

POTENSI DARI STRUKTUR DAN MORFOLOGI NANOKOMPOSIT Fe₃O₄ DOPING Mn DAN rGO SEBAGAI COATING ANTI RADAR

Haeder Sazli Hardiawan¹⁾, Lalu saefullah²⁾, Vito Hanif Addinuri³⁾

¹⁾ Jalan Raya Anggrek Desa Pendem Kecamatan Junrejo, Batu Malang
Jurusan Otoranpur Prodi D4 Teknik Otoranpur Poltekad Kodiklatad, ²⁾ Klompok Dosen
Poltekad, ITS Surabaya³⁾
hsazeli5464@gmail.com ¹⁾, Saeful.lalu@gmail.com ²⁾, vitohanifaddinuri@gmail.com³⁾

POTENTIAL OF STRUCTURE AND MORPHOLOGY OF Fe₃O₄ DOPING Mn AND rGO NANOCOMPOSITES AS ANTI-RADAR COATINGS

Abstract: Research on Radar Absorbing Materials (RAM) in recent years in the military field has been intensively carried out. The choice of material for making RAM has a very important role to produce a good performance. The purpose of this study was to determine the effect of Mn composition on crystal structure, the morphology of Fe₃O₄ / rGO Doping Mn nanocomposite, and its potential as a coating. The samples were characterized by XRD, and SEM to determine the structure and phase, and the morphology of the nanocomposite after doping. The results of XRD characterization showed that it had a cubic crystal structure with a crystal size of 11.5 nm and the absence of a new peak, which identified that Mn was successfully substituted into Fe. The SEM results show that the nanocomposite is composed of Fe₃O₄ and Mn particles in the form of agglomerated spheres and lumps for r-GO, and has a grain size of about 15-20 nm.

Keywords: RAM, Fe₃O₄, Mangan, rGO, Nanokomposit

Abstrak: Penelitian Radar Absorbing Materials (RAM) dalam beberapa tahun terakhir pada bidang militer dilakukan secara intensif. Pemilihan material pembuatan RAM memiliki peran sangat penting untuk menghasilkan kinerja yang baik. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh komposisi Mn terhadap struktur kristal, morfologi komposit nano Fe₃O₄ / rGO Doping Mn, dan potensinya sebagai coating anti radar. Nanokomposit Fe₃O₄ / rGO Doping Mn berhasil disintesis dengan metode kopresipitasi. Sampel dikarakterisasi XRD, FTIR dan SEM-EDX untuk mengetahui struktur dan fase, morfologi dari nanokomposit setelah dilakukan doping. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan memiliki struktur kristal berbentuk kubik dengan ukuran kristal 11.5 nm dan tidak adanya puncak baru, yang mengidentifikasi Mn berhasil disubstitusi ke dalam Fe. Pada hasil SEM terlihat bahwa nanokomposit tersusun dari partikel Fe₃O₄ dan Mn yang berbentuk bulatan yang teraglomerasi dan bentuk bongkahan untuk r-GO, serta memiliki ukuran butir sekitar 15 - 20 nm.

Kata Kunci : RAM, Fe₃O₄, Mangan, rGO, Nanokomposit

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan alamnya. Dibalik kekayaan tersebut, ketika dikelola dengan baik maka dapat berdampak positif bagi pembangunan khususnya pada sektor pertahanan, namun ketika pengelolaannya dilakukan dengan buruk maka dapat mengancam kedaulatan bangsa. Saat ini sektor pertahanan negara kesatuan republik Indonesia (NKRI) lagi gencarnya mengembangkan teknologi anti radar guna mendeteksi adanya penyusup yang mengancam kedaulatan NKRI baik di darat, laut ataupun udara. NKRI pada dasarnya telah memiliki alat tersebut namun dari segi kuantitas dan kualitas masih jauh dari negara lain.

Perkembangan teknologi anti radar saat ini penting untuk dilakukan, karena selain dapat mendeteksi adanya ancaman yang datang juga dapat melindungi berbagai alat utama sistem senjata (alutsista) yang dimiliki oleh tentara nasional republik Indonesia. Adapun teknologi anti radar yang saat ini dikembangkan berupa *Radar Absorbing Material* (RAM). RAM lebih dikenal sebagai *instrument* yang digunakan sebagai pendeteksi pesawat, kapal, ataupun alutsista lain berbasis *microwave* atau *wave radio* (Taufiq et al., 2017). Selain dapat mendeteksi benda asing yang memasuki wilayah, juga dapat digunakan sebagai suatu alat yang

menyebabkan sebuah kapal ataupun pesawat siluman tidak terdeteksi oleh radar. Mekanisme tersebut tidak terlepas dari dua aspek yakni sudut geometri yang dapat memantulkan suatu gelombang radar sehingga tidak diterima *receiver* dan *coating* atau melapisinya dengan suatu material sehingga memiliki fungsi serupa. Dari kedua aspek tersebut, peneliti lebih memilih kearah pelapisan suatu material terhadap benda tertentu. Material yang biasanya digunakan untuk melapisi bisa berupa suatu senyawa tertentu berupa hasil *doping* ataupun *composite nanomaterial* yang mana fungsinya untuk meningkatkan efektifitas dari pelapis tersebut.

Material RAM secara umum di sintesis dari senyawa *spin magnetic* dan *dielectric* ataupun perpaduan keduanya (Wei et al., 2019). Bukti empiris menyatakan bahwa ketika RAM hanya disintesis melalui salah satu bahan saja tidak dapat meningkatkan efektifitasnya seperti halnya sintesis *magnetite* ataupun senyawa *dielectric* seperti *mangan oxide* yang hanya menyerap sumber magnetik dan material konduktif yang dapat menyerap sumber elektrik minimum (Taryana et al., 2019). sehingga trobosan saat ini lebih mengutamakan perpaduan keduanya dalam meningkatkan efektifitas dari fungsionalisasi RAM.

Serbuk logam magnetik, *ferrite*, dan *nanotubes* merupakan salah satu material magnetik yang memiliki daya rekat dan kepadatan tinggi (Sano & Akiba, 2014). Dalam penelitian ini, nanopartikel Fe₃O₄ dipilih karena merupakan bahan yang memiliki magnetisasi saturasi tinggi, fleksibilitas yang baik, mempunyai stabilitas kimia dan termal yang baik, biokompatibilitas (Wei et al., 2019). Menariknya, Fe₃O₄ disini dibuat dengan bahan dasar pasir besi alam, hal ini bertujuan untuk pengoptimalan pengolahan sumber daya alam di Indonesia. Selanjutnya, untuk mendapatkan karakteristik tertentu dari material Fe₃O₄, maka diperlukan sebuah modifikasi pada material tersebut melalui metode doping. Doping ini dapat dilakukan dengan menambahkan material logam seperti mangan (Mn) sehingga dapat membentuk sebuah karakteristik yang diinginkan, dan meningkatkan kinerja dari RAM (Arifiyana, 2013).

Nanokomposit material magnetik dengan r-GO sebagai material dielektrik telah dieksplorasi untuk dimanfaatkan pada aplikasi radar absorbing material (Morad, 2018). Selain itu, sinergis antara material magnetik dan r-GO menunjukkan peningkatan fungsionalitas yang baik atau bahkan dapat membentuk sifat baru yang mana tidak ditemukan pada komponen individu (Ji et al., 2012). Hal ini menjadikan komposit kedua material diatas sangat

menjanjikan untuk di berbagai aplikasi, sehingga menarik perhatian para peneliti. Selain itu, transportasi listrik dalam r-GO terjadi dengan melompat, yang mana berbeda dari graphene terkelupas secara mekanis, bahkan Tang et al., (2012) menyatakan setelah reduksi, konduktivitas listrik dapat ditingkatkan. Menariknya, salah satu bahan organik yang dipilih dalam penelitian ini untuk digunakan sebagai pembuatan r-GO adalah tongkol jagung, karena memiliki unsur karbon sebesar 39,80%, hemiselulosa 30,91% dan bentuk dari mengurangi sampah tongkol jagung akibat belum optimalnya penggunaannya. Kemudian, r-GO memiliki densitas yang rendah dan dapat mengurangi agregasi dari material magnetik sehingga cocok digunakan sebagai material antiradar (Lei et al., 2019). Adapun, r-GO memiliki sifat dalam defek struktur hidroksil dan karboksil yang menunjang penyerapan gelombang radar melalui prinsip polarisasi permukaan (Taufik, 2019). Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan sintesis **Nanokomposit Fe₃O₄ / rGO Doping Mn dan potensi sebagai coating anti radar** untuk mengetahui material dengan keunggulan yang baik serta potensi dalam aplikasi RAM.

METODE PENELITIAN

a. Sintesis rGO Bonggol Jagung

Sintesis dilakukan menggunakan metode *solid state*, yang mana bonggol jagung yang kering dibakar hingga menjadi arang. Kemudian arang digerus dan diayak agar didapatkan serbuk halus. Selanjutnya, dilakukan karbonasi pada suhu 400 °C selama 3 jam di dalam furnace. Selanjutnya, mencampur serbuk hasil furnace dengan 50 mL aquades. Campuran ini dimasukkan kedalam *ultrasonic bath* selama 2 jam agar homogen. Kemudian sampel disentrifuge dengan kecepatan putaran 6000 RPM selama 20 menit agar terbentuk endapan. Endapan disaring dan dikeringkan dengan suhu 100 °C.

b. Sintesis Nanokomposit

Pasir besi yang sudah diseparasi menggunakan magnet permanen akan direaksikan dengan HCl untuk kemudian didapatkan FeCl. Hasil larutan FeCl kemudian disaring dan dilakukan pendopingan dengan Mn dengan massa Mn = 1,36 dimana MnCl₂·6H₂O diaduk dengan larutan hasil saringan. Metode yang digunakan yaitu metode kopresipitasi, dengan mencampur hasil Fe₃O₄ yang telah di doping Mn dan rGO sebesar 1 gram. Setelah itu, ditambahkan 18 mL NH₄OH sampai terbentuk endapan hitam dan pH = 7. Kemudian, disaring/ekstraksi menggunakan magnet

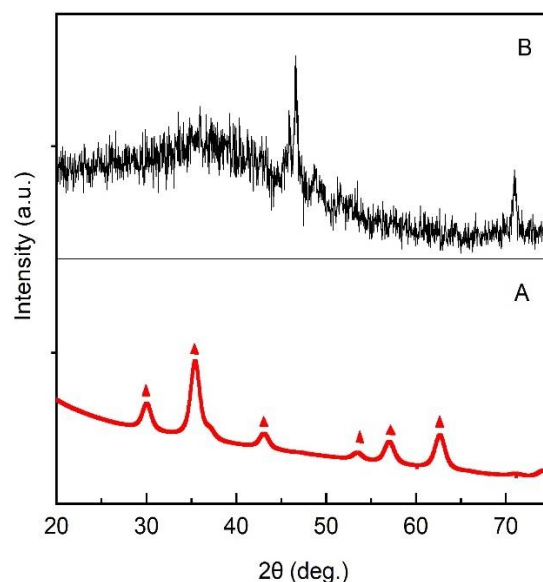
permanen. Hasil sintesis kemudian dicuci menggunakan aquades sampai pH netral. Untuk mendapatkan serbuk nanokomposit maka dipanaskan pada suhu 100°C selama 2 jam.

c. Karakterisasi

Struktur nanokomposit Fe₃O₄/rGO doping Mn dikarakterisasi untuk mengetahui struktur, ukuran kristal, fase dan parameter kisi menggunakan XRD (*X-ray Diffraction Spectroscopy*). Selanjutnya untuk identifikasi morfologi, ukuran partikel, dan komposisi unsur pada sampel menggunakan *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX).

HASIL PENELITIAN

a. X-Ray Diffraction

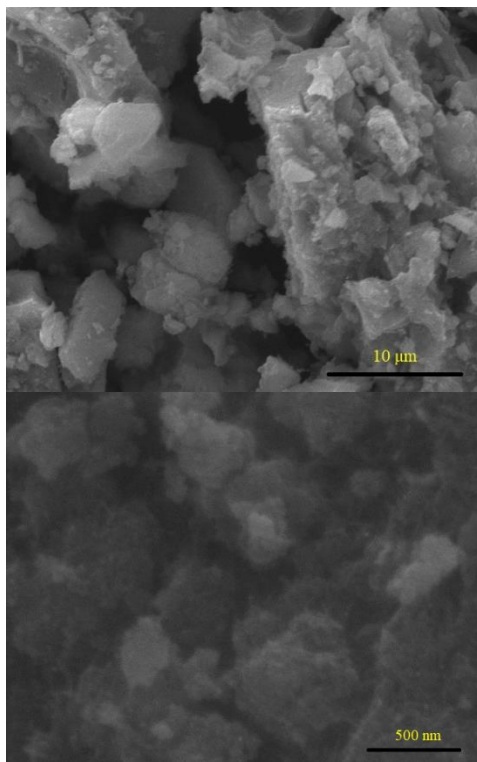


Gambar 1. Pola Difraksi (a) r-GO bonggol jagung, (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{r-GO}$ dengan pendopingan Mn

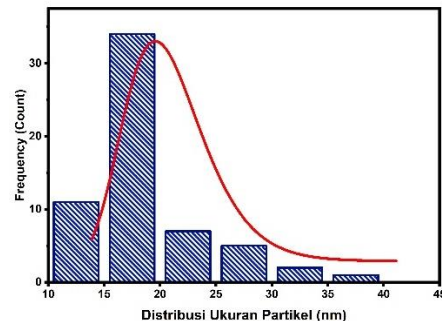
Tabel 1. Hasil analisis data difraksi komposit nano $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{r-GO}$ dengan pendopingan Mn

Sampel	Ukuran Kristal (nm)	Parameter Kisi ($a = b = c$) (Å)	Volume Kristal (Å ³)	Densitas (g.cm ⁻³)
A	11.5	8.38	588.4	5.23

b. SEM (Scanning Electron Microscopy)



Gambar 3. Morfologi permukaan sampel dari $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{r-GO}$ dengan pendopingan Mn



Gambar 4. Distribusi ukuran partikel dari $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{r-GO}$ dengan pendopingan

PEMBAHASAN

Gambar 1.(a) menunjukkan pola difraksi sinar-X dari partikel nano $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{r-GO}$ dengan Mn. Berdasarkan gambar tersebut puncak difraksi terdeteksi sekitar $2\theta = 30^\circ, 35.4^\circ, 43.2^\circ, 53.6^\circ, 57.6^\circ, 62.7^\circ$, dengan hasil analisis menunjukkan jika puncak-puncak

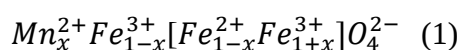
yang terdeteksi bersesuaian dengan indeks miller (220), (311), (400), (422), (511), (440). Namun, seharusnya terdapat puncak kecil pada rentang $20^\circ-28^\circ$ dengan indeks miller (002) seperti pada Gambar 1.(b) yang mana puncak pada rentang tersebut, menunjukkan terdeteksinya r-GO. Puncak serupa juga dikonfirmasi oleh penelitian Tang et al.,

(2012) pada $2\theta = 25.9^\circ$ terindikasi puncak dari r-GO. Tidak terdeteksinya puncak lemah pada r-GO karena pembentukan nanopartikel Fe₃O₄ lebih banyak, sehingga menutupi bidang dasar r-GO (Bahtiar et al., 2017). Hal ini juga dikonfirmasi dengan penelitian Mas'udah et al, melaporkan bahwa r-GO dari bonggol jagung terindikasi pada sudut $2\theta = 15^\circ - 30^\circ$, yang mana telah dikonfirmasi dengan mengacu pada struktur susunan lapisan aromatik (grafit 002) dan fase ini termasuk dalam jenis karbon-grafit yang memiliki sistem kristal heksagonal dengan spasi kelompok R-3m (Jagminas et al., 2011). Selain itu, pada Gambar 1.(a) diamati pola difraksi pada tidak memunculkan adanya puncak baru, hal ini mengindikasikan bahwa tidak munculnya fase baru karena Mn masuk dalam Fe₃O₄. Pada penelitian (Li et al., 2014) menyatakan tidak adanya puncak baru pada Mn_xFe_{3-x}O₄ menunjukkan bahwa Mn²⁺ berhasil masuk ke dalam Fe³⁺ bukan endapan oksida mangan pada permukaan Fe₃O₄ (Li et al., 2014). Selain itu, pada gambar memperlihatkan bahwa pendopingan Mn yang ditambahkan pada komposit nano terlihat jika puncak difraksi mengalami pergeseran menuju 2θ yang lebih rendah. Pergeseran ini berkaitan nilai parameter kisi juga semakin besar. Peningkatan parameter kisi disebabkan karena efek ukuran ionik, Mn²⁺ (0.81 Å) memiliki radius ionik lebih besar dari Fe³⁺ (0.77 Å) (Shebha Anandhi et al., 2020). Hasil tersebut menandakan jika

sebagian ion Fe³⁺ pada struktur tetrahedral tergantikan oleh sebagian ion Mn²⁺ (Taufiq et al., 2015).

Analisis dilakukan dengan membandingkan data hasil penelitian dengan database ICSD nomor 30860, yang menunjukkan bahwa struktur kristal yaitu spinel kubik, hal ini juga didukung dengan penelitian (Imran et al., 2021) bahwa struktur kristal komposit nano mengikuti Fe₃O₄ berbentuk spinel kubik. Pernyataan tersebut juga didukung dengan hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 1, dimana parameter kisi yang meningkat menjadi sebesar 8.380 Å dari Fe₃O₄ murni karena penambahan Mn pada komposit nano Fe₃O₄/r-GO. Selain itu, ukuran kristal komposit nano mengalami penurunan setelah pendopingan Mn. Sedangkan, pada struktur tetragonal ukuran kristal akan meningkat seiring dengan meningkatnya komposisi Mn (Taufiq et al., 2015). Hal ini dipengaruhi oleh pH yang semakin meningkat, akan menyebabkan ukuran kristal akan mengecil seperti yang dilakukan oleh penelitian (Darminto et al., 2011). Dari hasil penelitian ini didapatkan pH netral yang mana mengurangi tingkat korosi pada RAM. Dalam penelitian Shebha dkk, melakukan sintesis Mn_xFe_{3-x}O₄ menggunakan metode kopresipitasi, dengan hasil doping $x = 0,1; 0,3; 0,5$ secara berturut-turut memiliki ukuran partikel 10 nm, 12 nm, dan 13 nm. Sedangkan, pada penelitian

ini didapatkan ukuran yang sama kecil, hal ini mempengaruhi luas permukaan dari komposit, dimana semakin kecil ukuran partikel maka kisi parameter akan meningkat dan menyebabkan luas permukaan meningkat. Selain itu, didapatkan nilai saturasi magnetisasi yang lebih tinggi jika $x < 0,5$, yaitu sebesar (60 ± 2) emu/g dan koersivitas (27 ± 1) Oe), sedangkan nilai saturasi magnetisasi untuk Fe₃O₄ sebesar (20 ± 2) emu/g, hal ini dapat dikatakan pendopingan dengan Mn dapat meningkatkan nilai saturasi magnetik dari Fe₃O₄. (Shebha Anandhi et al., 2020). Selain itu, hal ini didukung secara teori bahwa saturasi magnetisasi Mn_xFe_{3-x}O₄ akan meningkat seiring bertambahnya jumlah doping yang diberikan, karena Mn²⁺ memiliki momen magnetik ($5\mu_B$) lebih besar dari Fe²⁺ ($4\mu_B$) dan dapat di jelaskan melalui persamaan 1 (Taufiq et al., 2017):



Persamaan diatas dapat dijelaskan bahwa pendopingan Mn dapat membuat arah dipol menjadi acak sehingga meningkatkan nilai saturasi magnetisasi hal ini membuat kekuatan penyerapan pada RAM lebih kuat (Widyastuti et al., 2018). Selain itu, adanya gesekan dan momen inersia yang menyertai penyerahan dipol akan menyebabkan penyerapan energi gelombang

elektromagnetik yang terdisipasi dalam bentuk panas.

Gambar 3. merepresentasikan morfologi permukaan dari sampel. Morfologi seluruh sampel menunjukkan hasil distribusi bongkahan partikel berukuran besar dan bulatan-bulatan yang menempel pada bongkahan. Secara fisis, bongkahan-bongkahan partikel yang rongga merupakan representasi dari bahan r-GO sedangkan bulatan kecil yang menempel pada bongkahan besar merupakan representasi partikel Fe₃O₄ dan Mn yang disintesis melalui bahan alam cenderung mengalami aglomerasi. Hal ini sesuai dengan penelitian (Cui et al., 2019), dimana hasil karbonasi bonggol jagung seperti bongkahan berpori. Sedangkan Fe₃O₄ dan Mn seperti bulatan partikel yang menempel telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Padhi et al., 2017) yang mana mereka memfabrikasi material Fe₃O₄/r-GO. Selanjutnya, Gambar 4. merepresentasikan distribusi ukuran partikel Fe₃O₄/rGO yang di doping Mn. Partikel tersebut memiliki distribusi ukuran partikel sebesar 15 - 20 nm. Dalam kasus ini, partikel mengalami kondisi aglomerasi, yang mana partikel tersebut cenderung berkumpul pada satu tempat. Fenomena aglomerasi disebabkan oleh adanya gaya van der Waals yang muncul pada partikel karena rasio luas penampang dan volume penampang yang besar (Taufiq et al., 2020). Besar kecilnya

ukuran partikel ini akan berpengaruh terhadap surface area dan sifat mekanik dari RAM.

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian di atas, bahwa partikel nano Fe₃O₄/rGO doping Mn berhasil disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan massa Mn = 1,36 g. Bergesernya puncak difraksi dapat dikatakan pendopongan Mn berhasil dilakukan, dan didapatkan ukuran partikel 11.5 nm. Hasil karakterisasi morfologi didapatkan pendopongan Mn tidak mempengaruhi morfologi, namun bentuk bulatan mewakili Fe₃O₄ dan bentuk bongkahan mewakili rGO. Selain itu, aglomerasi yang terjadi tidak begitu besar, melihat ukuran partikel yang tidak begitu besar pula. Rata-rata distribusi ukuran partikel yang didapatkan sebesar 15-20 nm. Hasil literatur dari berbagai penelitian dapat dikatakan pendopongan Mn dapat meningkatkan saturasi magnetik dari Fe₃O₄, dan penambahan rGO sebagai material dielektrik dapat meningkatkan nilai *RL*, hal ini dipengaruhi juga oleh tingkat kecocokan impedansi pada setiap sampel. Selain itu, ukuran kristal yang semakin kecil akan meningkatkan luas permukaan RAM sehingga dapat menyerap gelombang elektromagnet secara efektif dan adanya nilai pH = netral dapat memperkecil tingkat korosi pada RAM.

SARAN

Penelitian ini perlu disempurnakan dengan karakterisasi VSM dan VNA sehingga kedepannya dapat meningkatkan efektifitas dan nilai guna dalam aplikasi RAM.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifiyana. (2013). *Pengaruh Doping Logam Fe pada CaF₂ terhadap Struktur Ca_{1-x}Fe_xF₂*.
- Bahtiar, S., Taufiq, A., Sunaryono, Hidayat, A., Hidayat, N., Diantoro, M., Mufti, N., & Mujamilah. (2017). Synthesis, Investigation on Structural and Magnetic Behaviors of Spinel M-Ferrite [M = Fe; Zn; Mn] Nanoparticles from Iron Sand. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 202(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/202/1/012052>
- Cui, L., Yang, Y., Cheng, C., Xu, L., Li, Y., Jia, M., Dun, X., & Jin, X. (2019). Corn Cob Lignin-based Porous Carbon Modified Reduced Graphene Oxide Film For Flexible Supercapacitor Electrode. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 39(5), 343–359. <https://doi.org/10.1080/02773813.2019.1623259>

- Darminto, Cholishoh, M. N., Perdana, F. A., Baqiya, M. A., Cahyono, M. Y., & Triwikantoro. (2011). Preparing Fe₃O₄ nanoparticles from Fe²⁺ ions source by co-precipitation process in various pH. *AIP Conference Proceedings*, 1415, 234–237.
<https://doi.org/10.1063/1.3667264>
- Imran, M., Alam, M. M., Hussain, S., Ali, M. A., Shkir, M., Mohammad, A., Ahamad, T., Kaushik, A., & Irshad, K. (2021). Highly photocatalytic active r-GO/Fe₃O₄ nanocomposites development for enhanced photocatalysis application: A facile low-cost preparation and characterization. *Ceramics International*, 47(22), 31973–31982.
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.08.083>
- Jagminas, A., Kurtinaitiene, M., Mažeika, K., Rotomskis, R., Niaura, G., & Selskis, A. (2011). Fabrication and characterization of magnetic ferrofluids by the co-precipitation way using diglycolic acid. *Journal of Nanoparticle Research*, 13(9), 4133–4142.
<https://doi.org/10.1007/s11051-011-0356-5>
- Ji, Z., Shen, X., Zhu, G., Zhou, H., & Yuan, A. (2012). Reduced graphene oxide/nickel nanocomposites: Facile synthesis, magnetic and catalytic properties. *Journal of Materials Chemistry*, 22(8), 3471–3477.
<https://doi.org/10.1039/c2jm14680k>
- Lei, Y., Yao, Z., Lin, H., Zhou, J., liu, P., Qi, T., Ning, Y., & Shen, C. (2019). Synthesis and enhanced microwave absorption properties of urchin-like polyaniline/Ni_{0.4}Zn_{0.4}Co_{0.2}Fe₂O₄ composites. *Polymer Bulletin*, 76(6), 3113–3125.
<https://doi.org/10.1007/s00289-018-2541-5>
- Li, Q., Li, Y., Li, X., Chen, S., Zhang, S., Wang, J., & Hou, C. (2014). A facile synthesis of superparamagnetic hybrid hollow nanospheres based on monodisperse nickel-zinc ferrite/polyethylene glycol and their electromagnetic, microwave absorbing properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 608, 35–43.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.03.060>
- Padhi, D. K., Panigrahi, T. K., Parida, K., Singh, S. K., & Mishra, P. M. (2017). Green Synthesis of Fe₃O₄/RGO Nanocomposite with Enhanced Photocatalytic Performance for Cr(VI) Reduction, Phenol Degradation, and Antibacterial Activity. *ACS Sustainable*

- Chemistry and Engineering*, 5(11), 10551–10562.
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b02548>
- Sano, E., & Akiba, E. (2014). Electromagnetic absorbing materials using nonwoven fabrics coated with multi-walled carbon nanotubes. *Carbon*, 78, 463–468.
<https://doi.org/10.1016/j.carbon.2014.07.027>
- Shebha Anandhi, J., Antilen Jacob, G., & Justin Joseyphus, R. (2020). Factors affecting the heating efficiency of Mn-doped Fe₃O₄ nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 512.
<https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.166992>
- Tang, L., Li, X., Ji, R., Teng, K. S., Tai, G., Ye, J., Wei, C., & Lau, S. P. (2012). Bottom-up synthesis of large-scale graphene oxide nanosheets. *Journal of Materials Chemistry*, 22(12), 5676–5683.
<https://doi.org/10.1039/c2jm15944a>
- Taryana, Y., Manaf, A., Sudrajat, N., & Wahyu, Y. (2019). MATERIAL PENYERAP GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK JANGKAUAN FREKUENSI RADAR *Electromagnetic Wave Absorbing Materials on Radar Frequency Range*.
- Taufiq, A., Iksari, F. N., Hidayat, N., Ulya, H. N., Saputro, R. E., Mufti, N., Hidayat, A., Sunaryono, S., & Chuenchom, L. (2020). Dependence of PEO content in the preparation of Fe₃O₄/PEO/TMAH ferrofluids and their antibacterial activity. *Journal of Polymer Research*, 27(5).
<https://doi.org/10.1007/s10965-020-02100-w>
- Taufiq, A., Sunaryono, Hidayat, N., Hidayat, A., Putra, E. G. R., Okazawa, A., Watanabe, I., Kojima, N., Pratapa, S., & Darminto. (2017). Studies on Nanostructure and Magnetic Behaviors of Mn-Doped Black Iron Oxide Magnetic Fluids Synthesized from Iron Sand. *Nano*, 12(9).
<https://doi.org/10.1142/S1793292017501107>
- Taufiq, A., Sunaryono, Rachman Putra, E. G., Okazawa, A., Watanabe, I., Kojima, N., Pratapa, S., & Darminto. (2015). Nanoscale Clustering and Magnetic Properties of Mn_xFe_{3-x}O₄ Particles Prepared from Natural Magnetite. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 28(9), 2855–2863.
<https://doi.org/10.1007/s10948-015-3111-9>

- Wei, S., Yan, R., Shi, B., & Chen, X. (2019). Characterization of flexible radar-absorbing materials based on ferromagnetic nickel micron-fibers. *Journal of Industrial Textiles*, 49(1), 58–70.
<https://doi.org/10.1177/1528083718772304>
- BaM/PANI composition with epoxy paint matrix on single and double layers coating with spray coating method for radar absorbing materials applications. *AIP Conference Proceedings*, 1945.
<https://doi.org/10.1063/1.5030258>
- Widyastuti, Fajarin, R., Pratiwi, V. M., Kholid, R. R., & Habib, A. (2018). The effect of