

ANALISA PERUBAHAN SUSEPTIBILITAS DAN KOMPOSISI SERTA UKURAN PARTIKEL OKSIDA BESI SEBAGAI FUNGSI KECEPATAN PUTARAN TABUNG *BALL MILLING*

Indah Nurhidayah, Salomo Sinuraya*, Erwin Amiruddin, Rahmondia Nanda Setiadi
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

*E-mail korespondensi: salomo@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

The magnetic susceptibility, composition and particle size of natural sand has been carried out in Rokan River, Riau Province regency have been determined. Iron sand samples were processed using an iron sand separator (ISS). The magnetic and non-magnetic particles of ISS products were separated using neodymium iron boron (NdFeB) magnet. The product of ball milling (BM) with tube rotational speed functions of 100 rpm, 150 rpm, 200 rpm was milled for 80 hours with BM size of 2 cm. The magnetic susceptibility were determined based on magnetic induction of a selenoid measured using Probe Magnetic Pasco PS-2162. The composition of Rokan river natural sand was measured using x-ray fluorescence. The magnetic particles are determined using scanning electron microscope. The results showed that the magnetic susceptibility increases with increasing BM tube rotational speed $28,138.79 \times 10^{-5}$ (100 rpm), $29,374.88 \times 10^{-5}$ (150 rpm), and $30,955.32 \times 10^{-5}$ (200 rpm). The composition of Fe in the sample has increased from 32.686% to 35,865%, while for Si has decreased from 38.604% to 33.729%. The particle size of natural sand for 80 hours milling displays the particle sizes from 883.4 for 100 rpm to 655.81 for the smallest particle size of the samples synthesized with 200 rpm.

Keywords: Natural Sand, Magnetic Susceptibility, Ball Milling, X-Ray Fluorescence, Scanning Electron Microscope.

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang suseptibilitas magnetik, komposisi dan ukuran partikel dari pasir alam Sungai Rokan, Provinsi Riau. Sampel pasir alam dipisahkan menggunakan iron sand separator (ISS). Untuk pemisahan partikel magnetik dan non-magnetik pada hasil produk ISS menggunakan magnet batang neodymium iron boron (NdFeB). Suseptibilitas magnetik ditentukan berdasarkan nilai induksi magnetik selenoid yang diukur dengan menggunakan sensor Probe Magnetic Pasco PS-2162. Sedangkan untuk mengetahui komposisi dari pasir alam digunakan X-ray fluorescence spectroscopy. Ukuran partikel magnetik ditentukan menggunakan scanning electron microscope. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa nilai suseptibilitas magnetik meningkat seiring bertambahnya kecepatan putaran tabung ball milling (BM) yang diberikan dengan hasil $28.138,79 \times 10^{-5}$ (100 rpm), $29.374,88 \times 10^{-5}$ (150 rpm), dan $30.955,32 \times 10^{-5}$ (200 rpm). Kandungan Fe mengalami peningkatan dari 32,686% sampai 35,865% sedangkan untuk Si mengalami penurunan setelah di BM dari 38,604% sampai 33,729%. Untuk ukuran partikel pasir alam setelah di BM selama 80 jam menampilkan partikel dengan ukuran 883,4 nm untuk kecepatan 100 rpm sampai 655,81 nm untuk ukuran partikel yang paling kecil dengan kecepatan 200 rpm.

Kata kunci: Pasir Alam, Suseptibilitas Magnetik, Ball Milling, X-Ray Fluorescence, Scanning Electron Microscope.

Diterima 17-01-2023 | Disetujui 10-02-2023 | Dipublikasi 31-03-2023

PENDAHULUAN

Pasir adalah mineral endapan (sedimen) yang memiliki butiran halus < 1 mm dan

butiran kasar memiliki ukuran sekitar (1 – 5 mm) [1-3]. Berdasarkan lokasi endapannya, dimungkinkan terjadinya perbedaan karakter fisis kandungan pasir mineral seperti Fe, Ti,

Mg, Si, dan sebagainya [4,5]. Pasir besi memiliki sifat unik yang dapat merespon medan magnet, sehingga telah banyak digunakan untuk berbagai keperluan penelitian dan kebutuhan produk industri [6-8]. Hal tersebut telah diketahui sebelumnya, bahwa endapan pasir besi dapat mengandung mineral magnetik, seperti magnetit (Fe_2O_3) [9], hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) [10], dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) [11]. Pemisahan unsur magnet dari unsur non magnet dapat dilakukan secara fisika [12], yaitu *ball milling* (BM) yang merupakan proses penggilingan bola untuk mengurangi ukuran partikel magnetik [13,14].

Sintesis nanopartikel magnetik besi oksida dari pasir alam Sungai Rokan dengan metode BM dilakukan dengan kecepatan putaran tabung tetap [15]. Pada penelitian ini kecepatan putaran tabung BM divariasikan menjadi 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm. Untuk melihat bagaimana pengaruh variasi tersebut pada nilai suseptibilitas magnetik (χ_m), komposisi elemen dan juga ukuran partikel yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir Sungai Rokan, lokasi di Kota Ujung Batu, Provinsi Riau. Sampel yang diambil dari sungai dijemur di bawah sinar matahari hingga sampel tidak mengandung air lagi, sehingga butiran pasir dipisahkan satu sama lain, sampel yang telah dikeringkan dan ditimbang kemudian dipisahkan dari sampel magnetik dan non magnetik. Partikel dengan *iron sand separator* (ISS).

BM dilakukan setiap 80 jam, dan kecepatan putaran tabung *milling* divariasikan yaitu 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm. Diameter bola besi yang digunakan adalah 2 cm sebanyak 16 buah. Sampel giling bola dipisahkan lagi menggunakan magnet *neodymium iron boron* (NdFeB). Produk ini diberi label BM 100 rpm, BM 150 rpm, dan BM 200 rpm. Kemudian, nilai induksi magnetik dan χ_m diukur dan dikarakterisasi dengan *X-ray fluorescence* (XRF) dan *scanning electron microscopy* (SEM).

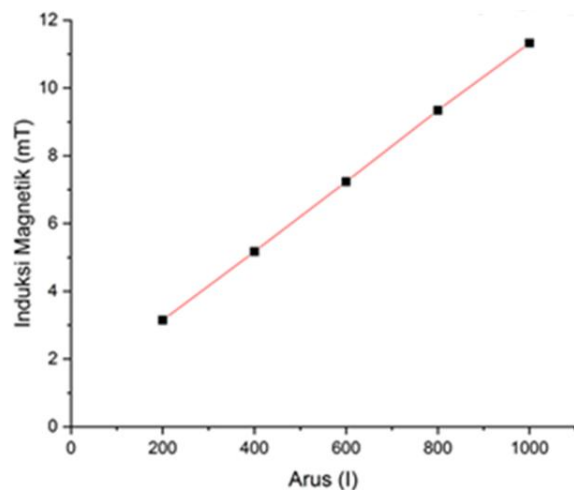
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Induksi Magnetik

Pengukuran induksi magnetik menggunakan *Probe Magnetic Pasco* PS-2162 yang memiliki solenoid dengan ukuran panjang kawat 10 cm dan berdiameter 3 cm serta memiliki jumlah 2500 lilitan. Sensor *Magnetic Pasco* PS-2162 ini terhubung dengan laptop dengan *software* Data Studio. Pengukuran induksi magnetik sebagai fungsi arus (I) dengan arus yang diterapkan 200 mA, 400 mA, 600 mA, 800 mA, dan 1000 mA. Jarak sensor dari ujung elektromagnet adalah 1 mm. Pengukuran yang dilakukan adalah pengukuran induksi magnet dengan tanpa inti (B_0), inti pasir alam (B_S), dan produk ISS (B_{ISS}), serta pengukuran induksi magnet dengan BM kecepatan penuh 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm.

Pengukuran Induksi Magnetik B_0

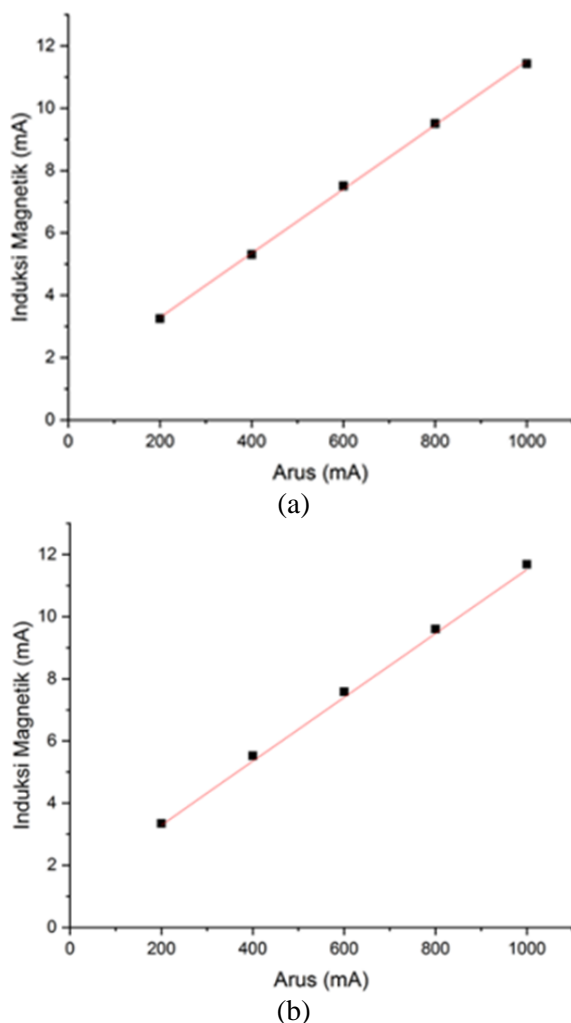
Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai induksi magnetik B_0 mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya arus listrik yang diberikan. Hal ini terjadi karena arus berbanding lurus dengan nilai induksi magnetik yang dihasilkan. Pada arus listrik 200 mA didapatkan nilai induksi magnetik B_0 sebesar 3,147 mT dan pada arus listrik 1000 mA mengalami peningkatan nilai induksi magnetik sebesar 11,326 mT.



Gambar 1. Perbandingan induksi magnetik B_0 .

Pengukuran Induksi Magnetik B_S dan B_{ISS}

Gambar 2 (a) dan (b) menunjukkan bahwa nilai Induksi magnetik mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya arus listrik yang diberikan. Nilai induksi magnetik B_S dan B_{ISS} pada arus listrik 200 mA berturut-turut sebesar 3,251 mT dan 3,349 mT. Nilai induksi magnetik ini mengalami peningkatan seiring bertambahnya arus, hal ini ditunjukkan pada arus listrik 1000 mA didapatkan nilai induksi magnetik B_S dan B_{ISS} meningkat berturut-turut menjadi 11,431 mT dan 11,687 mT.

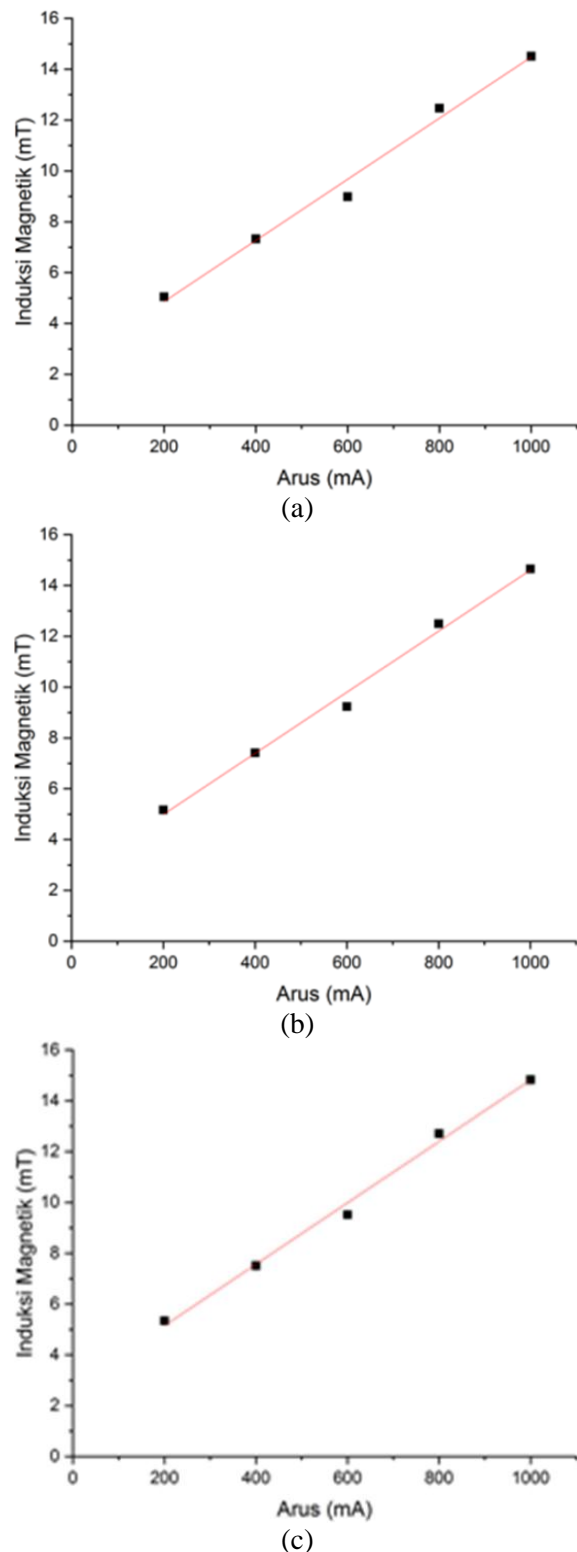


Gambar 2. Grafik perbandingan induksi magnetik (a) B_S dan (b) B_{ISS} .

Peningkatan nilai induksi magnetik B_{ISS} disebabkan karena pemisahan partikel magnetik dan non magnetik sehingga partikel magnetik yang terkandung pada produk ISS lebih banyak dari pada pasir alam sebelum di ISS. Produk

ISS mengalami kenaikan nilai induksi magnetik yang lebih besar dari pada pasir alam.

Pengukuran Induksi Magnetik Solenoid dengan Inti Produk BM dengan Kecepatan 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm



Gambar 3. Grafik Induksi magnetik produk BM (a) 100 rpm, (b) 150 rpm, dan (c) 200 rpm.

Gambar 3 (a), (b), dan (c) menunjukkan grafik peningkatan induksi magnetik produk BM yang mengalami peningkatan secara linear. Produk BM 100 rpm merupakan produk BM tahap pertama selama 80 jam dengan nilai Induksi magnetik pada arus 200 mA sebesar 5,056 mT. Produk BM 150 rpm dan BM 200 rpm merupakan produk yang di BM selama 80 jam dengan nilai induksi magnetik arus 200 pada produk dengan nilai berturut-turut sebesar 5,171 mT dan 5,343 mT. Nilai induksi magnetik pada arus 1000 mA mengalami peningkatan sebesar 14,513 mT pada produk BM 100 rpm, sedangkan produk BM 150 rpm dan BM 200 rpm mengalami peningkatan sebesar 14,653 mT dan 14,832 mT.

Peningkatan nilai induksi magnetik pada produk BM ini disebabkan oleh pengaruh dari penambahan kecepatan pada putaran tabung. Semakin tinggi kecepatan yang diputar pada proses BM mempengaruhi sifat kemagnetan dan semakin tinggi nilai induksi magnet yang dihasilkan.

Hasil Perhitungan Suseptibilitas Magnetik

Nilai suseptibilitas magnetik (χ_m) pada pasir alam, produk ISS, produk BM 100 rpm, BM 150 rpm, dan BM 200 rpm pada arus 1000 mA diperoleh dari hasil Persamaan (1) dan hasil perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 1.

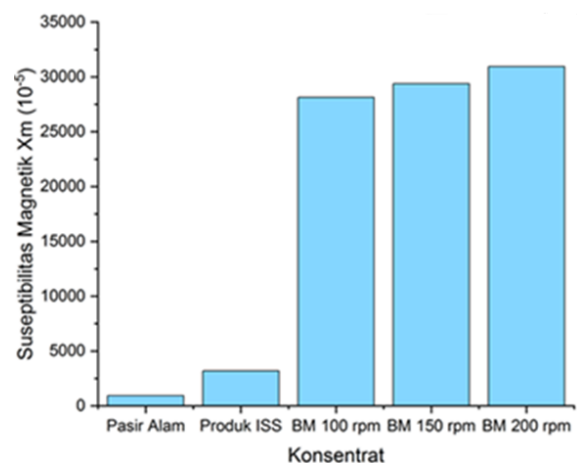
$$\chi_m = \frac{B_T - B_0}{B_0} \quad (1)$$

Tabel 1. Nilai χ_m pasir alam, produk ISS, produk BM 100 rpm, BM 150 rpm, dan BM 200 rpm.

Produk	B_0 (mT)	B_T (mT)	χ_m (10^{-5})
Pasir Alam	11,326	11,431	927,07
ISS	11,326	11,687	3.187,35
BM 100 rpm	11,326	14,513	28.138,79
BM 150 rpm	11,326	14,653	29.374,88
BM 200 rpm	11,326	14,832	30.955,32

Peningkatan χ_m ditampilkan grafik pada Gambar 4. Dimana nilai χ_m pasir alam, produk

ISS, produk BM 100 rpm, BM 150 rpm, dan BM 200 rpm memiliki rentang nilai $927,07 \times 10^{-5}$ sampai $30.955,32 \times 10^{-5}$ pada arus listrik 1000 mA. Nilai χ_m pasir alam mengalami peningkatan pada produk ISS sebesar $3.187,35 \times 10^{-5}$. Hal ini dikarenakan kandungan partikel magnetik lebih banyak dibandingkan pasir alam. Peningkatan signifikan dari produk ISS ke produk BM kecepatan BM 100 rpm, dimana nilai suseptibilitas magnetik sebesar $1.2069,57 \times 10^{-5}$ yang disebabkan adanya proses preparasi dan separasi pada BM sehingga konsentrasi magnetik produk BM 100 rpm lebih tinggi dibandingkan dengan produk ISS. Produk BM 150 rpm dan BM 200 rpm juga mengalami peningkatan nilai suseptibilitas magnetik seiring dengan meningkatnya kecepatan putaran tabung. Hal ini dikarenakan terjadi perubahan kecepatan tabung BM, peningkatan nilai induksi magnetik solenoid, yang mempengaruhi suseptibilitas magnetik partikel Fe magnetik. Hal ini dibuktikan dengan nilai sensitifitas magnetik yang paling tinggi terdapat pada produk BM pada putaran 200 rpm sebesar $30.955,32 \times 10^{-5}$ dengan dan nilai suseptibilitas magnetik terendah terdapat pada produk BM 100 rpm sebesar $28.138,79 \times 10^{-5}$.



Gambar 4. Grafik nilai χ_m pasir alam, produk ISS, produk BM 100 rpm, BM 150 rpm, dan BM 200 rpm selama 80 jam.

Karakterisasi XRF

Identifikasi komposisi pasir Sungai Rokan dilakukan dengan XRF seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian XRF pasir alam setelah di BM dengan variasi putaran *mill tube* yang berbeda (100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm).

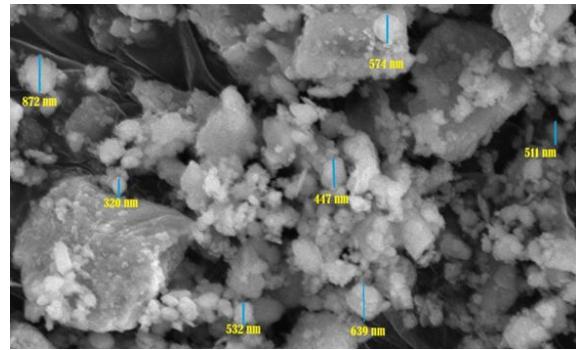
Elemen	Komposisi (%)		
	100 rpm	150 rpm	200 rpm
Al	5,707	7,168	7,176
Si	38,604	36,710	33,729
P	2,84	2,776	1,968
K	3,832	3,689	3,687
Ca	6,972	6,571	6,452
Ti	5,446	6,794	7,953
V	0,115	0,146	0,175
Cr	0,056	0,144	0,187
Mn	0,487	0,486	0,474
Fe	32,686	33,130	35,865
Ag	0,446	0,794	0,976
Eu	0,078	0,074	0,06
Sr	0,13	0,283	0,398
Zr	1,25	0,292	0,128
Pb	0,045	0,039	0,028
Elemen lain	1,306	0,904	0,744

Pada Tabel 2 menampilkan bahwa ada perbandingan persentase komposisi yang terkandung di dalam elemen-elemen pada sampel pasir besi setelah di BM dengan fluktuasi kecepatan putar tabung BM. Unsur non magnetik seperti Si mengalami penurunan dari 38,604% menjadi 33,729%. Hasil ini disebabkan karena selama proses penggilingan, partikel magnetik dan non-magnetik terpisah akibat tumbukan antara konsentrat, tabung dan bola, sehingga digunakan magnet NdFeB selama proses penggilingan dan pemisahan untuk memisahkan partikel menarik magnet.

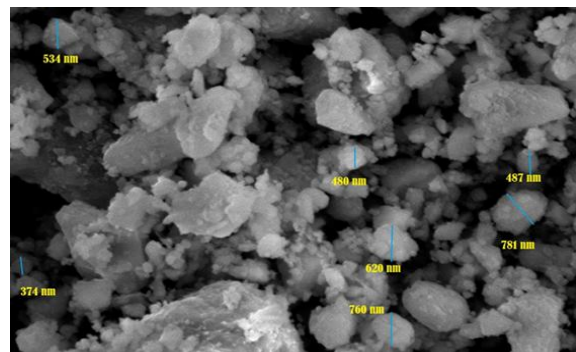
Tabel 2 Juga memperlihatkan bahwa terjadi kenaikan persentase pada unsur-unsur magnetik. Seperti Fe yaitu dari 32,686% menjadi 35,865%, penurunan ini terjadi karena pemberian kecepatan putaran tabung *milling* yang tinggi sehingga menyebabkan temperatur tabung meningkat. Secara teori energi tumbukan yang dihasilkan pun akan semakin besar, meningkatnya energi termal dan tumbukan. Oleh karena itu akan menyebabkan produk mengalami aglomerasi.

Karakterisasi SEM

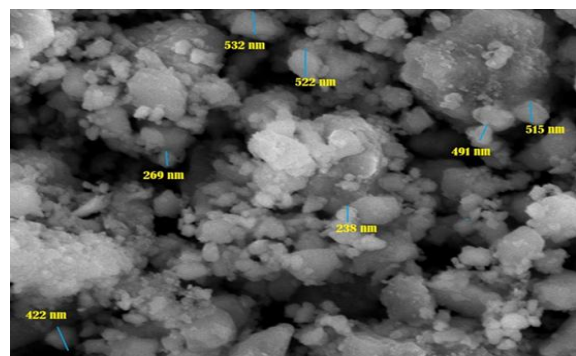
Hasil uji ukuran partikel menggunakan SEM ditunjukkan pada Gambar 5, 6, dan 7.



Gambar 5. Hasil SEM untuk produk BM 80 jam pada 100 rpm dan perbesaran 10.000 kali.



Gambar 6. Hasil SEM untuk produk BM 80 jam pada 150 rpm dan perbesaran 10.000 kali.



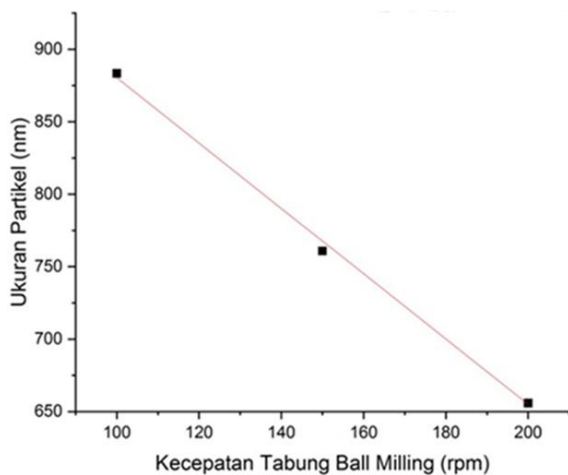
Gambar 7. Hasil SEM untuk produk BM 80 jam pada 200 rpm dan perbesaran 10.000 kali.

Perubahan ukuran partikel sebagai fungsi kecepatan tabung BMg dapat dilihat dari gaya yang bekerja pada BM adalah gesekan, tumbukan, dan gravitasi. Bola-bola didalam akan saling bertumbukkan satu sama lain dan menghasilkan energi kinetik. Saat kecepatan meningkat energi kinetik bola juga meningkat, pergerakan bola akan dikonversi menjadi energi impact untuk menghancurkan dan mereduksi ukuran partikel. Selain energi impact, bekerja gaya gesek antara partikel dan dinding bagian dalam tabung BM. Gaya gesek ini juga

membantu penggerusan reduksi ukuran. Hal ini dapat dilihat dari ukuran partikel yang menurun seiring bertambahnya kecepatan putaran tabung. Gambar 5 menunjukkan ukuran partikel hasil produk BM 100 rpm memiliki ukuran rata-rata partikel 883,4 nm. Gambar 6 menunjukkan bahwa produk hasil BM selama 80 jam dengan kecepatan 150 rpm pada perbesaran 10.000 kali memiliki ukuran partikel rata-rata yang diperoleh sebesar 760,5 nm dan Gambar 7 menunjukkan bahwa produk hasil BM memiliki ukuran partikel rata-rata yang diperoleh sebesar 655,81 nm.

Tabel 3. Data ukuran partikel hasil SEM.

Kecepatan (RPM)	Ukuran Partikel (nm)
100	883,4
150	760,85
200	655,81



Gambar 8. Grafik hasil SEM untuk ukuran partikel oksida besi pasir alam sebagai fungsi kecepatan putar tabung BM.

Gambar 8 menunjukkan produk hasil BM dengan kecepatan 200 rpm menghasilkan rata-rata ukuran partikel yang paling kecil sedangkan pada produk BM kecepatan 100 rpm menghasilkan rata-rata ukuran partikel yang lebih besar. Persentase penurunan ukuran partikel yang didapatkan adalah sekitar 0,257 % hasil ini didapatkan dari pengurangan ukuran partikel pada kecepatan 100 rpm dengan 200 rpm dibagi dengan kecepatan 100 rpm.

Analisa perubahan ukuran partikel oksida besi penelitian ini mencapai nilai ukuran

partikel terkecil pada kecepatan 200 rpm, yang dimana hal ini menunjukkan perubahan kecepatan meningkat membuat ukuran partikel yang didapatkan semakin lebih kecil. Dengan peningkatan laju putaran lebih lanjut, gaya sentrifugal dapat menjadi sangat besar sehingga bola akan berputar bersama dengan putaran tabung tanpa jatuh, beberapa penelitian menunjukkan putaran tabung yang bergerak pada kecepatan dibawah 50% lebih banyak mengalami gesekan yang berdampak pada ukuran partikel yang mengecil, sedangkan saat kecepatan putaran meningkat lebih jauh diatas 50%.

KESIMPULAN

Nilai suseptibilitas magnetik pasir Sungai Rokan Provinsi Riau yang telah proses BM mengalami peningkatan seiring bertambahnya kecepatan putaran tabung yang diberikan dari $28138,79 \times 10^{-5}$ (100 rpm) , $29374,88 \times 10^{-5}$ (150 rpm), dan $30955,32 \times 10^{-5}$ (200 rpm). Hasil Identifikasi XRF menunjukkan unsur magnetik Fe yang terkandung mengalami kenaikan dari 32,686% menjadi 35,865%, sedangkan pada unsur non-magnetik Si menurun dari 38,604% menjadi 33,729%. Ukuran partikel rata-rata mengalami penurunan seiring meningkatnya kecepatan tabung BM, yaitu pada kecepatan 100 rpm menghasilkan rata-rata ukuran partikel 883,4 nm, kecepatan 150 rpm yaitu 760,85 nm dan pada kecepatan 200 rpm menghasilkan ukuran yaitu 655,81 nm.

REFERENSI

1. Heeschen, K. U., Schicks, J. M., & Oeltzschner, G. (2016). The promoting effect of natural sand on methane hydrate formation: Grain sizes and mineral composition. *Fuel*, **181**, 139–147.
2. Ohta, J., Yasukawa, K., Machida, S., Fujinaga, K., Nakamura, K., Takaya, Y., ... & Kato, Y. (2016). Geological factors responsible for REY-rich mud in the

- western North Pacific Ocean: Implications from mineralogy and grain size distributions. *Geochemical Journal*, **50**(6), 591–603.
3. Zhensheng, S. H. I., Zhen, Q. I. U., Dazhong, D. O. N. G., Bin, L., Liang, P., & Zhang, M. (2018). Lamina characteristics of gas-bearing shale fine-grained sediment of the Silurian Longmaxi Formation of Well Wuxi 2 in Sichuan Basin, SW China. *Petroleum Exploration and Development*, **45**(2), 358–368.
 4. Gunawan, H., & Budiman, A. (2014). Penentuan Persentase dan Nilai Suseptibilitas Mineral Magnetik Bijih Besi yang Berasal dari Tiga Lokasi Tambang Bijih Besi di Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, **3**(4), 249–254.
 5. Dunuweera, S. P., & Rajapakse, R. M. G. (2018). Cement types, composition, uses and advantages of nanocement, environmental impact on cement production, and possible solutions. *Advances in Materials Science and Engineering*, **2018**, 1–11.
 6. Ullah, S., Faiz, P., & Leng, S. (2020). Synthesis, Mechanism, and Performance Assessment of Zero-Valent Iron for Metal-Contaminated Water Remediation: A Review. *CLEAN–Soil, Air, Water*, **48**(9), 2000080.
 7. Pang, Y. L., Lim, S., Ong, H. C., & Chong, W. T. (2016). Research progress on iron oxide-based magnetic materials: synthesis techniques and photocatalytic applications. *Ceramics International*, **42**(1), 9–34.
 8. Peiravi, M., Dehghani, F., Ackah, L., Baharlouei, A., Godbold, J., Liu, J., ... & Ghosh, T. (2021). A review of rare-earth elements extraction with emphasis on non-conventional sources: Coal and coal byproducts, iron ore tailings, apatite, and phosphate byproducts. *Mining, Metallurgy & Exploration*, **38**, 1–26.
 9. Afdal, A. (2013). Karakterisasi sifat magnet dan kandungan mineral pasir besi Sungai Batang Kuranji Padang Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Fisika*, **5**(1), 24–30.
 10. Tiwow, V. A., Arsyad, M., Palloan, P., & Rampe, M. J. (2018). Analysis of mineral content of iron sand deposit in Bontokanang Village and Tanjung Bayang Beach, South Sulawesi, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, **997**(1), 012010.
 11. Arsyad, M., Tiwow, V. A., & Rampe, M. J. (2018). Analysis of magnetic minerals of iron sand deposit in Sampulungan Beach, Takalar Regency, South Sulawesi using the x-ray diffraction method. *Journal of Physics: Conference Series*, **1120**(1), 012060.
 12. Wang, Y., Neyman, A., Arkhangelsky, E., Gitis, V., Meshi, L., & Weinstock, I. A. (2009). Self-assembly and structure of directly imaged inorganic-anion monolayers on a gold nanoparticle. *Journal of the American Chemical Society*, **131**(47), 17412–17422.
 13. Yadav, R. S., Havlica, J., Hnatko, M., Šajgalík, P., Alexander, C., Palou, M., ... & Enev, V. (2015). Magnetic properties of $\text{Co}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ spinel ferrite nanoparticles synthesized by starch-assisted sol-gel autocombustion method and its ball milling. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **378**, 190–199.
 14. Zou, H., Zhao, J., He, F., Zhong, Z., Huang, J., Zheng, Y., ... & Gao, B. (2021). Ball milling biochar iron oxide composites for the removal of chromium (Cr (VI))

- from water: Performance and mechanisms.
Journal of Hazardous Materials, **413**,
125252.
15. Salomo, S., Erwin, A., Usman, M.,
Muhammad, H., Nita, Y., & Linda, W.
(2020). Preparation of Iron Oxide
Magnetic Nanoparticles Natural Sand of
Rokan River Synthesis with Ball Milling.
Journal of Physics: Conference Series,
1655(1), 012018.



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