

Drone Berbahan Komposit Serat Rami Dengan Karbon Aktif-Barium M-Heksaferit Sebagai Radar Absorbing Material

Sovian Aritonang^{1*}, Alya Hijrianisa¹, Elda Pratita¹, Hanifa Setya Ningrum¹ & Bintang Brilliant Pangestu¹

¹Department of Chemistry, Faculty of Military Mathematics and Natural Sciences
Universitas Pertahanan Republik Indonesia (Unhan RI), Bogor 16810, Indonesia

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

ABSTRACT

Radar is a crucial tool in military applications for detecting enemy objects in its vicinity, but its presence can pose a risk of being detected by adversaries. Therefore, this research focuses on the development of Radar Absorbing Material (RAM) using activated carbon obtained from cassava peel and Barium M-Hexaferite. The research results indicate that this combination can be used as a protective layer on military drones made of composite hemp fibers, enhancing the drone's ability to absorb radar waves, thus reducing the risk of detection by adversaries. This improves the effectiveness of military operations and contributes to environmental preservation through the use of eco-friendly materials.

Keywords: Drone, Rami, Karbon aktif, Barium M-heksaferit, RAM

PENDAHULUAN

Radar adalah alat yang digunakan untuk mengetahui keberadaan suatu objek di sekitarnya [1]. Aplikasi radar biasanya digunakan dalam dunia militer yang mampu mempermudah pasukan untuk mendeteksi pergerakan musuh. Namun, radar sendiri juga bisa memberikan efek negatif kepada pasukan dengan diketahuinya pergerakan pasukan dengan mudah. Berbicara mengenai radar, berarti berkaitan juga dengan yang namanya *Radar Cross Section* (RCS). RCS adalah kemampuan suatu objek untuk memantulkan kembali radar kembali ke pemancarnya [2]. Untuk menghindari adanya RCS yang tinggi maka diperlukan suatu reduksi agar menghambat suatu deteksi terhadap radar oleh musuh. Reduksi ini bisa dilakukan dengan suatu penyerapan radar atau yang dikenal sebagai *Radar Absorben Material* (RAM).

Radar Absorben Material merupakan suatu bahan yang digunakan dalam menyerap dan melemahkan gelombang elektromagnetik dari suatu radar [3]. RAM biasa digunakan dalam *stealth technology* yang rentan terkena akan pancaran radar. Dalam kata lain berarti RAM mampu digunakan untuk meminimalisir RCS. Hal ini melibatkan pelapisan suatu objek dengan bahan yang dapat mengurangi energi gelombang radar sehingga objek yang diberi lapisan kurang terlihat oleh radar. Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai RAM adalah karbon aktif. Karbon aktif sendiri sangat bagus sebagai bahan penyerap berbagai zat baik gas, cair, maupun padat [4]. Selain itu, karbon aktif juga memiliki pori-pori yang sangat baik untuk proses absorpsi [5]. Pada penelitian kali ini karbon aktif diperoleh dari sintesis kulit singkong dengan beberapa metode yang dilakukan dalam sintesisnya.

Di zaman yang semakin berkembang ini semakin canggih pula teknologi yang digunakan dalam dunia militer salah satunya adalah drone. Drone merupakan suatu pesawat tanpa awak dengan otomatis melalui program komputer dan dapat dikendalikan pada jarak jauh [6]. Teknologi drone merupakan teknologi yang dapat digunakan sebagai peralatan pendukung atau dipersenjatai untuk mendukung operasi militer. Drone akan dilengkapi dengan sejumlah perangkat teknologi militer untuk meningkatkan kemampuannya menjadi perangkat yang mampu melakukan observasi dan serangan. Drone militer adalah salah satu teknologi terbaru yang digunakan dalam peperangan dalam beberapa tahun terakhir. Teknologi ini meningkatkan efektivitas peperangan. Maraknya penggunaan drone ini menjadi perhatian dan harus disertai dengan suatu perlindungan agar tidak mudah untuk terdeteksi oleh musuh. Salah satu inovasi yang dapat dilakukan untuk melindungi

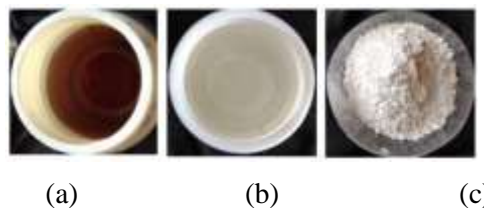
drone dari pantauan musuh terutama melalui radar adalah dengan mengganti bahan penyusun drone dengan suatu serat rami yang juga berpotensi sebagai bahan penyerap radar [7].

Drone berbahan dasar rami ini mampu menyerap suatu radar dengan ketebalan tertentu yang telah diuji untuk mendapatkan reflection loss nya. Selain itu, rami juga bersifat ramah lingkungan sehingga dalam proses pembuatan mampu mengurangi suatu pencemaran limbah. Rami juga memiliki ketahanan serta kekuatan yang cukup untuk dijadikan suatu body pada drone. Beberapa sifat serat rami hampir menyerupai sifat serat kapas namun kekuatan tarik serat rami dua kali lipat lebih besar dan daya serap airnya lebih tinggi daripada serat kapas [8]. Kelebihan yang dimiliki oleh serat rami ini membuatnya mampu untuk dijadikan sebagai bahan dasar pembuatan drone yang anti terhadap radar. Drone yang dibuat akan dipadukan dengan suatu RAM yang menjadi bahan pelapis sehingga memaksimalkan dalam penyerapan radar.

METODE PENELITIAN

Sintesis Komposit Serat rami

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Putri *et al* (2019)[7], Flax/rami atau *Boehmeria nivea* merupakan tanaman tahunan yang mudah tumbuh dan tumbuh baik di daerah tropis. Rami adalah tanaman yang beragam. Daunnya merupakan tanaman pangan dan pangan hewani yang tinggi, kayunya baik sebagai bahan bakar, namun yang paling bernilai ekonomis adalah serat dan kulit kayunya. Bahan komposit dibuat dengan campuran *Epoxy Hardener*, *Epoxy Resin*, dan serbuk kayu Albasia dalam perbandingan tiga spesimen fraksi volume di 40%, 50%, dan 60%. Selanjutnya, lapisan ini diterapkan pada serat rami 1,5 g/cm^3 .

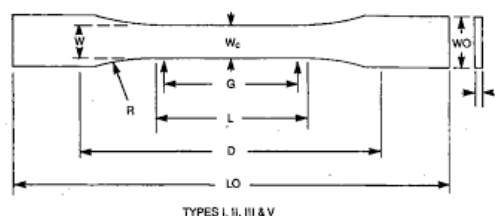


Gambar 1 Bahan Komposit: (a) Epoxy Hardener (b) Epoxy Resin (c) Serbuk kayu Albasia

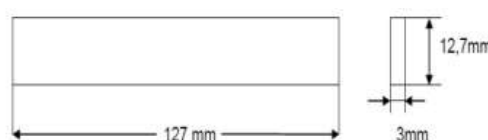
Sintesis ini melibatkan pencetakan dengan tiga variasi fraksi volume, yaitu 40%, 50%, dan 60% dan 5mm, dengan perbandingan 40% serat rami dan 60% bahan komposit yang terdiri dari serat rami dengan massa jenis 1,5 g/cm^3 , Resin *Polyester Yucalac 157 BQTN - EX*, dan serbuk kayu sengon atau Albasia dengan massa jenis 0,33 g/cm^3 .

Pengujian Komposit Rangka Serat rami

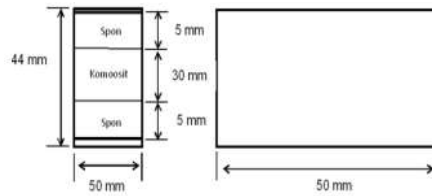
Pengujian dibagi dalam tiga tahapan, yaitu uji tarik dengan ASTM D638-02, uji bending dengan ASTM D790-02, dan uji serap Bunyi dengan ANSI s1-13 .



Gambar 2 Geometri spesimen uji tarik ASTM D638-02 [9]



Gambar 3 Bentuk spesimen uji bending ASTM D790-02 [9]



Gambar 4 Bentuk spesimen uji Serap Bunyi ANSI s1-13 [9]

Pengujian Komposit Pelapis Serat rami

Pengukuran komposit berbahan dasar rami dilakukan dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA), alat yang digunakan untuk mengukur karakteristik gelombang mikro dan parameter sebaran suatu material dalam rentang frekuensi 10 KHz hingga 110 GHz menggunakan *Waveguide*. Teknik *Open and Endend Coaxial Probe* (OECPC), yang merupakan metode pengukuran tanpa merusak sampel, digunakan untuk mengukur komposit. Pengukuran komposit menggunakan parameter (S11), yaitu perbandingan kompleks dari sinyal terpantul (refleksi) dengan sinyal awal. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ketebalan komposit: 3mm dan 5mm
2. Rentang frekuensi: 2 - 12 GHz
3. S-Parameter (S11): Kurang dari -10 dB
4. Persentase penyerapan: Lebih dari 80%

Pemasangan waveguide pada kabel coaxial yang terhubung ke VNA dapat dilihat pada Gambar 7 untuk pengukuran komposit.



Gambar 5 Pengukuran Komposit menggunakan VNA

Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Singkong

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Damayanti dan Hermawan (2021)[10], karbon aktif dari kulit singkong dapat disintesis sebagai berikut: Kulit singkong yang sudah dicuci dan dipotong-potong dan akan dijemur selama 5 hari. Setelah itu dihaluskan dan diayak sehingga berukuran 100 mesh. Proses aktivasi karbon aktif kulit singkong dilakukan dengan cara karbonasi kulit singkong di dalam furnace pada suhu 200 °C selama 4 jam. Penambahan larutan KOH 0,3 N selama 1 jam pada suhu 50 °C menggunakan hotplate stirrer. Karbon aktif yang telah terbentuk dinetralkan menggunakan larutan HCl 0,5 N dan aquades. Karbon aktif dikeringkan di dalam oven selama 2 jam pada suhu 110 °C

Sintesis Barium M-Heksaferit

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Simbolon dan Sebayang (2019)[11], barium M-heksaferit dapat disintesis sebagai berikut: Perhitungan massa serbuk BaCO₃, Fe₂O₃ dan C dengan perbandingan 9:1 sebanyak 3 sampel yang ditunjukkan pada Tabel 1. Perhitungan massa dilakukan dengan menggunakan neraca digital. Perbandingan massa sampel dengan bola (ball stell), seperti diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 1 Komposisi Bahan Serbuk BaCO₃, Fe₂O₃ dan C

Kode Sampel	Komposisi (g)		Perbandingan Massa (g)	
	BaCO ₃	Fe ₂ O ₃	BaFe ₁₂ O ₁₉	C
I	7,71	1,29	9	1
II	7,71	1,29	9	1
III	7,71	1,29	9	1

Tabel 2 Perbandingan Sampel BaFe₁₂O₁₉-C dan *ball stell*

Kode Sampel	Komposisi Sampel BaFe ₁₂ O ₁₉ -C	Ball Stell (\pm 50 g)		Perbandingan sampel dan Ball Stell
		Besar	Kecil	
I	10 g	40	10	1 : 5
II	10 g	30	20	1 : 5
III	10 g	20	10	1 : 5

Proses pencampuran bahan dilakukan dengan menggunakan Shaker Mill. Pencampuran dilakukan pada sampel yang telah di timbang dengan massa yang ditunjukkan pada tabel 1. Pencampuran bahan baku serbuk BaCO₃, serbuk Fe₂O₃ dan serbuk C dimasukkan ke dalam wadah (Jar) dengan ditambahkan cairan ethanol sebagai media milling-nya. Bahan yang telah tercampur pada Jar kemudian dimasukkan ke dalam Shaker Mill. Lama Aktual proses milling dilakukan selama 3 jam. Dalam proses milling dilakukan interval mesin milling hidup dan mati selama 15 menit. Proses pengeringan dilakukan setelah proses milling selesai. Tujuan dari proses ini untuk menghilangkan kadar air yang ada pada sampel BaCO₃, Fe₂O₃ dan C. Setelah itu, pengeringan dilakukan pada temperatur 80 °C dengan menggunakan oven sampai sampel tersebut kering dan hasil maksimal pada saat proses *sintering*.

Sintering merupakan suatu proses pembakaran yang bertujuan untuk saling mengikat butiran-butiran dan menurunkan porositas yang dilakukan pada suhu tinggi dan untuk memperoleh sampel sesuai spesifikasi yang dibutuhkan. Pada penelitian ini menggunakan *electric furnace* dengan variasi temperatur 750, 950, 1050, dan 1200°C dengan pembakaran selama 2 jam. VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) atau *M-H Curve Hysteresis Graph Test System* dari *Dexing Magnet Ltd* bertipe VSM250.

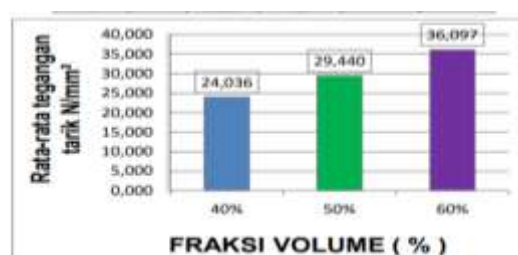
Pelapisan *Single Layer* pada Komposit Drone Berbahan Serat Rami

Karbon aktif yang berasal dari kulit singkong dan Barium M-heksaferit yang telah disintesis dicampur dengan perbandingan 1:1, kemudian dicampur dengan cat kapal aghata. Proses pengadukan dilakukan selama 10 menit dengan menggunakan alat pencampur yang berputar pada kecepatan + 8000 rpm. Selanjutnya, campuran bahan tersebut dilapiskan pada komposit drone berbahan serat rami secara merata. Pelapisan pada komposit drone berbahan serat rami mengikuti model *Single Layer* dengan metode *dallenbach layer*. Berbagai variasi ketebalan pelapisan digunakan, termasuk 2 mm, 3 mm, dan 4 mm pada setiap variasi ketebalan komposit drone berbahan serat rami.

HASIL DAN PEMBAHASAN

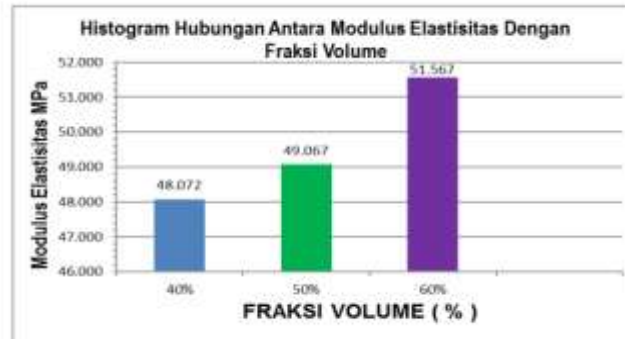
Kerangka drone dari komposit serat rami

Pembuatan drone dengan bahan dasar komposit serat rami sebesar 60% dan matriks berupa resin dihasilkan tegangan tarik rata-rata sebesar 36,097 N/mm² dan tegangan tarik rata-rata terkecil pada fraksi volume 40% yang menghasilkan tegangan sebesar 24,036 N/mm². Maka dari itu kemungkinan fraksi volume sangat berperan penting dan mempengaruhi tegangan serta regangan yang dimiliki. Semakin besar Fraksi volume komposit serat, maka searah dengan kuatnya kemampuan tarikan tersebut. Hal ini dikarenakan peran serat yang menahan gaya tarik yang diterimanya kemudian gaya diteruskan kearah matriks.

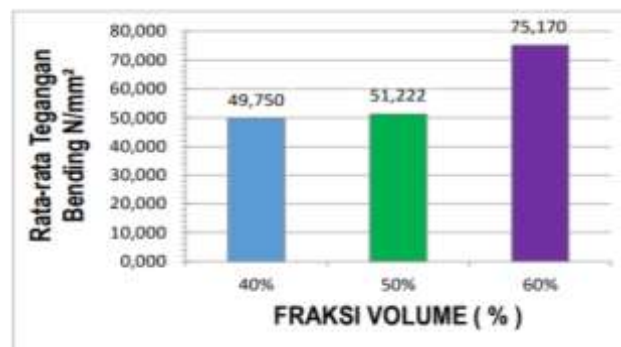


Gambar 6 Histogram rata-rata tegangan Tarik pada ketiga fraksi volume [9]

Pada pengujian bending menggunakan ASTM D790-02, disimpulkan dari data tabel bahwa rata-rata nilai bending tertinggi adalah komposit pada serat fraksi volume 60% sebesar 75,170 N/mm². Disusul dengan serat fraksi volume 50% yang menghasilkan tegangan bending rata-rata sebesar 51,222 N/mm² sebagai komposit erkuat kedua. Lalu kekuatan bending rata-rata fraksi volume 40% sebagai yang terkecil dengan nilai 49,750 N/mm².



Gambar 7 Histogram Modulus Elastisitas Tarik Ketiga Fraksi Volume[9]



Gambar 8 Histogram Kekuatan Bending Rata-rata Tiap Fraksi [9]



Gambar 9 Histogram uji serap Bunyi Tiap Fraksi [9]

Pengujian serap bunyi dengan ANSI S1-13 pada serat rami yang diuji pada fraksi 40%, 50%, dan 60% sebesar 1,94 dB, dan daya serap terkecil sebesar 1,32 dB pada fraksi volume 40%. Pengamatan dengan uji foto makro menampilkan citra adanya patahan jenis pull-out fiber di ketiga fraksi. Patahan lebih dulu terjadi pada matriks dan dapat disimpulkan bahwa kekuatan serat lebih besar daripada kekuatan matriks

3.2. Radar Absorbing Material (RAM) berbasis karbon aktif kulit singkong dan barium M-heksaferit

Karbon aktif merupakan suatu bahan material yang didalamnya terkandung unsur karbon sebanyak 85-95 % dan permukaannya memiliki bentuk padatan berpori. Karbon aktif dihasilkan dengan memanaskan suatu bahan yang mengandung karbon dengan suhu tinggi dan tidak mengalami oksidasi. Aktivasi perlu dilakukan pada karbon aktif untuk menghilangkan hidrogen, gas-gas dan air yang ada pada permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik [12]. Proses aktivasi juga bertujuan membentuk pori-pori yang baru akibat pengikisan atom karbon

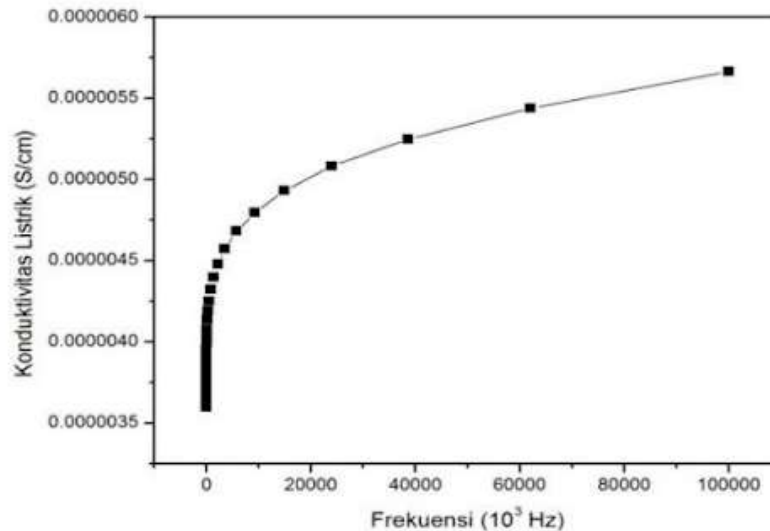
melalui proses oksidasi maupun pemanasan. Karbon aktif secara umum dapat diaktivasi dengan metode kimia dan fisika. Dalam metode kimia digunakan senyawa kimia yaitu hidroksida logam alkali, klorida, sulfat, garam-garam karbonat, asam-asam anorganik seperti H_2SO_4 dan H_3PO_4 . Sementara itu, aktivasi fisika dilakukan dengan memutus rantai karbon dari senyawa organik menggunakan bantuan panas pada suhu $800\text{ }^\circ\text{C}$ hingga $900\text{ }^\circ\text{C}$ [13].

Karbon aktif merupakan material berbasah dasar karbon yang memiliki struktur amorf dan luas permukaan yang besar serta tingkat porositas yang tinggi. Bentuk dari karbon aktif berupa karbon mikrokristalin dan non-grafit. Karbon aktif yang berbentuk non grafit tersusun dari beberapa hidrogen atau sejumlah besar oksigen dalam strukturnya. Karbon aktif mempunyai fungsi kinerja tinggi dalam konduktivitas listrik, stabilitas termal yang baik, serta reaktivitas permukaan yang menjadi alasan utama karbon aktif sering dimanfaatkan dalam berbagai bidang. Karbon aktif didalamnya terkandung mikropori, mesopori, dan makropori dalam strukturnya. Struktur ini memiliki peran penting dalam menentukan kinerja karbon aktif sebagai adsorben [14]. Pori-pori yang terdapat pada karbon aktif sangat baik dimanfaatkan sebagai media penyerapan dan absorpsi khususnya pada material RAM [15].

Barium heksaferit adalah tipe ferit heksagonal dengan rumus kimia $BaFe_{12}O_{19}$. Struktur kristal dari barium heksaferit memiliki parameter sel dengan nilai a dan b yang sama, namun nilai c yang berbeda. Sudut alpha dan beta pada struktur ini adalah 90 derajat, sedangkan sudut gamma adalah 120 derajat. Dalam setiap kristal Barium heksaferit terdapat dua molekul Barium heksaferit. Oleh karena itu, dalam satu kristal Barium heksaferit terdapat 2 atom Ba, 24 atom Fe, dan 38 atom O. Barium heksaferit adalah materi feromagnetik yang memiliki banyak aplikasi dalam teknologi, seperti pada perangkat penyimpanan informasi seperti pita magnetic [16]. Barium Heksiferit merupakan suatu senyawa kimia yang memiliki permeabilitas, permitivitas dan magnetisasi spontan relatif tinggi, serta disusun oleh komponen-komponen oksida sehingga juga mempunyai resistivitas listrik yang tinggi atau sebagai bahan isolator yang baik. Kombinasi sifat intrinsik antara sifat magnetik dan sifat listrik dari Barium Heksiferit ini menempatkan material magnet ferit dapat digunakan sebagai penyanggah gelombang-gelombang mikro termasuk gelombang dengan frekuensi yang digunakan dalam RADAR [17].

Barium hexaferrite merupakan salah satu bahan magnet yang bersifat feromagnetik. *Ferromagnetic* merupakan bahan material yang memiliki nilai resultan medan magnet atomis besar karena disebabkan oleh adanya momen magnetik spin elektron bebas yang tidak memiliki pasangan elektron. Dari hasil penelitian Yusro dan Zainuri (2016) [5], karbon aktif dari kulit singkong yang dicampur dengan barium heksaferit dapat digunakan sebagai material penyerap radar (*Radar Absorbing Material*). Aplikasinya dapat dilakukan dengan cara menjadikan karbon aktif dan barium heksaferit sebagai cat yang akan melapisi drone anti siluman. Material barium heksaferit diubah menjadi soft magnetic dengan penambahan doping Zn. Cat sebagai matriks pengisi resin dibuat dengan memvariasikan ketebalan pelapisan antara bahan barium heksaferit dan karbon aktif menggunakan metode pelapisan single layer guna meningkatkan daya serap material.

Konduktivitas karbon aktif kulit singkong dapat diuji menggunakan instrumen LCR meter untuk mengukur nilai Resistansi (R), Kapasitansi (C) dan induktansi (L) dari suatu material. Prinsip kerja yang digunakan ada instrumen ini yaitu mengukur nilai impedansi suatu bahan. Impedansi akan diukur dengan elektrode dan hasilnya dikonversikan [18]. Dalam proses pengukuran kapasitansi (C) atau muatan listrik, perhitungan dilakukan untuk menentukan total muatan listrik yang disimpan pada suatu titik tertentu. Hal ini sering kali merujuk pada potensial listrik, yang biasanya diukur dalam satuan volt dan mengindikasikan muatan listrik statis yang ada melalui layar penampil pengukuran dalam bentuk kapasitansi atau nilai induktansi. Hasil pengujian material karbon aktif menggunakan instrumen LCR meter dapat dilihat pada gambar 3. Kurva yang dihasilkan dari pengukuran menunjukkan bahwa nilai konduktivitas rata-ratanya sebesar $4,24 \times 10^{-6}$ S/cm, nilai tersebut berada pada rentang material semikonduktor. Bahan semikonduktor tergolong kategori memenuhi untuk digunakan pada pembuatan material RAM.



Gambar 12 Hasil uji konduktivitas listrik karbon aktif kulit singkong [5]

Barium heksaferit dapat digunakan sebagai bahan material anti radar (Radar Absorbing Material) karena kemampuannya dalam menyerap gelombang mikro. Bukti kemampuan barium heksaferit untuk menyerap gelombang mikro dapat diukur menggunakan Karakterisasi VNA. Vector Network Analyzer (VNA) menghitung nilai Reflection Loss (RL) yaitu besarnya serapan material terhadap gelombang mikro. Data penelitian berikut pada Tabel 1 terkait hilangnya refleksi beberapa barium magnet ferit disintesis melalui beberapa metode.

Tabel 3 nilai reflection loss dari barium heksaferit

Sintesis magnetik	Metode	Reflection loss (dB)	Reference
Barium Heksaferit + doping Ni ²⁺	Sol-gel	-27.30 dB (8.30 GHz)	Ramadhan <i>et al</i> (2018)[19]
BaCO ₃ dan Fe ₂ O ₃	Solid-state method	23.07 dB (10.72 GHz)	Handoko <i>et al</i> (2018)[20]
Mg-Al Binary	Co-precipitation method	-53.23 dB (10.83 GHz)	Gulthom <i>et al</i> (2020)[21]

Barium heksaferit sebagai bahan material penyerap gelombang elektromagnetik radar berkisar pada frekuensi 8-15 GHz [22]. Namun barium heksaferit tipe M dapat menyerap gelombang mikro pada frekuensi S-band. Bahan nabati meningkatkan sifat penyerapan gelombang elektromagnetik. Doping dapat meningkatkan kapasitas penyerapan gelombang barium ferit. Dari hasil reflection loss yang rendah dari barium heksaferit dan karbon aktif singkong diharapkan dapat menjadi cat pelapisan drone yang dapat menyerap gelombang radar. Hal ini dapat terjadi karena semakin kecil nilai reflection loss maka semakin besar gelombang radar yang dapat diserap[5].

KESIMPULAN

Penelitian ini berfokus pada pengembangan Radar Absorbing Material (RAM) dengan menggunakan bahan dasar komposit serat rami, karbon aktif dari kulit singkong, dan Barium M-Heksaferit sebagai lapisan pelindung pada drone militer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi ini dapat meningkatkan kemampuan drone untuk menyerap gelombang radar, mengurangi risiko deteksi oleh musuh, dan secara potensial berkontribusi pada efektivitas operasi militer. Dalam hal ini, drone menggunakan kerangka berbahan dasar serat rami, yang memiliki kekuatan tarik yang baik dan bersifat ramah lingkungan. Selain itu, penggunaan karbon aktif dan Barium M-Heksaferit sebagai lapisan pelindung drone menghasilkan nilai reflection loss yang rendah pada frekuensi radar, yang merupakan indikator kemampuan penyerapan gelombang

radar. Dari hasil penelitian terdahulu karbon aktif dapat digunakan sebagai matriks cat karena memiliki nilai konduktivitas rata-rata $4,24 \times 10^{-6}$ S/cm dan Barium M-Heksaferit memiliki rata-rata reflection loss 8-15 GHz. Dengan demikian, penelitian ini menciptakan solusi yang dapat meningkatkan perlindungan dan efektivitas drone militer sambil mempertimbangkan keberlanjutan lingkungan.

SARAN

Penelitian ini memiliki fokus utama pada pengembangan Radar Absorbing Material (RAM) dengan mengintegrasikan komposit serat rami, karbon aktif yang berasal dari kulit singkong, dan Barium M-Heksaferit sebagai lapisan pelindung pada drone militer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi material ini dapat meningkatkan kemampuan drone untuk menyerap gelombang radar, mengurangi risiko deteksi oleh musuh, dan berpotensi memberikan kontribusi positif pada efektivitas operasi militer. Penggunaan serat rami pada kerangka drone menunjukkan kekuatan tarik yang baik, sementara karbon aktif dan Barium M-Heksaferit sebagai lapisan pelindung menghasilkan nilai reflection loss yang rendah pada frekuensi radar, indikasi kemampuan penyerapan gelombang radar. Dengan demikian, drone ini dapat menjadi solusi yang lebih efektif dan tahan terhadap deteksi musuh, sambil tetap mempertimbangkan keberlanjutan lingkungan melalui penggunaan bahan-bahan yang ramah lingkungan, seperti serat rami dan karbon aktif dari kulit singkong.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Rakhman Suharso *et al.*, "Perancangan Sistem Radar Pendeteksi Objek Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino," *J. Rekayasa Teknol. Nusa Putra*, vol. 3, no. 1, pp. 20–26, 2016.
- [2] F. Sunjaya and R. Oktovianus, "Optimasi Aerodinamika-Radar Cross Section (RCS) pada Sayap Cropped Delta dengan Metode Design of Experiments (DOE) dan Multi Objective Genetic Algorithm (MOGA) Aerodynamic - Radar Cross Section Optimization of Cropped Delta Wing with ANSYS Design of," *J. Inov. Pertahanan dan Keamanan*, vol. 01, no. 1, pp. 38–48, 2018.
- [3] A. Kumar and S. Singh, "Development of Coatings for Radar Absorbing Materials at X-band," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 330, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/330/1/012006.
- [4] R. Masriatini and M. Fatimura, "Pemanfaatan Karbon Aktif Sebagai Penyerap Ion Besi," *J. Redoks*, vol. 3, no. 2, pp. 51–54, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/redoks/article/view/3335>
- [5] K. Yusro and M. Zainuri, "Karakterisasi Material Penyerap Gelombang Radar Berbahan Dasar Karbon Aktif Kulit," *J. Sains Dan Seni Its*, vol. 5, no. 2, pp. 1–4, 2016.
- [6] D. Lesmana, Y. Permana, B. Santoso, and A. Infantono, "Aplikasi Drone Militer Dengan Produk Alutsista Indonesia untuk Over the Horizon Operations," *Pros. Semin. Nas. Sains Teknol. dan Inov. Indones.*, vol. 3, no. November, pp. 1–10, 2021, doi: 10.54706/senastindo.v3.2021.149.
- [7] G. P. Putri, E. Triyono, B. B. S., A. Hasan, S. Widodo, and Suhendro, "Pengaruh Penggunaan Komposit-Rami sebagai Penyerap Gelombang Radar Pada Stealth Technology," *Semin. Nas. Sains Teknol. dan Inov. Indones.*, vol. 1, no. 1, pp. 49–56, 2019.
- [8] E. Novarini and M. D. Sukardan, "Potensi Serat Rami (Boehmeria Nivea S. Gaud) Sebagai Bahan Baku Industri Tekstil Dan Produk Tekstil Dan Teknik," *Arena Tekst.*, vol. 30, no. 2, pp. 113–122, 2015, doi: 10.31266/at.v30i2.1984.
- [9] pradika, "Analisis Komposit Dengan Penguat Serat Rami 40% Dan Serbuk Kayu Sengon 60% Pada Fraksi Volume 40%, 50%, 60% Bermatrik Resin Polyester Untuk Panel Akustik Publikasi," *Progr. Stud. Tek. Mesin Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Surakarta*, vol. 40, pp. 1–15, 2016.
- [10] K. I. Damayanti and R. Hermawan, "Sintesis Arang Aktif Dari Kulit Singkong Sebagai Adsorben Ion Fe," *J. Chemtech*, vol. 7, no. 1, pp. 13–16, 2021, [Online]. Available:

- <https://e-jurnal.lppmunsera.org/index.php/Chemtech/article/view/3395>
- [11] S. Simbolon and A. M. Sebayang, "Sintesa dan Karakterisasi Material Komposit Berbasis BaO.6Fe 2 O 3-C Sebagai Komponen Motor Listrik," *J. Tech. Eng. J. Tech. Eng. Pist.*, vol. 3, no. 1, pp. 24–29, 2019.
- [12] R. Dewi, A. Azhari, and I. Nofriadi, "Aktivasi Karbon Dari Kulit Pinang Dengan Menggunakan Aktivator Kimia Koh," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 9, no. 2, p. 12, 2021, doi: 10.29103/jtku.v9i2.3351.
- [13] S. Hartanto and Ratnawati, "Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia," *J. Sains Mater. Indones.*, vol. 12, no. 1, pp. 12–16, 2010, [Online]. Available: <http://jurnal.batan.go.id/index.php/jsmi/article/view/4588/4002>
- [14] R. A. F. Lubis, H. I. Nasution, and M. Zubir, "Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification," *Indones. J. Chem. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 2, p. 67, 2020, doi: 10.24114/ijcst.v3i2.19531.
- [15] G. Pari, S. Darmawan, and B. Prihandoko, "Porous Carbon Spheres from Hydrothermal Carbonization and KOH Activation on Cassava and Tapioca Flour Raw Material," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 20, pp. 342–351, 2014, doi: 10.1016/j.proenv.2014.03.043.
- [16] R. Rizaldy, S. A. Saptari, and W. A. Adi, "Sintesis dan Karakterisasi Barium Heksaferit dengan Variasi Pengurangan Massa Fe₂O₃," *Al-Fiziya J. Mater. Sci. Geophys. Instrum. Theor. Phys.*, vol. 1, no. 2, pp. 61–66, 2019, doi: 10.15408/fiziya.v1i2.9504.
- [17] Priyono and A. Manaf, "Material Magnetik Barium Heksaferit Tipe-M Untuk Material Anti Radar Pada Frekuensi S-Band," *J. Sains Mater. Indones.*, vol. 11, no. 2, pp. 75–78, 2010.
- [18] A. Dwi, D. Darmawan, and A. Suhendi, "Penentuan Parameter Sensor Pelat Sebidang Secara Eksperimental Untuk Mengukur Kapasitansi Bahan Kayu Dan Logam Parameter Determination of Field Plate Sensor To Measure Capacitance of Wood and Metal Experimentally," vol. 6, no. 2, pp. 5194–5201, 2019.
- [19] M. I. Ramadhan, W. Widanarto, and S. Sunardi, "Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Struktur dan Sifat Magnetik Ni²⁺- Barium Ferit sebagai Penyerap Gelombang Mikro," *J. Teras Fis.*, vol. 1, no. 1, p. 23, 2018, doi: 10.20884/1.jtf.2018.1.1.567.
- [20] E. Handoko, I. Sugihartono, S. Budi, M. Randa, Z. Jalil, and M. Alaydrus, "The effect of thickness on microwave absorbing properties of barium ferrite powder," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1080, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1080/1/012002.
- [21] G. Gultom, M. Rianna, P. Sebayang, and M. Ginting, "The effect of Mg-Al binary doped barium hexaferrite for enhanced microwave absorption performance," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 18, pp. 0–5, 2020, doi: 10.1016/j.csite.2019.100580.