

Desain *Double Layer Radar Absorbing Materials* dengan Metode *Dallenbach Layer* Berbasis Bahan Magnetik Alam Tanah Laut dan Polianilin

Deril Ristiani, Mochamad Zainuri

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: zainuri@physics.its.ac.id

Abstrak—Pelapisan *double layer* dengan menggunakan material PANi, BaM, dan komposit PB telah berhasil disintesis sebagai *Radar Absorbing Material (RAM)*. Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$) dan PANi masing-masing disintesis dengan metode kopresipitasi dan reaksi kimiawi. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa PANi, BaM, dan komposit PB memiliki nilai konduktivitas listrik sebesar $0,2371 \text{ Scm}^{-1}$, $6 \times 10^{-6} \text{ Scm}^{-1}$, dan $7,5 \times 10^{-3} \text{ Scm}^{-1}$. Rugi refleksi *single layer* (BaM, PANi) dan *double layer* (P-B, P-PB, B-PB) diukur menggunakan VNA. Desain *double layer* menghasilkan nilai rugi refleksi terbesar dibandingkan dengan desain *single layer*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa *double layer P-PB* memiliki rugi refleksi maksimum yaitu sebesar $-49,6 \text{ dB}$ dengan energy gelombang mikro yang diserap $\sim 99,89\%$. *Double layer* efektif memperlebar pita penyerapan pada rentang frekuensi X-Band dengan karakteristik membentuk puncak serapan pada frekuensi tertentu yaitu lapisan BaM 8,6-10 GHz, PANi 8,0-9,3GHz, P-B 8,1-9,64 GHz, B-PB 8,5-9,98 GHz, dan P-PB 8,2-10 GHz. Pelebaran pita penyerapan paling optimal adalah pada pelapisan *double layer P-PB* dengan lebar frekuensi penyerapan sebesar 1,8 GHz.

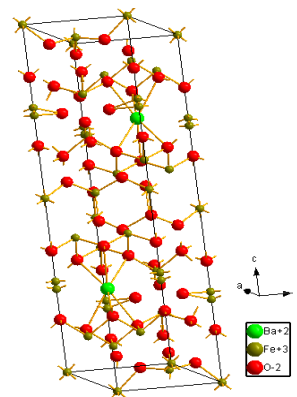
Kata Kunci—Barium M-heksaferit, *double layer*, konduktivitas, polianilin, radar, RAM, reflection loss.

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia kemiliteran dan pertahanan suatu negara, radar dimanfaatkan oleh angkatan laut maupun angkatan darat untuk mendeteksi kapal dan pesawat asing yang masuk ke batas wilayah teritorial suatu negara. Dalam perkembangan teknologi radar tersebut juga dikembangkan teknologi anti radar sebagai penunjang pertahanan suatu negara. Teknologi ini pada umumnya diaplikasikan pada kapal perang dan pesawat perang sehingga kapal dan pesawat perang tidak dapat dideteksi oleh radar musuh (*stealth technology*). Teknologi siluman ini didasarkan pada dua aspek yaitu pertama, desain geometri yang dirancang bersudut *radar absorbing structure (RAS)* sehingga pantulan gelombang elektromagnetik tidak dapat ditangkap kembali oleh receiver dan yang kedua yaitu metode pelapisan pada badan pesawat maupun kapal perang berbasis pada material penyerap gelombang radar (RAM) sedemikian sehingga gelombang radar yang dipantulkan sangat lemah [1].

Sistem pendeteksian oleh radar didasarkan pada besaran RCS (*Radar Cross Section*) yang menyatakan

rasio gelombang datang terhadap gelombang pantul, sehingga semakin kecil RCS maka benda tersebut semakin sulit dideteksi oleh radar. Penelitian ini merujuk pada jenis teknologi pelapisan dengan bahan penyerap radar (RAM) untuk memperkecil radar cross section (RCS). Bahan yang dikembangkan sebagai bahan penyerap radar adalah Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$). Barium M-heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) merupakan salah satu magnet permanen dengan struktur heksagonal dengan space group P 63/mmc serta memiliki temperatur *melting* yang sangat tinggi yaitu $1390 \text{ }^\circ\text{C}$. Berdasarkan data CIF dengan kode 1008326, Barium M-heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) memiliki dua parameter kisi yaitu lebar dari bidang heksagonal $a = 5,929 \text{ \AA}$, dan tinggi dari kristal $c = 23,413 \text{ \AA}$. Berikut merupakan gambar struktur kristal dari Bariumheksaferit.



Gambar 1. Struktur kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ berdasarkan CIF dengan kode 1008326

Barium M-heksaferit memiliki magnetisasi saturasi, medan koersivitas dan anisotropi yang tinggi [2]. Anisotropi dari Barium M-Heksaferit dapat direduksi dengan substitusi Fe^{3+} dengan ion divalent seperti Zn, Al, Cu, Co, Ni, dan lain-lain, sehingga dengan substitusi ini diharapkan Barium M-Heksaferit dapat diaplikasikan untuk penyerap gelombang elektromagnet dengan nilai absorpsi yang lebih besar [3].

Penelitian ini mengembangkan pembuatan bahan penyerap berbasis material magnetik (Barium M-Heksaferit) dan material konduktif (Polianilin) untuk mendapatkan minimum refleksi dan memperlebar jangkauan penyerapan gelombang radar. BaM akan didoping dengan ion Zn pada $x=0,3$ untuk menurunkan sifat magnetik BaM [4]. Kemudian BaM akan

dikompositkan dengan PANi untuk memaksimalkan penyerapan gelombang mikro. Pembuatan komposit PANi/ BaM dengan material BaM berbasis pasir besi Tanah Laut dapat dijadikan alternatif material yang lebih murah dari pada bahan sintetis.

Feng et. al, (2007) meneliti tentang sifat penyerapan dan desain struktur *layer* menggunakan material *Barium Ferrite* dan Besi Karbon yang menunjukkan bahwa dengan penggunaan *double layer* dapat memperlebar rentang area penyerapan gelombang mikro sedangkan menggunakan *single layer* tidak dapat menghasilkan minimum refleksi dengan pita yang lebar [5]. Berdasarkan hasil penelitian Feng et. al, (2007) tersebut maka pada penelitian ini akan dikembangkan desain *double layer* dari material konduktif PANi dan material magnetik BaM sebagai material penyerap radar. Pelapisan *double layer* dilakukan dengan metode pelapisan *Dallenbach* dengan ketebalan lapisan yang digunakan memenuhi seperempat panjang gelombang sehingga sangat spesifik pada daerah penyerapan yang diinginkan [6].

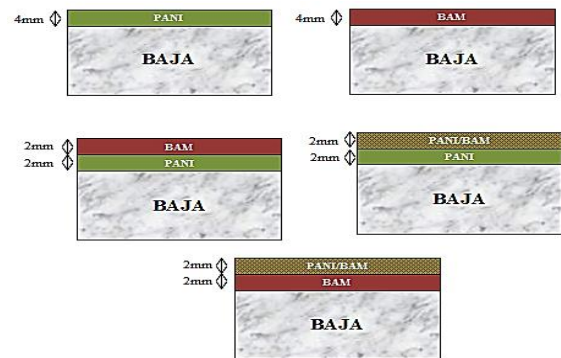
II. URAIAN PENELITIAN

Material yang diaplikasikan sebagai penyerap gelombang radar pada penelitian ini adalah Barium M-Heksaferit dan Polianilin. Sintesis Barium M-Heksaferit dilakukan dengan metode kopresipitasi dan diberikan doping ion Zn sebesar $x=0,3$ [4]. Proses sintesis Barium M-Heksaferit diawali dengan pemurnian pasir besi Tanah Laut Kalimantan. Pemurnian meliputi proses separasi magnetik dan pencucian menggunakan ultrasonic cleaner. Proses sintesis Barium M-Heksaferit ini membutuhkan beberapa komponen antara lain $BaCO_3$, Zn (sebagai sumber ion doping Zn^{2+}) dan pasir besi Fe_3O_4 (sebagai sumber ion Fe^{3+} dan ion Fe^{2+}) yang dilarutkan dalam HCl secara terpisah. Masing-masing larutan kemudian dicampurkan secara homogeny menggunakan hot stirrer dan dinetralkan dengan menambahkan NH_4OH sehingga terjadi proses pengendapan. Endapan yang terbentuk merupakan precursor Barium M-Heksaferit. Dalam endapan precursor tersebut masih terdapat pengotor yang dapat dihilangkan melalui proses pencucian dengan aquades. Selanjutnya endapan prekursor dikeringkan dan dikalsinasi pada temperature $1000^\circ C$ selama 5 jam untuk mendapatkan fasa Barium M-Heksaferit dan menghilangkan fasa-fasa impuritas [7].

Sedangkan untuk pembentukan polianilin digunakan monomer anilin, larutan APS (Ammonium peroksidisulfat) sebagai larutan inisiator, dan DBSA (Dodecyl Benzene Sulfonic Acid) sebagai dopan untuk meningkatkan konduktivitas polianilin [8]. Polianilin disintesis dengan metode polimerisasi in-situ. Anilin dan DBSA (Dodecyl Benzene Sulfonic Acid) dilarutkan dalam air destilasi selama 30 menit dengan diaduk menggunakan pengaduk magnetik (magnetic stirrer) hingga warna menjadi putih keruh (larutan a). Pada saat yang sama Ammonium peroksidisulfat (APS) dilarutkan dalam air destilasi selama 30 menit. Proses polimerisasi terbentuk dengan menambahkan larutan inisiator (APS) pada larutan (a) pada temperature $0^\circ C$. Dilakukan proses polimerisasi selama 8jam hingga diperoleh gel yang berwarna hijau tua. Larutan PANi yang terbentuk disaring dan dicuci dengan menggunakan air destilasi dan

aseton sampai air pencucinya bening, kemudian dikeringkan pada temperature ruang.

Tahap akhir yaitu proses pelapisan material anti radar pada Baja tipe AH36. Sebelum melakukan pelapisan, dipastikan baja dalam keadaan bersih dan halus. Selanjutnya preparasi material pelapis dilakukan dengan mencampurkan cat dan RAM (BaM, PANi, BaM/PANi) dengan perbandingan 1:10 [9]. Pencampuran dilakukan dengan cara pencampuran mekanik selama 10 menit sampai homogen menggunakan alat pencampur berkecepatan ± 8000 rpm. Campuran cat/RAM dilapiskan pada plat baja grade A tipe AH36 secara merata. Lapisan material dan cat dikeringkan beberapa hari. Setelah itu baru pelapisan lapisan kedua dengan cara yang sama. Berikut merupakan desain lapisan yang digunakan.



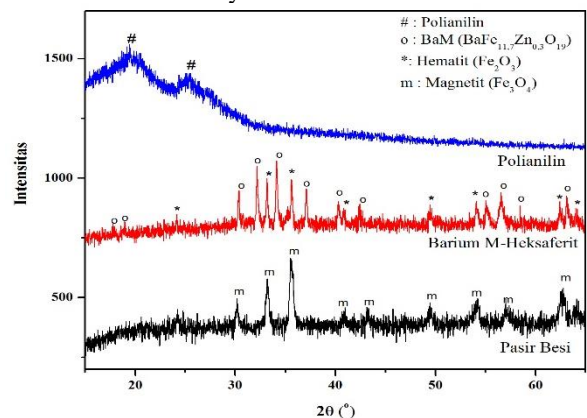
Gambar 2. Pelapisan double layer material PANi dan BaM pada baja

Setelah preparasi pelapisan baja selesai, dilakukan pengujian *Reflection Loss* menggunakan VNA (*Vector Network Analyzer*) untuk mengetahui efisiensi penyerapan lapisan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Hasil Difraksi Sinar-X

Untuk mengidentifikasi fasa dalam pasir besi setelah dilakukan pemurnian, serbuk Barium M-Heksaferit, dan serbuk Polianilin dilakukan karakterisasi dengan XRD (X-Ray Diffraction). Dalam sintesis Barium M-Heksaferit dibutuhkan ion Fe^{3+} yang diperoleh pada mineral magnetite (Fe_3O_4) yang didapat dari hasil pemurnian pasir besi. Gambar 3 berikut merupakan hasil XRD beserta analisisnya.



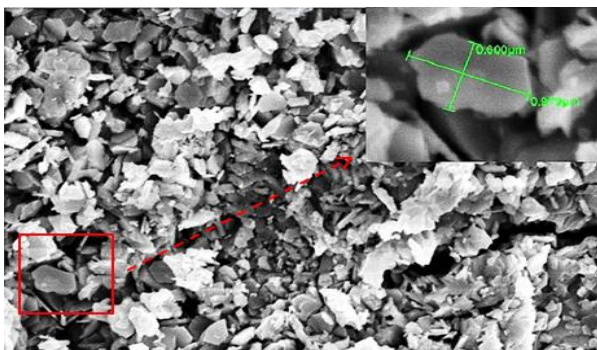
Gambar 3. Pola difraksi sinar-X

Dari hasil analisa XRD diperoleh fasa dominan yang terdapat pada pasir besi Tanah Laut yaitu fasa magnetit (Fe_3O_4) mengacu pada data PDF 00-079-0418. Berdasarkan data hasil XRD pada gambar 3, fasa Barium

M-Heksaferit telah terbentuk. Namun berdasarkan analisa hasil XRD sampel menunjukkan adanya beberapa fasa penyusun material yaitu fasa dominan Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$) mengacu pada data PDF 00-074-1121 dan fasa sekunder Hematite (Fe_2O_3) mengacu pada data PDF 00-086-0550. Merujuk pada penelitian yang telah dilakukan Amalia (2014) bahwa partikel Hematite juga mempunyai kemampuan untuk menyerap gelombang mikro dengan reflection loss sebesar $-28,69\text{dB}$ pada frekuensi dibawah X-Band (6-8 GHz). Sehingga adanya fasa sekunder hematite ini diharapkan tidak mengurangi kemampuan dalam hal penyerapan gelombang mikro. Analisis lebih lanjut dilakukan dengan metode *Reitveld* untuk menganalisis secara kuantitatif komposisi fasa dengan *software Rietica* dan analisis parameter kisi. Analisis dilakukan dengan dua fasa mengambil input dari data CIF 1008841 untuk fasa BaM ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) dan ICSD 201096 untuk fasa hematite (Fe_2O_3). Hasil *refinement* menggunakan *software rietica* menunjukkan bahwa fasa Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$) yang terbentuk sebesar 56,64% dan fasa Hematite (Fe_2O_3) sebesar 43,36% dengan parameter kecocokan (GoF) sebesar 1,29 yang menunjukkan tingkat kesesuaian data terhitung dan data terukur yang cukup tinggi. Sedangkan untuk analisa hasil XRD Polianilin menunjukkan adanya karakteristik puncak semikristalin yang diindikasikan dengan pelebaran puncak difraksi pada sudut (2θ) $19,42^\circ$ dan $25,48^\circ$ [10].

B. Analisis SEM-EDX

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi atau struktur mikro permukaan zat padat. Alat ini dilengkapi dengan detector disperse energy (EDX) sehingga dapat digunakan untuk mengetahui komposisi elemen-elemen pada sampel. Karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dan ukuran partikel dari material Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$). Hasil pengamatan SEM material Barium M-Heksaferit dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Hasil pengamatan morfologi $\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$ (25k x)

Dalam penelitian ini $\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$ merupakan material Heksaferit yang terdoping ion Zn^{2+} . Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) secara teori memiliki struktur heksagonal yang memanjang pada arah sumbu c, namun dengan adanya doping Zn^{2+} tersebut tidak mengubah struktur dasar Barium M-Heksaferit yaitu heksagonal. Hasil SEM pada Gambar 4 merupakan butir BaM yang diperbesar hingga 25.000 kali, dengan ukuran partikel sebesar $0,233\mu\text{m}$ - $0,979\mu\text{m}$. Analisis lebih lanjut

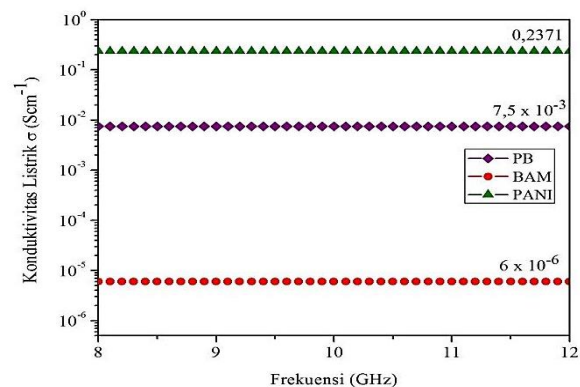
menggunakan detektor *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) yang dapat memberikan informasi secara kuantitatif persentase masing-masing elemen dalam material BaM.

Tabel 1. Persentase persebaran elemen penyusun BaM

Atom	% atom dalam 1 sel	% error
O	95,08	1,6
Fe	4,44	0,4
Zn	0,24	0,1
Ba	0,24	0,1
Total	100	

C. Analisis Sifat Kelistrikan

Konduktivitas listrik adalah ukuran dari kemampuan suatu material dalam menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan bergerak akan berpindah, menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik diperoleh melalui perhitungan dengan data pokok yang diperoleh berupa nilai resistansi material. Gambar 5 berikut merupakan data konduktivitas listrik material RAM.



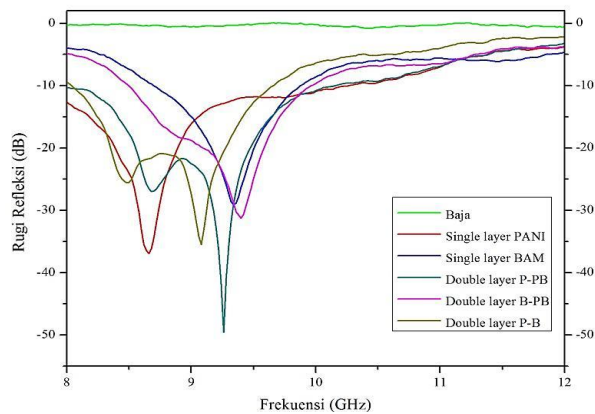
Gambar 5. Konduktivitas Listrik Material RAM

Hasil karakterisasi tersebut menunjukkan bahwa material Barium M-Heksaferit memiliki nilai konduktivitas $\sim 6 \times 10^{-6} \text{ Scm}^{-1}$, campuran PB memiliki nilai konduktivitas $\sim 7,5 \times 10^{-3} \text{ Scm}^{-1}$ dan polianilin memiliki nilai konduktivitas $\sim 0,2371 \text{ Scm}^{-1}$. Berdasarkan nilai konduktivitas listriknya, material RAM tersebut berada pada rentang nilai konduktivitas bahan semikonduktor yaitu antara 10^{-8} - 10^3 Scm^{-1} . Berdasarkan data konduktivitas listrik yang diperoleh, ketiga material RAM termasuk dalam bahan semikonduktor yang sangat baik digunakan sebagai penyerap gelombang mikro dikarenakan sifat dari bahan semikonduktor yang mampu mengubah energi gelombang mikro menjadi energi panas. Ketika gelombang mikro mengenai material RAM, maka akan terbentuk medan listrik pada permukaan penyerap yang mengakibatkan timbulnya arus induksi yang mengalir pada permukaan material. Ketika arus permukaan mengalir pada penyerap, energi gelombang mikro akan diubah dalam bentuk energi panas [11].

D. Analisis Penyerapan Material Pelapis

Karakterisasi sifat serapan material diindikasikan dengan besaran *reflection loss* yang dapat diukur menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA). Pengukuran dilakukan pada baja AH36 sebelum dan setelah proses pelapisan RAM pada rentang frekuensi X-Band (8GHz-12GHz). Gambar 6. berikut ini merupakan

grafik *reflection loss* RAM pada rentang frekuensi 8-12GHz.



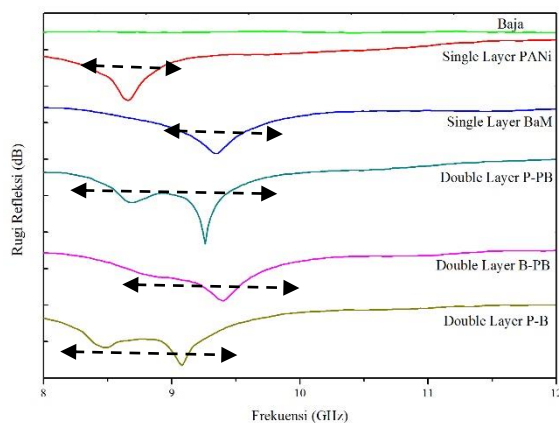
Gambar 6. Grafik rugi refleksi pada frekuensi X-Band

Hasil pengukuran VNA pada Gambar 6 memuat informasi *reflection loss* terhadap frekuensi pada rentang X-Band. Berdasarkan nilai *reflection loss* dari masing-masing material pelapis dapat diketahui besarnya nilai koefisien refleksi, besar energi gelombang yang dipantulkan dan energi gelombang yang diserap.

Tabel 2. Data karakteristik penyerapan material RAM

Material	RL _m (dB)	Frekuensi (GHz)	Koefisien Refleksi (Γ)	Energi yang diserap (%)
BaM	-29,1	9,34	0,0351	87,70
PANi	-36,9	8,66	0,0143	97,96
P-B	-35,5	9,08	0,0168	97,18
P-PB	-49,6	9,26	0,0033	99,89
B-PB	-31,3	9,40	0,0272	92,59

Pelapisan material dengan pelapis *double layer* P-PB memiliki koefisien refleksi yang paling kecil mendekati nol yaitu sebesar 0,0033 sehingga gelombang elektromagnetik yang dipantulkan juga kecil yaitu hanya 0,11% dari energy gelombang elektromagnetik dan sisanya 99,89% dari energy gelombang elektromagnetik diserap oleh bahan pelapis. Pelapisan *double layer* akan meningkatkan pelebaran dari penyerapan gelombang elektromagnetik, khususnya pada rentang frekuensi X-Band (8-12 GHz). Gambar 7 menunjukkan pelebaran pita serapan gelombang elektromagnetik.



Gambar 7. Pelebaran pita penyerapan pada frekuensi X-Band

Analisis lebih lanjut mengenai pelebaran pita serapan pada pelapisan *double layer* terhadap pelapisan *single*

layer pada rentang frekuensi 8GHz-12GHz dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Pelebaran pita penyerapan pelapisan *double layer*

Materia l	Pita penyerapan (GHz)	Lebar Pita Penyerapan (GHz)	% Pelebaran pita dari BaM	% Pelebaran pita dari PANi	RL _m (dB)
BaM	8,6-10	1,4	-	-	-29,1
PANi	8,0-9,3	1,3	-	-	-36,9
P-B	8,1-9,64	1,54	10	19	-35,5
P-PB	8,2-10	1,8	29	39	-49,6
B-PB	8,5-9,98	1,48	6	14	-31,3

Dengan desain pelapisan *double layer* P-B, *double layer* P-PB, dan *double layer* B-PB ini diperoleh pelebaran pita serapan paling optimal pada pelapisan *double layer* P-PB dengan lebar frekuensi penyerapan sebesar 1,8GHz. Lebar frekuensi penyerapan *double layer* P-PB naik 29% terhadap pita serapan *single layer* BaM dan naik 39% terhadap pita serapan *single layer* PANi. Pelebaran pita penyerapan juga terjadi pada pelapisan *double layer* P-B dan pelapisan *double layer* B-PB dengan pelebaran pita penyerapan masing-masing sebesar 1,54 GHz dan 1,48 GHz. Lebar frekuensi penyerapan *double layer* P-B dan *double layer* B-PB masing-masing naik 10% dan 6% terhadap pita serapan *single layer* BaM sedangkan jika dibandingkan terhadap pita serapan *single layer* PANi masing-masing naik sebesar 19% dan 14%.

Pelebaran pita penyerapan menunjukkan keefektifan dari material RAM untuk mereduksi energy gelombang elektromagnetik, sehingga gelombang elektromagnetik terpantul sangat lemah. Dengan desain pelapisan *double layer* disini berarti menggabungkan material RAM dengan kemampuan dan karakteristik penyerapan yang berbeda pada setiap layer sehingga semakin lebar rentang frekuensi penyerapan gelombang elektromagnetiknya dan material tersebut lebih efektif dalam pengaplikasiannya.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Barium M-Heksaferit doping ion Zn²⁺ telah berhasil disintesis dengan metode kopresipitasi diperoleh fasa Barium M-Heksaferit yang terbentuk sebesar 56,64% dan fasa Hematite (Fe₂O₃) sebesar 43,36%. Dengan ukuran partikel BaM berdasarkan pengujian SEM yaitu 0,233µm-0,979µm.
2. *Double layer* efektif memperlebar pita penyerapan pada rentang frekuensi X-Band dengan membentuk puncak serapan karakteristik pada rentang frekuensi tertentu yaitu BaM 8,6-10 GHz, PANi 8,0-9,3GHz, P-B 8,1-9,64 GHz, B-PB 8,5-9,98 GHz, dan P-PB 8,2-10 GHz. Pelebaran pita penyerapan paling optimal pada pelapisan *double layer* P-PB dengan pelebaran frekuensi penyerapan sebesar 1,8 GHz.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. M. Zainuri, M.Si selaku dosen pembimbing dan semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ramprecht, Jörgen, and Daniel Sjoberg. 2007. "Biased Magnetic Materials in RAM Applications." *Progress In Electromagnetics Research* 75: 85–117.
- [2] Saidah, Inayati Nur, and Mochamad Zainuri. 2012. "Pengaruh Variasi pH Pelarut HCl Pada Sintesis Barium M-Heksaferrit Dengan Doping Zn (BaFe₁₁, 4Zn₀, 6O₁₉) Menggunakan Metode Kopresipitasi." *Jurnal Sains Dan Seni ITS* 1 (1): B41–B46.
- [3] Meshram, M. R., Nawal K. Agrawal, Bharoti Sinha, and P. S. Misra. 2004. "Characterization of M-Type Barium Hexagonal Ferrite-Based Wide Band Microwave Absorber." *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 271 (2): 207–214.
- [4] Rosyidah, Kurniawati C. 2013. "Sintesis Dan Karakterisasi Struktur, Sifat Magnet Dan Sifat Listrik Komposit Barium M-Heksaferrit/Polianilin Berstruktur Core-Shell Berbasis Pasir Besi Alam."
- [5] Feng, Y. B., T. Qiu, and C. Y. Shen. 2007. "Absorbing Properties and Structural Design of Microwave Absorbers Based on Carbonyl Iron and Barium Ferrite." *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 318 (1): 8–13.
- [6] Saville, Paul. 2005. "Review of Radar Absorbing Materials." DTIC Document. <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA436262>.
- [7] Ramli, Irwan, Inayati N. Saidah, R. S. Findah, and M. Zainuri. 2012. "Pengaruh Variasi pH Pelarut HCl Pada Sintesis Barium M-Heksaferrit Dengan Doping Zn (BaFe₁₁, 4 Zn₀, 6 O₁₉) Menggunakan Metode Kopresipitasi." [https://www.researchgate.net/profile/Irwan_Ramli/publication/272747606_Pengaruh_Variasi_pH_Pelarut_HCl_Pada_Sintesis_Barium_M-Heksaferrit_dengan_Doping_Zn_\(BaFe114Zn06O19\)_Menggunakan_Metode_Kopresipitasi/links/54ed527b0cf2465f5330eefa](https://www.researchgate.net/profile/Irwan_Ramli/publication/272747606_Pengaruh_Variasi_pH_Pelarut_HCl_Pada_Sintesis_Barium_M-Heksaferrit_dengan_Doping_Zn_(BaFe114Zn06O19)_Menggunakan_Metode_Kopresipitasi/links/54ed527b0cf2465f5330eefa).
- [8] MacDiarmid, Alan G. 2001. "'Synthetic Metals': A Novel Role for Organic Polymers." *Current Applied Physics* 1 (4): 269–279.
- [9] Amalia, Lita, and Muchamad Zainuri. 2014. "The Microstructure Analysis of Barium M-Hexaferrite Particles Coated by PANI Conducting Material with In Situ Polymerization Process."
- [10] Kondawar, S. B., M. D. Deshpande, and S. P. Agrawal. 2012. "Transport Properties of Conductive Polyaniline Nanocomposites Based on Carbon Nanotubes." *International Journal of Composite Materials* 2 (3): 32–36.
- [11] Syamsir, Arasi, and others. 2012. "Sintesis Nanokomposit PANi/TiO₂/Karbon Sebagai Penyerap Gelombang Mikro." *Jurnal Fisika Unand* 1 (1). <http://jfu.fmipa.unand.ac.id/index.php/jfu/article/view/9>.