

DOI: <https://doi.org/10.21009/JRSKT.102.04>

Studi Sintesis dan Karakterisasi Komposit Upr/Core-Shell $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ Berbahan Dasar Sekam Padi sebagai Material Penyerap Gelombang Mikro

Hilda Puspa Lestari^{1,*}, Wisnu Ari Adi²

¹Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Jl. Rawamangun Muka Jakarta Timur 13220, Indonesia

²Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM) - BATAN Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan

*Email: hildapuspa@gmail.com

Received: 02 November 2024
Revised: 16 November 2024
Accepted: 05 December 2024
Online: 17 December 2024
Published: 30 December 2024

Jurnal Riset Sains dan Kimia Terapan

p-ISSN: 2302 - 8467

e-ISSN: 2303 - 0720



Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis komposit UPR/core-shell berbahan dasar sekam padi sebagai penyerap gelombang mikro. Pada penelitian ini material yang digunakan adalah silika, dan magnetit. Material silika dihasilkan dari sekam padi dengan menggunakan metode sol-gel, sedangkan Fe_3O_4 dihasilkan dari proses elektrolisis. Kedua material ini kemudian digabungkan menjadi satu membentuk sebuah core-shell dimana magnetit (Fe_3O_4) sebagai core (bagian inti) dan silika (SiO_2) sebagai shell (bagian luar). Selanjutnya dilakukan pembuatan komposit dengan core-shell $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ sebagai filler dan sebagai matriks UPR dengan komposisi tertentu. Komposit di buat dengan beberapa komposisi kemudian di lakukan pengujian serapan gelombang mikro menggunakan VNA (Vektor Network Analyzer) pada frekuensi 8 GHz – 12 GHz. Hasil pengujian VNA menunjukkan bahwa material UPR/coreshell ini mampu menyerap gelombang mikro terbaik, dengan komposisi 80%:20% dan serapan tertinggi pada frekuensi 11 GHz dengan serapan sebesar -19.009 dB.

Kata kunci: Fe_3O_4 , silika, UPR/coreshell

Abstract

This research is intended to synthesize UPR/core-shell composites based on rice husk as a microwave absorber. In this study the materials used are silica, and magnetite. Silica material is produced from rice husk using sol-gel method, while Fe_3O_4 is produced from electrolysis process. These two materials are then combined into one forming a shell-core where the magnetite (Fe_3O_4) is the core (core part) and the silica (SiO_2) as the shell (the outer). The composite was then made with $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ composite core as the filler and as a UPR matrix with certain composition. Composites are made with some compositions then

do the microwave absorption try using VNA (Vector Network Analyzer) at the frequency of 8 GHz - 12 GHz. VNA test results show that UPR/core-shell material is able to absorb the best microwave, with the composition of 80%: 20% and absorption at 11 GHz frequency with absorption of -19.009 dB.

Keywords: *Fe₃O₄, silica, UPR/core-shell*

Pendahuluan

Bahan penyerap gelombang mikro (MAM) sangat penting dalam berbagai aplikasi teknologi karena kemampuannya untuk melemahkan radiasi elektromagnetik, yang semakin penting dalam konteks pertumbuhan komunikasi nirkabel dan perangkat elektronik yang pesat. Bahan-bahan ini sangat penting untuk mengurangi gangguan elektromagnetik, meningkatkan keandalan elektronik, dan memberikan kemampuan siluman dalam aplikasi militer (Sharma et al., 2024; Xu et al., 2024). Teknologi zaman sekarang telah berkembang pesat di berbagai bidang (Martín-González & Portela-Camino, 2024) salah satunya adalah telepon seluler yang biasa kita gunakan dalam kehidupan sehari-hari. Penggunaan teknologi ini akan mempercepat dan mempersingkat perolehan informasi (Adawee et al., 2021). Teknologi ini sangat dipengaruhi oleh gelombang mikro sebagai perantara dalam berkomunikasi (Hu et al., 2021). Pada dasarnya gelombang mikro sangat bermanfaat bagi manusia dalam berkomunikasi, tetapi dalam hal tertentu gelombang mikro juga bisa merugikan (Asakuma et al., 2022), yaitu ketika terjadi kebocoran energi pada suatu kinerja komponen elektronik. Meningkatnya serta mengembangkan perangkat elektronik dapat mengakibatkan peningkatan polusi elektromagnetik (Cios et al., 2021). Peristiwa ini disebut juga *electromagnetic interference* (EMI). Oleh karena itu, diperlukan sebuah material yang dapat menyerap kebocoran radiasi (Albert et al., 2023).

Pemanfaatan bahan alami seperti sekam padi sebagai bahan dasar menawarkan beberapa manfaat, terutama di bidang konstruksi, perekat, dan bioplastik. Sekam padi, produk sampingan pertanian, semakin dikenal karena potensinya untuk meningkatkan keberlanjutan dan kinerja dalam berbagai aplikasi. Dalam bahan bangunan, sekam padi menunjukkan sifat insulasi termal yang sangat baik. Penelitian telah menunjukkan bahwa panel dan komposit berbasis sekam padi secara signifikan mengurangi konduktivitas termal, membuatnya kompetitif dengan bahan isolasi berbasis bio lainnya. Sebagai contoh, panel sekam padi menunjukkan nilai konduktivitas termal antara 0,037 dan 0,042 W/mK, bersama dengan sifat penyerapan akustik yang baik, yang bermanfaat untuk aplikasi bangunan (Neira et al., 2024; Wan et al., 2024; Zidanes et al., 2024). Demikian pula, menggabungkan sekam padi ke dalam matriks plester mengurangi kerapatan curah dan konduktivitas termal, meningkatkan kinerja termal bahan konstruksi (Wan et al., 2024). Dalam bidang perekat, sekam padi dan abunya telah digunakan untuk memperkuat perekat polifenol alami, meningkatkan sifat ketahanan mekanis dan kelembabannya (Silva et al., 2024). Aplikasi ini tidak hanya memanfaatkan limbah sekam padi tetapi juga meningkatkan kinerja bioadhesif, menjadikannya lebih berkelanjutan dan efektif untuk ikatan kayu (Susilawati et al., 2024).

Material yang dapat digunakan sebagai penyerap gelombang mikro harus memiliki sifat permeabilitas (μ) dan permitivitas (ϵ) yang baik kemampuan suatu bahan untuk menyerap gelombang mikro sangat bergantung pada karakteristik elektromagnetiknya, termasuk permitivitas dan permeabilitas, karena sifat-sifat ini memengaruhi pencocokan impedansi dan kinerja pelemahan bahan. Logam seperti tembaga, aluminium dan nikel merupakan material yang dapat memberikan konduktivitas listrik yang tinggi (Saeed et al., 2024; Musa et al., 2024) serta sifat mekanik yang baik. Material yang digunakan sebagai penyerap gelombang mikro adalah silika dan magnetit (Fe₃O₄) (Wang et al., 2024). Selain digunakan sebagai penyerap gelombang mikro, Fe₃O₄ dan silika digunakan sebagai komposit berupa *core-shell* Fe₃O₄-SiO₂ (Neha et al., 2024; Chu et al., 2024). Pada penelitian kali ini, difokuskan untuk membuat sebuah material *core-shell* yang merupakan partikel termodifikasi yang terdiri atas inti dan sel, sehingga akan dibuat

modifikasi permukaan *core-shell* agar terlindung dari proses aglomerasi. Oleh karena itu stabilitas magnetit diperlukan untuk meningkatkan stabilitas penyebaran reaksi selama proses pelapisan pada *core-shell*, sehingga magnetit akan dijadikan sebagai inti dan silika sebagai *shell*. Magnetit yang digunakan berasal dari paku besi dengan metode elektrokimia dan material SiO₂ dari sekam padi dengan metode sol-gel.

Metode

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah NaCl, sekam padi, dua buah paku besi, HCl, NaOH, AgNO₃, etanol, akuades, dan air demineralisasi (aqua DM), polimer *Unsaturated Polyester Resin* (UPR, Yucalac), dan Katalis (Yucalac).

Sintesis Silika dengan metode sol-gel

Sebanyak 10 gram sampel abu sekam padi yang telah dibuat, kemudian ditambahkan aqua DM dan ditetaskan HCl. Kemudian dilakukan pengadukan hingga mencapai pH 1. Larutan campuran tersebut kemudian direfluks selama 2 jam, dan disaring dengan Kertas Whatman No.41. Tahap ini menggunakan residu Abu Sekam Padi (ASP) yang telah dicuci dengan asam, kemudian ditambahkan larutan NaOH dan direfluks selama 1 jam. Setelah itu, disaring dengan menggunakan kertas saring Whatman No. 41. Filtrat hasil cucian residu kemudian disatukan dengan filtrat pertama dan didinginkan dalam temperatur ruang dan kemudian dititrasi dengan HCl sambil dilakukan pengadukan secara konstan hingga pH 7. Silika didiamkan terlebih dahulu selama 18 jam. Gel yang sudah didiamkan, kemudian ditambahkan aqua DM untuk dicuci agar gel terbebas dari ion Cl⁻. Kurangi kata kemudian atau dapat diganti dengan: selanjutnya, setelah itu, dan lain-lain.

Sintesis Fe₃O₄

Paku besi yang telah terendam dalam larutan NaCl kemudian disambungkan dengan aliran katoda dan anoda melalui kawat tembaga yang dialiri arus DC dari baterai atau *power supply*. Elektrolisis paku besi membutuhkan waktu sekitar 3 jam untuk mendapatkan endapan magnetit berwarna coklat kehitaman.

Sintesis *Core-Shell* Fe₃O₄-SiO₂

Pada tahap ini, material Fe₃O₄ yang telah dibuat dimodifikasi dengan silika untuk dibuat menjadi *core-shell* bertujuan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi gelombang mikro. Pertama, akan dihasilkan magnetit dengan metode elektrolisis. Sebanyak 1 gram magnetit dicampurkan dan diaduk selama ± 10 menit. Setelah itu gel silika yang telah disintesis sebelumnya dimasukkan ke dalam campuran magnetit tersebut dan *core-shell* akan terbentuk.

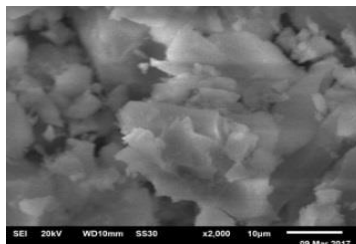
Pembuatan komposit UPR/*core-shell* partikel Fe₃O₄-SiO₂

UPR yang masih berbentuk cairan dimasukkan ke dalam lima cetakan. Pada cetakan pertama, UPR ditambahkan *filler core-shell* Fe₃O₄-SiO₂ dan dijadikan sebagai pembanding. Pada cetakan kedua sampai kelima, dimasukkan UPR/*core-shell* Fe₃O₄-SiO₂ dengan perbandingan massa UPR:*core-shell* Fe₃O₄-SiO₂ yaitu 90:10, 85:15, 82:20, 75:25, 70:30.

Hasil dan Pembahasan

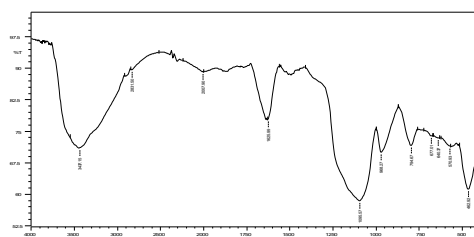
Sintesis Silika (SiO_2) dari Sekam Padi

Sekam padi yang digunakan adalah sekam padi yang berasal dari Karawang. Silika hasil sintesis akan diuji karakterisasi dengan menggunakan SEM-EDX, FTIR, dan XRD.



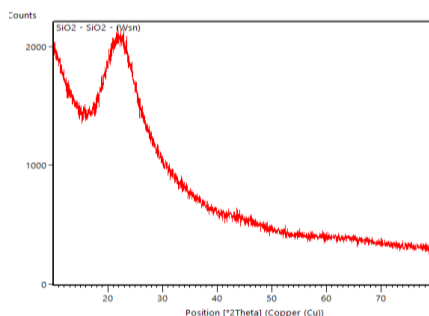
Gambar 1. Hasil SEM Silika

Gambar 1 merupakan hasil SEM silika yang mengindikasikan bahwa pada perbesaran 2.000x dihasilkan silika yang berwarna putih dan berbentuk seperti lembaran-lembaran.



Gambar 2. Hasil FTIR Silika

Gambar 2 hasil FTIR silika yang memperlihatkan bahwa terdapat panjang gelombang pada 3437,15 cm^{-1} yang menunjukkan gugus OH stretching. Pita serapan yang muncul pada 1625,99 cm^{-1} merupakan vibrasi dari molekul air dan pita serapan lebar dengan panjang gelombang 1095,57 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur Si-O dari Si-O-Si.

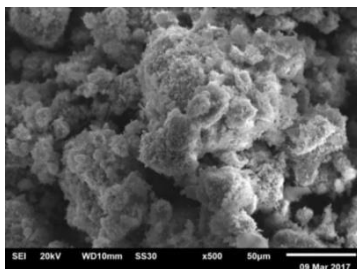


Gambar 3. Pola difraksi XRD Silika

Gambar 3 merupakan pola XRD pada silika memiliki sudut difraksi 2θ antara 10° dan 80° , dan menunjukkan bahwa tidak ada puncak pada pola XRD yang menandakan bahwa silika merupakan bentuk amorf.

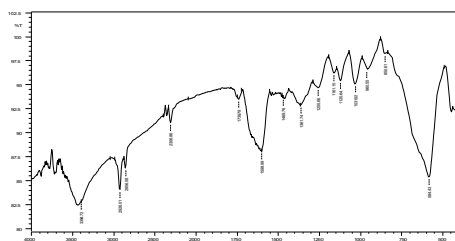
Sintesis Fe₃O₄

Bahan dasar pada penelitian ini adalah paku besi yang sudah tidak terpakai dan digunakan metode elektrolisis untuk mendapatkan magnetit. Hasil sintesis Fe₃O₄ yang terbentuk akan dikarakterisasi menggunakan SEM, FTIR, dan XRD.



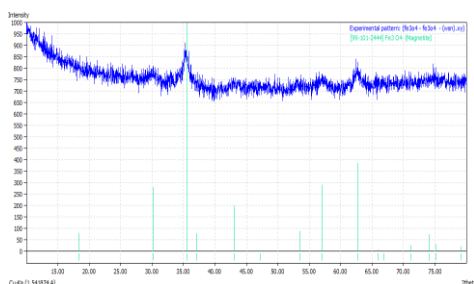
Gambar 4. Hasil SEM Fe₃O₄

Gambar 4 merupakan hasil SEM dari Fe₃O₄ yang menunjukkan bahwa pada perbesaran 500x terlihat permukaan Fe₃O₄ tidak seragam dan menumpuk pada partikel lainnya.



Gambar 5. Hasil FTIR Fe₃O₄

Gambar 5 merupakan hasil FTIR dari Fe₃O₄ memperlihatkan adanya *stretching* gugus OH pada panjang gelombang 3394,72 cm⁻¹ yang menunjukkan bahwa adanya molekul air yang teradsorpsi oleh Fe₃O₄, dan terdapat pita serapan pada panjang gelombang 584,43 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya *stretching* ikatan Fe-O. Lebih baik bandingkan hasil FTIR Fe₃O₄ hasil sintesis dan Fe₃O₄ yang sudah ada di pasaran.

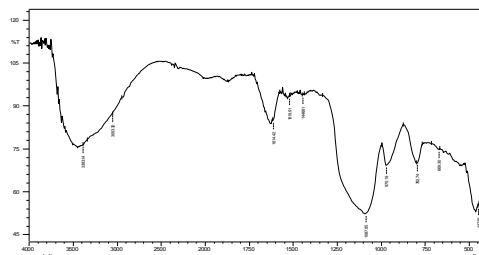


Gambar 6. Hasil Pola difraksi Fe₃O₄

Gambar 6 merupakan hasil XRD Fe₃O₄ untuk memperlihatkan bahwa hasil ekstraksi magnetit berbahan paku besi merupakan senyawa kristal yang ditunjukkan dengan munculnya puncak sempit. Hasil uji ini dilakukan dengan menggunakan *software match* untuk mendapatkan kristalinitas dan mengetahui bentuk kristal dari senyawa magnetit.

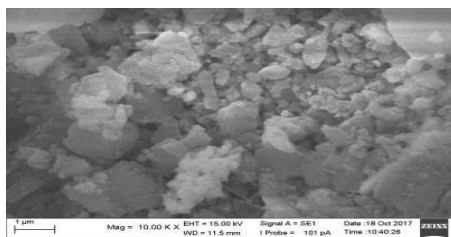
Sintesis dan Modifikasi *Core-shell* Fe₃O₄-SiO₂

Silika dan magnetit yang telah disintesis dan dikarakterisasi sebelumnya akan dilakukan modifikasi dengan material Fe₃O₄-SiO₂, dan diuji karakterisasi dengan FTIR, XRD, dan SEM-EDX.



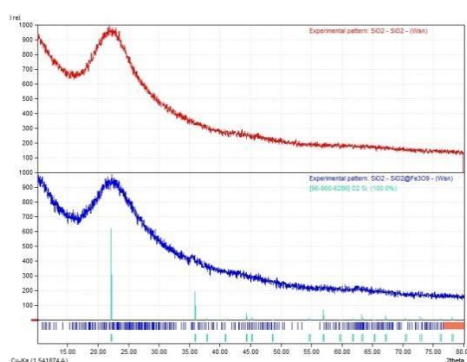
Gambar 7. Hasil FTIR *Core-Shell* Fe₃O₄-SiO₂

Gambar 7 menyajikan hasil FTIR Fe₃O₄ yang terdapat puncak yang muncul pada bilangan gelombang 3383,14, 970,19 dan 447,49 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya unsur O-H, Si-O dan Fe-O. Berdasarkan berbagai *peak* yang telah muncul pada bilangan gelombang yang menjadi ciri khas silika dan magnetit, maka dapat diindikasikan bahwa sudah terbentuk *core-shell* Fe₃O₄-SiO₂.



Gambar 8. Hasil SEM *Core-Shell* Fe₃O₄-SiO₂

Gambar 8 merupakan hasil SEM-EDX dari Fe₃O₄ yang menunjukkan pada perbesaran 10.000x diperoleh permukaan yang berbentuk bulat-bulat kecil, tidak seragam dan berwarna putih yang menunjukkan bahwa silika telah terbentuk.

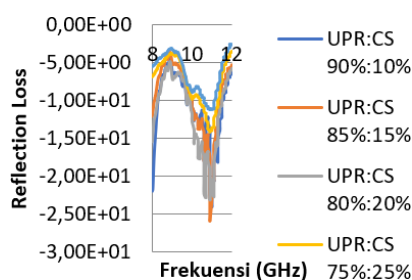


Gambar 9. Pola difraksi XRD *Core-Shell* Fe₃O₄-SiO₂

Gambar 9 menyajikan pola XRD dari Fe₃O₄ yang mengindikasikan bahwa sudah terbentuk *core-shell* antara magnetit dan silika. Hal ini dapat diketahui dari munculnya senyawa silika dan adanya pola difraksi yang sedikit melebar yang menandakan senyawa magnetit.

Komposit UPR/*Core-Shell* Fe₃O₄-SiO₂

Hasil dari modifikasi *core-shell* Fe₃O₄-SiO₂ yang telah disintesis dan dikarakterisasi, selanjutnya dijadikan *filler* dalam komposit dan UPR dijadikan sebagai matriks. Lima cetakan disiapkan dengan perbandingan konsentrasi berat/berat (w/w%) sebagai berikut: 90:10, 85:15, 82:20, 75:25, 70:30. Setelah itu dilakukan uji serapan maksimum menggunakan komposit UPR *core-shell* Fe₃O₄-SiO₂ dan diuji dengan alat *Vector Network Analyzer* (VNA) ADVANTEST R3770 dengan rentang frekuensi 300kHz-20GHz. Komposit ini diuji pada rentang gelombang 8GHz-12GHz.



Gambar 10. Hasil Serapan Gelombang Mikro

Gambar 10 menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi *filler core-shell* Fe₃O₄-SiO₂ ke dalam matriks UPR menambah kemampuan serapan gelombang mikro. Komposit UPR *core-shell* Fe₃O₄-SiO₂ cukup besar. Serapan terbaik terdapat pada komposisi 80%:20% dengan *reflection loss* sebesar -19,00 dB.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh komposisi komposit UPR/*core-shell* Fe₃O₄-SiO₂ terhadap kemampuan serapan gelombang mikro, maka kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut:

- Komposit UPR/*core-shell* Fe₃O₄-SiO₂ berhasil terbentuk.
- Komposisi komposit terbaik diperoleh pada variasi 80:20 pada frekuensi 11 GHz sebesar -27 dB atau memiliki kemampuan penyerapan >90%.

Daftar Pustaka

- Adawee, M., Ellsworth, L., & Manarin, C. (2021). Utilizing technology to increase efficiency of infection prevention data collection: Our experience using electronic medical records for symptom surveillance. *American Journal of Infection Control*, 50(2). <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2021.09.021>
- Albert, A. A., Parthasarathy, V., & Kumar, P. S. (2023). Review on recent progress in epoxy-based composite materials for Electromagnetic Interference(EMI) shielding applications. *Polymer Composites*, 45(3), 1956–1984. <https://doi.org/10.1002/pc.27928>
- Asakuma, Y., Maeda, T., Takai, T., Hyde, A., Phan, C., Ito, S., & Taue, S. (2022). Microwaves reduce water refractive index. *Scientific Reports*, 12(1), 11562. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15853-9>
- Chu, X., Lin, S., Li, H., Xu, J., Li, Z., Shu, L., Pang, M., Zhang, H., & Liu, D. (2024). Heterointerface regulation of core-shell FeSiAl magnetic powders by in situ oxidation as high-efficiency absorbers. *Ceramics International*. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.01.386>
- Cios, A., Ciepielak, M., Stankiewicz, W., & Szymański, Ł. (2021). The Influence of the Extremely Low Frequency Electromagnetic Field on Clear Cell Renal Carcinoma. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(3), 1342–1342. <https://doi.org/10.3390/ijms22031342>

- Hu, Q., He, Y., Wang, F., Wu, J., Ci, Z., Chen, L., Xu, R., Yang, M., Lin, J., Han, L., & Zhang, D. (2021). Microwave technology: a novel approach to the transformation of natural metabolites. *Chinese Medicine*, *16*(1). <https://doi.org/10.1186/s13020-021-00500-8>
- Martín-González, S., & Portela-Camino, J. A. (2024). New technologies for eye care practitioners. *Acta Ophthalmologica*, *102*(S279). <https://doi.org/10.1111/aos.16355>
- Musa, A., Hakim, M. L., Alam, T., Islam, M. T., Alamri, S., Alshammari, A. S., & Soliman, M. S. (2024). Permeability negative split square resonator for solid materials dielectric constant and aqueous solution pH sensing applications. *Sensors and Actuators a Physical*, *369*, 115107–115107. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2024.115107>
- Neha, N., Sharma, P., Yadav, P., Rana, D. K., Pal, P. S., Kumar, H., & Kumar, S. (2024). Synthesis of core-shell NiO/BFO nanocomposites for microwave absorbing applications. *Ceramics International*, *50*(7), 11697–11706. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.01.074>
- Neira, K. R., Cárdenas-Ramírez, J. P., Rojas-Herrera, C. J., Haurie, L., Lacasta, A. M., Ramo, J. T., & Sánchez-Ostiz, A. (2024). Assessment of Elaboration and Performance of Rice Husk-Based Thermal Insulation Material for Building Applications. *Buildings*, *14*(6), 1720–1720. <https://doi.org/10.3390/buildings14061720>
- Saeed, M., Haq, R. S. U., Ahmed, S., Siddiqui, F., & Yi, J. (2024). Recent advances in carbon nanotubes, graphene and carbon fibers-based microwave absorbers. *Journal of Alloys and Compounds*, *970*, 172625. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.172625>
- Sharma, S., Parne, S. R., Srihari, S., & Gandi, S. (2024). Progress in microwave absorbing materials: A critical review. *Advances in Colloid and Interface Science*, *327*, 103143–103143. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2024.103143>
- Silva, D. B., Pachla, E. C., Bolina, F. L., Graeff, Â. G., Lorenzi, L. S., & Pinto, C. (2024). Mechanical and chemical properties of cementitious composites with rice husk after natural polymer degradation at high temperatures. *Journal of Building Engineering*, 108716–108716. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108716>
- Susilawati, N., Lubis, H., Sembiring, T., Yanti, J., Sabar, S., Pardede, S. N., Napitupulu, A. F., & Hasanah, M. (2024). Fe₃O₄/SiO₂ composite derived from rice husk ash to enhance methylene blue removal efficiency in wastewater treatment. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 100762–100762. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100762>
- Wan, D., Tian, C., Cai, Q., & Zhang, X. (2024). Investigating the Characteristics and Thermal Performance of Plaster Composites Enhanced with Paddy Husk for Sustainable Residential Construction. *Case Studies in Thermal Engineering*, 104638–104638. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104638>
- Wang, N., Nan, K., Zheng, H., Xue, Q., Wang, W., & Wang, Y. (2024). Two-phase magnetic nanospheres with magnetic coupling effect encapsulated in porous carbon to achieve lightweight and efficient microwave absorbers. *Journal of Colloid and Interface Science*, *671*, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2024.05.158>
- Xu, Z., Kou, S., Dong, B.-X., Zhong, X., Yang, H., Liu, L., Guo, R., Shu, S.-L., Qiu, F., & Zhang, L.-C. (2024). Preparation, reaction mechanism and microwave-absorbing application of functional transition metal carbide/nitride ceramic materials. *Journal of Materials Research and Technology*, *31*, 2593–2617. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.07.016>
- Zidanes, U. L., Maria, C., Lorenço, M. S., Araujo, S., Dias, M. C., Setter, C., Braz, R. L., & Mori, F. A. (2024). Utilization of rice production residues as a reinforcing agent in bioadhesives based on polyphenols extracted from the bark of trees from the Brazilian Cerrado biome. *International Journal of Biological Macromolecules*, *254*, 127813–127813. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127813>