

Potensi Material Nano Dalam Menyerap Gelombang Radar (Stealth) : Revolusi Teknologi Militer

Nadia Icha Shafira^{1*} & Sovian Aritonang²

^{1,2).} Fakultas MIPA Militer/ Universitas Pertahanan Republik Indonesia

*Email: nadiaichas@gmail.com

ABSTRACT

The stealth capability in modern defense technology heavily relies on materials that can evade radar detection. Nano-based materials, such as graphene and carbon nanotubes (CNT), have emerged as innovative solutions with superior electromagnetic and physical properties. This study aims to analyze the potential and challenges of using nano materials in stealth technology, highlighting their ability to absorb radar waves through electron resonance interactions and high surface properties. Graphene, with its two-dimensional carbon atomic structure and high conductivity, and CNT, which features a nano-tube structure with exceptional thermal and mechanical properties, have been shown to significantly reduce radar reflection. However, challenges in mass production and material stability under extreme conditions still pose barriers. This study also compares the advantages of nano materials with conventional materials such as ferrite and heavy metals, showing that nano materials are lighter, more flexible, and more efficient. Through a review of current literature, this research reveals that nano materials have the potential to replace or complement conventional stealth materials in future military applications.

Keywords: Nano Materials, Stealth, Graphene, Carbon Nanotube (CNT), Radar Absorption

PENDAHULUAN

Kemampuan *stealth* atau penghindaran deteksi radar telah menjadi salah satu teknologi yang sangat krusial dalam dunia pertahanan modern. Teknologi ini memungkinkan berbagai kendaraan militer, seperti pesawat tempur, kapal perang, dan kendaraan darat, untuk tetap tidak terdeteksi oleh sistem radar musuh, sehingga memberikan keuntungan strategis dalam pertempuran. Salah satu pendekatan utama dalam pengembangan teknologi *stealth* adalah pemanfaatan material dengan sifat unik yang mampu menyerap gelombang radar atau mengurangi intensitas pantulannya. Di antara berbagai material yang telah dikembangkan, material berbasis nano, seperti *graphene* dan carbon *nanotube* (CNT)[1], telah muncul sebagai inovasi terdepan karena sifat optik dan elektromagnetiknya yang unggul.

Material berbasis nano menawarkan potensi yang luar biasa karena ukuran partikelnya yang sangat kecil, biasanya pada skala nanometer, memberikan keunggulan yang tidak dimiliki oleh material konvensional. Partikel nano memiliki rasio luas permukaan terhadap volume yang sangat tinggi, yang memungkinkan interaksi yang lebih besar dengan gelombang elektromagnetik. Selain itu, struktur nano memberikan fleksibilitas desain yang memungkinkan material ini untuk dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan spesifik aplikasi. Dalam konteks teknologi *stealth*, material nano seperti *graphene* telah terbukti mampu menyerap gelombang radar dengan efisiensi yang tinggi, sementara CNT dapat membantu menciptakan jalur penyerapan energi yang lebih efektif.

Kemampuan *stealth* material nano tidak hanya bergantung pada kemampuannya menyerap gelombang radar, tetapi juga pada interaksinya dengan parameter elektromagnetik seperti *permittivity*, *permeability*, dan impedansi gelombang [2]. Dengan modifikasi pada tingkat nano, para ilmuwan dapat mengatur parameter ini untuk menciptakan material yang mampu menyerap energi elektromagnetik pada rentang frekuensi yang luas. Hal ini menjadikan material nano lebih unggul dibandingkan material tradisional [3], seperti ferrite dan logam berat, yang cenderung memiliki keterbatasan dalam efisiensi dan fleksibilitas aplikasi.

Namun, di balik keunggulannya, material nano juga menghadapi tantangan yang cukup signifikan. Salah satu kendala utamanya adalah biaya produksi yang relatif tinggi, terutama untuk material seperti *graphene* yang memerlukan proses sintesis yang kompleks. Selain itu, teknologi manufaktur untuk material nano sering kali membutuhkan infrastruktur yang canggih, sehingga implementasi pada skala besar di sektor pertahanan masih memerlukan pengembangan lebih lanjut.

Tantangan lainnya adalah memastikan stabilitas dan daya tahan material nano ketika digunakan dalam kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti suhu tinggi atau paparan korosi [4].

Penelitian terkini menunjukkan bahwa kombinasi material nano dengan teknologi komposit telah membuka peluang baru untuk meningkatkan performa *stealth*. Misalnya, *graphene* dapat digabungkan dengan polimer atau logam ringan untuk menciptakan lapisan penyerap radar yang lebih efisien dan memiliki bobot yang lebih ringan. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan performa teknis, tetapi juga memungkinkan aplikasi material nano pada berbagai platform, seperti pesawat tempur siluman generasi kelima dan kapal perang modern. Dengan kemampuan untuk menyesuaikan struktur dan komposisi material, teknologi nano dapat dikembangkan untuk menghadapi tantangan yang lebih kompleks dalam dunia pertahanan.

Artikel ini bertujuan untuk menganalisis peran material nano dalam meningkatkan kemampuan *stealth* melalui tinjauan literatur terkini. Artikel ini juga membahas bagaimana sifat kimia, struktur nano, dan interaksi elektromagnetik material memengaruhi performa *stealth*. Dengan memberikan gambaran menyeluruh tentang potensi dan tantangan material berbasis nano, diharapkan penelitian ini dapat menjadi referensi bagi pengembangan teknologi pertahanan masa depan yang lebih inovatif dan efisien.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode tinjauan literatur yang terfokus pada studi material berbasis nano untuk aplikasi *stealth*. Langkah pertama dalam penelitian ini adalah pengumpulan data sekunder. Informasi dikumpulkan dari artikel jurnal ilmiah, buku, konferensi, dan publikasi lainnya yang relevan dengan topik. Fokus utama adalah literatur yang membahas *graphene*, carbon *nanotube* (CNT), dan material nano lainnya yang memiliki potensi untuk menyerap gelombang radar. Pemilihan literatur diutamakan pada publikasi dalam 10 tahun terakhir untuk memastikan bahwa data yang digunakan mencerminkan perkembangan teknologi terkini, terutama dalam konteks aplikasi militer dan teknologi *stealth*.

Tahapan berikutnya adalah analisis deskriptif terhadap data yang telah dikumpulkan. Dalam langkah ini, karakteristik utama material nano, seperti sifat optik, elektromagnetik, dan struktur nano, diidentifikasi dan dievaluasi. Analisis ini bertujuan untuk memahami bagaimana material tersebut mampu memengaruhi performa *stealth*, termasuk kemampuan menyerap energi elektromagnetik, mengurangi reflektansi radar, dan meningkatkan efektivitas penyamaran. Selain itu, penelitian ini juga mengamati bagaimana parameter fisik seperti *permittivity*, *permeability*, dan impedansi dapat dimodifikasi untuk meningkatkan efisiensi material nano dalam berbagai kondisi operasional.

Tahapan terakhir adalah komparasi, yaitu membandingkan performa material nano dengan material konvensional yang sebelumnya telah digunakan dalam teknologi *stealth*, seperti ferrite dan logam berat. Perbandingan ini mencakup keunggulan, kekurangan, serta tantangan dari masing-masing jenis material. Dengan pendekatan ini, penelitian ini tidak hanya menggambarkan potensi material berbasis nano tetapi juga memberikan gambaran yang komprehensif mengenai sejauh mana material nano dapat menggantikan atau melengkapi material konvensional. Data yang diperoleh dianalisis secara mendalam untuk menghasilkan kesimpulan yang relevan dengan kebutuhan pertahanan modern.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. *Stealth*

Teknologi *stealth* merupakan kemampuan suatu objek, seperti pesawat, kapal, atau kendaraan militer, untuk menghindari deteksi oleh sistem radar. Prinsip utama dari *stealth* adalah menyerap atau mengurangi refleksi sinyal radar sehingga sinyal pantulan yang diterima oleh radar menjadi minimal. Untuk memahami fenomena ini, penting untuk mempertimbangkan parameter fisika dasar yang berperan dalam penyerapan gelombang radar, yaitu *permittivity* (ϵ) dan *permeability* (μ).

1. Permittivity (ϵ) dan Permeability (μ)

- *Permittivity* menggambarkan kemampuan suatu material dalam menyimpan energi listrik ketika berada di medan listrik. Nilai ini memengaruhi bagaimana gelombang elektromagnetik merambat melalui material.
 - *Permeability*, di sisi lain, mencerminkan kemampuan material untuk merespons medan magnet. Material dengan nilai ϵ (permittivitas) dan μ (permeabilitas) yang dapat diatur mampu menciptakan efek *impedance matching*, sehingga energi gelombang dapat sepenuhnya diserap oleh material tanpa memantul kembali ke sumber.
2. Ketebalan Lapisan Material terhadap Panjang Gelombang Radar.
Ketebalan lapisan material memainkan peran penting dalam efisiensi penyerapan gelombang radar. Ketebalan optimal biasanya didasarkan pada panjang gelombang radar (λ) yang ingin diserap. Dengan ketebalan sekitar seperempat dari panjang gelombang radar, interferensi destruktif terjadi, yang mengurangi refleksi sinyal secara signifikan.
 3. Pola Dispersi Sinyal Elektromagnetik.
Dispersi sinyal elektromagnetik melibatkan pembelokan dan penghamburan gelombang saat memasuki material. Material *stealth* yang baik dirancang untuk mengontrol pola dispersinya sehingga sinyal radar tidak kembali ke sumber tetapi diarahkan ke arah lain atau diserap sepenuhnya oleh material. [12].

2. Material Nano

Material berbasis nano menjadi solusi inovatif dalam pengembangan teknologi *stealth* karena sifat uniknya yang berbeda dari material makroskopik. Material nano memiliki rasio luas permukaan terhadap volume yang sangat tinggi, ukuran partikel yang kecil (dalam skala nanometer), dan sifat kimia serta fisika yang dapat dimodifikasi untuk kebutuhan tertentu.

1. Graphene

Struktur dan Sifat: *Graphene* adalah material dua dimensi yang terdiri dari atom karbon yang terhubung dalam struktur heksagonal. Sifat-sifat unggulnya meliputi konduktivitas listrik yang sangat tinggi, kekuatan mekanik luar biasa, dan kemampuan menyerap gelombang elektromagnetik.

Aplikasi Stealth: *Graphene* mampu menyerap gelombang radar karena elektron dalam strukturnya dapat beresonansi dengan sinyal elektromagnetik. Ketika gelombang radar mengenai *graphene*, energi gelombang ini diserap oleh elektron dalam material, mengurangi sinyal yang dipantulkan.

Selain itu, *graphene* dapat diintegrasikan dengan material lain untuk menciptakan lapisan komposit dengan efisiensi penyerapan yang lebih tinggi.

2. Carbon Nanotube (CNT)

Struktur dan Sifat: CNT adalah struktur tabung nano yang terbentuk dari lapisan *graphene* yang digulung. CNT memiliki konduktivitas listrik dan termal yang sangat baik, kekuatan mekanik tinggi, serta kemampuan menyerap gelombang radar melalui mekanisme resonansi.

Aplikasi Stealth: CNT bekerja dengan menyerap gelombang radar melalui resonansi elektron pada dinding *nanotube*. Ketika gelombang radar mencapai CNT, sebagian besar energi gelombang ini diubah menjadi panas melalui mekanisme interaksi permukaan. CNT juga dapat dimodifikasi dengan metode doping untuk meningkatkan efisiensi penyerapan.

3. Interaksi Elektromagnetik Material Nano

Interaksi elektromagnetik material nano sangat tergantung pada struktur nano dan komposisi material tersebut. Struktur material nano memungkinkan adanya *resonansi plasmon permukaan*, yaitu osilasi kolektif dari elektron di permukaan material ketika terkena gelombang elektromagnetik. Resonansi ini memaksimalkan penyerapan energi

elektromagnetik, terutama pada frekuensi tertentu yang relevan dengan panjang gelombang radar.

a) Resonansi Elektron Bebas

Material nano seperti *graphene* dan CNT memiliki elektron bebas yang mudah berinteraksi dengan gelombang elektromagnetik. Resonansi elektron ini menghasilkan *loss* energi pada gelombang radar, sehingga gelombang yang dipantulkan berkurang drastis.

b) Efek Permukaan dan Volume

Nano memungkinkan terbentuknya efek permukaan yang dominan. Karena rasio luas permukaan terhadap volume yang sangat tinggi, material nano memiliki lebih banyak area untuk berinteraksi dengan gelombang radar. Hal ini meningkatkan efisiensi penyerapan energi elektromagnetik.

c) Manipulasi Sifat Elektromagnetik.

Sifat elektromagnetik material nano dapat dimodifikasi melalui teknik doping atau pembuatan komposit dengan material lain. Misalnya, doping *graphene* dengan nitrogen atau logam transisi dapat mengubah *bandgap* dan meningkatkan kemampuan penyerapan gelombang radar pada frekuensi tertentu. [9]

Efektivitas *Graphene* untuk *Stealth*

Graphene telah mendapatkan perhatian yang luas dalam penelitian teknologi *stealth* karena sifat penyerapan gelombang radar yang luar biasa. Dengan struktur atom karbon dua dimensi yang berbentuk heksagonal, *graphene* memiliki luas permukaan yang sangat besar dan karakteristik elektron bebas yang memberikan interaksi optimal dengan gelombang elektromagnetik. Kemampuan *graphene* dalam menyerap gelombang radar hingga 90% pada frekuensi tertentu menjadikannya salah satu material paling efisien untuk aplikasi *stealth*. Interaksi ini terjadi melalui mekanisme resonansi, di mana energi gelombang elektromagnetik dikonversi menjadi panas, sehingga sinyal radar tidak terpantul kembali ke sumbernya. Proses ini membuat *graphene* menjadi material yang sangat efektif untuk mengurangi deteksi radar.

Selain struktur dasarnya, kemampuan *graphene* dapat ditingkatkan melalui berbagai modifikasi, seperti doping dan komposit dengan logam tertentu. Doping *graphene* melibatkan penambahan atom asing ke dalam struktur karbonnya untuk mengubah sifat elektronik dan elektromagnetiknya. Sebagai contoh, doping dengan atom nitrogen atau boron telah terbukti meningkatkan kemampuan *graphene* dalam menyesuaikan diri dengan berbagai spektrum radar. Hal ini memungkinkan *graphene* untuk bekerja pada frekuensi yang lebih luas, menjadikannya lebih fleksibel dalam aplikasi militer. Selain itu, kombinasi *graphene* dengan logam transisi, seperti nikel atau kobalt, dapat meningkatkan penyerapan gelombang radar melalui efek sinergis antara *graphene* dan logam tersebut.

Graphene juga memiliki keunggulan lain dalam bentuknya yang sangat tipis dan ringan, sehingga tidak menambah beban signifikan pada kendaraan atau peralatan militer. Dengan karakteristik ini, *graphene* dapat diterapkan pada permukaan apa pun, mulai dari badan pesawat hingga kendaraan darat, tanpa memengaruhi desain strukturalnya. Selain itu, *graphene* memiliki daya tahan yang tinggi terhadap kondisi lingkungan ekstrem, seperti suhu tinggi atau paparan radiasi, yang menjadikannya pilihan ideal untuk berbagai situasi operasional. Dengan semua keunggulan ini, *graphene* muncul sebagai salah satu material nano paling potensial untuk aplikasi *stealth* modern.

Performa CNT dalam Penyerapan Radar

Carbon Nanotube (CNT) juga menonjol sebagai material nano yang sangat efektif untuk teknologi *stealth*. Struktur CNT yang berupa tabung nano memungkinkan pengurangan signifikan terhadap pantulan gelombang radar. CNT bekerja dengan menciptakan efek saluran energi, di mana gelombang radar diarahkan ke dalam dinding tabung, di mana energi tersebut diserap dan diubah menjadi panas. Mekanisme ini memungkinkan CNT untuk menyerap gelombang radar secara efisien, bahkan pada frekuensi rendah sekalipun. Keunikan ini memberikan keunggulan tersendiri bagi CNT dalam aplikasi teknologi *stealth*, terutama ketika dibandingkan dengan material

konvensional yang sering kali kurang efektif pada frekuensi tertentu. [5]

Selain itu, struktur tabung nano CNT memberikan fleksibilitas tambahan dalam pengaplikasiannya. Variasi panjang tabung dan ketebalan lapisan CNT memungkinkan penyesuaian penyerapan radar sesuai kebutuhan spesifik. Sebagai contoh, lapisan CNT yang lebih tebal dapat meningkatkan efisiensi penyerapan gelombang pada frekuensi tinggi, sementara variasi panjang tabung dapat mengoptimalkan performa pada frekuensi rendah [6]. Karakteristik ini membuat CNT menjadi material yang sangat serbaguna dalam mengatasi berbagai ancaman radar dengan spektrum yang berbeda.

Keunggulan lain dari CNT adalah sifat mekaniknya yang luar biasa. CNT memiliki kekuatan tarik yang sangat tinggi, lebih kuat dari baja, meskipun beratnya jauh lebih ringan. Hal ini membuat CNT tidak hanya efisien dalam aplikasi *stealth* tetapi juga memberikan kontribusi terhadap pengurangan berat keseluruhan kendaraan atau peralatan militer. Selain itu, CNT dapat dengan mudah diterapkan pada berbagai bentuk permukaan, termasuk yang tidak rata atau kompleks, menjadikannya solusi yang fleksibel untuk teknologi penghindaran radar. Dengan sifat-sifat ini, CNT menjadi salah satu material nano yang paling menjanjikan untuk aplikasi militer modern.

Keunggulan Material Nano Dibandingkan Material Konvensional

Material nano seperti *graphene* dan CNT menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan material konvensional yang selama ini digunakan [7][8]. Salah satu keunggulan utama adalah bobotnya yang jauh lebih ringan. Material konvensional, seperti ferrite atau logam berat, cenderung menambah beban signifikan pada kendaraan militer, yang dapat memengaruhi efisiensi energi dan kemampuan manuvernya. Sebaliknya, material nano seperti *graphene* dan CNT sangat ringan, memungkinkan desain kendaraan militer yang lebih efisien tanpa mengorbankan performa *stealth*. Keunggulan ini sangat penting, terutama dalam aplikasi udara dan laut, di mana pengurangan berat dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi operasional.

Selain itu, material nano memiliki fleksibilitas struktural yang jauh lebih baik dibandingkan material konvensional. *Graphene*, misalnya, dapat dengan mudah diterapkan pada berbagai permukaan, termasuk yang melengkung atau tidak rata, tanpa kehilangan efektivitasnya. Hal ini memberikan fleksibilitas desain yang lebih besar dalam pengembangan teknologi *stealth*. Sebagai perbandingan, material konvensional sering kali kaku dan sulit diaplikasikan pada permukaan kompleks, yang dapat membatasi penggunaannya. Dengan sifat ini, material nano dapat dirancang untuk memenuhi kebutuhan spesifik, termasuk penyesuaian pada frekuensi radar tertentu.

Keunggulan lain dari material nano adalah sifat elektromagnetiknya yang dapat disesuaikan. *Graphene* dan CNT, misalnya, dapat dimodifikasi untuk bekerja pada berbagai spektrum radar, memberikan kemampuan *stealth* yang lebih luas dan adaptif. Hal ini berbeda dengan material konvensional yang cenderung memiliki efisiensi penyerapan yang terbatas pada frekuensi tertentu. Selain itu, sifat mekanik material nano, seperti kekuatan tarik tinggi dan daya tahan terhadap lingkungan ekstrem, menjadikannya lebih andal dan tahan lama dibandingkan material konvensional [9]. Dengan semua keunggulan ini, material nano tidak hanya menggantikan material konvensional tetapi juga membawa inovasi baru dalam teknologi pertahanan modern.

Keunggulan Material Nano Dibandingkan Material Konvensional

Material nano seperti *graphene* dan CNT menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan material konvensional yang selama ini digunakan dalam teknologi *stealth*. Salah satu keunggulan utama adalah bobotnya yang jauh lebih ringan. Material konvensional, seperti ferrite atau logam berat, cenderung menambah beban signifikan pada kendaraan militer, yang dapat memengaruhi efisiensi energi dan kemampuan manuvernya. Sebaliknya, material nano seperti *graphene* dan CNT sangat ringan, memungkinkan desain kendaraan militer yang lebih efisien tanpa mengorbankan performa *stealth* [10]. Keunggulan ini sangat penting, terutama dalam aplikasi udara dan laut, di mana pengurangan berat dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi operasional.

Selain itu, material nano memiliki fleksibilitas struktural yang jauh lebih baik dibandingkan material konvensional. *Graphene*, misalnya, dapat dengan mudah diterapkan pada berbagai permukaan, termasuk yang melengkung atau tidak rata, tanpa kehilangan efektivitasnya. Hal ini memberikan fleksibilitas desain yang lebih besar dalam pengembangan teknologi *stealth*[9].

Sebagai perbandingan, material konvensional sering kali kaku dan sulit diaplikasikan pada permukaan kompleks, yang dapat membatasi penggunaannya. Dengan sifat ini, material nano dapat dirancang untuk memenuhi kebutuhan spesifik, termasuk penyesuaian pada frekuensi radar tertentu.

Keunggulan lain dari material nano adalah sifat elektromagnetiknya yang dapat disesuaikan. *Graphene* dan CNT, misalnya, dapat dimodifikasi untuk bekerja pada berbagai spektrum radar, memberikan kemampuan *stealth* yang lebih luas dan adaptif. Hal ini berbeda dengan material konvensional yang cenderung memiliki efisiensi penyerapan yang terbatas pada frekuensi tertentu. Selain itu, sifat mekanik material nano, seperti kekuatan tarik tinggi dan daya tahan terhadap lingkungan ekstrem, menjadikannya lebih andal dan tahan lama dibandingkan material konvensional [11]. Dengan semua keunggulan ini, material nano tidak hanya menggantikan material konvensional tetapi juga membawa inovasi baru dalam teknologi pertahanan modern.

KESIMPULAN

Material berbasis nano, khususnya *graphene* dan carbon *nanotube* (CNT), menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan kemampuan stealth pada berbagai platform militer. Kedua material ini mampu menyerap gelombang radar dengan efisiensi tinggi, mengurangi refleksi sinyal radar, dan memberikan keunggulan dalam aplikasi teknologi stealth. Meskipun tantangan dalam biaya produksi dan stabilitas material masih perlu diatasi, kombinasi *graphene* dan CNT dengan material lain dapat membuka peluang baru dalam desain teknologi pertahanan yang lebih ringan dan efisien. Keunggulan material nano dibandingkan material konvensional, seperti ferrite dan logam berat, terutama dalam hal bobot ringan, fleksibilitas desain, dan kemampuan penyerapan radar yang dapat dimodifikasi, memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan lebih lanjut. Dengan penelitian yang terus berkembang, material nano dapat menjadi elemen penting dalam teknologi stealth militer masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Rampado, S. Crotti, P. Caliceti, S. Pucciarelli, and M. Agostini, "Recent Advances in Understanding the Protein Corona of Nanoparticles and in the Formulation of 'Stealthy' Nanomaterials," *Front Bioeng Biotechnol*, vol. 8, no. April, pp. 1–19, 2020, doi: 10.3389/fbioe.2020.00166.
- [2] S. Y. Fam, C. F. Chee, C. Y. Yong, K. L. Ho, A. R. Mariatulqabtiah, and W. S. Tan, "Stealth coating of Nanoparticles in drug-delivery systems," *Nanomaterials*, vol. 10, no. 4, pp. 1–18, 2020, doi: 10.3390/nano10040787.
- [3] Fajar Ramadhan, Zahrul Fuadi, Rudi Kurniawan, Dieter Rahmadiawan, and Arya Rudi Nasution, "Pengaruh Penambahan Nano-Aditif Ke Dalam Fluida Polyolester Terhadap Gesekan Dan Keausan Material AISI52100 Vs Cast Iron," *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, vol. 6, no. 1, Mar. 2023, doi: 10.30596/rmme.v6i1.13600.
- [4] Affandi *et al.*, "Atmospheric Corrosion Analysis on Low Carbon Steel Plate Profile and Elbow in Medan Belawan District," *Key Eng Mater*, vol. 892, pp. 142–149, Jul. 2021, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.892.142.
- [5] X. Wang, Z. Qin, J. Qian, L. Chen, and K. Shen, "IrCo Nanoparticles Encapsulated with Carbon Nanotubes for Efficient and Stable Acidic Water Splitting," *ACS Catal*, vol. 13, no. 16, pp. 10672–10682, Aug. 2023, doi: 10.1021/acscatal.3c02887.
- [6] H. Guo, Q. Zhang, Y. Liu, and D. Zhao, "Properties and Defence Applications of Carbon Nanotubes," *J Phys Conf Ser*, vol. 2478, no. 4, p. 042010, Jun. 2023, doi: 10.1088/1742-6596/2478/4/042010.
- [7] H. Ahmad *et al.*, "Stealth technology: Methods and composite materials—A review," *Polym Compos*, vol. 40, no. 12, pp. 4457–4472, Dec. 2019, doi: 10.1002/pc.25311.
- [8] X. Liu *et al.*, "Graphene nanowires anchored to 3D graphene foam via self-assembly for high performance Li and Na ion storage," *Nano Energy*, vol. 37, pp. 108–117, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.nanoen.2017.04.051.
- [9] V. Kumar Chakradhary and M. J. Akhtar, "Absorption properties of CNF mixed cobalt

- nickel ferrite nanocomposite for radar and stealth applications,” *J Magn Magn Mater*, vol. 525, p. 167592, May 2021, doi: 10.1016/j.jmmm.2020.167592.
- [10] K. Ramachandran, V. Boopalan, J. C. Bear, and R. Subramani, “Multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs)-reinforced ceramic nanocomposites for aerospace applications: a review,” *J Mater Sci*, vol. 57, no. 6, pp. 3923–3953, 2022, doi: 10.1007/s10853-021-06760-x.
- [11] E. A. Zakharychev *et al.*, “Radar absorbing properties of carbon nanotubes/polymer composites in the V-band,” *Bulletin of Materials Science*, vol. 39, no. 2, pp. 451–456, 2016, doi: 10.1007/s12034-016-1168-0.