

ANALISA KECEPATAN PUTARAN TABUNG BALL MILLING TERHADAP SUSEPTIBILITAS MAGNETIK DAN KOMPOSISI SERTA UKURAN PARTIKEL OKSIDA BESI PASIR ALAM SUNGAI ROKAN

Tasyha Dwi Safira, Salomo Sinuraya*, Erwin Amiruddin, Rahmondia Nanda Setiadi
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

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

ABSTRACT

Magnetic susceptibility and composition of magnetic particles from the natural sand iron oxide, at Rokan River in Riau Province as a function of the rotating speed of ball milling tubes. Samples are separated the magnetic particles from non-magnetic particles using iron sand separator (ISS), called the ISS product. Refinement using neodymium iron boron magnet (NdFeB). The ball milling process is carried out for 80 hours using combined iron balls with diameter of 0.7 cm (48 balls), 1.5 cm (24 balls), and 2 cm (16 balls) with variety milling tube rotational speeds of 100, 150, and 200 rpm. The calculation of the magnetic susceptibility value is carried out based on the values of B_0 and B_T , while the composition of the sample by X-ray fluorescence (XRF) and the magnetic particle size of the sample is classified by scanning electron microscope. The result of the study indicates that the magnetic susceptibility of the ISS product has a value $2,895.99 \times 10^{-5}$, while the value of the magnetic susceptibility of ball milling product increases with the increase in the rotating speed of the tube, namely $27,997.52 \times 10^{-5}$, $29,975.27 \times 10^{-5}$, and $30,690.44 \times 10^{-5}$. XRF results show that the magnetic element Fe increased from 32.069% to 39.645%, while the non-magnetic element Si decreased from 31.127% to 29.187%. The average particle size obtained was smaller as the rotational speed of the milling tube increased, namely 679.72 nm, 619.14 nm, and 568.94 nm.

Keywords: Sand, Ball Milling, Iron Sand Separator, Magnetic Susceptibility.

ABSTRAK

Penelitian tentang suseptibilitas magnetik dan komposisi serta ukuran partikel oksida besi pasir alam Sungai Rokan, Provinsi Riau sebagai fungsi kecepatan putaran tabung ball milling. Sampel pasir alam yang tersedia dipisahkan antara partikel magnetik dan non-magnetik menggunakan iron sand separator (ISS), hasil ini disebut dengan produk ISS. Pemisahan lanjutan menggunakan magnet neodymium iron boron (NdFeB). Proses ball milling dilakukan selama 80 jam menggunakan bola besi gabungan berdiameter yaitu, 0,7 cm sebanyak 48 buah, 1,5 cm sebanyak 24 buah, dan 2 cm sebanyak 16 buah dengan kecepatan putaran tabung bervariasi, 100, 150, dan 200 rpm. Perhitungan nilai suseptibilitas magnetik dilakukan berdasarkan nilai B_0 dan B_T , sedangkan komposisi dari pasir besi menggunakan X-ray fluorescence (XRF) dan ukuran partikel magnetik ditentukan dengan scanning electron microscope. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa suseptibilitas magnetik produk ISS memiliki nilai $2.895,99 \times 10^{-5}$, sedangkan nilai suseptibilitas magnetik produk ball milling meningkat seiring dengan kecepatan putaran tabung ball milling, yaitu $27.997,52 \times 10^{-5}$, $29.975,27 \times 10^{-5}$, dan $30.690,44 \times 10^{-5}$. Hasil identifikasi XRF menunjukkan unsur magnetik Fe meningkat dari 32,069% menjadi 39,645%, sedangkan unsur non-magnetik Si mengalami penurunan dari 31,127% menjadi 29,187%. Hasil rata-rata ukuran partikel yang didapatkan semakin kecil seiring dengan meningkatnya kecepatan putaran tabung ball milling, yaitu sebesar 679,72 nm, 619,14 nm, dan 568,94 nm.

Kata kunci: Pasir Alam, Ball Milling, Iron Sand Separator, Suseptibilitas Magnetik.

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

PENDAHULUAN

Sumber daya alam sangat berlimpah di negara Indonesia. Pasir alam merupakan salah

satu sumber daya alam yang melimpah dan merupakan sumber daya alami yang mencakup mineral alami, termasuk unsur-unsur seperti besi, titanium, dan lainnya [1-3].

Sumber daya alam masih belum digarap secara maksimal di Indonesia. Satu-satunya aplikasi untuk pasir alami yang kami sadari adalah sebagai bahan bangunan yang dengan nilai jual sangat murah [4,5]. Sebenarnya, oksida besi dapat dimanfaatkan sebagai sumber daya penelitian dan industri, maupun penelitian [6]. Pasir alami dapat ditemukan di sekitar sungai, pantai, lautan, dan pegunungan, termasuk Sungai Rokan yang menjadi subjek penelitian [7-9]. Bijih besi yang dicampur dengan pasir dikenal sebagai pasir besi [10]. Pasir besi adalah jenis endapan pasir yang ada pada batuan sedimen [11,12]. Warna kehitaman dari pasir besi itu sendiri adalah ciri khas dan mengandung magnetit (Fe_2O_3) [13], hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) [14], dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) [15]. Pasir besi dapat diaplikasikan sebagai sensor magnetik, media penyimpanan data, dan sistem pengiriman obat terapi tumor [1,16-19].

Dengan berlalunya waktu, partikel pasir besi telah menyusut ke ukuran yang relatif kecil (mikrometer). Penggunaan teknik langsung, yaitu metode *ball milling* (BM), adalah salah satu cara efisien untuk menghaluskan ukuran partikel tanpa terlibat dalam proses kimia [1]. Teknik BM merupakan alat penggilingan dengan banyak bola besi yang bertabrakan satu sama lain untuk menghaluskan partikel pasir besi dan mengurangi ukurannya menjadi antara mikrometer dan nanometer [16].

Sampel pasir alami dari Sungai Rokan, Ujung Batu, Provinsi Riau, digunakan dalam penelitian pengukuran kecepatan putaran tabung BM pada suseptibilitas magnetik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkarakterisasi komposisi dan ukuran partikel oksida besi.

METODE PENELITIAN

Pasir alam Sungai Rokan, Ujung Batu, Provinsi Riau, Indonesia, menjadi sumber sampel yang digunakan. Menggunakan alat pemisah pasir yakni *iron sand separator* (ISS), sampel yang tersedia dibagi menjadi partikel magnetik dan non-magnetik. Sampel setelah itu digiling selama 80 jam dengan mencampurkan

bola besi ke dalam tabung tersebut yang telah berisi sampel dengan ukuran bola besi berdiameter 0,7 cm sebanyak 48 buah, 1,5 cm sebanyak 24 buah, dan 2 cm sebanyak 16 buah dengan variasi kecepatan putaran tabung 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm. Setelah itu, nilai suseptibilitas magnetik sampel, produk hasil ISS, dan produk BM semuanya dihitung, serta penentuan komposisi yang ada pada sampel diuji menggunakan uji *X-ray fluorescence* (XRF) dan untuk mengetahui ukuran partikel yang ada pada sampel diuji menggunakan *scanning electron microscope* (SEM).

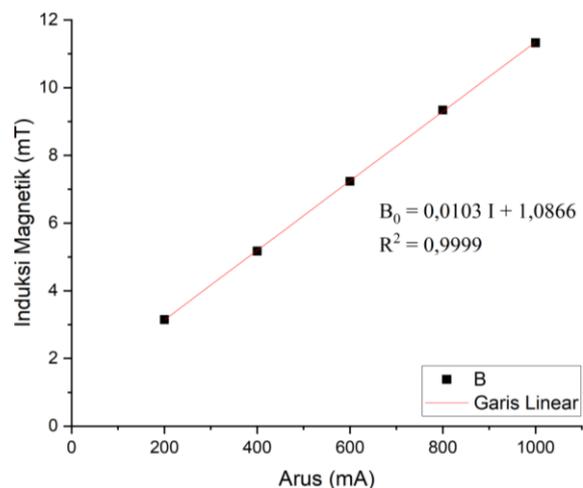
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Induksi Magnetik Solenoid Tanpa Inti (B_0)

Tabel 1 dan grafik pada Gambar 1 menunjukkan hasil pengukuran induksi magnetik solenoida B_0 sebagai fungsi arus.

Tabel 1. Data pengukuran B_0 .

Arus (mA)	B_0 (mT)
200	3,147
400	5,173
600	7,235
800	9,341
1000	11,326



Gambar 1. Grafik induksi magnetik B_0 .

Ketika arus yang diberikan meningkat, Gambar 1 merupakan nilai induksi magnetik B_0 yang mengalami kenaikan seiring dengan bertambah arus listrik. Nilai induksi magnetik

B_0 pada arus 200 mA sebesar 3,147 mT dan pada arus 1000 mA sebesar 11,326 mT.

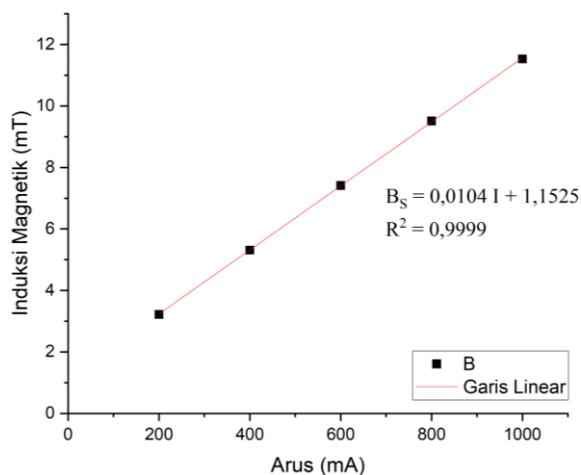
$B_0 = 0,0103 I + 1,0866$ dengan $R^2 = 0,9999$ merupakan persamaan linear terhadap nilai induksi magnetik tanpa inti. Nilai R^2 mempunyai nilai antara 0 – 1 dan semakin mendekati nilai 1 maka semakin akurat hasil yang didapat. Persamaan linear menunjukkan bahwa nilai induksi magnetik ketika arus listrik yang mengalir pada solenoid dihentikan tidak nol, melainkan masih memiliki sisa induksi magnetik sebesar 1,9866 mT. Hal ini dipengaruhi oleh medan magnetik bumi.

Hasil Pengukuran Induksi Magnetik Solenoid Inti Sampel Pasir Alam (B_s)

Tabel 2 dan grafik pada Gambar 2 menunjukkan hasil pengukuran induksi magnetik B_s sebagai fungsi arus.

Tabel 2. Data pengukuran induksi magnetik B_s .

Arus (mA)	B_s (mT)
200	3,221
400	5,314
600	7,416
800	9,513
1000	11,533



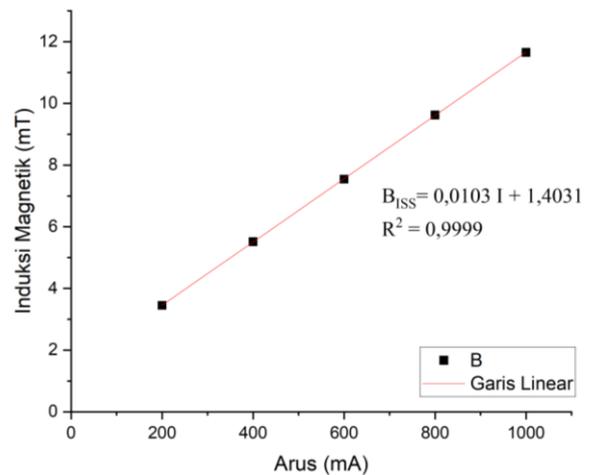
Gambar 2. Grafik induksi magnetik B_s .

Hasil Pengukuran Induksi Magnetik Solenoid Inti Produk ISS (B_{ISS})

Tabel 3 dan grafik pada Gambar 3 menunjukkan hasil pengukuran induksi magnetik B_{ISS} sebagai fungsi arus.

Tabel 3. Data pengukuran induksi magnet B_{ISS} .

Arus (mA)	B_{ISS} (mT)
200	3,451
400	5,514
600	7,545
800	9,621
1000	11,654



Gambar 3. Grafik induksi magnetik B_{ISS} .

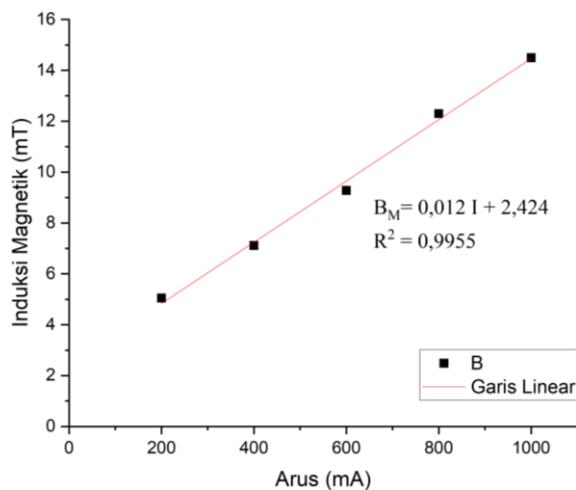
Gambar 2 dan 3 menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan total nilai induksi magnetik solenoida dengan inti sampel pasir alami, hasil dari produk ISS memiliki nilai yang lebih tinggi. Hal ini karena alat ISS yang digunakan memisahkan sejumlah besar partikel non-magnetik.

Hasil Pengukuran Induksi Magnetik Solenoid Inti Produk BM (B_{BM})

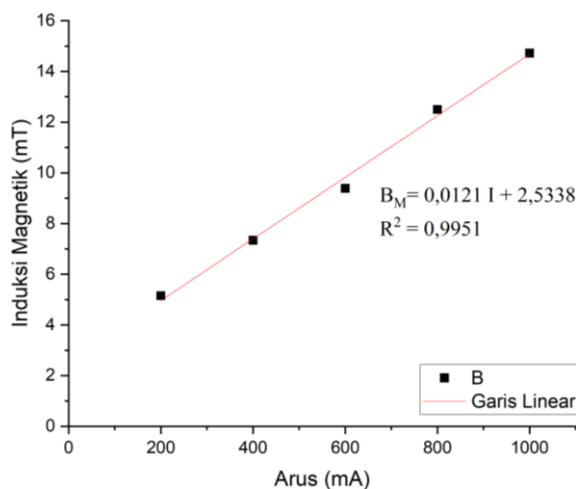
Grafik Gambar 4, 5, dan 6 menunjukkan data pengukuran induksi magnetik inti untuk produk yang telah mengalami proses BM selama 80 jam menggunakan bola besi gabungan dengan diameter 0,7 cm sebanyak 48 buah, 1,5 cm sebanyak 24 buah, dan 2 cm sebanyak 16 buah dengan variasi kecepatan putaran tabung 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm.

Gambar 4, 5, dan 6 menampilkan grafik induksi magnetik pada produk BM dengan kecepatan putaran tabung. Nilai induksi naik secara linier terhadap kecepatan putaran tabung. Oleh karena itu, semakin cepat putaran tabung, semakin tinggi nilai didapatkan. Hal ini disebabkan karena adanya oksida besi yang terkandung, maka semakin tinggi nilai

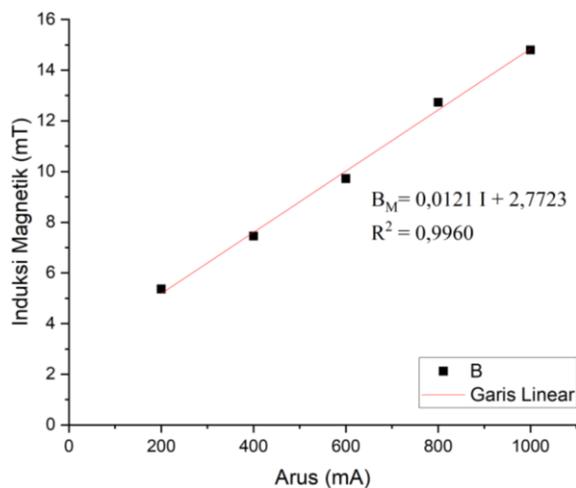
kecepatan putaran tabung maka hasil oksida besi akan semakin meningkat karena meningkatnya induksi magnetik.



Gambar 4. Grafik induksi magnetik B_{BM} kecepatan putaran tabung 100 rpm.



Gambar 5. Grafik induksi magnetik B_{BM} kecepatan putaran tabung 150 rpm.

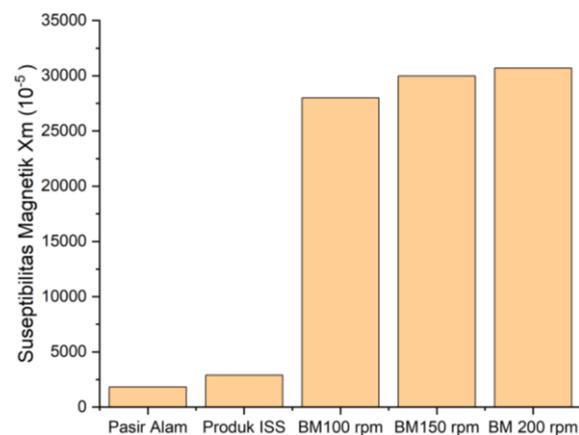


Gambar 6. Grafik induksi magnetik B_{BM} kecepatan putaran tabung 200 rpm.

Perhitungan Suseptibilitas Magnetik (χ_m)

Tabel 4. Nilai χ_m pasir alam, produk ISS, dan produk BM 80 jam dengan kecepatan putaran tabung 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm.

Sampel	B_0 (mT)	B_T (mT)	χ_m (10^{-5})
Pasir alam	11,326	11,533	1827,65
Produk ISS	11,326	11,654	2895,99
BM 100	11,326	14,497	27997,52
BM 150	11,326	14,721	29975,27
BM 200	11,326	14,802	30690,44



Gambar 7. Diagram nilai χ_m .

Pada Gambar 7 nilai χ_m pasir alam sebesar $1827,65 \times 10^{-5}$ mengalami kenaikan pada produk ISS sebesar $2895,99 \times 10^{-5}$. Hal ini dikarenakan adanya pemisahan antara partikel yang mengandung magnet dan tidak mengandung magnet menggunakan alat pemisah ISS, sehingga kandungan partikel magnetik lebih banyak dibandingkan dengan pasir alam. Kenaikan ini mengalami peningkatan antara produk ISS dan juga produk BM karena telah melewati proses BM selama 80 jam dengan kecepatan putaran tabung 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm. Selama di-BM terjadi tumbukan dalam tabung antara bola besi gabungan yang berdiameter 0,7 cm sebanyak 48 buah, 1,5 cm sebanyak 24 buah, dan 2 cm sebanyak 16 buah dengan sampel pasir besi yang telah melewati proses pemisahan menggunakan ISS dan pemisahan lanjutan menggunakan magnet NdFeB, tumbukan terjadi untuk menghaluskan sampel tersebut. Nilai χ_m produk BM pada kecepatan putaran tabung 100 rpm sebesar $27997,52 \times 10^{-5}$, pada kecepatan

putaran tabung 150 rpm sebesar $29975,27 \times 10^{-5}$, dan pada kecepatan putaran tabung 200 rpm sebesar $30690,44 \times 10^{-5}$.

Analisis Data XRF

Produk BM menjalani pengujian XRF selama 80 jam untuk menentukan komposisi partikel pada kecepatan 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm. Tabel 5 menampilkan hasil dari proses identifikasi menggunakan XRF.

Tabel 5. Hasil uji XRF.

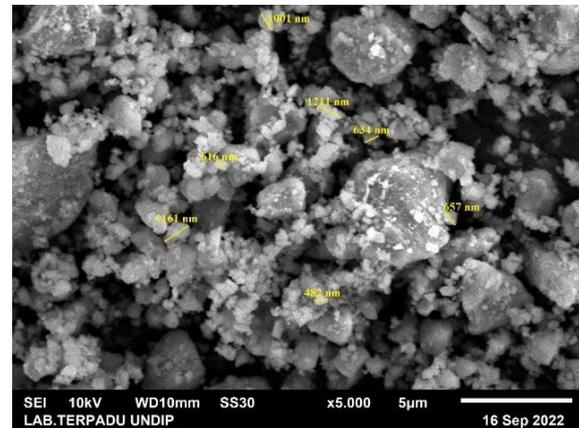
Elemen	Komposisi (%)		
	100 rpm	150 rpm	200 rpm
Al	6,307	6,687	7,286
Si	31,127	30,894	29,187
P	2,935	2,615	2,126
K	3,793	3,421	3,096
Ca	9,326	8,661	7,594
Ti	8,225	8,668	8,765
V	0,069	0,070	0,111
Cr	0,066	0,083	0,124
Mn	0,579	0,433	0,412
Fe	32,069	36,646	39,645
Zn	0,067	0,072	0,099
Sr	0,159	0,169	0,174
Zr	0,394	0,201	0,131
Ag	0,721	0,808	0,812
Eu	0,106	0,104	0,102
Elemen Lain	4,057	0,468	0,336

Pada Tabel 5 menunjukkan perubahan persentase komposisi yang terkandung pada sampel pasir yang telah di-BM selama 80 jam dengan kecepatan 100 rpm, 150 rpm dan 200 rpm, dimana elemen partikel yang mengandung magnet mengalami kenaikan nilai persentase, sedangkan pada elemen partikel yang tidak mengandung magnet mengalami penurunan nilai persentase.

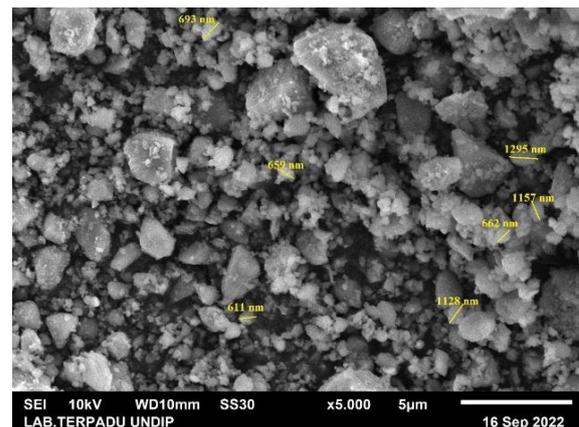
Pada unsur magnetik Fe mengalami kenaikan yaitu dari 32,069% menjadi 39,645%. Sedangkan pada unsur non-magnetik Si menurun sebesar 31,127% menjadi 29,187%. Hal ini disebabkan karena lajunya kecepatan putaran tabung membuat ukuran partikel akan semakin kecil dan menyebabkan partikel magnetik dengan non-magnetik mengalami

pemisahan. Partikel magnetik yang mengalami pemisahan akan mengalami peningkatan nilai persentase, sedangkan partikel non-magnetik mengalami penurunan nilai persentase.

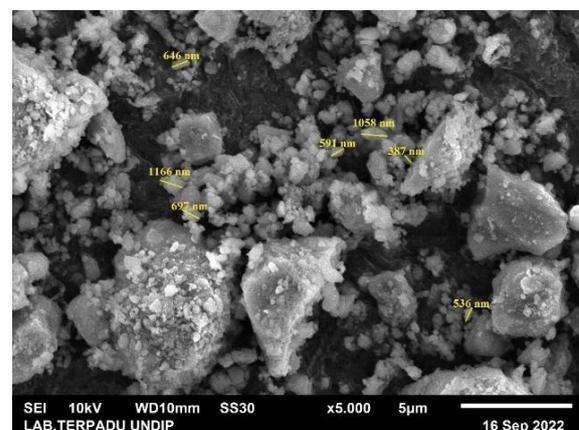
Analisis Data SEM



(a)



(b)



(c)

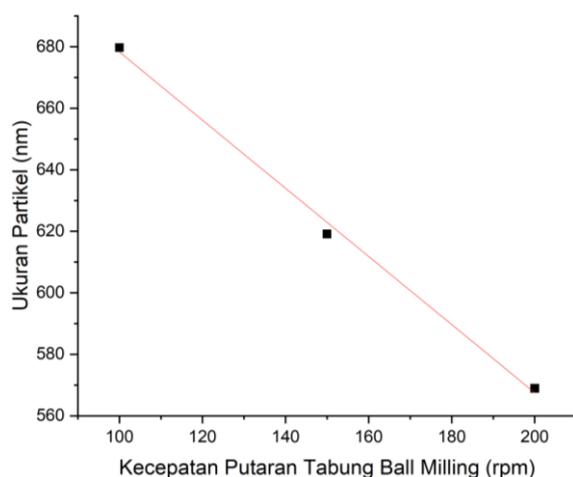
Gambar 8. Ukuran partikel produk BM perbesaran 5000 kali dengan kecepatan putaran tabung (a) 100 rpm, (b) 150 rpm, dan (c) 200 rpm.

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui perubahan ukuran partikel terhadap produk hasil BM selama 80 jam dengan kecepatan 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm dengan perbesaran 5000 kali. Hasil uji ukuran partikel tersebut ditampilkan pada Gambar 8.

Dapat dilihat perubahan ukuran partikel maupun bentuk terhadap kecepatan putaran tabung BM. Dapat kita ketahui bahwa gaya yang bekerja pada BM yaitu gaya tumbukan, gaya gesek dan juga gaya gravitasi. Dimana bola-bola yang terdapat di dalam tabung akan saling bertumbukan satu sama lain dalam menghancurkan sampel di dalamnya dan akan menghasilkan energi kinetik. Hal ini dapat kita lihat pada Tabel 6 dan grafik pada Gambar 9 hasil SEM sebagai kecepatan putaran tabung BM dimana hasil ukuran partikel yang dihasilkan semakin kecil seiring meningkatnya kecepatan putaran tabung.

Tabel 6. Data ukuran partikel hasil SEM sebagai fungsi kecepatan putaran tabung BM.

Kecepatan (rpm)	Ukuran Partikel (nm)
100	679,72
150	619,14
200	568,94



Gambar 9. Grafik hasil SEM sebagai fungsi kecepatan putaran tabung BM.

Hasil uji partikel pada sampel pasir alam Sungai Rokan yang telah di-BM selama 80 jam menggunakan bola gabungan ukuran diameter 0,7 cm sebanyak 48 buah, 1,5 cm sebanyak 24 buah, dan 2 cm sebanyak 16 buah dengan

kecepatan putaran tabung 100 rpm, 150 rpm, 200 rpm ditunjukkan pada Gambar 9 sebagai grafik hasil ukuran partikel menggunakan SEM pada perbesaran 5000 kali menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kecepatan putaran tabung maka semakin kecil nilai ukuran partikel yang dihasilkan.

KESIMPULAN

Hasil dari penelitian, pengukuran data dan perhitungan data yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai χ_m meningkat seiring bertambahnya kecepatan putaran tabung. Nilai χ_m berturut-turut pada kecepatan putaran tabung 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm, yaitu $27997,52 \times 10^{-5}$, $29975,27 \times 10^{-5}$, dan $30690,44 \times 10^{-5}$. Hasil identifikasi XRF menunjukkan pada unsur yang mengandung magnet yakni Fe meningkat dari 32,069% menjadi 39,645%. Sedangkan pada unsur yang tidak mengandung magnet yakni Si mengalami penurunan dari 31,127% menjadi 29,187%. Ukuran partikel rata-rata hasil uji SEM mengalami perubahan seiring meningkatnya kecepatan putaran tabung, sehingga semakin tinggi kecepatan putaran tabung BM maka semakin kecil nilai partikel dihasilkan.

REFERENSI

1. Triatmono, H. C., Muslimin, M., & Anggraini, L. (2017). Penurunan Ukuran Butir Serbuk Besi dengan Ball Milling 744 rpm dan Ball to Powder Weight Ratio 1: 5. *Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics*, **2**(01).
2. Afdal, A. (2013). Karakterisasi sifat magnet dan kandungan mineral pasir besi Sungai Batang Kuranji Padang Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Fisika*, **5**(1), 24–30.
3. Rahayu, R., & Abram, P. H. (2020). Analisis Jenis dan Kandungan Logam pada Batuan Buangan dari Pertambangan Emas Poboya. *Media Eksakta*, **16**(2), 122–127.

4. Widjoyo, I., & Febriany, H. N. F. (2022). Komparasi Abu Batu Sebagai Substitusi Pasir Untuk Mengurangi Harga Pokok Produksi Dalam Pembuatan Beton. *Forum Mekanika*, **11**(1), 22–28.
5. Khusna, H., Sunarto, W., & Alauhdin, M. (2013). Analisis kandungan kimia dan pemanfaatan sludge industri kertas sebagai bahan pembuatan batako. *Indonesian Journal of Chemical Science*, **2**(2).
6. Setianto, S. (2017). Analisa Kuantitatif Campuran Senyawa Oksida Sebagai Dasar Identifikasi Kandungan Bahan Sumber Daya Alam Studi Kasus: Kandungan Mineral Pada Pasir Besi Di Pesisir Pantai Selatan, Jawa Barat. *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, **18**(02), 173–177.
7. Prasetyo, A. B., Sulistiyono, E., & Mayangsari, W. (2016). Studi Pengembangan Material Maju dari Mineral Daerah Aliran Sungai Cilandir. *Prosiding Semnastek*.
8. Lopes, V. C., & Wibowo, H. T. T. (2016). Pemetaan potensi pasir besi di desa umbulsari dan sekitarnya kecamatan tempursari kabupaten lumajang propinsi jawa timur. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, 159–168.
9. Kotta, H., & Banunaek, Z. (2021). Kajian Morfologi, Karakteristik dan Kondisi Lingkungan Gumuk Pasir Pantai Oetune, Kecamatan Kualin Kabupaten Timor Tengah Selatan, Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Teknologi*, **15**(2), 5–9.
10. Tambunan, B., Supriyadi, C., & Juliansyah, J. (2016). Desain Dan Simulasi Tungku Bakar Untuk Pengolahan Pasir Besi Menjadi Sponge Iron Dengan Teknologi Tunnel Kiln. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, **10**(1), 51–60.
11. Ningsih, F., Fitriarningsih, F., & Didik, L. A. (2019). Analisis pengaruh lama penggerusan terhadap resistivitas dan konstanta dielektrik pada pasir besi yang disintesis dari Kabupaten Bima. *Indonesian Physical Review*, **2**(3), 92–98.
12. Lamburu, A. A., Syafri, I., & Yuningsih, E. T. (2017). Karakteristik mineralogi endapan pasir besi di daerah galela utara kabupaten halmahera utara provinsi maluku utara. *Bulletin of Scientific Contribution*, **15**(2), 151–160.
13. Ansori, C. (2013). Mengoptimalkan perolehan mineral magnetik pada proses separasi magnetik pasir besi pantai selatan Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, **9**(3), 145–156.
14. Ghofur, A., Fellicia, D. M., & Pintowantoro, S. (2015). Studi Pengaruh Variasi Daya terhadap Proses Ekstraksi TiO₂ (Rutile) dari Pasir Besi dengan Memanfaatkan Pemanasan Gelombang Mikro dan Diikuti Leaching Asam Klorida. *J. Penelit. Kim*, **2**, 1–6.
15. Nengsi, S. W., Budiman, A., & Puryanti, D. (2016). Karakterisasi Struktur Kristal dan Sifat Magnetik Maghemit (γ -Fe₂O₃) yang Dioksidasi dari Magnetit (Fe₃O₄) dari Pasir Besi Batang Sukam Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat dengan Variasi Waktu Oksidasi. *Jurnal Fisika Unand*, **5**(3), 248–251.
16. Erwin, E., & Putra, S. U. (2018). Sifat Magnetik Dan Ukuran Partikel Magnetik Serta Komposisi Material Pasir Besi Pantai Kata Pariaman Sumatera Barat Di Sintesa Dengan Iron Sand Separator Dan Ball Milling. *Journal Online of Physics*, **3**(2), 11–14.
17. Tiwow, V. A., Rampe, M. J., & Arsyad, M. (2018). Kajian suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi terhadap pasir besi Kabupaten Takalar. *Jurnal Sainsmat*, **7**(2), 136–146.

18. Zeng, H., Li, J., Liu, J. P., Wang, Z. L., & Sun, S. (2002). Exchange-coupled nanocomposite magnets by nanoparticle self-assembly. *Nature*, **420**(6914), 395–398.
19. Mahmoudi, M., Sant, S., Wang, B.,

Laurent, S., & Sen, T. (2011). Superparamagnetic iron oxide nanoparticles (SPIONs): development, surface modification and applications in chemotherapy. *Advanced drug delivery reviews*, **63**(1-2), 24–46.



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