

## PREPARASI NANOPARTIKEL OKSIDA BESI BERBASIS PASIR ALAM LOGAS DIDOPING KOBALT SEBAGAI MATERIAL LINGKUNGAN

Erwin Amiruddin\*, Amir Awaluddin, Muhammad Rizki

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: [erwin.amiruddin@lecturer.unri.ac.id](mailto:erwin.amiruddin@lecturer.unri.ac.id)

### ABSTRACT

*The cobalt doped iron oxide nanoparticles have been prepared by ball milling method using Logas natural sand as a raw material. The milled iron oxide nanoparticles were doped using cobalt with concentration of 0, 5, 10, 15, and 20 wt.%. The structural, magnetic and optical properties were studied using X-ray diffractometer (XRD), vibration sample magnetometer (VSM), and UV-Vis spectroscopy, respectively. The samples show cobalt-hematite nanoparticles as indicated through XRD measurement. The XRD measurements confirmed the formation of crystalline, rhombohedral crystal structure and hematite nanoparticles. The average crystallite size calculated using Scherrer formula found to be 38.51, 35.67, 33.75, 32.73, and 31.53 nm after being doped with cobalt 0, 5, 10, 15, and 20 wt. %, respectively. The samples exhibited weak ferromagnetic behaviour with the coercivity ranged from 124 Oe to 299 Oe. The optical properties strongly depend on cobalt content and showed that the band gaps of cobalt doped hematite decrease with increasing cobalt content. This work suggests that the prepared iron oxide nanoparticles are attractive photo Fenton catalysts for the degradation of methylene blue in the water.*

**Keywords:** Ball Milling, Cobalt, Logas Natural Sand, Optical, Magnetic and Structural Properties.

### ABSTRAK

*Hematit yang didoping kobalt nanopartikel telah dibuat dengan metode ball milling menggunakan Logas pasir alam sebagai bahan baku. Nanopartikel hematit hasil gilingan didoping menggunakan kobalt dengan konsentrasi 0, 5, 10, 15, dan 20 wt.%. Sifat struktur, magnetik dan optik dipelajari masing masing menggunakan sinar-X difraktometer (XRD), vibration sample magnetometer (VSM) dan spektroskopi UV-Vis. Pengukuran XRD mengkonfirmasi struktur kristal nanopartikel oksida besi adalah rhombohedral dan memiliki fase hematit. Hasil ini juga menunjukkan pembentukan nanopartikel oksida besi-kobalt. Ukuran kristal rata-rata dihitung menggunakan persamaan Scherrer adalah 38,51, 35,67, 33,75, 32,73, dan 31,53 nm setelah didoping dengan kobalt dengan komposisi masing-masing 0, 5, 10, 15, dan 20 wt.%. Sifat optik sangat bergantung pada komposisi kobalt dan menunjukkan bahwa band gap nanopartikel oksida besi yang didoping kobalt menurun dengan meningkatnya komposisi kobalt. Pengukuran sifat magnetik nanopartikel oksida besi menggunakan VSM menunjukkan sifat feromagnetik lemah dengan koersivitas berkisar antara 124 Oe hingga 299 Oe. Penelitian ini menunjukkan bahwa nanopartikel oksida besi yang disiapkan adalah katalis foto Fenton yang menarik untuk degradasi biru metilen di dalam air.*

**Kata kunci:** Ball Milling, Cobalt, Pasir Alam Logas, Optik, Sifat Magnetik dan Struktur.

Diterima 26-10-2023 | Disetujui 04-11-2023 | Dipublikasi 30-11-2023

### PENDAHULUAN

Partikel oksida besi telah menjadi subjek penelitian saat ini karena dapat diperoleh dari alam pasir [1]. Oksida ini ada di alam dalam

berbagai bentuk; Namun, bentuk yang paling umum adalah magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dan maghemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) [2]. Dalam ukuran nanometer, partikel oksida besi memiliki sifat super paramagnetik [3] yang

membuat material ini dapat digunakan dalam aplikasi yang lebih luas mulai dari katalis [4], hingga aplikasi biomedis [5, 6], dan lingkungan perbaikan [7]. Banyak metode preparasi nanopartikel oksida besi yang telah dikembangkan seperti hidrotermal [8], presipitasi kimia [9], *microwave*, [10] dan *ball milling* [11-13].

Metode yang paling umum untuk preparasi nanopartikel oksida besi adalah metode *ball milling* [14]. Dalam metode ini awalnya ukuran butiran yang lebih besar dari sampel diperkecil menjadi partikel yang berskala nanometer dengan cara mekanis. Adapun keuntungan menggunakan metode ini adalah sederhana, efisien, dan biaya rendah dibandingkan dengan metode lain. Sebelumnya peneliti [14,15] telah menggunakan metode *ball milling* untuk menghasilkan nanopartikel oksida besi. Misalnya, peneliti [15] menggunakan metode *ball milling* untuk mempreparasi nanopartikel oksida besi dengan ukuran 39,2 nm berbasis pasir alam Logas dan ditemukan bahwa nanopartikel ini memiliki struktur heksagonal dan berfase  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ .

Sifat magnetik, fase dan morfologi partikel yang diperoleh tergantung pada waktu, kecepatan dan jenis bola *milling* yang digunakan [14]. Salah satu parameter paling penting untuk mengontrol sifat magnetik dari nanopartikel besi oksida magnetik adalah ukuran partikel. Namun, pengembangan metode sederhana, andal, dan biaya rendah untuk menyiapkan nanopartikel oksida besi dengan ukuran dan distribusi ukuran yang dapat dikontrol menjadi tugas yang menantang bagi para peneliti. Berdasarkan peneliti sebelumnya [16], ketika unsur logam transisi didoping ke nano partikel oksida besi, maka proses ini dapat mengubah sifat optik, magnetik dan sifat struktural partikel nanopartikel oksida besi.

Metode doping dan pemilihan elemen doping mempengaruhi sifat optik, magnetik dan struktur nanopartikel besi oksida. Dalam tulisan ini, ditentukan sifat struktur, magnetik dan sifat optik nanopartikel oksida besi berbasis pasir alam Logas kabupaten Kuansing didoping

kobalt menggunakan metode *ball milling* untuk aplikasi lingkungan.

## METODE PENELITIAN

### Bahan Baku dan Zat Kimia

Bahan baku yang digunakan untuk menyiapkan nanopartikel oksida besi adalah pasir alami yang diambil dari desa Logas Kabupaten Kuansing Provinsi Riau. Bahan kimia digunakan untuk mendoping nanopartikel oksida besi adalah *cobalt* dengan kemurnian 99,99%. Metilen biru digunakan sebagai model polusi untuk aplikasi foto-fenton.

### Persiapan Nanopartikel Oksida Besi Tanpa Doping dan Didoping *Cobalt*

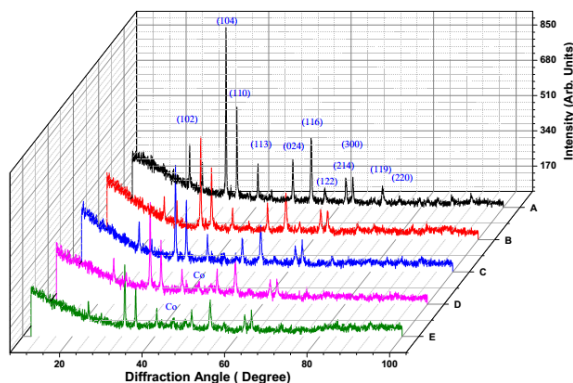
Sampel pasir alam diambil dari desa Logas kabupaten Kuansing Provinsi Riau. Jumlah partikel non oksida besi dalam sampel dikurangi menggunakan *iron sand separator* (ISS). Partikel oksida besi yang diperoleh di-*milling* menggunakan metode *ball milling* 2 tahap.

Tahap pertama *milling* berlangsung selama 50 jam dan dilanjutkan dengan pemisahan antara partikel oksida besi dan oksida non-besi menggunakan magnet NdFeB. Tahap kedua *milling* dilakukan untuk 50 jam lagi dan diikuti dengan pemisahan antara oksida besi dan oksida non-besi menggunakan magnet NdFeB. Produk dari proses tahap 2 *ball milling* dibagi menjadi 4 bagian dengan berat yang sama. Masing-masing produk di-*milling* bersama dengan kobalt sebagai dopan komposisi 0, 5, 10, 15, dan 20 wt.% selama 20 jam.

Sifat struktur, magnetik dan optik nanopartikel oksida besi sebelum dan sesudah doping dipelajari menggunakan masing masing spektroskopi UV-Vis, *X-ray diffractometer* (XRD), dan vibration sample magnetometer (VSM). Komposisi sampel sebelum dan sesudah dilakukan doping kobalt diperoleh dengan menggunakan spektrometer *X-ray fluorescence* (XRF).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 menunjukkan pola XRD nanopartikel oksida besi tanpa doping dan didoping kobalt. Sifat struktur sampel dianalisis menggunakan XRD Phillips menghasilkan radiasi  $\text{CuK}\alpha$  dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) sebesar 0,15406 nm. Dalam pengukuran ini, sudut difraksi dipilih dalam interval  $10^\circ$  sampai  $100^\circ$  dengan step  $0,01^\circ$ . Pola XRD dari nanopartikel oksida besi yang tidak didoping menunjukkan sudut difraksi  $23,92^\circ$ ,  $32,74^\circ$ ,  $35,37^\circ$ ,  $40,47^\circ$ ,  $48,95^\circ$ ,  $53,38^\circ$ ,  $56,70^\circ$ ,  $61,84^\circ$ , dan  $63,50^\circ$  dan ini sesuai dengan bidang (102), (104), (110), (113), (024), (116), (122), (214) dan (300). Ini sesuai dengan literatur JCPDS nomor file: 89-8103 dengan fase rhombohedral  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  [17]. Semua puncak difraksi yang diamati telah diindeks ke  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Dalam kasus 5, 10, 15, dan 20 wt.% kobalt yang didoping  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  nanopartikel, pola difraksi nanopartikel oksida besi strukturnya tidak berubah ketika didoping kobalt. Namun, pola XRD menunjukkan puncak tambahan pada sudut difraksi  $44,38^\circ$  sesuai dengan bidang refleksi (400) kobalt [18].



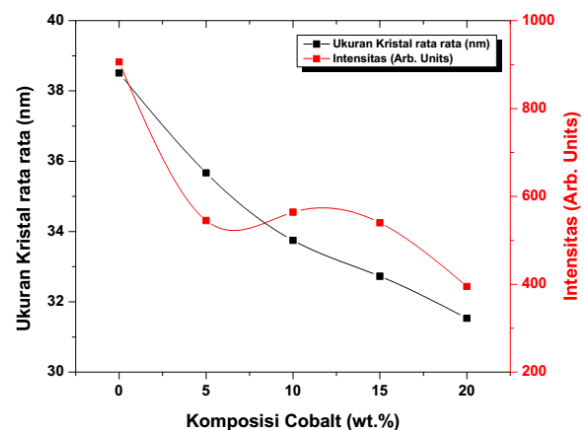
**Gambar 1.** Pola XRD nanopartikel oksida besi untuk (A) tidak didoping kobalt dan didoping chromium (B) 5 wt.%, (C) 10 wt.%, (D) 15 wt.%, dan (E) 20 wt.%.

Dalam kasus 5, 10, 15, dan 20 wt.% doping kobalt nanopartikel oksida besi, pola difraksinya tidak berubah ketika didoping kobalt. Pola XRD menunjukkan puncak tambahan pada sudut difraksi  $44,38^\circ$  dengan sesuai dengan refleksi bidang (400) yang merupakan karakteristik kobalt (JCPDS15-

0806) [19]. Intensitas sinar-X fase kobalt meningkat seiring dengan peningkatan komposisi kobalt yang memperlihatkan fase kobalt dalam sampel. Oleh karena itu, keberadaan puncak difraksi terkait dengan kobalt dan nanopartikel oksida besi menunjukkan keberhasilan pembentukan fase nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -kobalt menggunakan metode *ball milling*. Ukuran rata-rata kristal nanopartikel oksida besi ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dihitung menggunakan Persamaan Scherrer [20]:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

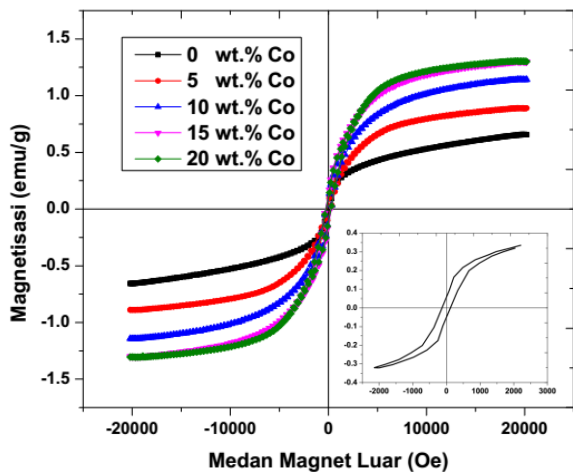
dimana  $D$  adalah ukuran kristal (nm),  $\lambda$  adalah sinar-X panjang gelombang ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ),  $k$  adalah konstanta Scherrer, yang sama dengan 0,9,  $\beta$  adalah lebar penuh setengah maksimum (FWHM) dari puncak, dan  $\theta$  adalah difraksi yang sesuai sudut ( $^\circ$ ).



**Gambar 2.** Ukuran kristal rata rata dan intensitas sebagai fungsi komposisi kobalt (wt.%).

Estimasi ukuran kristalit nanopartikel oksida besi tanpa doping adalah 38,52 nm dan didoping kobalt dengan komposisi 5, 10, 15, dan 20 wt.% adalah 35,67, 33,75, 35,73, dan 31,53 nm seperti ditampilkan pada Gambar 2. Dapat dilihat dengan jelas bahwa ukuran kristal nanopartikel oksida besi yang didoping kobalt berkurang dengan meningkatkan komposisi kobalt, menunjukkan bahwa penambahan kobalt dapat secara efektif menurunkan kristal nanopartikel oksida besi. Oleh karena itu,

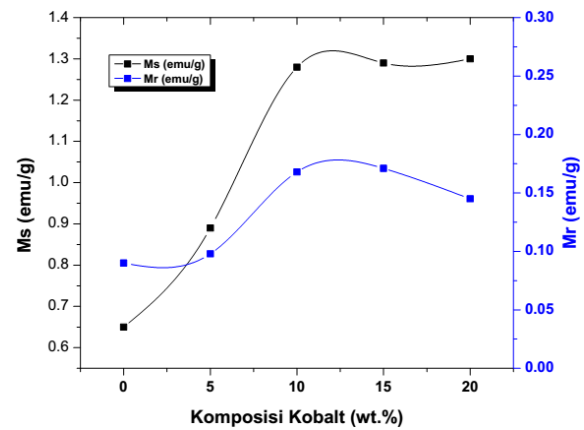
ukuran kristal rata-rata nanopartikel oksida besi yang didoping kobalt menjadi lebih kecil dibandingkan dengan nanopartikel hematit yang tidak didoping. Untuk membandingkan hasil yang diperoleh dengan literatur, maka digunakan semuanya bidang dalam pola difraksi untuk menghitung ukuran kristal nanopartikel oksida besi. Hasil yang diperoleh sesuai dengan data dalam literatur di mana ukuran kristal antara 21 nm dan 82 nm [21].



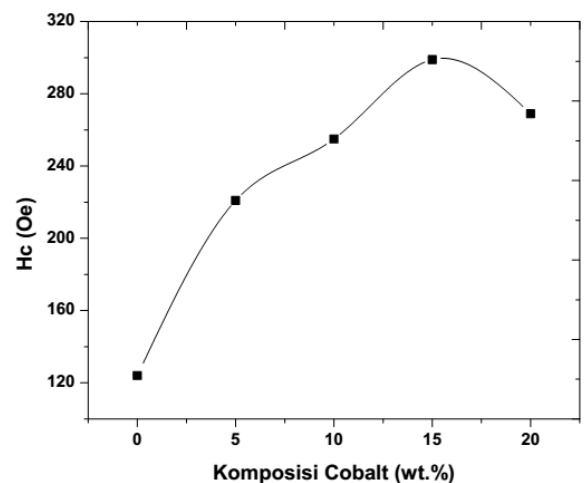
**Gambar 3.** *Hysteresis loop* nanopartikel oksida besi didoping kobalt. Gambar sisipan adalah *hysteresis loop* diperbesar untuk komposisi kobalt 0 wt.%.

Plot medan magnet luar (Oe) terhadap magnetisasi (emu/g) dari nanopartikel oksida besi didoping kobalt ditampilkan pada Gambar 3. *Loop* ini diukur menggunakan vibration sample magnetometer (VSM) dimana medan magnet yang digunakan antara +20.000 Oe sampai -20.000 Oe. Nilai magnetisasi saturasi sampel meningkat seiring peningkatan konsentrasi kobalt karena atom kobalt berada pada batas butir-butir oksida besi. Nilai parameter magnetik yang diukur seperti magnetisasi saturasi ( $M_s$ ), magnetisasi remanen ( $M_r$ ), koersivitas ( $H_c$ ) dan kuadrat *loop* diberikan dalam Gambar 4 dan 5. Dapat dilihat bahwa saturasi magnetisasi nanopartikel oksida besi yang tidak didoping adalah 0,65 emu/g. Nilai ini lebih rendah dari yang dilaporkan oleh peneliti sebelumnya [22]. Peningkatan nilai magnetisasi saturasi nanopartikel oksida besi didoping kobalt dibandingkan untuk

nanopartikel oksida besi tanpa doping dikarenakan oleh peningkatan kandungan kobalt dimana kobalt adalah elemen ferromagnetik.



**Gambar 4.** Magnetisasi saturasi dan remanan nanopartikel oksida besi sebagai fungsi komposisi doping kobalt (wt.%).

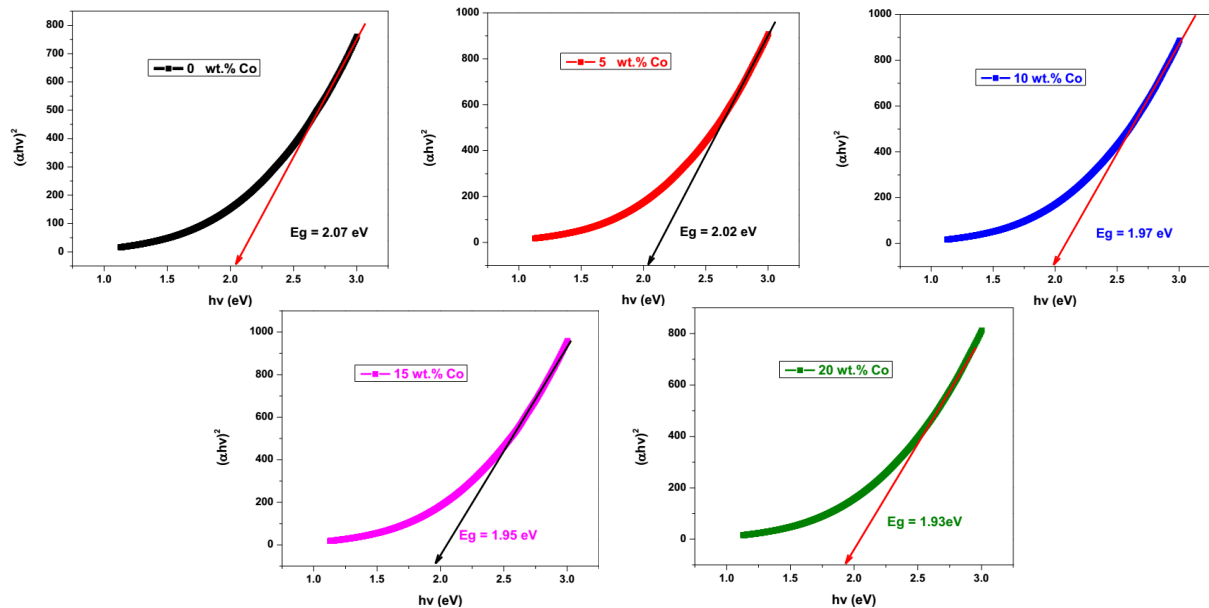


**Gambar 5.** Nilai koersivitas nanopartikel oksida besi sebagai fungsi komposisi kobalt.

*Loop* histeresis dari semua sampel menunjukkan perilaku ferromagnetik lemah ditandai dengan rendahnya nilai koersivitas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Koersivitas dari nanopartikel oksida besi tanpa doping adalah sekitar 124 Oe dan meningkat menjadi 221, 255, 299, dan 269 Oe ketika didoping kobalt dengan komposisi masing-masing adalah 5, 10, 15, dan 20 wt.%. Peningkatan nilai koersivitas dapat dipahami secara kualitatif dimana penambahan komposisi kobalt menyebabkan semakin banyak partikel kobalt yang berada di antara butir-butiran oksida besi, sehingga partikel oksida besi makin

terpisah antara satu dengan yang lainnya. Dimana pada akhirnya kopling *exchange* antara nanopartikel oksida besi menjadi lemah [23]. Nilai koersivitas dari sampel menurun menjadi 269 Oe untuk komposisi kobalt 20 wt.%. Pengurangan nilai koersivitas ini karena lebih banyak interaksi antara nanopartikel kobalt dalam sampel. Efek ini menyebabkan penurunan koersivitas untuk sampel dengan

kandungan kobalt 20 wt.% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai magnetisasi remanen (MR) nanopartikel oksida besi tanpa doping adalah 0,095emu/g dan meningkat menjadi 1,71 emu/g untuk komposisi kobalt 15 wt.% dan menurun menjadi 0,145 emu/g untuk komposisi kobalt 20 wt.% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 6.** Band gap nanopartikel oksida besi berdasarkan variasi komposisi kobalt (wt.%).

Gambar 6 menunjukkan grafik Tauc untuk *band gap* transisi tidak langsung untuk nanopartikel oksida besi tanpa doping dan didoping kobalt. *Band gap* nanopartikel tanpa doping dan didoping kobalt ditentukan menggunakan persamaan Tauc berikut [24]:

$$(\alpha hv)^n = A(hv - E_g) \quad (2)$$

di mana  $\alpha$  adalah koefisien absorpsi,  $A$  adalah konstanta,  $hv$  adalah energi cahaya, dan  $n$  adalah konstanta yang tergantung pada sifat transisi elektron [21].

Hematit memiliki  $n = 1/2$  untuk *band gap* tidak langsung [25]. *Band gap* dari nanopartikel hematit yang didoping dan kobalt dapat ditentukan dari grafik hubungan antara  $(\alpha hv)^2$  terhadap  $hv$ . Bagian linier dari grafik dengan kemiringan tertentu ketika ekstrapolasi memotong sumbu-x akan menghasilkan *band*

*gap*. *Band gap* untuk nanopartikel tanpa doping dan didoping kobalt 5, 10, 15, dan 20 wt.% ditampilkan pada Gambar 6. Nilai *band gap* ini menurun dengan penambahan komposisi kobalt yaitu 2.07, 2.03, 1.98, 1.96, dan 1.93 eV. Nilai band ini berada dalam interval 1.54 – 2.3 eV seperti yang ditunjukkan pada referensi [26]. Hasil ini menunjukkan bahwa nanopartikel oksida besi didoping kobalt memiliki sifat fotokatalitik yang diharapkan di bawah penyinaran cahaya tampak.

## KESIMPULAN

Nanopartikel oksida besi didoping kobalt dengan komposisi 0, 5, 10, 15, dan 20 wt.% telah berhasil dibuat dengan metode *ball milling*. Pengukuran XRD menunjukkan bahwa ukuran rata Kristal nanopartikel oksida besi menurun seiring dengan bertambahnya komposisi kobalt. Struktur kristal nanopartikel

oksida besi tidak berubah setelah didoping kobalt. Namun, sifat magnetik nanopartikel oksida besi didoping kobalt mengalami perubahan. Magnetisasi ( $M_s$ ) dan remanansi magnetisasi ( $M_r$ ), dan koersivitas ( $H_c$ ) meningkat dengan meningkatnya komposisi kobalt. *Band gap* nanopartikel oksida besi mengalami penurunan dengan seiring penambahan komposisi kobalt sebagai elemen doping. Kemampuan untuk memodifikasi nanopartikel oksida besi dalam ukuran Kristal, sifat magnetik dan *band gap* yang terkontrol memungkinkan nanopartikel oksida besi ini dapat digunakan untuk aplikasi lingkungan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung secara finansial oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Indonesia Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi (Perjanjian No. 15465/UN19.5.1.3/AL.04/2023). Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), untuk melakukan pengukuran VSM dan Jurusan Fisika UNP untuk melakukan XRD dan UV-Vis. Terimakasih juga disampaikan kepada mahasiswa S-1 Fisika yang telah membantu pengumpulan sampel dan uji XRD, VSM dan UV-Vis.

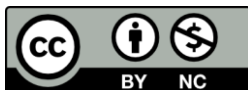
### REFERENSI

1. Amiruddin, E., Hadianto, H., Riana, M., Sinuraya, S., Noverdi, M. D., & Fitri, A. S. (2021). Undoped and manganese doped iron oxide nanoparticles for environmental applications. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, **16**(18), 1872–1876.
2. Teja, A. S., & Koh, P. Y. (2009). Synthesis, properties, and applications of magnetic iron oxide nanoparticles. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, **55**(1-2), 22–45.
3. Xu, P., Zeng, G. M., Huang, D. L., Feng, C. L., Hu, S., Zhao, M. H., ... & Liu, Z. F. (2012). Use of iron oxide nanomaterials in wastewater treatment: a review. *Science of the Total Environment*, **424**, 1–10.
4. Liu, J., Yang, H., & Xue, X. (2019). Preparation of different shaped  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles with large particles of iron oxide red. *Cryst. Eng. Comm*, **21**(7), 1097–1101.
5. Akbarzadeh, A., Samiei, M., & Davaran, S. (2012). Magnetic nanoparticles: preparation, physical properties, and applications in biomedicine. *Nanoscale Research Letters*, **7**, 1–13.
6. Wu, W., Wu, Z., Yu, T., Jiang, C., & Kim, W. S. (2015). Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, surface functional strategies and biomedical applications. *Science and Technology of Advanced Materials*, **16**(2), 023501.
7. Araújo, R., Castro, A. C. M., & Fiúza, A. (2015). The use of nanoparticles in soil and water remediation processes. *Materials Today: Proceedings*, **2**(1), 315–320.
8. Tadic, M., Panjan, M., Damnjanovic, V., & Milosevic, I. (2014). Magnetic properties of hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles prepared by hydrothermal synthesis method. *Applied Surface Science*, **320**, 183–187.
9. Quintin, M., Devos, O., Delville, M. H., & Campet, G. (2006). Study of the lithium insertion–deinsertion mechanism in nanocrystalline  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> electrodes by means of electrochemical impedance spectroscopy. *Electrochimica Acta*, **51**(28), 6426–6434.
10. Hu, L., Percheron, A., Chaumont, D., & Brachais, C. H. (2011). Microwave-assisted one-step hydrothermal synthesis of pure iron oxide nanoparticles: magnetite, maghemite and hematite. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, **60**, 198–205.

11. Amiruddin, E., & Prayitno, A. (2019). The synthesis of magnetic nanoparticles from natural iron sand of Kata beach Pariaman West Sumatera using ball milling method as environmental material. *MATEC Web of Conferences*, **276**
12. Erwin, A., Salomo, S., Adhy, P., Utari, N., Ayu, W., Wita, Y., & Nani, S. (2020). Magnetic iron oxide particles (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) fabricated by ball milling for improving the environmental quality. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **845**(1), 012051
13. Razavi-Tousi, S. S., & Szpunar, J. A. (2015). Effect of ball size on steady state of aluminum powder and efficiency of impacts during milling. *Powder Technology*, **284**, 149–158.
14. Amiruddin, E., Awaluddin, A., Hariani, I., Sihombing, R., & Angraini, R. (2020). The Influence of Milling Ball Size on the Structural, Morphological and Catalytic Properties of Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Nanoparticles toward Methylene Blue Degradation. *Journal of Physics: Conference Series*, **1655**(1), 012006.
15. Hadianto, H., Amiruddin, E., Venera, R. S. P., & Aprilia, V. (2020). Structural and Morphological Properties of Undoped and Manganese Doped Hematite Nanoparticles Prepared by Ball Milling Method. *Journal of Physics: Conference Series*, **1655**(1), 012013.
16. Krishnan, K. M., Pakhomov, A. B., Bao, Y., Blomqvist, P., Chun, Y., Gonzales, M., ... & Roberts, B. K. (2006). Nanomagnetism and spin electronics: materials, microstructure and novel properties. *Journal of Materials Science*, **41**, 793–815.
17. Supattarasakda, K., Petcharoen, K., Permpool, T., Sirivat, A., & Lerdwijitjarud, W. (2013). Control of hematite nanoparticle size and shape by the chemical precipitation method. *Powder Technology*, **249**, 353–359.
18. Park, K. W., & Kolpak, A. M. (2018). Understanding photocatalytic overall water splitting on CoO nanoparticles: Effects of facets, surface stoichiometry, and the CoO/water interface. *Journal of Catalysis*, **365**, 115–124.
19. Xu, C., Sun, F., Gao, H., & Wang, J. (2013). Nanoporous platinum–cobalt alloy for electrochemical sensing for ethanol, hydrogen peroxide, and glucose. *Analytica Chimica Acta*, **780**, 20–27.
20. Lin, J., Lin, Y., Liu, P., Meziani, M. J., Allard, L. F., & Sun, Y. P. (2002). Hot-fluid annealing for crystalline titanium dioxide nanoparticles in stable suspension. *Journal of the American Chemical Society*, **124**(38), 11514–11518.
21. Lassoued, A., Dkhil, B., Gadri, A., & Ammar, S. (2017). Control of the shape and size of iron oxide ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles synthesized through the chemical precipitation method. *Results in Physics*, **7**, 3007–3015.
22. Satheesh, R., Vignesh, K., Suganthi, A., & Rajarajan, M. (2014). Visible light responsive photocatalytic applications of transition metal (M= Cu, Ni and Co) doped  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles. *Journal of environmental chemical engineering*, **2**(4), 1956–1968.
23. Erwin & Prayitno, A. (2017). Magnetic Exchange Interaction in Cobalt Samarium Thin Films for High Density Magnetic. *Recording Media ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, **12**(12), 3832.
24. Tauc, J., Grigorovici, R., & Vancu, A. (1966). Optical properties and electronic structure of amorphous germanium. *Physica Status Solidi (B)*, **15**(2), 627–637.
25. Bhar, S. K., Mukherjee, N., Maji, S. K., Adhikary, B., & Mondal, A. (2010).

Synthesis of nanocrystalline iron oxide ultrathin films by thermal decomposition of iron nitroprusside: structural and optical properties. *Materials Research Bulletin*, **45**(12), 1948–1953.

26. Gilbert, B., Frandsen, C., Maxey, E. R., & Sherman, D. M. (2009). Band-gap measurements of bulk and nanoscale hematite by soft x-ray spectroscopy. *Physical Review B*, **79**(3), 035108.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)