**SIFAT DENSITAS DAN KEMAGNETAN BARIUM FERIT
DARI PARTIKEL NANO $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$
YANG DISINTESIS MENGGUNAKAN METODE EMULSI MIKRO**

*Density and Magnetic Properties of Barium Ferrite
from $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ Nanoparticles*

Prepared by Microemulsion Method

Handoko Setyo Kuncoro, Naniek Sulistarihani,

Ria Julyana Manulang, Maulid Purnawan dan Ratih Resti Astari

Balai Besar Keramik, Jl. Jendral Ahmad Yani 392 Bandung 40272 Tlp: (022) 7206221

e-mail: keramik@bbk.go.id

Naskah masuk ... 2015, Revisi 1: ... 2015, Revisi 2: ... 2015, Diterima: ... 2015

ABSTRAK

Telah dilaksanakan penelitian tentang sifat densitas dan kemagnetan bahan keramik barium ferit dari partikel nano $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang disiapkan menggunakan metode emulsi mikro. Metode ini meliputi: proses pembuatan emulsi, mixing, aging, sentrifus, drying, grinding, dan kalsinasi (suhu $900\text{ }^{\circ}\text{C}$). Selanjutnya partikel nano hasil kalsinasi dikompaksi induksi dengan tekanan 300 kg/cm^2 . Bahan tersebut kemudian disinter pada suhu $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk mendapatkan keramik barium ferit. Indikasi terbentuknya partikel nano $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ telah dikonfirmasi menggunakan uji XRD dan TEM dengan ukuran partikel dibawah 100 nm . Sifat keramik barium ferit yang dihasilkan dalam penelitian ini telah dibandingkan dengan sifat produk yang disiapkan menggunakan metode metalurgi serbuk. Hasil pengujian densitas mengindikasikan kerapatan lebih tinggi untuk keramik dari metode emulsi mikro (yakni $5,3\text{ gr/ml}$). Hasil pengujian permagraf untuk induksi magnetik remanen $2,49\text{ kOe}$ dan produk energi maksimum $0,47\text{ MGOe}$ hal ini menunjukan nilai lebih sekitar $1,22\text{x}$ dan $1,47\text{x}$ dibanding keramik yang disiapkan dengan metode metalurgi serbuk.

Kata Kunci: Barium Ferit, emulsi mikro, partikel nano, densitas, sifat magnetik.

ABSTRACT

The density and magnetic properties of barium ferrite from $BaFe_{12}O_{19}$ Nanoparticles prepared by microemulsion method have been studied by comparing with the properties of micro-scaled $BaFe_{12}O_{19}$ prepared by metallurgical method. The preceding preparation consists of emulsification process, mixing, aging, centrifuging/separation, drying, grinding, and calcination at temperature of $900^{\circ}C$, which brings on the $BaFe_{12}O_{19}$ nanoparticles powder as its final product. Then, the obtained powders have been formed at compaction pressure of 200 Kg/cm^2 and sintered at temperature of $1100^{\circ}C$. The indications of formed $BaFe_{12}O_{19}$ nanoparticles have been confirmed via XRD and TEM testings which their dimension sizes are under 100 nm . Based on density measurements, the density of barium ferrite prepared by microemulsion method is higher than that of by metallurgical method (i.e. $5,3\text{ gr/ml}$). While, the permagraph examinations have indicated that both remanence magnetic induction (2.49 kOe) and maximum energy product values (0.47 MGOe) of barium ferrite prepared by microemulsion method are higher about 1.22 and 1.47 times, respectively.

Keywords: Barium ferrite, microemulsion, nanoparticles, density, magnetic properties.

I. PENDAHULUAN

Magnet permanen berbasis bahan ferit seperti barium ferit ($BaFe_{12}O_{19}$) telah banyak diaplikasikan dalam bidang industri khususnya bidang otomotif, telekomunikasi, pemroses data, elektronika, instrumentasi, manufaktur, industri pesawat terbang dan *biosurgical* [1]. Dengan berkembangnya teknologi material nano[2], pertanyaan apakah kualitas magnet keras (misalnya densitas dan sifat kemagnetannya) bergantung pada ukuran butiran serbuk bahan penyusunnya masih menjadi teka-teki saat

ini. Perubahan densitas produk keramik merupakan sifat penting bagi bahan magnet karena semakin padat bahan magnet akan menguatkan medan magnet yang ditimbulkan [3]. Densitas zat padat bisa ditingkatkan melalui usaha memperkecil ukuran pori atau rongganya [4] yang bisa dilakukan dengan mendesain ukuran butiran bahannya. Terlepas apakah pernyataan tersebut juga berlaku untuk dimensi ukuran butiran berskala nano meter, sementara ada dugaan bahwa ukuran butiran/partikel yang jauh lebih besar dari besar domain magnetiknya akan menurunkan performansi magnet keras [5]. Di sisi lain, khususnya untuk

persiapan bahan, banyaknya metode sintesis untuk nanosiasi bahan yang ada saat ini [6] juga memerlukan perhatian untuk pemilihannya.

Secara prinsip ada dua metode utama berbasis *template* yang digunakan untuk mensintesis bahan partikel padatan nano termasuk butiran/serbuk magnet keramik, yakni metode pengendali struktur kimiawi [7] dan metode pengendali morfologi [8]. Sintesis partikel nano dengan metode pengendali struktur kimiawi biasanya menghasilkan struktur nano bahan padatan yang lebih baik [9], tetapi dalam beberapa prosesnya memerlukan desain bahan *template* yang rumit (susah) sehingga dipandang tidak mudah. Sedangkan sintesis dengan metode pengendali morfologi, contohnya seperti metode emulsi mikro, meskipun sifat struktur nano yang diperoleh bukan yang memiliki presisi amat tinggi, tetapi dalam pengerjaannya lebih mudah dan lebih efisien [8]. Dalam prakteknya, pembuatan padatan (seperti partikel nano barium ferit) dengan metode kedua ini memerlukan bahan dasar pembuat *micelle* [10], yaitu sejenis unit kluster terkecil dari emulsi. Ukuran emulsi sekecil ini (emulsi mikro) diperlukan agar komponen-komponen pembentuk bahan magnet dapat saling berkolisi (bereaksi) baik ketika emulsi mengalami pencampuran (*mixing*). Umumnya, penyediaan bahan emulsi yang kecil (emulsi mikro) dilakukan dengan menggunakan jenis surfaktan tertentu [11]. Metode emulsi mikro adalah merupakan salah satu metode pengendali morfologi dengan emulsifikasi oleh bahan surfaktan dibantu dengan bahan ko-surfaktan dalam campuran fasa air dan minyak. Kelebihan metode ini selain kemudahan dalam proses sintesisnya juga memiliki pemrosesan yang lebih murah dengan kualitas yang baik [12]. Selain itu dalam penelitian ini telah digunakan bahan surfaktan lokal (tersedia di dalam negeri) untuk mengurangi biaya.

Walaupun metode emulsi mikro terlihat lebih ekonomis dan fisibel untuk proses industri terutama industri kecil dan menengah, sayangnya penelitian-penelitian yang berbasis metode ini masih jarang dilaksanakan di Indonesia sebagai negara yang sedang berkembang. Penelitian ini juga akan menguraikan persiapan sintesis partikel nano barium ferit dengan metode emulsi mikro beserta efek bahan yang disiapkan dengan metode ini terhadap sifat densitas dan kemagnetan produk akhirnya yakni magnet keramik barium ferit. Sehingga diharapkan artikel ini akan menggugah peneliti industri untuk mempertimbangkan metode emulsi mikro.

II. METODE PENELITIAN

Bahasan metode dalam penelitian ini hanya menguraikan persiapan sintesis partikel nano barium ferit menggunakan metode emulsi mikro, mulai dari pengenalan bahan-bahan yang digunakan hingga uraian proses-proses yang diperlukan untuk aktivitas sintesisnya. Sedangkan teknik metalurgi serbuk sebagai pembanding tidak diuraikan dalam artikel ini karena telah dibahas dalam penelitian sebelumnya.

Bahan-bahan utama dalam penelitian ini diantaranya: $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, surfaktan Polietilen sorbitol ester, n-hexanol, cyclohexane, dan aquades. Sedangkan peralatan proses yang digunakan terdiri atas: gelas dan tabung reaksi berskala, *heater magnetic stirrer*, sentrifus 4000 rpm, peralatan bantu separasi, *oven* pengering dan tungku listrik. Untuk karakterisasi bahan hasil kalsinasi dan sintering dilakukan dengan menggunakan instrumen pengujian: difraksi sinar-X (dari Tekmira Bandung), TEM, dan permagraph (dari LIPI Bandung).

Secara umum tahapan proses pembuatan sintesis partikel nano barium

ferit dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

o Proses pembuatan emulsi mikro 1 (bahan utama)

Pembuatan emulsi mikro 1 dilaksanakan dengan cara menuangkan secara perlahan larutan $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ dan $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ (fasa air) secara urut ke dalam Cyclohexane dan air suling (fasa minyak) yang dicampur emulsifier (surfaktan polietilen sorbitol ester dan ko-surfaktan n-hexanol). Komposisi fasa air, fasa minyak, emulsifier masing-masing adalah 20%, 40%, 40% *volume* secara urut. Proses pencampuran tersebut dibarengi dengan proses pengadukan untuk mempercepat terbentuknya emulsi. Salah satu indikasi sederhana terbentuknya campuran emulsi adalah terjadinya perubahan transparansi warna cairan dari emultan ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$) dan emulsifier (surfaktan, kosurfaktan) yang semula transparan setelah proses emulsifikasi menjadi tidak tembus pandang seperti ditunjukkan dalam gambar 1 berikutnya. Penelitian lain menggunakan cara yang lebih rumit dengan menggunakan ukuran konduktansi listrik dari emulsi yang terbentuk dimana saat fasa air bergeser ke fasa minyak diindikasikan dengan menurunnya konduktansi listrik cairan emulsi atau sebaliknya jika yang digunakan adalah emulsi mikro jenis air-dalam-minyak (w/o) [13].

o Proses pembuatan emulsi mikro 2 (bahan pencampur)

Pembuatan emulsi mikro 2 menggunakan perbandingan campuran surfaktan, ko-surfaktan, Cyclohexane dan air yang sama, tetapi kemudian dituangkan secara perlahan 20% komposisi larutan pengendap $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ sebagai fasa airnya. Dalam hal ini, baik emulsi mikro 1 maupun 2 menggunakan komposisi surfaktan 10% dari volume.

o Proses mixing (kolisi antara mikro emulsi)

Proses pencampuran (*mixing*) dilakukan dengan mengaduk (*stirring*) campuran emulsi mikro 2 ke dalam emulsi mikro 1. Dalam proses ini terjadi kolisi dan reaksi antar emulsi mikro, membukanya *micelle* emulsi mikro saat tumbukan ini seolah-olah terjadi emulsi mikro balik sehingga metode ini juga sering disebut sebagai metode emulsi mikro balik (*reverse microemulsion method*). Yang sebenarnya terjadi adalah saat 2 *micelle* atau lebih berdekatan, solven sebagai pemisah antar *micelle* terbuang dan kandungan *micelle-micelle* saling berdifusi sehingga melubangi dinding surfaktan yang berhadapan satu dengan yang lain. Akhirnya mereka bergabung membentuk *micelle* baru yang lebih besar sebagai reaktor-reaktor kimia dari gabungan isi-isi *micelle* sebelum kolisi. Dalam penelitian ini *micelle* yang lebih besar tersebut mengendap seperti ditunjukkan dalam gambar berikut.

Gambar 3. Hasil proses *mixing* emulsi mikro berupa endapan *micelle*

Sisa cairan mengapung diatas kumpulan *micelle* yang mengendap seperti terlihat dalam gambar 3. Karena ukurannya yang kecil reaksi dengan indikasi pengendapan ini memerlukan proses aging (penyempurnaan/pematangan/penuaan).

o Proses aging (reaksi pengendapan)

Proses *aging* bertujuan untuk mengendapkan *micelle* emulsi campuran barium dan ferri nitrat yang dibentuk. Lama waktu untuk proses aging sekitar 12 jam. Cairan bening bagian atas kemudian

dibuang menyisakan *micelle* campuran barium ferri nitrat.

o Proses sentrifus (separasi)

Separasi atau sedimentasi partikel nano barium ferit dilaksanakan oleh proses sentrifus dengan memanfaatkan gaya sentrifugal dari putaran alat sentrifus. Sisa air, ko-surfaktan dan *micelle* campuran barium ferri nitrat memisah lagi membentuk kolom-kolom dalam tabung gelas. Kemudian bahan padatan barium ferit dipisahkan dari cairan yang lain dengan peralatan bantu separasi seperti disedot dengan pipet (bisa manual bisa digital) dan disaring dengan kertas saring halus.

Gambar 4. Alat Sentrifus Sebagai Alat Separasi Cairan-emulsi

o Proses pengeringan

Proses pengeringan dilakukan menggunakan *oven* pengering dengan suhu 130°C. Pada suhu tersebut umumnya cairan-cairan non-karbon menguap. Untuk mengetahui keberhasilan proses pengeringan ini, bahan ditimbang secara kontinyu sehingga diperoleh berat bahan yang tidak berubah.

o Proses penghalusan

Setelah bebas dari air, bahan padatan yang kering tersebut digerus untuk mendapatkan serbuk halus

menggunakan mortar. Proses ini juga membantu menghambat penggumpalan bahan saat terjadi kristalisasi pada proses kalsinasi berikutnya.

o Proses kalsinasi.

Proses kalsinasi bertujuan untuk menghilangkan sisa karbon dari proses-proses sebelumnya. Pembentukan serbuk padatan barium ferit ditandai dengan terjadinya kristalisasi yang dipengaruhi oleh suhu pada proses kalsinasi. Kalsinasi dilakukan pada temperatur 900 °C ditahan selama 1 jam, kemudian pemanasan turun sampai suhu kamar dengan laju 40 °C/menit.

o Karakterisasi

Karakterisasi bahan keramik barium ferit dalam penelitian ini terbagi menjadi dua tujuan yakni untuk mengetahui hasil sintesis partikel nano barium ferit setelah kalsinasi (menggunakan uji XRD dan TEM) dan untuk mengetahui sifat kemagnetan dan kerapatan produk magnet keramik barium ferit (karakterisasi sifat kemagnetan menggunakan permagraf). Pengujian permagraf memberikan informasi tentang kurva histeresis magnet yang menunjukkan sifat remanen dan koersifitas produk magnet. Khusus untuk pengujian densitas dilaksanakan dengan pengukuran manual, yakni mengukur dimensi dan menimbang. Karakterisasi bahan baku sebelum proses pembentukan (*forming*) produk magnet keramik sangat penting untuk meyakinkan keberhasilan proses nanosiasi bahan barium ferit.

o Proses *forming*

Serbuk campuran yang diperoleh dari proses sebelumnya kemudian dihaluskan, ditimbang lalu dimasukkan dalam cetakan *stainless steel* untuk dipres. Cetakan dapat menekan dua arah, berdiameter 1 cm. Tekanan kompaksi yang digunakan adalah 200 kg/cm² ditahan sekitar 5 menit. Tekanan kompaksi 200 kg/cm² dipilih untuk

meminimalkan laminasi yang terjadi dan menghindari kerusakan dies cetakan pada tekanan yang lebih tinggi. Induksi magnetik diterapkan saat penekanan dilakukan untuk membantu pemadatan dan keseragaman struktur. Semua perlakuan dalam proses ini dan proses sintering berikutnya dibuat sama, baik untuk persiapan bahan dengan teknik metalurgi serbuk maupun teknik emulsi mikro yang diamati.

o Proses sintering

Sampel yang telah dibentuk lalu disinter dengan tungku listrik pada suhu 1100°C dengan waktu penahanan 45 menit. Pada proses sinter, benda padat terjadi karena terbentuk ikatan - ikatan panas menyebabkan bersatunya partikel dan efektivitas reaksi tegangan permukaan meningkat (panas mempengaruhi meningkatnya pertukaran partikel dalam daerah kontak butiran yang bisa mengikat butiran). Selanjutnya pendinginan bahan magnet dilakukan secara natural dengan mematikan tungku listrik. Karena pembakaran dengan suhu lebih tinggi misalnya 1200°C dalam tungku listrik menghasilkan sampel yang retak dan pecah, maka suhu sinter dipilih lebih rendah seperti tersebut sebelumnya [14].

o Proses akhir

Setelah proses sinter, dilakukan proses akhir dimana bahan magnet keramik kemudian dimagnetisasi dan diuji karakteristik kemagnetannya dengan alat uji permagraf. Sebuah pembandingan sebagai pengganti variasi penelitian telah diambil salah satu hasil percobaan penelitian sebelumnya [14], yakni berupa ukuran butiran partikel BaFe dari hasil sintesis menggunakan metode metalurgi serbuk. Perbandingan ini berfokus pada variasi ukuran butiran yakni untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat densitas beserta sifat magnetik dari produk akhir setelah dilakukan magnetisasi.

Tabel 1 Pembandingan Penelitian

	Metalurgi Serbuk	Emulsi Mikro
Ukuran Butiran	Struktur mikro (1-2 μm)	Struktur Nano (< 100 nm)

Meskipun nampak sederhana, pembandingan penelitian dalam Tabel 1 ini penting artinya dalam memberikan landasan untuk mengevaluasi perbaikan kualitas produk magnet keramik melalui selektivitas pemilihan proses pembuatan bahannya.

Evaluasi hasil sintesis difokuskan pada karakterisasi bahan baku setelah proses kalsinasi (dengan uji XRD dan TEM) dengan alasan memberikan keyakinan terbentuknya partikel nano barium ferit sebagai bukti keberhasilan proses nanosiasi bahan magnet keramik menggunakan metode emulsi mikro. Kemudian dilanjutkan dengan uji densitas dan sifat kemagnetan untuk menilai metode dengan kualitas produk terbaik dalam proses pembuatan magnet keramik dari bahan barium ferit.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Indikasi terbentuknya kristal-kristal oksida besi dan barium ferit bisa diperoleh dari hasil analisis uji XRD. Ukuran kolisi *micelle* (sebagai reaktor) yang sangat kecil menjadikan sebaran oksida barium dan oksida besi saling berdekatan yang akan menurunkan suhu pembentukan kristal barium ferit, sehingga pada saat kalsinasi harusnya sudah bisa terlihat terbentuknya kristal barium ferit dengan baik. Sebab itu dalam penelitian ini hanya dilakukan karakterisasi uji XRD setelah proses kalsinasi.

Analisis uji XRD yang digunakan berbasis pada standar *Joint Comitte on Powder Deffraction Standards* untuk FeO digunakan JCPDS# 86-2316 dan untuk BaFe₁₂O₁₉ digunakan JCPDS# 84-753). Pola difraktogram menunjukkan adanya

kristal FeO , BaFe_2O_4 dan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Fase $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ diindikasikan dengan puncak-puncak (*) pada sudut defraksi 2θ (theta) $30,36^\circ$ untuk bidang kristal (110), $32,32^\circ$ untuk bidang kristal (107), $34,17^\circ$ untuk bidang kristal (114), $37,13^\circ$ untuk bidang kristal (203), $40,34^\circ$ untuk bidang kristal (205), $55,18^\circ$ untuk bidang kristal (217),

$56,73^\circ$ untuk bidang kristal (2011) dan $63,13^\circ$ untuk bidang kristal (220). Sedangkan untuk sudut defraksi fase kristal FeO dan BaFe_2O_4 masing-masing dalam gambar ditandai dengan simbol (x) dan (o) secara berurutan, seperti ditunjukkan pada gambar berikut ini.

Gambar 5. Penampakan kristal FeO (+), BaFe_2O_4 (o) dan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (*) pada pola difraktogram XRD dari metode emulsi mikro untuk suhu kalsinasi 900°C

Adanya indikasi kuat adanya kristal barium ferit seperti terlihat dalam Gambar 5 tidak terlepas dari keberhasilan proses oksidasi selama kalsinasi. Suplai Oksigen yang cukup selama kalsinasi mengkonversi sebagian besar BaFe_2O_4 menjadi kristal heksagonal barium ferit. Penampakan kristal FeO dan BaFe_2O_4 dari pola difraksi X-Ray menunjukkan sedikit belum sempurnanya proses oksidasi $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ pada suhu 900°C . Namun demikian, intensitas tertinggi pada bidang (114) merupakan hasil yang sangat sesuai dengan data difraksi X-ray untuk bubuk $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ menggunakan persamaan *Debye-Scherrer*.

Hasil penelitian lain [15] memberikan gambaran kemungkinan terjadinya pembentukan BaFe_2O_4 dan magnetit oleh pengaruh komposisi dan suhu pembakaran seperti ditunjukkan Gambar 6 berikutnya. Karena percobaan menggunakan komposisi stoikiometrik sehingga terbentuknya BaFe_2O_4 akan menyisakan oksida-oksida besi yang lain.

Gambar 6. Peta suhu bakar dan komposisi pembentukan kristal-kristal barium ferit

Sebab itu dimungkinkan juga sedikit ketidak sempurnaan hasil kalsinasi pembentukan kristal FeO dipengaruhi oleh ketidaksesuaian komposisi akibat ketidak sempurnaan tumbukan antar *micelle* (gagal kolisi) sewaktu proses

emulsifikasi terjadi, sehingga merubah komposisi bahan utama Ba^{2+} dan Fe^{3+} dalam proses pencampurannya.

Pengujian TEM untuk partikel nano $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dari metode emulsi mikro dengan persiapan bahan menggunakan surfaktan polietilen sorbitol ester dilaksanakan di LPPT UGM. Analisis uji TEM ini digunakan untuk memeriksa sifat struktural bahan keramik magnet hingga level mendekati nanometer (misalnya memeriksa terbentuknya partikel nano).

Citra TEM seperti ditunjukkan Gambar 7 berikutnya mengindikasikan adanya partikel nano $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ untuk sampel yang diuji. Hasil penelitian ini menunjukkan keberhasilan pembuatan partikel nano barium ferit melalui teknik mikroemulsi, yang mana berpotensi untuk digunakan dalam dunia magnet keramik maju.

Pengujian densitas diukur pada keadaan STP. Hasil pengujian densitas untuk produk keramik magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan persiapan bahan menggunakan metode emulsi mikro adalah sekitar 5,3 gr/ml atau hampir 2 kali dari kepadatan yang bisa dicapai dengan metode metalurgi serbuk [14] (2,7 gr/ml). Hal ini juga menunjukkan bahwa nanosiasi ukuran butiran bahan magnet keramik akan menambah kepadatan produk magnet yang tersinter.

Gambar 7. Hasil uji TEM (A) butiran partikel nano barium ferit (B) indikasi kisi bahan magnet keramik barium ferit.

Pengujian permagraf akan membawa kita ke arah karakterisasi sifat-sifat kemagnetan dari produk magnet keramik barium ferit. Sifat-sifat kuat medan magnet diwakili oleh besaran B_r sedangkan sifat kepermanenan magnet keras diwakili oleh besaran H_c (perhatikan pada Gambar 8 di halaman berikutnya).

Gambar 8. Kurva histeresis remanen dan koersifitas magnet beserta penentuan titik P untuk menghitung BH_{max}

Performansi umum dari magnet itu sendiri diwakili oleh besaran BH_{max} .

Tabel 2 Hasil pengujian permagraf

B_r (kG)	H_cJ (kOe)	BH_{max} (MGOe)
1,48	2,49	0,47

Tabel 2. menunjukkan hasil analisis karakterisasi uji permagraf yang mewakili hasil metode emulsi mikro. Hasil ini menunjukkan terjadi perbaikan nilai B_r dan BH_{max} sebagai parameter penting sifat kemagnetan bahan terhadap penelitian sebelumnya menggunakan metode metalurgi serbuk [14], masing-masing sebesar 1,22x dan 1,47x secara urut. Hasil ini bahkan memiliki nilai BH_{max} lebih tinggi dari penelitian terbaru tentang *soft magnet* dengan bahan komposit BaFe-SiO₂ yakni sekitar 0,06 MGOe lebihnya, dan nilai B_r -nya hanya terpaut 0,17 kOe [16]. Hal ini wajar sekali karena umumnya *soft magnet* memiliki nilai B_r jauh lebih tinggi dari *permanent magnet*.

IV. KESIMPULAN

Keberhasilan sintesis partikel nano menggunakan metode emulsi mikro telah

dibuktikan dengan pengujian XRD dan TEM dimana pola-pola difraktogram XRD dan citra TEM mengindikasikan kuat keberadaan partikel nano bahan magnet keramik barium ferit. Berdasarkan hasil uji sifat densitas dan kemagnetannya bisa disimpulkan bahwa proses nanosiasi bahan bisa memperbaiki mutu kepadatan struktur (lebih padat 2x) dan kemagnetan dari produk magnet keramik (sekitar 1,22x dan 1,47x masing-masing untuk nilai B_r dan BH_{max}).

DAFTAR PUSTAKA

1. J. M. D. Coey, "Permanent magnet applications," *J. Magn. Magn. Mater.*, 248 [3] 441–456 (2002).
2. M. A. Malik, M. Y. Wani, dan M. A. Hashim, "Microemulsion method: A novel route to synthesize organic and inorganic nanomaterials. 1st Nano Update," *Arab. J. Chem.*, 5 [4] 397–417 (2012).
3. H. Shokrollahi dan K. Janghorban, "The effect of compaction parameters and particle size on magnetic properties of iron-based alloys used in soft magnetic composites," *Mater. Sci. Eng. B*, 134 [1] 41–43 (2006).

4. B. Jiang, Z. Wang, dan N. Zhao, "Effect of pore size and relative density on the mechanical properties of open cell aluminum foams," *Scr. Mater.*, 56 [2] 169–172 (2007).
5. C. Pereira, A. M. Pereira, C. Fernandes, M. Rocha, R. Mendes, M. P. Fernández-García, A. Guedes, P. B. Tavares, J. M. Grenèche, J. P. Araújo, dan C. Freire, "Superparamagnetic MFe_2O_4 ($M = Fe, Co, Mn$) nanoparticles: Tuning the particle size and magnetic properties through a novel one-step coprecipitation route," *Chem. Mater.*, 24 [8] 1496–1504 (2012).
6. C. X. Zhao, L. He, S. Z. Qiao, dan A. P. J. Middelberg, "Nanoparticle synthesis in microreactors," *Chem. Eng. Sci.*, 66 [7] 1463–1479 (2011).
7. T. Sato dan T. Kimura, "Preparation of $\langle 111 \rangle$ -textured $BaTiO_3$ ceramics by templated grain growth method using novel template particles," *Ceram. Int.*, 34 757–760 (2008).
8. A. K. Ganguly, A. Ganguly, dan S. Vaidya, "Microemulsion-based synthesis of nanocrystalline materials," *Chem. Soc. Rev.*, 39 [2] 474–485 (2010).
9. R. J. White, A. Fischer, C. Goebel, dan A. Thomas, "A Sustainable Template for Mesoporous Zeolite Synthesis," *J. Am. Chem. Soc.*, 136 [7] 2715–2718 (2014).
10. J. Eastoe, M. J. Hollamby, dan L. Hudson, "Recent advances in nanoparticle synthesis with reversed micelles," *Adv. Colloid Interface Sci.*, 128 [1] 5–15 (2006).
11. K. Y. Suh, Y. S. Kim, dan H. H. Lee, "Seed-mediated growth approach for shape-controlled synthesis of spheroidal and rod-like gold nanoparticles using a surfactant template," *Adv. Mater.*, 13 [18] 1389–1393 (2001).
12. L. H. Han, H. Liu, dan Y. Wei, "In situ synthesis of hematite nanoparticles using a low-temperature microemulsion method," *Powder Technol.*, 207 (1–3) 42–46 (2011).
13. J. N. Solanki dan Z. V. P. Murthy, "Controlled size silver nanoparticles synthesis with water-in-oil microemulsion method: A topical review," *Ind. Eng. Chem. Res.*, 50 [22] 12311–12323 (2011).
14. Handoko Setyo Kuncoro, Ratih Resti Astari, Retno Manik Dumilah, "Pengaruh Komposisi Bahan, Tekanan Kompaksi dan Suhu Sintering pada Struktur Mikro dan Sifat Magnetik Keramik Barium Ferit," *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*, 23 [1] 13–25 (2014).
15. H. F. Levin, E.M.; McMurdie, "Phase diagrams for ceramists, 1975 supplement," in American Ceramic Society, 1975.
16. Masno Ginting, Perdamean Sebayang, dan Nasrudin M N, "Fabrication and Characterization of Soft Composite Magnet", *Jurnal Teknologi Indonesia*, 38 [3] (2015).