

SINTESIS MAGNETIT DARI LIMBAH TAMBANG BAUKSIT MENGUNAKAN TEMPLAT *CETYLTRIMETHYLAMMONIUMBROMIDE*

Syaila Nurhayati¹, Anis Shofiyani^{1*}, Titin Anita Zaharah¹

¹⁾ Program Studi S2 Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura
Jl. Prof. Hadari Nawawi, Pontianak, Kalimantan Barat 78124

E-mail: anis.shofiyani@chemistry.untan.ac.id

Received : 30 September 2020; revised : 5 Oktober 2021; accepted : 14 Oktober 2021

ABSTRAK

SINTESIS MAGNETIT DARI LIMBAH TAMBANG BAUKSIT MENGGUNAKAN TEMPLAT *CETYLTRIMETHYLAMMONIUMBROMIDE*. Red mud dari tailing bauksit memiliki komposisi unsur besi cukup tinggi, yang memungkinkannya dijadikan bahan dasar sintesis magnetit. Pada penelitian ini dilakukan sintesis magnetit dari red mud dengan metode kopresipitasi menggunakan reagen pengendap NH_4OH . Untuk mengontrol distribusi ukuran partikel yang dihasilkan, digunakan templat *cetyltrimethylammoniumbromide* (CTAB) dengan konsentrasi 0, 1 dan 2 mM. Karakterisasi magnetit hasil sintesis dilakukan menggunakan metode spektrofotometri inframerah (FTIR), difraksi sinar-X (XRD), pemindaian dengan mikroskop elektron (SEM), dan analisis ukuran partikel (PSA). Hasil penelitian memperlihatkan keberhasilan sintesis magnetit, yang dikonfirmasi melalui spektrum FTIR dan XRD. Vibrasi gugus Fe-O oktahedral dan tetrahedral dari magnetit (Fe_3O_4) dikarakterisasi melalui bilangan gelombang sekitar 420 cm^{-1} dan 550 cm^{-1} pada spektrum FTIR, yang didukung oleh data XRD pada nilai $2\theta = 30,29$; $36,15$ dan $63,55$, masing-masing untuk bidang kristal (220), (311) dan (440) dari kristal magnetit. Hasil PSA menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi CTAB menurunkan rata-rata ukuran partikel dan nilai indeks polidispersi (PI) partikel magnetit. Hal tersebut mengindikasikan terjadinya peningkatan homogenitas dispersi partikel dalam larutan. Namun, nilai PI yang dihasilkan masih relatif tinggi ($>1,68$) yang diperkirakan akibat terjadinya aglomerasi. Hal tersebut dikonfirmasi melalui hasil SEM yang memperlihatkan aglomerasi pada morfologi permukaan magnetit.

Kata kunci : sintesis, magnetit, limbah tambang bauksit

ABSTRACT

SYNTHESIS OF MAGNETITE FROM BAUXITE RED-MUD TAILINGS USING *CETYLTRIMETHYLAMMONIUMBROMIDE* TEMPLATE . Red mud from bauxite tailings has a high composition of iron, which can be potentially utilized as a source of magnetite synthesis. In this paper, we reported the synthesis of magnetite from red-mud, which was carried out via co-precipitation method using NH_4OH as precipitating agent. The *cetyltrimethylammoniumbromide* (CTAB) templates with a concentration of 0, 1, and 2 mM were used to control the distribution of particle size. Characterization was conducted using infrared spectrophotometry (FTIR), X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and particle size analysis (PSA). The results showed the success of magnetite synthesis, which was confirmed by FTIR spectrum and XRD. The vibrations of the octahedral and tetrahedral Fe-O groups of magnetite were characterized by wave numbers of about 420 cm^{-1} and 550 cm^{-1} , which were supported by XRD data at a 2θ of 30.29 ; 36.15 and 63.55 indexed to (220), (311) and (440) planes, respectively. The PSA results revealed that increasing of CTAB concentration decreased the average of particle size, and the polydispersion index (PI) of the magnetite particles. This indicates an increase in the homogeneity of the particle dispersion. However, the PI values were still relatively high (>1.68) which is probably due to agglomeration. This outcomes were confirmed by SEM results showing agglomeration in the surface morphology of the materials.

Key words : synthesis, magnetite, bauxite tailings

PENDAHULUAN

Magnetit (Fe_3O_4) merupakan senyawa hematite dan maghemite. Magnetite memiliki besi oksida yang memiliki sifat kemagnetan karakteristik keras, tahan terhadap panas, tahan terhadap zat kimia, dan mempunyai tahanan jenis paling tinggi diantara oksida besi lain seperti

listrik yang tinggi (Sholiha, 2010). Berdasarkan sifat yang dimilikinya tersebut, magnetit banyak diaplikasikan dalam bidang rekayasa lingkungan (Shirinova et al. 2016 ; Blaney and Blaney 2007), adsorben polutan berbahaya (Wang et al. 2012 ; Yavuz et al. 2010), aplikasi biomedis (Daoush 2017), toner pada mesin printer (Ataeefard, Ghasemi, and Ebadi 2014), ferrofluida (Lin, Lee, and Chiu 2005), bidang mekano-elektrik (Blaney and Blaney 2007), dan kegunaan-kegunaan yang lainnya.

Magnetit dapat disintesis melalui berbagai metode, diantaranya kopresipitasi (Daoush 2017; Salviano et al. 2018), hidrotermal (Wang et al. 2012 ; Sun et al. 2009), dekomposisi termal (Ermawati and Ratnawati 2011), sol-gel (Takai et al. 2019), elektrokimia (Aliahmad et al. 2016), metode plasma termal (Koushika et al. 2018), dan lain-lain. Diantara metode tersebut, metode kopresipitasi banyak dikembangkan karena parameter prosesnya relatif mudah dikontrol dan dapat dilakukan pada suhu kamar.

Pada penelitian-penelitian terkini, sintesis material banyak diarahkan untuk mendapatkan partikel dalam ukuran orde nano. Hal tersebut berkaitan dengan perluasan sifat material yang dimiliki, diantaranya perubahan warna, kekuatan mekanis, sifat konduktivitas, magnetisasi serta peningkatan sifat fisik dan reaktivitasnya (Juber and Khairurrijal 2008). Berbagai teknik sintesis dilakukan untuk mendapatkan nanopartikel, diantaranya dengan mengintroduksi energi microwave (Holland and Yamaura 2009), sonokimia (Aliramaji, Zamanian, and Sohrabijam 2015), kontrol perlakuan kimia (Salviano et al. 2018), atau dengan penggunaan senyawa yang berfungsi sebagai templat atau mediator dalam reaksi sintesis nano material (Nursa, Puryanti, and Budiman 2016 ; Khoshnevisan et al. 2012 ; Juber and Khairurrijal 2008).

Sintesis nanopartikel magnetit menggunakan berbagai jenis templat telah banyak dilaporkan, diantaranya oleh Lin, et al (2005). Lin et al. mendeskripsikan bahwa ukuran nano magnetit dalam ferrofluida dapat dikontrol menggunakan templat dari jenis oligomer asam poli akrilat (PAA). PAA disebutkan mampu mempercepat terjadinya nukleasi dan menghambat laju pertumbuhan partikel magnetit, sehingga dihasilkan ukuran partikel yang kecil (< 10 nm). PAA juga memberikan efek tolakan sterik dan tolakan elektrostatik yang mencegah terjadinya agregasi partikel hasil sintesis. Penggunaan polimer jenis yang lain yakni poli etilen glikol (PEG) dilaporkan oleh Nursa et al. (2016). Penelitian tersebut melaporkan bahwa berat molekul (BM) PEG berpengaruh terhadap ukuran kristal magnetit hasil sintesis. Semakin

tinggi BM PEG, semakin kecil dan semakin tinggi homogenitas ukuran kristal yang dihasilkan. Magnetit yang dihasilkan mempunyai rentang ukuran kristal sebesar 19-21 nm. Penggunaan templat dari jenis polisakarida untuk sintesis magnetit dikaji oleh Sun et al. (2009). Sukrosa dilaporkan mempunyai kemampuan sebagai agen bifungsional yakni sebagai agen pereduksi untuk membuat fasa magnetit dari prekursor $FeCl_3$, sekaligus sebagai *coating agent* untuk mencegah pertumbuhan kristal dan aglomerasi dengan cara mengkhelat ion logam. Partikel yang dihasilkan bersifat monodispersi dengan ukuran 4-16 nm. Penelitian lain dengan memanfaatkan templat jenis surfaktan CTAB untuk sintesis nanomagnetit dilaporkan oleh Khoshnevisan et al. (2012). Hasil sintesis magnetit memperlihatkan bahwa CTAB efektif menurunkan ukuran partikel magnetit dan meningkatkan dispersi partikelnya didalam larutan. Partikel yang dihasilkan mempunyai ukuran 16,25 nm.

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan di atas umumnya menggunakan prekursor dari bahan kimia yang mempunyai kemurnian tinggi, namun tentu saja dapat diperoleh dengan harga yang relatif mahal. Salah satu sumber magnetit yang melimpah dan belum banyak dieksplorasi adalah limbah dari proses penambangan bauksit, yang dikenal sebagai *red mud*. Karakteristik *red mud* berupa limbah padat, berwarna merah kecoklatan dan mempunyai pH yang sangat tinggi. Karena sifat kebasahan serta jumlahnya yang sangat besar, penyimpanan dalam jangka waktu lama mengakibatkan terbentuknya *landfill*, yang berpotensi mencemari lingkungan serta air tanah (Qi 2021). Komposisi utama *red mud* adalah besi oksida, alumina, silika, kalsium oksida dan jenis mineral lainnya dalam jumlah minor, tergantung karakteristik dari bahan bijih bauksit di tambangnya (Suprpto and Kisnawati 2016; Qi 2021). Tingginya komposisi besi oksida dalam limbah *red mud* merupakan sumber yang potensial dikembangkan untuk sintesis magnetit.

Sintesis nanopartikel magnetit menggunakan templat jenis surfaktan telah banyak dipublikasikan, namun sintesis magnetit menggunakan templat CTAB dari bahan baku *red mud* industri bauksit relatif belum banyak dilakukan. Adanya pengotor dalam komposisi bahan dasar diperkirakan akan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap reaksi, karakteristik, dan kemurnian magnetit hasil sintesis jika dibandingkan menggunakan bahan kimia dengan kemurnian yang tinggi.

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk melakukan sintesis magnetit (Fe_3O_4) dari *red mud*

tailing bauksit dengan mempelajari pengaruh templat CTAB terhadap karakteristik material yang dihasilkan. Penggunaan templat CTAB dimaksudkan untuk mengontrol ukuran serta distribusi partikel magnetit. Pemanfaatan bahan baku yang bersumber dari limbah tidak saja berdampak terhadap peningkatan nilai tambah dari bahan tersebut, namun potensi hasil yang ditawarkan diharapkan mampu memberikan kontribusi positif terhadap perkembangan teknologi material di Indonesia.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Semua bahan kimia yang digunakan mempunyai derajat kemurnian p.a. Bahan-bahan tersebut antara lain adalah HCl (Merck), NH₄OH 25% (Merck), *cetyltrimethylammoniumbromide* (CTAB) (Sigma), dan akuades.

Bahan baku untuk sintesis magnetit menggunakan *red mud* yang diambil dari lokasi limbah tambang bauksit PT. *Indonesia Chemical Alumina* (ICA) di Kecamatan Tayan, Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat. Sampel *red mud* berbentuk serbuk padat, berwarna merah kecoklatan, dan mempunyai alkalinitas yang sangat tinggi (pH 10-14).

Metode

Preparasi sampel *red mud*

Red mud dicuci menggunakan air mengalir dan dikeringkan di bawah sinar matahari hingga kering. Sampel selanjutnya dihaluskan dan diayak menggunakan saringan 200 mesh untuk memperluas permukaan kontak sehingga proses ekstraksi besi pada tahap berikutnya dapat berlangsung lebih efektif. Untuk mengetahui komposisi unsur dalam sampel, dilakukan analisis menggunakan alat x-ray fluoresensi (XRF Panalytical Epsilon 1).

Sintesis Fe₃O₄ dari sampel *red mud*



Gambar 1. Sampel *red mud* awal (kiri) dan hasil preparasi (kanan)

Sintesis Fe₃O₄ dilakukan mengacu pada penelitian Nursa, Puryanti, and Budiman (2016). Sebanyak 20 g sampel serbuk *red mud* direaksikan dengan 40 mL larutan HCl pekat (12 M) pada suhu 90°C sambil diaduk selama 60 menit. Hasil pengadukan dituangkan ke dalam corong yang ditutup dengan kertas saring, dan dibiarkan menetes sampai cairan habis. Ke dalam filtrat ditambahkan larutan CTAB dengan variasi konsentrasi 0, 1 mM dan 2 mM. Selanjutnya, ditambahkan 50 mL NH₄OH 25% dan diaduk dengan cepat sampai nilai pH larutan mencapai 10-11. Untuk menghindari terjadinya reaksi oksidasi, sistem dijaga dibawah atmosfer nitrogen dengan cara mengalirkan gas nitrogen hingga menyentuh larutan dan terbentuk gelembung. Pengadukan dilanjutkan selama 45 menit hingga terbentuk endapan.

Endapan dicuci beberapa kali menggunakan aquades dan kemudian dipanaskan dalam oven selama 1 jam dengan suhu 80°C, dilanjutkan kalsinasi dengan 300°C selama 3 jam untuk menghilangkan templat CTAB dan zat-zat pengotor volatil lainnya. Serbuk hasil kalsinasi dikarakterisasi menggunakan spektrofotometri inframerah dengan metode pelet KBr (FTIR Perkin Elmer Spectrum IR Version 10.6.1), difraksi sinar-X dengan CuK α 1.54060 Å pada 40.0 kV and 40.0 mA (XRD Bruker D8 advance), mikroskop elektron (SEM JEOL JSM-6510LA) dan analisis ukuran partikel (PSA Horiba SZ-100).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil XRF untuk menentukan komposisi unsur penyusun sampel *red mud* ditampilkan pada Tabel 1. Data XRF dari sampel hasil preparasi memperlihatkan kandungan besi oksida yang cukup tinggi yakni sebesar 72,72%. Hal tersebut menjadikan sampel *red mud* sebagai sumber potensial untuk sintesis magnetit.

Tabel 1. Komposisi unsur penyusun red-mud bauksit dengan metode XRF

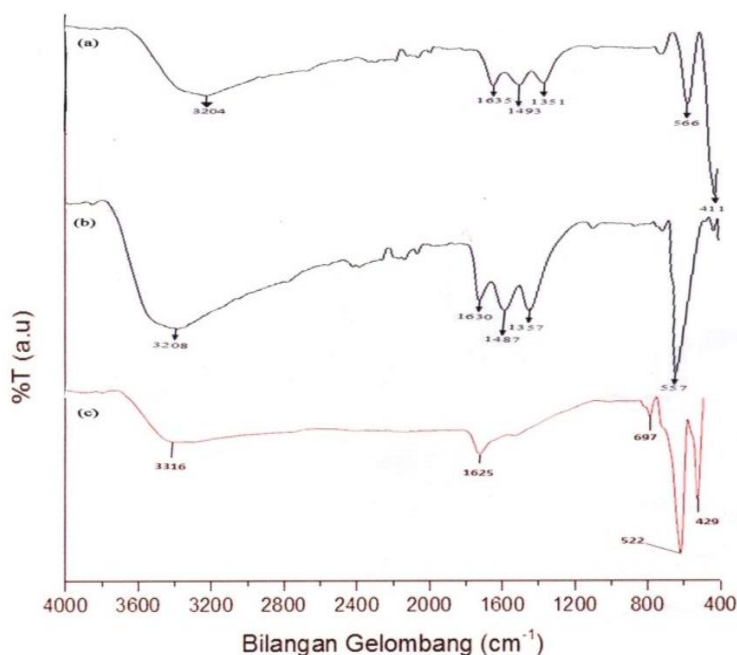
Unsur	Persen berat relatif (%)	Oksida	Persen berat relatif (%)
Al	6.73	Al ₂ O ₃	9.74
Si	4.77	SiO ₂	7.73
P	0.28	P ₂ O ₅	0.48
S	0.25	SO ₃	0.47
Cl	0.32	Cl	0.24
Ca	3.88	CaO	3.88
Ti	4.04	TiO ₂	4.73
Fe	79.72	Fe ₂ O ₃	72.72

Sintesis magnetit dilakukan menggunakan metode kopresipitasi. Komponen besi dalam sampel *red mud* terlebih dahulu dilarutkan dalam HCl pekat, kemudian diendapkan menggunakan basa NH₄OH pada pH 10. Penggunaan gas nitrogen pada saat reaksi berlangsung bertujuan untuk mencegah ion-ion besi agar tidak teroksidasi sehingga didapatkan magnetit dengan kemurnian yang tinggi. Hal tersebut dikarenakan pada kondisi tekanan atmosfer, ion-ion besi mudah teroksidasi oleh udara membentuk Fe₂O₃.

Variabel yang dipelajari pada penelitian ini adalah penggunaan templat CTAB terhadap karakteristik magnetit hasil penelitian. CTAB merupakan jenis surfaktan yang salah satu ujung bagian kepalanya mengandung gugus hidrofilik (gugus amonium), dan bagian ujung lainnya atau ekor mengandung gugus hidrofobik (rantai karbon yang tersusun atas gugus setil). Ujung

rantai CTAB yang bersifat hidrofilik akan menempel pada permukaan koloid magnetit dan ujung yang bersifat hidrofobik akan bebas, sehingga terbentuk semacam membran yang membatasi pertumbuhan partikel lebih lanjut. Dalam hal ini, CTAB digunakan sebagai pengarah struktur (templat) dalam sintesis magnetit. Adanya pelapisan CTAB pada permukaan koloid akan mengontrol pertumbuhan partikel sehingga diharapkan dihasilkan ukuran partikel magnetit yang kecil. CTAB selanjutnya dilepaskan dari struktur magnetit melalui proses kalsinasi pada temperatur 300°C, yang mengubah senyawa-senyawa organik menjadi gas CO₂, H₂O dan NO₂.

Karakterisasi terhadap magnetit hasil sintesis dilakukan secara spektrofotometri FTIR, XRD dan SEM. Hasilnya masing-masing disajikan melalui Gambar 2, 3 dan 4.



Gambar 2. Spektrum FTIR magnetit hasil sintesis pada konsentrasi CTAB (a) 0, (b) 1, dan (c) 2 nM

Spektrum FTIR dari hasil sintesis menunjukkan daerah serapan khas magnetit (Fe_3O_4) masing-masing pada 522 cm^{-1} , 557 cm^{-1} , 566 cm^{-1} dan 411 cm^{-1} , 420 cm^{-1} , 429 cm^{-1} . Dua bilangan gelombang tersebut merupakan daerah serapan karakteristik untuk ikatan logam dengan oksigen, dalam hal ini adalah gugus Fe-O. Bilangan gelombang sekitar 420 cm^{-1} dan 550 cm^{-1} dikarakterisasi sebagai vibrasi Fe-O dari Fe_3O_4 , masing-masing pada posisi oktahedral dan tetrahedral (Seshadri, Thotapalli, and Santhosh Kumar 2014). Adanya dua puncak vibrasi yang ditunjukkan oleh Fe-O berkaitan dengan perbedaan panjang ikatan molekul dari dua posisi atom yang berbeda. Dua puncak serapan tersebut menandai terbentuknya struktur spinel dari magnetit hasil sintesis (Aliramaji, Zamanian, and Sohrabijam 2015). Serapan pada daerah 3300 cm^{-1} dan 1620 cm^{-1} merupakan karakteristik *stretching* dan *bending* dari gugus -OH, diduga berasal dari molekul air yang terserap pada permukaan magnetit. Puncak-puncak serapan gugus C-H yang menandai keberadaan CTAB tidak terlihat pada Gambar 2.b dan 2.c, mengindikasikan bahwa proses kalsinasi telah berhasil menghilangkan templat CTAB dari material magnetit hasil sintesis.

Data XRD material hasil sintesis (Gambar 3.b dan 3.c) mengonfirmasi terbentuknya mineral magnetit, sesuai ICDD nomor referensi 01-076-2950. Puncak-puncak khas magnetit ditunjukkan melalui sudut 2θ pada 30.29° , 36.15° , 43.68° , 57.95° , dan 63.58° masing-masing terkait dengan bidang kristal [220], [311], [400], [511] dan [440]. Material magnetit yang dihasilkan mempunyai struktur kristal kubik dengan *space group* Fd3m dan nilai $a = b = c = 8,3198\text{ \AA}$ (ICDD Nomor 01-076-2950).

Pada Gambar 3.c, selain puncak-puncak khas magnetit, dijumpai juga puncak-puncak difraksi pada $2\theta = 33.16^\circ$ [104], 49.39° [024], dan 54.21° [116] yang terkait dengan bidang kristal mineral hematit (Fe_2O_3) (ICDD Nomor 01-089-0597). Munculnya pengotor hematit pada hasil sintesis diperkirakan karena kekurang-sempurnaan dalam mengisolasi sistem reaksi, sehingga masih terdapat oksigen dalam larutan yang belum sepenuhnya terusir oleh gas inert N_2 . Keberadaan gas O_2 memicu terjadinya reaksi oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} yang ditandai dengan

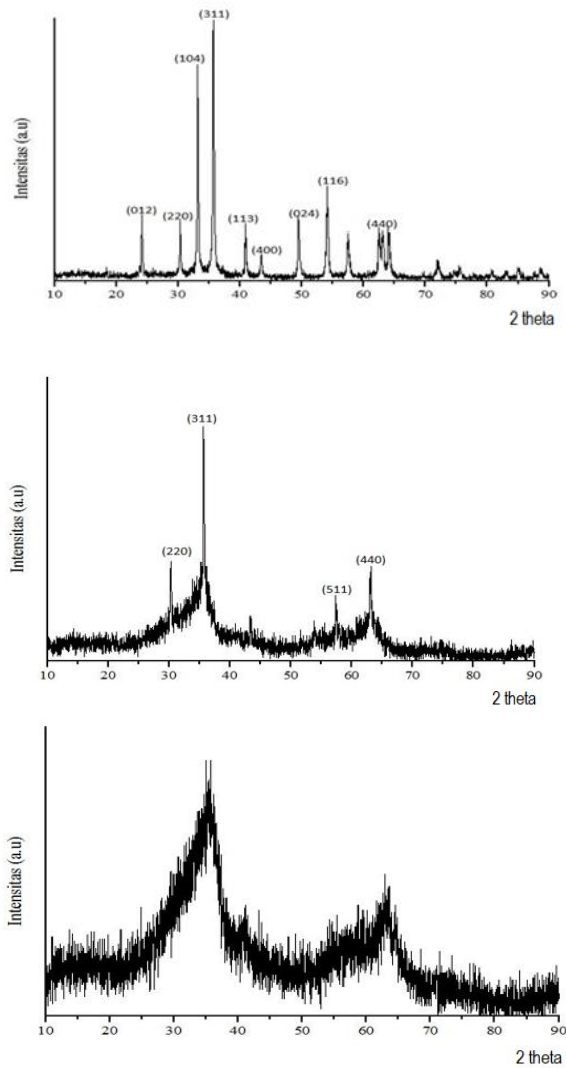
pembentukan hematit sebagai campuran magnetit pada material hasil sintesis.

Hasil XRD memperlihatkan bahwa magnetit hasil sintesis merupakan campuran fasa kristal dan amorf. Pola XRD dari magnetit yang disintesis tanpa templat CTAB (Gambar 2.a) memperlihatkan fasa amorf yang relatif besar, yang ditandai dengan puncak difraksi yang cenderung melebar (Aliramaji, Zamanian, and Sohrabijam 2015). Data kristalinitas pada Tabel 2 memperlihatkan bahwa semakin tinggi konsentrasi CTAB yang digunakan, derajat kristalinitas magnetit yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini menunjukkan peran surfaktan CTAB yang bertindak sebagai agen pengarah dalam kristalisasi dan pertumbuhan partikel magnetit selama proses sintesis (Mohammad et al. 2018). Pada konsentrasi yang lebih besar dari titik kritis misel CTAB, yaitu 0,9 mM (Goronja et al. 2016), terjadi penataan secara mandiri (*self-assembly*) dari misel-misel tersebut membentuk struktur yang menjadi pengarah pada sintesis kristal magnetit. Templat diperkirakan terlibat dalam kontrol laju nukleasi, sehingga inti-inti kristal mempunyai kesempatan untuk menata diri dan tumbuh membentuk struktur kristal yang lebih teratur. Semakin besar konsentrasi CTAB, jumlah templat yang terbentuk untuk sintesis magnetit dimungkinkan bertambah, sehingga jumlah kristal magnetit yang dihasilkan juga meningkat. Pada penelitian ini, kristalinitas magnetit yang disintesis menggunakan templat CTAB 2 mM mempunyai nilai yang hampir 2x lipat dari konsentrasi 1 mM, yakni sebesar 73.4%.

Tabel 2. Hasil analisis data XRD magnetit

Konsentrasi templat CTAB (nm)	Jenis mineral	Kristalinitas* (%)
0	magnetit	34.9
1	magnetit	42.8
2	magnetit hematit	73.4

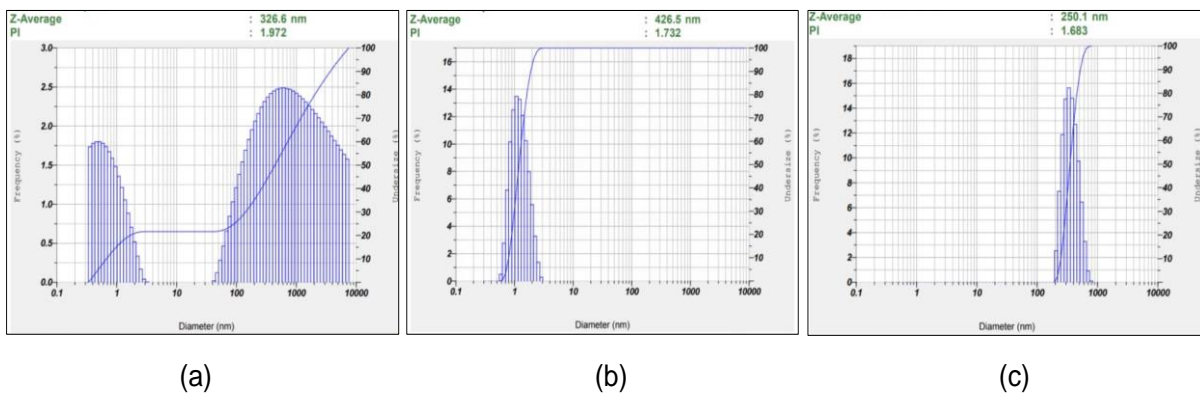
* Persen kristalinitas ditentukan berdasarkan perbandingan intensitas difraksi kristal dengan intensitas hamburan amorf, dihitung secara langsung oleh perangkat lunak pada instrumen XRD yang digunakan.



Gambar 3. Difraktogram magnetit hasil sintesis pada konsentrasi CTAB (a) 0, (b) 1, dan (c) 2 mM

Selain berpengaruh terhadap kristalinitas, templat CTAB juga berpengaruh terhadap distribusi ukuran partikel magnetit yang dihasilkan. Hal tersebut terlihat dari hasil analisis

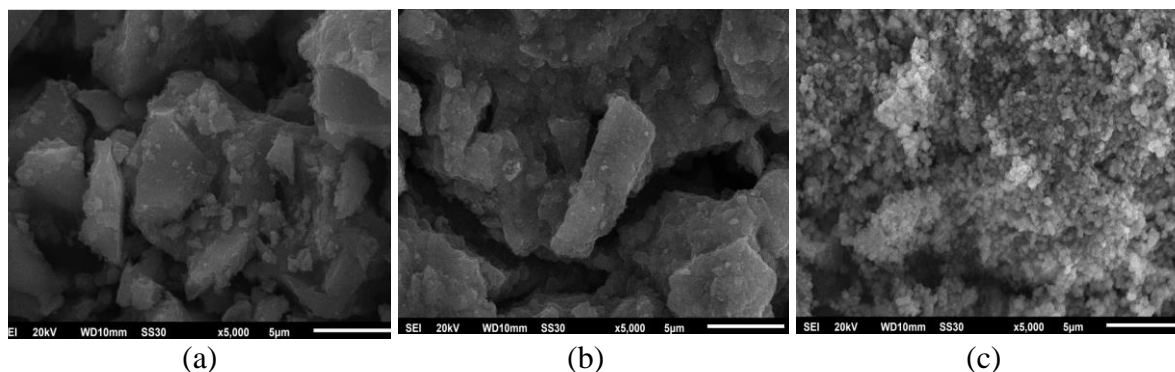
ukuran partikel menggunakan metode *dynamic light scattering* (DLS) yang disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil analisis ukuran partikel magnetit pada konsentrasi CTAB (a) 0, (b) 1, dan (c) 2 mM

Distribusi ukuran partikel magnetit yang disintesis tanpa templat (*CTAB* 0 mM) menunjukkan pola rentang ukuran partikel yang sangat luas. Terdapat 2 spektrum, yakni distribusi partikel berukuran kecil (0,5–5 nm), namun juga dijumpai distribusi ukuran partikel yang sangat besar (50–10.000 nm). Meskipun mempunyai rata-rata ukuran partikel yang relatif kecil (326 nm), namun indeks polidispersinya cukup tinggi (1.972) karena heterogenitas ukuran partikel yang sangat beragam. Di sisi lain, Gambar 4.b dan 4.c masing-masing memperlihatkan distribusi ukuran partikel yang relatif lebih sempit (homogen) dibandingkan Gambar 4.a. Penggunaan templat *CTAB* 1 mM menghasilkan rata-rata ukuran partikel sebesar 426.5 nm dengan PI sebesar 1.752, dan penggunaan templat *CTAB* 2 mM menghasilkan rata-rata ukuran partikel 250.2 nm dengan PI sebesar 1.683. Semakin besar konsentrasi templat *CTAB*, semakin kecil rata-rata ukuran partikel magnetit

dan indeks polidispersi yang dihasilkan. Dari data tersebut dapat dinyatakan bahwa templat *CTAB* berkontribusi dalam pengurangan ukuran partikel dan dispersi partikel pada sintesis magnetit. Membran dari templat akan menjadi pembatas ukuran partikel dan lebih lanjut akan memproteksi partikel dari proses aglomerasi atau penggumpalan (Juber and Khairurrijal 2008). Berbagai hasil penelitian juga melaporkan bahwa penggunaan surfaktan *CTAB* dalam sintesis material anorganik terbukti dapat menurunkan ukuran kristal material hasil sintesis (Dewi et al. 2019; Khalid et al. 2013; Singh et al. 2011). Namun demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata ukuran partikel yang dihasilkan relatif masih besar dengan sifat polidispersitas yang masih tinggi. Hal tersebut diduga karena masih terjadinya aglomerasi partikel pada tahap sintesis. Indikasi ini juga konsisten dengan data SEM yang ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. SEM magnetit hasil sintesis pada konsentrasi *CTAB* (a) 0, (b) 1, dan (c) 2 mM

Morfologi permukaan magnetit pada Gambar 5 memperlihatkan aglomerasi atau gumpalan-gumpalan partikel dengan ukuran dan distribusi yang tidak homogen. Aglomerasi sangat dimungkinkan terjadi karena sifat feromagnetik sangat besar yang dimiliki oleh Fe_3O_4 . Tiap-tiap partikel Fe_3O_4 cenderung mendekat satu sama lain akibat gaya magnet yang dimiliki sehingga terbentuk aglomerat atau kumpulan-kumpulan partikel dalam jumlah besar. Dari Gambar 5.c terlihat bahwa penggunaan konsentrasi *CTAB* 2 mM memperlihatkan ukuran partikel dan aglomerasi yang relatif lebih kecil dibandingkan Gambar 5.a dan 5.b. Hal tersebut konsisten dengan hasil PSA yang menunjukkan

bahwa ukuran partikel dan nilai PI untuk penggunaan templat *CTAB* 2 mM lebih kecil dibandingkan penggunaan *CTAB* 0 dan 1 mM. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan membuat rentang konsentrasi *CTAB* lebih lebar untuk mendapatkan data yang lebih komprehensif tentang pengaruh konsentrasi templat *CTAB* terhadap distribusi ukuran partikel pada sintesis magnetit. Untuk mengurangi tingkat aglomerasi, perlu dikaji penggunaan metode kombinasi templat dan introduksi energi eksternal (radiasi *microwave* atau ultrasonikasi) sehingga didapatkan partikel magnetit dengan sifat dispersi yang homogen.

KESIMPULAN

Red mud dari tambang bauksit merupakan bahan baku yang potensial dikembangkan untuk sintesis magnetit. Sintesis dengan menggunakan templat *CTAB* dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan partikel magnetit berukuran kecil

dengan dispersi yang lebih homogen. Konsentrasi *CTAB* 2 mM memberikan kristalinitas, ukuran dan dispersi partikel magnetit yang lebih baik dibandingkan konsentrasi 1 mM atau tanpa menggunakan templat *Red mud* dari limbah tambang bauksit merupakan bahan baku yang potensial dikembangkan untuk sintesis

magnetit. Sintesis dengan menggunakan templat CTAB mampu menghasilkan partikel magnetit berukuran kecil dengan dispersi yang lebih homogen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada manamejen PT. *Indonesia Chemical Alumina* (ICA), Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat yang telah memfasilitasi dengan baik pengambilan sampel *fresh red mud* dari lokasi tambang PT ICA sebagai bahan baku yang digunakan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aliahmad, Mousa, Abbas Rahdar, Fardin Sadeghfar, Samira Bagheri, and Mohammad Reza Hajinezhad. 2016. "Synthesis and Biochemical Effects of Magnetite Nanoparticle by Surfactant-Free Electrochemical Method in an Aqueous System: The Current Density Effect." *Nanomedicine Research Journal* 1 (1): 39–46. <https://doi.org/10.7508/NMRJ.2016.01.006>.
- Aliramaji, S., A. Zamanian, and Z. Sohrabijam. 2015. "Characterization and Synthesis of Magnetite Nanoparticles by Innovative Sonochemical Method." *Procedia Materials Science* 11: 265–69. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.11.022>.
- Ataefard, Maryam, Ebrahim Ghasemi, and Mona Ebadi. 2014. "Effect of Micro- and Nanomagnetite on Printing Toner Properties." *The Scientific World Journal* 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/706367>.
- Blaney, Lee, and Lee Blaney. 2007. "Lehigh Preserve Magnetite (Fe₃O₄): Properties, Synthesis, and Applications." *Lehigh Review* 15: 33–81.
- Daoush, Walid M. 2017. "Co-Precipitation and Magnetic Properties of Magnetite Nanoparticles for Potential Biomedical Applications." *Journal of Nanomedicine Research* 5 (3): 3–8. <https://doi.org/10.15406/jnmr.2017.05.00118>.
- Dewi, Widya Puspita, Tanti Haryati, Yudi Aris Sulistiyo, Novita Andarini, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika, Pengetahuan Alam, Universitas Jember Unej, and Jln Kalimantan. 2019. "Variasi Penambahan CTABr Sebagai Template Terhadap Pembentukan TiO₂ Anatase Dari Senyawa Natrium Titanat Dan Aplikasinya Sebagai Fotokatalis (Variation of CTABr as a Template for the Formation of TiO₂ Anatase from Natrium Titanate Compound and Aplicati." *Berkala Sainstek* VII (2): 43–48.
- Ermawati, Rahyani, and Emmy Ratnawati. 2011. "Sintesis Nanopartikel Magnetit Dengan Metode Dekomposisi Termal." *Jurnal Kimia Dan Kemasan* 33 (1): 96. <https://doi.org/10.24817/jkk.v33i1.1834>.
- Goronja, Jelena M., Aleksandra M. Janošević Ležaić, Biljana M. Dimitrijević, Anđelija M. Malenović, Dragomir R. Stanisavljev, and Nataša D. Pejić. 2016. "Determination of Critical Micelle Concentration of Cetyltrimethyl-Ammonium Bromide: Different Procedures for Analysis of Experimental Data." *Hemijaska Industrija* 70 (4): 485–92. <https://doi.org/10.2298/HEMIND150622055G>.
- Holland, Helber, and Mitiko Yamaura. 2009. "Synthesis of Magnetite Nanoparticles by Microwave Irradiation and Characterization." *Powder Technology*, no. Ptech: 434–42.
- Juber, Nirmin, and Khairurrijal Khairurrijal. 2008. "Review: Sintesis Nanomaterial Review: Sintesis Nanomaterial." *Jurnal Nanosains & Nanoeknologi* 1 No. 2: 33–57.
- Khalid, M., M. Mujahid, S. Amin, R. S. Rawat, A. Nusair, and G. R. Deen. 2013. "Effect of Surfactant and Heat Treatment on Morphology, Surface Area and Crystallinity in Hydroxyapatite Nanocrystals." *Ceramics International* 39 (1): 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.05.090>.
- Khoshnevisan, Kamyar, Mohammad Barkhi, Davood Zare, Daryoush Davoodi, and Meisam Tabatabaei. 2012. "Preparation and Characterization of CTAB-Coated Fe₃O₄ Nanoparticles." *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic and Nano-Metal Chemistry* 42 (5): 644–48. <https://doi.org/10.1080/15533174.2011.614997>.
- Koushika, E. M., G. Shanmugavelayutham, P. Saravanan, and C. Balasubramanian. 2018. "Rapid Synthesis of Nano-Magnetite by Thermal Plasma Route and Its Magnetic Properties." *Materials and Manufacturing Processes* 33 (15): 1701–7. <https://doi.org/10.1080/10426914.2018.1453163>.
- Lin, Chia Lung, Chia Fen Lee, and Wen Yen Chiu. 2005. "Preparation and Properties of Poly(Acrylic Acid) Oligomer Stabilized Superparamagnetic Ferrofluid." *Journal of Colloid and Interface Science* 291 (2): 411–20. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.05.023>.
- Mohammad, N. F., R. Othman, A. A. Abdullah, and F. Y. Yeoh. 2018. "Effect of Surfactant

- Concentrations on Pore Characteristics of Mesoporous Carbonated Hydroxyapatite Prepared by Soft-Templating Hydrothermal Method." *International Journal of Nanoelectronics and Materials* 11 (November): 59–70.
- Nursa, Irfan, Dwi Puryanti, and Arif Budiman. 2016. "Pengaruh Polietilen Glikol (PEG) Terhadap Ukuran Partikel Magnetit (Fe₃O₄) Yang Disintesis Dengan Menggunakan Metode Kopresipitasi." *Jurnal Fisika Unand* 5 (3): 209–13. <https://doi.org/10.25077/jfu.5.3.209-213.2016>.
- Qi, Yancun. 2021. "The Neutralization and Recycling of Red Mud-a Review." *Journal of Physics: Conference Series* 1759 (1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1759/1/012004>.
- Salviano, Luciana Barbosa, Thays Michelle da Silva Cardoso, Gabriela Cordeiro Silva, Maria Sylvia Silva Dantas, and Angela de Mello Ferreira. 2018. "Microstructural Assessment of Magnetite Nanoparticles (Fe₃O₄) Obtained by Chemical Precipitation under Different Synthesis Conditions." *Materials Research* 21 (2): 2–8. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2017-0764>.
- Seshadri, Srividya, Sastry Thotapalli, and Baskar Santhosh Kumar. 2014. "Synthesis and Characterization of a Novel Bone Graft Material Using Biphasic Calcium Phosphate Casein Chitosan with the Extracts of *Coriandrum Sativum*." *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 6 (5): 358–61.
- Shirinova, Habiba, Luca Di Palma, Fabrizio Sarasini, Jacopo Tirillò, Mahammadali A. Ramazanov, Flora Hajiyeva, Diana Sannino, Massimiliano Polichetti, and Armando Galluzzi. 2016. "Synthesis and Characterization of Magnetic Nanocomposites for Environmental Remediation." *Chemical Engineering Transactions* 47: 103–8. <https://doi.org/10.3303/CET1647018>.
- Singh, L. P., S. K. Bhattacharyya, G. Mishra, and S. Ahalawat. 2011. "Functional Role of Cationic Surfactant to Control the Nano Size of Silica Powder." *Applied Nanoscience (Switzerland)* 1 (3): 117–22. <https://doi.org/10.1007/s13204-011-0016-1>.
- Sun, Xiaohong, Chunming Zheng, Fuxiang Zhang, Yali Yang, Guangjun Wu, Aimin Yu, and Naijia Guan. 2009. "Size-Controlled Synthesis of Magnetite (Fe₃O₄) Nanoparticles Coated with Glucose and Gluconic Acid from a Single Fe(III) Precursor by a Sucrose Bifunctional Hydrothermal Method." *Journal of Physical Chemistry C* 113 (36): 16002–8. <https://doi.org/10.1021/jp9038682>.
- Suprpto, Suprpto, and Retty Kisnawati. 2016. "Pemisahan Alumina Pada Residu Bauksit (Red Mud) Yang Berasal Dari Riau Dengan Metode Sintering Sodalime." *Jurnal Sains Dan Seni ITS* 5 (2): 160–63. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v5i2.19633>.
- Takai, Zakiiyyu I, Mohd K Mustafa, Saliza Asman, and Khairunnadim A Sekak. 2019. "Preparation and Characterization of Magnetite (Fe₃O₄) Nanoparticles By Sol-Gel Method" 12 (1): 37–46.
- Wang, Lixia, Jianchen Li, Qing Jiang, and Lijun Zhao. 2012. "Water-Soluble Fe₃O₄ Nanoparticles with High Solubility for Removal of Heavy-Metal Ions from Waste Water." *Dalton Transactions* 41 (15): 4544–51. <https://doi.org/10.1039/c2dt11827k>.
- Yavuz, Cafer T., J. T. Mayo, Carmen Suchecki, Jennifer Wang, Adam Z. Ellsworth, Helen D' Couto, Elizabeth Quevedo, et al. 2010. "Pollution Magnet: Nano-Magnetite for Arsenic Removal from Drinking Water." *Environmental Geochemistry and Health* 32 (4): 327–34. <https://doi.org/10.1007/s10653-010-9293-y>.