



Studi Pengaruh Temperatur Kalsinasi dalam Pembentukan Nanomagnetit dengan Metode Green Synthesis Ekstrak Daun Nanas

Panji¹, Hizkia Alpha Dewanto², Ashadi Sasongko³, Fitriyatul Qulub⁴, Yunita Triana⁵, Ade Wahyu Yusariarta Putra Parmita^{6*}

^{1256*}Program Studi Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia

³Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia

⁴Program Studi Teknik Biomedis, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia.

Corresponding Author: adewahyu27@lecturer.itk.ac.id

Received: 29/August/2023

Accepted: 31/August/2023

Revised: 31/August/2023

Published: 31/August/2023

To cite this article:

Panji., Dewanto, H. A., Sasongko, A., Qulub, F., Triana, Y & Parmita, A. W. Y. P (2023). Studi Pengaruh Temperatur Kalsinasi dalam Pembentukan Nanomagnetit dengan Metode Green Synthesis Ekstrak Daun Nanas. *SPECTA Journal of Technology*, 7(2), 584 - 592. [10.35718/specta.v7i2.940](https://doi.org/10.35718/specta.v7i2.940)

Abstract

In synthesizing Fe_3O_4 nanoparticles using the green synthesis method by adding $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ and pineapple leaf extract. Pineapple leaf extract is used as a natural reducing agent which contains hydroxyl and carbonyl, which acts as a reducing agent for the synthesized $FeCl_3 \cdot 6H_2O$. Then after the precipitate is obtained, calcination will be carried out, where the calcination temperature in the synthesis becomes a factor in forming Fe_3O_4 nanoparticles. Different calcination temperatures of 400°C, 450°C, and 500°C were given to prepare Fe_3O_4 nanoparticles, with the XRD test results confirming that Fe_3O_4 nanoparticles were formed. In the SEM-EDX test, the optimum variation is 400°C because the average particle size is 150.23 nm with irregular particle shapes. Then proceed with the SAA results with a surface area of 60.125 m²/g. Nanomagnetite produced by green synthesis of pineapple leaf extract can be used as a removal dyes.

Keywords: Calcination, Nanomagnetite, Green Synthesis

Abstrak

Pada proses sintesis nanopartikel Fe_3O_4 menggunakan metode green synthesis dengan menambahkan $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dan ekstrak daun nanas. Ekstrak daun nanas digunakan sebagai reduktor alami dimana memiliki kandungan hidroksil dan karbonil, yang bertindak sebagai agen pereduksi $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ yang disintesis. Kemudian setelah presipitat didapatkan maka selanjutnya akan dilakukan kalsinasi. Dimana temperatur kalsinasi dalam sintesis menjadi faktor dalam pembentukan nanopartikel Fe_3O_4 . Temperatur kalsinasi yang berbeda yaitu 400°C, 450°C dan 500°C diberikan untuk preparasi nanopartikel Fe_3O_4 , dengan hasil uji XRD terkonfirmasi bahwa nanopartikel Fe_3O_4 terbentuk. Pada pengujian SEM-EDX variasi yang optimum adalah 400°C karena rata-rata ukuran partikelnya 150,23 nm dengan bentuk partikel tidak beraturan. Kemudian dilanjutkan hasil SAA dengan luas permukaan 60,125 m²/g. Nanomagnetit yang dibentuk dengan green synthesis ekstrak daun nanas, berpotensi untuk dijadikan katalis zat warna.

Kata Kunci : Kalsinasi, Nanomagnetit, Green Synthesis

1. Latar Belakang

Perkembangan industri terutama industri tekstil di Indonesia mengalami peningkatan, dibuktikan dari data kemenprin.go.id yang menunjukkan jumlah industri tekstil tahun 2019 selama triwulan III meningkat sebesar 15,08%. Akan tetapi peningkatan ini juga memiliki dampak buruk terutama untuk lingkungan dikarenakan limbah tekstil banyak yang dibuang langsung ke sungai. Limbah yang secara langsung dibuang ke lingkungan akan menurunkan kualitas air karena limbah tekstil khususnya zat warna sangat sulit terdegradasi secara alami sehingga akan menyebabkan kematian atau cacat pada organisme akuatik (Pratiwi, 2018), dan menyebabkan kualitas tanah pertanian yang dialiri air tercemar menjadi menurun yang mengakibatkan gagal panen (Komarawidjaja, 2017). Selain berdampak buruk pada lingkungan, zat warna pada limbah tekstil juga berdampak buruk pada manusia, limbah tekstil mengandung senyawa kimia yang membahayakan kesehatan manusia mulai dari gatal pada kulit, terganggunya pernafasan, pencernaan, dan kanker (Citrapancayudha, 2016).

Ada beberapa metode yang dapat diimplementasikan untuk mendegradasi limbah tekstil yaitu elektrolisis (Rohayati, 2017) dan bioremediasi (Primanandi, 2018). Namun terdapat kekurangan pada metode elektrolisis yaitu membutuhkan anoda, katoda dan sumber listrik dalam prosesnya, serta menghasilkan produk degradasi yang menempel pada anoda dan katoda (Yew, 2018). Sedangkan pada metode bioremediasi terdapat kekurangan yaitu waktu yang dibutuhkan untuk mendegradasi tergolong lama karena keberadaan mikroba polutan hanya 10% dan dibutuhkannya media inkubasi, sehingga nutrisi yang kurang akan menghasilkan degradasi yang tidak maksimal (Melati, 2020). Penggunaan nanopartikel merupakan solusi dari permasalahan-permasalahan tersebut dan nanopartikel juga sedang marak-maraknya diteliti karena memiliki luas permukaan yang tinggi dan efisien (Bishnoi, 2018), dalam mendegradasi limbah tekstil terutama limbah zat warna (Xu, 2012).

Nanopartikel dari oksida besi seperti hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan magnetit (Fe_3O_4) memiliki potensi untuk mendegradasi zat pewarna (Saharan, 2014; Ferreira, 2019). Keunggulan nanomagnetit dari senyawa-senyawa oksida besi lainnya adalah sifat feromagnetiknya yang dapat menyerap gelombang elektromagnetik melalui mekanisme magnetik, terutama terhadap atom logam multivalen atau ion paramagnetik, kapasitas adsorpsi baik dan stabilitas kimia baik dalam larutan (Paramarta, 2017). Terdapat beberapa metode untuk pembentukan nanomagnetit salah satunya yang paling aman atau *environment friendly* yaitu dengan metode *green synthesis* (Singh, 2018).

Green synthesis memiliki kelebihan ramah lingkungan, biaya murah dan membutuhkan energi yang tidak terlalu tinggi (Raveendran, 2003). Dibandingkan dengan metode fisika penguapan dan laser ablasi membutuhkan biaya tinggi dan proses yang cukup panjang dan metode kimia melalui reduksi garam logam dengan agen pereduksi kuat, sehingga berpotensi berbahaya bagi lingkungan baik karena toksisitas reagen atau produk samping dari reaksi (Danieal, 2004; Li, 2014). Dimana *green synthesis* membutuhkan zat ekstrak alami sebagai pengganti pereduksi kimia sintetis seperti daun pohon atau buah-buahan. Salah satunya adalah daun nanas karena mengandung banyak senyawa fitogenik dengan sifat farmakologis (Rahman, 2018). Selain itu, daun nanas merupakan limbah yang belum banyak dimanfaatkan, namun keberadaannya melimpah, terutama di Kalimantan Timur. Ekstrak kasar daun, batang dan buah nanas diketahui mengandung senyawa asam amino, flavonoid, protein dan karbohidrat (Hartati, 2020). Untuk ekstrak tanaman berfungsi sebagai *reducing agents* (Emmanuel, 2017), *capping agent* (Bukhari, 2021) dan *stabilizing agents* (Awan, 2018).

Hal inilah yang melatarbelakangi penelitian mengenai pembuatan nanomagnetit dengan menggunakan metode *green synthesis* dari limbah daun nanas. Dengan tujuan agar bisa digunakan menjadi katalis yang mampu mendegradasi zat warna limbah tekstil.

2. Metode

2.1. Material

Adapun material yang digunakan dalam penelitian ini meliputi daun nanas didapatkan dari perkebunan nanas di Kabupaten Kutai Kartanegara, Indonesia; Ferric Chloride Hexahydrate ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) merek

EMSURE 99%, Natrium Hidroksida (NaOH) merek Merck, dan hidrogen peroksida 30% (H₂O₂) merek Sigma Aldrich. Pengujian yang dilakukan menggunakan beberapa peralatan dan lokasi seperti *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) merk Nova Touch LX-4 di Institut Teknologi Kalimantan, *X-ray Diffraction* (XRD) merk Bruker type D8 Advance di Institut Teknologi Kalimantan, *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Surface Area Analyzer* (SAA) merk Nova Touch LX-4 di Institut Teknologi Kalimantan.

2.2. Prosedur

2.2.1 Preparasi ekstrak daun nanas



Gambar 1: Preparasi ekstrak daun nanas

Daun nanas yang telah dikumpulkan lalu dicuci bersih dan dipotong-potong kemudian dihaluskan menggunakan blender. 20 gr daun nanas dicampur dengan 200 ml aquades dan direbus pada temperatur 50°C selama 3 jam untuk mendapatkan ekstrak. Kemudian larutan didinginkan pada temperatur ruang (25°C) dan disaring menggunakan kertas saring.

2.2.2 Sintesis nanopartikel Fe₃O₄ menggunakan daun nanas



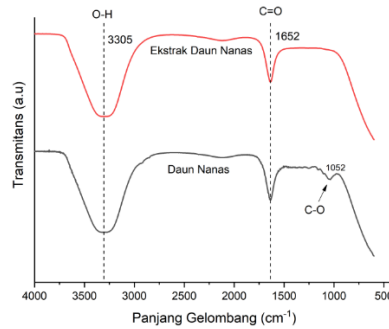
Gambar 2: Proses sintesis nanopartikel Fe₃O₄

5,4 gr FeCl₃.6H₂O dicampur ke dalam 200 ml aquades. Kemudian larutan diaduk menggunakan magnetic stirrer untuk mendapatkan larutan yang homogen. Setelah itu, tambahkan 20 ml larutan ekstrak daun nanas secara perlahan sampai warna larutan berubah menjadi coklat tua yang merupakan indikasi awal terbentuknya nanopartikel magnetit dan larutan diaduk menggunakan magnetic stirrer 450 rpm pada temperatur 60°C selama 120 menit. Kemudian 1 M NaOH dicampurkan ke dalam larutan tersebut hingga mendapatkan pH 12 dan warna larutan menjadi gelap. Setelah itu diperoleh endapan dan disaring sebanyak 3 kali. Endapan kemudian di oven selama 2 jam, dan dikalsinasi dengan variasi temperatur kalsinasi 400, 450 dan 500°C selama 2 jam.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

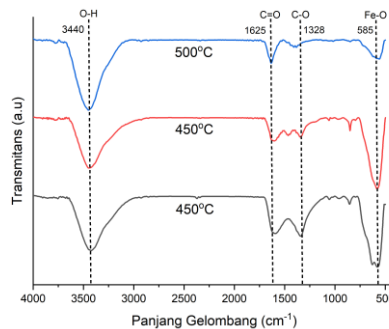
Gambar 1 menunjukkan daun nanas dan ekstrak daun nanas memiliki puncak terbesar yaitu 3350 cm⁻¹ yang merupakan gugus fungsi hidroksil (Nga, 2022), juga didapatkan gugus karbonil dengan puncak 1652 cm⁻¹ (Kamaru, 2015). Ada juga puncak terkecil, yaitu 1052 cm⁻¹, yaitu C–O (Han, 2010). Di mana gugus fungsi karbonil dan hidroksil telah ditemukan, mereka mampu mereduksi prekursor (FeCl₃.6H₂O) yang membentuk kristal nanopartikel Fe₃O₄.



Gambar 3: Hasil Karakterisasi FTIR dari Ekstrak Daun Nanas dan Daun Nanas

Berdasarkan hasil uji FTIR nanopartikel Fe_3O_4 yang ditunjukkan pada Gambar 2, didapatkan puncak yang memiliki kemiripan dengan hasil FTIR ekstrak daun nanas seperti pada Gambar 1, dimana puncak pada panjang gelombang 3440 cm^{-1} merupakan O-H gugus fungsi hidroksil (Chollakup, 2015) yang terdapat pada ekstrak daun nanas. Sedangkan puncak 1625 cm^{-1} diidentifikasi sebagai C=O (karbonil) (Ismail, 2015). Dengan berhasilnya ekstraksi daun nanas didapatkan senyawa karbonil dan hidroksil sebagai *reducing agents*, *capping agent* dan *stabilizing agents* maka proses *green synthesis* dapat dilakukan untuk menciptakan Fe_3O_4 .

Ada juga puncak pada Panjang gelombang 1328 cm^{-1} yang diidentifikasi sebagai C-O (Han, 2010). Pada hasil pengujian FTIR ini juga terdapat puncak pada panjang gelombang 585 cm^{-1} yang teridentifikasi sebagai Fe-O (Dirgayanti, 2021). Karena berdasarkan penelitian gugus fungsi Fe-O ditandai pada panjang gelombang $500\text{-}610 \text{ cm}^{-1}$.



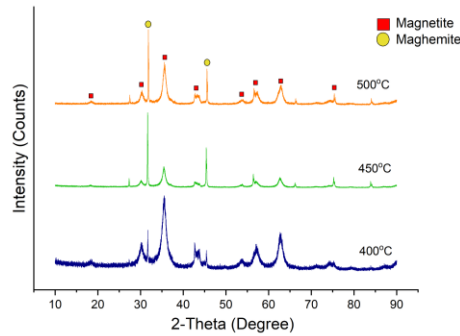
Gambar 4: Hasil Karakterisasi FTIR dari *green synthesis* Fe_3O_4

3.2. XRD (X-ray Diffraction)

Hasil pengujian XRD yang ditunjukkan pada gambar 3 memperlihatkan bahwa nanopartikel Fe_3O_4 telah berhasil terbentuk pada setiap variasi temperatur kalsinasi 400°C , 450°C dan 500°C . Dibuktikan dengan adanya munculnya puncak yang sama setiap variasinya pada sudut 2θ 18.39° , 30.31° , 35.76° , 43.22° , 53.82° , 57.25° , 62.91° dan 75.42° . Puncak-puncak tersebut merupakan Fe_3O_4 berdasarkan JCPDS No. 19-0629 (Ren, 2017). Akan tetapi pada sudut 2θ 31.92° dan 45.65° terbentuk fasa $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (maghemit) (Wu, 2014; Schimanke, 2000). Berdasarkan gambar 5 setiap variasi memiliki magnetit dan maghemit, dimana maghemit terbentuk karena magnetit tidak stabil dan sensitif terhadap oksidasi (Laurent, 2008).



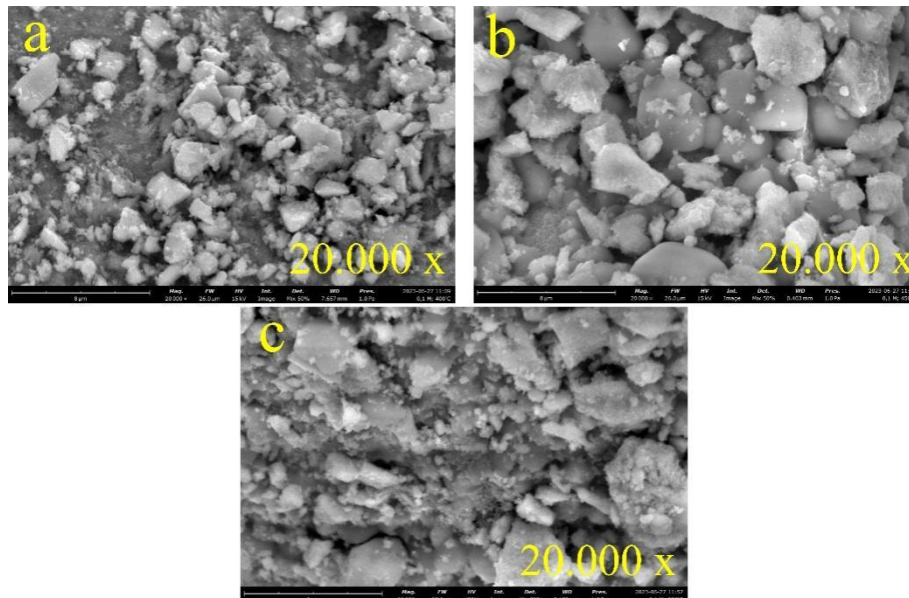
Berdasarkan persamaan 1, pada kondisi asam dan anaerobik, permukaan ion Fe^{2+} di desorpsi sebagai kompleks heksa-aqua dalam larutan, sedangkan pada kondisi basa, oksidasi magnetit melibatkan oksidasi-reduksi pada permukaan magnetit. Oksidasi dari magnetit menjadi maghemit melibatkan pengurangan jumlah atom Fe per unit sel. Fakta ini didukung oleh difusi Fe ke luar daripada difusi oksigen ke dalam. Selain itu, ion oksigen hampir dua kali lebih besar dari ion besi dan ini akan membuat difusi oksigen jauh lebih sulit dibandingkan dengan difusi besi (Tang, 2003). Terbentuknya fasa maghemit, berdasarkan (Righi, 2019) akan mempengaruhi proses degradasinya, dikarenakan maghemit cenderung tidak stabil, sehingga menurunkan aktivitas katalisnya.



Gambar 5: Hasil Karakterisasi XRD dari *green synthesis* Fe₃O₄

3.3. SEM-EDX (Scanning Electron Microscope)

Hasil uji SEM diukur secara manual menggunakan software *imageJ* dimana ukuran butir kristal magnetit ditentukan dengan mengukur panjang dan lebar masing-masing butir kristal dua kali dalam arah yang saling tegak lurus ditunjukkan pada gambar 6. Selanjutnya data ukuran butir kristal tersebut dianalisis untuk mendapatkan rata-rata ukuran butir-butir kristal magnetit sehingga didapatkan hasil pada gambar 7 dalam bentuk histogram. Hasil SEM menunjukkan bentuk partikel yang tidak beraturan dikarenakan nukleasi dan pertumbuhan kristal berlanjut selama kalsinasi yang mengakibatkan distribusi ukuran yang lebar dan bentuk nanopartikel Fe₃O₄ yang tidak beraturan (Bhatt, 2010), hasil yang sama didapatkan pada penelitian sebelumnya dimana magnetit tidak beraturan dan bersifat agregat, yang mungkin saja disebabkan oleh interaksi antara fitokimia (Groiss, 2017). Selain itu dapat juga terjadi karena nukleasi mengontrol keseragaman nanokristal Fe₃O₄ selama proses pemanasan (Yin, 2004). Secara umum, nukleasi homogen dominan ketika laju pemanasan relatif tinggi, sehingga proses nukleasi selesai dalam waktu singkat. Ditemukan rata-rata ukuran partikel dengan variasi temperatur kalsinasi 450°C memiliki ukuran partikel tertinggi 327,225 ± 115,478 nm dibandingkan 500°C 175,667 ± 130,172 nm.



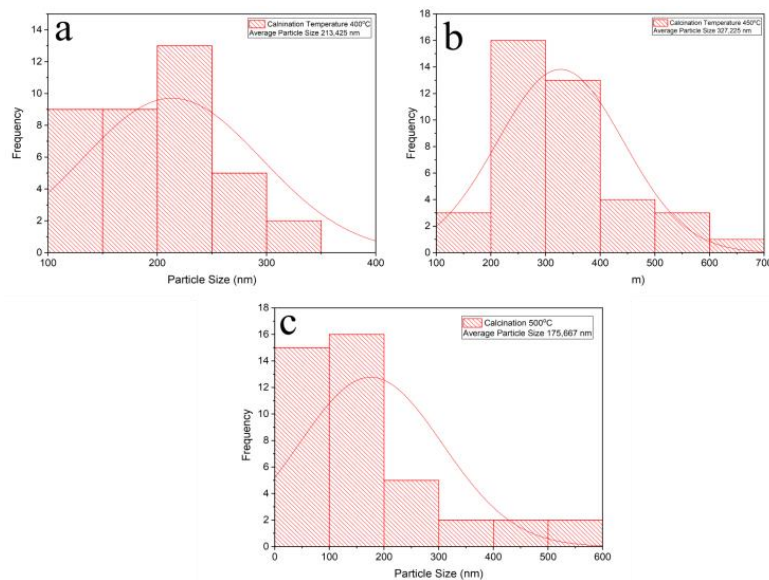
Gambar 6: Hasil Karakterisasi SEM dari *green synthesis* Fe₃O₄ a) 400°C; b) 450°C dan c) 500°C

Distribusi ukuran partikel pada temperatur tinggi disebabkan pertumbuhan kristal tidak dapat terkendali pada temperatur reaksi yang lebih tinggi (Maity, 2008). Fenomena ini disebut Ostwald Ripening dimana partikel kecil menjadi lebih kecil dan partikel besar menjadi lebih besar sehingga memperpanjang waktu reaksi sehingga memperpanjang waktu (Koo, 2019). Sehingga dapat disimpulkan bahwa ukuran partikel akan bertambah dengan bertambahnya waktu dan temperatur. Fenomena ini dikonfirmasi pada sampel 500°C yang ditunjukkan pada Tabel 1 dimana nilai errornya tinggi, hal ini dikarenakan distribusi partikel yang tidak merata bahkan tidak mengalami aglomerasi selama proses kalsinasi. Dari hasil sem ini juga

menunjukkan telah berhasil membentuk nanomagnetit yang ditunjukan pada histogram dimana ada partikel yang berukuran kurang dari 100 nanometer. Namun karena kurang stabilnya partikel yang terbentuk sehingga mengakibatkan partikel teraglomerasi. Aglomerasi ini akan berpengaruh pada proses degradasi, dikarenakan luas permukaan yang terbentuk akan berkurang yang mengakibatkan situs aktif juga berkurang yang akan menurunkan aktifitas katalisnya (Safian, 2017).

Tabel 1: Ukuran rata-rata partikel *green synthesis* Fe₃O₄

Temperatur Kalsinasi	Ukuran Partikel
400°C	213,425 ± 82,18 nm
450°C	327,225 ± 115,478 nm
500°C	175,667 ± 130,172 nm



Gambar 7: Histogram ukuran rata-rata partikel *green synthesis* Fe₃O₄ a) 400°C; b) 450°C and c) 500°C

Komposisi ketiga variasi dianalisis menggunakan EDX dengan pembesaran 2.000x dengan luas alat. Hasil analisis EDX ditunjukkan pada Tabel 4.3, hasil kandungan unsur ketiga sampel (400, 450, dan 500°C) dengan variasi temperatur kalsinasi mengandung Fe, O dan C yang tinggi dan mengindikasikan terbentuknya nanopartikel. Fe₃O₄. Kandungan Fe dan O yang tinggi menunjukkan kemurnian nanopartikel besi oksida (Mohammed, 2020). Hasil ini dikonfirmasi dalam XRD yang memiliki puncak magnetit di setiap variasi.

Tabel 2: Hasil Komposisi (EDX) *green synthesis* Fe₃O₄

Sample	Unsur	Berat Konsentrasi (%)
400°C	Fe	67,9
	O	17,9
	C	14,2
450°C	Fe	45,15
	O	20,67

	C	34,16
500°C	Fe	59,96
	O	28,62
	C	11,41

Semakin kecil ukuran partikel maka semakin banyak adsorbat yang terserap. Hal ini dikarenakan ukuran partikel yang kecil memiliki energi antar molekul yang lebih besar sehingga penyerapannya menjadi lebih baik (Handiyatmo, 1999). Dimana pada proses adsorpsi dibutuhkan ukuran partikel yang kecil dan memiliki luas permukaan yang besar agar daya serap adsorbat lebih baik. Sehingga variasi yang lebih optimum sebagai adsorbat adalah variasi temperatur kalsinasi 400°C dapat dilihat dari ukuran partikel rata-rata 150,23 nm. Oleh karena itu adsorpsi methylene blue pada variasi kalsinasi 400°C akan terdegradasi lebih cepat dibandingkan variasi lainnya.

3.4. SAA (*Surface Area Analyzer*)

Luas permukaan yang besar membuktikan bahwa nanopartikel Fe₃O₄ dapat menjadi adsorben potensial untuk menghilangkan kontaminan air yang berbahaya (Stan, 2017). Semakin kecil ukuran partikel adsorben maka semakin besar luas permukaan partikel maka semakin baik degradasi limbah MB (Handiyatmo, 1999). Sehingga akan meningkatkan laju reaksi degradasi magnetit menjadi MB. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun luas permukaan sampel 500°C lebih kecil dari sampel 450°C dan sampel 400°C lebih besar daripada sample 450°C, tidak menutup kemungkinan kemampuan adsorpsi zat warna sama atau bahkan lebih kuat. Adapun alasannya dimana terdapat *oxygen vacancies* pada permukaan nanopartikel meningkat dengan meningkatnya temperatur kalsinasi, hal ini lebih banyak kekosongan oksigen di permukaan nanopartikel sehingga lebih banyak pewarna teradsorpsi (Golsheikh, 2018).

Tabel 3: Luas Permukaan *green synthesis* Fe₃O₄

Calcination Temperature	Surface Area
400°C	60,125 m ² /g
450°C	38,539 m ² /g
500°C	36,729 m ² /g

4. Kesimpulan

Nanomagnetit telah berhasil disintesis yang dibuktikan dari data karakterisasi XRD pada setiap variasi terdapat puncak Fe₃O₄, didukung dengan FTIR yang memperlihatkan semua variasi memiliki gugus Fe dan CO, dan pada data SEM yang menunjukkan terdapat partikel nano, namun masih terbentuknya senyawa lain selain magnetit yaitu senyawa hematit dan sebagian besar partikel teraglomerasi sehingga distribusi ukuran partikel tidak merata. Dan semua spesimen berpotensi untuk menjadi katalis untuk limbah warna.

Acknowledgments

Terima kasih kepada LPPM Institut Teknologi Kalimantan yang telah mendanai penelitian ini, dan tidak lupa kami berterima kasih kepada laboratorium lab terpadu yang memfasilitasi penelitian ini baik dalam memberikan tempat percobaan dan peminjaman peralatan. Tidak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium biomedis Universitas Airlangga yang telah membantu kami dalam mengkarakterisasi terutama SEM, dan juga Laboratorium Material Institut Teknologi Bandung dalam pengujian FTIR

Referensi

- Awan, U. A., Ali, S., Rehman, M., Zia, N., Sohaila Naz, S., Ovais, M., & Raza, A. (2018). Stable and reproducible synthesis of gold nanorods for biomedical applications: a comprehensive study. *IET Nanobiotechnology*, 12(2), 182–190. doi:10.1049/iet-nbt.2016.0220
- Bhatt, A. S., Bhat, D. K., & Santosh, M. S. (2010). Crystallinity, conductivity, and magnetic properties of PVDF-Fe₃O₄ composite films. *Journal of Applied Polymer Science*, 119(2), 968–972. doi:10.1002/app.32796
- Bishnoi, S., Kumar, A., & Selvaraj, R. (2018). Facile synthesis of magnetic iron oxide nanoparticles using inedible *Cynometra ramiflora* fruit extract waste and their photocatalytic degradation of methylene blue dye. *Materials Research Bulletin*, 97, 121–127. doi:10.1016/j.materresbull.2017.08.040
- Bukhari, A.; Ijaz, I.; Gilani, E.; Nazir, A.; Zain, H.; Saeed, R.; Alarfaji, S.S.; Hussain, S.; Aftab, R.; Naseer, Y. Green Synthesis of Metal and Metal Oxide Nanoparticles Using Different Plants' Parts for Antimicrobial Activity and Anticancer Activity: A Review Article. *Coatings* 2021, 11, 1374. <https://doi.org/10.3390/coatings11111374>
- Citrapancayudha DR, Soetarto E, 2016. Biodegradation of Wax Residue on Semi-Solid Waste of Batik Industry by Bacteria. *Proceeding Biology Education Conference*, 13(1): 800- 806
- Chollakup, R., Smitthipong, W., Mougin, K., Nardin, M., 2015. Characterization of sericin biomaterial from silk cocoon waste. *Mater. Sci. Appl.* 1 (2), 45–50.
- Daniel, M. C. & Astruc, D. (2004). Gold nanoparticles: assembly, supramolecular chemistry, quantum size-related properties and applications toward biology, catalysis and nanotechnology, *Chemical Reviews*, 104(1), 293–346
- Dirgayanti ,S.D.,Koesnarpadi,S.,Hindryawati,N. (2021). Synthesis and characterization of Fe₃O₄-activated carbon and its application to adsorb methylene blue. doi:10.1088/1755-1315/623/1/012070
- Emmanuel, R., Saravanan, M., Ovais, M., Padmavathy, S., Shinwari, Z. K., & Prakash, P. (2017). *Antimicrobial efficacy of drug blended biosynthesized colloidal gold nanoparticles from Justicia glauca against oral pathogens: A nanoantibiotic approach. Microbial Pathogenesis*, 113, 295–302. doi:10.1016/j.micpath.2017.10.055
- Ferreira, S. A. D., Donadia, J. F., Gonçalves, G. R., Teixeira, A. L., Freitas, M. B. J. G., Fernandes, A. A. R., & Lelis, M. F. F. (2019). *Photocatalytic performance of granite waste in the decolorization and degradation of Reactive Orange 122. Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), 103144. doi:10.1016/j.jece.2019.103144
- Golsheikh, A. M., Kamali, K. Z., Huang, N. M., & Zak, A. K. (2018). Effect of calcination temperature on performance of ZnO nanoparticles for dye-sensitized solar cells. *Powder Technology*, 329, 282–287. doi:10.1016/j.powtec.2017.11.065
- Groiss, S., Selvaraj, R., Thivaharan, V., Ramesh, V., 2017. Structural characterization, antibacterial and catalytic effect of iron oxide nanoparticles synthesised using the leaf extract of *Cynometra ramiflora*. *J. Mol. Struct.* 1128, 572–578. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2016.09.031>.
- Handiyatmo.E.T., 1999. Adsorpsi Polutan Komponen Ganda Senyawa Fenol (2,4 DCP dan Fenol) Dengan Zeolit. *Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*
- Han, R., Zhang, L., Song, C., Zhang, M., Zhu, H., & Zhang, L. (2010). Characterization of modified wheat straw, kinetic and equilibrium study about copper ion and methylene blue adsorption in batch mode. *Carbohydrate Polymers*, 79(4), 1140–1149. doi: 10.1016/j.carbpol.2009.10.054
- Hartati, R., Suarantika, F., & Fidrianny, I. (2020). Overview of phytochemical compounds and pharmacological activities of *Ananas Comosus L.*, *Merr. Int. J. Res. Pharm. Sci*, 11(3), 4760-4766
- Ismail, N S M., Ramli, N., Hani, N M., Meon, Z. (2012). Ekstraksi and characterization of pectin from dragon fruit (*Hylocereus polyhizus*) using various extraction condition. *Journal Sains Malaysiana*. 41(1): 41- 45
- Kamaru, A. A., Sani, N. S., & Malek, N. A. N. N. (2015). Raw and surfactant-modified pineapple leaf as adsorbent for removal of methylene blue and methyl orange from aqueous solution. *Desalination and Water Treatment*, 57(40), 1883618850. doi:10.1080/19443994.2015.1095122
- Komarawidjaja, Wage. 2017. *Paparan Limbah Cair Industri Mengandung Logam Berat pada Lahan Sawah di Desa Jelegong, Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi : Serpong*
- Koo, Nee, Khong; Fauzi, Ahmad Ismail, Dzarfan, Mohd. Hafiz Dzarfan Othman, A. Rahman, Mukhlis, Tai, Zhong Sheng (2019). "Preparation and characterization of superparamagnetic magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles: A short review" *Universiti Teknologi Malaysia : Malaysia* doi : <https://doi.org/10.11113/mjfas.v15n2019.1224>
- Laurent, S., Forge, D., Port, M., Roch, A., Robic, C., Vander Elst, L., & Muller, R. N. (2008). Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis, Stabilization, Vectorization, Physicochemical Characterizations, and Biological Applications. *Chemical Reviews*, 108(6), 2064–2110. doi:10.1021/cr068445e
- Li, N., Zhao, P. & Astruc, D. (2014). Anisotropic gold nanoparticles: Synthesis, properties, applications, and toxicity, *Angewandte Chemie International Edition*, 53(7), 1756–1789

- Maity, D., Ding, J., Xue, J. M. (2008). Synthesis of magnetite nanoparticles by thermaldecomposition: time, temperature, surfactant and solvent effects. *Functional Materials Letters*, 1(3), 189-193
- Melati, I. (2020). Teknik Bioremediasi: Keuntungan, Keterbatasan dan Prospek Riset. Seminar Nasional Biotik
- Mohammed, B. B., Hsini, A., Abdellaoui, Y., Oualid, H. A., Laabd, M., Ouardi, M. E., ... Tijani, N. (2020). *Fe-ZSM-5 zeolite for efficient removal of basic Fuchsin dye from aqueous solutions: Synthesis, characterization and adsorption process optimization using BBD-RSM modeling. Journal of Environmental Chemical Engineering*, 104419. doi:10.1016/j.jece.2020.104419
- Nga H,N, Do., Binh, Y, Truong., Phuong, T,X, Nguyen., Kien, A, Le., Hai, M, Duong., Phung, K, Le., (2022). Composite aerogels of TEMPO-oxidized pineapple leaf pulp and chitosan for dyes removal, Separation and Purification Technology, Volume 283 120200 ISSN 1383-5866, doi: 10.1016/j.seppur.2021.120200
- Paramarta, V., Kristianto, Y., Taufik, A., & Saleh, R. (2017). *Improve sonocatalytic performance using modified semiconductor catalyst SnO₂ and ZrO₂ by magnetite materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 188, 012042. doi:10.1088/1757-899x/188/1/012042
- Pratiwi, Yuli. 2010. Penentuan Tingkat Pencemaran Limbah Industri Tekstil Berdasarkan Nutrition Value Coefficient Bioindikator. Institut Sains dan Teknologi AKPRIND : Yogyakarta
- Primanandi, Dendy., dan Effendi, Jatnika, Agus. 2018. Kinetika Pertumbuhan Bakteri pada Bioremediasi Tanah Tercemar Limbah Tekstil dengan Teknik *Forced-Aerated Static Pile*. Institut Teknologi Bandung : Bandung
- Rahman, M., & Yang, D. K. (2018). Effects of Ananas comosus leaf powder on broiler performance, haematology, biochemistry, and gut microbial population. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47
- Raveendran, P.; Fu, J.; Wallen, S.L. Completely “Green” Synthesis and stabilization of metal nanoparticles. *Journal of the American Chemical Society*, 2003, 125 (46): 13940–13941
- Ren, G., Yang, L., Zhang, Z., Zhong, B., Yang, X., & Wang, X. (2017). A new green synthesis of porous magnetite nanoparticles from waste ferrous sulfate by solid-phase reduction reaction. *Journal of Alloys and Compounds*, 710, 875–879. doi:10.1016/j.jallcom.2017.03.337
- Righi, G., & Magri, R. (2019). *Reduction and Oxidation of Maghemite (001) Surfaces: The Role of Iron Vacancies. The Journal of Physical Chemistry C*. doi:10.1021/acs.jpcc.9b03657
- Rohayati, Zaina., Fajrin, Mega., Rua, Jumardi., Yulan., Ryanto. 2017. Pengolahan Limbah Industri Tekstil Berbasis Green Technology Menggunakan Metode Gabungan Elektrodegradasi dan Elektrodekolorisasi dalam Satu Sel Elektrolisis. Universitas Islam Indonesi : Yogyakarta
- Safian, Mohamed, Azmina, Nur., Nor, Md, Roslan., Rafaie, Ahmad, Hartini., Sani, Abdul, Fairus, Siti., Osman, Zurina., (2017). “PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF METHYLENE BLUE WITH SILVER DOPED ZnO NANOPARTICLES GROWN ON MICROSCOPIC SAND PARTICLES” *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, Vol 22 No 2 (2018): 270 – 278. DOI: <https://doi.org/10.17576/mjas-2018-2202-12>
- Saharan, P., Chaudhary, G. R., Mehta, S. K., & Umar, A. (2014). *Removal of Water Contaminants by Iron Oxide Nanomaterials. Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 14(1), 627–643. doi:10.1166/jnn.2014.9053
- Schimanke G, Martin M (2000) In situ XRD study of the phase transition of nanocrystalline maghemite (γ -Fe₂O₃) to hematite (α -Fe₂O₃). *Solid State Ionics* 136–137:1235–1240
- Singh, J., Dutta, T., Kim, K.H., Rawat, M., Samddar, P., Kumar, P., 2018. ‘Green’ synthesis of metals and their oxide nanoparticles: applications for environmental remediation. *J. Nanobiotechnol.* 16, 1–24.
- Stan, M., Lung, I., Soran, M.-L., Leostean, C., Popa, A., Stefan, M., ... Porav, A. S. (2017). Removal of antibiotics from aqueous solutions by green synthesized magnetite nanoparticles with selected agro-waste extracts. *Process Safety and Environmental Protection*, 107, 357–372. doi:10.1016/j.psep.2017.03.003
- Tang, J., Myers, M., Bosnick, K. A., & Brus, L. E. (2003). Magnetite Fe₃O₄ Nanocrystals: Spectroscopic Observation of Aqueous Oxidation Kinetics†. *The Journal of Physical Chemistry B*, 107(30), 7501–7506. doi:10.1021/jp027048e
- Wu, Y., Zhou, M., Li, S., Li, Z., Li, J., Wu, B., ... Guan, X. (2014). *Magnetic Metal-Organic Frameworks: γ -Fe₂O₃@MOFs via Confined In Situ Pyrolysis Method for Drug Delivery. Small*, 10(14), 2927–2936. doi:10.1002/smll.20140036
- Xu, P., et al., “Use of iron oxide nanomaterials in wastewater treatment: A review,” *Sci. Total Environ.*, vol. 424, pp. 1–10, 2012.
- Yew, Y. P., Shameli, K., Miyake, M., Ahmad Khairudin, N. B. B., Mohamad, S. E. B., Naiki, T., & Lee, K. X. (2018). *Green biosynthesis of superparamagnetic magnetite Fe₃O₄ nanoparticles and biomedical applications in targeted anticancer drug delivery system: A review. Arabian Journal of Chemistry*. doi:10.1016/j.arabjc.2018.04.013
- Yin, M., Willis, A., Redl, F., Turro, N. J., & O’Brien, S. P. (2004). Influence of Capping Groups on the Synthesis of γ -Fe₂O₃ Nanocrystals. *Journal of Materials Research*, 19(04), 1208–1215. doi:10.1557/jmr.2004.0157