

Review Jurnal: Nanokomposit Sebagai Penyerap Gelombang Elektromagnetik Untuk Radar *Absorbent Material*

Wulandari Fira Putri^{1*}, Aisyah Audrey Nur¹, Cahyani Elsa Gafira¹
& Aritonang Sovian¹

¹Universitas Pertahanan Republik Indonesia

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

*Email: firaputri2222@gmail.com, soviaan.aritonang@idu.ac.id

ABSTRACT

RAM or Radar Absorbent Material, is a substance designed to absorb radar or radio waves to prevent their reflection back toward the radar or enemy radar (Ishi et al. 2017). Extensive research has been conducted on RAM and its composition, particularly in the form of nanocomposites. To assess the effectiveness of a RAM's primary material, a key test is conducted to determine its electromagnetic wave absorption capability, known as the reflection loss test. This test quantifies a material's absorption ability, where a more negative reflection loss value indicates superior electromagnetic wave absorption. This literature review explores various nanocomposite materials and conductive polymers that can serve as the foundation for RAM. Notably, the PAni/Fe3O4 Nanocomposite emerges as the most efficient RAM material, boasting the lowest reflection loss at -53.7 dB.

Keywords: RAM, reflection loss, nanocomposites.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan kekayaan alam yang melimpah dengan posisi Indonesia yang merupakan salah satu negara terluas di Asia Tenggara, dimana Indonesia memiliki kepulauan terbesar di dunia dengan wilayah maritim yang sangat luas yakni dengan garis pantainya sekitar 81.000 km serta memiliki pulau sebanyak 17.000 pulau dengan wilayah lautnya yang meliputi 5.8 juta km atau kurang lebih sekitar 70% luas total wilayah Indonesia itu sendiri. Indonesia juga terletak dalam wilayah dua benua, sehingga marak dilewati atau dijadikan jalur perlintasan antar benua tersebut. Posisi Indonesia inilah yang membuat banyak kemungkinan ancaman terhadap wilayah Indonesia, terutama jalur laut maupun udara. Pemerintah Indonesia telah menentukan titik keamanan dan pertahanan wilayah Indonesia dimana diperlukan peran teknologi radar untuk pengawasan dan perlindungan wilayah dalam mengawasi, mengontrol, dan mengatur wilayah udara Indonesia. Radar merupakan suatu alat yang dapat mengambil data dari suatu wilayah pengintaianya dan saat pemakiannya tidak akan dipengaruhi oleh keadaan suatu cuaca. Pada dasarnya radar ini berfungsi sebagai alat yang dapat mendeteksi, mengidentifikasi posisi serta kecepatan suatu objek yang melewatinya baik dalam jangkauan laut, darat dan udara.

Kebutuhan Indonesia terhadap radar ini sangat tinggi. Banyak kemungkinan yang terjadi ketika kita memakai suatu radar termasuk sinyal yang terpantul ke arah radar musuh, maka dari itu terdapat suatu aplikasi material berupa radar penyerap radar yakni dikenal sebagai RAM atau radar absorbent material yang dapat meminimalisir ancaman. RAM atau radar absorbent material ini merupakan bahan penyerap radar atau gelombang radio yang nantinya tidak akan ada pantulan gelombang ke arah radar itu kembali dan ke arah radar musuh. Penyerapan radar ini dapat dibagi menjadi 2 aspek yaitu, pemberian lapisan penyerap gelombang radar yang dibuat dengan material dielektrik serta terdapat juga rekayasa geometri. Dalam perkembangannya sudah banyak dilakukan penelitian-penelitian mengenai RAM dan juga komposisinya. Mulai dari bahan karbon aktif, metal, maupun berbentuk magnetit. Maka pada review jurnal ini akan mengangkat bahasan mengenai beberapa penelitian pembuatan RAM dari beberapa jenis bahan yang berbeda untuk melihat keefektifan dari suatu bahan dapat memengaruhi kinerja dari suatu RAM. Bahan yang dipakai mulai dari suatu karbon, metal ataupun magnetit dan jenis lainnya. Penelitian ini bertujuan mengetahui bahan yang berpotensi menjadi RAM (Radar Absorpsi Material) serta mengetahui

bahan yang memiliki efektivitas paling tinggi dengan membandingkan nilai reflection loss pada zat tersebut.

METODE

Penelitian ini didasarkan pada tinjauan literatur yang dikumpulkan dari sumber data sekunder. Tinjauan pustaka adalah suatu prosedur untuk menemukan, menganalisis, dan merangkum karya penelitian dan gagasan yang diciptakan oleh akademisi dan praktisi yang sistematis, eksplisit, dan dapat diandalkan. Peneliti memperoleh data dan informasi secara tidak langsung dari berbagai sumber terpercaya, antara lain kajian literatur, publikasi ilmiah, dan penelitian terdahulu.

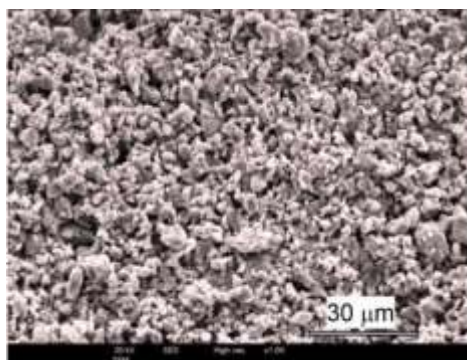
HASIL

Klasifikasi Bahan Pada Radar Absorpsi Material Barium Ferrite Magnet

Barium Ferrite ($BaFe_{12}O_{19}$) merupakan bahan untuk pembuatan magnet permanen, media serapan magnet dan peredam gelombang mikro. Magnet ini adalah bahan keramik magnet keras dengan struktur heksagonal. Barium ferit memiliki saturasi magnetisasi (tingkat kejenuhan sifat magnetik) dan koersivitas yang tinggi [1]

Tabel 1. Sifat barium ferit [2]

| Sifat Bahan | Berium ferit |
|--|------------------------|
| Titik Leleh ($H_{ai}C$) Suhu | 1500 |
| Curie ($H_{ai}C$) Berat Jenis (g/cc) Titik lebur | 450 |
| | 5.3 ($20_{H_{ai}C}$) |
| | ± 1500 |
| Pemaksaan (Oe) | 6700 |
| Saturasi (emu/g) | 72 |
| Warna | Coklat kehitaman |



Gambar 1. Hasil SEM struktur morfologi barium ferit ($BaFe_{12}O_{19}$), [3]

Kemampuan barium ferit sebagai bahan anti radar karena kemampuannya dalam menyerap gelombang mikro. Kemampuan barium ferit dalam menyerap gelombang mikro dapat diukur menggunakan Karakterisasi VNA. *Vector Network Analyzer* (VNA) menghitung nilai Reflection Loss (RL) yaitu besarnya serapan material terhadap gelombang mikro. Berikut data penelitian pada Tabel 2 terkait hilangnya refleksi beberapa magnet barium ferit yang disintesis melalui beberapa metode.

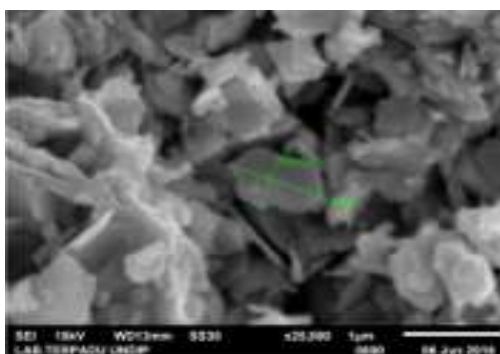
Tabel 2. Hilangnya refleksi barium ferit, [3]

| Sintesis magnetik | metode | Kerugian Refleksi (dB) |
|---|-----------------------|------------------------|
| Berium ferit + doping Ni_{2+} | Sol-gel | -27,30dB (8,30GHz) |
| $BaCO_3$ dan Fe_2HAl_3 | Metode keadaan Padat | 23,07dB (10,72GHz) |
| Barium Heksaferit yang didoping Mg-Al Biner | Metode ko-presipitasi | -53,23dB (10,83GHz) |

Barium ferit berkisar dari bahan penyerap gelombang elektromagnetik radar pada frekuensi 8-15 GHz [4]. Namun barium heksaferit tipe M dapat menyerap gelombang mikro pada frekuensi S-band [5]. Bahan nabati meningkatkan sifat penyerapan gelombang elektromagnetik [6]. Doping dapat meningkatkan kapasitas penyerapan gelombang barium ferit.

Barium M-Hexaferrite/PANI

Barium M-Hexaferrite merupakan material oksida berstruktur kristal heksagonal dengan dua parameter kisi, yakni lebar dari bidang heksagonal (a) 0,588 nm dan tinggi kristal (c) 2,32 nm dengan space grup P63/nmc. Temperatur curie 450°C, nilai medan koersivitas (Hc) 6700 Oe, dan magnetisasi saturasi bahan (Ms) BaM cukup tinggi sebesar 72 emu/g. Nilai yang tinggi menyebabkan nilai anisotropik tinggi sementara absorsinya semakin rendah oleh karenanya dibutuhkan doping dengan jari ionik yang sama seperti Zn ($r=0,074$ nm) diamagnetik yang menggantikan struktur ferromagnetik Fe³⁺ ($r=0,065$) sebagai tambahan sebelum dijadikan bahan penyerap radar. [1]



Gambar 2. Hasil Pengamatan Morfologi BaM dengan Perbesaran 20000 kali [3]

Berdasarkan hasil pengamatan morfologi uji SEM-EDX pada Jurnal Sains dan Seni ITS (2016) tentang Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Radar Absorbing Material (RAM) Berbahan Dasar BaM/PANi pada Rentang Gelombang X-Band dengan Variasi Ketebalan, dapat terlihat bahwa struktur heksagonal BaM belum sempurna dan bukan merupakan fasa tunggal, dengan ukuran partikel $\pm 0,2 - 1 \mu\text{m}$ (ukuran berpengaruh terhadap area permukaan dan sifat mekanik material). Selanjutnya menurut analisa sifat magnetiknya, BaM bersifat hard magnetic, dimana orientasi domain acak sehingga saat terkena medan elektromagnetik, gelombang bisa terpantul kembali. Dalam jurnal yang sama dilakukan percobaan pemberian doping Zn 0,3. Dalam jurnal terkait, dianalisis kurva histeris menunjukkan nilai medan koersivitas sebesar 0,25 T, remanensi 26 emu/gr. Sehingga bisa dikatakan sifat kemagnetan BaM sudah menjadi material soft magnetic.

Sementara itu PANi (polianilin), suatu polimer konduktif berbahan dasar monomer anilin dan DBSA dijadikan sebagai bahan dielektriknya. PANi memiliki stabilitas termal yang baik dan konduktivitas yang tinggi di frekuensi mikro. Dibangun dari pengulangan molekul kecil anilin (C₆H₅NH₂) kovalen. Kesatuan kecil ini akan membentuk cincin benzoid (B) dan kuinoid (Q) dengan penghubung atom nitrogen (N) melalui ikatan amin (terhibridisasi sp³). Konduktivitasnya dimulai dari insulator sampai konduktor, yang dipengaruhi pH (asam menjadi konduktif, basa menjadi insulator) dan konsentrasi doping. Campuran PANi dan BaM dengan perbandingan 1:1 diaplikasikan pada kapal militer dengan ketebalan 1mm, 1,5 mm, 2mm, 2,5 mm dan 3 mm. Karakterisasi itu kemudian di uji VNA untuk memperoleh nilai reflection loss material. Sebelum dilapisi material RAM, plat baja AH36 menghasilkan nilai reflection loss -0,389 dB pada frekuensi 8 GHz, sementara setelah dilapisi material RAM nilai reflection loss diperoleh sebesar -21,231 dB.

Tabel 3. Data pengujian dengan reflection loss optimum [3]

| F (Hz) | Reflection Loss (dB) | | | | | |
|-----------|----------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | Tanpa pelapisan | 1 mm | 1,5 mm | 2 mm | 2,5 mm | 3 mm |
| 8 | -0,39 | -1,46 | -2,1 | -1,45 | -2,35 | -3,29 |
| 8,5 | -0,29 | -0,79 | -1,37 | -1,14 | -2,52 | -2,20 |
| 9 | -0,6 | -1,39 | -2,19 | -1,43 | -2,73 | -4,10 |
| 9,5 | -0,19 | -1,11 | -2,05 | -1,15 | -2,25 | -8,28 |
| 10 | -0,21 | -1,72 | -2,58 | -2,29 | -3,51 | -8,44 |
| 10,5 | -0,65 | -2,29 | -2,66 | -2,62 | -3,23 | -9,64 |
| 11 | -0,30 | -1,92 | -2,38 | -3,98 | -5,99 | -21,23 |
| 11,5 | -0,37 | -4,19 | -4,55 | -11,07 | -19,35 | -15,40 |
| 12 | -0,57 | -7,23 | -7,03 | -5,297 | -10,13 | -11,08 |

Berdasarkan tabel, dilihat nilai reflection loss yang terbesar didapat pada ketebalan 3mm, sebesar -21,231 dB dengan frekuensi 11,5GHz. Hal ini bermakna bahwa nilai reflection loss yang besar dihasilkan dari pelapisan komposit BaM/PANi yang semakin tebal.

Komposit Rami (Alumina Al₂O₃ dan Resin Epoxy)

Dalam Seminar Nasional Sains Teknologi dan Inovasi Indonesia (SESTINDO AAU) pada September 2019, berjudul “Pengaruh Penggunaan Komposit –Rami Sebagai Penyerap Gelombang Radar Pada Stealth Technology” membahas mengenai teknologi siluman untuk menghilangkan jejak dari musuh dengan cara memperkecil RADAR Cross Section (RCS). Inovasi membuat teknologi ekonomis berbahan rami komposit Alumina (Al₂O₃) dan Resin Epoxy untuk selanjutnya disebut Komposit-Rami. Untuk mengoptimalkan pereduksian energi gelombang magnetik ke target, maka gelombang itu bisa diminimalisir dengan coating material bersifat dielectric absorber dari serat rami serbuk Alumina dan Resin Epoxy. Serat Rami memiliki daya tarik 5,5 g/den, dengan mulur sebesar 5%, moisture regain 6%. Sehingga serat rami paling cocok menjadi bahan pembuatan komposit solid, kuat dan stabil. Saat diamati menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope) perbesaran 600 kali, serat berpenampang bulat dan padat berisi. Hal tersebut dicantumkan dalam Jurnal Seminar Sains Teknologi dan Inovasi Indonesia [5]

Aluminium Oksida (Al₂O₃) adalah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen. Terdiri dari mineral korondum, berbentuk kristal dan dikenal sebagai senyawa berpori adsorben [5]. Kemudian, alumina memiliki daya tahan korosi dan titik lebur tinggi (2053-2072oC). Pengujian dilakukan menggunakan VNA (*Vector Network Analyzer*) frekuensi 2-12 GHz. Dihasilkan Komposit - Rami optimal pada ketebalan 5 mm sebagai RAM. Penyerapan optimum mencapai -15,158 dB, Cband -16,398 dB dan X-Band -23,135 dB. Dikatakan Komposit-Rami efektif sebagai RAM karena nilai reflection loss tertinggi dengan Lebar pita penyerapan 1000MHz dan penyerapan 93,1%. Pengujian yang dilakukan adalah uji absorpsi komposit frekuensi 2 sampai 12 GHz dikarakterisasi dengan Vector Network Analyzer (VNA) dengan parameter Reflection Loss sebagai petunjuk jumlah penyerapan penyerapan elektromagnetik pada resonansi gelombang komposit bersatuan decibel.

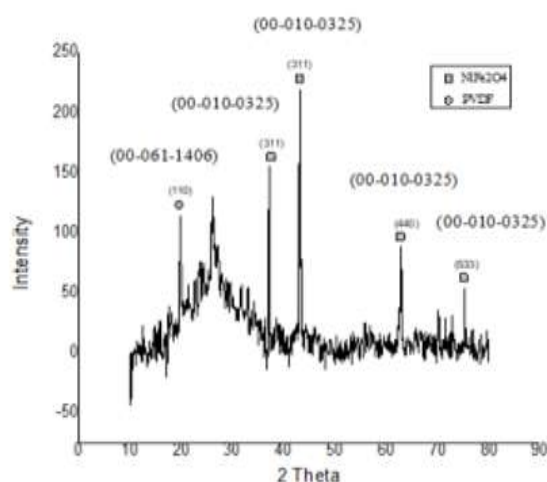
Tabel 4. Data pengujian dengan reflection loss optimum

| Ketebalan | Frekuensi (GHz) | | | Reflection Loss (dB) | | |
|-----------|-----------------|--------|--------|----------------------|--------|--------|
| | S-Band | C-Band | X-Band | S-Band | C-Band | X-Band |
| 3 mm | 3,34 | 6,76 | 9,64 | -9,32 | -12,38 | -21,65 |
| 5 mm | 2,86 | 6,7 | 8,44 | -15,19 | -17,20 | -23,14 |

Dari ketiga frekuensi yang tercatat, nilai terkecil terdapat pada frekuensi X-Band 5mm yaitu -23,14dB. Sedang nilai terbesar yaitu pada S-Band 3mm sebesar 6,30 dB. Nilai yang semakin kecil menunjukkan kemampuan penyerapan gelombang mikro lebih baik. dengan lebar pita penyerapan 1000 MHz dan memiliki persentase penyerapan sebanyak 93,1 %. Sehingga Komposit-Rami sangat efektif digunakan sebagai RAM pada frekuensi XBand.

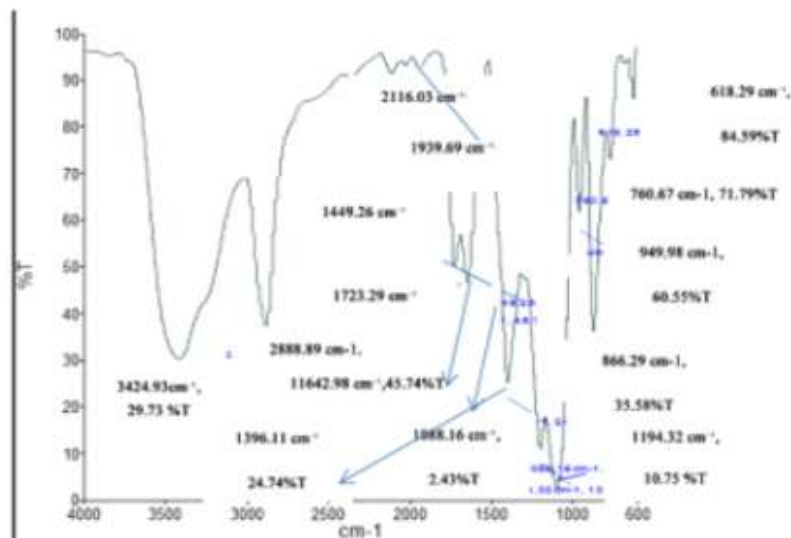
NiFe₂O₄/PVDF

Kemajuan teknologi saat ini membuat banyaknya penelitian-penelitian sintesis dan karakterisasi suatu bahan nano dikembangkan, salah satunya untuk menjadi bahan dari radar absorbent material (RAM). Menurut penelitian dari Fadillah, suatu material nano dapat dikembangkan menjadi bahan peredam gelombang elektromagnetik berupa Radar absorbent material (RAM). Material nano komposit yang digunakan salah satunya adalah NiFe₂O₄. Pembuatan nanokomposit untuk bahan RAM ini diperlukan suatu polimer konduktif dimana polimer konduktif ini telah menunjukkan adanya sifat yang lebih baik dibandingkan logam dalam menyerap radiasi elektromagnetik [8]. Salah satu polimer konduktif yang biasanya dipakai adalah PVDF yang merupakan polimer konduktif yang memiliki sifat luar biasa seperti kekuatan mekanik yang cukup tinggi, tahan terhadap panas dan juga hidrofobisitas yang tinggi [9]. PVDF ini juga sering digunakan sebagai sensor dan aktuator dimana PVDF ini juga memiliki domain ferroelektrik yang tidak teratur [10]. Dari sifat-sifat yang dimiliki oleh PVDF, menunjukkan bahwa PVDF cocok sebagai matriks dalam komposit polimer. Telah dilakukan penelitian bahan nanokomposit untuk radar absorbent material (RAM) yang berasal dari nanokomposit NiFe₂O₄ / PVDF dengan metode *sol gel*. Pada penelitian ini untuk membuktikan bahwa nanokomposit NiFe₂O₄ / PVDF dapat menjadi bahan RAM maka dilakukan beberapa uji seperti uji karakterisasi nanokomposit NiFe₂O₄ / PVDF menggunakan XRD dengan komposisi 30:10,



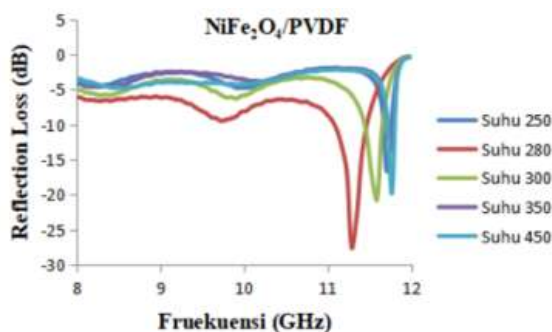
Gambar 3. Pola Difraksi Nanokomposit NiFe₂O₄/PVDF dengan komposit 30:10, [7]

Dilakukan pula uji spektrum IR dari nanokomposit NiFe₂O₄ / PVDF 30:10 dengan menggunakan instrumen FTIR dengan metode pellet KBr. Spektrum IR dari nanokomposit NiFe₂O₄ / PVDF diamati dalam bilangan gelombang 600-4000 cm⁻¹, yang mana sudah terbentuknya gugus fungsi seperti Gambar 6. Untuk PVDF bilangan gelombang 1500 cm⁻¹ dan 3500 cm⁻¹ menunjukkan atom O-H dan C-N yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil karakterisasi FTIR komposisi Nanokomposit NiFe₂O₄ [7]

Dalam penentuan ini juga dilakukan pengujian karakterisasi nanokomposit NiFe₂O₄ / PVDF menggunakan Vector Network Analyzer. Hasil dari karakterisasi ini berupa kurva yang menjelaskan bahwa sampel memiliki penyerap gelombang elektromagnetik yang baik maupun tidak. Pada jurnal ini hasil dari uji diwakilkan dengan Gambar 7 yang berupa kurva Pengaruh Suhu Sintering dengan Reflection Loss pada nanokomposit NiFe₂O₄ / PVDF,



Gambar 5. Kurva pengaruh suhu sintering dengan *Reflection loss* pada nanokomposit NiFe₂O₄/PVDF [7]

Tabel 5. Data nilai *Reflection Loss* NiFe₂O₄ / PVDF [7]

| Sintering Temperature (°C) | Frekuensi (GHz) | Reflection Loss (dB) | Absorption Coefficient (%) |
|----------------------------|-----------------|----------------------|----------------------------|
| 250 | 11.70 | - 16.654 | 85.30% |
| 280 | 11.28 | -27.5767 | 95.82% |
| 300 | 11.58 | - 20.73 | 90.80% |
| 350 | 11.76 | -13.6892 | 79 % |
| 450 | 11.76 | -19.7901 | 89.75 % |

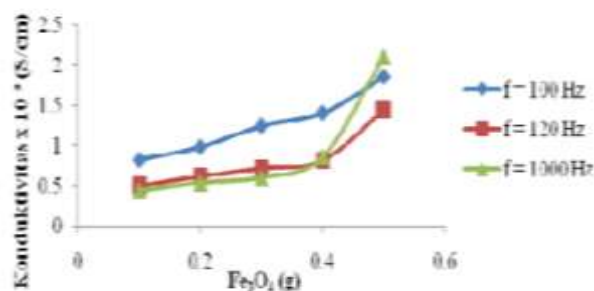
Tabel 6. Data lebar pita penyerapan pada nanokomposit NiFe₂O₃/PVDF, [7]

| Sintering Temperature (°C) | Reflection Loss (dB) | Absorption band (GHz) | Bandwidth absorbs (GHz) |
|----------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 250 | -16.6547 | 11.70-11.76 | 0.06 |
| 280 | -27.5767 | 11.1-11.46 | 0.36 |
| 300 | -20.7315 | 11.46-11.64 | 0.18 |
| 350 | -13.6892 | 11.76-11.82 | 0.06 |
| 450 | -19.7901 | 11.76-11.82 | 0.06 |

Pada dasarnya penyerapan gelombang elektromagnetik yang baik ialah ditandai dengan nilai refleksi yang rendah serta memiliki pita serapan lebar atau interval frekuensi yang besar karena dapat menyerap mikrostruktur dalam berbagai rentang frekuensi. Berdasarkan hasil-hasil yang diperoleh dari uji yang dilakukan, nanokomposit NiFe₂O₄/PVDF suhu sintering 280°C memiliki nilai reflection loss maximum dan rentang frekuensi yang paling besar, hal ini menandakan bahwa nanokomposit NiFe₂O₄/PVDF dapat menyerap gelombang elektromagnetik dan dapat digunakan sebagai RAM di area X-band.

PAni/Fe₃O₄

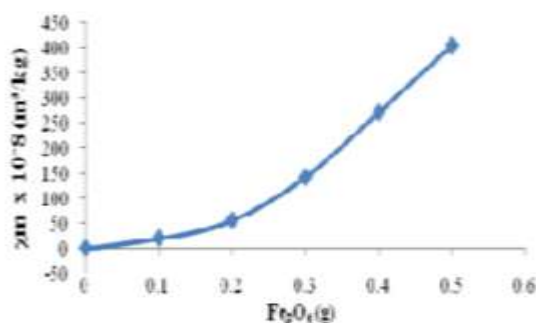
Radar absorbent material atau RAM merupakan suatu material penyerap gelombang elektromagnetik. Dalam penelitian kajian mengenai Radar Absorbent Material (RAM) sudah banyak diuji pada beberapa material berupa logam, karbon dan lain sebagainya untuk bahan utama RAM itu sendiri. Literatur jurnal yang dikaji oleh [8] menjelaskan mengenai pemanfaatan mineral batuan besi sebagai *filler* untuk material komposit penyerap mikro. Batuan besi yang dipakai disintesis menjadi magnetik berupa Fe₃O₄. Besi Fe₃O₄ ini memiliki sifat yang ferrimagnetik dimana jika dalam keadaan murni magnetisasinya mencapai 65 emu/g. Dalam pembuatan bahan penyerap gelombang elektromagnetik ini juga dibutuhkan sebuah polimer konduktif untuk meningkatkan kualitas RAM itu sendiri. Pada kajian ini digunakan Polianilin (PAni) sebagai polimer konduktifnya. Sehingga kajian pada jurnal ini membahas secara penuh dalam mengembangkan material nanokomposit berbasis PAni dengan nanopartikel Fe₃O₄ sebagai *filler* pada matriks PAni.

Gambar 6. Grafik hubungan nilai konduktivitas PAni terhadap penambahan Fe₃O₄ [8]

Dalam kajian ini dilakukan beberapa uji untuk menentukan kondisi terbaik dari PAni/Fe₃O₄ untuk dijadikan bahan dari RAM. Ada beberapa uji yang dilakukan seperti uji sifat listrik. Hasil dari uji sifat listrik ini terlihat pada Gambar 1 bahwa nilai konduktivitas dari sampel lebih tinggi dari frekuensi 1000 Hz. Konduktivitas PAni/Fe₃O₄ dipengaruhi oleh komposisi penambahan Fe₃O₄. Nilai konduktivitasnya akan semakin meningkat seiring dengan penambahan dari Fe₃O₄. Nilai konduktivitas dari PAni/Fe₃O₄ ini sendiri berada rentang semikonduktor, dimana pada dasarnya

bahan semikonduktor inilah yang baik digunakan dalam penyerapan gelombang mikro. Sehingga dari uji ini terlihat bahwasanya PAni/Fe₃O₄ dapat dijadikan bahan material RAM.

Selain itu dilakukan pula uji sifat magnet, dimana uji dilakukan sebab untuk menentukan jenis magnetik pada kandungan PAni/Fe₃O₄. Dari uji sifat magnet yang dilakukan didapatkan hasil bahwasanya suseptibilitas magnet PAni tanpa Fe₃O₄ itu negatif dan menunjukkan bahwa PAni bersifat diamagnetik, hal ini terlihat pada Gambar 2. Penambahan Fe₃O₄ pada PAni menyebabkan perubahan sifat magnet nanokomposit secara keseluruhan, yaitu menuju sifat ferromagnetik dengan suseptibilitas mencapai $403 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ pada penambahan 0,5 g Fe₃O₄.

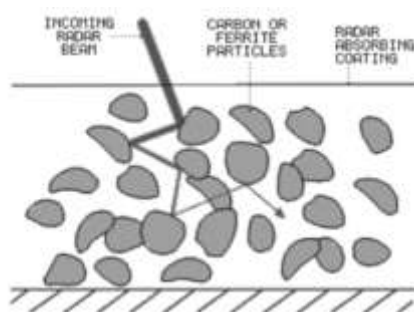


Gambar 7. Grafik nilai suseptibilitas magnet penambahan Fe₃O₄ [8]

Adapun uji terakhir yang dilakukan yakni uji daya serap terhadap gelombang mikro. Berdasarkan dari nilai reflection Loss yang didapatkan, daya serap terhadap gelombang mikro dapat diketahui dengan menunjukkan hubungan frekuensi terhadap nilai Reflection Loss. Nilai negatif pada Reflection Loss menunjukkan bahwa material tersebut mampu menyerap gelombang mikro. 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. Dari beberapa uji tes yang dilakukan nanokomposit dengan penambahan 0,2 g Fe₃O₄ adalah material yang paling optimum dalam penyerapan gelombang mikro dengan reflection loss sebesar

Penelitian Terkait Radar Adsorbent Material Anti-radar

Radar bekerja berdasarkan prinsip penggunaan gelombang mikro untuk mendeteksi pesawat dengan menganalisis sinyal yang dipantulkan dari pesawat. Barium ferrite digunakan sebagai bahan anti radar melalui kemampuannya dalam menyerap gelombang radar. Penggunaan barium ferit dapat berkisar dari satu lapisan magnet hingga beberapa lapisan, tergantung pada kebutuhan dan tujuan gelombang yang akan diserap.



Gambar 8. Hamburan gelombang elektromagnetik pada lapisan RAM [3]

Penggunaan militer termasuk penggunaan teknologi siluman di bagian luar tubuh untuk menggunakan pesawat militer untuk menyerap radiasi radar agar tidak terdeteksi oleh lawan. Bahan Penyerap Radar (RAM) terdiri dari lembaran neoprena yang mengandung partikel ferit atau karbon hitam. Zat ini digunakan pada versi awal F-117A Nighthawk. Mirip dengan cat besi yang mengubah radiasi radar menjadi panas. Beberapa pesawat siluman telah dilapisi lapisan penyerap

radar yang terbuat dari bahan ferrofluid dan nonmagnetik. Campuran koloid partikel feromagnetik berukuran nano (kurang dari 10 nm) yang tersuspensi dalam cairan pembawa dikenal sebagai ferrofluida. Ferrofluida bersifat superparamagnetik, yang menyiratkan bahwa radiasi elektromagnetik mempolarisasikannya dengan kuat. Ketika suatu cairan terkena medan elektromagnetik yang cukup kuat, terjadi polarisasi, menyebabkan munculnya kerutan di permukaan. Energi elektromagnetik yang dibutuhkan untuk menciptakan gelombang ini melemahkan atau menurunkan energi sinyal radar yang dipantulkan. RAM (bahan penyerap radar) tidak dapat menyerap radar di semua frekuensi. Komposisi dan bentuk material disesuaikan untuk menyerap sinyal radar pada pita frekuensi tertentu. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa barium ferit, bahan baku utama yang digunakan dalam produksi bahan anti-radar, berkualitas tinggi. Menggabungkan barium ferit dengan material lain dapat meningkatkan kinerja antiradar, memperluas rentang frekuensi penyerapan gelombang elektromagnetik, dan menjadikan material lebih efektif dalam penerapannya. Potensi barium ferit sebagai determinan teknologi militer di Indonesia relatif besar. Strategi teknologi penggunaan ganda dan model inovasi *triple helix* dapat digunakan untuk meningkatkan teknologi siluman.

KESIMPULAN

Material penyerap gelombang radar (RAM) harus memiliki kemampuan untuk dapat meminimalisir refleksi dari gelombang elektromagnetik. Dari data yang didapatkan, bahan yang paling efektif untuk radar absorbent material adalah PAni/Fe₃O₄ dengan nilai reflection loss yang dimilikinya sebesar -53,7 db. Nilai negatif pada *Reflection Loss* menunjukkan bahwa material tersebut mampu menyerap gelombang mikro dimana semakin besar nilai negatif *Reflection Loss* maka semakin besar daya serap bahan terhadap gelombang mikro.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Saidah I.N., dan Zainuri, M. "Pengaruh Variasi pH pelarut HCl Pada Sintesis Barium M-Hexaferit dengan Doping Zn (BaFe₁₁, 4ZnO, 6O₁₉) Menggunakan Metode Kopersipitasi". *Jurnal Sains dan Seni ITS*. Vol (1), pp. 42-46. 2012.
- [2]. Kanagesan, S., Hashim, M., Jesurani, S., Kalaiyani, T., & Ismail, I. "Influence of Zn-Nb on the magnetic properties of barium hexaferrite". *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 27(3), 811–815. <https://doi.org/10.1007/s10948-013-2357-3>. 2014.
- [3]. Nurulloh, M. I., Simbolon, L., Deksino, G. R., Studi, P., Pertahanan, I., & Pertahanan, T. "Barium Ferrite Magnet As Anti-Radar Material". 23(1), 61–68. 2022. <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/Techno>
- [4]. Setiawan, F. "Abstract Isolation And Characterization Of Bioactive Compounds From The Fermentation Of Marine Derived Actinomycetes As Fungicides". 2017.
- [5]. Pangestu Putri, G., Triyono, E., Basuki, B. S., Hasan, A., & Widodo, S. "Pengaruh Penggunaan Komposit-Rami Sebagai Penyerap Gelombang Radar Pada Stealth Technology". *Seminar Nasional Sains Teknologi Dan Inovasi Indonesia (SENASTINDO AAU)*, 1(1). 2019.
- [6]. Arza, I. "Uji Kemampuan Hidrolog Poli(Akrlat-Co-Akrlamida) Sebagai Penyerap Ion Logam Cr, Co, Ni, Cu, Zn dan Pb". Thesis. Program Studi Kimia Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta 2013 M / 1434 H. 2013.
- [7]. Fadhilah, M., & Ramli, R. "Pengaruh Suhu Sintering Pada Penyerapan Gelombang Mikro Nanokomposit NiFe₂O₄ / PVDF Untuk Material Penyerap Radar". In *Pillar of Physics* (Vol. 12). 2019.
- [8]. Linda Yani Nasution, E. "Sintesis Nanokomposit Pani/Fe₃O₄ Sebagai Penyerap Magnetik Pada Gelombang Mikro". *Jurnal Fisika Unand*, 1(1). 2012.
- [9]. Liu, F., Hashim, N. A., Liu, Y., Abed, M. R. M., & Li, K. "Progress in the production and modification of PVDF membranes". In *Journal of Membrane Science* (Vol. 375, Issues 1–2, pp. 1–27). 2011. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.03.014>
- [10]. Aditya, N. "Karakterisasi Material Polimer PVDF Dengan Polarisasi Permukaan". *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol (3), pp. 135-139. 2017.