengembangan metode ini menjadi salah satu metode yang ampuh karena prosesnya yang ramah lingkungan (bebas pelarut) dan ekonomis pada lingkungan industrial [20]. Dalam metode ini campuran polimer tidak hanya bergantung pada komposisi kimia saja melainkan kecocokan pada komponennya. Proses pada metode *melt blending* dilakukan pada suhu 180-190°C dan didinginkan pada temperatur ruangan.

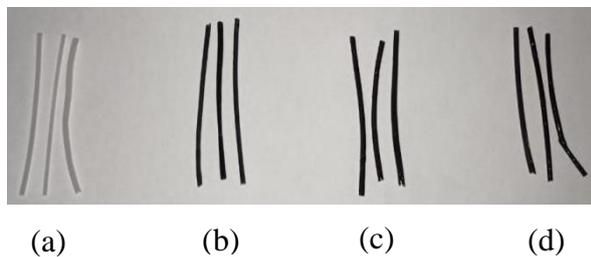
2.2.2. ANALIS PRODUK

Pada penelitian ini, dilakukan beberapa analisis untuk mengetahui sifat-sifat CPC. Adapun analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut.

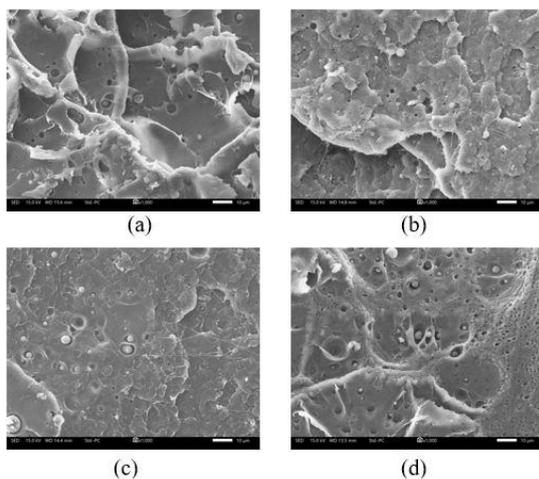
- 1) Uji DSC dilakukan dengan instrumen Shimadzu DSC60 pada rentang suhu 30-300°C. Uji ini dilakukan untuk mengidentifikasi sifat termal komposit dan derajat kristalinitasnya.
- 2) Uji SEM dilakukan dengan jenis pengambilan gambar *cross section* menggunakan instrumen JCM-7000 dengan perbesaran 1000 kali. Uji ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan komposit.
- 3) Uji konduktivitas listrik dilakukan dengan instrumen Keithley 2602A System SourceMeter dengan *range voltage* 0-1 V. Uji ini dilakukan untuk mengukur konduktivitas listrik komposit.
- 4) Uji FTIR dilakukan dengan instrumen Shimadzu IR Spirit dengan panjang gelombang 400-4400 cm^{-1} . Uji ini dilakukan untuk analisis gugus fungsi komposit secara kualitatif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbedaan besarnya konsentrasi *filler* CNT mengakibatkan perubahan warna fisik CPC, dimana semakin besar konsentrasi CNT maka warna CPC yang dihasilkan akan semakin gelap (mendekati hitam pekat) (Gambar 1). Selain itu, dapat diketahui bahwa konsentrasi CNT harus <2% berat PLA apabila preparasi sampel menggunakan bantuan *extruder*. Karena fase bahan ketika proses sintesis adalah padat-padat, seluruh *filler* CNT harus dipastikan menempel secara merata pada permukaan PLA sebelum dimasukkan ke dalam *extruder*. Setelah dilakukan pencampuran awal, *filler* sudah mulai berlebih dan pencampuran menjadi tidak merata ketika menyentuh angka 2 wt%.

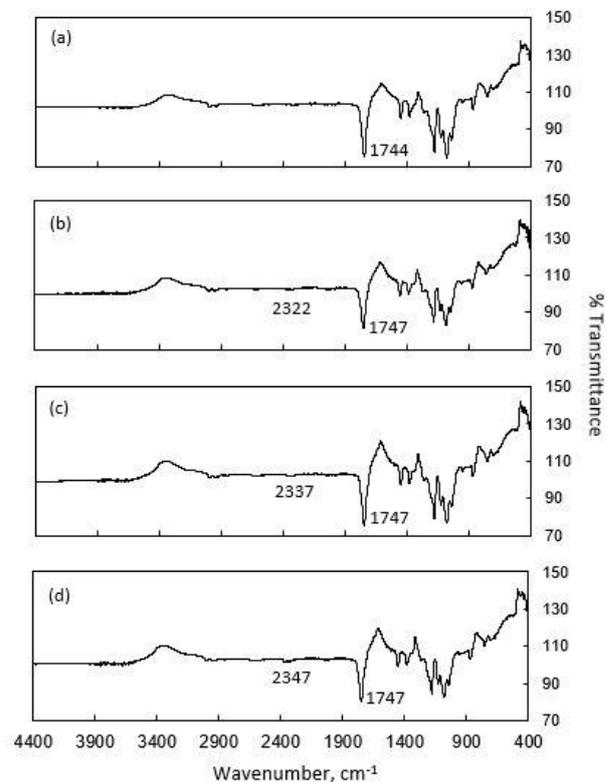


Gambar 1. Sampel CPC hasil sintesis dengan metode *melt blending* (a) PLA murni (b) PLA + 0,5 wt% CNT (c) PLA + 1 wt% CNT (d) PLA + 1,5 wt% CNT.



Gambar 2. Hasil uji SEM (a) PLA murni (b) PLA + 0,5 wt% CNT (c) PLA + 1 wt% CNT (d) PLA + 1,5 wt% CNT.

Gambar 2 menunjukkan hasil uji SEM *cross section* dengan perbesaran 1000x dari CPC dengan perbedaan konsentrasi CNT (0; 0,5; 1; dan 1,5 wt% PLA). Terlihat kemiripan morfologi dari masing-masing sampel, yaitu terdapat *fracture* pada permukaan partikel yang halus, yang menandakan bahwa sampel tergolong sebagai polimer *brittle*. Dapat diamati bahwa pada setiap sampel terdapat aglomerat yang terdistribusi dengan baik di permukaan partikel, adanya aglomerat tersebut menandakan campuran tidak homogen. Semakin tinggi konsentrasi CNT, semakin banyak pori-pori di permukaan partikel yang menandakan semakin banyak aglomerat. Sehingga dapat diketahui bahwa aglomerat tersebut merupakan *filler* CNT.



Gambar 3. Hasil uji FTIR (a) PLA murni (b) PLA + 0,5 wt% CNT (c) PLA + 1 wt% CNT (d) PLA + 1,5 wt% CNT.

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh penambahan bahan isian CNT terhadap struktur rangkaian PLA dilakukan uji FTIR. Hasil uji FTIR ditampilkan pada Gambar 3. Dari grafik yang ditampilkan terdapat

perbedaan *peak* pada rentang panjang gelombang 1400-1900 cm^{-1} , dimana terjadi pergeseran *peak* dari 1744 cm^{-1} menjadi 1747 cm^{-1} . Pergeseran tersebut menandakan adanya penambahan gugus fungsi C=C dan C=O seiring dengan kenaikan konsentrasi CNT. Perubahan *peak* pada rentang panjang gelombang tersebut juga menunjukkan adanya penambahan komponen karbonil berupa ester dan alkil karbonat [21-22]. Pada rentang panjang gelombang 1900-2400 cm^{-1} menunjukkan munculnya *peak* gugus fungsi C≡C yang merupakan jejak dari penambahan CNT [21]. Bentuk kurva grafik dengan kemiripan mengindikasikan bahwa penambahan CNT terhadap PLA tidak berpengaruh banyak terhadap sifat-sifat PLA.

Derajat kristalinitas sampel berpengaruh besar terhadap sifat mekanik polimer. Derajat kristalinitas suatu bahan dapat diukur dengan uji DSC. Hasil uji DSC ditampilkan pada Tabel 1. Derajat kristalinitas (X_c) dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$X_c = \frac{\Delta H_m - \Delta H_{cc}}{x \cdot \Delta H_{mo}} \quad (1)$$

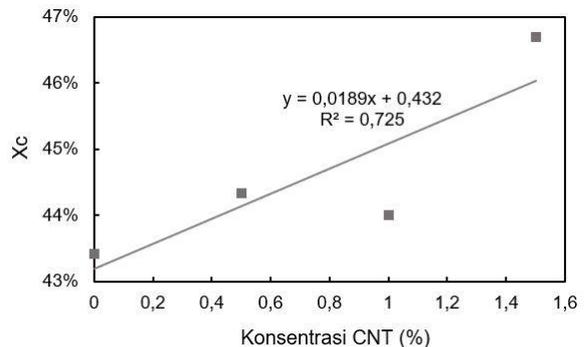
Dengan ΔH_m adalah entalpi leleh, ΔH_{cc} adalah entalpi kristalisasi, x adalah fraksi berat PLA pada komposit, dan ΔH_{mo} adalah nilai entalpi leleh PLA murni (93,7 J/kg).

Tabel 1. Hasil uji DSC.

Sampel	T_m (°C)	Entalpi (J/g)	x	X_c (%)
PLA murni	171,6	-40,69	1,000	43,43
PLA + CNT 0,5%	170,7	-41,34	0,995	44,34
PLA + CNT 1%	172,1	-40,82	0,990	44,01
PLA + CNT 1,5%	171,6	-43,09	0,985	46,69

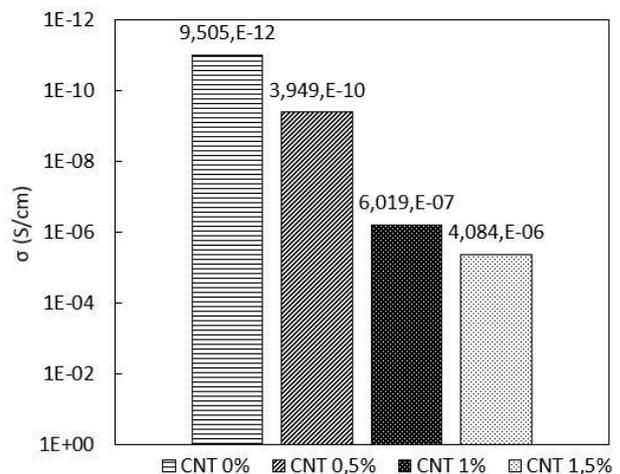
Data Tabel 1 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan tipis pada nilai titik leleh (T_m) dan nilai entalpi antara keempat sampel. Dari hasil perhitungan diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi CNT dalam CPC maka derajat kristalinitas CPC relatif semakin meningkat, hal ini ditunjukkan oleh nilai *slope* positif pada *trendline* yang terbentuk

dari data X_c hasil uji. Kurva hubungan konsentrasi CNT dengan besarnya nilai X_c ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan konsentrasi CNT dengan derajat kristalinitas.

Sifat konduktivitas listrik merupakan parameter utama untuk mengukur kelayakan kemasan antistatis. PLA murni pada dasarnya tidak memenuhi sifat konduktivitas yang diperlukan kemasan antistatis sehingga dilakukan penambahan bahan isian CNT ke dalamnya. Kemasan antistatis tergolong jenis bahan *electrostatic dissipative* yang mempunyai nilai konduktivitas berkisar antara 10^{-6} S/cm sampai 10^{-11} S/cm [23].



Gambar 5. Hasil uji konduktivitas CPC.

Hasil uji konduktivitas menggunakan Keithley 2602A SYSTEM SourceMeter ditampilkan pada Gambar 5. Berdasarkan hasil uji yang ditampilkan, semakin tinggi konsentrasi CNT dalam CPC maka angka

konduktivitas semakin tinggi. Nilai konduktivitas PLA menjadi $3,949 \times 10^{-10}$ S/cm dan $6,019 \times 10^{-7}$ S/cm setelah ditambahkan oleh CNT sebesar 0,5 wt% dan 1 wt% sehingga memenuhi syarat sebagai kemasan antistatis. PLA dengan penambahan *filler* CNT sebanyak 1,5 wt% mengakibatkan komposit terlalu konduktif sehingga tidak sesuai diaplikasikan sebagai kemasan antistatis.

4. KESIMPULAN

Hasil uji SEM, DSC, dan FTIR menunjukkan bahwa penambahan *filler* CNT tidak berpengaruh signifikan terhadap sifat fisis dan termal PLA. Oleh karena itu, CPC masih memiliki karakteristik unggul PLA seperti *biodegradable*, *biocompatible*, serta tahan terhadap pengaruh termal dan kimia. Hasil uji konduktivitas menunjukkan bahwa penambahan *filler* CNT dapat memperbaiki sifat konduktivitas PLA. Penambahan CNT dengan presentase berat 0,5% dan 1% memenuhi sifat konduktivitas yang diperlukan kemasan antistatis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Dikti yang telah mendanai kegiatan penelitian Pekan Kreativitas Mahasiswa bidang Riset Eksakta. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada PKM Center Universitas Sebelas Maret yang telah menyediakan informasi dan pendampingan selama keberjalanan PKM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. dos S. Mesquita, L. G. de Andrade e Silva, L. F. de Miranda, Mechanical, thermal and electrical properties of polymer (Ethylene terephthalate—PET) filled with carbon black, in: *Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2018, The Minerals, Metals & Materials Series*, hal. 605–614, 2018.
- [2] M.-K. Cho, I. Song, S. Pavlidis, Z. E. Fleetwood, S. P. Buchner, D. McMorrow, P. Paki, J. D. Cressler, An Electrostatic Discharge Protection Circuit Technique for the Mitigation of Single-Event Transients in SiGe BiCMOS Technology, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 65, no. 1, hal. 426–431, 2018.
- [3] W. Yang, J. Wang, J. Lei, Fabrication, antistatic ability, thermal properties, and morphology of a SPE-based antistatic HIPS composite, *Polym. Eng. Sci.*, vol. 50, no. 4, hal. 739-746, 2010.
- [4] L. S. Dilkes-Hoffman, J. L. Lane, T. Grant, S. Pratt, P. A. Lant, B. Laycock, Environmental impact of biodegradable food packaging when considering food waste, *J. Clean. Prod.*, vol. 180, hal. 325–334, 2018.
- [5] S. M. M. Franchetti, J. C. Marconato, Polímeros biodegradáveis - uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos, *Quim. Nova*, vol. 29, no. 4, hal. 811–816, 2006.
- [6] H. Quan, S. J. Zhang, J. L. Qiao, L. Y. Zhang, The electrical properties and crystallization of stereocomplex poly(lactic acid) filled with carbon nanotubes, *Polymer (Guildf.)*, vol. 53, no. 20, hal. 4547–4552, 2012.
- [7] R. Iovino, R. Zullo, M. A. Rao, L. Cassar, L. Gianfreda, Biodegradation of poly(lactic acid)/starch/coir biocomposites under controlled composting conditions, *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 93, no. 1, hal. 147–157, 2008.
- [8] A. H. D. Abdullah, A. K. Fikriyyah, O. D. Putri, P. P. Puspa Asri, Fabrication and Characterization of Poly Lactic Acid (PLA)-Starch Based Bioplastic Composites, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 553, no. 1,

- hal. 012052, 2019.
- [9] J. Muller, C. González-Martínez, A. Chiralt, Combination Of Poly(lactic) acid and starch for biodegradable food packaging, *Materials (Basel)*, vol. 10, no. 8, hal. 1–22, 2017.
- [10] P. Y. Wong, S. W. Phang, A. Baharum, Effects of synthesised polyaniline (PAni) contents on the anti-static properties of PAni-based polylactic acid (PLA) films, *RSC Adv.*, vol. 10, no. 65, hal. 39693–39699, 2020.
- [11] S. M. Jaseem, N. A. Ali, Antistatic packaging of carbon black on plastizers biodegradable polylactic acid nanocomposites, *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1279, no. 1, hal. 012046, 2019.
- [12] T. F. da Silva, F. Menezes, L. S. Montagna, A. P. Lemes, F. R. Passador, Preparation and characterization of antistatic packaging for electronic components based on poly(lactic acid)/carbon black composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 136, no. 13, hal. 1–8, 2019.
- [13] T. F. Da Silva, F. Menezes, L. S. Montagna, A. P. Lemes, F. R. Passador, Synergistic effect of adding lignin and carbon black in poly(lactic acid), *Polimeros*, vol. 30, no. 1, hal. e2020002, 2020.
- [14] C. M. Long, M. A. Nascarella, P. A. Valberg, Carbon black vs. black carbon and other airborne materials containing elemental carbon: Physical and chemical distinctions, *Environ. Pollut.*, vol. 181, hal. 271–286, 2013.
- [15] C. Kingston, R. Zepp, A. Andrady, D. Boverhof, R. Fehir, D. Hawkins, J. Roberts, P. Sayre, B. Shelton, Y. Sultan, V. Vejins, W. Wohlleben, Release characteristics of selected carbon nanotube polymer composites, *Carbon*, vol. 68, hal. 33–57, 2014.
- [16] B. Kumar, M. Castro, J. F. Feller, Poly(lactic acid)-multi-wall carbon nanotube conductive biopolymer nanocomposite vapour sensors, *Sens. Actuators B Chem.*, vol. 161, no. 1, hal. 621–628, 2012.
- [17] H. Fallahi, H. Azizi, I. Ghasemi, M. Karrabi, Preparation and properties of electrically conductive, flexible and transparent silver nanowire/poly (lactic acid) nanocomposites, *Org. Electron.*, vol. 44, hal. 74–84, 2017.
- [18] J. F. Feller, I. Linossier, G. Levesque, Conductive Polymer Composites (CPCs): Comparison of electrical properties of poly(ethylene-co-ethyl acrylate)-carbon black with poly(butylene terephthalate)/poly(ethylene-co-ethyl acrylate)-carbon black, *Polym. Adv. Technol.*, vol. 13, no. 10–12, hal. 714–724, 2002.
- [19] N. A. Mohd Radzuan, A. B. Sulong, J. Sahari, A review of electrical conductivity models for conductive polymer composite, *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 14, hal. 9262–9273, 2017.
- [20] O. Bianchi, L. G. Barbosa, G. MacHado, L. B. Canto, R. S. Mauler, R. V. B. Oliveira, Reactive melt blending of PS-POSS hybrid nanocomposites, *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 128, no. 1, hal. 811–827, 2013.
- [21] A. B. D. Nandiyanto, R. Oktiani, R. Ragadhita, How to read and interpret ftir spectroscopy of organic material, *Indones. J. Sci. Technol.*, vol. 4, no. 1, hal. 97–118, 2019.
- [22] J. Li, Z. Song, L. Gao, H. Shan,

Preparation of carbon nanotubes/polylactic acid nanocomposites using a non-covalent method, *Polym. Bull.*, vol. 73, no. 8, hal. 2121–2128, 2016.

- [23] H. Pang, L. Xu, D. X. Yan, Z. M. Li, Conductive polymer composites with segregated structures, *Prog. Polym. Sci.*, vol. 39, no. 11, hal. 1908–1933, 2014.