

Sintesis dan Karakterisasi *Microwave Absorbing Material* Berbasis Ni-SiO₂ dengan Metode Sol-Gel

Siti Wardiyati[✉], Wisnu Ari Adi, dan Didin Sahidin Winatapura

Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, BATAN, Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang selatan 15314

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima:
27 November 2018

Disetujui:
28 Desember 2018

Dipublikasikan:
28 Desember 2018

Keywords:

Microwave absorbing materials, SiO₂, nickel, sol-gel

ABSTRAK

Sintesis dan karakterisasi material Ni-SiO₂ telah dilakukan secara sol-gel menggunakan prekursor Tri ethyl orthosilicate (TEOS), asam citrat dan nikel (II) nitrat. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan bahan microwave absorber magnetik yang mempunyai fasa tunggal, berukuran nano, bersifat magnetik dan menyerap gelombang elektro magnetik pada kisaran 8 -12 GHz. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan sintesis Ni-SiO₂ secara sol-gel dengan variasi jumlah ion Ni dari 0,5 - 1,25 g/25 mL TEOS. Karakterisasi Ni-SiO₂ hasil sintesis dilakukan dengan menggunakan alat X-raydiffraction (XRD) untuk analisis fasa, Fourier Transmission Infra Red (FTIR) untuk mengetahui jenis ikatan yang terjadi, Vibrating Sample Magnetometer (VSM) untuk mengetahui sifat magnetik bahan yaitu koersivitas dan saturasi magnetik, Transmission Electron Microscope (TEM) untuk mengetahui struktur dan ukuran partikel, dan Vektor Network Analyzer (VNA) untuk mengetahui serapan gelombang suatu bahan. Dari hasil percobaan diperoleh microwave absorbing material berbasis Ni-SiO₂ dengan ukuran partikel < 10 nm, saturasi magnetik 0,0455 emu/g, koersivitas magnetik sebesar 0, 0738T, dan besarnya reflection loss (RL) – 29,4 dB pada 10,68 GHz. Nilai reflection loss (RL) – 29,4 dB pada 10,68 GHz ini menunjukkan bahwa microwave absorbing material berbasis Ni-SiO₂ hasil sintesis mempunyai kemampuan menyerap gelombang hingga 97 % pada frekuensi 10,68 GHz. Hasil tersebut dicapai pada penambahan ion Ni sebesar 1,0 g/25 mL TEOS.

ABSTRACT

Synthesis and characterization of a microwave absorbing material of Ni-SiO₂ based has been performed by sol-gel method using tri-ethyl orthosilicate (TEOS) and nickel (II) nitrate as a precursor. This study of aim is to obtain of microwave absorbing magnetic material that has similar structure, nano-size, magnetic and able to absorb electromagnetic waves in the range of 8 -12 GHz. To achieve this goal Ni-SiO₂ was synthesized by varying the number of Ni ions from 0.5 - 1.25 g/25 mL TEOS. Ni-SiO₂ result was characterized by using X-ray diffraction (XRD) for structure analysis, Fourier Transmission Infra Red (FTIR) for identification of bonding type, Vibrating Sample Magnetometer (VSM) to observe magnetic properties, Transmission Electron Microscope (TEM) for analysis structure and particle size, and Vector Network Analyzer (VNA) to observe a reflection loss of material. From the results of the experiment obtained microwave absorbing material Ni-SiO₂ with particle size <10 nm, magnetic saturation of 0.0455 emu/g, magnetic coercivity of 0, 0738T, and magnitude of reflection loss (RL) - 29.4 dB at 10.68 GHz. This reflection loss (RL) - 29.4 dB at 10.68 GHz shows that the synthesized Ni-SiO₂ microwave absorbing material has the ability to absorb waves up to 97% at a frequency of 10.68 GHz. This result was achieved by adding Ni ions of 1.0 g/25 mL TEOS.

© 2018 Universitas Negeri Semarang

p-ISSN 2088-1509

[✉] Alamat korespondensi:
E-mail: siti-war@batan.go.id

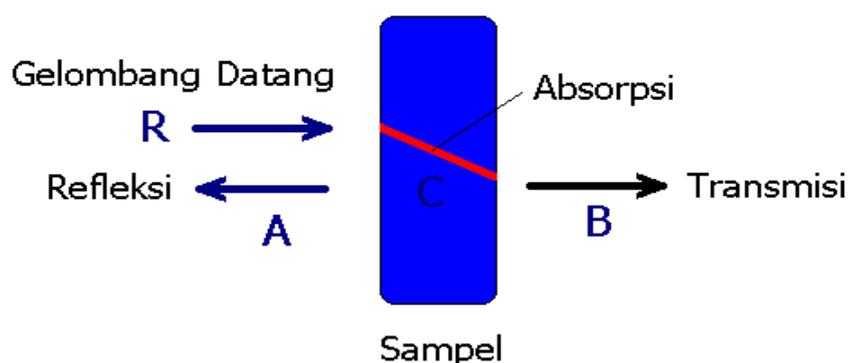
PENDAHULUAN

Penggunaan gelombang elektromagnetik dewasa ini telah meluas di berbagai bidang diantaranya di bidang telekomunikasi, militer maupun sipil. Pesatnya peningkatan kuantitas penggunaan serta kecenderungan pergeseran frekuensi ke ranah Gigahertz (GHz) juga berakibat pada peningkatan *electromagnetic interference (EMI)*. Keberadaan *EMI* mengakibatkan terganggunya kinerja alat-alat yang menggunakan gelombang mikro, antara lain seperti alat kesehatan, wireless, sistem radar, satelit komunikasi dan antena. Material penyerap gelombang dengan frekuensi penyerapan yang beragam dianggap sebagai solusi efektif bagi penanggulangan efek dari *EMI*, oleh karena itu material penyerap gelombang mikro (*microwave absorber*) menjadi topik yang sangat menarik. Saat ini pengembangan material penyerap gelombang terpusat pada dua hal yakni sebagai penangkal interferensi gelombang elektromagnetik (*electromagnetic interference/EMI*) dan sebagai *radar absorbing materials (RAM)*. Salah satu tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan material penyerap gelombang mikro yang murah, akan tetapi tetap memiliki kinerja penyerapan yang baik. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh bahan penyerap gelombang mikro adalah bahan tersebut harus memiliki 2 (dua) sifat yaitu magnetik dan elektrik, yang diperoleh dari dua bahan berbeda yang bisa menyerap resonansi (Kong I dkk., 2010). Untuk mencapai tujuan tersebut pada penelitian ini dilakukan penyematan bahan nano partikel magnetik sebagai bahan yang bersifat magnet ke dalam bahan katalis yang bersifat elektrik.

Pada pembuatan bahan penyerap gelombang mikro, ada beberapa parameter yang perlu dipertimbangkan, antara lain ketebalan, kandungan pengisi (*filler*), jenis pengisi, ketahanan lingkungan dan kekuatan mekanik. Bahan *filler* yang saat ini dikembangkan untuk penyerap gelombang mikro adalah bahan katalis seperti TiO_2 , SiO_2 , dan ZnO , karena bahan tersebut ramah lingkungan dan banyak terdapat di alam. Pada penelitian ini dipilih bahan katalis SiO_2 karena bahan ini berporous dan bersifat amorf sehingga mempunyai daya serap lebih tinggi dibandingkan dengan TiO_2 maupun ZnO yang bersifat kristalin (Il'ves, V. G. dkk., 2015; Wardiyati S. dkk., 2017), dan keberadaannya di Indonesia sangat melimpah. Bahan magnet yang dapat digunakan sebagai bahan penyerap gelombang mikro antara lain Fe, Ni, Nd dan lain sebagainya. Pada penelitian ini digunakan Ni karena Ni bersifat anti korosi yang sangat baik, tahan suhu tinggi, ketahanan aus tinggi dan mempunyai kekerasan tinggi (Pollock, T. M., 2006).

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk pembentukan bahan penyerap gelombang mikro, diantaranya dengan cara evaporasi, *ball milling*, *sputtering*, *ion exchange* and sol-gel (Fonseca, F. C. dkk 2002). Metode sol-gel digunakan karena metode sol-gel prosesnya sederhana, mudah dikontrol dan tidak perlu suhu tinggi. Faktor faktor yang berpengaruh pada pembuatan komposit Ni- SiO_2 secara sol-gel diantaranya pH larutan, perbandingan ion Ni dengan SiO_2 dan jumlah penambahan ethylen glycol yang digunakan untuk proses polimerisasi. Parameter yang dipelajari adalah pengaruh perbandingan ion Ni terhadap SiO_2 , karena faktor ini sangat berperan terhadap hasil yang diperoleh seperti pola difraksi, struktur molekul, sifat magnetik yang kesemuanya ini berpengaruh terhadap serapan gelombang bahan yang dihasilkan.

Proses penyerapan gelombang oleh *microwave absorbing material* dapat digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses penyerapan gelombang oleh *microwave absorbing material*

Gelombang datang mengenai sample (*microwave absorbing material*), ada 3 (tiga) kemungkinan yaitu gelombang tersebut diserap oleh bahan absorber, dipantulkan (*reflection*) dan diteruskan (*transmission*). Gelombang tersebut terserap semuanya oleh *microwave absorbing material* dan tidak ada yang di transmisikan (diteruskan). Untuk mengetahui berapa persentase gelombang yang terserap oleh *microwave absorbing material* dapat ditentukan dengan menghitung besarnya *reflection loss* (RL), dimana nilai besarnya *reflection loss* ini akan menunjukkan kemampuan serap dari bahan tersebut. Berdasarkan teori *reflection loss* radiasi elektromagnetik RL (dB) dalam gelombang normal pada permukaan material lapis tunggal dengan sebuah penghantar sempurna dapat didefinisikan pada persamaan 1, 2, dan 3: (Gunanto, Y. E. dkk 2016)

$$RL(dB) = 20 \log \left| \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \right| \quad [1]$$

$$Z_{in} = \left(\frac{\mu_r}{\epsilon_r} \right)^{\frac{1}{2}} \tanh \left[j \left(\frac{2\pi f d}{c} \right) (\mu_r \epsilon_r)^{\frac{1}{2}} \right] \quad [2]$$

$$Z_0 = (\mu_0 / \epsilon_0)^{1/2} \sim 377 \Omega \quad [3]$$

dengan Z_{in} , Z_0 , μ_0 , ϵ_0 , μ_r , ϵ_r , f , c , dan d berturut-turut adalah impedansi bahan absorber, impedansi gelombang EM (*electro magnetic*) di udara, permeabilitas udara, permitivitas udara, permeabilitas relatif bahan, permitivitas relatif bahan, frekuensi, kecepatan cahaya, dan ketebalan bidang absorpsi bahan. Z_{in} adalah normalisasi input impedansi yang sama dengan rasio Z_{in} terhadap Z_0 . Kondisi impedansi yang *matching* jika $Z_0 = Z_{in}$ yang merepresentasikan sifat penyerapan sempurna. Besarnya RL (*reflection loss*) yang diperoleh akan menunjukkan nilai persentase penyerapan, *bila nilai RL 10 dB* berarti penyerapan gelombang dapat mencapai 90 %, dan jika *nilai RL 20 dB* berarti penyerapan gelombang mencapai 99 %.

METODE

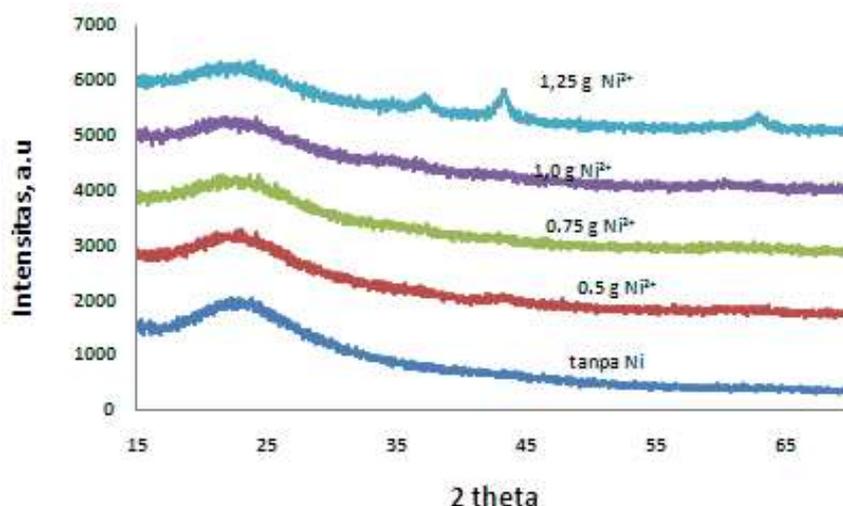
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Tetraethyl orthosilicate (TEOS), nikel (II) nitrat ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$) sebagai prekursor, asam citrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$), ethylen glycol, asam klorida (HCl), ethanol dan air demineralisasi. Bahan-bahan tersebut langsung digunakan tanpa perlakuan terlebih dahulu. Peralatan percobaan yang digunakan adalah pengaduk magnetik yang dilengkapi dengan pemanas, pompa peristaltik, tanur, dan alat penggerus (mortal).

Pembuatan *microwave absorbing material* berbasis Ni-SiO₂ dengan metode sol-gel dilakukan dengan cara sebagai berikut; 5 gram citrat dilarutkan ke dalam 50 ml ethanol, kemudian ditambahkan 25 ml TEOS dan nikel nitrat dengan berat Ni bervariasi secara bersamaan, aduk larutan agar homogen (pada suhu kamar). Selanjutnya pada larutan tersebut ditambahkan ethylen glycol untuk proses polimerisasi pada suhu $\leq 100^{\circ}\text{C}$. Gel yang terbentuk dipanaskan pada suhu 100°C selama 2 jam untuk mendapatkan padatan kering. Padatan yang terbentuk dikalsinasi pada suhu 300°C selama 6 jam, kemudian dihaluskan menggunakan mortal dan selanjutnya dipirolysis pada suhu $600^{\circ}\text{C} - 800^{\circ}\text{C}$ (Fonseca, F. C. dkk 2002; Gao, H., & Junling 2010; Azlina, H. N. dkk 2016). Pada percobaan ini berat ion Ni divariasi agar diperoleh *microwave absorbing material* yang bersifat amorf, berukuran nano, bersifat magnetik dan mampu menyerap gelombang pada daerah 8 – 12 GHz. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan variasi jumlah ion Ni terlarut dari 0,0; 0,5 g; 0,75 g; 1,0 g dan 1,25 g per 25 ml TEOS. Dasar percobaan ini mengacu percobaan pembuatan SiO₂ secara sol-gel dengan menggunakan prekursor TEOS yang telah dilakukan sebelumnya (Wardiyati, S. dkk, 2017).

Analisa sampel hasil sintesis dilakukan dengan menggunakan peralatan : *X-ray diffractometer (XRD)* merk *PAN Analytical* dengan sumber radiasi Cu-K α pada kisaran sudut pengukuran (2θ) antara 15 – 70 derajat untuk mengetahui fasa yang terbentuk; *TEM* merk *JEOL* untuk melihat morfologi dan ukuran partikel; *VSM* merk *OXFORD 1.2T* untuk mengetahui sifat magnetik sampel yaitu berupa nilai saturasi magnetisasi dan koersivitas magnetik; *FTIR* merk *Bruker Tensor 25* pada kisaran bilangan gelombang pengukuran $400\text{ cm}^{-1} - 4000\text{ cm}^{-1}$ untuk mengetahui jenis ikatan yang terjadi; dan *VNA* merk *Advatest-R3370* 300 KHz - 20 GHz untuk mengetahui nilai *reflection loss (RL)* dan kisaran frekuensi penyerapan bahan penyerap gelombang mikro Ni-SiO₂ yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi fasa bahan absorber Ni-SiO₂ hasil sintesis secara sol-gel dengan berbagai perbandingan ion Ni terhadap SiO₂ dengan menggunakan alat XRD ditunjukkan pada Gambar 2.

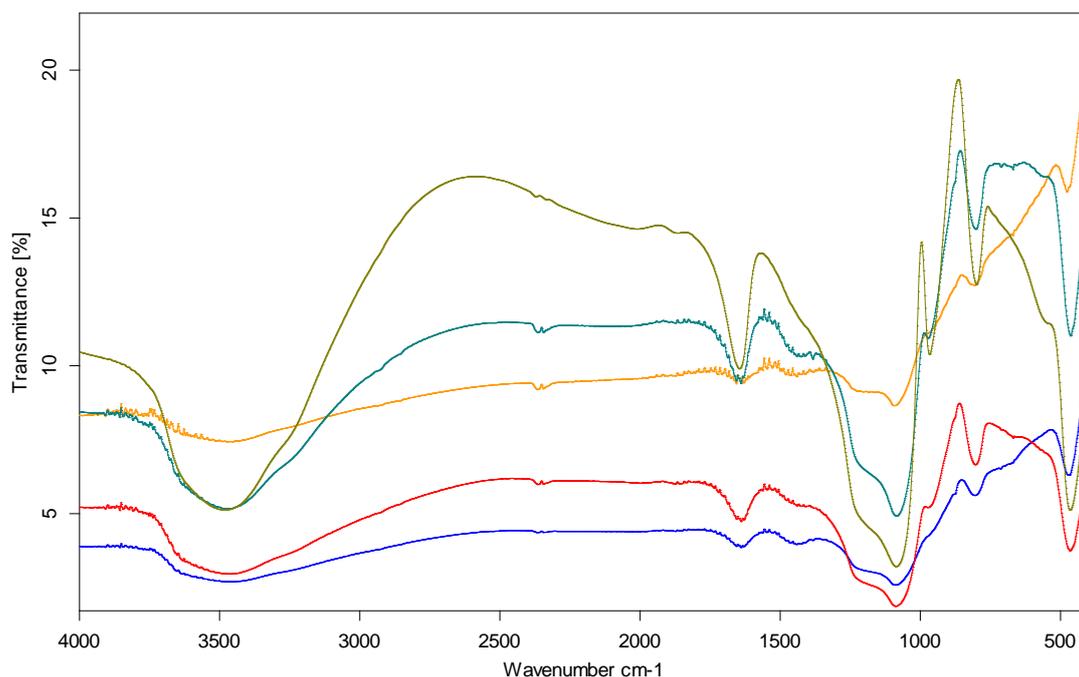


Gambar 2. Pola difraksi Ni-SiO₂ dengan berbagai variasi perbandingan berat Ni dalam larutan

Pada Gambar 2 terlihat pola difraksi Ni-SiO₂ dengan variasi jumlah ion Ni dalam larutan yaitu 0,0; 0,5 g; 0,75 g; 1,0 g dan 1,25 g. Pada gambar tersebut terlihat bahwa dengan penambahan Ni dari 0,5 – 1,0 g tidak mengalami perubahan pola difraksi dari bahan tersebut, yang berarti pola difraksi Ni-SiO₂ yang dihasilkan sama dengan pola difraksi SiO₂ tanpa Ni yaitu bersifat amorf. Akan

tetapi pada penambahan Ni 1,25 g ditemukan puncak baru pada sudut $2\theta = 36,5; 42,7$ dan $62,5^\circ$. Puncak pada sudut $2\theta = 36,5^\circ$ merupakan puncak NiO (M. El-Kemary et al, 2013). Dari hasil karakterisasi dengan XRD menunjukkan bahwa penambahan Ni pada pembuatan bahan penyerap gelombang mikro Ni-SiO₂ tidak boleh melebihi dari 1,0 g ion Ni, karena bila penambahan ion Ni melebihi dari 1,0 g akan muncul puncak (kristalin) selain puncak SiO₂ yang akan menghasilkan komposit semikristalin.

Karakterisasi berikutnya yang dilakukan adalah untuk mengetahui adanya ion Ni dan jenis ikatan yang terjadi pada bahan penyerap gelombang mikro Ni-SiO₂ yang dihasilkan dengan menggunakan alat FTIR. Analisis Ni-SiO₂ hasil sintesis dengan FTIR ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3, terlihat spektrum FTIR SiO₂ murni dan Ni-SiO₂ hasil sintesis dengan variasi jumlah ion Ni. Pengamatan dilakukan pada bilangan gelombang 400 cm⁻¹ – 4000 cm⁻¹



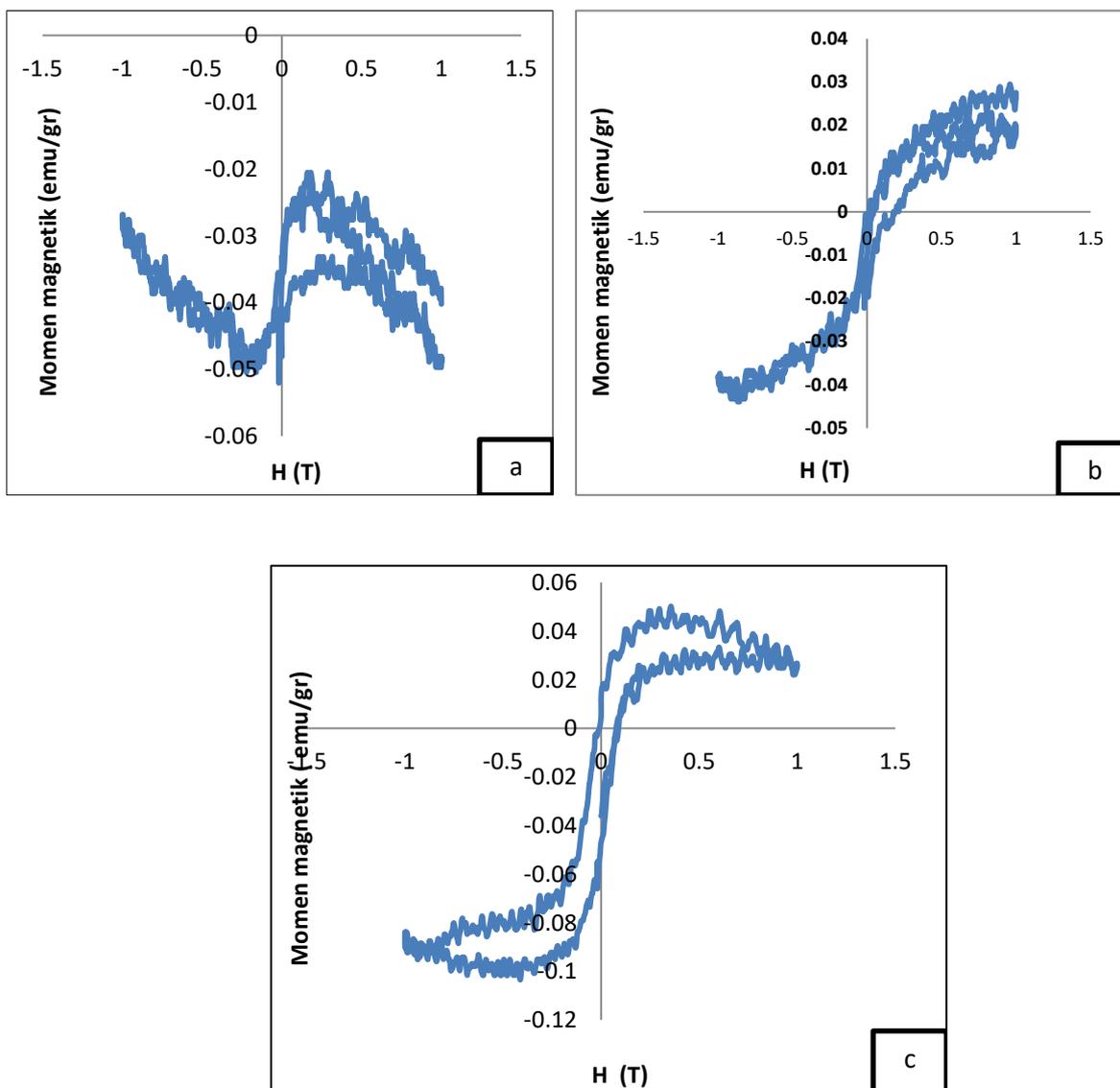
Gambar 3. Spektrogram FTIR SiO₂ murni dan Ni-SiO₂ dengan variasi jumlah ion Ni

Pada Gambar 3 terlihat adanya perbedaan spektrogram SiO₂ murni dan Ni-SiO₂ dengan variasi jumlah ion Ni, akan tetapi kesemua spektrogram pada Gambar 2 terdapat spektrum pada bilangan gelombang 1100 cm⁻¹ yang merupakan stretching Si-O yang menunjukkan bahwa SiO₂ telah terbentuknya (Luna-López, J. A., and Carrillo-López, J. 2009), sedangkan dengan penambahan ion Ni muncul spektrum pada bilangan gelombang sekitar 1400 cm⁻¹ yang merupakan stretching Ni-O dan pada bilangan gelombang sekitar 3650 cm⁻¹ yang merupakan stretching Ni(OH)₂, hal ini menunjukkan bahwa Ni telah tertanam pada SiO₂ (Khaleed, A. A. dkk, 2017)

Sifat karakteristik lainnya yang perlu diperhatikan dalam mensintesis microwave absorbing material adalah saturasi magnetik (Ms) dan koersitivitas magnetik (Hc) bahan yang dihasilkan. Untuk mengetahui sifat magnetik bahan absorber Ni-SiO₂ hasil sintesis dilakukan karakterisasi terhadap bahan tersebut dengan menggunakan alat VSM merk OFORD 1,2 T. Karakterisasi dilakukan di laboratorium Bidang Sains Bahan Maju PSTBM BATAN Serpong. Hasil karakterisasi dengan menggunakan alat VSM ditunjukkan pada Gambar 4.

Pada Gambar 4 terlihat bahwa jumlah ion Ni berpengaruh terhadap sifat magnet dari Ni-SiO₂ hasil sintesis, semakin tinggi jumlah ion Ni semakin tinggi pula saturasi magnetik dan

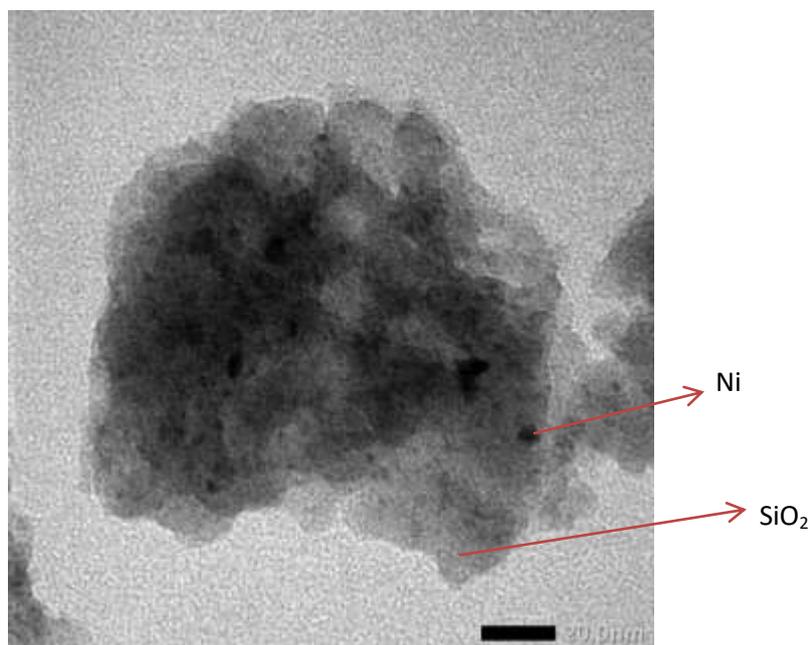
koersifitas magnetiknya. Pada penggunaan ion Ni 10 g memberikan hasil yang cukup bagus dimana dari kurve histerisis terlihat bahwa Ni-SiO₂ yang dihasilkan mempunyai nilai saturasi magnetik sebesar 0,0455 emu/g dan koersivitas magnetik sebesar 0,0738 T. Koersivitas bahan absorber magnetic Ni-SiO₂ hasil sintesis ini mempunyai nilai lebih tinggi bila dibandingkan dengan koersivitas bahan absorber magnetic Fe-SiO₂ yang di sintesis secara sol-gel dengan menggunakan prekursor TEOS yang dilakukan oleh Luo, G. dkk (2011). Dari data ini menunjukkan bahwa Ni telah tertanam pada bahan microwave absorbing material berbasis Ni-SiO₂ hasil sintesis.



Gambar 4. Kurve histerisis *microwave absorber magnetic* Ni-SiO₂ dengan variasi jumlah ion Ni, [a] 0,5 g; [b] 0,75 g dan [c] 1,0 g

Analisis struktur dengan menggunakan TEM dilakukan untuk membuktikan telah tertanamnya Ni pada SiO₂. Selain struktur bahan, dengan alat TEM dapat diperoleh informasi

ukuran partikel Ni-SiO₂ hasil sintesis. Hasil karakterisasi *microwave absorbing material* Ni-SiO₂ dengan menggunakan TEM ditunjukkan pada Gambar 5

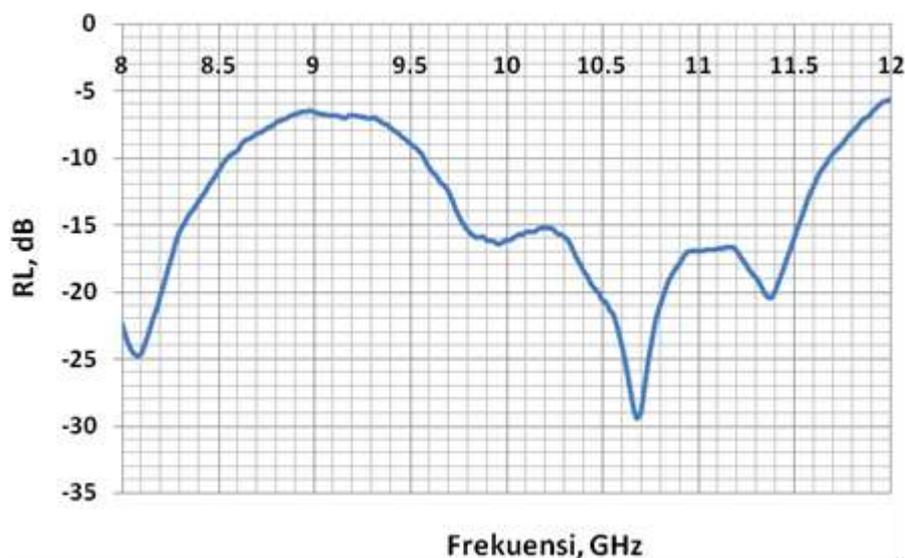


Gambar 5. *Transmission Electron Microscope* partikel Ni yang tertanam pada matrik SiO₂

Pada Gambar 5 terlihat adanya partikel Ni (warna gelap) yang tertanam pada matrik SiO₂ (warna abu abu) dengan ukuran partikel sangat kecil yaitu < 10 nm, hal ini menunjukkan bahwa pembentukan bahan absorber magnetik Ni-SiO₂ telah berhasil. Ukuran partikel Ni yang tertanam dalam matrik SiO₂ ini bila dibandingkan dengan percobaan yang dilakukan oleh Fonseca, F. C. dkk (2002) tidak jauh berbeda, meskipun ukuran partikel Ni yang tertanam ke matrik SiO₂ terlihat kurang homogen, hal ini dimungkinkan karena faktor pengadukan yang kurang cepat atau kurang stabil. Dan bila dibandingkan dengan percobaan pembuatan Ni-SiO₂ secara kombinasi antara sol-gel dan reduksi hidrogen yang dilakukan oleh Peng, K. dkk (2008) dan He, S. dkk (2015) ukuran partikel Ni-SiO₂ hasil sintesis ini lebih kecil dimana ukuran partikel Ni-SiO₂ yang diperoleh oleh Peng, K. dkk (2008). dan He, S. dkk (2015) yaitu berkisar 30 - 40 nm.

Uji bahan absorber magnetik Ni-SiO₂ hasil sintesis dapat berfungsi sebagai absorber dilakukan dengan menggunakan alat VNA. Pengujian serapan dilakukan pada kisaran gelombang 8 - 12 GHz, karena kisaran gelombang tersebut merupakan gelombang *RAM (Radar absorber magnetic)* (Mušić, B. dkk 2011). Hasil pengujian serapan Ni-SiO₂ hasil sintesis ditunjukkan pada Gambar 5.

Pada Gambar 6 terlihat bahwa *microwave absorber magnetik* Ni-SiO₂ hasil sintesis mempunyai *reflection loss (RL)* -29,4 dB pada frekuensi 10,68 GHz dengan tebal absorber 1,0 mm. Nilai *(RL)* -29,4 dB menunjukkan bahwa bahan absorber tersebut mampu menyerap gelombang pada frekuensi terukur sebesar > 99,87 % [Marki microwave]. Data ini jauh lebih bagus dibandingkan dengan percobaan pembuatan *microwave absorbing material* berbasis Ni-SiO₂ yang dilakukan oleh Wong, B. dkk (2011), dimana *reflection loss (RL)* yang diperoleh -20 dB pada kisaran frekuensi 2.6-8.9 GHz dengan tebal absorber 2.0-5.6 mm. Dari hasil karakterisasi dengan VNA menunjukkan bahwa pembuatan bahan absorber Ni-SiO₂ secara sol-gel dengan menggunakan TEOS dan Ni(NO₃)₂ pada penelitian ini telah berhasil.



Gambar 6. Frekuensiserapa dan reflection loss Ni-SiO₂ hasil sintesis

SIMPULAN

Microwave absorbing material berbasis Ni-SiO₂ telah berhasil disintesis melalui metode sol-gel dengan menggunakan prekursor TEOS dan Ni(NO₃)₂. Jumlah penambahan ion Ni sangat berpengaruh terhadap fasa dan sifat magnetik Ni-SiO₂ yang dihasilkan. Penambahan ion Ni optimum dicapai pada 1,0 g/25 ml TEOS, dimana pada kondisi tersebut bahan absorber magnetik Ni-SiO₂ yang dihasilkan mempunyai struktur amorf SiO₂ dengan ukuran partikel < 10 nm, saturasi magnetik 0,0455 emu/g, koersivitas magnetik sebesar 0,0738 T, dan besarnya *Reflection loss (RL)* – 29,4 dB pada frekuensi 10,68 GHz dengan tebal absorber 1,0 mm. Nilai (*RL*) -29,4 dB menunjukkan bahwa bahan absorber tersebut mampu menyerap gelombang pada frekuensi terukur sebesar > 99,87 %.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan selesainya penelitian ini kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu hingga penulisan makalah ini selesai. Penelitian ini didanai oleh dana DIPA 2015 dan 2016 dengan judul kegiatan “Bahan smart magnetik berbasis sumber daya alam lokal untuk aplikasi industri menggunakan teknik nuklir”, Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir, BATAN.

REFERENSI

- Azlina, H. N., Hasnidawani, J. N., Norita, H., and Surip, S. N. (2016). Synthesis of SiO₂ Nanostructures using sol-gel method. *Acta Physica Polonica A*, Vol:129
- El-Kemaryn, M., Nagy, N., El-Mehasseb, I. 2013. Nickel oxide nanoparticles: Synthesis and spectral studies of interactions with glucose. *Materials Science in Semiconductor Processing* 16, pp.1747–1752
- Fonseca, F. C., Goya, G. F., and Jardim, R. F., (2002). Superparamagnetism and magnetic properties of Ni nanoparticle embedded in SiO. *Physical review B* 66, 104406
- Gao, H., & Junling, (2010). Nanoscale Silicon Dioxide prepared by solgel process, *Modern Applied Science*, 4(9), September 2010
- Gunanto, Y. E., Jobiliong, E., Adi, W. A. (2016). Microwave Absorbing Properties of BaO.6 SrO 4 Fe12-z Mnz O19 (z=3) Material in Xband Frequencies. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, 48(1)55-65.

- He, S., Zhang, L., He, S., Mo, L., Zheng, X., Wang, H., and Luo, Y. (2015). Ni/SiO₂ Catalyst Prepared with Nickel Nitrate Precursor for Combination of CO₂ Reforming and Partial Oxidation of Methane: Characterization and Deactivation Mechanism Investigation. Hindawi Publishing Corporation Journal of Nanomaterials Volume 2015, Article ID 659402, 8 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2015/659402>
- Il'ves, V. G., Zuev, M. G., Sokovnin, S. Y. (2015). Properties of Silicon Dioxide Amorphous Nanopowder Produced by Pulsed Electron Beam Evaporation, Journal of Nanotechnology Volume 2015, Article ID 417817, 8 pages
- Khaleed, A. A., Bello, A., Dangbegnon, J. K. (2017). Effect of activated carbon on the enhancement of CO sensing performance of NiO, Journal of Alloys and Compounds. 694, 155-162
- Kong, I., Ahmad, R. H., Abdullah, M. H., Hui, D., Yusoff, A. N., Puryanti, D. (2015). Magnetic and microwave absorbing properties of magnetite–thermoplastic natural rubber nanocomposites, Journal of Magnetism and magnetic materials, November 2015, 322(21): 3401-3409
- Luo, G., Zhu, S., Zhao, J., Wang, Y. (2011). In situ synthesis of magnetic mesoporous silica via sol–gel process coupled with precipitation and oxidation. Particuology 9(1):56–62.
- Luna-López* J. A., Carrillo-López, J. (2009). FTIR and photoluminescence of annealed silicon rich oxide films, Superficies y Vacío 22(1):11-14, marzo de 2009
- Markimicrowave, www.markimicrowave.com. 215 Vineyard Court, Morgan Hill, CA 95037
- Mušič, B., Žnidaršič, A., and Venturini, P. (2011). Electromagnetic absorbing materials. Informacije MIDEM 41, 2, Ljubljana. UDK621.3:(53+54+621+66), ISSN0352-9045
- Peng, K., Zhou, L., Hu, A., Tang, Y., Li, D. (2008). Synthesis and magnetic properties of Ni–SiO₂nanocomposites. Materials Chemistry and Physics 15 September 2008, 111(1): 34-37
- Pollock, T. M., and Tin, S. (2006). Nickel-Based Superalloys for Advanced Turbine Engines: Chemistry, Microstructure, and Properties”. Journal of propulsion and power 22(2) March–April 2006
- Wardiyati, S., Adi, W. A., and Deswita (2017). Synthesis and Characterization of Microwave Absorber SiO₂ by Sol-Gel Methode. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 202 012059.
- Wardiyati, S., Fisli, A., and Yunasfi, 2017. Influence of catalyst concentration on characteristic of SiO₂ synthesized by sol-gel method. Presented on MRS-INA C&C 2017, Yogyakarta 8-12 Oktober 2017
- Wong, B., Wang, T., Chao, L. and Li, F. (2011). Synthesis and Microwave Absorbing Properties of Ni/SiO₂Core/Shell Particle, Advanced Materials Research. Vol:160-162, pp. 945-950