

Pengaruh Komposisi Silika dari Abu Sekam Padi terhadap Daya Serap Gelombang Elektromagnetik pada Komposit *Unsaturated Polyester Resins/Silika*

Effect of Silica Composition from Rice Husk Ash on The Performace of Absorbing Electromagnetic Wave on Composite of Unsaturated Polyester Resins/Silica

Wisnu Ari Adi^{1*}, Rizky Fauzy², Yana Taryana³ dan Yusmaniar²

¹*Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, Badan Tenaga Nuklir Nasional*

²*Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Jakarta*

³*Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia*

*E-mail: dwisnuuaa@batan.go.id

ABSTRACT

This study aim is to know the effect of silica composition on the absorption of electromagnetic waves in the composite of unsaturated polyester resins (UPR)/silica. Silica raw materials have been synthesized from the results of rice husk ash extraction. The results of the analysis phase and elementary respective using X-ray diffraction (XRD) and energy dispersive spectroscopy (EDS) show that the extraction of silica has an amorphous phase with a high purity. This silica powders are filler material acts as an electromagnetic waves absorber material and combined with the UPR as a matrix to form a composite. Silica powder varied with several compositions in this composite. The observation of scanning electron microscope (SEM) shows that the silica particles have been distributed evenly in the UPR matrix. Meanwhile the results of testing the absorption of electromagnetic waves at frequency range of 8 GHz - 12 GHz using a vector network analyzer (VNA) show that the addition of silica composition have significant effect on the absorption of electromagnetic waves. The more the silica content in the UPR matrix causes the absorption of electromagnetic waves more increasing. It was concluded that the presence of silica can improve the absorption performance of electromagnetic waves in composite UPR/silica.

Keywords: rice husk ash, silica, UPR, composites, electromagnetic wave absorber

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi saat ini seperti *handphone* menuntut perangkat komunikasi yang semakin memadai, termasuk berbagai komponen elektronik pendukungnya. Pada umumnya komponen elektronik tersebut bekerja pada frekuensi tinggi hingga GHz. Namun komponen elektronik yang bekerja pada frekuensi tinggi ini rawan terhadap kebocoran frekuensi sehingga dampak yang ditimbulkan akibat kebocoran frekuensi tersebut adalah munculnya interferensi gelombang elektromagnetik atau yang dikenal dengan *electromagnetic interference* (EMI) (Geetha *et al*, 2009 dan Patil *et al*, 2012). EMI ini terjadi karena frekuensi yang bocor pada permukaan komponen elektronik tersebut terpantul kembali oleh *casing handphone* mengenai komponen elektronik tersebut sehingga dapat mengurangi bahkan mengganggu kinerjanya. Artinya EMI ini dapat dihindari apabila frekuensi yang bocor tadi dapat diserap oleh sebuah bahan penyerap gelombang elektromagnetik yang dewasa ini

menjadi marak diteliti oleh beberapa peneliti di dunia. Seiring berkembangnya teknologi komunikasi khususnya *handphone* ini yang semakin canggih, banyak dan murah, untuk itu diperlukan juga bahan-bahan *absorber* gelombang elektromagnetik yang banyak dan relatif murah. Syarat utama yang diperlukan sebuah bahan dapat dikategorikan sebagai bahan *absorber* gelombang elektromagnetik adalah bahwa bahan tersebut harus memiliki *magnetic loss* dan *dielectric loss* yang tinggi. Banyak penelitian bahan telah dilakukan untuk mendapatkan bahan yang dapat berfungsi sebagai *absorber* gelombang elektromagnetik ini seperti karbon dan besi oksida (Wang, 2011 dan Eswaraiah *et al*, 2011). Karbon memiliki nilai permitivitas yang tinggi dan besi oksida memiliki nilai permeabilitas yang tinggi. Dengan modifikasi melalui rekayasa struktur dapat diperoleh kedua sifat yaitu memiliki *dielectric loss* dan *magnetic loss* yang tinggi sehingga dapat berfungsi sebagai bahan *absorber* gelombang elektromagnetik. Perkembangan terkini adalah pemanfaatan bahan silika sebagai kandidat bahan *absorber*

gelombang elektromagnetik dengan mempertimbangkan faktor efisiensi, biaya, ketebalan, berat, kekerasan, fleksibilitas, dan stabilitas terhadap lingkungan.

Salah satu bahan baku silika yang relatif murah dengan jumlah cadangan yang banyak adalah dari abu sekam padi. Abu sekam padi adalah bahan limbah hasil panen padi yang pemanfaatannya kurang optimal, selain sebagai pakan ternak juga dapat diekstraksi menjadi bahan silika dengan kemurnian tinggi (Adi & Manaf, 2012, Adi & Manaf, 2013, Rochman & Adi, 2013, Le *et al*, 2013, Rafiee *et al*, 2012, Onojah *et al*, 2012, dan Prasad & Pandey, 2012). Silika hasil ekstraksi dari abu sekam padi ini memiliki nilai permitivitas yang baik sehingga diharapkan dapat memiliki *dielectric loss* yang baik dan mampu meredam gelombang elektromagnetik dengan baik pula (Cheng *et al*, 2012). Dengan demikian silika ini merupakan salah satu kandidat bahan yang memiliki kemampuan sebagai bahan *absorber* gelombang elektromagnetik (Nornikman *et al*, 2010, dan Zhou *et al*, 2010). Namun untuk aplikasi praktis silika ini harus ditanam di dalam matrik polimer membentuk sebuah komposit sehingga dapat dibuat dalam berbagai macam bentuk.

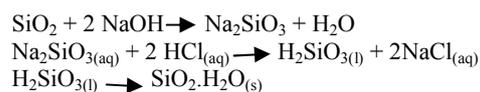
Pada penelitian ini, akan dilakukan pembuatan komposit dari silika yang ditanam di dalam polimer *unsaturated polyester resin* (UPR) sebagai matrik. UPR adalah sebuah produk polimer lokal yang relatif murah. UPR merupakan bahan polimer yang sedang dikembangkan sebagai matrik untuk aplikasi bahan *absorber* gelombang elektromagnetik (Sun *et al*, 2010 dan Adeodu *et al*, 2014). Kombinasi UPR dan silika untuk aplikasi bahan *absorber* gelombang elektromagnetik menjadi kajian utama pada penelitian ini. Pada penelitian ini akan diawali dengan pembuatan silika dari abu sekam padi, kemudian pembuatan komposit dengan berbagai komposisi dan hasil akhirnya akan diuji kemampuan daya serap komposit ini terhadap gelombang elektromagnetik. Jadi tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pengaruh komposisi silika dari abu sekam padi terhadap daya serap gelombang elektromagnetik pada komposit *unsaturated polyester resins* (UPR)/silika.

METODE

Sintesis silika (SiO₂) dan komposit UPR/silika

Pada tahap awal akan dilakukan sintesis silika dari

abu sekam padi. Sekam padi yang akan ekstraksi terlebih dahulu dilakukan pengurangan dengan tujuan agar proses pemanasan lebih merata. Arang sekam padi kemudian dipanaskan pada suhu 700 °C selama 4 jam untuk menghilangkan komponen organik sehingga menjadi abu. Abu sekam padi yang dihasilkan kemudian ditambahkan HCl 1 N, dan direfluks selama 2 jam dengan tujuan untuk menghilangkan komponen anorganik seperti besi, kalium, dan kalsium. Endapan dilarutkan dengan NaOH 1 N, dan direfluks selama 1 jam hingga menghasilkan sol natrium silikat. Larutan NaOH berfungsi untuk melarutkan atau mereaksikan silika yang terdapat dalam abu sekam padi karena silika hanya larut dalam alkali hidroksida dan leburan karbonat (Ginjar *et al.*, 2014). Sol yang telah dihasilkan ditetesi HCl 1 N hingga pH netral (pH = 7), dan didiamkan selama 18 jam. Pengadukan konstan dilakukan saat penetesan HCl 1N menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 200 rpm. Hal ini bertujuan agar reaksi dapat berjalan secara merata. Silika akan membentuk gel pada pH dibawah 10. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Gel silika yang terbentuk kemudian dicuci dengan aqua demineralisasi hingga bebas ion Cl⁻. Gel yang telah murni dipanaskan pada suhu 120 °C selama 12 jam untuk menghilangkan kandungan air dan diperoleh *yield* silika padatan yang kemudian digerus menggunakan mortar hingga menjadi bubuk berwarna putih. Silika hasil ekstraksi dari abu sekam padi ini mempunyai berat sebesar 15,41 gram. Setelah itu silika hasil ekstraksi ini dikarakterisasi fasa yang terbentuk menggunakan *X-ray diffractometer* (XRD), kandungan elementernya menggunakan *energy dispersive spectroscopy* (EDS), gugus fungsi menggunakan *fourier transform infra red* (FTIR), dan morfologi partikel menggunakan *scanning electron microscope* (SEM).

Langkah selanjutnya adalah membuat komposit UPR/silika yaitu dengan mencampurkan antara polimer UPR dengan serbuk silika. UPR yang digunakan berbentuk cair dengan serbuk silika hasil isolasi melalui perbandingan komposisi UPR : Silika masing-masing 99 : 1; 98,5 : 1,5 ; 98 : 2 ; dan 97,5 : 2,5 % berat. Selanjutnya masing-masing campuran diaduk dengan bahan pengeras hingga homogen, dan kemudian didiamkan selama 12 jam sampai komposit tersebut mengeras. Distribusi partikel silika di dalam matrik UPR diamati menggunakan SEM-EDS. Sedangkan kemampuan daya serap gelombang elektromagnetik pada komposit ini dilakukan menggunakan alat *vector network analyzer* (VNA) yang diukur pada rentang frekuensi 8 GHz - 12 GHz.

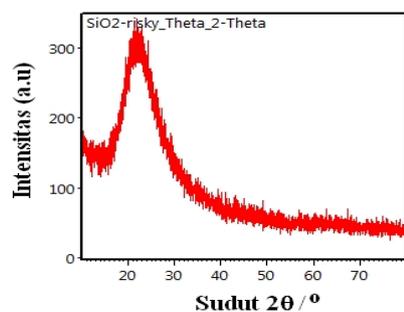
Peralatan karakterisasi

Analisis fasa sampel silika menggunakan *X-ray diffractometer* (XRD) Miniflex 6500 Rigaku dengan sumber radiasi CuK α dengan panjang gelombang, $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$, mode: *continuous-scan*, step size : 0.02, dan rentang sudut 10 – 80°. Pengamatan morfologi partikel dan kandungan elementernya menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) JED 2300 JEOL dan *energy dispersive spectroscopy* (EDS) Ametex EDAX. Analisis gugus fungsi menggunakan *fourier transformation infra red* (FTIR), dan uji serapan gelombang elektromagnetik menggunakan *vector network analyzer* (VNA) tipe ADVANTEST R3770 dengan rentang frekuensi 300 KHz – 20 GHz.

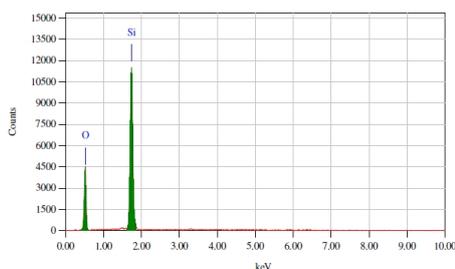
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil sintesis silika dari ekstraksi abu sekam padi.

Identifikasi fasa sampel silika dari hasil ekstraksi abu sekam padi menggunakan XRD ditunjukkan pada Gambar 1. Pola XRD sampel silika tersebut menunjukkan karakteristik pola amorfus. Diketahui bahwa ada tiga syarat yang harus dipenuhi untuk identifikasi fasa menggunakan XRD, yaitu sampel harus kristal sempurna, berkas sinar sejajar dan monokromatik. Karena sampel silika ini bukan kristal maka difraksi Bragg tidak dapat terjadi sehingga tidak menghasilkan puncak-puncak difraksi.



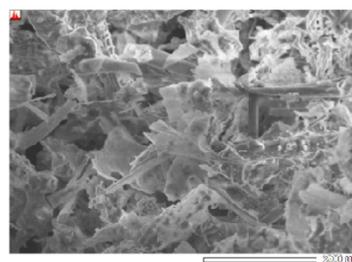
Gambar 1. Pola difraksi sinar-X sampel silika dari hasil ekstraksi abu sekam padi



Gambar 2. Spektrum EDS sampel silika dari hasil ekstraksi abu sekam padi

Berdasarkan hasil spectra IR diperlihatkan ada empat bilangan gelombang dari spektrum silika yang cukup dominan, yaitu pada bilangan gelombang 3445, 1628, 1085, 808, dan 480 cm^{-1} (Nariyal *et al.*, 2014 dan Darmawan *et al.*, 2011). Bilangan gelombang 3445 cm^{-1} terdapat puncak renggang yang merupakan puncak khas yang dimiliki silika. Puncak tersebut merupakan vibrasi ulur dari gugus-OH (gugus hidroksil). Dengan demikian, silika hasil ekstraksi menunjukkan ikatan Si-OH atau silanol. Puncak tersebut mengindikasikan pula adanya gugus dari molekul air yang terhidrasi yang tidak dapat diabaikan (Daifullah *et al.*, 2003). Pada bilangan gelombang 1085 cm^{-1} terdapat puncak yang menunjukkan gugus fungsi siloksan Si-O-Si. Adanya gugus fungsi Si-O-Si diperkuat dengan adanya puncak pada bilangan gelombang 480 cm^{-1} , yang menunjukkan ikatan Si-O, dan puncak pada bilangan gelombang 808 cm^{-1} , yang timbul akibat deformasi ikatan Si-O. Puncak lain dengan intensitas yang cukup signifikan terdapat pada daerah 1628 cm^{-1} . Puncak ini menunjukkan vibrasi regang C=O dari hemiselulosa, yang kemungkinan ikut terlarut pada saat ekstraksi dan teradsorpsi oleh silika.

Data dukung lainnya adalah analisis elementer menggunakan EDS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan hasil analisis EDS menunjukkan bahwa kandungan utama sampel silika ini adalah Si dan O. Unsur Si dan O yang teridentifikasi pada spektrum EDS berturut-turut terdapat pada pada energi 1.769 KeV dan 0,525 keV. Presentasi massa O dari data tersebut sebesar 53,26%, sedangkan persentase massa Si sebesar 44,74%. Jadi silika hasil ekstraksi memiliki tingkat kemurnian yang sangat tinggi.



Gambar 3. Foto SEM sampel silika dari hasil ekstraksi abu sekam padi

Pada Gambar 3 diperlihatkan foto SEM untuk mengetahui morfologi permukaan dari silika hasil ekstraksi. Dari foto SEM tersebut tampak bahwa senyawa silika yang dihasilkan memiliki struktur morfologi partikel berbentuk lembaran-lembaran tipis yang sangat seragam dan terdistribusi merata di seluruh permukaan sampel. Morfologi partikel ini mengindikasikan juga bahwa sampel silika memiliki fasa tunggal dengan tingkat kemurnian yang relatif tinggi.

Hasil sintesis komposit UPR/silika.

Sampel silika dari hasil ekstraksi abu sekam padi ini kemudian dibuat komposit dengan cara mengkombinasikan antara matrik UPR dengan *filler* serbuk silika seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.

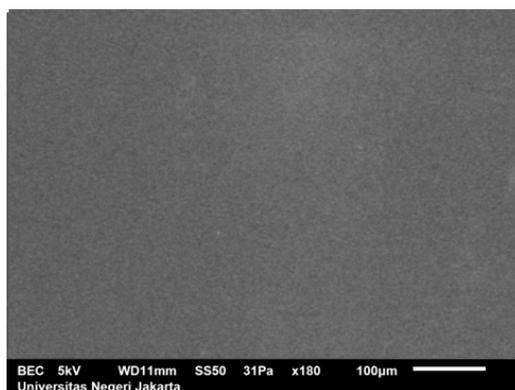
UPR yang digunakan berbentuk cair dengan serbuk silika hasil isolasi melalui perbandingan komposisi UPR : Silika masing-masing 99 : 1; 98,5 : 1,5 ; 98 : 2 ; dan 97,5 : 2,5 % berat. Silika dan UPR yang telah dicampurkan, diaduk secara konstan hingga homogen.

Pengadukan dilakukan secara perlahan, agar tidak ada udara yang terperangkap pada material tersebut yang mampu mengganggu proses penyerapan. Hasil homogenisasi campuran UPR/Silika diamati dengan menggunakan SEM untuk mengetahui terbentuknya komposit UPR/Silika dan mengetahui distribusi serbuk silika yang tertanam di dalam matrik UPR seperti yang disajikan pada Gambar 4.

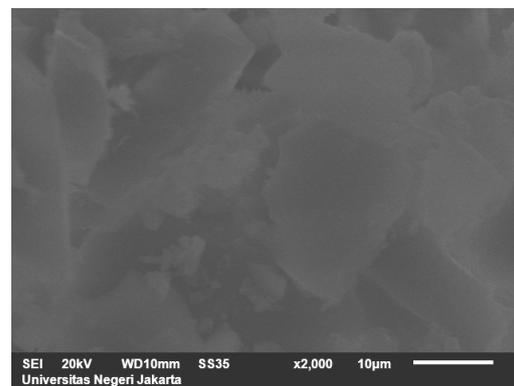
Pada Gambar 5(a) merupakan foto SEM sampel murni UPR dan Gambar 5(b) adalah foto SEM sampel serbuk silika. Sedangkan Gambar 5(c), 5(d), 5(e), dan 5(f) adalah sampel komposit UPR/silika dengan perbandingan jumlah silika yang bervariasi dan berdasarkan Gambar SEM tersebut tampak komposit UPR/silika telah terbentuk dengan baik. Komposit UPR/silika ini berhasil terbentuk dikarenakan keduanya memiliki perbedaan sifat kimia dan fisika sehingga tidak bereaksi diantara keduanya.



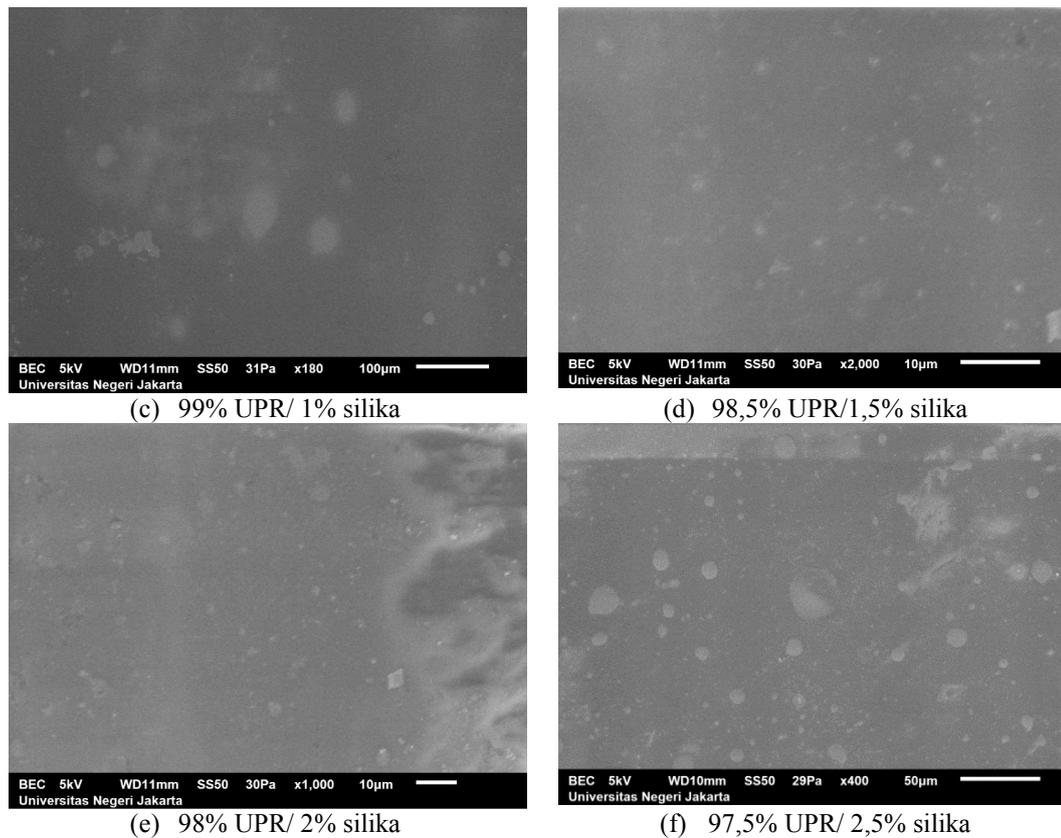
Gambar 4. Hasil sintesis komposit UPR/silika



(a) UPR



(b) Silika

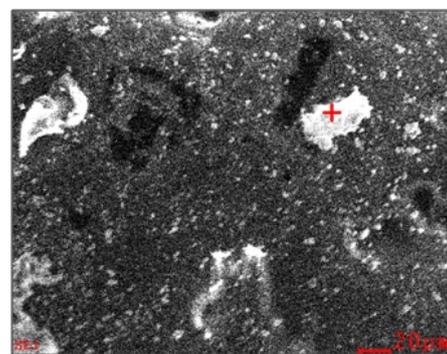
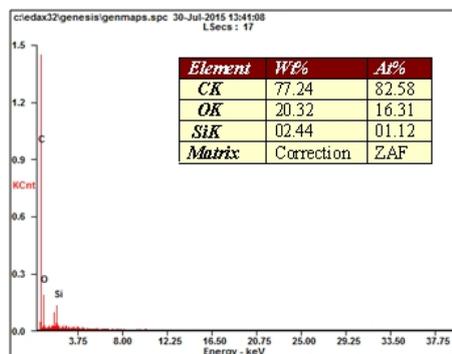


Gambar 5. Morfologi permukaan komposit UPB/silika

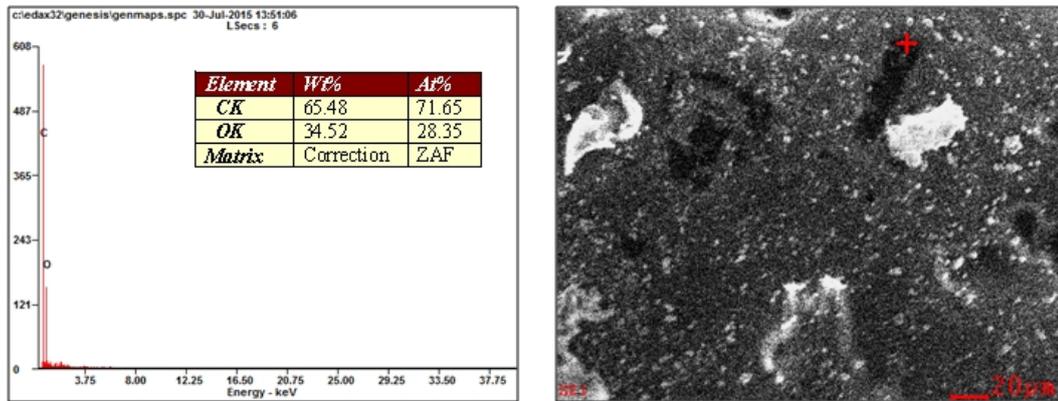
Terlihat pula bahwa semakin besar kandungan serbuk silika yang ditanamkan di dalam matrik UPB, maka distribusi kerapatan silika di dalam matrik UPB juga semakin banyak. Hal ini dapat dilihat hadirnya butiran-butiran warna terang semakin banyak seiring dengan meningkatnya jumlah kandungan silika dalam matrik UPB. Namun diperlukan data dukung kehadiran butiran-butiran warna terang yang tertanam di dalam matrik UPB adalah serbuk silika. Untuk itu akan dilakukan pengujian

elementer dengan obyek *point analysis* antara butiran-butiran warna terang dan matrik UPB menggunakan EDS.

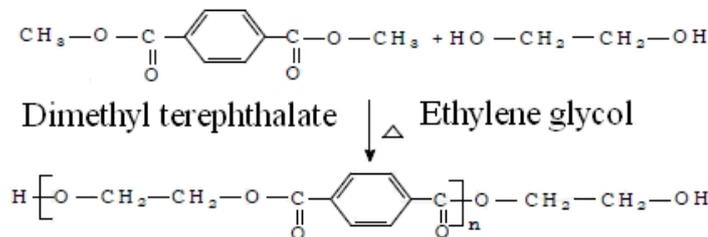
Pada Gambar 6 diperlihatkan hasil pengujian EDS dengan *spot analysis* yang ditujukan pada butiran-butiran warna terang. Hasil EDS menunjukkan bahwa butiran-butiran warna terang tersebut mengandung unsur Si dan O, sedangkan kehadiran carbon (C) diduga berasal dari matrik UPB yang ada di atas permukaan Si.



Gambar 6. Hasil EDS komposit UPB/Silika dengan spot pada partikel silika



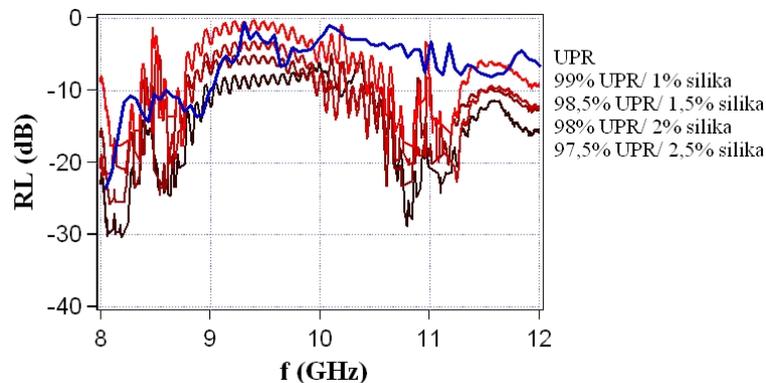
Gambar 7. Hasil EDS komposit UPR/Silika dengan spot pada matrik UPR



Sedangkan Gambar 7 diperlihatkan hasil pengujian EDS dengan *spot analysis* yang ditunjukkan pada daerah warna gelap. Hasil EDS menunjukkan bahwa daerah warna gelap tersebut mengandung unsur C dan O dan tidak teridentifikasi kehadiran unsur Si. Hal ini berarti bahwa daerah tersebut adalah matrik UPR. UPR adalah *unsaturated polyester resins* dimana terdapat gugus hidrokarbon dan oksigen seperti reaksi kimia diatas. UPR merupakan gugus ikatan antara C – H – O sehingga analisis EDS tersebut memberikan konfirmasi bahwa terdeteksi pada daerah tersebut unsur C dan O, sementara unsur H adalah unsur yang sangat ringan sehingga EDS

tidak mampu untuk mendeteksinya.

Dengan demikian komposit UPR/silika telah berhasil dibuat dengan beberapa variasi jumlah kandungan silika. Langkah selanjutnya adalah menguji kemampuan daya serap gelombang elektromagnetik pada sampel komposit UPR/silika menggunakan VNA dengan rentang frekuensi 8 – 12 GHz. Tujuannya untuk mengetahui pengaruh komposisi silika dari abu sekam padi terhadap daya serap gelombang elektromagnetik pada komposit *unsaturated polyester resins* (UPR)/silika. Pada Gambar 8 diperlihatkan hasil pengukuran *reflection loss* sebagai fungsi frekuensi pada sampel komposit UPR/silika.



Gambar 8. Kurva *reflection loss* komposit UPR/Silika

Sampel komposit UPR/silika ini saat diukur sifat serapannya berbentuk silinder berdiameter 3 cm dengan ketebalan 5 mm. Berdasarkan kurva *reflection loss* seperti pada Gambar 8 tampak bahwa penambahan komposisi silika pada komposit UPR/silika mempengaruhi kemampuan daya serap gelombang elektromagnetiknya. Semakin banyak jumlah silika yang ditanam di dalam matrik UPR semakin besar pula serapan gelombang elektromagnetiknya. Pada sampel UPR murni terlihat serapan gelombang elektromagnetiknya cukup rendah terutama di daerah frekuensi 9 – 12 GHz. Namun setelah penambahan silika 1 % berat, serapan gelombang elektromagnetiknya mulai meningkat terutama di daerah frekuensi 10 – 12 GHz. RL semakin meningkat seiring meningkatnya jumlah silika di dalam komposit tersebut. Terdapat beberapa puncak serapan gelombang yang tinggi, dengan pita penyerapan relatif lebar yaitu terdapat pada frekuensi 8,2 GHz; 8,6 GHz; 10,8 GHz, dan 11,2 GHz. Sampel dengan penambahan silika 1% berat terdapat pita penyerapan dengan lebar 0,5 GHz pada range 8 GHz – 9 GHz, ditemukan dua puncak serapan tertinggi pada frekuensi 8,2 GHz sebesar -18 dB dan pada frekuensi 11 GHz sebesar -12 dB. Pada range 10 GHz – 12 GHz telah hadir pita penyerapan baru dengan lebar 0,5 GHz, ditemukan dua puncak serapan pada frekuensi 10,8 GHz sebesar -18 dB dan pada frekuensi 11,2 GHz sebesar -15 dB. Hal ini menunjukkan bahwa adanya peningkatan daya serap pada range frekuensi 8 GHz – 9 GHz dan hadirnya daya serapan baru yang berada pada range frekuensi 10 GHz – 12 GHz, keduanya merupakan hasil kontribusi penambahan silika di dalam komposit. Pada penambahan silika 1,5% berat terlihat jelas terjadi peningkatan serapan dibandingkan silika 1 wt% dengan frekuensi optimal 8,2 GHz dan serapan sebesar -21 dB dengan pita penyerapan selebar 0,5 GHz. Begitu pula pada frekuensi 8,6 GHz, 10,8 GHz, dan 11,2 GHz berturut-turut meningkat menjadi sebesar -20 dB, -20 dB, dan -18 dB. Penambahan silika selanjutnya juga menunjukkan nilai RL semakin meningkat. Disamping itu pita penyerapan tampak semakin melebar sebesar 1 GHz pada penambahan silika 2,5% berat pada range frekuensi 10 GHz – 12 GHz. Hasil ini telah sesuai dengan hipotesis pada penelitian ini bahwa RL akan hadir apabila terjadi *impedance matching* antara gelombang elektromagnetik dengan

bahan. Dalam hal ini $Z_{in} = Z_o$, dimana Z_{in} sangat dipengaruhi oleh adanya *magnetic loss* dan *dielectric loss* dari bahan tersebut. Silika adalah salah satu bahan yang memiliki nilai permitivitas yang tinggi sehingga dimungkinkan sekali mempunyai sifat *dielectric loss* yang tinggi pula setelah silika tersebut beresonansi dengan gelombang elektromagnetik. Disamping itu efek geometri dari morfologi silika seperti hasil pengamatan menggunakan SEM dapat juga mempengaruhi peningkatan daya serap terhadap gelombang elektromagnetik tersebut melalui mekanisme hamburan yang *incoherent*. Oleh sebab itu kehadiran silika ini pada akhirnya dapat meningkatkan nilai dari *reflection loss* dari komposit ini sehingga dapat meningkatkan kemampuan daya serap dari bahan komposit tersebut. Hasil penelitian ini juga bersesuaian dengan hasil penelitian Liu *et al* (2014) bahwa penambahan komposisi silika pada sebuah bahan dapat meningkatkan kemampuan daya serap terhadap gelombang elektromagnetik.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil dibuat komposit UPR/silika dengan variasi penambahan silika 1%, 1,5%, 2%, dan 2,5% berat yang diperoleh dari hasil ekstraksi abu sekam padi melalui metode sol gel. Silika dari hasil ekstraksi abu sekam padi ini memiliki tingkat kemurnian yang tinggi dengan fasa amorf. Sedangkan hasil pengamatan morfologi komposit UPR/silika menunjukkan bahwa partikel silika telah terdistribusi merata di dalam matrik UPR sehingga membentuk sebuah komposit UPR/silika yang baik. Hasil uji serapan gelombang elektromagnetik komposit UPR/silika menunjukkan bahwa penambahan komposisi silika pada komposit UPR/silika mempengaruhi kemampuan daya serap gelombang elektromagnetik. Semakin banyak jumlah silika yang ditanam di dalam matrik UPR semakin besar pula serapan gelombang elektromagnetiknya. Untuk itu silika merupakan kandidat bahan absorber gelombang elektromagnetik dengan mempertimbangkan faktor efisiensi, biaya, ketebalan, berat, kekerasan, fleksibilitas, dan stabilitasnya terhadap lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Jakarta atas dukungannya pada penelitian ini. Adapun

penelitian ini didanai dari Riset Hibah Bersaing Kemenristek-Dikti dengan penanggungjawab penelitian Dr. Yusmaniar, M.Si.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeodu, A. O., C.O. Anyaeche, & O.O. Oluwole, 2014. Modeling of Microwave Curing of Unsaturated Polyester Based Composite Materials as Production Process Guide, *J. of Advancement in Engineering and Technology*.
- Adi, W.A., & A. Manaf. 2012. Structural and Absorption Characteristics of Mn-Ti Substituted Ba-Sr Hexaferrite Synthesized by Mechanical Alloying Route, *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2 (8): 7826-7834.
- Adi, W.A., & A. Manaf. 2013. Microstructure and Phase Analysis of La_{0.8}Ba_{0.2}Ti_xMn_(1-x)O₃ system for Microwave Absorber Material (x = 0 – 0.7), *Journal of Advanced Materials Research*.
- Cheng, E.M., F. Malek, M. Ahmed, K.Y. You, & H. Nornikaman. 2012. The use of dielectric mixture equations to analyze the dielectric properties of a mixture of rubber tire dust and rice husks in a microwave absorber, *Prog. Electromagn. Res.*, 129, 559-578.
- Daifullah, A.A.M., B.S. Girgis, & H.M.H. Gad. 2003. Utilization of Agro-Residues (Rice Husk) in Small Waste Water Treatment Plans. *Material Letters*, 57:1723–1731.
- Darmawan, A., Smart, S., A. Julbe, & J.C.D. Costa. 2011. Iron oxide silica derived from sol-gel synthesis. *Materials*, 4, 448–456.
- Eswaraiah, V., V. Sankaranarayanan, & S. Ramaprabhu. 2011. Functionalized Graphene–PVDF Foam Composites for EMI Shielding, *Macromol. Mater. Eng.* 296, 1-5.
- Geetha, S., Satheesh Kumar, K. K., Chepuri, Rao, R. K., Vijayan, M., & Trivedi, D. C., 2009. EMI Shielding: Methods and Materials—A Review, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 112, 2073–2086.
- Ginjar, R.V., A. Ma'ruf & A.H. Mulyadi. 2014. Ekstraksi Silika Dari Abu Sekam Padi Menggunakan Pelarut NaOH, Prosiding Seminar Nasional Hasil - Hasil Penelitian dan Pengabdian LPPM UMP.
- Le, V.H, C.N.H. Thuc & H.H. Thuc. 2013. Synthesis of silica nanoparticles from Vietnamese rice husk by sol–gel method, *Nanoscale Research Letters*, 8:58.
- Liu, S.T., X.G. Chen, A.B. Zhang, K.K. Yan, & Y. Ye, 2014. Rice husk ash for microwave, *Bioresources*, 9(2) , 2328-2340
- Nariyal, R. K., P. Kothari, & B. Bisht. 2014. FTIR Measurements of SiO₂ Glass Prepared by Sol-Gel Technique, *Chemical Science Transactions*, 3(3):1064-1066.
- Nornikman, H., F. Malek, P.J. Soh, A.A.H. Azremi, F.H. Wee, & A. Hasnain, 2010. Parametric studies of the pyramidal microwave absorber using rice husk, *Progress in Electromagnetics Research-Pier*, 104, 145-166.
- Onojah, A., A.N. Amah, & B.O. Ayomanor. 2012. Comparative studies of silicon from rice husk ash and natural quartz, *Am. J. Sci. Ind. Res.*, 3(3): 146-149.
- Patil, S., A. Lagashetty, A. Koppalkar & S. Kalyane. 2012. Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Polyaniline-Ta₂O₅ Composites, *International Journal of Science, Environment and Technology*, 1 (5):402 – 408.
- Prasad, R. & M. Pandey. 2012. Rice Husk Ash as a Renewable Source for the Production of Value Added Silica Gel and its Application: *An Overview, Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 7 (1), 1 – 25.
- Rafiee, E., S. Shahebrahimi, M. Feyzi & M. Shaterzadeh. 2012. Optimization of synthesis and characterization of nanosilica produced from rice husk (a common waste material), *International Nano Letters* , 2:29.
- Rochman, N.T & W.A. Adi. 2013. Preliminary study of the development of absorber electromagnetic wave materials by modifying iron sand. *International Journal of Academic Research Part A*; 5(4), 91-96.
- Sun, C., K. Sun, & P. Chui. 2010. *Preparation and Microwave Absorbing Properties of BaFe₁₂O₁₉/Unsaturated Polyester Nanocomposites*, Proceeding of the 7th National Conference on Functional Materials and Applications, 41-9.
- Wang, X., 2011. Investigation of Electromagnetic Shielding Effectiveness of Nanostructural Carbon Black/ABS Composites, *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, 3:160-164.
- Zhou, J., J. He, T. Wang, D. Sun, S. Ding, J. Zhao, & S. Wu. 2010. Direct incorporation of magnetic constituents within ordered

mesoporous carbon-silica nanocomposites
for highly efficient electromagnetic wave

absorbers, *J. Phys. Chem. C* 114(17): 7611-
7617.

