

Analisis Sifat Penyerap Gelombang Mikro Nanokomposit Fe_3O_4 /Karbon Aktif Dari Limbah Tongkol Jagung

Ulfa Haldiani Putri¹, Fadhila Ulfa Jhora², Letmi Dwiridal³, Rahmat Hidayat⁴

^{1,2,3,4} Fisika, Universitas Negeri Padang

e-mail: ulfa.haldiani01@gmail.com

Abstrak

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi limbah tersebut adalah dengan memanfaatkannya menjadi karbon aktif yang dapat diaplikasikan sebagai material penyerap radar (RAM). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis sifat penyerap gelombang mikro nanokomposit Fe_3O_4 /karbon aktif dari limbah tongkol jagung. Jenis penelitian adalah penelitian eksperimen. Variabel bebas dari penelitian ini adalah komposisi Fe_3O_4 dan karbon aktif tongkol jagung. Waktu dan suhu dari pemanasan oven dan furnace, NaOH, etanol, massa karbon dan waktu sintesis dengan HEM sebagai variabel kontrol. Sifat penyerap gelombang mikro nanokomposit Fe_3O_4 /karbon aktif tongkol jagung sebagai variabel terikat. Hasil uji XRD menunjukkan bahwa setiap variasi memiliki fasa *carbon* dan *iron oxide*, dan struktur Kristal berbentuk cubic, hexagonal, dan orthorhombic. Hasil pengujian FTIR menunjukkan gugus fungsi C-H, C=C, dan C-O, gugus fungsi karbon (C) mengandung oksigen yang menunjukkan bahwa karbon tersebut adalah karbon aktif. Hasil uji VNA menunjukkan nilai *reflection loss* dari nanokomposit Fe_3O_4 /karbon aktif.

Kata kunci: *Tongkol Jagung, Fe_3O_4 , Karbon Aktif, Gelombang Mikro*

Abstract

Efforts can be made to reduce this waste by utilizing it into activated carbon which can be applied as a radar absorbing material (RAM). The purpose of this research is to analyze the microwave absorbing properties of Fe_3O_4 nanocomposite/activated carbon from corn cob waste. The type of research is experimental research. The independent variables of this study are the composition of Fe_3O_4 and corn cob activated carbon. Time and temperature of oven and furnace heating, NaOH, ethanol, carbon mass and synthesis time with HEM as control variables. Microwave absorbing properties of Fe_3O_4 /corn cob activated carbon nanocomposite as dependent variable. XRD test results show that each variation has carbon and iron oxide phases, and the crystal structure is cubic, hexagonal, and orthorhombic. FTIR test results show C-H, C=C, and C-O functional groups, carbon (C) functional groups contain oxygen which indicates that the carbon is activated carbon. The VNA test results show the reflection loss value of the Fe_3O_4 /active carbon nanocomposite.

Keywords : *Corn Cob, Fe_3O_4 , Activated Carbon, Microwave*

PENDAHULUAN

Saat ini, radar semakin banyak digunakan untuk koordinasi target di sektor pertahanan utama pemerintah dan militer. Radar digunakan dalam bidang pertahanan militer untuk menjaga target musuh, termasuk sistem pertahanan siluman pada kapal dan pesawat. Salah satu penggunaan teknologi kapal adalah membuat kapal tidak terdeteksi oleh radar. Energi elektromagnetik yang melimpah yang dipantulkan kembali ke penerima sangat penting untuk teknik ini. Bahan yang dapat menyerap gelombang mikro secara efektif sangat dibutuhkan. Bahan yang menyerap gelombang mikro dapat digunakan untuk membuat memori akses acak (RAM). Dalam kasus ketika gelombang radio atau gelombang mikro dapat digunakan untuk menentukan lokasi suatu objek, RAM ini dapat digunakan.

Teknologi saat ini dapat memanfaatkan sumber energi biomassa secara paling efisien, dan tongkol jagung adalah salah satunya. Rata-rata hasil panen jagung tahunan diproyeksikan sebesar 495.223,45 ton, menurut statistik dari Kementerian Pertanian. Karena hasil panen jagung yang

sangat besar, ada banyak bahan yang terbuang. Menurut Septiningrum (2011), komposisi tongkol jagung adalah sebagai berikut: 30,91% senyawa hemiselulosa, 26,81% alfa selulosa, 15,52% lignin, 39,80% karbon, 2,12% nitrogen, dan 8,38% air.

Proses karbonasi dan aktivasi meningkatkan kapasitas penyerapan senyawa karbon, sehingga dikenal sebagai karbon aktif. Untuk menyebabkan perubahan fisik pada permukaan karbon, metode ini melibatkan penghilangan hidrogen, gas, dan air. Berbagai macam bahan tanaman dan hewan, serta produk sampingan pertambangan tertentu, dapat diubah menjadi karbon aktif. Ini termasuk, tetapi tidak terbatas pada, sekam padi, tulang hewan, batu bara, kulit biji kopi, tempurung kelapa, cangkang sawit, mahkota nanas, tongkol jagung, dan masih banyak lagi (Manocha et al, 2003).

Karbon aktif dapat dibuat dari tongkol jagung, seperti yang disebutkan dalam kalimat sebelumnya. Pembuatan karbon aktif dari tongkol jagung merupakan salah satu cara pemanfaatan sampah ini yang tidak mencemari lingkungan. Karbon yang memiliki daya serap tinggi telah diaktivasi melalui proses fisik atau kimia. Senyawa kimia ditambahkan ke dalam suatu prosedur untuk membuat karbon aktif. Logam alkali tanah ($ZnCl_2$, NaOH, H_3PO_4), garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat, dan hidroksida logam alkali merupakan beberapa senyawa yang dimanfaatkan sebagai aktivator (Fauziah, 2009). Di sini, NaOH merupakan bahan kimia pilihan. Meningkatnya kandungan karbon merupakan salah satu manfaat karbon aktif yang berasal dari tongkol jagung (Manocha et al., 2003). Karbon yang telah mengalami proses fisik atau kimia untuk meningkatkan daya serapnya dikenal sebagai karbon aktif.

Untuk membuat struktur dengan daya serap tinggi, bahan baku yang mengandung karbon dibakar untuk menghasilkan karbon aktif. Menurut Ramdja et al. (2008), terdapat dua langkah yang terlibat dalam pembuatan karbon aktif: karbonisasi dan aktivasi. Karbon aktif dapat menyerap zat karena luas permukaannya yang sangat besar, yang merupakan hasil dari strukturnya yang berpori (Esterlita et al., 2015).

Padatan yang memiliki pori-pori dan konsentrasi karbon 85 hingga 95% disebut karbon aktif. Struktur penyerapan tinggi karbon aktif merupakan produk sampingan dari pembakaran bahan baku yang mengandung karbon. Proses karbonisasi suhu tinggi yang dilalui karbon aktif membuatnya memiliki kapasitas penyerapan yang rendah karena pori-pori yang terbentuk masih terisi dengan hidrokarbon dan pengotor lainnya seperti abu, sulfur, dan nitrogen. Harus ada prosedur aktivasi untuk membuat pori-pori karbon agar memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi. Menurut Jamilatun et al. (2014), proses aktivasi mengubah struktur fisik dan kimia karbon aktif dengan melepaskan molekul permukaan ke udara dan memecah ikatan hidrokarbon. Karena kapasitas penyerapannya yang tinggi, karbon aktif ini dapat digunakan sebagai adsorben dalam proses adsorpsi. Luas permukaan karbon aktif biasanya berkisar antara 300 dan 3.500 m^2/g . Karena sifatnya yang berpori, karbon aktif memiliki kemampuan menyerap karena luas permukaannya yang besar.

Spektrum radio mengandung gelombang elektromagnetik dengan frekuensi sangat tinggi, seperti 300 MHz hingga 300 GHz, dan panjang gelombang 100 cm hingga 1 mm. Gelombang ini dikenal sebagai gelombang mikro. Permeabilitas dan permitivitas mendefinisikan penyerap gelombang mikro. Permeabilitas suatu zat sebanding dengan resistansinya terhadap medan listrik dalam gelombang elektromagnetik, sedangkan permitivitas suatu material sebanding dengan resistansinya terhadap medan magnet. Alasannya adalah karena gelombang elektromagnetik terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang berlawanan. Transmittivitas dan permeabilitas material membantu mengurangi panjang gelombang yang dapat melewatinya. Energi gelombang elektromagnetik berkurang ketika kedua faktor ini menyebabkan kerugian dalam medan listrik atau magnet (Dixon, 2012). Penghapusan radiasi berbahaya yang dapat mengganggu fungsi sistem adalah penggunaan umum untuk penyerap gelombang ini. Tingkat penurunan refleksi atau pengurangan transmisi gelombang elektromagnetik yang dapat dilakukan oleh material penyerap adalah ukuran kapasitas penyerapan gelombangnya. Tingkat penurunan ini dikenal sebagai kehilangan refleksi. Suatu material tidak dapat menjadi penyerap gelombang elektromagnetik kecuali jika memenuhi kriteria berikut: permeabilitas tinggi, permitivitas tinggi, koersivitas rendah, resistivitas tinggi, dan saturasi magnetik tinggi, yang semuanya berkontribusi pada nilai besar

untuk kehilangan refleksi material (Huang, 2014). Gelombang mikro berbeda dari jenis radiasi lainnya karena panjang gelombangnya yang pendek dan rentang frekuensi yang lebar.

Lebih jauh lagi, gelombang mikro mengalami refleksi dari benda-benda logam dan ionosfer dengan penyerapan atau refleksi yang sangat sedikit. Fitur-fitur ini membuat gelombang mikro berguna di banyak bidang, termasuk militer, perawatan kesehatan, astronomi, dan telekomunikasi. Astronomi radio, spektroskopi, dan ilmu material astronomi semuanya menggunakan gelombang mikro. Banyak aplikasi seluler, sistem komunikasi pribadi (PCS), radio, dan OS penyiaran bergantung pada gelombang mikro. Gelombang mikro memiliki beberapa aplikasi medis dalam bidang kedokteran, salah satunya adalah pengobatan tumor. Militer menggunakan gelombang mikro dalam sistem radar (Srivastava et al, 2006). Gelombang elektromagnetik, atau radar, dapat mendeteksi posisi, kecepatan, dan arah suatu objek dalam kaitannya dengan kendaraan transportasi yang bergerak atau diam. Menemukan ketinggian pesawat terbang adalah salah satu kegunaan radar. Sistem penerbangan, pengiriman, transformasi, dan banyak lagi sangat bergantung pada radar. Cuaca memiliki sedikit pengaruh pada radar, instrumen yang dapat mengumpulkan data dari wilayah pengawasan. Apakah suatu benda berada di udara, di darat, atau di air, radar dapat mendeteksinya dan menentukan lokasi dan kecepatannya. Kemampuan deteksi sinyal radar memungkinkannya untuk mengumpulkan gelombang mikro yang dipancarkan atau dipantulkan oleh suatu objek. Menentukan lokasi memerlukan analisis lebih lanjut dari sinyal yang dipantulkan selain kemampuan untuk mengidentifikasi jenis sinyal yang digunakan atau diperlukan.

Nanopartikel Magnetit Fe_3O_4 adalah bahan yang memiliki kemampuan menyerap gelombang mikro (Feng et al, 2017). Fe_3O_4 ukuran nano memiliki keunggulan merespons medan magnet eksternal dibandingkan dengan senyawa lain. Sebaliknya, medan koersivitas Fe_3O_4 yang rendah menyebabkan energi penghalangnya turun pada skala nano. Fe_3O_4 skala nano menyerap gelombang mikro karena hal ini. Bijih besi diubah menjadi Fe_3O_4 dan nanopartikel magnetik lainnya menggunakan proses sintesis. Permittivitas dan permeabilitas besi teroksidasi, atau Fe_3O_4 , cukup tinggi. Zat ferrimagnetik Fe_3O_4 memiliki nilai magnetisasi jenuh hingga 65 emu/g saat murni.

Metode ball mill merupakan salah satu metode dalam pembuatan nanokomposit yang didasarkan pada penggilingan sampel menggunakan beberapa bola penggiling pada sebuah tabung mendatar yang berputar sehingga bola berputar diangkat ke sisi tabung kemudian jatuh ke sampel yang akan digiling dan menyebabkan fragmentasi struktur sampel menjadi dimensi yang sangat halus (Maslahat.M et al, 2022). Hasil gilingan dapat dikatakan baik atau buruk didasarkan pada dua faktor, yaitu ketelitian (akurasi) pengukuran dan tingkat kualitas permukaan yang dihasilkan. Melihat kedua faktor tersebut maka hasil gilingan bisa dikatakan bahannya bagus dibuat sesuai dengan ukuran yang diinginkan dan permukaan bahan memiliki kekasaran yang rendah (halus) (Rajamani et al, 1992). Keunggulan dari metode ini adalah waktu penggilingan lebih cepat dan hasil penggilingan yang dihasilkan relative lebih halus.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Penelitian ini mengkaji tentang pengaruh variasi komposisi nanokomposit Fe_3O_4 /karbon aktif terhadap sifat penyerap gelombang mikro menggunakan metode ball milling. Identifikasi fasa, struktur kristal dan ukuran kristal dari nanokomposit Fe_3O_4 /karbon aktif pada tongkol jagung dilakukan menggunakan karakterisasi XRD. Dalam menentukan gugus fungsi yang terkandung dari nanokomposit Fe_3O_4 /karbon aktif pada tongkol jagung dilakukan menggunakan karakterisasi FTIR. Karakterisasi VNA digunakan untuk mengukur nilai penyerapan (*reflection loss*) pada nanokomposit Fe_3O_4 /karbon aktif. Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi tahapan preparasi sampel, tahapan karbonisasi, tahapan aktivasi karbon, tahapan sintesis sampel, tahapan karakterisasi sampel, dan analisis data. Variabel dalam penelitian ini, mempunyai tiga variabel bebas yaitu perbandingan komposisi antara Fe_3O_4 dengan karbon aktif tongkol jagung dengan perbandingan 30% : 70%, 50% : 50%, dan 70% : 30%. Variabel kontrol pada penelitian ini yaitu waktu dan suhu selama proses pemanggangan di oven, waktu dan suhu selama proses pembakaran di furnace, NaOH, etanol, massa karbon dan

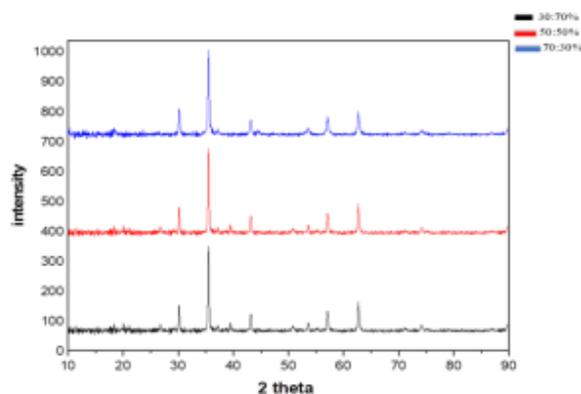
waktu sintesis dengan HEM. Variabel terikat pada penelitian ini adalah struktur mikro nanokomposit Fe_3O_4 /karbon aktif tongkol jagung.

Prosedur penelitian yaitu melakukan preparasi sampel. Penelitian ini menggunakan sampel tongkol jagung yang diperoleh dari Tarusan, Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat. Tongkol jagung yang didapat dibersihkan dari biji jagung yang tersisa pada tongkol jagung tersebut lalu tongkol jagung dijemur dibawah terik matahari hingga kering. Selanjutnya potong kecil-kecil tongkol jagung tersebut. Tongkol jagung tersebut dipanggang menggunakan oven 100°C selama satu jam untuk menghilangkan kandungan air pada tongkol jagung.

Pada proses karbonisasi, tongkol jagung yang telah dioven selanjutnya dipanggang difurnace selama 2 jam dengan suhu 350°C . Setelah selesai pemanggangan, tongkol jagung yang telah menjadi karbon kemudian dihaluskan menggunakan lumpang dan alu dan di ayak menggunakan mesh $200\mu\text{m}$. Kemudian proses aktivasi karbon, pada proses ini karbon yang telah di ayak selanjutnya ditimbang seberat 1 gram dan dicampurkan dengan aktivator NaOH 2,5 gram, 100 ml aquadest, dan 60 ml etanol. Larutan tersebut di diamkan selama 24 jam, selanjutnya endapannya diambil dengan cara menyaringnya menggunakan kertas saring. Endapan tersebut di keringkan menggunakan oven dengan suhu 200°C selama 2 jam. Proses sintesis sampel, pada proses ini dilakukan pencampuran bubuk Fe_3O_4 dengan karbon aktif tongkol jagung menggunakan metode ball milling dengan menggunakan alat HEM E-3D yang digiling selama 30 jam. Perbandingan komposisi bubuk Fe_3O_4 dengan karbon aktif tongkol jagung dibuat menjadi tiga variasi yaitu 30%:70%, 50%:50%, dan 70%:30%. Proses tersebut bertujuan agar sampel tersebut berukuran nano. Sampel yang telah disintesis selanjutnya di karakterisasi dengan XRD (X-Ray Diffraction) bertujuan agar mengidentifikasi fasa, ukuran kristal dan struktur kristal, FTIR untuk menentukan gugus fungsi dari sampel, dan VNA untuk melihat nilai *reflection loss* dari sampel.

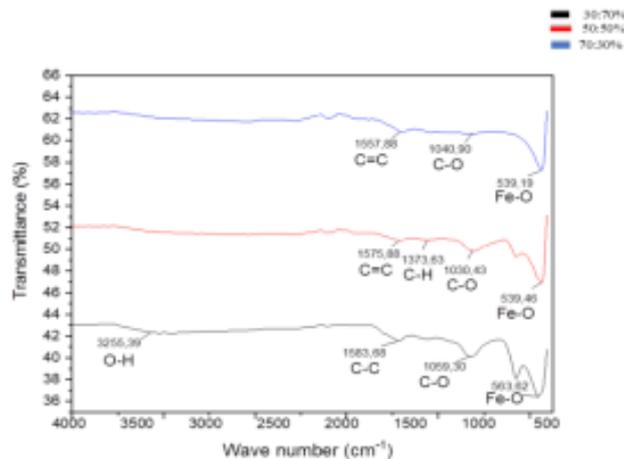
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan XRD yang telah dilakukan (Marjoehan et al,2023) menunjukkan adanya puncak difraksi sinar x pada setiap variasi Fe_3O_4 /Karbon aktif. Data hasil pengujian terlihat pada Gambar 1.



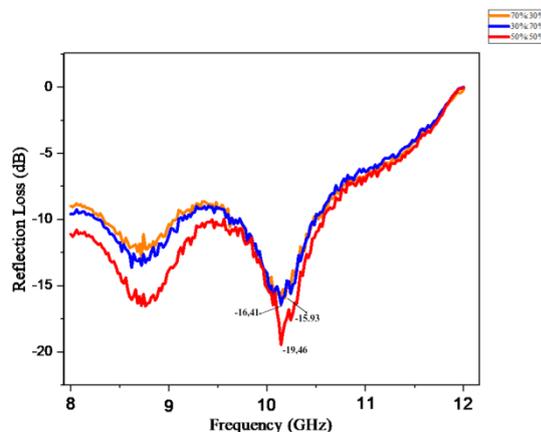
Gambar 1. Grafik XRD nanokomposit Fe_3O_4 /karbon aktif

Pengujian dengan FTIR bertujuan untuk melihat gugus fungsi dari nanokomposit Fe_3O_4 /karbon aktif. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan oleh (Marjoehan et al, 2023) data hasil pengujian FTIR terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik FTIR nanokomposit Fe₃O₄/Karbon Aktif

Pengukuran gelombang mikro material dalam rentang frekuensi 10 MHz hingga 10 GHz dilakukan dengan pengujian VNA. Pengukuran penyerapan gelombang elektromagnetik dan kehilangan refleksi (RL) sering dilakukan antara rentang frekuensi pita X 8-12 GHz. Gelombang mikro yang beroperasi dalam pita X (8–12 GHz), rentang frekuensi yang sering digunakan oleh gelombang radar, memerlukan nilai Kehilangan refleksi (RL) untuk penyelidikan ini. Spesimen ini memiliki ketebalan 1,5 mm. Ketiga sampel tersebut bervariasi dalam komposisi atau variasi, dengan 30%:70%, 50%:50%, dan 70%:30% menjadi yang paling menonjol. Dengan membaca grafik, maka dapat melihat bahwa sumbu x mewakili frekuensi dan sumbu y mewakili kehilangan pantulan.



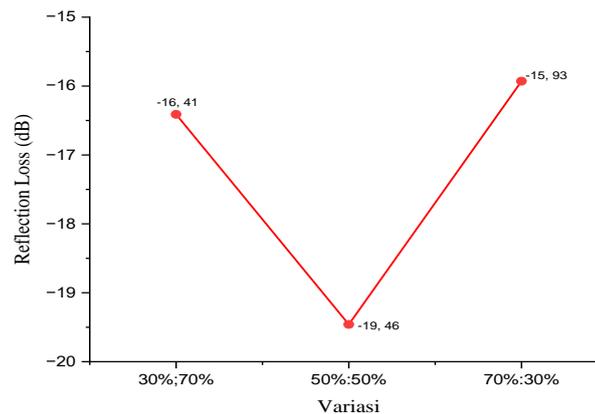
Gambar 3. Grafik VNA nanokomposit Fe₃O₄/karbon aktif

Salah satu cara untuk mengukur jumlah energi yang diserap oleh suatu material saat terkena gelombang elektromagnetik adalah kehilangan pantulan. Material dengan nilai kehilangan pantulan yang kuat dan pita serapan yang lebar sangat ideal untuk digunakan sebagai penyerap gelombang radar. Lebih jauh lagi, kinerja material sebagai material RAM ditingkatkan dengan pembentukan lembah serapan tambahan (Yulfriska et al, 2020)

Tabel 1. Nilai reflection loss nanokomposit Fe₃O₄/Karbon aktif

NO	Variasi komposisi	Frekuensi (GHz)	Reflection Loss (dB)
1	30%:70%	10,14	16,41
2	50%:50%	10,14	19,46
3	70%:30%	10,18	15,93

Hasil terbaik dari karakterisasi variasi ketiga sampel diperoleh pada variasi 50%:50% dengan nilai *Reflection loss* nya sebesar -19,46 dB, dimana diantara ketiga sampel tersebut variasi inilah yang memiliki nilai minimum yang paling besar. Semakin besar nilai negatif kehilangan pantulan, semakin besar pula penyerapan gelombang. Semakin tinggi nilai negatif kehilangan pantulan, semakin baik material tersebut dapat menyerap gelombang mikro, menurut penelitian (Erika Linda et al., 2012) dan (Phang et al., 2008). Jumlah gelombang terbesar yang diserap berbanding lurus dengan nilai negatif kehilangan pantulan material, sehingga hubungannya berbanding terbalik. Ketiga sampel yang diuji di sini memiliki nilai serapan yang menunjukkan bahwa ketiganya akan menjadi kandidat yang baik untuk penyerapan gelombang mikro. Frekuensi serapan maksimum (MAF) dalam spektrum frekuensi gelombang mikro bervariasi untuk setiap sampel, sehingga aplikasinya berbeda-beda. Alasannya adalah karena dalam berbagai rentang frekuensi, nilai permeabilitas kompleks dan permitivitas kompleks bervariasi (Hosseini et al., 2012).



Gambar 4. Grafik hubungan variasi Fe₃O₄/karbon aktif dengan nilai reflection loss

Dari grafik diketahui bahwa hubungan antara variasi Fe₃O₄/Karbon aktif dengan *Reflection loss* nya tidak berbanding lurus, hal ini membuktikan bahwa nilai *Reflection loss* tidak dipengaruhi oleh variasi massa Fe₃O₄/Karbon Aktif. Deriyana dkk. (2015) tidak menemukan hubungan linier antara koefisien penyerapan dan penambahan Fe₃O₄, yang mendukung gagasan ini. Hal ini terjadi karena alasan yang sama bahwa gelombang tertentu dipantulkan atau ditransmisikan daripada diserap oleh zat tersebut (Folgueras dkk., 2007). Ludwig dkk. (2011) menyatakan bahwa fitur relatif suatu material, seperti refleksi, hamburan, refraksi, dan penyerapan, serta sifat material dan geometri permukaan, menentukan dampak gelombang mikro yang merambat melalui suatu media.

SIMPULAN

Berdasarkan dari hasil pengujian dan analisis hasil pengujian nanokomposit Fe₃O₄/karbon aktif. Variasi Fe₃O₄/Karbon aktif yang paling baik untuk menyerap gelombang mikro adalah variasi 50%:50% dengan frekuensi 10,14 GHz dan nilai *Reflection loss* -19,46 dB, karena semakin besar nilai negatif RL yang dihasilkan maka semakin tinggi daya serap material terhadap gelombang mikro. Pengaruh variasi Fe₃O₄/karbon aktif terhadap sifat penyerap gelombang mikro adalah bahwa nilai *Reflection loss* nya tidak selalu berbanding lurus atau linear dengan variasi dari material. Dengan kata lain, nilai *Reflection loss* dari suatu material tidak selalu bergantung kepada massa dari material tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Dixon, P. 2012. Theory and Application of RF/Microwave Absorbers. New York: Emerson & Cuming Microwave Products.
- Erika Linda Yani, Astuti. (2012). Sintesis Nanokomposit PAni/ Fe₃O₄ sebagai Penyerap Magnetik pada Gelombang Mikro. *Jurnal Fisika Unand* Vol. 1, No. 1.

- Esterlita, MO., Herlina, N. 2015. Pengaruh Penambahan Aktivator ZnCl₂, KOH, dan H₃PO₄ dalam Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepah Aren (*Arenga pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia USU*. Vol 4 No 1, 47–52.
- Fauziah, N. (2009). Pembuatan Arang Aktif Secara Lagsung dari Kulit *Acasia mangium Wild* dengan Aktivasi Fisika dan Aplikasinya Sebagai Adsorben. Skripsi tidak diterbitkan. Bogor: IPB
- Feng, H., Bai, D., Tan, L., Chen, N., Wang, Y., (2017). Preparation and microwave-absorbing property of EP/BaFe₁₂O₁₉ /PANI composites. *J. Magn. Magn. Mater.* 433, 1–7.
- Folgueras, L.C, Noharab, E.L., Faez, R., Rezended, M.C.(2007). Dielectric Microwave Absorbing Material Processed by Impregnation of Carbon Fiber Fabric with Polyaniline, *Materials Research*, Vol 10, No 1, 95-99.
- Hosseini, S. H.,Asadnia, A.(2012). Synthesis, Characterization, and Microwave- Absorbing Properties of Polypyrrole / MnFe₂O₄ Nanocomposite. *Journal of Nanomaterials*.
- Jamilatun, S dan M. Setyawan. 2014. Pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa dan aplikasinya untuk penjernihan asap cair. *Spektrum Industri*, Vol. 12 No 1, 73-83.
- Ludwig, Reinhold, Bretchko, P., (2000). *F Circuit Design Theory and Application*, Prentice-Hall.
- M. Maslahat, E. Kamalia, D. Arrisujaya. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Mikro Partikel Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. Vol 7 No. 02, 117–188
- Manocha., Stash, M. (2003). Porosus Carbon. *Departement of Materials Science. Standar Patel University, India. Sadhana*, Vol 28, No1, 335-348.
- Marjoehan.,Dwiridal,L., Darvina.Y., Hidayat.R., Yulfriska.N. (2023). “Analisis Sifat Listrik Nanokomposit Fe₃O₄/Karbon Aktif dari Limah Tongkol Jagung”. *Jurnal Pillar of Physics*, Vol 15 No.1.
- Mishra B, Rajamani RK. (1992). The discrete element method for the simulation of ball mills. *Applied Mathematical Modelling*. Vol 16, 598-604.
- Phang, S.W., Tadakoro, M., Watanabe, J. dan Kuramoto, N., (2008), Synthesis, Characterization and Microwave Absorption Property of Doped Polyaniline Nanocomposites Containing Tio₂ Nanoparticles and Carbon Nanotubes, *Syntetic Metals*, Series 158, 251-258
- Ramdja, A.F., Halim, M., Handi, J. (2008). Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa (*Cocus nucifera*), *J. Tek.Kim*, Vol 15 No 2, 1-8.
- Septiningrum, K. (2011). Produksi xilanase dari tongkol jagung dengan sistem bioproses menggunakan bacillus circulans untuk pra-pemutihan pulp. *Journal of Industrial Research (Jurnal Riset Industri)*, Vol 5 No 1
- Srivastava, S.L., Singh, P., Babbar, V,K., Razdam, A., Agrawal, V,K., Goel, T.C. (2006). Dielectric constant, magnetic c permeability and microwave absorption studies of hot-pressed Ba-CoTi hexaferrite composites in X-band. *Springer Science+Bussines Media*
- Tri, R,D., Kusumawati, D.H., Rohmawati,L. (2015). Variasi Penambahan Fe₃O₄ Pada Panduan Pani/Fe₃O₄ Sebagai Bahan Penyerap Gelombang Mikro. *Jurnal Fisika*. Vol 4 No 1, 1-5
- Yulfriska, N., Affandi, Z., Yohandri, Dwiridal, L., Ramli.(2020). Microvawe absorption properties of Fe₃O₄/PANi nanocomposite synthesized by sol gel methods. *Journal of Physics : Conf. Series* 1481