



## Sintesis dan karakterisasi komposit polipropilena/silika berbasis abu ampas tebu

Idra Herlina <sup>\*a</sup>, Yulistia Anggraini <sup>a</sup>, Edwin Rizki Safitra <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Kimia, Jurusan Sains, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia

<sup>b</sup> Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia

\* Corresponding E-mail: [idra.herlina@ki.itera.ac.id](mailto:idra.herlina@ki.itera.ac.id)

Received 14th November 2022

Accepted 28th March 2022

Published 11 April 2022

Open Access

DOI: 10.35472/jsat.v6i1.766

**Abstract:** Polypropylene/sugarcane bagasse silica (PP/SiO<sub>2</sub>) composites have been synthesized. The sol gel method with 1 M NaOH was used to synthesize silica from bagasse ash. The results showed that the silica yield was 52.8%. The resulting silica was blended with polypropylene with a mass ratio variation of 1:5, 1:10, 1:15, 1:20, and 1:25 to obtain PP/SiO<sub>2</sub> composites. Composites in variations of 1:5 and 1:10 produce fragile plastic, whereas composites in variations 1:15, 1:20, and 1:25 produce strong and homogeneous plastic. The water resistance test showed that PP/SiO<sub>2</sub> with variations of 1:15, 1:20, and 1:25 had good water resistance (> 94%), whereas variations of 1:5 and 1:10, the resistance to water dropped to 80-87%. FT-IR was used to characterize polypropylene, silica synthesized from bagasse ash, and PP/SiO<sub>2</sub> composites (1:25) to observe functional group changes. FT-IR analysis showed that silica was successfully synthesized from bagasse ash. This is indicated by a band that widened at a wavenumber of 3400-3600 cm<sup>-1</sup>, which is characteristic of the O-H strain on water. This band is confirmed by a band with a wavenumber of 1660 cm<sup>-1</sup> which is a bend in the O-H in a water molecule. Other silica characteristics can be seen in bands with wavenumbers of 1075 cm<sup>-1</sup> and 950 cm<sup>-1</sup>, which are strains of Si-O, and bands with a wavenumber of 460 cm<sup>-1</sup>, which is a bend of Si-O. The spectra of polypropylene and PP/SiO<sub>2</sub> were also similar. The similarity between the polypropylene and PP/SiO<sub>2</sub> spectra indicates that SiO<sub>2</sub> spreads homogeneously in polypropylene.

**Keywords:** silica, sugarcane bagasse silica, polypropylene, composite

**Abstrak:** Telah dilakukan sintesis komposit polipropilena/silika berbasis abu ampas tebu (PP/SiO<sub>2</sub>). Silika disintesis dari abu ampas tebu menggunakan NaOH 1 M dengan metode sol gel. Silika yang diperoleh dari abu ampas tebu sebanyak 52,8%. Silika dari abu ampas tebu selanjutnya diblending dengan polipropilena dengan variasi rasio massa silika:polipropilena, yaitu 1:5, 1:10, 1:15, 1:20 dan 1:25 untuk mendapatkan komposit PP/SiO<sub>2</sub>. Hasilnya, komposit dengan rasio massa 1:5 dan 1:10 memiliki struktur yang rapuh, sedangkan untuk variasi 1:15, 1:20 dan 1:25 menghasilkan plastik yang lebih kuat dan homogen. Uji ketahanan air menunjukkan untuk PP/SiO<sub>2</sub> variasi 1:15, 1:20 dan 1:25 memiliki ketahanan air yang baik (> 94%) sedangkan untuk variasi 1:5 dan 1:10 ketahanan terhadap air turun mencapai 80-87%. Untuk mengamati perubahan gugus fungsi, polipropilena, silika hasil sintesis dari abu ampas tebu, dan komposit PP/SiO<sub>2</sub> (1:25) dikarakterisasi dengan FT-IR. Hasilnya menunjukkan silika berhasil disintesis dari abu ampas tebu. Hal ini dibuktikan dengan munculnya pita yang lebar pada bilangan gelombang antara 3400 cm<sup>-1</sup> sampai 3600 cm<sup>-1</sup> yang merupakan karakteristik dari regangan O-H pada air. Pita ini dapat dikonfirmasi melalui pita pada bilangan gelombang sekitar 1660 cm<sup>-1</sup> yang merupakan bengkokan O-H pada molekul air. Karakteristik lain dari silika muncul pada pita dengan bilangan gelombang 1075 cm<sup>-1</sup> dan 950 cm<sup>-1</sup> yang merupakan regangan Si-O serta pita pada bilangan gelombang 460 cm<sup>-1</sup> yang merupakan bengkokan Si-O. Polipropilena dan PP/SiO<sub>2</sub> memiliki spektra yang mirip. Puncak khas dari CH<sub>2</sub> muncul pada bilangan gelombang 2922 cm<sup>-1</sup> dan puncak khas CH<sub>3</sub> muncul pada bilangan gelombang antara 1377 cm<sup>-1</sup> sampai 1455 cm<sup>-1</sup>. Pita-pita tersebut merupakan pita khas polipropilena. Kemiripan spektra polipropilena dengan PP/SiO<sub>2</sub> menunjukkan silika tersebar secara homogen pada polipropilena.

**Kata Kunci :** silika, silika abu ampas tebu, polipropilena, komposit



## Pendahuluan

Salah satu peralatan yang penggunaannya sangat luas, tetapi permukaannya rentan terkontaminasi bakteri adalah peralatan yang dibuat dari bahan polimer, seperti bahan kemasan makanan dan minuman. Berbagai penelitian terkait modifikasi polimer agar diperoleh sifat antibakteri telah dilakukan baik pada biopolimer [1,2] maupun polimer sintetik [3,4]. Penggunaan bahan polimer sebagai kemasan makanan dan minuman segar perlu mendapatkan perhatian karena makanan dan minuman segar umumnya mudah mengalami kontaminasi mikrobiologis, sementara polimer yang digunakan sebagai kemasan tidak memiliki sifat antibakteri. Contoh paling jelas adalah kemasan yang terbuat dari polipropilen (PP). Polimer ini dimanfaatkan secara luas karena diketahui memiliki sifat yang mudah dibentuk, ringan, awet, lentur, dan murah [5]. Kelemahan dari polimer ini adalah tidak adanya sifat antibakteri dan kemampuannya mengadsorpsi protein, sehingga permukaannya menjadi lingkungan yang baik bagi pertumbuhan bakteri.

Luasnya penggunaan bahan polimer, termasuk PP, dan adanya ancaman kontaminasi mikrobiologis dalam penggunaannya telah mendorong berkembangnya upaya untuk merekayasa polimer agar mempunyai sifat antibakteri. [6] memodifikasi polipropilena dengan  $\text{TiO}_2$  menggunakan metode blending dan menghasilkan nanokomposit yang memiliki aktivitas antibakteri. Sintesis dan karakterisasi nanokomposit polipropilena dengan silika (PP-g- $\text{SiO}_2$ ) pernah dilakukan menggunakan metode grafting [7] tetapi, metode ini membutuhkan proses yang lebih panjang. Metode lainnya yang pernah digunakan untuk modifikasi polimer sintetik adalah deposisi ultrasound pada polipirol yang cocok diterapkan dalam industri tekstil [8]. Dari berbagai metode tersebut, metode blending dianggap sebagai metode yang cukup sederhana. Selain itu, metode blending merupakan metode yang paling luas dimanfaatkan dan cocok diterapkan dalam pembuatan kemasan makanan karena tidak adanya penambahan zat kimia lain [9].

Beberapa studi telah dilakukan untuk mengkarakterisasi sifat antibakteri silika. [10] mensintesis silikon nanopartikel yang menunjukkan kemampuan antibakteri gram positif dan negatif. Camporotondi *et al.* mensintesis dan mempelajari sifat antibakteri dari silika nanopartikel yang dikembangkan menjadi biofilm sebagai pengantar antibiotik (*drug delivery*) [11]. Pada

penelitian ini, PP akan dibuat kompositnya dengan silika berbasis abu ampas tebu yang diketahui memiliki sifat antibakteri. Penggunaan silika berbasis abu ampas tebu (silika nabati) diharapkan dapat menghasilkan plastik kemasan yang lebih aman. Pada proses pembuatan komposit akan dipelajari pengaruh penambahan silika terhadap sifat fisis komposit, sehingga komposit yang dihasilkan dapat memiliki sifat menyerupai plastik komersil. Selain itu, penggunaan abu ampas tebu sebagai bahan dasar pembuatan silika dapat meningkatkan nilai tambah, dimana abu ampas tebu merupakan limbah pabrik gula yang saat ini belum dimanfaatkan.

Sintesis silika dari abu ampas tebu dilakukan menggunakan metode sol-gel. Metode ini pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya [12] dan dihasilkan 62% silika dari abu ampas tebu. Hasil karakterisasi dengan FT-IR menunjukkan pita khas dari silika dan difraktogram hasil karakterisasi dengan XRD sesuai dengan standar silika amorf pada JCPDS.

Untuk mengevaluasi proses pencampuran, PP-Silika dikarakterisasi dengan FT-IR dan dibandingkan dengan PP. Hasil FT-IR akan menunjukkan karakter gugus fungsi dari silika, PP, dan perubahan gugus fungsi yang terjadi pada komposit. Analisis sifat fisis dilakukan dengan uji tarik (*tensile strength*). Metode ini dibutuhkan untuk mengetahui kelenturan dari komposit. Diharapkan kelenturan komposit tidak jauh berbeda dari PP. Selain itu juga dilakukan uji ketahanan terhadap air untuk mengetahui perubahan sifat tersebut akibat penambahan silika pada polipropilen.

## Metode

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari plastik kemasan pangan jenis polipropilen (PP) komersial, akuades, NaOH dan HCl dengan kualitas pro analisis, serta abu ampas tebu yang diambil dari boiler pabrik gula di Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari labu leher tiga, refluks dan kondensator, pompa vakum, penangas air, oven, neraca analitik, thermometer, spektrofotometer IR, alat pengukur kekuatan tarik, dan peralatan gelas yang umum digunakan di laboratorium kimia.

### Sintesis silika dari abu ampas tebu

Silika dibuat dengan metode sol gel yang diadaptasi dari metode yang telah dilakukan oleh [13] dengan sedikit modifikasi. Arang ampas tebu dikeringkan dan dibersihkan dari pengotor-pengotor fisik. Selanjutnya dipanaskan pada suhu 700°C selama 6 jam sampai berubah menjadi abu. Hasil dari pemanasan ini disebut sebagai Abu Ampas Tebu (AAT).

Sebanyak 25 gram AAT dicuci dengan aquades sampai pH 7 dan disaring dengan kertas Whatman 42, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 2 jam. Selanjutnya, 6 gram AAT dilarutkan dalam 200 mL larutan NaOH 1 M dalam bejana teflon sambil diaduk dan dipanaskan hingga mendidih selama 1 jam. Setelah itu, larutan tersebut didinginkan selama 24 jam kemudian disaring dengan kertas Whatman 42. Filtrat yang dihasilkan ditambahkan larutan HCl 0,6 M sedikit demi sedikit dan didiamkan selama 1 hari hingga membentuk hidrogel. Hidrogel yang terbentuk ditambahkan 30 mL aquades sedikit demi sedikit sambil diaduk selama 10 menit. Gel yang terbentuk kemudian disaring dengan kertas Whatman 42 dan dikeringkan dengan oven pada suhu 100°C selama 2 jam.

### Pemurnian polipropilen (PP)

Polipropilena (PP) yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis PP komersial yang umumnya dipakai sebagai wadah makanan. Polimer ini merupakan isotaktik dan memiliki kristalinitas tingkat menengah. Titik leburnya sekitar 160°C. Pemurnian PP dilakukan untuk menghilangkan pengotor dan bahan adiktif yang terkandung didalamnya. PP direfluks dengan metanol selama 8 jam pada suhu 65°C kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 40°C selama 2 jam. Pada proses refluks, hanya pengotor yang hilang, mengingat titik didih methanol sekitar 65-70°C sedangkan, PP melebur pada suhu diatas 160°C. Sehingga, proses ini tidak akan mengubah sifat fisik dan kimia PP yang digunakan.

### Pembuatan komposit PP-Silika

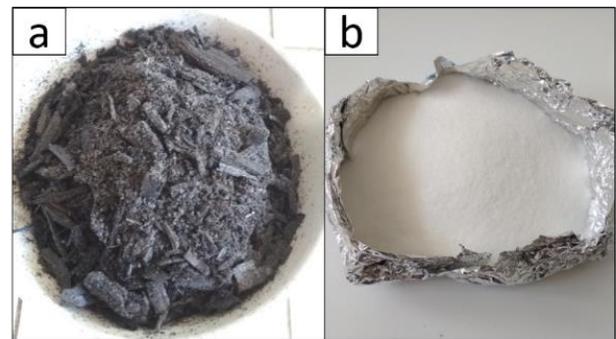
Komposit PP-Silika dibuat melalui metode blending secara manual menggunakan wadah stainless steel yang dipanaskan. Polipropilen dicampur dengan silika, konsentrasi silika divariasikan dengan perbandingan silika:polipropilen yaitu 1:5, 1:10, 1:15, 1:20 dan 1:25 (b/b) kemudian diblending selama 15 menit dengan pemanasan 165°C.

### Analisis komposit PP-Silika

Untuk mengetahui perubahan gugus fungsi yang terjadi komposit PP-Silika dikarakterisasi dengan FT-IR. Analisis sifat fisis dilakukan untuk mengetahui perubahan fisis silika dengan metode kekuatan tarik menggunakan Gotech AL-7000M tensile strength test. Analisis ketahanan terhadap air dilakukan melalui uji daya adsorpsi terhadap air.

### Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, dari 20 gram abu ampas tebu yang telah dipreparasi, dihasilkan 10,56 gram silika. Sehingga, sintesis silika dari abu ampas tebu menggunakan metode solgel menghasilkan 52,8% silika. **Gambar 1a** menunjukkan abu ampas tebu yang telah dibersihkan dari pengotor, berwarna hitam keabuan. **Gambar 1b** menunjukkan silika hasil sintesis. Silika berbentuk butiran halus berwarna putih.



**Gambar 1.** (a) Abu ampas tebu dan (b) Silika

Abu ampas tebu merupakan sisa hasil pembakaran pada boiler pabrik gula dengan suhu sampai 600°C. Pembakaran tersebut menyebabkan hilangnya senyawa organik dan dihasilkan abu dengan kandungan silika yang tinggi [14]. Silika yang terkandung dalam abu diekstraksi dengan penambahan NaOH menghasilkan natrium silikat. Selanjutnya proses pembentukan gel terjadi melalui penambahan asam yang mengakibatkan terbentuknya reaksi hidrolisis yang merupakan tahap awal proses sol-gel [15]. Gel yang dihasilkan dicuci untuk menghilangkan sisa asam dan dipanaskan untuk mendapatkan serbuk silika.

Silika yang dihasilkan dari proses sintesis dicampur dengan polipropilen untuk mendapatkan komposit. Konsentrasi silika divariasikan (SiO<sub>2</sub>/PP) yaitu 1:5, 1:10, 1:15, 1:20 dan 1:25 (b/b). **Gambar 2** menunjukkan

komposit PP/SiO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Berdasarkan **Gambar 2** terlihat komposit memiliki permukaan agak kasar dan berwarna kekuningan. Hal ini terjadi karena proses pemanasan yang merusak struktur polipropilen, sehingga terjadi perubahan warna. Proses pencetakan manual menyebabkan permukaan komposit menjadi kasar. Hal ini dikarenakan cairan komposit dicetak dan dijepit dengan alat kaca biasa sehingga permukaannya tidak merata. Secara fisik, penambahan silika menyebabkan komposit menjadi lebih rapuh dibandingkan dengan polipropilen. Hal ini dapat dibuktikan melalui hasil karakterisasi menggunakan metode uji tarik (*tensile strength*) yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.



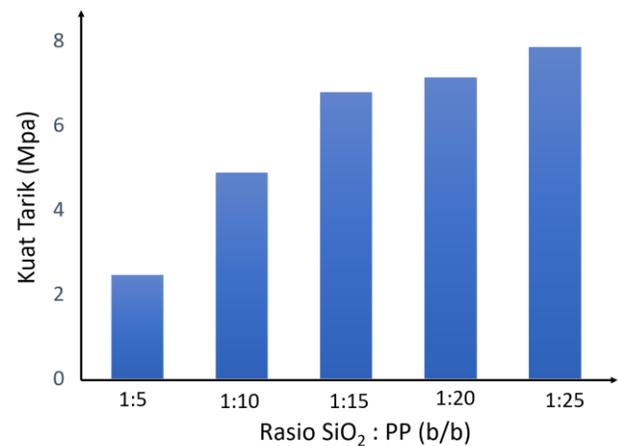
**Gambar 2.** Komposit PP/SiO<sub>2</sub>

**Tabel 1.** Perbandingan Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*) dan Ketahanan Air Komposit

No	Sampel SiO <sub>2</sub> /PP (b/b)	Kuat Tarik (Mpa)	Ketahanan terhadap air (%)
1	1:5	2,46	80,8%
2	1:10	4,882	87,3%
3	1:15	6,79	94,5%
4	1:20	7,14	98%
5	1:25	7,852	99,2%

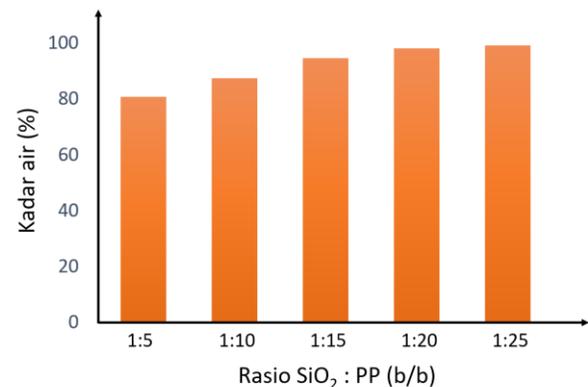
Kekuatan tarik adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah. Berdasarkan **Gambar 3** diketahui bahwa untuk perbandingan SiO<sub>2</sub>/PP yaitu 1:5, 1:10, 1:15, 1:20 dan 1:25 (b/b) semakin banyak silika atau semakin sedikit kandungan PP maka kekuatan tarik semakin lemah. Hal ini dikarenakan silika yang berupa butiran jika dicampurkan ke dalam plastik menyebabkan adanya perbedaan morfologi permukaan yang membuat plastik menjadi getas. Kekuatan tarik

tertinggi ada pada komposit SiO<sub>2</sub>/PP dengan perbandingan 1:10 (b/b). Pada dasarnya PP merupakan salah satu polimer sintetik yang memiliki kekuatan tarik cukup tinggi. Tetapi, keberadaan silika menyebabkan kekuatan tarik PP menurun. Dimana pada perbandingan 1:15, 1:20, dan 1:25 kekuatan tarik komposit masih cukup tinggi menyerupai PP murni. Pada perbandingan 1:5 dan 1:10 kekuatan tarik turun drastis.



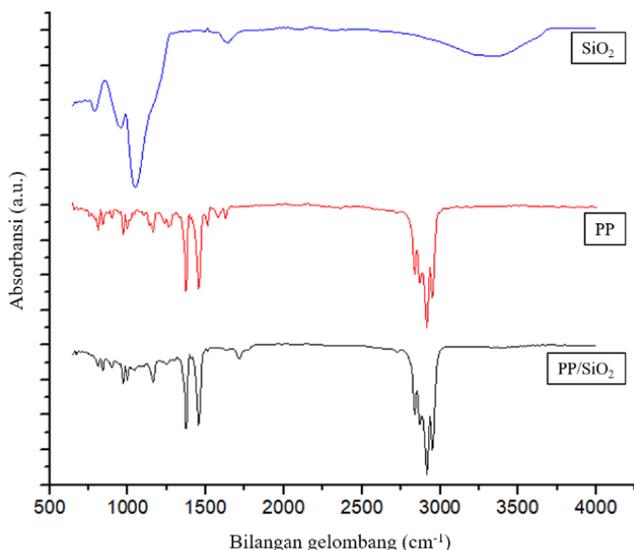
**Gambar 3.** Kekuatan tarik komposit

Sifat fisis lain yang dianalisis pada penelitian ini adalah uji ketahanan komposit terhadap air. Hal ini sangat penting dilakukan mengingat silika merupakan salah satu material berpori yang memiliki kemampuan menyerap air. Perbandingan ketahanan air dari komposit yang dihasilkan dapat dilihat pada **Gambar 4**. Ketahanan PP terhadap air menurun dengan adanya silika. Hal ini ditunjukkan melalui data serapan air pada komposit.



**Gambar 4.** Ketahanan komposit terhadap air

Karakterisasi gugus fungsi silika dilakukan menggunakan spektrofotometer IR yang ditunjukkan pada **Gambar 5**. Untuk mengamati perubahan gugus fungsi, polipropilena, silika hasil sintesis dari abu ampas tebu, dan komposit PP/SiO<sub>2</sub> dikarakterisasi dengan FT-IR. Keberhasilan sintesis silika dari abu ampas tebu ditunjukkan melalui pita yang lebar pada bilangan gelombang antara 3400 cm<sup>-1</sup> sampai 3600 cm<sup>-1</sup> yang merupakan karakteristik dari regangan O-H pada air. Pita ini dapat dikonfirmasi melalui pita pada bilangan gelombang sekitar 1660 cm<sup>-1</sup> yang merupakan bengkakan O-H pada molekul air dalam struktur silika. Karakteristik lain dari silika muncul pada pita dengan bilangan gelombang 1075 cm<sup>-1</sup> dan 950 cm<sup>-1</sup> yang merupakan regangan Si-O serta pita pada bilangan gelombang 460 cm<sup>-1</sup> yang merupakan bengkakan Si-O, sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [15]. Analisis FT-IR PP/SiO<sub>2</sub> menunjukkan silika berhasil disintesis dari abu ampas tebu. Hal ini dibuktikan dengan munculnya pita baru pada di daerah sekitar 1600-1700 yang merupakan bengkakan O-H pada air dalam struktur silika yang menunjukkan bahwa silika telah masuk ke dalam struktur PP.



**Gambar 5.** Spektra IR dari (a) SiO<sub>2</sub>, (b) PP, (c) PP-SiO<sub>2</sub>

Polipropilena dan PP/SiO<sub>2</sub> memiliki spektra yang mirip. Puncak khas dari CH<sub>2</sub> muncul pada bilangan gelombang 2922 cm<sup>-1</sup> dan puncak khas CH<sub>3</sub> muncul pada bilangan gelombang antara 1377 cm<sup>-1</sup> sampai 1455 cm<sup>-1</sup>. Pita-pita tersebut merupakan pita khas polipropilena. Kemiripan spektra polipropilena dengan PP/SiO<sub>2</sub> menunjukkan silika tersebar secara homogen pada polipropilena.

## Kesimpulan

Hasil karakterisasi dengan spektrofotometer IR menunjukkan bahwa silika berhasil disintesis dari abu ampas tebu dan proses blending silika ke polipropilena bisa dilakukan. Uji kekuatan tarik menunjukkan semakin banyak jumlah silika pada komposit membuat strukturnya semakin rapuh. Komposisi SiO<sub>2</sub>/PP dengan kekuatan terbaik adalah 1:25 (b/b). Komposit ini diharapkan memiliki sifat antibakteri, sehingga kedepan penting untuk dilakukan uji aktivitas antibakteri.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Institut Teknologi Sumatera atas bantuan dana penelitian yang diberikan melalui Hibah Mandiri ITERA berdasarkan Nomor Kontrak 134be/IT9.C1/PP/2018.

## Daftar Pustaka

- [1] Volova, T.G., Shumilova, A.A., Shidlovskiy, I.P., Nikolaeva, E.D., Sukovaty, A.G., Vasiliev, A.D. and Shishatskaya, E.I. 2018. Antibacterial properties of films of cellulose composites with silver nanoparticles and antibiotics. *Journal of Polymer Testing*. 65: 54-68.
- [2] Goy, R.C., Morais, S.T.B. and Assis, O.B.G. 2015. Evaluation of the antimicrobial activity of chitosan and its quaternized derivative on *E. coli* and *S. aureus* growth. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjpp.2015.09.010>
- [3] Jo, Y., Garcia, C.V., Ko, S., Lee, W., Shin, G.H., Choi, J.C., Park, S.J. and Kim, J.T. 2018. Characterization and antibacterial properties of nanosilver-applied polyethylene and polypropylene composite films for food packaging applications. *Journal of Food Bioscience*. 17.
- [4] Radheshkumar C and Munstedt, H. 2006. Antimicrobial polymers from polypropylene/silver composites—Ag<sup>+</sup> release measured by anode stripping voltammetry. *Journal of Reactive & Functional Polymers*. 66 : 780-788.
- [5] Peacock, A.J., 2000, Handbook of polyethylene: Structure, Properties, and Application, Marcel Dekker Inc.
- [6] Altan, M. and Yildirim, H. 2012. Mechanical and Antibacterial Properties of Injection Molded Polypropylene/TiO<sub>2</sub> Nanocomposites: Effects of Surface Modification. *Journal of Material Science and Technology*. 28(8):686-692.
- [7] Yuan, W., Wang, F., Chen, Z., Gao, C., Ding Y.F., Zhang, S.M. and Yang, M.S. 2018. Efficient grafting of polypropylene onto silica nanoparticles and the properties of PP/PP-g-SiO nanocomposites. *Journal of Polymer*. DOI: 10.1016/j.polymer.2018.07.060.

- [8] Miao C.X. and Gao, Z., 1997, Preparation and properties of ultrafine  $\text{SO}_4^{2-}/\text{ZrO}_2$  superacid catalysts. *Mater Chem Phys*; 50:15-9.
- [9] La Mantia, F.P., Morreale, M., Botta, L., Mistretta, M.C., Ceraulo, M. and Scaffaro, R., 2017, Degradation of polymer blends: A brief review, *Journal of Polymer Degradation and Stability*, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2017.07.011
- [10] Smirnov N.A., Kudryashov, S.I., Nastulyavicus, A.A., Rudenko, A.A., Saraeva, I.N., Tolordava, E.R., Gonchukov, S.A., Romanova Y.M., Ionin, A.A. and Zayarny, D.A. 2018. Antibacterial properties of silicon nanoparticles. *Journal of Laser Physics Letter*. 15.
- [11] Camporotondi, D.E., Foglia, M.L., Alvarez, G.S., Mebert, A.M., Diaz, L.E., Coradin, T. and Desimone, M.F., 2013, Antimicrobial properties of silica modified nanoparticles, *Microbial pathogens and strategies for combating them: Science, technology and education*, A Mendez-Vilaz, Ed.
- [12] Herlina, I., 2012, Studi Aktivitas Antibakteri Plastik Kemasan Tergrfating 4-Vinilpiridin terhadap *Escherichia coli* dan *Salmonella typhosa*, Skripsi, Universitas Lampung.
- [13] Salman, M.N., Krisdiyanto, D., Khamidinal dan Arsanti, P., 2015, Preparasi Katalis Silika Sulfat dari Abu Sekam Padi dan Uji Katalitik pada Reaksi Esterifikasi Gliserol dengan Anhidrida Asam Asetat, *Reaktor*; 15: 231-240.
- [14] Hatmoko, J.T. and Lulie, Y., 2007. UCS tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan abu ampas tebu dan kapur. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), pp.64-77.
- [15] Utari, N.P.S.N., Sudiarta, I.W. and Suarya, P., 2020. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Vulkanik Gunung Agung melalui Teknik Sol-Gel. *Journal Of Chemistry*, 14(1), pp.30-36.