

# PENGARUH DOPING TEMBAGA TERHADAP SUSEPTIBILITAS MAGNETIK DAN KOMPOSISI SERTA SIFAT KRISTALINITAS PASIR ALAM SUNGAI ROKAN DIPREPARASI DENGAN METODE BALL MILLING

Salomo, Nanda Rizki Yosefi\*  
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: [nanda.rizki2961@student.unri.ac.id](mailto:nanda.rizki2961@student.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*The effect of copper doping on magnetic susceptibility and composition and crystallinity properties of Rokan River natural sand has been investigated. Before going through the ball milling (BM) process, the natural sand has been processed using an iron sand separator (ISS) and neodymium iron boron (NdFeb) magnets to separate magnetic and non-magnetic particles, so the result is called an ISS product. The ISS product is crushed through a BM process for 70 hours, and the result is called BM 1 product. Furthermore, BM 1 is divided into 3 parts and then doped with copper (Cu) with a concentration of 0 gr; 5 gr; and 10 gr using BM for 30 hours and are called BM 2A, BM 2B, and BM 2C products, respectively. BM 2A, BM 2B, and BM 2C products were identified and characterized using x-ray fluorescence (XRF) and x-ray diffraction (XRD). XRF identification results showed that the composition of copper elements increased from 0.015% to 37.874%. Meanwhile, Fe elements decreased and other elements such as Al, Si, P, K, Ti, V, Cr, Ca and Mn as well. The XRD test results for BM 2A, BM 2B, and BM 2C products produced a hematite ( $Fe_2O_3$ ) phase with a hexagonal crystal structure. The crystal size was calculated using the Scherrer Equation where the average crystal size decreased by 26,137 nm; 25,501 nm; and 25.270 nm.*

**Keywords:** Natural Sand, Ball Milling, Magnetic Susceptibility, Doping, X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffraction (XRD).

## ABSTRAK

*Pengaruh doping tembaga terhadap suseptibilitas magnetik dan komposisi serta sifat kristalinitas pasir alam Sungai Rokan telah dilakukan penelitian. Sebelum melalui proses ball milling (BM) pasir alam tersebut telah diproses menggunakan iron sand separator (ISS) dan magnet Neodymium Iron Boron (NdFeb) untuk memisahkan partikel magnetik dan non magnetik, maka hasilnya disebut produk ISS. Produk ISS dihancurkan melalui proses BM selama 70 jam, dan hasilnya dinamakan produk BM 1. Selanjutnya BM 1 dibagi menjadi 3 bagian kemudian didoping dengan tembaga (Cu) dengan konsentrasi yaitu 0 gr; 5 gr; dan 10 gr menggunakan BM 30 jam dan masing masing disebut produk BM 2A, BM 2B, dan BM 2C. Produk BM 2A, BM 2B, dan BM 2C diidentifikasi dan dikarakterisasi menggunakan x-ray fluorescence (XRF) dan x-ray diffraction (XRD). Hasil identifikasi XRF menunjukkan bahwa komposisi elemen tembaga meningkat dari 0,015% menjadi 37,874%. Sedangkan unsur Fe mengalami penurunan dan unsur lainnya seperti Al, Si, P, K, Ti, V, Cr, Ca dan Mn. Hasil uji XRD produk BM 2A, BM 2B, dan BM 2C menghasilkan fasa hematite ( $Fe_2O_3$ ) dengan struktur kristal hexagonal. Ukuran kristal dihitung menggunakan persamaan Scherrer dimana ukuran kristal rata-rata menurun yaitu 26,137 nm; 25,501 nm; dan 25,270 nm.*

**Kata kunci:** Pasir Alam, Ball Milling, Suseptibilitas Magnetik, Doping, X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffraction (XRD).

Diterima 05-08-2022 | Disetujui 12-09-2022 | Dipublikasi 30-11-2022

## PENDAHULUAN

Pasir alam merupakan salah satu dari sekian banyaknya sumber daya alam yang terdapat di

Indonesia dengan keberadaan yang sangat melimpah. Pasir alam didalamnya terkandung oksida besi yang digunakan dan diolah menjadi beraneka ragam bahan industri mempunyai nilai

jual yang sangat tinggi, Tetapi kurangnya pemanfaatan pasir alam karena umumnya hanya digunakan sebagai bahan bangunan [1].

Oksida besi pada umumnya berada dalam tiga bentuk yang berbeda, yaitu  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnetite),  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (hematite) dan  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (maghemite) [2]. Hematite adalah salah satu mineral magnetik yang terdapat dalam pasir alam dan biasa digunakan sebagai bahan dasar pembuatan magnet permanen [3]. Hematite termasuk oksida besi paling stabil di bawah kondisi sekitarnya sehingga biasa dimanfaatkan dalam proses katalis, bahan elektroda, dan sensor gas [4].

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode *ball milling* (BM) untuk menghancurkan butiran-butiran padat menjadi ukuran kecil dalam orde nanometer dimana bola-bola besi saling bertumbukan antara satu sama lain dalam tabung milling [5, 6].

Sifat magnetik dan struktur kristal hematite yang berada dalam orde nanometer sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel, tingkat kristalinitas dan doping. Sifat magnetik dapat meningkat jika didoping dengan ion logam atau oksida logam terhadap  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dan dapat memperbaiki kinerja aplikasi yang ada. Sifat magnetik juga dapat dikontrol dengan sintesis nanokristalin di hadapan medan magnet [7-9] Metode doping ini dilakukan untuk memodifikasi sifat magnetik dari nanopartikel oksida dengan menggunakan logam transisi seperti cobalt, nikel, tembaga, mangan dan lain-lain [7, 10].

Penelitian ini memanfaatkan oksida besi yang terdapat pada pasir Sungai Rokan Provinsi Riau. Doping tembaga pada sampel dengan tujuan mengetahui perbandingan komposisi, sifat kristalinitas dan morfologi serta suseptibilitas magnetik dari oksida besi. Diharapkan dengan melakukan doping tembaga terhadap sampel dapat memodifikasi sifat magnetiknya.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pasir alam yang berasal dari Sungai Rokan Provinsi Riau.

Pengeringan sampel pasir alam dilakukan dibawah sinar matahari yang bertujuan menghilangkan kandungan air sehingga dalam proses pemisahan partikel magnetik dan non-magnetik menjadi mudah.

Setelah sampel mengering selanjutnya masuk ke dalam proses pemisahan menggunakan alat *iron sand separator* (ISS). Tujuan dari proses ini agar partikel magnetik dan partikel non-magnetik terpisah. Sebelum sampel diproses pada alat ISS sampel tersebut ditimbang untuk menentukan massa. Prinsip kerja yaitu sampel yang sudah kering tersebut dimasukkan perlahan-lahan ke dalam vibrator yang mengalir ke *converyor* yang kemudian dibawa oleh belt menuju roda elektromagnet yang merupakan tempat pemisahan antara partikel manetik dan non-magnetik. Kemudian kotak penampung konsentrat terisi oleh sampel yang mengandung partikel magnetik sedangkan sampel yang tidak mengandung partikel magnetik akan masuk kedalam kotak penampung pasir.

Sampel yang telah melalui pemisahan partikel magnetik dengan non-magnetik merupakan produk hasil ISS dihancurkan menggunakan alat BM dengan waktu 70 jam menggunakan bola besi yang yaitu 16 bola berdiameter 2 cm dengan kecepatan 100 rpm. Proses BM ini bertujuan menghasilkan produk yang lebih halus. Sampel yang sudah melewati proses tersebut kemudian dipisahkan dengan menggunakan magnet *Neodymium Iron Boron* (NdFeb). Proses ini bernama BM tahap pertama (BM1).

Produk BM1 dibagi menjadi tiga bagian yaitu BM 2A,2B, dan 2C. Selanjutnya masing-masing produk ini didoping dengan Tembaga (Cu) dengan konsentrasi yaitu 0 gr, 5 gr, dan 10 gr. Kemudian masing-masing produk di BM dengan waktu 30 jam menggunakan 16 bola besi berdiameter 2 cm dan 40 bola besi berdiameter 0,7 cm. Produk yang telah didoping dinamakan sampel BM 2A, 2B, dan 2C.

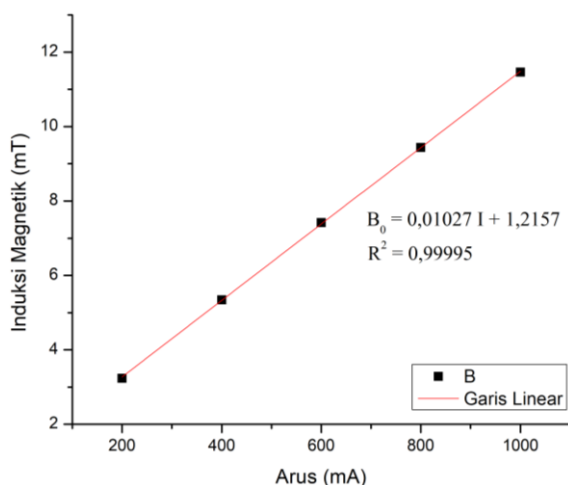
Pengukuran induksi magnetik tanpa inti menggunakan sensor *Probe Pasco PS-2162* dan solenoida dengan jumlah lilitan solenoid

sebanyak 2500 lilitan yang berdiameter 3 cm dengan panjang 10 cm. Sensor *Probe Pasco PS-2162* dihubungkan dengan laptop yang memiliki program data studio. Pengukuran induksi magnetik solenoid tanpa inti  $B_0$  dilakukan dengan mengatur jarak tetap sebesar 1 mm dari *sensor Probe Pasco PS-2162* telah dialiri arus listrik tanpa memasukkan sampel dalam solenoid dan Arus yang mengalir 200 mA sampai 1000 mA dengan variasi kelipatan 200 mA. Nilai suseptibilitas magnetik dihitung dengan cara selisih antara induksi magnetik total  $B_T$  dengan nilai induksi magnetik solenoid tanpa inti  $B_0$ , kemudian dibagi dengan nilai nilai induksi magnetik solenoid tanpa inti  $B_0$ . Selajutnya produk BM 2 (A, B, dan C) dianalisis komposisi dan sifat kristalinitas menggunakan *x-ray flourensene* (XRF) dan *x-ray diffraction* (XRD).

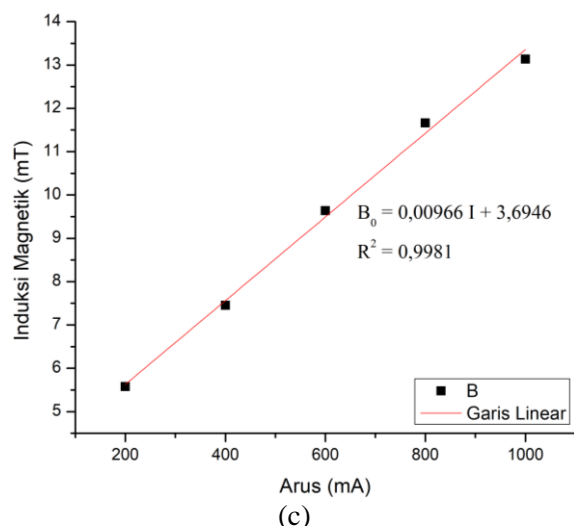
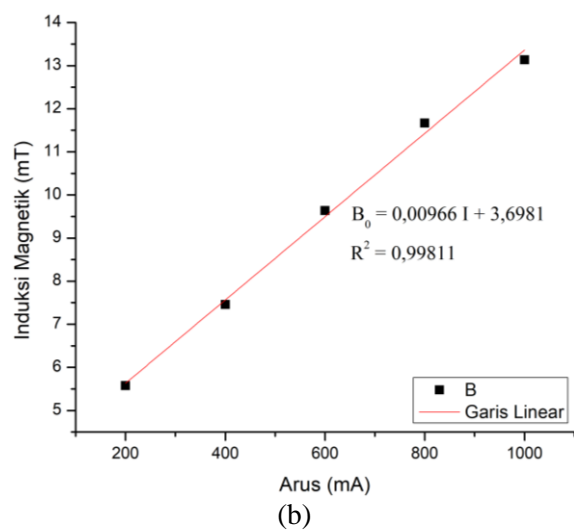
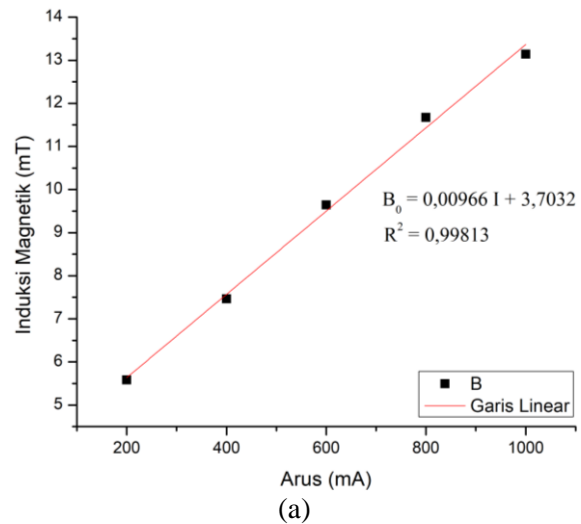
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Induksi Magnetik Solenoid

Induksi magnetik solenoid diukur dengan menggunakan sensor magnetik *Probe Pasco PS-2162* yang dihubungkan ke laptop dengan solenoid berbentuk silinder dengan panjang ( $L$ ) 10 cm, dengan diameter ( $D$ ) 3cm, dan jumlah lilitan ( $N$ ) sebanyak 2500 lilitan. Data pengukuran induksi magnetik solenoid tanpa inti ( $B_0$ ) dengan jarak tetap 1 mm sebagai fungsi Arus ditampilkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Grafik hubungan induksi magnetik solenoida tanpa inti ( $B_0$ ) terhadap arus listrik.



**Gambar 2.** Grafik induksi magnetik solenoid dengan inti ( $B_T$ ): (a) Produk BM 2A didoping 0 gr Cu, (b) Produk BM 2B didoping 5 gr Cu, dan (c) Produk BM 2C didoping 10 gr Cu.

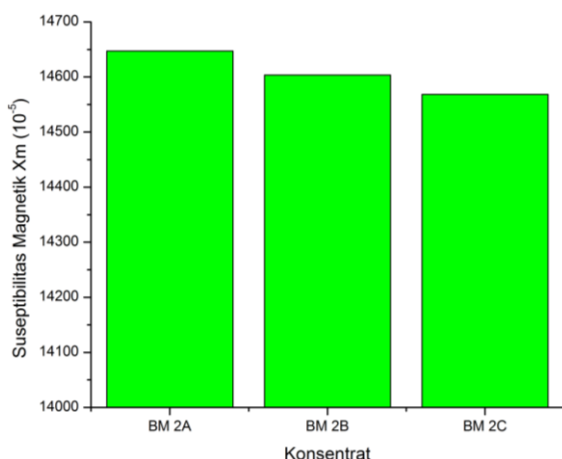
Berdasarkan Gambar 1 Nilai induksi magnetik untuk arus 200 mA yaitu sebesar

3,235 dan yang tertinggi diperoleh pada arus 1000 mA yaitu sebesar 11,463 mT. Nilai ini menunjukkan besar induksi magnetik mengalami peningkatan seiring besarnya arus listrik yang diberikan. Data pengukuran Induksi Magnetik dengan Inti produk doping tembaga BM 2 (A, B, dan C) dengan variasi arus listrik dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai induksi magnetik soleoid dengan inti hasil doping tembaga mengalami penurunan. Nilai induksi magnetik BM 2A pada arus maksimum 1000 mA sebesar 13,142 mT merupakan Hasil doping tembaga selama 30 jam dengan konsentrasi berat 0 gr. Semakin besar konsentrasi unsur tembaga pada produk doping, maka nilai induksi magnetiknya menurun secara berturut-turut yaitu 13,142 mT, 13,137 mT, 13,133 mT pada arus 1000 mA.

### Suseptibilitas Magnetik

Berdasarkan Gambar 3. nilai suseptibilitas magnetik BM 2 (A, B, dan C) mengalami penurunan seiring bertambahnya konsentrasi dari tembaga dimana masing-masing memiliki nilai  $14647,13 \times 10^{-5}$ ;  $14603,51 \times 10^{-5}$ ;  $14568,61 \times 10^{-5}$ . Penurunan ini disebabkan oleh unsur tembaga yang merupakan bahan diamagnetik.



**Gambar 3.** Grafik suseptibilitas magnetik ( $\chi_m$ ) BM 2 (A, B, dan C).

### Data Hasil XRF

Hasil identifikasi kandungan elemen, senyawa dan oksida yang diperoleh ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Data Identifikasi Elemen Pasir alam Sungai Rokan dengan doping (0 gr; 5 gr; dan 10 gr) Cu.

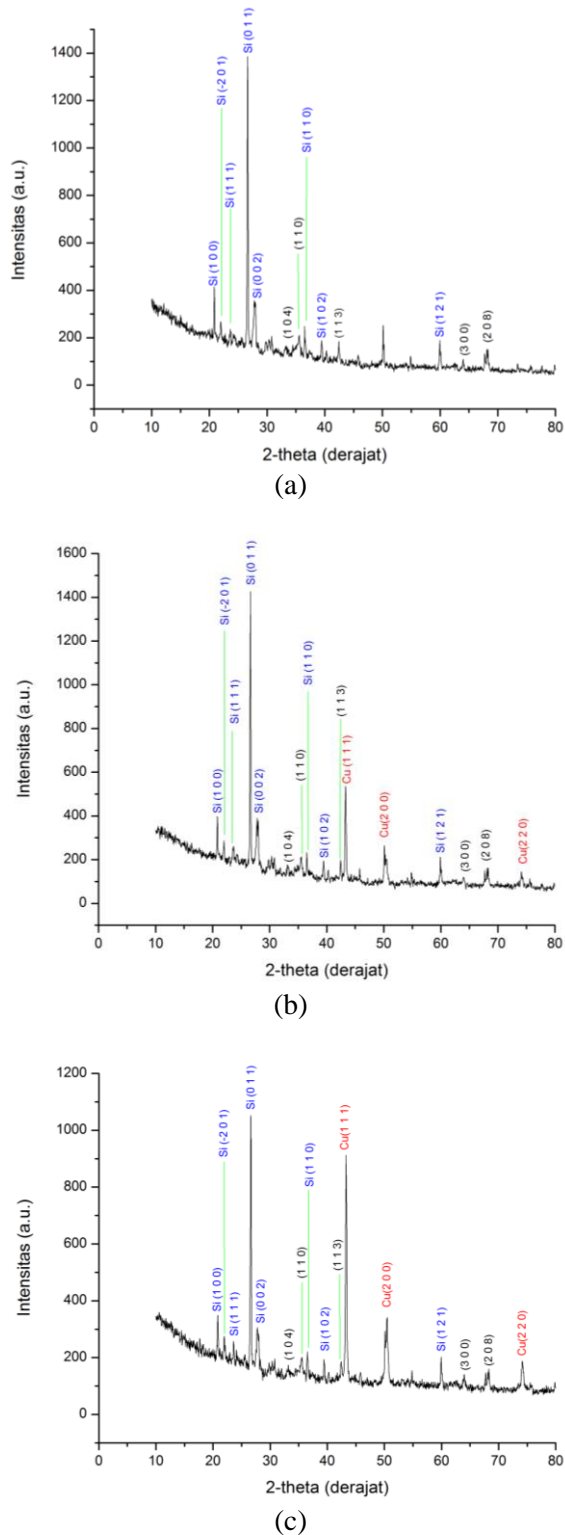
Elemen	Komposisi (%)		
	Cu 0 gr	Cu 5 gr	Cu 10 gr
Al	13,304	12,224	6,607
Si	53,991	46,217	29,905
P	0,804	1,036	1,561
K	2,929	2,308	2,283
Pb	0,014	0,016	0,026
Ti	1,697	1,336	1,302
V	0,046	0,038	0,036
Cr	0,049	0,038	0,037
Mn	0,285	0,227	0,211
Fe	18,083	13,978	13,264
Cu	0,015	15,147	37,874
Ag	0,61	0,627	0,85
Ca	7,433	6,683	5,426
Elemen lain	0,723	0,125	0,618

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa komposisi elemen tembaga (Cu) sebelum didoping tembaga (0 gr) yaitu 0,015% dan setelah didoping tembaga 5 dan 10 gr konsentrasinya mengalami peningkatan seiring bertambahnya konsentrasi tembaga dimana masing nilai sebagai berikut yaitu 15,147% ; 37,874%. Hal tersebut membuktikan bahwa pendopingan dengan tembaga dapat meningkatkan konsentrasi elemen tembaga itu sendiri.

Elemen Fe sebelum dilakukan pendopingan tembaga (0 gr) memiliki konsentrasi sebanyak 18,083% sedangkan setelah dilakukan doping tembaga (5 dan 10 gr), konsentrasinya mengalami penurunan seiring bertambahnya konsentrasi tembaga dimana masing nilai sebagai berikut yaitu 13,978% ; 13,264%. Elemen lain yang mengalami penurunan yaitu Al, Si, P, K, Ti, V, Cr, dan Mn. Namun pada elemen Pb dan Ag mengalami peningkatan setelah didoping 5 dan 10 gr Cu.

## Data Hasil XRD

Berikut ini analisa XRD dari produk BM 2(A, B dan C) dapat dilihat pada pola difraksi berikut.

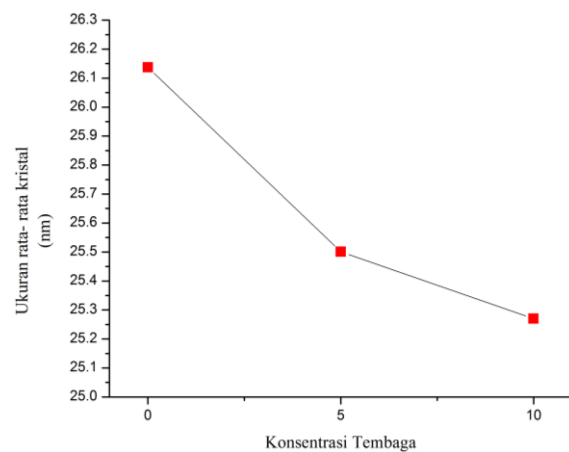


**Gambar 4.** Pola difraksi sinar-X; (a) produk BM 2A; produk BM 2B; dan (c) produk BM 2C.

Pada Gambar 4 sifat kristalinitas yang meliputi parameter seperti sudut  $2\theta$ , intensitas, jarak antar bidang kristal ( $d$ ), FWHM dan ukuran kristal ( $D$ ). Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa fasa kristal yang terkandung pada produk BM 2 (A, B, dan C) terdapat dua fasa yaitu hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan silikon oksida ( $\text{SiO}_2$ ) yang sistem kristalnya adalah hexagonal. Puncak-puncak kristal  $\text{SiO}_2$  pada pola difraksi muncul disebabkan proses BM tidak begitu berhasil antara senyawa pengotor dan senyawa magnetik dapat dikonfirmasi juga melalui data XRF.

Pada komposisi tembaga 5 gr muncul fase lain yang terdapat puncak tajam dan sempit memiliki indeks miller yaitu Cu (111)  $43,315^\circ$ ; Cu (200)  $50,172^\circ$ ; dan Cu (220)  $74,181^\circ$ . Sedangkan pada komposisi tembaga 10 gr muncul puncak tajam dan sempit memiliki indeks miller yaitu Cu (111)  $43,305^\circ$ ; Cu (200)  $50,499^\circ$ ; dan Cu (220)  $74,149^\circ$ .

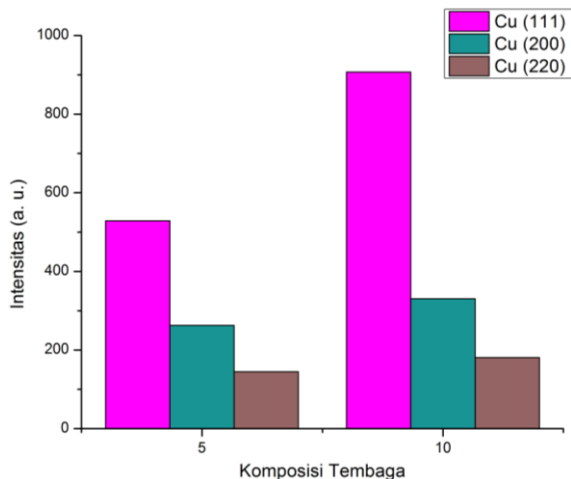
Pada pola XRD dapat dilihat bahwa ketika komposisi tembaga dinaikkan dari 5 gr menjadi 10 gr maka intensitasnya bertambah, sehingga ukuran dari kristalnya mengecil ketika didoping dengan tembaga. Sedangkan pada unsur  $\text{SiO}_2$  semakin bertambahnya komposisi tembaga intensitasnya menurun sehingga partikelnya mengecil ketika didoping dengan tembaga.



**Gambar 5.** Grafik ukuran rata-rata kristal oksida besi sebagai fungsi konsentrasi tembaga.

Berdasarkan Gambar 5 ukuran kristal rata-rata pada masing-masing konsentrasi tembaga 0; 5; dan 10 gr secara berurutan 26,137 nm, 25,501 nm, 25,270 nm. Penambahan doping

tembaga terhadap ukuran kristal menyebabkan penurunan ukuran kristal. Penurunan ukuran kristal ini terjadi seiring bertambahnya jumlah konsentrasi tembaga yang dilihat dari pola difraksinya yaitu bergesernya sudut  $2\theta$  ke arah yang lebih besar. Ukuran rata-rata kristal ini menurun karena adanya pergantian atom atau oksida besi dengan tembaga (Cu) karena ukuran atom Cu lebih kecil dibandingkan oksida besi.



**Gambar 6.** Grafik Intensitas sinar-X terhadap komposisi tembaga.

Gambar 6 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya konsentrasi tembaga maka intensitas yang dihasilkan bertambah dari 528,7353 (arb.Units) menjadi 907,0008 (arb.Units) yang memiliki puncak tajam dan sempit dengan indeks miller Cu (111). Pada indeks miller Cu (200) intensitas yang dihasilkan bertambah dari 262,6604 (arb.Units) menjadi 330,498 (arb.Units). Sedangkan pada indeks miller Cu (220) intensitas yang dihasilkan bertambah dari 145,0490 (arb.Units) menjadi 180,7671 (arb.Units). Indeks miller Cu (111) yaitu sudut  $43,315^\circ$  pada 5 gr tembaga dan sudut  $43,305^\circ$  pada 10 gr tembaga. Pada indeks miller Cu (200) yaitu sudut  $50,172^\circ$  pada 5 gr tembaga dan sudut  $50,449^\circ$  pada 10 gr tembaga. Sedangkan pada indeks miller Cu (220) yaitu sudut  $74,181^\circ$  pada 5 gr tembaga dan sudut  $74,149^\circ$  pada 10 gr tembaga.

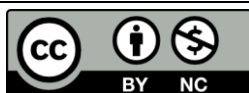
## KESIMPULAN

Berdasarkan data XRF komposisi elemen tembaga (Cu) sebelum didoping tembaga yaitu 0,015% dan setelah didoping tembaga 5 dan 10 gr konsentrasinya mengalami peningkatan seiring bertambahnya konsentrasi tembaga dimana masing-masing nilai yaitu 15,147% dan 37,874%. Hal tersebut membuktikan bahwa pendopingan dengan tembaga dapat meningkatkan konsentrasi elemen tembaga itu sendiri. Dan data XRD menunjukkan bahwa fasa kristal yang terkandung pada produk BM 2 (A, B, dan C) terdapat dua fasa yaitu hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan silikon oksida ( $\text{SiO}_2$ ) yang sistem kristalnya adalah hexagonal dan tembaga (Cu) dengan sistem kristal cubic. Ukuran kristal rata-rata pada masing-masing konsentrasi Tembaga 0 gr; 5 gr; dan 10 gr secara berurutan 26,137 nm; 25,501 nm; dan 25,270 nm. Penurunan ini disebabkan menurun karena adanya pergantian atom atau oksida besi dengan tembaga (Cu) karena ukuran atom tembaga lebih kecil dibandingkan oksida besi.

## REFERENSI

1. Afdal, A. (2013). Karakterisasi sifat magnet dan kandungan mineral pasir besi Sungai Batang Kuranji Padang Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Fisika Universitas Andalas*, **5**(1), 24–30.
2. Suresh, R., Vijayalakshmi, L., Stephen, A., & Narayanan, V. (2010, October). Hydrothermal Synthesis and Characterization of Cobalt Doped  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . *AIP Conference Proceedings*, **1276**(1), 362–367.
3. Mufit, F., Fadhillah, H. A., & Bijaksana, S. (2006). Kajian tentang Sifat Magnetik Pasir Besi dari Pantai Sunur Pariaman Sumatera Barat. *Jurnal Geofisika, Bandung*.
4. Gandha, K., Mohapatra, J., Poudyal, N., Elkins, K., & Liu, J. P. (2017). Enhanced coercivity in Co-doped  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  cubic nanocrystal assemblies prepared via a

- magnetic field-assisted hydrothermal synthesis. *AIP Advances*, **7**(5), 056324.
5. Erwin, A., Salomo, S., Adhy, P., Utari, N., Ayu, W., Wita, Y., & Nani, S. (2020, May). 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.
  6. Salomo, S., Erwin, A., Usman, M., Muhammad, H., Nita, Y., & Linda, W. (2020, October). Preparation of Iron Oxide Magnetic Nanoparticles Natural Sand of Rokan River Synthesis with Ball Milling. *Journal of Physics: Conference Series*, **1655**(1), 012018.
  7. Malviya, K. D., Dotan, H., Shlenkevich, D., Tsyganok, A., Mor, H., & Rothschild, A. (2016). Systematic comparison of different dopants in thin film hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) photoanodes for solar water splitting. *Journal of Materials Chemistry A*, **4**(8), 3091–3099.
  8. Muhammad, J. (2021). Improving homogenous chamber temperature of biomass dryer by automatic air controlling system. *Science, Technology & Communication Journal*, **1**(3), 92–96.
  9. Putra, D., & Malik, U. (2021). Identifikasi litologi bawah permukaan menggunakan metode geolistrik konfigurasi dipole-dipole di wisata Hapanasan Desa Pawan Kabupaten Rokan Hulu. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(2), 106–110.
  10. Hidayat, T., Dewi, R., & Hamzah, Y. (2021). Effect of holding time on optical structure properties of Ba (Zr<sub>0.5</sub>Ti<sub>0.5</sub>)O<sub>3</sub> thin film using sol-gel method. *Science, Technology & Communication Journal*, **1**(2), 59–66.



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