

SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL OKSIDA BESI MENGGUNAKAN METODE *BALL MILLING* DAN KOPRESIPITASI

Riduan Alvinsen Sirait*, Salomo, Juandi Muhammad, Erman Taer
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

*E-mail korespondensi: riduan.alvinsen1978@student.unri.ac.id

ABSTRACT

This Research has carried out on natural sand originating from the Rokan river, Riau Province by converting it into magnetic iron oxide nanoparticles to determine changes in magnetic properties and particle size. Natural sand samples of the Rokan river were separated between magnetic and non-magnetic particles using an iron sand separator (ISS). ISS products are further synthesized using ball milling and coprecipitation methods. 70-hour ball milling products, coprecipitation without ball milling and coprecipitation with 70-hour ball milling are then given NdFeB (neodymium iron boron) magnets to clean impurities containing non-magnetic elements. The results of this study showed that the highest magnetic acceptability value was obtained in coprecipitation products with ball milling, which was 12.9×10^{-2} . This is because coprecipitation products have an abundant content of chemicals in the form of magnetic elements. Based on the results of chemical composition testing using X-ray fluorescence (XRF) it was found that in coprecipitation products with ball milling there was 64.504% iron (Fe) content, while 70-hour ball milling products and coprecipitation without ball milling the percentage of Fe protection was 15.023% and 54.152%, respectively. Based on the results of the identification of the chemical composition in the sample, coprecipitation products with 70-hour ball milling have high magnetic induction values and magnetic susceptibility caused by the magnetic content in products such as Fe which are very high and non-magnetic content is very low such as Si compared to 70-hour ball milling products and coprecipitation products without ball milling.

Keywords: Natural River Sand, Ball Milling, Coprecipitation Method, Iron Sand Separator (ISS), X-Ray Fluorescence (XRF), Magnetic Probe Pasco PS-2162.

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian pada pasir alam yang berasal dari sungai Rokan Provinsi Riau dengan mengubahnya menjadi nanopartikel oksida besi magnetik untuk mengetahui perubahan sifat magnetik dan ukuran partikelnya. Sampel pasir alam sungai Rokan dipisahkan antara partikel magnetik dan non magnetik menggunakan iron sand separator (ISS). Produk ISS di selanjutnya disintesis menggunakan metode ball milling dan kopresipitasi. Produk ball milling 70 jam, kopresipitasi tanpa ball milling dan kopresipitasi dengan ball milling 70 jam kemudian diberikan magnet NdFeB (neodymium iron boron) untuk membersihkan bahan pengotor yang mengandung elemen non magnetik. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai suseptibilitas magnetik tertinggi diperoleh pada produk kopresipitasi dengan ball milling yaitu sebesar $12,9 \times 10^{-2}$. Hal ini disebabkan karena produk kopresipitasi memiliki kandungan bahan kimia berupa elemen magnetik yang melimpah. Berdasarkan hasil pengujian komposisi bahan kimia menggunakan X-ray fluorescence (XRF) ditemukan bahwa pada produk kopresipitasi dengan ball milling terdapat 64,504% kandungan besi (Fe), sedangkan produk ball milling 70 jam dan kopresipitasi tanpa ball milling persentase kadungan Fe berturut-turut adalah 15,023% dan 54,152%. Berdasarkan hasil identifikasi komposisi bahan kimia pada sampel, produk kopresipitasi dengan ball milling 70 jam memiliki nilai induksi magnetik dan suseptibilitas magnetik yang tinggi yang disebabkan oleh kandungan magnetik pada produk seperti Fe yang sangat tinggi dan kandungan non magnetik yang sangat rendah seperti Si dibandingkan produk ball milling 70 jam dan produk kopresipitasi tanpa ball milling.

Kata kunci: Pasir Alam Sungai, Ball Milling, Metode Kopresipitasi, Iron Sand Separator (ISS), X-Ray Fluorescence (XRF), Probe Magnetic Pasco PS-2162.

Diterima 30-06-2022 | Disetujui 10-07-2022 | Dipublikasi 31-07-2022

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi bahan magnetik alam yang melimpah, salah satunya yaitu pasir besi. Pasir besi merupakan bahan magnetik alam yang terbentuk akibat adanya erosi batuan pembentuk daratan yang terdiri dari andesit, tufa, aglomerat dan bahan piroklastik lainnya. Penyebaran pasir besi di Indonesia tersebar di beberapa pulau yaitu Sumatera, Jawa, Sulawesi, Kalimantan dan Papua. Pada pulau Sumatera terdapat sebanyak 29 titik lokasi tersedianya pasir besi di alam dimana 10 titik lokasi memiliki cadangan lebih dari satu juta ton. Pemanfaatan pasir besi di Indonesia saat ini masih belum optimal karena pasir besi hanya digunakan sebagai bahan tambahan pada pembuatan semen [1].

Pasir besi merupakan material yang memiliki kandungan oksida besi magnetik didalamnya yang terdiri dari *magnetite* (Fe_3O_4), *hematite* ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan *maghemite* ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Kandungan magnetik yang terdapat dalam pasir besi menjadikan pasir besi memiliki aplikasi yang luas diberbagai bidang seperti elektronik, energi, kimia, ferrofluida, katalis, diagnosis medis dan lain-lain. Aplikasi pasir besi yang luas tersebut dapat dilakukan dengan pengolahan lebih lanjut terhadap pasir besi. Salah satu pengolahan lebih lanjut terhadap pasir besi yaitu mengubah pasir besi menjadi nanopartikel oksida besi magnetik [2].

Pada bidang industri, oksida besi Fe_3O_4 dapat digunakan sebagai rekayasa elektronika, sebagai bahan pembuatan magnet permanen dan bahan pembuatan *thin film*. Sedangkan oksida besi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dapat digunakan sebagai pembuatan bahan baku katoda pada baterai *lithium*, sensor gas etanol, maupun superkapasitor. Oksida besi $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ juga dapat digunakan sebagai bahan superkapasitor pada elektroda dan sebagai bahan dasar tinta kering pada mesin fotokopi dan printer laser [3].

Ball milling merupakan metode fisika yang digunakan untuk menghasilkan nanomaterial dengan cara mengubah ukuran partikel menjadi lebih kecil. Metode *ball milling* menggunakan teknologi *planetary ball mill* sebagai alat dalam

proses penghancuran material menjadi sangat halus. *Planetary ball mill* adalah salah satu metode pengurangan ukuran partikel dengan teknik *mechanical alloying powder* yang menggunakan energi tumbukan antara bola penghancur dengan bola dinding wadahnya untuk dapat menghasilkan material berukuran nano dalam waktu yang singkat [4]. Pada sintesis nanopartikel dari pasir besi menggunakan metode *ball milling*, unsur pengotor yang ikut bersama pasir besi yang telah di *ball milling* dapat dipisahkan dengan menggunakan magnet.

Metode kopresipitasi adalah salah satu metode sintesis nanopartikel magnetik yang sederhana. Partikel yang dihasilkan dari metode ini relatif stabil dan sangat sulit larut dalam pelarut [5]. Prinsip kerja yang dimiliki metode kopresipitasi adalah dengan mengubah suatu garam logam menjadi sebuah endapan dengan menambahkan pengendap basa hidroksida yang akan diubah ke bentuk oksidanya dengan melakukan pemanasan [6].

X-ray fluorescence (XRF) merupakan salah satu uji karakterisasi material yang paling sering digunakan dalam mengidentifikasi komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sampel dengan menggunakan metode spektrometri yang terkandung pada sampel [7]. *scanning electron microscope* (SEM) merupakan suatu alat uji berbentuk mikroskop yang menggunakan berkas elektron untuk mengetahui ukuran partikel dan morfologi permukaan dari sampel yang diuji [8].

Dalam penelitian ini akan dibahas pengaruh metode kombinasi yang dilakukan saat proses sintesis nanopartikel oksida besi terhadap nilai induksi magnetik, susceptibilitas magnetik, dan komposisi kimia pada sampel menggunakan karakterisasi XRF.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu pasir alam sungai rokan sebagai sampel penelitian, *iron sand separator*

(ISS) sebagai alat pemisah partikel magnetik dan non magnetik, *ball milling* sebagai alat penghancur sampel, magnet batang NdFeB (*neodymium iron boron*) sebagai alat pemisah partikel magnetik dengan elemen pengotor, asam klorida (HCl) sebagai zat pelarut pasir besi, amonium hidroksida (NH₄OH) sebagai zat pembentuk endapan, aquades sebagai larutan pencuci, *poly ethylene glycol* (PEG)-6000 sebagai polimer yang mengontrol ukuran partikel dari sampel yang disintesis, kertas saring sebagai bahan untuk menyaring larutan, gelas ukur sebagai alat pengukur volume zat yang digunakan, timbangan digital sebagai alat penimbang bahan yang akan digunakan, *magnetic stirrer* sebagai alat pengaduk dengan kecepatan tinggi, ultrasonic bath sebagai alat untuk menembakkan gelombang ultrasonik pada sampel, *furnace* sebagai alat untuk mengeringkan sampel pada suhu yang tinggi, dan XRF sebagai alat karakterisasi untuk mengetahui komposisi kimia pada sampel.

Prosedur Penelitian

Sampel pasir alam sungai rokan dilakukan proses pemisahan partikel magnetik dengan non magnetik menggunakan ISS dengan kecepatan putaran *belt* 0,9 cm/s dan frekuensi getar 2 Hz. Proses ISS dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali hingga terbentuk produk ISS sebanyak 300 gram. Hasil dari pemisahan menggunakan ISS dinamakan produk ISS. Produk ISS sebanyak 300 gram dibagi menjadi 3 bagian masing-masing 100 gram dan selanjutnya disebut sebagai sampel A, B, dan C. Sampel A dan B masing-masing 100 gram di *ball milling* selama 70 jam menggunakan bola besi berdiameter 2 cm sebanyak 16 buah dengan kecepatan 200 rpm. Sampel A hasil *ball milling* selanjutnya disebut produk *ball milling* 70 jam. sampel B hasil *ball milling* dan sampel C produk ISS selanjutnya melalui sintesis menggunakan metode kopresipitasi. Sampel B dan C diambil masing-masing sebanyak 10 gram dan dicampurkan dengan HCl 12M sebanyak 20 ml dan kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit pada suhu 90°C. Larutan B dan C selanjutnya disaring

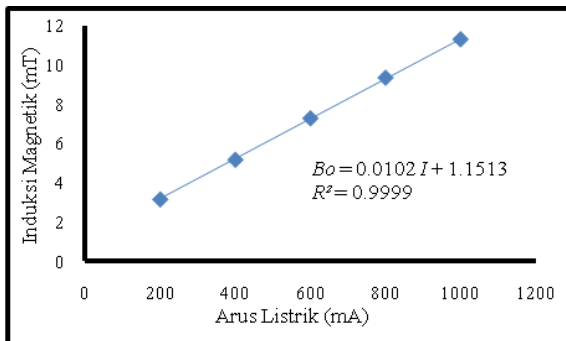
menggunakan kertas saring dan ditambahkan NH₄OH 25% sebanyak 25 ml dan didiamkan selama 30 menit hingga terbentuk endapan berwarna hitam pekat. Selanjutnya larutan B dan C yang telah memiliki endapan dicuci menggunakan aquades sebanyak 3 kali hingga pH larutan menjadi netral yaitu pH 7. Endapan yang dicuci selanjutnya ditambahkan PEG-6000 yang dipanaskan pada suhu 100°C dengan perbandingan 5:1 dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Larutan B dan C yang telah ditambahkan PEG-6000 dimasukkan kedalam *ultrasonic bath* selama 3 jam pada suhu 50°C. Larutan B dan C yang kental selanjutnya dikeringkan menggunakan *furnace* pada suhu 400°C selama 3 jam. Sampel B yang telah dikeringkan selanjutnya disebut produk kopresipitasi dengan *ball milling* dan sampel C disebut produk kopresipitasi tanpa *ball milling*. Produk *ball milling* 70 jam, produk kopresipitasi tanpa *ball milling* dan produk kopresipitasi dengan *ball milling* dilakukan pengukuran nilai induksi magnetik, perhitungan suseptibilitas magnetik dan karakterisasi menggunakan XRF.

HASIL DAN PEMBAHASAN

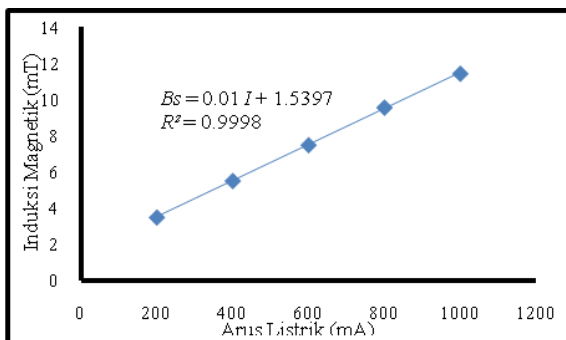
Induksi dan Suseptibilitas Magnetik

Pengukuran induksi magnetik dengan solenoid dilakukan menggunakan sensor Pasco Probe PS-2162 dihubungkan ke perangkat laptop yang sudah diinstal *software* data audio. Pengukuran induksi magnetik *solenoid* terdiri dari pengukuran induksi tanpa inti (B_0), pengukuran induksi magnetik sampel pasir alam sungai rokan (B_S), pengukuran induksi magnetik produk ISS (B_{ISS}), pengukuran induksi magnetik pada produk *ball milling* 70 jam (B_{BM70}), pengukuran induksi magnetik pada produk kopresipitasi tanpa *ball milling* (B_{KTBM}) dan pengukuran induksi magnetik pada produk kopresipitasi dengan *ball milling* 70 jam (B_{KDBM}). Pada pengukuran nilai induksi magnetik *solenoid* dilakukan pemberian arus listrik dengan menggunakan 5 variasi arus listrik yaitu 200 mA, 400 mA, 600 mA, 800 mA, dan 1000 mA. Pengukuran nilai induksi

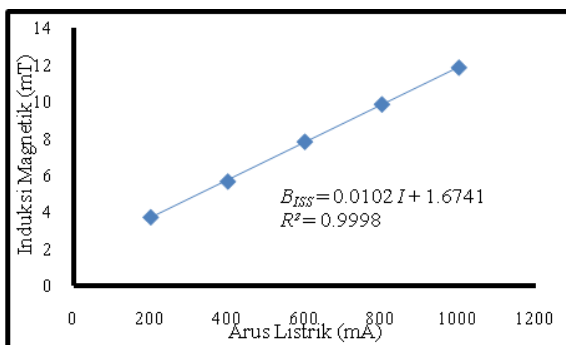
magnetik *solenoid* menggunakan sensor Pasco Probe PS-2162 yang diletakkan pada jarak tetap sebesar 1 mm dari *solenoid*.



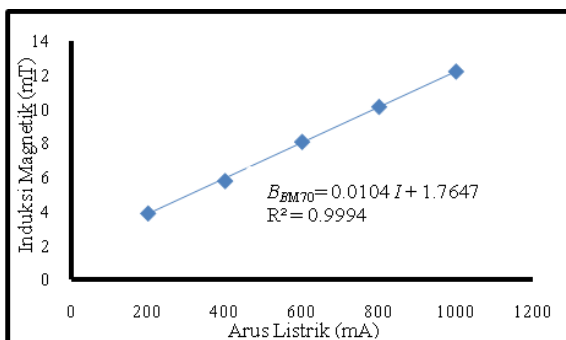
Gambar 1. Grafik hubungan antara arus listrik dengan induksi magnetik B_0 .



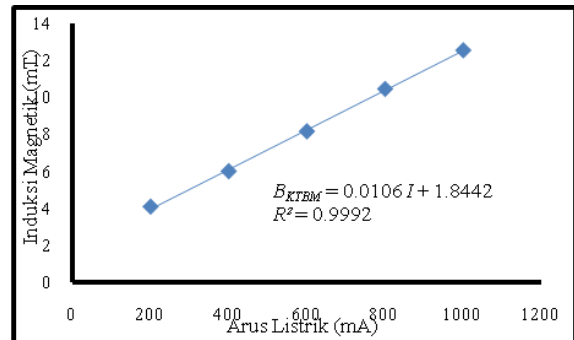
Gambar 2. Grafik hubungan arus listrik dengan induksi magnetik B_s .



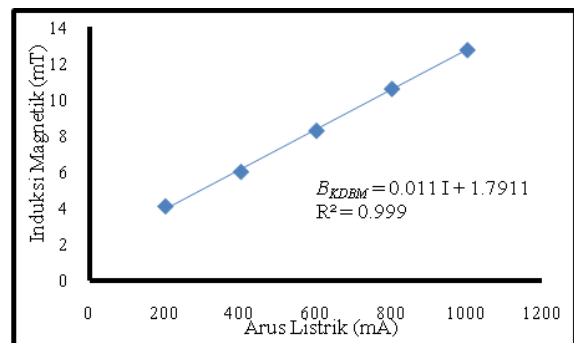
Gambar 3. Grafik hubungan antara arus listrik dengan induksi magnetik B_{ISS} .



Gambar 4. Grafik hubungan antara arus listrik dengan induksi magnetik B_{BM70} .



Gambar 5. Grafik hubungan arus listrik dengan induksi magnetik B_{KTBM} .



Gambar 6. Grafik hubungan arus listrik dengan induksi magnetik B_{KDBM} .

Berdasarkan Gambar 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 bahwa nilai induksi magnetik yang diperoleh sebanding dengan nilai arus listrik yang diberikan sebagai fungsinya. Berdasarkan Gambar 1, nilai induksi magnetik B_0 tertinggi sebesar 11,308 mT. Berdasarkan Gambar 2, nilai induksi magnetik B_s tertinggi diperoleh ketika diberikan arus sebesar 1000 mA yaitu sebesar 11,452 mT. Berdasarkan Gambar 3, nilai induksi magnetik B_{ISS} tertinggi diperoleh ketika diberikan arus sebesar 1000 mA yaitu sebesar 11,981 mT. Berdasarkan Gambar 4, nilai induksi magnetik B_{BM70} tertinggi diperoleh ketika diberikan arus sebesar 1000 mA yaitu sebesar 12,964 mT. Berdasarkan Gambar 5, nilai induksi magnetik B_{KTBM} tertinggi diperoleh ketika diberikan arus sebesar 1000 mA yaitu sebesar 13,098 mT. Berdasarkan Gambar 6, nilai induksi magnetik B_{KDBM} tertinggi diperoleh ketika diberikan arus sebesar 1000 mA yaitu sebesar 13,118 mT.

Suseptibilitas magnetik (χ_m) pada setiap sampel dapat dihitung berdasarkan nilai induksi magnetik yang diperoleh. Nilai χ_m dihitung dengan cara induksi magnetik total dengan inti

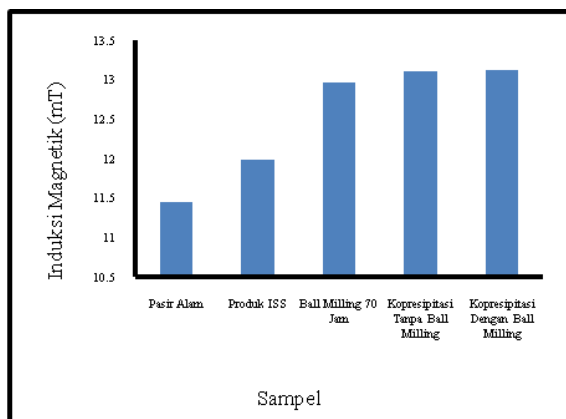
(B_T) pada setiap sampel dikurangkan dan dibagi dengan induksi magnetik B_0 . Nilai induksi

magnetik B_T dan χ_m pada setiap sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai induksi magnetik B_T dan suseptibilitas magnetik setiap sampel pada arus 1000 mA.

Sampel	B_T (mT)	χ_m (10^{-2})
Pasir alam	11,45	1,27
Produk ISS	11,98	5,07
Produk <i>ball milling</i> 70 jam	12,96	7,84
Kopresipitasi tanpa <i>ball milling</i>	13,01	10,52
Kopresipitasi dengan <i>ball milling</i>	13,12	12,91

Data dalam Tabel 1 dapat digambarkan dalam bentuk grafik batang untuk menampilkan perbandingan nilai induksi magnetik B_T pada arus 1000 mA masing-masing sampel seperti terlihat pada Gambar 7.

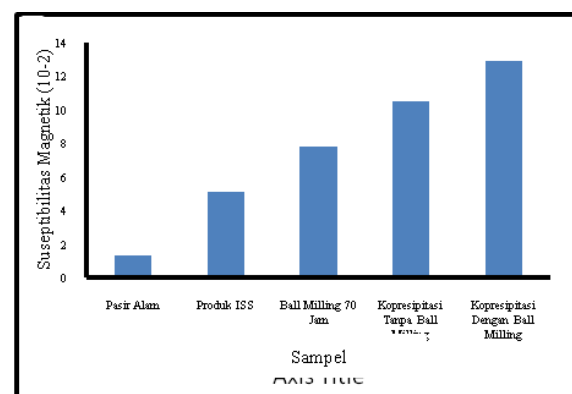


Gambar 7. Grafik perbandingan nilai induksi magnetik B_T sampel pada arus 1000 mA.

Gambar 7 memperlihatkan bahwa sampel kopresipitasi dengan *ball milling* memiliki nilai induksi magnetik tertinggi dibandingkan sampel lainnya. Nilai induksi magnetik pada sampel kopresipitasi dengan *ball milling* 70 jam ketika dialiri arus listrik sebesar 1000 mA adalah 13,118 mT. Hal ini disebabkan karena sampel mengalami dua kali proses sintesis yaitu sintesis secara fisika dilakukan dengan menggunakan metode *ball milling* yaitu dengan memasukkan sampel hasil ISS dengan 16 bola besi berukuran 2 cm kedalam mesin penggiling dan diputar dengan kecepatan 200 rpm selama 70 jam dan secara kimia dilakukan dengan cara mencampurkan sampel dengan bahan-bahan kimia untuk dapat menghasilkan sampel dengan ukuran partikel yang lebih kecil. Hasil sintesis dengan menggunakan *ball milling* sendiri sudah

menghasilkan partikel berukuran kecil dengan nilai induksi magnetik yang cukup tinggi yaitu sebesar 12,964 mT. Pada sampel pasir alam sungai rokan menghasilkan nilai induksi magnetik yang cukup rendah yaitu 11,452 mT. Hal ini disebabkan oleh partikel magnetik yang terdapat pada sampel pasir alam masih sangat besar dan sampel masih tercampur dengan pasir yang tidak mengandung bahan magnetik.

Data dalam Tabel 1 diplot kembali dalam bentuk grafik untuk menampilkan perbandingan suseptibilitas magnetik total pada arus 1000 mA masing-masing sampel seperti terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik perbandingan nilai suseptibilitas magnetik setiap sampel pada arus 1000 mA.

Berdasarkan Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai suseptibilitas magnetik pada sampel pasir alam sangat rendah yaitu $1,27 \times 10^{-2}$. Dimana nilai tersebut hanya satu per dua belas dari nilai suseptibilitas magnetik pada sampel kopresipitasi dengan *ball milling* yaitu sampel yang melalui dua metode sintesis (*ball milling* dan kopresipitasi). Hal ini disebabkan karena

kandungan magnetik yang terdapat pada sampel pasir alam sungai rokan sangat sedikit sehingga berakibat pada rendahnya nilai induksi magnetik dan berdampak kepada hasil perhitungan nilai suseptibilitas magnetik. Pada sampel hasil *ball milling* 70 jam, nilai suseptibilitas magnetik yang diperoleh adalah $7,84 \times 10^{-2}$. Nilai suseptibilitas magnetik

produk *ball milling* 70 jam dapat meningkat sebesar 64,785% jika sampel di sintesis kembali menggunakan metode kopresipitasi. Sedangkan pada produk kopresipitasi tanpa *ball milling*, nilai suseptibilitas dapat meningkat sebesar 22,689% jika sampel sebelum disintesis menggunakan metode kopresipitasi, sampel terlebih dahulu di *ball milling*.

Tabel 2. Hasil identifikasi komposisi kimia pada produk *ball milling* 70 jam menggunakan XRF.

Unsur	Kosentrasi (%)	Senyawa Oksida	Kosentrasi (%)
Si	57,894	SiO ₂	67,177
Fe	15,023	Fe ₂ O ₃	8,286
Al	12,251	Al ₂ O ₃	14,262
Ca	5,996	CaO	3,611
K	2,964	K ₂ O	1,580
Mg	2,032	MgO	2,242
Ti	1,737	TiO ₂	1,190
P	1,064	P ₂ O ₅	1,123
Ag	0,532	Ag ₂ O	0,255
Mn	0,296	MnO	0,15
Unsur lain	0,211	Senyawa oksida lain	0,124

Komposisi Kimia pada Sampel

Karakterisasi menggunakan XRF diperlukan pada penelitian ini untuk dapat mengidentifikasi kandungan bahan kimia yang terkandung pada masing-masing sampel. Hasil identifikasi akan digunakan untuk mengetahui keterkaitan antara kandungan bahan kimia pada sampel terhadap nilai induksi magnetik dan nilai suseptibilitas magnetik. Hasil identifikasi komposisi bahan kimia pada setiap sampel dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan data pada Tabel 2 terlihat pada produk *ball milling* 70 jam terdapat unsur dan senyawa oksida yang beragam. Elemen yang terkandung dalam produk *ball milling* 70 jam teridentifikasi berupa elemen atau unsur yang mengandung magnetik dan non magnetik. Unsur yang mengandung elemen magnetik antara lain Fe (besi), Al (aluminium), Ca (kalsium), Ti (titanium), Ag (argentum), K (kalium), Mg (magnesium) dan Mn (mangan). Sedangkan unsur yang mengandung elemen non magnetik antara lain Si (silikon) dan P (fosfor). Pada produk hasil *ball milling* 70 jam, kandungan Si baik pada unsur maupun senyawa

oksidanya sangat mendominasi adalah yaitu sebesar 57,894% pada unsur dan 67,177% pada senyawa oksida. Hal ini yang menyebabkan hasil pengukuran nilai induksi magnetik dan perhitungan suseptibilitas magnetik cukup rendah pada produk *ball milling* 70 jam, karena produk hasil *ball milling* masih didominasi oleh unsur yang mengandung elemen non magnetik yaitu berupa silikon.

Berdasarkan data pada Tabel 3, produk hasil kopresipitasi tanpa *ball milling* juga mengandung elemen magnetik dan elemen non magnetik didalamnya. Elemen magnetik yang terkandung antara lain Fe, Al, Ca, Ti, Ag, K, dan Mn. Sedangkan elemen yang mengandung elemen non magnetik antara lain Si dan P. Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa elemen-elemen magnetik mendominasi diantaranya seperti Fe sebesar 54,152%, Al sebesar 24,86% dan elemen-elemen magnetik lainnya. Sementara itu, elemen non magnetik hanya terdapat sebesar 1,279% berupa Si dan 1,294% berupa P. Kandungan elemen magnetik yang tinggi pada suatu bahan akan menyebabkan peningkatan nilai induksi magnetik dan suseptibilitas magnetik pada bahan tersebut.

Hal ini yang menyebabkan nilai induksi magnetik dan suseptibilitas magnetik pada produk kopresipitasi tanpa *ball milling* menjadi

lebih tinggi dibandingkan produk *ball milling* 70 jam.

Tabel 3. Hasil identifikasi komposisi kimia pada kopresipitasi tanpa *ball milling* menggunakan XRF.

Unsur	Kosentrasi (%)	Senyawa Oksida	Kosentrasi (%)
Fe	54,152	Fe ₂ O ₃	46,046
Al	24,86	Al ₂ O ₃	34,349
Cl	5,786	ClO	3,969
Ca	5,664	CaO	5,190
Ti	3,741	TiO ₂	3,997
Si	1,279	SiO ₂	1,930
P	1,294	P ₂ O ₅	2,074
Ag	0,949	Ag ₂ O	0,681
K	0,618	K ₂ O	0,495
Mn	0,652	MnO	0,511
Unsur lain	1,005	Senyawa oksida lain	0,758

Tabel 4. Identifikasi komposisi kimia pada kopresipitasi dengan *ball milling* menggunakan XRF.

Unsur	Kosentrasi (%)	Senyawa Oksida	Kosentrasi (%)
Fe	64,504	Fe ₂ O ₃	58,41
Al	17,404	Al ₂ O ₃	24,755
Cl	6,359	ClO	4,567
Ca	3,912	CaO	3,775
Ti	2,914	TiO ₂	3,285
P	1,104	P ₂ O ₅	1,849
Ag	1,069	Ag ₂ O	0,805
Mn	0,840	MnO	0,698
Si	0,399	SiO ₂	0,628
K	0,364	K ₂ O	0,306
Unsur Lain	1,131	Senyawa Oksida lain	0,750

Berdasarkan data pada Tabel 4 terlihat bahwa elemen magnetik kembali mendominasi didalam kandungan produk kopresipitasi dengan *ball milling* 70 jam. Elemen magnetik pada produk kopresipitasi dengan *ball milling* 70 jam seperti Fe meningkat jika dibandingkan dengan produk kopresipitasi tanpa *ball milling* dan produk *ball milling* 70 jam. Elemen Fe pada produk kopresipitasi dengan *ball milling* 70 jam meningkat 10,352% jika dibandingkan dengan elemen Fe pada produk kopresipitasi tanpa *ball milling* dan meningkat pesat sebesar 49,481% jika dibandingkan dengan *ball milling* 70 jam.

Sedangkan pada elemen non magnetik seperti silikon pada produk kopresipitasi dengan *ball milling* 70 jam mengalami penurunan sebesar 57,495% jika dibandingkan dengan produk *ball milling* 70 jam sedangkan jika dibandingkan dengan produk kopresipitasi

tanpa *ball milling*, kandungan Si masih mengalami penurunan walaupun sangat kecil yaitu sebesar 0,88% yang berarti produk kopresipitasi dengan *ball milling* 70 jam akan memiliki sifat kemagnetan yang lebih baik dibandingkan produk *ball milling* 70 jam maupun produk kopresipitasi tanpa *ball milling*. Hal ini sejalan dengan diperolehnya nilai induksi magnetik dan suseptibilitas magnetik pada produk kopresipitasi dengan *ball milling* yang meningkat pesat jika dibandingkan dengan produk hasil *ball milling* 70 jam dan meningkat cukup signifikan jika dibandingkan dengan produk kopresipitasi tanpa *ball milling*.

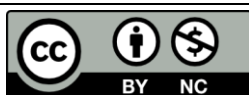
KESIMPULAN

Nilai induksi magnetik dipengaruhi oleh arus listrik sebagai fungsinya. Berdasarkan

pengukuran nilai induksi magnetik dan suseptibilitas magnetik saat diberikan arus sebesar 1000 mA pada produk ISS diperoleh sebesar 11,881 mT dan $5,1 \times 10^{-2}$ sedangkan pada produk hasil *ball milling* 70 jam diperoleh sebesar 12,194 mT dan $7,8 \times 10^{-2}$. Berdasarkan pengukuran nilai induksi magnetik dan suseptibilitas magnetik saat diberikan arus sebesar 1000 mA pada produk *ball milling* 70 jam diperoleh sebesar 12,194 mT dan $7,8 \times 10^{-2}$, pada produk kopresipitasi tanpa *ball milling* diperoleh sebesar 12,498 mT dan $10,5 \times 10^{-2}$ serta pada produk kopresipitasi dengan *ball milling* 70 jam diperoleh sebesar 12,768 mT dan $12,9 \times 10^{-2}$ dimana arus listrik sebagai fungsi dari nilai induksi magnetik dan suseptibilitas magnetik yang diperoleh. Berdasarkan hasil identifikasi bahan kimia menggunakan XRF, persentase unsur Fe pada setiap produk adalah 15,023% pada produk *ball milling* 70 jam, 54,152% pada produk kopresipitasi tanpa *ball milling* dan 64,504% pada produk kopresipitasi dengan *ball milling*.

REFERENSI

1. Ningsih, S. (2018). Potensi nanopartikel magnetit pasir besi Lampanah Aceh Besar melalui studi kajian teknik pengolahan, sintesis dan karakteristik struktur. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, **2**(1).
2. Purwanto, S., & Dani, M. (2017). Strukturmikro dan Sifat Magnet Pasir Besi Pasca Ultrasonifikasi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **19**(1), 14-18.
3. Tebriani, S. (2019). Analisis Vibrating Sample Magnetometer (VSM) pada Hasil Elektrodeposisi Lapisan Tipis Magnetite Menggunakan Aruscontinue Direct Current. *Natural Science Journal*, **5**(1), 724-725.
4. Burmeister, C. F., & Kwade, A. (2013). Process engineering with planetary ball mills. *Chemical Society Reviews*, **42**(18), 7660-7667.
5. Ningsih, S. K. W. (2016). Sintesis Anorganik. Padang: UNP Press.
6. Aygar, G., Kaya, M., Özkan, N., Kocabiyık, S., & Volkan, M. (2015). Preparation of silica coated cobalt ferrite magnetic nanoparticles for the purification of histidine-tagged proteins. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **87**, 64-71.
7. Malvern, A. (2012). Basic Guide to Particle Characterisation. *Malvern Instruments, Ltd.: Malvern, UK*.
8. Wijayanto, S. O., & Bayuseno, A. P. (2013). Analisis kegagalan material pipa ferrule nickel alloy n06025 pada waste heat boiler akibat suhu tinggi berdasarkan pengujian: mikrofografi dan kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*, **1**(4), 33-39.
9. Alisna, S., & Sinuraya, S. (2021). Pemetaan Suseptibilitas Magnetik dan Penentuan Kandungan Logam pada Air Gambut di Kelurahan Tuah Madani Kecamatan Tampan Pekanbaru. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 12-17.
10. Sinuraya, S., Amiruddin, E., Nurrohmah, D., & Wulandari, T. (2021). Analisa Perubahan Suseptibilitas Magnetik dan Komposisi Partikel Pasir Alam Sungai Rokan Sebagai Fungsi Kecepatan Putar Tabung Ball Milling. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(3), 225-229.



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