

## VARIASI PENAMBAHAN $\text{Fe}_3\text{O}_4$ PADA PADUAN PANi/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ SEBAGAI BAHAN PENYERAP GELOMBANG MIKRO

Deriyana Tri Rahmawati

S1 Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: [dderiyana@yahoo.co.id](mailto:dderiyana@yahoo.co.id)

Diah Hari Kusumawati, M.Si<sup>1</sup>, Lydia Rohmawati, M.Si<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Dosen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

### Abstrak

Material RAM telah banyak diteliti sebelumnya, terutama mengarah ke material paduan berbahan dasar polimer. Dalam hal ini polimer yang digunakan adalah PANi yang dipadukan dengan material lain, dimana material tersebut mempunyai sifat magnetik, karena pada dasarnya material yang bisa digunakan sebagai material penyerap gelombang mikro (RAM) adalah material yang mempunyai sifat listrik dan magnetik. PANi disintesis dengan menggunakan metode polimerisasi oksidasi, sedangkan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi dan paduan PANi/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  disintesis dengan cara menambahkan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan variasi massa 0.10 gram; 0.15 gram; dan 0.20 gram dengan pembebanan sebesar 45 kN. Hasil karakterisasi PANi dengan FTIR, menunjukkan bahwa sampel yang dibuat sesuai dengan gugus fungsi PANi. Begitu pula untuk karakterisasi XRD pada  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , menunjukkan bahwa hasil puncak-puncak kristal tersebut sesuai dengan bidang kristal  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan diperoleh ukuran partikel sebesar  $24,50 \pm 0,79$  nm. Sedangkan, komposit PANi/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dilakukan beberapa karakterisasi diantaranya SEM EDS, LCR Meter dan VNA. Dari hasil karakterisasi SEM EDS diperoleh PANi dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  tersebut tersebar merata setelah dilakukan pencampuran dengan sistem mekanik. Nilai konduktivitas listrik yang didapat dari karakterisasi LCR Meter sebesar  $2,5 \times 10^{-3}$  S/cm pada frekuensi 1 kHz. Hasil karakterisasi VNA menunjukkan nilai *reflection loss* maksimum terjadi pada sampel dengan penambahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  0.20 gram sebesar -12.6 dB pada frekuensi 15.7 GHz dengan nilai koefisien absorpsi sebesar 99.21%.

**Kata kunci:** PANi,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , *reflection loss*, koefisien absorpsi.

### Abstract

RAM material has been investigated before, especially for polymer based alloy material. In this case, alloy of PANi and other material that has magnetic properties was used as polymer, since fundamentally, only material that has electric and magnetic properties can be used as microwave absorbing material. PANi was synthesized by using oxidation polymerization method, meanwhile,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  was synthesized by using coprecipitation method and PANi/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  was synthesized by inserting  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  with mass variation, they were 0.10 gram; 0.15 gram; and 0.2 gram at 45 kN loading. Characterization result of PANi showed that sample was appropriate with PANi's cluster function. The XRD characterization of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  showed that peaks of crystal was appropriate with crystal area of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  and particle size obtained was  $24.5 \pm 0.79$  nm. Some characterization of PANi/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  alloy was done, they were SEM EDS, LCR Meter and VNA. SEM EDS characterization showed that PANi and  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  was distributed well after mechanical system was done. Conductivity mixing process by value was  $2.5 \times 10^{-3}$  S/cm at 1 kHz. VNA characterization showed that maximum reflection loss value was -12.6 dB occurred at sample with addition of 0.20 gram  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  at 15.7 GHz with absorption coefficient 99.21%.

**Keywords :** PANi,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , *reflection loss*, absorption coefficient.

### 1. PENDAHULUAN

Sains teknologi yang berkembang secara intensif di kalangan internasional telah banyak menghasilkan *smart magnetic materials*. Bahan-bahan yang termasuk dalam kategori ini, salah satu diantaranya adalah material pengabsorpsi gelombang mikro (*radar absorber material*). *Radar Absorber Material* (RAM) merupakan bahan yang dapat mendeteksi posisi benda dengan menggunakan *microwave* atau gelombang radio. Umumnya radar digunakan untuk angkatan udara maupun angkatan laut, sebagai pendeteksi kapal maupun pesawat asing yang masuk ke wilayah suatu negara.

Penyerap magnetik (*magnetic absorber*) tergantung pada efek histerisis magnetik, yang dapat diperoleh jika polimer ditambah dengan partikel seperti ferrit. Sampai saat ini material berupa batuan besi masih menjadi pilihan material yang sangat baik digunakan sebagai material penyerap magnetik pada gelombang mikro. Oleh sebab itu, pada penelitian ini, dilakukan pemanfaatan mineral berupa batuan besi sebagai material yang ditambahkan pada material paduan penyerap gelombang mikro. Batuan besi tersebut disintesis menjadi partikel magnetik, seperti  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Besi yang teroksidasi seperti  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  mempunyai permitivitas dan permeabilitas yang sangat tinggi. Bahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  bersifat ferrimagnetik

yang dalam keadaan murni nilai magnetisasi jenuhnya dapat mencapai 65 emu/g (Astuti, 2012).

Partikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ini memiliki kemampuan untuk menyerap gelombang mikro (Feng YB, 2007), namun medan koersivitas (Hc) yang dimiliki bahan tersebut terlalu tinggi. Tingginya nilai medan koersivitas menyebabkan sifat anisotropik material semakin meningkat sehingga sifat absorpsinya menjadi semakin lemah.

Untuk mengatasi masalah tersebut, ion besi dapat dengan cara membuat Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> berukuran mencapai orde nano, sehingga menurunkan nilai medan koersivitas. Dengan semakin kecilnya ukuran nanopartikel magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) maka akan terjadi penurunan energi *barrier* (energi anisotropi) pada partikel tersebut. Oleh karena itu, medan koersivitas (Hc) yang dimiliki akan semakin kecil, sehingga medan yang diperlukan semakin kecil untuk membuat magnetisasinya nol.

*Radar Absorbing Material* (RAM) saat ini banyak dikembangkan oleh peneliti. Salah satu diantaranya adalah penelitian tentang penggunaan polimer konduktif untuk meningkatkan kualitas RAM. Polimer konduktif menunjukkan sifat khusus dibandingkan dengan logam lainnya yang dapat mengurangi refleksi dan dapat menyerap radiasi elektromagnetik (Feng YB, 2007). Polianilin (PANi) merupakan salah satu polimer konduktif yang menarik dikaji karena PANi memiliki sifat yang unik, antara lain memiliki stabilitas termal yang baik dan konduktivitas yang tinggi. Jika dibandingkan dengan polimer konduktif lainnya PANi lebih mudah disintesis baik secara elektrokimia maupun secara kimia.

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Astuti, 2012), maka pada penelitian ini dikembangkan paduan berbasis PANi dengan menggunakan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sebagai bahan yang ditambahkan kedalam PANi. Pada sampel, diberikan variasi penambahan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> terhadap paduan PANi/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> untuk mengetahui pengaruh Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> pada karakteristik penyerap gelombang mikro. Oleh karenanya peneliti menggunakan judul **“VARIASI PENAMBAHAN Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> PADA PADUAN PANi/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> SEBAGAI BAHAN PENYERAP GELOMBANG MIKRO”**

## 2. METODE

Pada penelitian kali ini melalui 3 tahap, dimana tahap pertama yaitu sintesis PANi dengan menggunakan metode polimerisasi oksidasi. Pembuatan polianilin ini merujuk pada penelitian sebelumnya (Chomari, 2011).

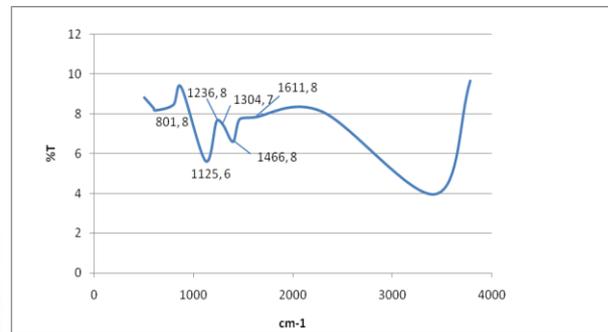
Tahap kedua yaitu sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dari pasir besi Lumajang dengan menggunakan metode kopresipitasi yang mengacu juga pada penelitian (Chomari, 2011).

Tahap yang ketiga yaitu menambahkan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, dengan variasi penambahan berkisar antara (0.10–0.20) gram. Adapun langkah yang dilakukan yaitu setelah PANi dicampurkan dengan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> kemudian dikompaksi dengan tekanan sebesar 45 kN, sehingga hasil akhir yang diperoleh berupa tablet dengan ketebalan 0.3 cm dan diameter 1.2 cm. Dan dilanjutkan dengan menguji sampel dengan uji FTIR, XRD, SEM EDS, LCR Meter dan VNA.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Hasil Hasil Karakterisasi PANi dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Uji spektroskopi FTIR bertujuan untuk melihat gugus fungsional sampel PANi yang telah disintesis dan untuk menentukan tingkat oksidasi PANi. Dibawah ini merupakan grafik hasil karakterisasi PANi dengan FTIR.



Gambar 1. Hasil Uji FTIR

Pola serapan (absorpsi) pada sebuah bilangan gelombang mengidentifikasi jenis ikatan (gugus fungsi) yang dimilikinya. Ikatan C-H pada polianilin terjadi pada gelombang 900-675 cm<sup>-1</sup>, terlihat bahwa polianilin hasil sintesis mempunyai pola serapan yang berada pada rentang tersebut. Serapan pada bilangan gelombang 1125.6 cm<sup>-1</sup> merupakan ikatan C-N *stretch of benzenoid ring*, dan pada gelombang 1304.7 cm<sup>-1</sup> merupakan ikatan C-N *stretch of Q-B-Q*.

Tabel 1. Perbandingan hasil eksperimen dengan hasil referensi (Zuhri, A.A, 2013)

Eks. (cm <sup>-1</sup> )	Ref. (cm <sup>-1</sup> )	Database (cm <sup>-1</sup> )	Jenis Ikatan	Gugus Fungsi
801.8	805	900 – 675	C - H Bending	Aromatics
1125.6	1131	1250 – 1020	C - N stretch of benzenoid ring	aliphatic amines
1236.8	*1239.8			
1304.7	1302	1335 – 1250	C - N stretch of Q - B - Q	aromatic amines
1466.8	1474	1500 - 1400	C = C benzenoid ring stretch (N - B - N)	aromatics
1611.8	1613	1600 – 1585	C = N stretch of quinoid ring (N=Q=N)	

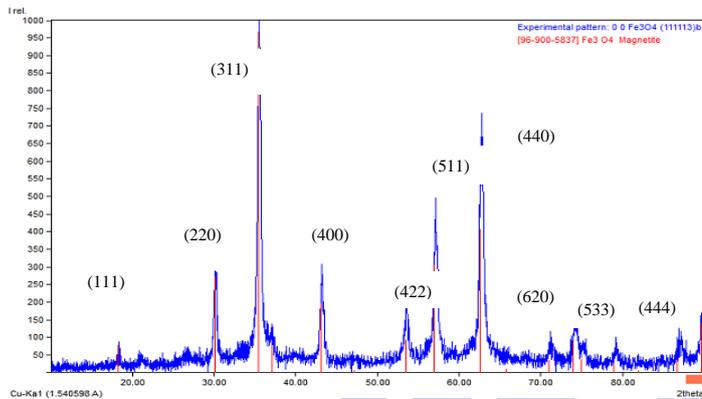
\*referensi (Wahyuni, 2012)

Munculnya penyerapan kuat pada 1125.6 cm<sup>-1</sup> (*stretch of benzenoid ring*) ini merupakan salah satu ciri khas PANi pada kondisi konduktif berupa garam emeraldin (emeraldine salt) (Wahyuni, 2012). Pada bilangan gelombang 1466.8 cm<sup>-1</sup> yang merupakan ikatan C=C *benzenoid ring stretch (N-B-N)* terjadi pergeseran sebesar 7.2 cm<sup>-1</sup> dari referensi. Pada bilangan gelombang 1611.8 cm<sup>-1</sup> yang merupakan ikatan C=N *stretch of*

quinoid ring ( $N=Q=N$ ) terjadi pergeseran yang cukup mendekati yaitu  $1.2 \text{ cm}^{-1}$  dari referensi. Sehingga dengan demikian secara kualitatif polianilin (PANi) hasil sintesis berupa garam emeraldin relatif sama.

**b. Hasil Karakterisasi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan XRD**

Pengujian XRD digunakan sebagai karakterisasi pertama yang dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui komposisi fasa dan besarnya ukuran kristal dari Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sampel dengan metode kopersipitasi.



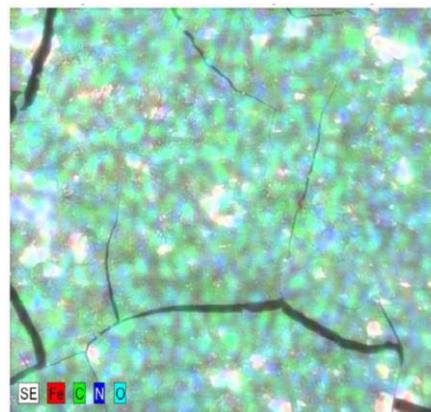
Gambar 2. Hasil Uji XRD

Dari Gambar 2 diatas menunjukkan dimana berdasarkan hasil *searchmatch* didapatkan kecocokan antara data XRD pasir besi hasil sintesis dengan data XRD Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang mana Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> hasil sintesis teridentifikasi memiliki struktur kubik melalui analisis *software reitica*. Puncak-puncak karakterisasi terjadi pada  $2\theta = 30.17^{\circ}$ ,  $35.46^{\circ}$ ,  $43.38^{\circ}$ ,  $53.69^{\circ}$ ,  $57.23^{\circ}$  dan  $62.77^{\circ}$ , yang mana masing-masing sesuai dengan bidang kristal (111), (220), (311), (400), (422), (511), (440), (620), (533), (444), (642) hal tersebut berdasarkan referensi dari (Chomari, 2011). Dari hasil analisis menggunakan *software reitica* didapatkan ukuran partikel  $24.50 \pm 0.79 \text{ nm}$ .

**c. Hasil Karakterisasi dengan SEM EDS**

Hasil foto SEM pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui struktur morfologi dari PANi/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Pengamatan mikrografi dari sampel ditunjukkan pada Gambar 3. Pada gambar berdasarkan analisa mapping SEM menunjukkan kandungan dari bahan pengisi komposit PANi/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> mengandung elemen utama Fe dan O dimana merupakan elemen utama dari Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sedangkan C dan N merupakan elemen utama dari material PANi. Berdasarkan pengamatan backscatter (warna) merah (Fe), hijau kebiruan (O) dimana material tersebut menyebar merata, yang merupakan elemen utama pembentuk Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

Untuk warna hijau (C) dan biru (N) merupakan elemen-elemen pembentuk PANi. Berdasarkan analisa diatas PANi dan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> tersebut tersebar merata setelah dilakukan pencampuran dengan system mekanik yaitu dengan cara diberi tekanan sebesar 45kN. Dari gambar dapat dilihat adanya *crack*, *crack* tersebut timbul akibat proses pemotongan sampel pada saat preparasi sampel saat akan diuji.



Gambar 3 Hasil Mapping SEM PANi/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

**d. Hasil Karakterisasi Konduktivitas Listrik dengan LCR Meter**

Pengukuran nilai konduktivitas listrik dilakukan menggunakan LCR meter pada tegangan 1 Volt, frekuensi 1kHz dan suhu ruang. Perhitungan nilai konduktivitas listrik diperoleh menggunakan persamaan 1.

$$\sigma = \frac{L}{AR} \tag{1}$$

Berikut merupakan tabel hasil nilai konduktivitas listrik.

Tabel 4.2 Nilai Konduktivitas Listrik

Massa Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (gr)	Resistivitas (Ω)	Konduktivitas Listrik (S/cm <sup>-1</sup> )
0.10	118.1	$2.2 \times 10^{-3}$
0.15	115	$2.3 \times 10^{-3}$
0.20	102.5	$2.5 \times 10^{-3}$

Nilai konduktivitas PANi murni berdasarkan variasi frekuensi berkisar antara  $85.03 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$  sampai  $745.5 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$ . Sedangkan menurut teori nilai konduktivitas PANi murni yaitu berkisar antara  $10^{-10} \text{ S/cm}$  sampai  $100 \text{ S/cm}$  (Mihardi, 2008). Dalam hal ini konduktivitas PANi/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dipengaruhi oleh penambahan massa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Nilai konduktivitas meningkat seiring dengan penambahan massa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Nilai konduktivitas PANi/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> terdapat pada rentang semikonduktor, dimana bahan semikonduktor berada pada rentang ( $10^{-3}$ - $10^{-9}$ ) S/cm.

Bahan yang bersifat semikonduktor sangat baik digunakan sebagai penyerap gelombang mikro. Ketika gelombang mikro mengenai material yang dilapisi dengan material penyerap gelombang mikro, maka akan terbentuk medan listrik pada permukaan penyerap. Setelah itu arus akan mengalir sebagai arus permukaan. Ketika arus permukaan mengalir pada penyerap, energi gelombang mikro akan diubah dalam bentuk energi panas (Mustafa, 2007). Oleh karena itu bahan semikonduktor sangat baik digunakan sebagai

penyerap gelombang mikro karena bahan ini dapat mengubah energi gelombang mikro menjadi energi panas.

**e. Hasil Karakterisasi Bahan dengan VNA**

Pengukuran VNA dilakukan untuk mengkarakterisasi sifat serapan bahan terhadap gelombang mikro. *Return Loss* dapat diperoleh melalui pengukuran *scattering parameter* dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA). Dari pengujian sifat serapan gelombang mikro dengan menggunakan VNA, didapatkan data nilai  $S_{11}$  menggambarkan nilai energi yang dipantulkan kembali oleh material.  $S_{11}$  terdiri dari nilai real dan imajiner. Nilai  $S_{11}$  dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.

$$RL = S_{11} \text{ (dB)} = 20 \log_{10} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \quad (2)$$

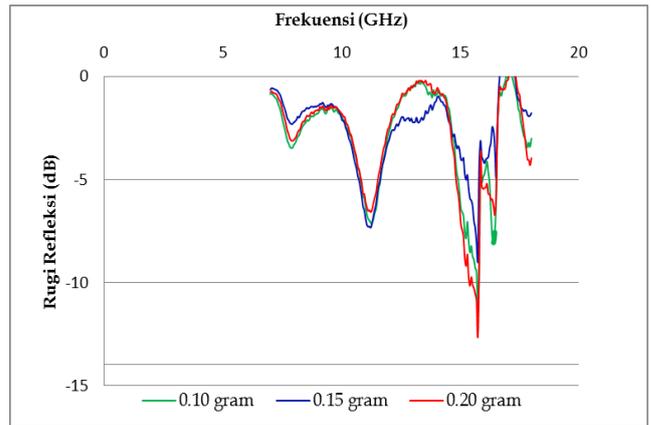
$$\%RL \text{ (dB)} = 10 \log_{10} \frac{P_i}{P_r} \quad (3)$$

Untuk menentukan persentase daya yang terserap umumnya dengan menggunakan persamaan 3, dengan RL (dB) adalah *return loss* dalam satuan dB,  $P_i$  adalah daya dari gelombang yang datang dan  $P_r$  merupakan daya gelombang yang terpantulkan.

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa sampel yang memiliki nilai *reflection loss* optimum terdapat pada sampel yang ketiga yaitu PANi dengan penambahan  $Fe_3O_4$  sebanyak 0.20 gram. Nilai *reflection loss* yang diperoleh sebesar -12.6 dB pada frekuensi 15.7 GHz, sedangkan nilai *reflection loss* minimum terdapat pada sampel PANi dengan penambahan  $Fe_3O_4$  sebanyak 0.15 gram sebesar -1.5 dB pada frekuensi 7.5 GHz. Nilai negatif pada *reflection loss* menunjukkan bahwa material tersebut mampu menyerap gelombang mikro, dimana penyerap gelombang mikro memiliki kisaran frekuensi 0.3 MHz sampai 300 GHz.

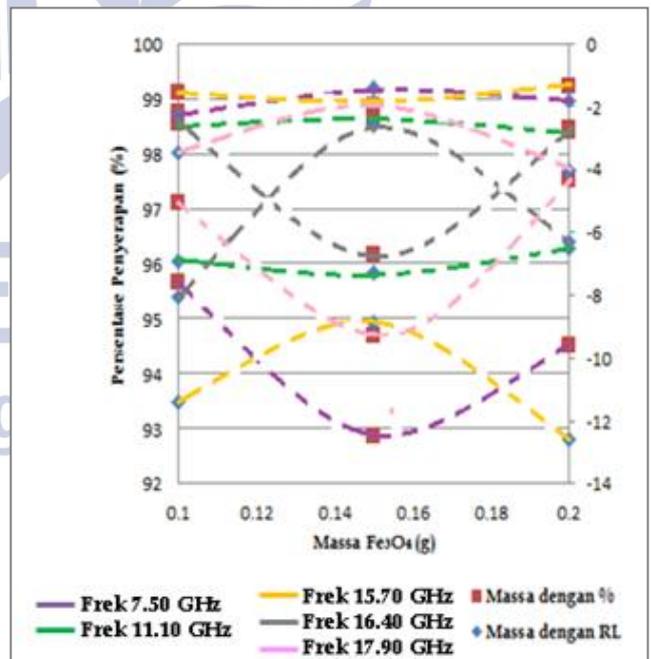
Penyerapan gelombang mikro pada sampel dapat dilihat berdasarkan nilai *reflection loss*, semakin besar nilai negatif *reflection loss* maka semakin besar daya serap bahan terhadap gelombang mikro (Phang, dkk., 2008). Akan tetapi *reflection loss* yang tinggi tidak selamanya menghasilkan absorpsi yang tinggi karena tidak semua gelombang mikro yang mengenai material tersebut diabsorpsi, tetapi ada juga yang direfleksikan dan ditransmisikan (Rinata, dkk., 2011). Selain itu, fenomena ini terjadi sebagai akibat dari gelombang mikro yang merambat pada suatu medium yang tergantung pada polarisasi gelombang, geometri permukaan, sifat material, dan karakteristik relatif material yaitu pemantulan, hamburan, pembiasan, dan penyerapan (Ludwig, dkk., 2011).

Nilai koefisien absorpsi juga menunjukkan kemampuan daya serap terhadap gelombang mikro. Dibawah ini merupakan grafik perbandingan dari nilai hasil *reflection loss* dan persentase daya yang terserap dengan variasi penambahan  $Fe_3O_4$ .



**Gambar 4.** Grafik Hasil Penyerapan Gelombang Mikro

Berdasarkan Gambar 5, dapat dilihat bahwa nilai koefisien absorpsi yang didapatkan untuk masing-masing sampel bervariasi. Nilai koefisien absorpsi adalah 94.74% sampai 99.21% dengan frekuensi antara 7 GHz – 18 GHz. Nilai koefisien absorpsi maksimum didapatkan pada sampel ketiga pada frekuensi 15.70 GHz. Sampel ketiga mempunyai nilai suseptibilitas sebesar  $19.2 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$  (Erika, 2012) Sedangkan nilai konduktivitasnya yaitu  $2.5 \times 10^{-3} \text{ S/cm}$  pada frekuensi 1 kHz, nilai ini paling optimum dibanding dari kedua sampel yang lain. Berdasarkan nilai *reflection loss* dan koefisien absorpsi didapatkan bahwa paduan dengan penambahan 0.20 gram  $Fe_3O_4$  adalah material yang paling optimum menyerap gelombang mikro dibandingkan sampel yang lain.



**Gambar 5.** Grafik Hubungan antara Nilai RL dan Hasil Penyerapan dengan Variasi Penambahan Massa  $Fe_3O_4$

Berdasarkan data yang diperoleh diketahui bahwa tidak terdapat hubungan linear antara penambahan  $Fe_3O_4$  terhadap koefisien absorpsi. Dari data *reflection loss* pada setiap sampel dapat dilihat bahwa *reflection loss* yang

besar tidak selalu menunjukkan koefisien absorpsi yang tinggi. Hal ini diprediksi terjadi karena gelombang mikro yang mengenai material tersebut tidak semuanya diserap namun ada yang ditransmisikan. Setiap gelombang elektromagnetik yang mengenai material akan dipantulkan, diserap atau ditransmisikan (Folgueras, dkk., 2007).

Pada dasarnya, struktur material penyerap gelombang mikro terdiri dari bagian dengan sifat yang dapat mengizinkan gelombang elektromagnetik menembus daerah dimana medan listrik dan medan magnetik mengalami energi loss. Jika gelombang elektromagnetik menembus permukaan material konduktif, medan listrik akan berinteraksi dengan elektron bebas sehingga akan menghasilkan arus (Phang dkk., 2008).

Secara umum dilihat dari nilai absorpsinya ketiga sampel pada penelitian ini cocok digunakan sebagai material penyerap gelombang mikro. Namun, pengaplikasiannya berbeda-beda karena masing-masing sampel memiliki absorpsi maksimum pada frekuensi tertentu dalam rentang frekuensi gelombang mikro. Hal ini terjadi karena nilai permeabilitas kompleks dan permitivitas kompleks berbeda pada setiap rentang frekuensi (Hosseini dkk., 2012).

#### 4. PENUTUP

##### Simpulan

Berdasarkan data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat hubungan linear antara penambahan  $Fe_3O_4$  terhadap koefisien absorpsi. Dari data dapat dilihat bahwa *reflection loss* yang besar tidak selalu menunjukkan koefisien absorpsi yang tinggi. Untuk hasil penyerapan gelombang mikro menghasilkan nilai *reflection loss* maksimum terjadi pada sampel dengan penambahan  $Fe_3O_4$  0.20 gr yaitu -12.6 dB pada frekuensi 15.7 GHz dengan nilai koefisien absorpsi sebesar 99,21%.

##### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih pada pengelola Laboratorium Material UNESA, Laboratorium IPA Terpadu UNESA, LPPM ITS dan LIPI BANDUNG yang telah mengizinkan penulis dalam melakukan penelitian serta teman-teman material yang telah membantu dalam penelitian.

##### DAFTAR PUSTAKA

- Chomari.2011.*Sintesis  $Fe_3O_4$  dengan Metode Kopresipitasi dan PANi*. Skripsi. Universitas Negeri Surabaya.
- Tri Rahmawati.D, Hari K. .Diah, Rohmawati. Lydia. 2014. *Karakterisasi Komposit PANi/  $Fe_3O_4$  Sebagai Bahan Dasar Penyerap Gelombang Mikro*. Seminar dan Lokakarya Nasional Fisika 2014.22 November 2014. ISBN:978-979-028-666-5

I.W.Nam , H. K.L.,J.H. Jang (2011). "Electromagnetic interference shielding/absorbing characteristics of CNT-embedded Epoxy composites." *Composites:PartA*.

Sergey V. O, Vladimir V. S.,Sakae Todo and Yoshiya U. (2008), " A New Cross Over in  $Fe_3O_4$  Magnetite Under Pressure near 6 GPa Modification to Ideal Inverse Cubic Spinel", *J.Phys.Condens.Matter* 20(2008)172201(6pp).

Wahyuni.2007.Sintesis komposit PANi/HCl gamma- $A_2O_3$  karakterisasi konduktivitas listrik dan konduktivitas dielektrik.Surabaya

Yani Nasution,E,L.,Astuti.2012. Sintesis Nanokomposit PANi/ $Fe_3O_4$  Sebagai Penyerap Pada Gelombang Mikro. Jurnal Fisika Unand Vol. 1, No. 1.