

Sintesis BaM/PAni Doping Cu Optimasi Sifat Radar Absorbing Material Pada Aplikasi Pelapisan Alpalhankam

Sovian Aritonang^{1*}, Allodya Nadra Xaviera¹, Ardelia Devina¹, Thesalonika Br Panjaitan¹ & Vania Agatha Nareswari¹

Universitas Pertahanan Republik Indonesia

Program Studi Fisika Militer, Fakultas MIPA, Jawa Barat 16810, Indonesia

*Email: sovian.aritonang@idu.ac.id

ABSTRACT

Defense technology known as stealth technology aims to reduce the response of electromagnetic waves emitted by radar so that the position or location of an object is not detected. Barium Hexaferite has properties as a Radar Absorbing Material (RAM). Research on radar absorbing material from barium hexaferite already exists, but those using Cu doping do not yet exist. In order to increase the effectiveness of its absorption, Barium Hexaferite is doped with Cu metal synthesized by coprecipitation method. Aniline polymerization was carried out with BaM to form BaM/PAni composite. Characterization of composite synthesis samples and coating results were carried out by SEM, FTIR, LCR-meter, and VNA to identify chemical bonds, electrical conductivity properties, microstructure, and reflection loss properties of RAM composite samples. Based on the results of previous research, the optimal absorption of multilayer coatings on steel with a reflection loss of 49.028 dB was obtained with an absorption frequency of 8.2 GHz. The addition of Cu doping is expected to improve the material's ability to absorb radar waves and reduce object reflections.

Keywords: BaM/PAni composite, Cu doping, radar waves, RAM.

PENDAHULUAN

Letak wilayah NKRI yang sangat strategis sangat berpotensi untuk memiliki sumber daya alam yang melimpah. Adanya sumber daya alam ini dapat digunakan untuk membangun kemajuan bangsa, namun selain memiliki dampak positif hal ini juga memiliki dampak negatif seperti adanya ancaman-ancaman terhadap kedaulatan bangsa. Hal tersebut dapat dicegah dengan memperkuat sistem pertahanan negara. Bahan penyerap gelombang elektromagnetik radar merupakan salah satu aplikasi dalam memperkuat sistem pertahanan negara. Saat ini teknologi yang telah banyak dikembangkan dalam bidang militer yaitu mengenai penyerap gelombang radar. Lapisan penyerap gelombang radar memanfaatkan material magnetik dan material dielektrik. Teknologi pertahanan dikenal sebagai teknologi *stealth* bertujuan untuk mengurangi respons dari gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh radar sehingga posisi atau lokasi suatu benda tidak terdeteksi. Suatu bahan atau material disebut *Radar Absorbing Material* karena mampu menyerap gelombang elektromagnetik. Bahan utama RAM terdiri dari material magnetik dan material dielektrik; dalam penelitian ini, material magnetik adalah Barium Heksaferrit, dan material dielektrik adalah polimer konduktif.

Barium Heksaferrit, juga dikenal sebagai BaM, adalah material magnetik dengan struktur kristal heksagonal yang digunakan untuk magnet permanen, perekam data, dan penyerapan gelombang mikro. Barium Heksaferrit mempunyai sifat kemagnetan dengan tingkat kestabilan tinggi terhadap pengaruh medan magnet luar pada suhu Barium Hexaferrite banyak dipilih dalam berbagai aplikasi yang berhubungan dengan sifat kemagnetan terutama pada Radar Absorbing Material. Dari aplikasi Barium Heksaferrit, telah banyak pula dilakukan penelitian tentang penggunaan polimer konduktif pada aplikasi RAM. Barium Heksaferrit memiliki beberapa kelebihan, termasuk magnetisasi relatif tinggi, kestabilan kimia yang baik, tahan korosi, dan sifat kemagnetan yang dapat disesuaikan dengan aplikasinya. BaM dapat disintesis dengan metode sol gel. Metode ini dipilih karena memiliki tingkat homogenitas yang tinggi dibandingkan dengan metode lain.

Untuk meningkatkan aplikasinya sebagai RAM, BaM dapat dikompositkan dengan polimer. Diantara polimer-polimer konduktif, Polianilin (PAni) adalah jenis polimer konduktif yang banyak digunakan dalam penelitian karena memiliki kelebihan mudah disintesis, kestabilan kimia di udara

baik dan konduktivitas listrik yang tinggi [1] Penelitian tentang bahan penyerap radar dari barium heksaferrit sudah ada, tetapi yang menggunakan doping Cu untuk meningkatkan nilai *reflection loss* untuk aplikasi pertahanan belum ada. Terdapat sifat khusus yang dimiliki yaitu dapat mengurangi refleksi penyerapan gelombang jika dibandingkan logam yang lainnya. Gelombang elektromagnetik yang masuk ke dalam material dapat dilemahkan dan diserap material dengan ketebalan tertentu. Perkembangan teknologi radar dan telekomunikasi perlu memperhatikan segala faktor. Material yang digunakan dalam perangkat radar harus mampu menyerap atau memantulkan gelombang elektromagnetik.

METODE

Penelitian terdahulu tentang sintesis BaM/PANI dengan doping Cu digunakan untuk melakukan penelitian ini. Studi ini dilakukan dalam empat garis besar tahapan yaitu sintesis BaM terdoping Cu, sintesis komposit BaM/PANI, pelapisan, dan karakterisasi.

Bahan yang digunakan dalam sintesis komposit RAM BaM/PAni antara lain: *aniline* ($C_6H_5NH_2$), Barium Heksaferrit ($BaFe_{12}O_{19}$), $CuSO_4$, larutan DBSA, *ammonium persulfate* (APS), aseton, dan cat epoxy. Alat yang digunakan yaitu *magnetic stirrer*, SEM-EDX, FTIR, VNA, dan LCR-Meter.

Sintesis BaM Pasir besi dilarutkan dengan kandungan Fe_3O_4 dan Fe_2O_3 ke dalam HCl suhu $70^\circ C$ selama 1 jam. Selanjutnya endapan yang didapat disaring dilanjutkan dengan pelarutan serbuk $CuSO_4$ pada HCl dengan suhu $70^\circ C$. Serbuk $BaCO_3$ dilarutkan ke dalam HCl kurang lebih 1 jam hingga larutan bening. Larutan hasil pelarutan $CuSO_4$ dicampurkan dengan larutan hasil pelarutan pasir besi kemudian ditambahkan dengan larutan $BaCO_3$ dan di stirrer dengan suhu $70^\circ C$ kurang lebih 45 menit. Dilakukan variasi perbedaan molalitas Cu seperti penelitian yang dilakukan oleh Fatimah (2022) [2] untuk mengetahui komposisi optimal logam pendoping. Selanjutnya, campuran ditetesi dengan NH_4OH hingga membentuk endapan hingga pH bernilai 13. Endapan yang diperoleh kemudian dicuci dengan aquades hingga pH netral, disaring dan dioven pada suhu $100^\circ C$ sehingga diperoleh Barium M-Heksaferrit yang terdoping Cu.

Sintesis komposit BaM/PAni dilakukan dengan metode polimerisasi dengan komposisi Barium heksaferrit yang disintesis dan monomer anilin sebesar 3:7. Monomer anilin dicampurkan dengan larutan DBSA kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit hingga larutan keruh dan terbentuk busa. Setelah tercampur, ditambahkan Barium heksaferrit serbuk kemudian dilakukan pengadukan selama 15 menit hingga warna menjadi hitam. Larutan kemudian ditambahkan *ammonium persulfate* (APS) sebagai inisiator dalam proses polimerisasi PANi sehingga dihasilkan endapan hijau BaM/PAni. Endapan yang diperoleh kemudian disaring, dicuci dengan aseton dan aquades, juga dikeringkan kurang lebih selama 24 jam.

Proses Pelapisan, Setelah komposit BaM/PAni dibuat, selanjutnya dicampur dengan cat epoxy dengan perbandingan 1:9. Kemudian, untuk memenuhi standar pengujian, polimer di drone dibuat dan campuran cat dan komposit dilapisi pada baja kapal dengan variasi ketebalan 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm dan 3 mm secara single layer. Setelah itu, lapisan dikeringkan selama tiga hari.

Karakterisasi, karakterisasi RAM dan hasil pelapisan komposit dilakukan untuk mengetahui sifat RAM. Pengujian yang dilakukan yaitu SEM-EDX FEI 850 untuk menentukan struktur mikro dan morfologi sampel khususnya permukaan. Selanjutnya, dilakukan analisis dengan FTIR untuk menentukan ikatan dan gugus fungsi yang terdapat dalam sampel. Nilai *reflection loss* pada sampel RAM ditentukan dengan pengujian VNA. Selain itu, konduktivitas listrik RAM yang dihasilkan, ditentukan dengan LCR-Meter.

HASIL

Sintesis Barium M-Heksaferrat

Barium M-Heksaferrit merupakan material magnetik yang memiliki nilai saturasi magnetik dan medan yang tinggi. Hal tersebut dapat menyebabkan sifat material menjadi meningkat dan sifat absorpsinya semakin melemah. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan pemberian doping Cu^{2+} yang digunakan untuk merekayasa sifat kemagnetan Barium M-Heksaferrit. Doping Cu^{2+} yang dimasukkan dalam bahan ferit (campuran besi oksida dan logam) akan memunculkan sifat feromagnetik pada suhu ruang. Doping Cu (tembaga) pada sintesis BAM/PANI memberikan sejumlah

◆ lebihan yang dapat meningkatkan kualitas dan kinerja material. Salah satu manfaat utama dari doping Cu adalah peningkatan konduktivitas listrik BAM/PANI. Dengan adanya tembaga sebagai dopan, sifat konduktif polianilin dapat ditingkatkan, memperluas potensinya untuk aplikasi dalam bidang elektronik dan elektrokimia [3]. Selain itu, doping Cu dapat meningkatkan stabilitas kimia dan termal BAM/PANI, menjadikannya lebih tahan terhadap lingkungan kimia yang ekstrem dan perubahan suhu. Dengan demikian, pendopingan dengan bahan Cu^{2+} yang memunculkan sifat feromagnetik diharapkan dapat mengurangi pantulan gelombang elektromagnetik dan meningkatkan kemampuan Radar Absorbing Material (RAM) untuk mengurangi Radar Cross Section (RCS). Sifat feromagnetik tersebut diharapkan mampu mengurangi pantulan dan meningkatkan efisiensi bahan anti radar untuk menyerap gelombang radar.

Sintesis Polianilin

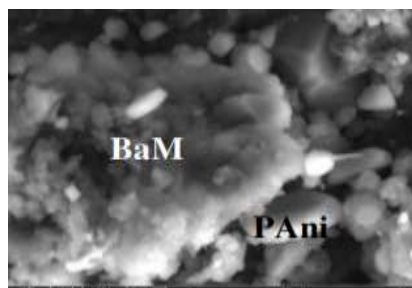
Polianilin merupakan polimer yang memiliki stabilitas dan konduktivitas yang tinggi serta kemudahan dalam proses sintesisnya [4]. Sifat polianilin dipengaruhi oleh proses sintesis, termasuk metodenya dan parameter-parameter seperti konsentrasi monomer anilin, jenis dopan dan konsentrasi yang digunakan, durasi sintesis, serta arus dan tegangan polimerisasi[5]. Dengan mengoptimalkan parameter sintesis, polianilin yang dihasilkan akan memiliki nilai konduktivitas listrik yang maksimal. Polianilin merupakan salah satu jenis polimer konduktif yang dibuat dari bahan dasar monomer anilin dan Dodesil Benzena Sulfonat Asam yang disintesis dengan menggunakan metode polimerisasi in situ. Pembuatan polianilin ini dibantu juga dengan adanya larutan inisiator yaitu Amonium Persulfat. Adanya APS disini berfungsi untuk membantu mempercepat terjadinya reaksi kimia. Dalam hal ini proses polimerisasi dilakukan pada keadaan panas. Hal tersebut bertujuan untuk mengubah rantai monomer menjadi polimer. Polianilin/PANi dapat dikarakterisasi dengan menggunakan pengujian XRD dan FTIR.

Sintesis Komposit BaM/PANI

Material penyerap gelombang radar harus memiliki kemampuan untuk dapat meminimalisir refleksi dari gelombang elektromagnetik. Selain itu RAM juga harus memiliki sifat magnetik dan sifat listrik yang baik. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan bahan magnetik dan bahan konduktif sebagai penyusun dasar material RAM. Bahan magnetik yang digunakan yaitu Barium M-Heksiferit dengan pemberian dopan Cu^{2+} dan bahan konduktifnya yaitu polianilin/PANi. Kedua bahan ini dikompositkan atau dicampurkan dengan menggunakan media pelarut. Adanya ion Cu^{2+} sebagai dopan tidak mengubah struktur kristal dari BaM itu sendiri dan hasil yang diberikan sebesar pencapaian hasil transmitansi paling tinggi sebesar 92% sehingga diperoleh hasil panjang gelombang sampai 669.56 cm^{-1} [6]. Adanya komposit BaM/PANi sebenarnya tidak menyatu satu sama lain namun setiap material berdiri sendiri. Untuk menjelaskan lebih lanjut bahwa tidak terjadi ikatan pada komposit BaM/PANi maka dapat dilakukan karakterisasi uji FTIR untuk melihat ikatannya.

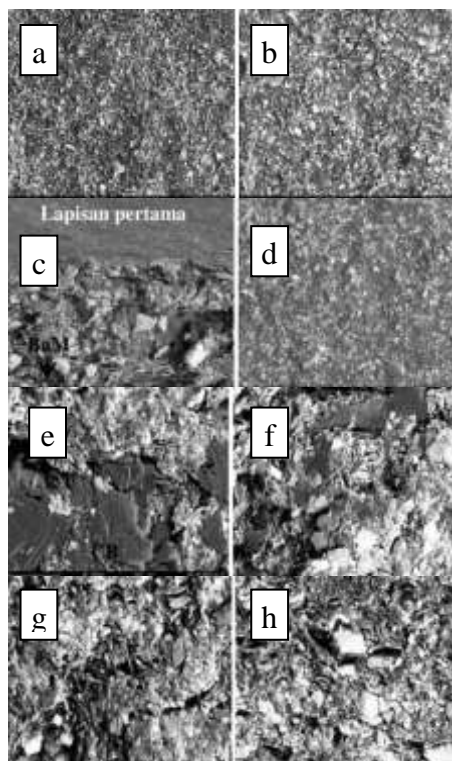
Hasil Uji SEM-EDX

Scanning Electron Microscopy digunakan dalam pengamatan terhadap morfologi material. Berikut adalah hasil pengamatan morfologi BaM/PANi dengan perbesaran 5000x. Pada **Gambar 1** partikel BaM teramati pada morfologi komposit BaM/PANi berbentuk heksagonal dan poligonal. Terdapat pula beberapa kabut berlapis yang merupakan aglomerasi pada permukaan komposit BaM/PANi yang disebabkan oleh adanya sisa pelarut saat polimerisasi berlangsung[7].



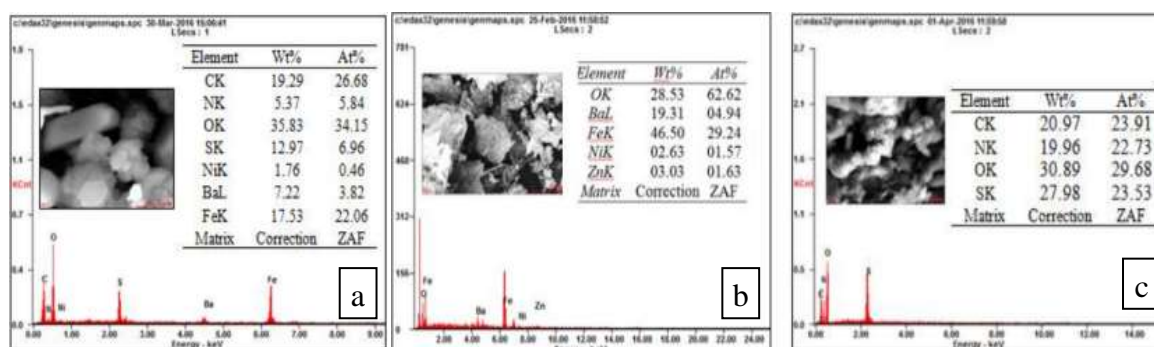
Gambar 1. Hasil Uji SEM pada BaM/PAni perbesaran 5000x. [8]

Uji SEM dengan perbesaran 3000x juga dilakukan pada masing-masing material yang telah dicampurkan cat epoxy dan dilapiskan ke suatu plat baja dengan perlakuan beberapa variasi lapisan. **Gambar 2a** menunjukkan morfologi lapisan single layer pada pengujian SEM di satu titik. **Gambar 2b** hingga **Gambar 2d** menunjukkan morfologi pada lapisan double layer di 3 titik. Pada **Gambar 2e** hingga **Gambar 2h** menunjukkan morfologi dari lapisan multilayer yang dilakukan uji SEM di 4 titik.



Gambar 2. Hasil Pengujian SEM perbesaran 3000 kali (a) *Single layer*, (b) lapisan pertama *double layer*, (c) batas lapisan pertama dan lapisan kedua *double layer*, (d) lapisan kedua *double layer*, (e) lapisan pertama *multilayer*, (f) batas lapisan pertama dan lapisan kedua *multilayer*, (g) lapisan kedua *multilayer*, (h) batas lapisan kedua dan ketiga *multilayer*. [8]

Distribusi komposisi partikel yang ada pada komposit BaM/PAni diamati menggunakan EDX. Area tertentu diambil untuk dianalisis sehingga dapat diperoleh komposisi secara umum. Hasil uji EDX ditunjukkan pada **Gambar 3**.

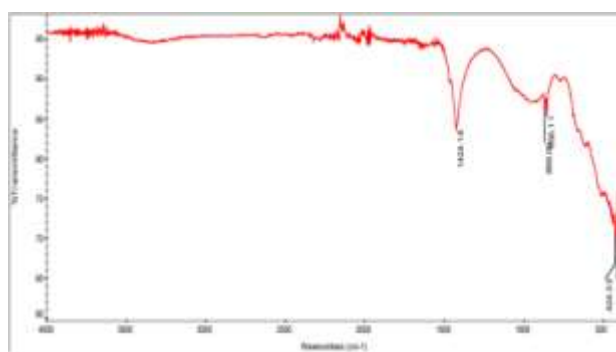


Gambar 3. Hasil Uji EDX (a) BaM perbesaran 2000 kali, (b) PAni perbesaran 2000 kali, (c) BaM/PAni perbesaran 2000 kali. [8]

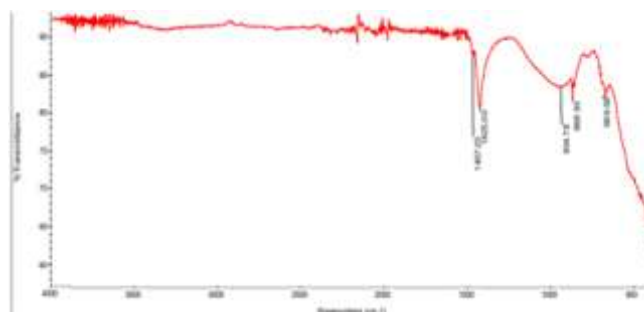
Pada hasil uji EDX diperoleh adanya C, O, N, Ba, Fe, Zn, dan Ni pada sampel BaM/PAni. Hal ini menunjukkan bahwa telah terbentuknya komposit BaM/PAni. Munculnya unsur C, O, dan N menjadi unsur yang terbentuk pada polimer PAni.

Hasil Uji FTIR

Uji FTIR dilakukan untuk mengetahui ikatan-ikatan yang terdapat dalam polimer PAni dan BaM. **Gambar 4** menunjukkan grafik yang diperoleh sejumlah peak untuk dapat mengidentifikasi ikatan yang terdapat pada PAni dan adanya ikatan lain pada komposit BaM/PAni. Jumlah dan ketinggian peak pada grafik uji FTIR kedua sampel tidak jauh berbeda. Hanya pada komposit BaM/PAni ditemukan adanya ikatan M-O pada 532, 478, 466, dan 429 cm^{-1} , dimana ikatan tersebut menunjukkan bahwa adanya ikatan logam pada sampel yang diujikan. Ikatan logam tersebut yaitu ikatan dari BaM dengan oksigen dari polimer PAni. Sehingga dapat dikatakan bahwa proses pembuatan komposit berhasil dilakukan dengan terbuktinya ikatan antara BaM dengan polimer PAni pada komposit yang telah dihasilkan.



Gambar 4. Hasil Uji FTIR pada BaM [6]



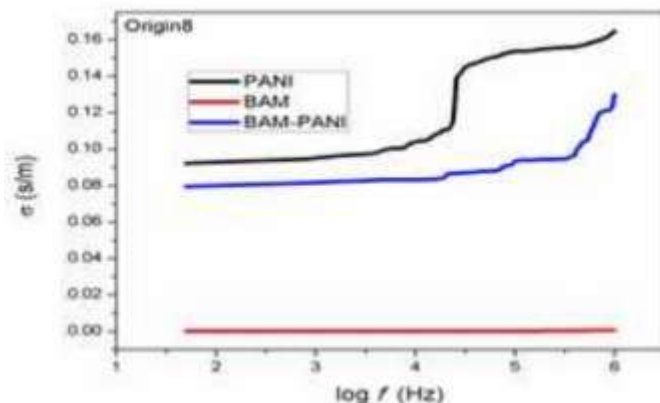
Gambar 5. Hasil Uji FTIR pada BaM doping Cu [6]

Hasil Uji LCR-meter

Hasil uji LCR-meter pada komposit ini ditunjukkan oleh Tabel 1. Dari tabel tersebut diketahui bahwa nilai konduktivitas listrik PAni sebesar 8.79809×10^{-8} S/cm, sedangkan konduktivitas listrik komposit BaM/PAni sebesar 1.77744×10^{-5} S/m.

Tabel 1 Konduktivitas Listrik Material RAM [8]

Material	Konduktivitas Listrik (S/cm)
PAni	8.79809×10^{-8}
BaM/PAni	1.77744×10^{-5}



Gambar 6. Nilai Konduktivitas PANI, BaM, dan BaM/PANI [8]

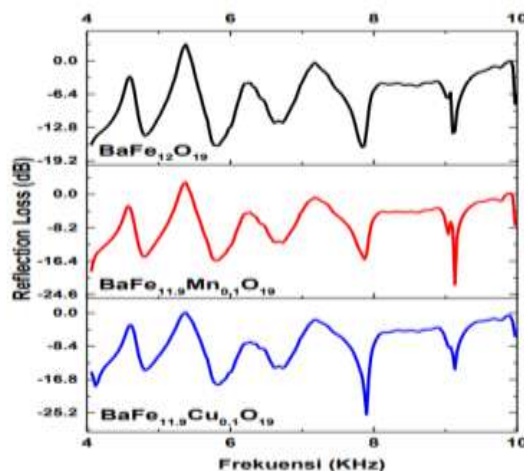
Nilai konduktivitas listrik pada PANI besar dikarenakan polianilin merupakan bahan polimer konduktif, kemampuannya menjadi penghantar listrik terjadi disebabkan oleh adanya perpindahan ikatan elektron dari tingkat dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi, termasuk tingkat oksidasi yang diperoleh tergolong dalam garam emeraldin yang mengalami setengah oksidasi dengan nilai konduktivitas pada tingkat semikonduktor pada rentang 10⁻⁷ S/cm hingga 100 S/cm [9].

Hasil Uji VNA

Uji VNA menunjukkan diperoleh bahwa nilai *reflection loss* dari 3 sampel yang diuji pada Tabel 3, yaitu nilai *reflection loss* terendah diperoleh dari sampel lapisan *multilayer* dengan ketebalan 6mm sebesar -49,028 dB pada pita frekuensi penyerapan 8,57 GHz. Semakin negatif atau semakin besarnya nilai *reflection loss* maka semakin besar pula daya serap material terhadap deteksi gelombang mikro [10].

Tabel 2 Pengaruh Variasi Jumlah Lapisan terhadap *Reflection Loss* [8].

Jumlah Lapisan	Reflection Loss (dB)	Adsorption band (GHz)
Cat epoxy	-2,977	8
Single layer	-32,029	8,57
Double layer	-35,352	8,7
Multilayer	-49,028	8,2



Gambar 7. Hasil Uji VNA *Reflection Loss* pada berbagai frekuensi (KHz) [11]

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [11], didapatkan nilai reflection loss untuk $\text{BaFe}_{11.9}\text{Mn}_{.1}\text{O}_{19}$ mencapai 23 dB sedangkan $\text{BaFe}_{11.9}\text{Cu}_{0.1}\text{O}_{19}$ mencapai 25,3 dB berdasarkan hasil uji VNA dengan frekuensi 4-8 GHz. Dengan demikian, diharapkan pendopingan dengan Cu diperoleh reflection loss yang lebih baik pada bahan RAM hasil sintesis.

KESIMPULAN

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa material BaM setelah didoping oleh logam Cu mengalami peningkatan reflection loss pada frekuensi 4-8 GHz dengan uji VNA. Penyerapan gelombang diduga memiliki peningkatan dengan variasi ketebalan pelapisan RAM. Dengan demikian, sintesis BaM/PANi dengan doping Cu diharapkan memperoleh hasil yang lebih baik sebagai RAM pelapisan Alpalhankam.

Saran

Dengan adanya suatu ulasan mengenai perbandingan dalam penggunaan doping logam untuk RAM sebagai pelapis Alpalhankam, diharapkan pembaca dapat memahami lebih dalam tentang “Doping Logam untuk RAM” dan dapat memanfaatkannya dalam kehidupan sehari-hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Thomas, L. V Abdulhakim, N. K. Pushkaran, and A. C. Karuvandi, “Wideband radar absorbing structure using polyaniline-graphene nanocomposite,” *C*, vol. 6, no. 4, p. 72, 2020.
- [2] Z. Fatimah, A. Doyan, and others, “The process of making BaM ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) samples based on natural iron sand doped with metal (Co-Cu-Zn) using the coprecipitation method,” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2022, p. 12007.
- [3] Y. Taryana, A. Manaf, N. Sudrajat, and Y. Wahyu, “Electromagnetic Wave Absorbing Materials on Radar Frequency Range,” *J. Keramik dan Gelas Indones.*, vol. 28, no. 1, pp. 1–28, 2019.
- [4] D. M. Adriani, B. Sitorus, and L. Destiarti, “Sintesis Material Konduktif Komposit Polianilin-Selulosa Dari Tanah Gambut,” *J. Kim. Khatulistiwa*, vol. 2, no. 3, 2013.
- [5] N. Widiyanti and N. P. Putri, “Sintesis Polianilin Dengan Metode Interfasial Menggunakan Variasi Larutan Dalam Fasa Organik,” *J. Inov. Fis. Indones.*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [6] D. Wardani, D. Kurniasih, A. Maharani, and R. Budiawati, “Analisa Komposisi Material Barium M-Heksaferit (BAM) Berbahan Dasar Pasir Besi Pantai Cilacap dan Taluk Kuantan,” *J. Appl. Electr. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 39–42, 2022.
- [7] U. Nuraini, “Pelapisan Multilayer dengan Menggunakan Polianilin dan Hematit sebagai Radar Absorbing Material (RAM),” Tesis S2 Jurusan Fisika FMIPA, ITS, Surabaya, 2015.
- [8] L. N. Wahyuni, W. Widyastuti, and R. Fajarin, “Pengaruh Jumlah Lapisan Terhadap Reflection Loss pada Komposit Barium Heksaferit/Polianilin sebagai RAM (Radar Absorbing Material),” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. F130–F134, 2016.
- [9] H. Prastiwi, “Analisis Pengaruh Penambahan Serbuk Tembaga Terhadap Sifat Listrik Dan Sifat Optik Polianilin (PANi),” *Lap. Skripsi Univ. Andalas, Padang*, 2012.
- [10] S. W. Phang, M. Tadokoro, J. Watanabe, and N. Kuramoto, “Synthesis, characterization and microwave absorption property of doped polyaniline nanocomposites containing TiO_2 nanoparticles and carbon nanotubes,” *Synth. Met.*, vol. 158, no. 6, pp. 251–258, 2008.
- [11] S. Simbolon, A. P. Tetuko, C. Kurniawan, P. Sebayang, and K. Sebayang, “Pengaruh Penambahan Doping Mn/Cu pada Barium Heksaferit sebagai Material Penyerap Gelombang”.