

Sifat Fisis Komposit Pe/Nanosilika sebagai Fungsi Ketebalan

Tria Permata Sari^{(1)*}, Posman Manurung⁽¹⁾, dan Agus Riyanto⁽¹⁾

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung Bandar Lampung 35145

*E-mail: triaps27@gmail.com

Diterima (10 Desember 2018), direvisi (31 Desember 2018)

Abstract. Polyethylene (PE) has been widely used as the insulation material of high voltage cables because of its outstanding physical, chemical, and electrical properties. In this research the amorph nanosilica powders were extracted from pumice using NaOH, H₂SO₄ and HCl. PE and nanosilica was mixed by mixer at temperature 95 °C and then made the film by using barcoater. The weight percentage of nanosilica was 5 and 10% with thickness of 6, 12 and 25 μm respectively. The PE/nanosilica were characterized via Fourier Transform InfraRed (FTIR) spectroscopy and LCR measurement to obtain conductivity and permitivity respons as a function of frequency. The effect thickness on the electrical properties of PE/nanosilica of 5 and 10 % for conductivity values in samples 25 μm thick has a greater conductivity value. Whereas for the electrica constant of two filer variation shows that the thicker the sample, the greater the electric constant value. Where as for the dielectric constant of two filler variations shows that the ticker the sample, the greater the electric constant value.

Key words: composite, polyethylene, nanosilica, barcoater

Abstrak. Polietilena (PE) telah banyak digunakan sebagai bahan insulasi kabel tegangan tinggi karena sifat fisik, kimia, dan listriknya yang luar biasa. Pada penelitian ini bubuk amorf nanosilika diekstraksi dari batu apung menggunakan NaOH, H₂SO₄ dan HCl. PE dan nanosilika dicampur menggunakan mixer pada suhu 95 °C dan kemudian dibuat lapisan tipis menggunakan *barcoater*. Presentase berat nanosilika adalah 5 dan 10% dengan ketebalan masing-masing 6, 12, dan 25 μm. PE/nanosilika dikarakterisasi melalui spektroskopi *Fourier Transform InfraRed* (FTIR) dan pengukuran LCR meter untuk mengetahui respon konduktivitas listrik dan permitivitas sebagai fungsi frekuensi. Efek ketebalan pada sifat listrik PE/nanosilika 5 dan 10% untuk nilai konduktivitas listrik pada sampel dengan ketebalan 25 μm memiliki nilai konduktivitas yang lebih besar. Sementara itu, nilai permitivitas dari kedua sampel dengan variasi filer menunjukkan bahwa semakin tebal sampel, maka semakin besar nilai permitivitas.

Kata Kunci: komposit, polietilena, nanosilika, *barcoater*.

PENDAHULUAN

Polietilena (PE) adalah salah satu jenis polimer yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu contohnya digunakan sebagai bahan isolasi kabel tegangan tinggi karena sifat fisik, kimia, dan elektrikalnya yang luar biasa [1]. PE memiliki sifat mekanik dan dielektrik yang baik seperti sifat permitivitas yang relatif rendah, kehilangan dielektrik yang rendah, dan

kekuatan tembus dielektrik yang tinggi [2]. PE tergolong dalam polimer sintetik selain dakron, nilon, poliuretan dan lain sebagainya. PE termasuk polimer temoplastik yang mempunyai sifat fleksibel, dapat melunak bila dipanaskan dan kaku (mengeras) jika didinginkan [3] PE juga memegang posisi penting dalam bahan pembentuk lapisan tipis karena kemampuan prosesnya yang mudah, fleksibilitas tinggi, ketangguhan dampak, tahan terhadap kelembaban tinggi dan biaya

produksinya murah. Selain itu, PE merupakan polimer dengan suhu transisi gelas yang rendah, yaitu 195°C [4] dan berfungsi sebagai pemodifikasi yang baik [5].

Nanokomposit merupakan polimer yang mulai dikembangkan, terutama terkait dengan perbaikan dalam sifat mekanik, termal, dan elektrik dari suatu material [6]. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa penambahan berbagai aditif ke dalam polimer *Poly Vinyl Chloride* (PVC) memberikan pengaruh besar pada sifat fisis yaitu berat jenis untuk sampel senyawa [7]. Ikatan antar partikel yang terjadi pada material nanokomposit akan berperan dalam meningkatkan sifat dari suatu material. Peningkatan sifat fisik bahan polimer dapat dikaitkan dengan ukuran partikel pengisi. Bahan pengisi umumnya mempunyai peranan penting dalam memodifikasi sifat-sifat dari berbagai bahan polimer. Dengan menambahkan pengisi dapat meningkatkan sifat mekanik, elektrik, termal, optik dan sifat-sifat pemrosesan dari polimer serta mengurangi biaya produksi [8]. Perilaku pengisian ruang dapat dilakukan dengan penambahan nanopartikel. Penambahan nanopartikel polietilen/anorganik nanokomposit dianggap sebagai salah satu kandidat yang menjanjikan untuk kabel arus searah tegangan tinggi di masa depan. Partikel dengan ukuran yang lebih kecil (*nanosize*) memiliki proses penyisipan partikel yang lebih cepat dan merata sehingga struktur partikel menjadi lebih solid, luas permukaan interaksi menjadi lebih besar dan partikel-partikel yang berinteraksipun bertambah [9]. Semakin banyak partikel yang berinteraksi, semakin kuat pula material. Inilah yang membuat ikatan antar partikel semakin kuat sehingga sifat mekanik material bertambah [10].

Berbagai jenis nanomaterial, silika dioksida (SiO_2) atau nanosilika merupakan salah satu bahan yang sedang dikembangkan sebagai bahan pengisi. Salah

satu pemanfaatan serbuk silika yang cukup luas yaitu sebagai penyerap kadar air di udara dan sebagai bahan campuran untuk membuat keramik seni [11]. Silika bersifat keras dan tidak menghantar listrik, tetapi bila dicampur sedikit dengan unsur lain, seperti aluminium (Al) atau boron (B), silikon bersifat semikonduktor (sedikit menghantar listrik), yang diperlukan dalam berbagai peralatan, elektronik, seperti kalkulator dan komputer [12]. Ini yang menyebabkan silika menjadi bahan yang sangat penting dalam dunia modern. Dengan sifat mekaniknya yang sangat kuat, kehadiran nanosilika juga berpengaruh dalam meningkatkan kekakuan dan kekuatan rantai-rantai polimer [13].

Pada penelitian [1] pengisian nanopartikel dapat mengubah perilaku kristalinitas PE berkepadatan rendah (LDPE) dengan pengisi TiO_2 . Nanopartikel TiO memainkan peran penting antara rantai molekul LDPE, meningkatkan kepadatan struktur kristal dan mengurangi difusi oksigen menjadi bahan untuk dipecah stuktur molekulnya. Penelitian [15] silika yang dicampurkan dengan polimer berjenis *Polyvinilidene Fluoride* (PVDF) akan memiliki sifat dielektrik yang diuji dengan menggunakan induktansi, kapasitansi, dan resistansi (LCR) meter. Hasil menunjukkan bahwa nilai dielektrik dengan penambahan silika akan menurun seiring meningkatnya frekuensi. Pembuatan material superkuat berbasis nanoteknologi mempunyai beberapa keuntungan jika dibandingkan dengan material superkuat yang dibuat secara konvensional. Keuntungan tersebut antara lain: kuat, transparan (terhadap cahaya tampak), ringan (jika dibandingkan dengan kaca), murah, proses produksi yang sederhana dan dapat diproduksi secara massal. Disamping itu, bahan dasar pembuatan material superkuat polimer-nanokomposit nanopartikel SiO_2 dengan pengaruh efek ketebalan terhadap rantai molekul polietilena terhadap sifat fisis komposit PE/nanosilika. Dalam penelitian

ini dilakukan karakterisasi FTIR untuk mengetahui ikatan gugus fungsi yang terbentuk pada sampel PE/nanosilika dan LCR meter untuk mengetahui respon konduktivitas listrik dan permitivitas terhadap fungsi frekuensi.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah PE 99% Merck dan nanosilika dioksida. Sementara alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca digital, gelas ukur, gelas beker, spatula, *hotplate stirrer*, oven dan batang pelapis (*barcoater*). Sedangkan untuk karakterisasi yang digunakan alat FTIR dan LCR meter tipe HIOKI 3522-50.

Proses dimulai dengan mempersiapkan sampel. Pembuatan material komposit dilakukan dengan menggunakan metode pencampuran sederhana. Serbuk silika dioksida yang berukuran nanometer dicampurkan dengan polietilena. Langkah pertama yang dilakukan adalah melelehkan PE dengan cara dipanaskan menggunakan *hotplate stirrer* pada suhu 95°C selama 5 menit. Kemudian mencampurkan nanopartikel SiO₂ dengan variasi % berat 5 %wt dan %wt dengan PE yang sudah dilelehkan. Kedua campuran tersebut diaduk dengan *mixer* sampai homogen. Setelah tercampur, sampel PE/Nanosilika dibuat dengan tiga variasi ketebalan

Tabel 1. Komposisi sampel.

Nama Sampel	PE/nanosilika % wt	Ketebalan (µm)
PE56	5 % wt	6
		12
		25
PE525	10 %wt	6
		12
		25
PE1025		

menggunakan batang pelapis (*barcoater*) masing-masing berketebalan 6, 12, dan 25 µm. Pencetakan dilakukan sebanyak 4 kali pengulangan untuk masing-masing variasi ketebalan sampel. Variasi % berat dan ketebalan dari keenam sampel dapat dilihat pada **Tabel 1**. Proses ekstraksi ini merupakan proses yang dilakukan untuk mendapatkan nanosilika batu apung dengan variasi bahan penelitian seperti pada **Tabel 1**. Sampel film yang terbentuk kemudian didiamkan pada suhu ruang setelah dicetak dan siapakan untuk dikarakterisasi. Kemudian sampel komposit PE/nanosilika tersebut dikarakterisasi menggunakan alat FTIR dan LCR meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel komposit PE/nanosilika yang sudah dicetak sebanyak 4 kali pengulangan kemudian diukur ketebalannya untuk mengetahui ukuran ketebalan sampel. Hasil yang didapatkan ditampilkan pada **Tabel 2**. Sementara untuk hasil ketebalan sampel komposit PE/nanosilika dengan kadar filer 10% dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 2. Ketebalan sampel kadar silika 5%

Pengulangan cetak (kali)	Ketebalan <i>Barcoater</i> (µm)	Rata-rata Ketebalan (µm)
4	6	180
4	12	230
4	25	250

Tabel 3. Ketebalan sampel kadar silika 10 % wt

Pengulangan cetak (kali)	Ketebalan <i>Barcoater</i> (µm)	Rata-rata Ketebalan (µm)
4	6	230
4	12	240
4	25	250

Hasil Analisis FTIR

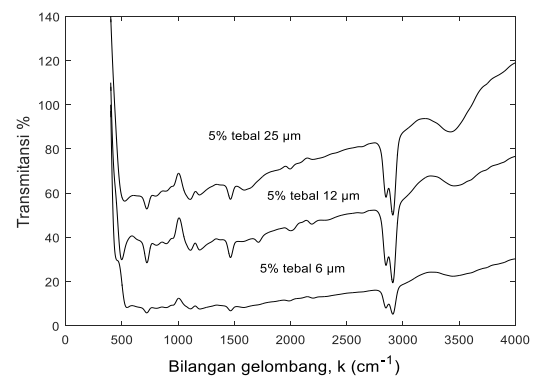
Struktur kimia dari sampel komposit PE/nanosilika dapat diketahui dengan melakukan analisis FTIR. Rentang bilangan gelombang yang dipilih adalah 400 cm^{-1} – 4000 cm^{-1} dengan resolusinya 4 cm^{-1} .

Analisis FTIR Variasi Filer

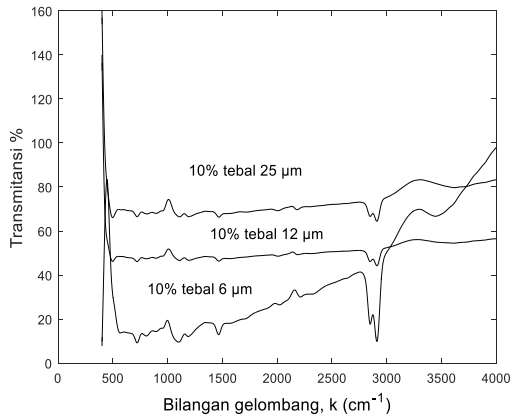
Hasil spektrum FTIR yang dihasilkan pada masing-masing sampel memiliki puncak serapan yang nilainya tidak jauh berbeda. Hasil yang didapat ditampilkan pada **Gambar 1** menunjukkan spektrum FTIR sampel komposit PE/nanosilika dengan filer 5 %wt. Dilihat dari ketiga spektrum dengan variasi tiga ketebalan, hasil spektrum FT-IR yang dihasilkan pada masing-masing sampel memiliki puncak serapan yang nilainya tidak jauh berbeda. Terbentuk ikatan gugus Si-O dengan rentang bilangan 467 cm^{-1} sampai 1101 cm^{-1} . Ikatan gugus C-O yang merupakan vibrasi ulur dengan rentang bilangan 1176 cm^{-1} sampai 1729 cm^{-1} (Jeziorska *et al.*, 2011). Pada puncak serapan dengan bilangan gelombang 2851 cm^{-1} terbentuk ikatan ulur simetrik CH_2 dan juga vibrasi ulur asimetrik CH_2 pada bilangan gelombang 2919 cm^{-1} [14]. Pada sampel yang terbentuk juga terdapat vibrasi ulur – OH dengan rentang bilangan 3200 cm^{-1} sampai 3650 cm^{-1} , hal ini berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Liu *et al.* (2017). Grafik spektrum FTIR pada sampel yang dicetak menggunakan ketebalan 12 dan $25\text{ }\mu\text{m}$ memiliki puncak serapan yang lebih tajam dibandingkan dengan puncak-puncak serapan yang terbentuk pada sampel dengan ketebalan $6\text{ }\mu\text{m}$. Sampel dengan ketebalan $12\text{ }\mu\text{m}$ memiliki pergeseran nilai bilangan gelombang yang lebih besar dibanding dengan sampel $6\text{ }\mu\text{m}$ dan $25\text{ }\mu\text{m}$. Spektrum FTIR yang dihasilkan pada sampel $12\text{ }\mu\text{m}$ memiliki puncak serapan yang lebih tajam. Pada bilangan gelombang kisaran 3000 cm^{-1} , ketiga grafik yang terbentuk memiliki puncak serapan yang

juga semakin tajam dengan semakin menambahnya ketebalan sampel.

FTIR sampel komposit PE/nanosilika dengan filer 10 %. Dilihat dari ketiga spektrum dengan variasi tiga ketebalan, hasil spektrum FTIR yang dihasilkan pada masing-masing sampel memiliki puncak serapan yang nilainya tidak jauh berbeda. Terbentuk ikatan gugus Si-O dengan rentang bilangan 467 cm^{-1} sampai 1101 cm^{-1} juga ikatan gugus C-O yang merupakan vibrasi ulur dengan rentang bilangan 1176 cm^{-1} sampai 1729 cm^{-1} (Jeziorska *et al.*, 2011) . Pada puncak serapan dengan bilangan gelombang 2851 cm^{-1} terbentuk ikatan ulur simetrik CH_2 dan juga vibrasi ulur asimetrik CH_2 pada bilangan gelombang 2919 cm^{-1} [14]. Pada sampel yang terbentuk juga terdapat vibrasi ulur – OH dengan rentang bilangan 3200 cm^{-1} sampai 3650 cm^{-1} , hal ini berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Liu *et al.* (2017). Untuk hasil FTIR sampel komposit PE/nanosilika dengan kadar filer 10 % ditampilkan pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Spektrum FTIR komposit PE/nanosilika dengan filer 5 %.



Gambar 2. Spektrum FTIR komposit PE/nanosilika dengan filler 10 %.

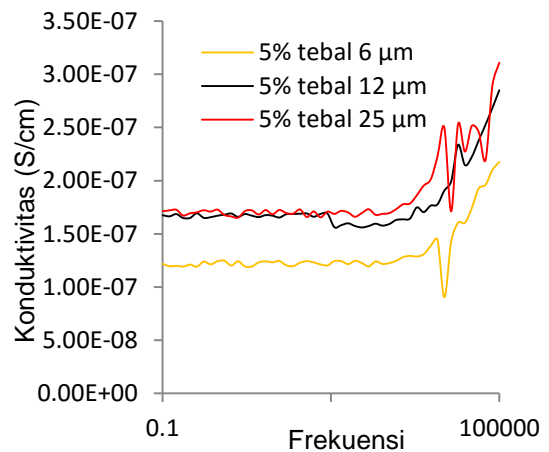
Grafik spektrum FTIR pada sampel yang dicetak menggunakan ketebalan 6 μm memiliki puncak serapan yang lebih tajam dibandingkan dengan sampel yang dicetak 12 dan 25 μm. Spektrum FTIR yang terbentuk pada 12 dan 25 μm terlihat sama dengan bentuk spektrum yang tidak tajam.

Hasil Analisis LCR meter

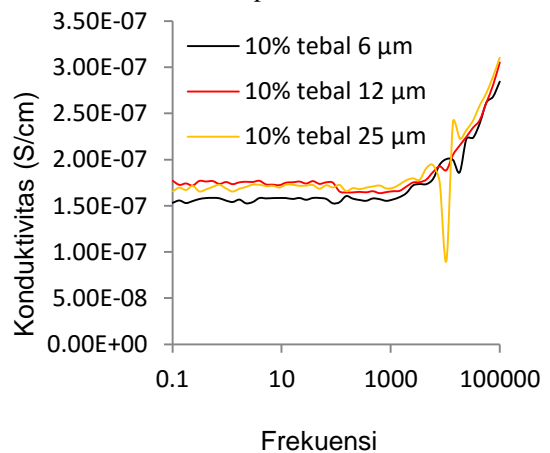
Pengukuran sifat listrik dilakukan dengan menggunakan alat ukur LCR meter dengan parameter frekuensi 0,1 Hz sampai 100 KHz pada tegangan potensial $V = 1,5$ Volt dengan temperatur ruang yang dilakukan di BKAN, PTBI-BATAN.

Gambar 3 merupakan grafik nilai konduktivitas yang diperoleh dengan kandungan nanosilika sebanyak 0,05 gram dengan variasi tiga ketebalan sampel yang berbeda. Secara umum, nilai konduktivitas listrik ketiga sampel yang diperoleh dalam penelitian ini mencapai nilai yang tinggi yakni mencapai orde 10^{-7} S/cm pada frekuensi mencapai < 10.000 Hz. Nilai konduktivitas listrik memperlihatkan bahwa sampel komposit PE/nanosilika dengan silika sebanyak 0,05 gram memiliki nilai konduktivitas listrik konstan pada rentang frekuensi 0,1 Hz sampai frekuensi < 10.000 Hz rata-rata sebesar $1,24 \times 10^{-7}$ S/cm untuk sampel dengan 6 μm, $1,65 \times 10^{-7}$ S/cm untuk sampel 12 μm dan $1,70 \times 10^{-7}$ S/cm untuk sampel 25 μm. Nilai konduktivitas

terus mengalami kenaikan sampai dengan frekuensi 100 KHz. Nilai konduktivitas pada frekuensi 100 KHz sampel 6 μm mencapai $2,18 \times 10^{-7}$ S/cm dan $3,11 \times 10^{-7}$ S/cm untuk sampel 25 μm. Sementara itu, untuk sampel kedua yang dicetak menggunakan *barcoater* 12 μm memiliki nilai konduktivitas yang konstan pada rentang frekuensi yang lebih panjang dibanding dengan sampel 6 μm dan 25 μm dan mengalami kenaikan sampai dengan frekuensi 100 KHz yaitu mencapai $2,85 \times 10^{-7}$ S/cm. **Gambar 4** menunjukkan grafik konduktivitas dengan nanosilika 0,1 gram variasi tiga ketebalan. Pada sampel yang dicetak menggunakan *barcoater* 6 μm memiliki nilai konduktivitas yang konstan pada rentang



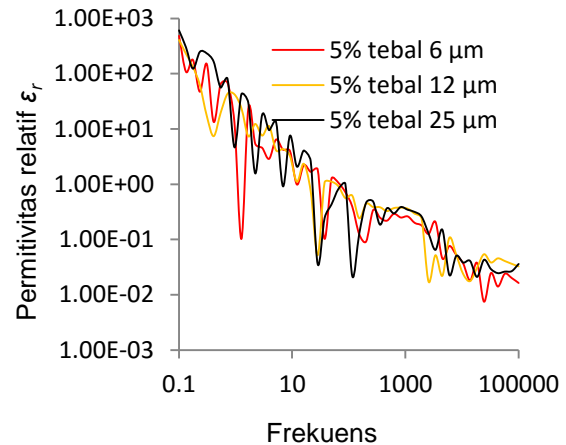
Gambar 3. Grafik konduktivitas listrik komposit PE/nanosilika 5%.



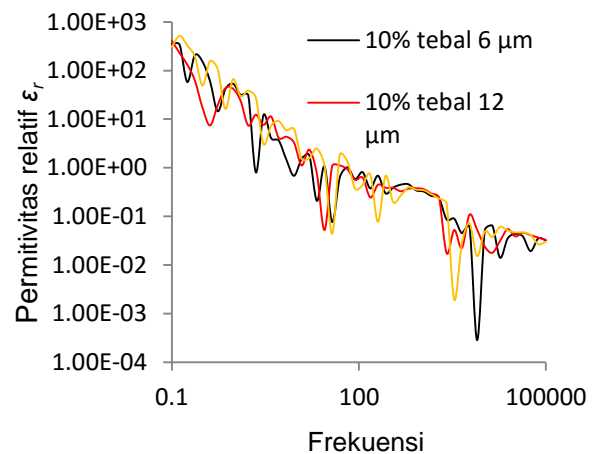
Gambar 4. Grafik konduktivitas listrik komposit PE/nanosilika 10%.

frekuensi 0,1 Hz sampai frekuensi < 10.000 Hz. Nilai konduktivitas mengalami kenaikan hingga frekuensi 100 KHz dengan nilai konduktivitas mencapai $2,84 \times 10^{-7}$ S/cm. Sampel yang dicetak menggunakan *barcoater* 12 μm memiliki nilai konduktivitas yang relatif lebih stabil pada rentang frekuensi 0,1 Hz sampai dengan frekuensi 5.000 Hz dan mengalami kenaikan pada frekuensi 5.900 Hz sampai 7.900 Hz. Selanjutnya nilai konduktivitas terus naik hingga mencapai frekuensi 100 KHz yaitu mencapai $3,05 \times 10^{-7}$ S/cm. Sementara untuk sampel yang dicetak menggunakan *barcoater* 25 μm mengalami penurunan nilai konduktivitas yang sangat rendah pada frekuensi 10000 Hz yaitu sebesar $9,02 \times 10^{-9}$ S/cm. Sementara itu, pada rentang frekuensi 0,1 Hz sampai dengan frekuensi 7.900 Hz memiliki nilai konduktivitas yang konstan. Kemudian nilai konduktivitas mengalami kenaikan sampai dengan frekuensi 100 KHz dengan nilai konduktivitas mencapai $3,1 \times 10^{-7}$ S/cm.

Selanjutnya kita dapat mengetahui nilai permitivitas relatif ϵ_r atau konstanta dielektrik dari ketiga sampel. Hasil pengukuran konstanta dielektrik dalam rentang frekuensi 0,1 – 100 KHz disajikan pada **Gambar 5** untuk sampel yang sama, maka nilai permitivitas dielektrik akan semakin besar. Sementara itu, untuk grafik permitivitas dielektrik sampel dengan filer sebanyak 10 %wt dapat dilihat pada **Gambar 6**. Nilai permitivitas dielektrik dengan filer silika 5% dan pada **Gambar 6** untuk sampel dengan filer 10%. Nilai permitivitas dielektrik mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya frekuensi. Hal ini disebabkan karena polarisasi semakin menurun pada frekuensi tinggi (Khan *et al.*, 2016). Terdapat perbedaan nilai permitivitas dielektrik yang cukup signifikan diantara ketiga sampel baik pada sampel 5% maupun 10%.



Gambar 5. Permitivitas dielektrik komposit PE/nanosilika 5%.



Gambar 6. Permitivitas dielektrik komposit PE/nanosilika 10%.

Pada sampel 5% dengan tebal 6 μm memiliki nilai konstan konstanta dielektrik minimum sebesar $7,47 \times 10^{-3}$ dan nilai permitivitas dielektrik maksimal $4,84 \times 10^2$. Sampel 5 %wt 12 μm memiliki sifat permitivitas dielektrik maksimal $4,07 \times 10^2$ dengan nilai permitivitas dielektrik minimum $1,74 \times 10^{-2}$. Sementara pada sampel 5 %wt 25 μm nilai permitivitas dielektrik maksimal sebesar $6,11 \times 10^2$ dengan nilai permitivitas dielektrik minimum sebesar $2,11 \times 10^{-2}$. Dari data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa semakin tebal sampel dengan jumlah filer yang sama, maka nilai permitivitas dielektrik akan semakin besar. Sementara itu, untuk grafik permitivitas dielektrik dari sampel dengan filer

sebanyak 10 %wt dapat dilihat pada **Gambar 6**. Nilai permitivitas dielektrik mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya frekuensi. Perbedaan nilai permitivitas dielektrik yang cukup signifikan juga dapat dilihat dari ketiga sampel tersebut. Pada sampel 6 μm memiliki nilai permitivitas dielektrik minimum sebesar $2,82 \times 10^{-4}$ dengan nilai permitivitas dielektrik maksimal sebesar $3,54 \times 10^2$. Untuk sampel 10 %wt 12 μm memiliki sifat permitivitas dielektrik maksimal $2,41 \times 10^2$ dengan nilai permitivitas dielektrik minimum $1,80 \times 10^{-2}$. Sedangkan pada sampel 10 %wt 25 μm nilai permitivitas dielektrik maksimal sebesar $5,21 \times 10^2$ dengan nilai permitivitas dielektrik minimum sebesar $1,93 \times 10^{-3}$. Berdasarkan data yang diperoleh, sampel dengan ketebalan yang lebih besar menghasilkan nilai permitivitas dielektrik yang lebih besar pula, yaitu pada sampel 10 %wt 25 μm

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa pengaruh ketebalan terhadap hasil spektrum FTIR pada sampel komposit PE/nanosilika 5 wt% untuk 16, 12, dan 25 μm terlihat pada nilai puncak serapan yang lebih tajam untuk sampel yang dicetak menggunakan *barcoater* 12 dan 25 μm dan sampel pada sampel komposit PE/nanosilika 10 wt% nilai puncak serapan yang lebih besar dengan pita yang tajam terbentuk pada sampel 6 μm . Sementara itu, pengaruh ketebalan terhadap sifat listrik sampel komposit PE/nanosilika 5 wt% untuk nilai konduktivitas pada sampel 5 %wt tebal 25 μm memiliki nilai konduktivitas yang lebih besar yaitu $2,85 \times 10^{-7}$ S/cm. Pada sampel komposit PE/nanosilika 10 wt% nilai konduktivitas memiliki yang lebih besar pada sampel 10 %wt tebal 25 μm yaitu $3,1 \times 10^{-7}$ S/cm. Sementara untuk nilai konstanta dielektrik dari kedua variasi filer

menunjukkan bahwa semakin tebal sampel maka nilai konstanta dielektrik akan semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Liu, Y. Wang, K. Xiao and Z. and Zhang, " Research on the Thermal Aging Behaviors of LDPE/TiO₂ Nanocomposites," *Journal of Nanomaterials.*, vol. 2017, pp. 1-11, 2017.
- [2] B. Zazoum, E. David and A. D. and Ngô, "LDPE/HDPE/clay Nanocomposites: Effects of Compatibilizer on the Structure and Dielectric Response," *Journal of Nanotechnology*, pp. 1-10, 2013.
- [3] F. W. Billmeyer, *Textbook of Polymer Science 3rd Edition*, Singapore: Singapore. Inc, 1984.
- [4] J. M. Karelson, A. Katritzky, V. Lobanov and S. and Sild, "Quantitative Structure-Property Relationship (QSPR) Correlation of Glass Transition Temperature of High Molecular Weight Polymers," *J. Chem. Inform. Comp. Sci.*, vol. 98, pp. 300-304, 1997.
- [5] M. Kollár and G. and Zsoldos, "Investigating Poly(vinyl-chloride)-Polyethylene Blends by Thermal Methods," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 107, no. 2, pp. 645-650, 2012.
- [6] A. Yuniari, "Sifat Elektrik dan Termal Nanokomposit Poly (Vinyl Chloride) (PVC)/Low Density Polyethylene (LDPE)," *Majalah kulit, karet dan plastik*, vol. 30, no. 2, pp. 55-60, 2014.
- [7] I. N. Unar, S. A. Soomro and S. and Aziz, "Effect of Various Additives on Physical Properties of Polyvinylchloride Resin," *Pakistan Journal of Analytical Evironmental Chemistry*, Vol. 11, No. 2, Pp. 44-50., vol. 11, no. 2, pp. 44-50, 2010.

- [8] E. Frida, N. Bukit and M. dan Manalu, "Pengelolaan Kaolin sebagai Bahan Pengisi pada Termoplastik High Density Polyethylene," *Jurnal Saintech*, vol. 6, no. 2, pp. 78-79, 2014.
- [9] S. Fu, X. Feng, B. Lauke and Y. and Mai, "Effects of Particle Size, Particle/Matrix Interface Adhesion and Particle Loading on Mechanical Properties of Particulate-Polymer Composite," *Composites, Part B*, 39, Pp. 933-961., vol. 39, no. Part B, pp. 933-961, 2008.
- [10] R. A. Hadiyawardan, B. Nuryadin, M. Abdullah and d. Khairurrijal, "Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing," *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, vol. 1, no. 1, pp. 14-21, 2008.
- [11] T. K. Sitorus, Pengaruh Penambahan Silika Amorf dari Sekam Padi terhadap Sifat Mekanis dan Sifat Fisis Mortar, Medan: Universitas Sumatera Utara, 2009.
- [12] S. Syukri, Kimia Dasar Jilid 3, Bandung: ITB, 1999.
- [13] L. Marlina, I. Sriyanti, F. Iskandar and d. Khairurrijal, "Pengaruh Komposisi Sekam Padi dan Nano Silika terhadap Kuat Tekan Material Nanokomposit," *Jurnal Penelitian Sains*, Vol. 15, No. 3(B), Pp. 93-95., vol. 15, no. 3(B), pp. 93-95, 2012.
- [14] J. V. Gulmine, Jancrisek, P. R. Heise and L. H. M. dan Akcelrud, "Polyethylene Characterization by FTIR," *Polymer testing*, Vol. 21 (5), Pp.557-563., vol. 21, no. 5, pp. 557-563, 2002.
- [15] M. Sukron, W. Setyarsih and L. dan Rohmawati, "Studi Dielektrik Polyvinilidene Fluoride (PVDF) / SiO₂ dari Lumpur Sidoarjo," *Jurnal Fisika*, vol. 04, no. 1, pp. 19-22, 2015.