

Karakterisasi Impedansi Komposit Isotropik PANi/BAM pada Pelapisan *Double Layer* sebagai *Radar Absorbing Material* (RAM)

Muhammad Rizki Alfirdaus, 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—Karakterisasi impedansi komposit isotropik PANi/BAM pada pelapisan *double layer* sebagai *Radar Absorbing Material* (RAM) telah berhasil dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi nilai impedansi serta mengetahui kemampuan penyerapan gelombang mikro yang dihasilkan dari pelapisan *double layer* komposit PANi/BAM. BAM ($\text{BaFe}_{11.7}\text{Zn}_{0.3}\text{O}_{19}$) berhasil disintesis dengan metode kopresipitasi dan sintesis PANi dilakukan dengan metode polimerisasi *in situ*. Identifikasi fasa BAM dan PANi dilakukan dengan menggunakan XRD, sedangkan sifat kemagnetan material magnetik BAM diidentifikasi dengan menggunakan VSM dan diperoleh medan koersivitas sebesar 0,043 T. Karakterisasi impedansi dan kemampuan penyerapan terhadap gelombang mikro dilakukan dengan menggunakan VNA pada frekuensi X-Band. Berdasarkan hasil pengujian VNA, dihasilkan nilai impedansi dan rugi refleksi (RL) maksimum dari pelapisan P-PB, PB-P, B-PB serta PB-B berturut-turut yaitu 406,142 Ω , 478,438 Ω , 612,564 Ω serta 632,216 Ω dan -49,57 dB, -31,30 dB, -22,41 dB dan -22,07 dB. Pelapisan *double layer* komposit PANi/BAM sangat efektif diterapkan sebagai RAM pada rentang frekuensi X-Band, karena material komposit PANi/BAM dapat meningkatkan kemampuan penyerapan serta memperlebar pita penyerapan.

Kata Kunci— Barium m-hexaferrite, *double layer*, impedansi, polianilin, *Radar Absorbing Material* (RAM).

I. PENDAHULUAN

RCS (*Radar Cross Section*) merupakan daerah pada target yang dapat memantulkan sinar datang berdasarkan bentuk, ukuran ataupun material yang digunakan pada target [1]. RCS dapat dimanipulasi dengan 2 cara, yaitu merancang desain pada objek agar tidak dapat dilacak oleh penerima radar, dengan tujuan untuk mengacaukan pantulan gelombang radar yang mengenai objek sehingga tidak bisa ditangkap oleh penerima radar [2]. Yang kedua dengan menciptakan sebuah material yang mampu menyerap radiasi gelombang mikro atau RAM (*Radar Absorbing Material*) dengan tujuan untuk me-minimalkan pantulan gelombang radar [3].

RAM dapat dibuat dari polianilin (PANi) sebagai material konduktif dan juga barium m-hexaferrite (BAM) sebagai material magnetik. Polianilin merupakan material konduktif yang mempunyai sifat kestabilan kimia tinggi dan konduktivitas listrik tinggi serta dapat digunakan untuk perlindungan terhadap gelombang elektromagnetik [4]. Sedangkan barium m-hexaferrite (BAM) merupakan material dengan struktur molekul

hexagonal yang digunakan sebagai magnet permanen, dan juga sebagai penyerap gelombang radar karena magneto-kristalin anisotropik yang tinggi serta memiliki ketahanan korosi yang tinggi [5]. Selain itu BAM juga memiliki sifat magnetik yang unik yaitu yang awalnya bersifat *hard magnetic* dapat diubah menjadi *soft magnetic* dengan melalui proses substitusi atau doping ion. Modifikasi material BAM ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) oleh doping ion memungkinkan untuk mendapatkan sifat yang unik yang dapat diterapkan sebagai material penyerap gelombang mikro [6].

Pelapisan dengan menggunakan komposit PANi/BAM sangat efektif diterapkan sebagai material anti radar pada daerah *X-Band* (daerah yang biasa digunakan untuk operasi gelombang mikro pada pesawat siluman atau teknologi militer yang lainnya) [7]. Pelapisan yang efektif harus memiliki rugi refleksi yang besar dan pita penyerapan yang lebar. Rugi refleksi yang besar dihasilkan oleh material pelapis yang memiliki nilai impedansi mendekati dengan impedansi medium gelombang yang datang (377 Ω). Nilai impedansi dari material pelapisan ini dapat diperoleh melalui perhitungan berdasarkan persamaan berikut.

$$Z_{in} = Z_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left(i \left[\frac{2\pi L}{\lambda_0} \right] \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right) \quad (1)$$

dimana Z_{in} adalah impedansi input ketika gelombang elektro-magnetik yang datang tegak lurus dengan material dan merupakan impedansi karakteristik yang dimiliki oleh material penyerap radar (RAM). Sedangkan untuk menghasilkan pita penyerapan yang lebar dapat dilakukan dengan melemahkan gelombang elektromagnetik yang masuk ke dalam material dengan menggunakan variasi komposisi pelapisan. Menurut penelitian Feng (2007), berhasil memperlebar pita penyerapan gelombang mikro dengan menggunakan pelapisan *double layer* [2]. Oleh karena itu, maka perlu dilakukan karakterisasi impedansi pada komposit isotropik *double layer* PANi/BAM sebagai *radar absorbing material* (RAM) untuk menghasilkan minimum refleksi dan pita penyerapan yang lebar.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sintesis Barium M-Hexaferrite (BAM)

Sintesis BAM dengan doping ion Zn^{2+} dilakukan dengan metode kopresipitasi. Langkah pertama yaitu melarutkan serbuk BaCO_3 , serbuk Zn dan serbuk besi dengan HCl 37% kemudian diaduk selama 30 menit

menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 70 °C. Masing-masing larutan yang terbentuk kemudian dicampurkan kemudian ditambahkan NH_4OH secara perlahan sampai pH 13 untuk membentuk endapan sempurna. Endapan dicuci dengan air destilasi sampai pH=10 dan dikeringkan pada temperature 100°C. Diperoleh serbuk prekursor BAM dan dikalsinasi pada temperatur kalsinasi 1000 °C dengan waktu penahanan selama 5 jam agar diperoleh kristalin BAM.

B. Sintesis Polianilin (PANi)

Sintesis PANi dilakukan dengan menggunakan metode polimerisasi in situ. Anilin dan DBSA (*Dodecyl Benzene Sulfonic Acid*) dilarutkan dalam aquades selama 30 menit (Larutan A). Amonium peroksidisulfat (APS) dilarutkan dalam aquades selama 15 menit sampai terbentuk larutan yang bening. Proses polimerisasi terbentuk dengan menambahkan Larutan A didinginkan hingga temperatur 0 °C pada gelas labu dan distirer, kemudian ditetesi dengan larutan inisiator (APS) sampai terbentuk larutan berwarna hijau tua. larutan yang terbentuk disaring dan dicuci dengan menggunakan aseton 10 ml dan aquades (air destilasi) 10 ml sampai air pencucinya bening, dan dikeringkan diatas mika. Hasil pengeringan dimortar sampai didapatkan serbuk PANi.

C. Pelapisan Komposit Isotropik Double Layer

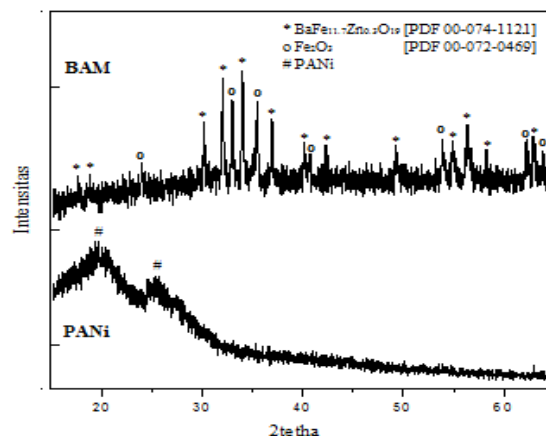
Pelapisan *double layer* dilakukan dengan cara mencampur-kan cat kapal Aghata dan material anti radar (PANi, BAM, komposit isotropik PANi/BAM) dengan metode *hand lay up* dengan perbandingan 1:1. Sedangkan pada pembuatan komposit isotropik PANi/BAM digunakan perbandingan 1:1. Pengadukan dilakukan selama 10 menit sampai homogen menggunakan alat pencampur berkecepatan ± 8000 rpm. Setelah proses pengadukan selesai, bahan kemudian dilapiskan pada plat baja grade A tipe AH36 secara merata. Variasi pelapisan komposit *double layer* yang digunakan yaitu PB-P, P-PB, PB-B, dan B-PB.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Fasa Barium M-Hexaferrite dan Polianilin

Analisis fasa pada barium m-hexaferrite dan polianilin dilakukan dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*). Pola difraksi yang dihasilkan pada pengujian XRD kemudian diolah dengan menggunakan *software Match!* untuk mengetahui fasa apa saja yang terbentuk. Berdasarkan gambar 1, terdapat 2 fasa yang terbentuk pada material BAM yakni fasa dominan BAM [PDF 00-074-1121] sebesar 63,1% dan fasa minor hematite (Fe_2O_3) [PDF 00-072-0469] sebesar 36,9%. Adanya fasa minor pada penelitian yang telah dilakukan ini menunjukkan bahwa dalam mensintesis material magnetik BAM dengan menggunakan metode kopresipitasi, tidak dapat menghasilkan fasa BAM secara utuh atau sempurna, begitu juga seperti yang telah dilakukan pada penelitian yang sebelumnya. Sedangkan pola difraksi yang dihasilkan oleh material PANi pada penelitian ini, terlihat bahwa terdapat pelebaran puncak pada sudut $19,45^\circ$ dan $25,35^\circ$. Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Li (2006), yang mana hasil XRD pada material PANi menunjukkan adanya pelebaran puncak pada sudut $19,6^\circ$ dan $25,5^\circ$. Perbedaan sudut yang terjadi disini dapat disebabkan

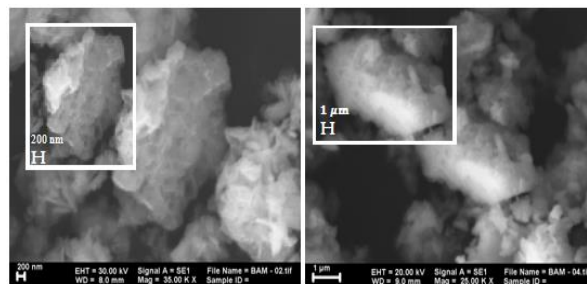
karena adanya beberapa faktor yakni faktor instrumentasi dan polimerisasi.



Gambar. 1. Pola Difraksi Sinar-X BAM dan PANi

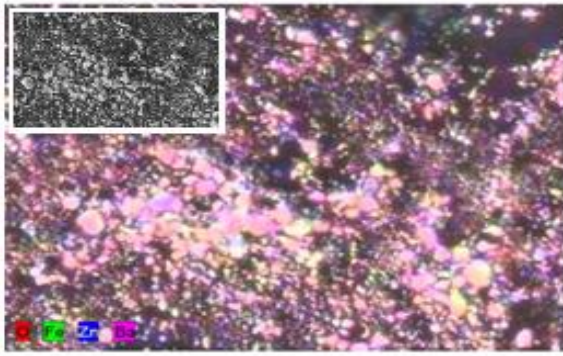
B. Analisis Mikrostruktur BAM

Distribusi ukuran partikel dan morfologi dari BAM dapat diamati melalui pengujian dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Dari hasil pengujian SEM ini kita nantinya akan dapat mengetahui bentuk dan ukuran dari BAM. Berdasarkan hasil pengamatan SEM yang terlihat pada gambar 2, diketahui bahwa bentuk morfologi dari partikel BAM yang telah dibuat tidak ada satupun yang berbentuk hexagonal dengan sempurna, namun disisi lain masih ada sebagian dari partikel tersebut yang berbentuk mirip dengan bentuk hexagonal. Selain itu untuk ukuran partikel BAM dari hasil pengamatan diketahui bahwa partikel BAM memiliki ukuran yang berkisar antara $\pm 2,5 \mu\text{m}$ – $\pm 4 \mu\text{m}$. Sedangkan untuk distribusi partikel-partikel dari material BAM terlihat bahwa distribusinya terdispersi dengan seragam dan juga sebagian ada yang mengumpul membentuk kumpulan banyak partikel.



Gambar. 2. Hasil Pengamatan SEM pada Material BAM

Sedangkan untuk mengenali jenis-jenis atom yang terdapat pada suatu permukaan dari sebuah material dapat dilakukan karakterisasi dengan menggunakan SEM EDX. Dengan EDX kita dapat mengetahui secara kuantitatif dari persentase masing-masing elemen atau unsur yang terkandung pada permukaan tersebut seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Kandungan elemen atau unsur yang terdapat pada material BAM yang telah terdoping ion Zn^{2+} adalah Ba, Fe, Zn dan O. Berdasarkan pemetaan elemen dengan warna yang berbeda, kandungan unsur yang terdapat pada BAM tersebut akan terlihat menyebar secara merata. Adanya elemen Zn menandakan bahwa material BAM berhasil terdoping. Berikut adalah gambar dari hasil pengujian SEM-EDX dan tabel persentase persebaran unsur atau atom pada material magnetik BAM dengan doping ion Zn ($\text{BaFe}_{11.7}\text{Zn}_{0.3}\text{O}_{19}$).



Gambar 3. Hasil Pengujian SEM EDX pada Material BAM

Tabel 1. Persentase Persebaran Elemen Penyusun BAM

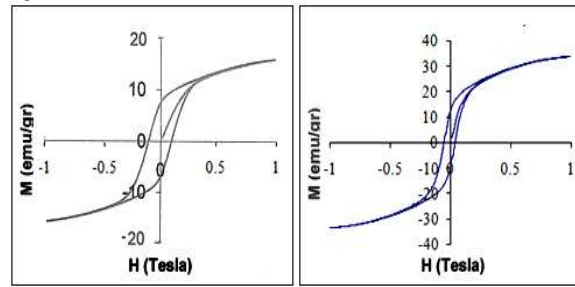
No	Elemen	Nomor atom	Atom [at.%]
1	O	8	95,08
2	Fe	26	4,44
3	Zn	30	0,24
4	Ba	56	0,24

C. Analisis Kemagnetan BAM

Material magnetik BAM yang berperan sebagai RAM dapat diketahui sifat magnetiknya dengan melakukan pengujian VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*). Adanya proses pendopingan pada material BAM dapat mempengaruhi sifat kemagnetannya. Dan sifat kemagnetan dari material magnetik BAM ini dapat dianalisis dari kurva histeresis yang diperoleh dari hasil pengujian VSM tersebut, dimana pada kurva histeresis nantinya dapat kita ketahui besar dari nilai magnetisasi saturasi (M_s), magnetisasi remanensi (M_r) dan juga medan koersivitas (H_c) dari masing-masing material. Material BAM ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) yang merupakan bahan ferromagnetik serta memiliki struktur hexagonal ini, kemudian akan dilakukan proses pendopingan dengan ion doping Zn^{2+} yang bertujuan untuk menggantikan posisi ion Fe^{3+} yang ada dalam material BAM. Adanya proses pendopingan dengan ion Zn^{2+} dapat menyebabkan perubahan sifat magnetik pada material BAM, dimana sifat dari material BAM yang awalnya bersifat keras (*hard magnetic*) dapat tereduksi menjadi *soft magnetic* atau bersifat lemah.

Dari kurva histeresis yang dihasilkan pada gambar 4 diketahui terdapat penyempitan lebar kurva. Adanya perubahan ini menandakan bahwa terjadi perubahan sifat magnetik yakni dari *hard magnetic* menjadi *soft magnetic*. Perbedaan dari kedua sifat magnetik ini terletak pada nilai medan koersivitasnya (H_c), dimana pada material dengan sifat *hard magnetic* memiliki nilai medan koersivitas serta magnetisasi yang relatif besar. Medan koersivitas yang besar menandakan bahwa arah dari orientasi dipol-dipol magnetik yang dimiliki oleh material magnetik tersebut memiliki arah orientasi yang sama, oleh karena itu untuk menyearahkan kembali dari arah dipol-dipol magnetik tersebut maka diperlukan medan magnet luar yang besar. Keadaan seperti ini berkebalikan dengan material yang memiliki sifat *soft magnetic* dimana arah dari dipol-dipol magnetik pada material tersebut terlihat memiliki arah yang acak. Material BAM setelah dilakukan pendopingan memiliki 2 fasa yang terbentuk yakni fasa dominan BAM dan fasa minor hematit. Hematit pada suhu ruang bersifat *soft*

ferromagnetik dan juga bersifat superparamagnetik, yang mana sifat superparamagnetik ini termasuk dalam *soft magnetic*.



Gambar. 4. Kurva Histeresis (a) BAM tanpa Doping dan (b) BAM Doping Ion Zn^{2+}

Tabel 2. Nilai Remanensi dan Medan Koersivitas Material BAM

Material	Remanensi (emu/gr)	Medan Koersivitas (T)
BAM tanpa doping	8,334	0,107
BAM ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$)	12,38	0,043

D. Karakterisasi Impedansi RAM

Impedansi karakteristik atau impedansi yang dimiliki oleh suatu material penyerap radar (RAM) mempunyai hubungan dengan *reflection loss* yang dimiliki oleh material tersebut. Dimana untuk mengetahui *reflection loss* atau rugi refleksi maka kita harus mengetahui impedansi karakteristik material tersebut terlebih dahulu. Impedansi karakteristik merupakan konsekuensi dari permeabilitas relatif (μ_r) dan permeabilitas relatif (ϵ_r) yang mempunyai nilai kompleks pada suatu bahan. Sehingga kita harus memerlukan suatu material yang memiliki μ_r dan ϵ_r yang cocok dengan μ dan ϵ udara atau vakum agar terjadi resonansi impedansi sehingga dihasilkan *reflection loss* yang cukup besar. Dengan menggunakan persamaan 1, maka dapat diketahui nilai impedansi dari pelapisan RAM yang digunakan.

Tabel 3. Nilai Impedansi RAM

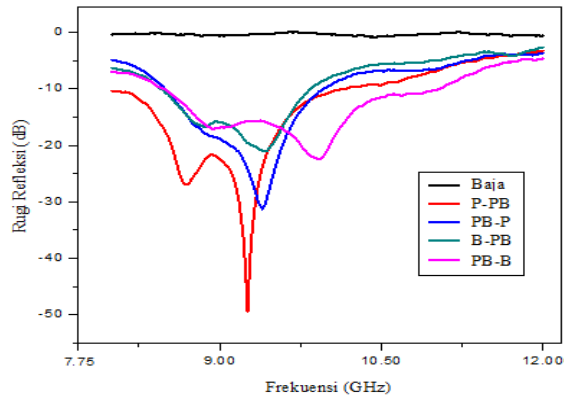
No	Variasi Komposisi RAM	Impedansi (Ω)
1	P-PB	406.142
2	PB-P	478.438
3	B-PB	612.564
4	PB-B	632.216

Nilai impedansi yang dihasilkan memiliki nilai yang hampir sama dengan impedansi medium gelombang datang (377Ω). Sehingga dapat disimpulkan bahwa material RAM yang memiliki nilai impedansi yang hampir sama dengan impedansi udara memiliki nilai rugi refleksi yang semakin besar yang dihasilkan oleh material RAM tersebut. Hal ini dikarenakan kesesuaian impedansi dapat membatalkan sinyal yang tersebar agar tidak terpantul kembali.

E. Analisis Penyerapan Gelombang Mikro pada Frekuensi X-Band

Analisis terhadap besar penyerapan atau *reflection loss* (RL) dari suatu gelombang elektromagnetik yang mengenai sebuah material dapat diketahui dengan melakukan pengujian menggunakan *Vector Network Analyzer* atau VNA. Pengujian dengan VNA ini dilakukan pada rentang frekuensi yang terdapat pada daerah X-Band yaitu 8-12 GHz. Berdasarkan penelitian

Feng (2007), pada proses pelapisan RAM tidak hanya memiliki kemampuan menyerap gelombang datang pada frekuensi yang lebar, tetapi ketebalan RAM juga dapat berpengaruh dalam optimasi pada penyerapan gelombang radar. Pelapisan material RAM pada baja dilakukan dengan cara mencampurkan material RAM dengan cat, dimana material RAM dalam hal ini berperan sebagai *filler* sedangkan cat berperan sebagai *binder*. Campuran dari keduanya tersebut merupakan komposit isotropik karena penguatannya ke segala arah dan juga tersebar secara merata.



Gambar. 5. Grafik Rugi Refleksi pada Pelat Baja Sebelum dan Sesudah dilapisi Material RAM

Berdasarkan hasil pengujian VNA pada gambar 5 dapat disimpulkan bahwa pelat baja yang sebelum dilakukan proses pelapisan, pada dasarnya bersifat memantulkan. Hal ini dikarenakan rugi refleksi maksimum yang dihasilkan hampir mendekati nol yakni hanya bernilai -0,82 dB. Seperti yang diketahui bahwa jika rugi refleksi yang diketahui bernilai nol maka koefisien refleksi yang dihasilkan akan bernilai 1, sehingga material tersebut merupakan material yang bersifat memantulkan. Sedangkan untuk pelat baja yang telah dilapisi oleh material RAM juga dapat disimpulkan bahwa setelah proses pelapisan tersebut terjadi perubahan nilai rugi refleksinya, dimana rugi refleksi maksimum yang dihasilkan memiliki besar yang berbeda-beda tergantung dari material RAM yang dilapiskan.

Penyerapan gelombang mikro dapat dilihat dari besar kecil-nya nilai rugi refleksi yang dihasilkan. Semakin besar nilai negatif dari rugi refleksinya maka semakin besar pula daya serap yang dimiliki oleh material tersebut. Penyerapan gelombang mikro dapat terjadi sebagai akibat dari masuknya atau merambatnya suatu gelombang mikro pada suatu medium yang besarnya bergantung berdasarkan dari sifat material, geometri permukaan, dan karakteristik umum yang dimiliki oleh material tersebut.

Tabel 4. Nilai Rugi Refleksi Maksimum dan Koefisien Refleksi pada RAM

Material	Rugi refleksi (dB)	Z_{in} (Ω)	Koefisien refleksi (Γ)
P-PB	-49,57	50,333	0,003
PB-P	-31,30	52,799	0,027
B-PB	-22,41	42,953	0,076
PB-B	-22,07	42,696	0,079

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Impedansi yang dihasilkan pada pelapisan *double layer* komposit PANi/BAM memiliki nilai impedansi yang mendekati dengan impedansi udara. Semakin mendekati dengan nilai impedansi udara menandakan bahwa nilai negatif rugi refleksinya semakin besar, sehingga daya serap material tersebut semakin besar pula. Berikut nilai impedansi dari pelapisan *double layer* P-PB, PB-P, B-PB serta PB-B pada frekuensi *X-Band* berturut-turut yaitu 406,142 Ω , 478,438 Ω , 612,564 Ω serta 632,216 Ω .
2. Material penyerap radar atau RAM yang baik yaitu yang memiliki nilai *reflection loss* (RL) atau rugi refleksi yang besar. Berikut nilai rugi refleksi yang dihasilkan dari pelapisan *double layer* P-PB, PB-P, B-PB serta PB-B pada frekuensi *X-Band* berturut-turut sebesar -49,57 dB, -31,30 dB, -22,41 dB serta -22,07 dB.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. M. Zainuri, M. Si yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam pembuatan artikel ini. Terima kasih juga kepada rekan-rekan penelitian yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. F. Knott, "Radar Cross Section Fundamentals," in *Radar Cross Section Measurements*, Springer, 1993, hal. 1–26.
- [2] P. Saville, "Review of radar absorbing materials," DTIC Document, 2005.
- [3] S. Kaya, "Magnetic And Electromagnetic Characterization Of Barium Hexaferrite Ceramics And Their Polymer Matrix Composites," Middle East Technical University, 2014.
- [4] W. Li, Q. X. Jia, dan H.-L. Wang, "Facile synthesis of metal nanoparticles using conducting polymer colloids," *Polymer*, vol. 47, no. 1, hal. 23–26, 2006.
- [5] Paul, K.B.M., (2007), *Physica B*, 388.
- [6] D. A. Vinnik, A. S. Semisalova, L. S. Mashkovtseva, A. K. Yakushechkina, S. Nemrava, S. A. Gudkova, D. A. Zherebtsov, N. S. Perov, L. I. Isaenko, dan R. Niewa, "Growth, structural and magnetic characterization of Zn-substituted barium hexaferrite single crystals," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 163, hal. 416–420, Agu 2015.
- [7] Sudati, A.W., (2013), "Pelapisan Material Komposit PANi/BaM berstruktur *Core-shell* Sebagai Radar Absorbing Material (RAM) Pada Baja Grade A Tipe AH36," Laporan Tesis Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.