



Sintesis Kromium Ferit dari Pasir Pantai dan Karakterisasi Awal Sensor Suhu

Received
03 Maret 2018

Revised
09 Maret 2018

Accepted for Publication
09 Maret 2018

Published
13 April 2018

W Elyani^{1,*}, A Hidayat¹, A Taufiq¹, S Sunaryono¹

¹: Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5, Malang, 65145, Indonesia

*E-mail: widya.elyani.1603228@students.um.ac.id



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Abstract

Ferrofluids for temperature sensor application become one of the important modern technology applications. Therefore, the development of beach sand-base ferrofluids for temperature sensor becomes new and essential things for cutting off their production. In this research, the preliminary investigation of the temperature sensor is developed based on the chromium ferrite ferrofluids. The sample in powder and fluid were prepared by coprecipitation-sonochemical technique. The powder sample which was characterized by XRD has the crystallite size of about 9 nm with high purity. The preliminary investigation shows that the chromium ferrite ferrofluid has a good property as a candidate for temperature sensor application showing a good response on the temperature treatment.

Keywords: chromium ferrite, ferrofluid, sand, temperature sensor

Abstrak

Ferofluida untuk aplikasi sensor suhu menjadi salah satu bagian penting dalam aplikasi teknologi modern. Oleh sebab itu, pengembangan ferofluida untuk sensor suhu berbasis pasir pantai menjadi terobosan baru dan penting untuk menekan biaya produksi. Dalam riset ini, kajian awal sensor suhu dikembangkan berbasis ferofluida kromium ferit. Sampel kromium ferit dalam bentuk bubuk dan ferofluida dipreparasi menggunakan metode kopresipitasi-sonokimia berbasis pasir pantai. Sampel serbuk yang dikarakterisasi menggunakan XRD menghasilkan ukuran kristal sekitar 9 nm dengan kemurnian fasa tinggi. Kajian awal sensor suhu menunjukkan bahwa ferofluida kromium ferit memiliki sifat yang baik sebagai kandidat sensor suhu karena menunjukkan respon yang baik terhadap perlakuan suhu.

Kata Kunci: kromium ferit, ferofluida, pasir, sensor suhu

1. Pendahuluan

Salah satu jenis sensor yang sangat penting dalam aplikasi modern adalah sensor suhu. Pentingnya sensor suhu untuk perkembangan sains dan teknologi modern mengiring banyak peneliti mengkaji lebih dalam, baik aspek fundamental maupun aspek produksinya. Seiring dengan perkembangan teknik manufaktur yang sangat pesat, sensor suhu telah dikembangkan berbasis material berbeda seperti CMOS [1], cholesteric kristal cair [2], dan fiber optik [3], [4]. Akan tetapi, selama ini masih sangat sedikit sensor suhu yang dikembangkan berbasis ferofluida.

Secara umum, sensor suhu menggunakan material *complementary metal oxide semiconductor* (CMOS) berbahan dasar Si-SiO₂ bergantung pada frekuensi resonator silikon sebagai medan suhunya [1]. Riset tersebut menggunakan dua osilator untuk mengetahui perbedaan frekuensi dua resonansi yang merupakan barang berat sehingga kurang efektif. Sensor suhu yang menggunakan material laser cholesteric kristal cair yang berfungsi sebagai fiber optik semakin tidak efektif untuk digunakan karena pembuatan materialnya relatif tidak mudah, membutuhkan waktu lama, dan relatif mahal. Sedangkan sensor suhu menggunakan fiber optik sangat bagus karena dapat mendeteksi suhu maksimal sampai 1520 K. Namun, suhu mulai terdeteksi sekitar 300 °C. Oleh karena itu, pengembangan sensor suhu yang efektif dan biaya murah perlu dikembangkan, khususnya berbasis

ferofluida. Selain ferofluida mudah dibuat, murah, dan membutuhkan waktu relatif singkat, sifat optis dan sifat magnetik ferofluida yang sensitif terhadap pengaruh medan luar sangat cocok untuk diaplikasikan sebagai sensor. Zhang *dkk*, telah membuat sensor suhu menggunakan ferofluida *film* tipis [5]. Ferofluida *film* tipis mengalami perubahan di suhu 60 °C sampai 90 °C. Selain suhu yang dideteksi kurang rendah, *film* tipis juga relatif mahal. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dikembangkan ferofluida kromium ferit.

Secara teori, ferofluida adalah suspensi koloida domain tunggal partikel magnetik yang terdispersi dalam cairan tertentu [5]. Sifat magneto-optik ferofluida kromium ferit memiliki banyak potensi untuk diaplikasikan. Diindikasikan bahwa transmisi optik pada ferofluida erat kaitannya dengan struktural di bawah pengaruh medan luar. Sensitivitas ferofluida tidak hanya karena spin magnetik, tetapi juga karena fleksibilitas cairan yang mempermudah orientasi partikel akibat pengaruh medan luar. Secara prinsip, sensor ini memanfaatkan ferofluida dalam balok kaca, dimana sumber gelombang sinar laser dilewatkan melalui balok kaca yang diisi oleh ferofluida. Berdasarkan prinsip ini, sensor suhu dikembangkan dengan menggunakan ferofluida kromium ferit.

Pada artikel ini, dilaporkan sintesis serbuk dan ferofluida kromium ferit menggunakan metode kopresipitasi dan sonokimia. Menariknya, penelitian ini menggunakan pasir besi dari Pantai Sine Tulungagung sebagai bahan dasar pembuatan sampel.

2. Metode Penelitian

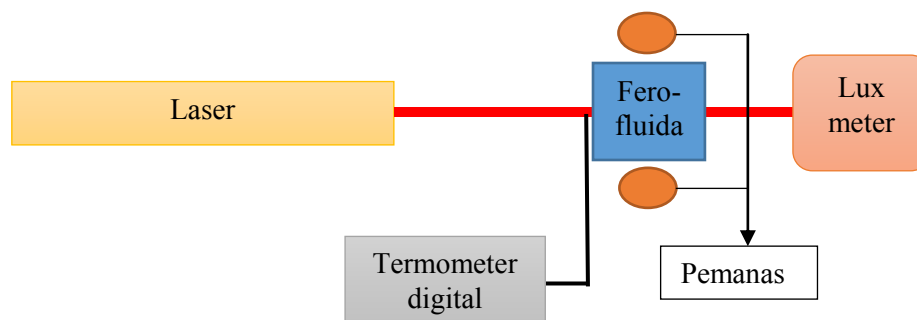
Partikel nano kromium ferit disintesis dengan metode kopresipitasi dan sonokimia yang prosesnya diawali dengan melarutkan pasir yang sudah diseparasi ke dalam HCl. Larutan yang terbentuk disaring menggunakan kertas saring dan hasil saringan direaksikan dengan $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi tertentu yang dicampur dengan diethylamine, serta dilanjutkan dengan proses titrasi dengan NH_4OH sedikit demi sedikit untuk memperoleh endapan kromium ferit. Endapan dicuci berulang-ulang dengan air hingga mencapai pH normal ($\text{pH} = 7$). Endapan selanjutnya dikalsinasi pada suhu 100 °C selama 60 menit dan kemudian dilakukan penggerusan halus untuk mendapatkan serbuk kromium ferit untuk diuji dengan X-ray difraktometer (XRD).

Untuk membuat ferofluida, endapan kromium ferit dicampurkan dengan TMAH sebagai surfaktan. Campuran tersebut diaduk hingga homogen dan ditambahkan air. Setelah itu disiapkan balok kaca ukuran $1,5 \times 2 \text{ cm}^2$ dengan tebal 0,2 cm sebagai wadah ferofluida. Sinar laser yang menembus balok kaca yang berisi cairan ferofluida selanjutnya diukur intensitasnya menggunakan lux meter. Suhu yang berada di kedua sisi balok kaca diukur menggunakan termometer. Skema eksperimen disajikan dalam Gambar 1.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Karakterisasi XRD

Serbuk kromium ferit yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui struktur dan ukuran kristalnya menggunakan radiasi $\text{Cu-K}\alpha$ (1,5406 Å) pada suhu ruang di daerah 20° sampai 70° pada skala 2θ . Secara umum, XRD dapat digunakan untuk mengkarakterisasi ukuran sampel, yaitu dengan menghitung rata-rata diameter partikel nano [6]. Dalam Penelitian ini, data pola difraksi dihitung menggunakan database ICSD dengan model nomor 30860 [7]. Hasil XRD pada Gambar 2 dianalisis lebih lanjut dan hasilnya disajikan pada Tabel 1. Tabel tersebut menghasilkan ukuran kristal



Gambar 1. Set alat prototipe sensor suhu berbasis ferofluida

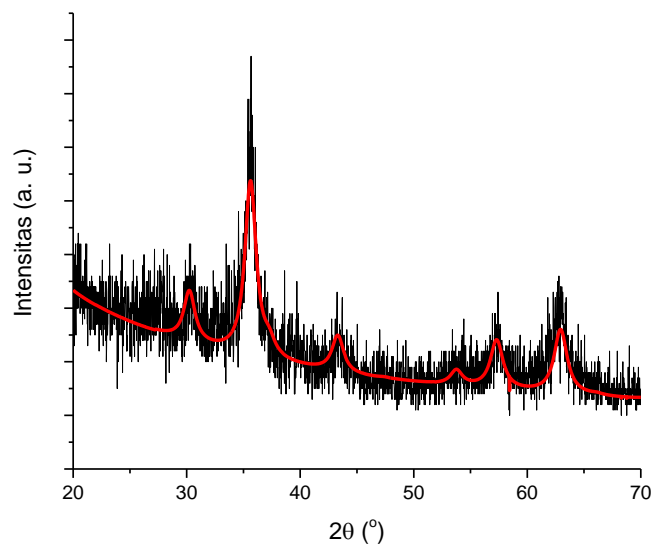
hasil *refinement* dengan metode Rietveld dan perhitungan menggunakan persamaan Debye-Scherer sebagaimana dituliskan dalam Persamaan 1.

$$D = \frac{k\lambda}{B \cos \theta}, \quad (1)$$

dimana λ adalah panjang gelombang sinar-X, θ adalah sudut Bragg, B adalah radian setengah maksimum lebar penuh atau sering disebut dengan FWHM [8]–[12] dan k adalah faktor ukuran butir (0,94) [13]–[19].

Gambar 3 merupakan data setelah proses *refinement* dengan metode Rietveld dan didapatkan ukuran kristal sebesar 7,87 nm. Substitusi kromium yang dilakukan mengubah parameter kisi kristal magnetit [15]. Hal itu terlihat pada parameter kisi setelah proses *refinement* diperoleh nilai sebesar 8,35 Å dengan volume kisi sebesar 582,17 Å³. Pada perhitungan menggunakan persamaan Debye-Scherer didapatkan ukuran kristal sebesar 8,93 nm. Hasil perhitungan *refinement* dengan Scherer tidak terlalu berbeda. Dalam penelitian ini, didapatkan rata-rata ukuran kristal hasil *refinement* dan Scherer sebesar 8,4 nm.

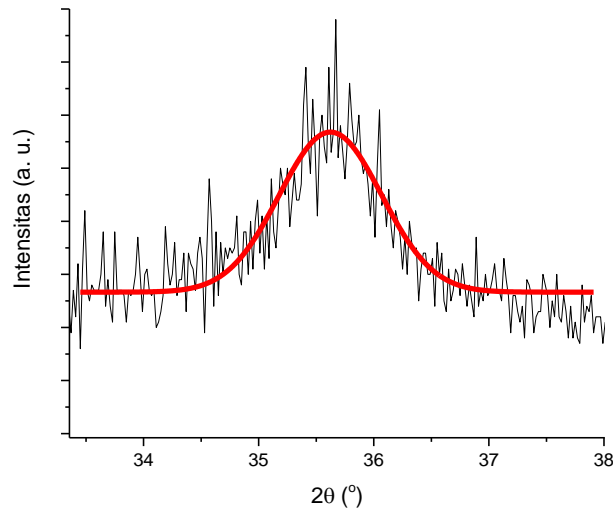
Penelitian lain terkait preparasi sampel magnetik menggunakan metode kopresipitasi oleh Wu *dkk* mendapatkan ukuran partikel rata-rata sebesar 19,4 nm [18], Marrand *dkk* mendapatkan ukuran partikel rata-rata sebesar 14,8 nm [15], dan Taufiq *dkk* mendapatkan ukuran partikel rata-rata sebesar 17,9 nm [20]. Sedangkan penelitian yang lain lagi terkait preparasi sampel magnetik menggunakan metode sonokimia oleh Tian *dkk* mendapatkan ukuran partikel rata-rata sebesar 43,4 nm [21], Wang *dkk* mendapatkan ukuran partikel rata-rata sebesar 13,7 nm [17]. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan metode sintesis mempengaruhi besar ukuran partikel. Semakin kecil ukuran partikel, semakin mudah ferrofluida untuk stabil. Secara struktur, susunan atom-atom kromium ferit disajikan dalam Gambar 4.



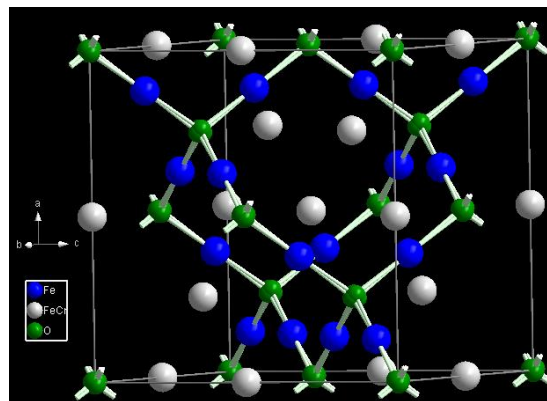
Gambar 2. Hasil Karakterisasi XRD serbuk kromium ferit dan analisis datanya

Tabel 1. Ukuran kristal sampel

Data	$a = b = c$ (Å)	Ukuran partikel (nm)		Volume kisi (Å ³)
		Metode Rietveld	Metode Scherer	
kromium ferit	8,35	7,87	8,93	582,17



Gambar 3. Hasil fitting FWHM kromium ferit

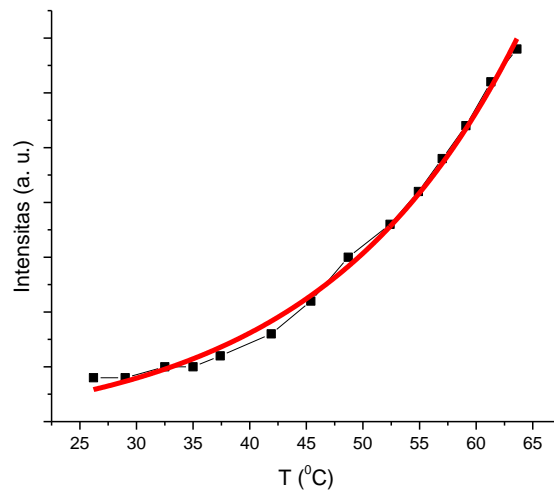


Gambar 4. Struktur kristal kromium ferit

3.2 Hasil Uji Sensor

Sensor suhu dikaji dengan mengamati perubahan intensitas laser yang dilewatkan pada balok kaca yang berisi ferrofluida kromium ferit. Salah satu teori menyebutkan bahwa ketika medan magnet tidak diberikan, ferrofluida bersifat isotrop dan menunjukkan terjadinya sedikit absorpsi sehingga intensitas laser tinggi. Ketika medan magnet diterapkan, bentuk rantai magnetik ferrofluida mengabsorpsi lebih banyak laser sehingga intensitas sinar laser menurun [5]. Semakin besar medan luar yang diterapkan, semakin besar kemampuan ferrofluida mengabsorpsi cahaya. Hasil untuk transmisi optik sebagai fungsi suhu untuk suhu naik tanpa dipengaruhi medan luar ditunjukkan oleh Gambar 5.

Ferrofluida kromium ferit yang dilewati oleh laser sangat sensitif bahkan pada suhu yang relatif kecil. Saat dilakukan pengukuran, termometer digital menunjukkan suhu ruang sebagai suhu awal. Tampak bahwa pada suhu sekitar 35 °C intensitas pada lux meter mulai meningkat akibat pengaruh termal yang diberikan. Hal itu menunjukkan bahwa doping kromium memberikan dampak meningkatnya sifat magnet dari magnetit yang mempercepat proses aglomerasi ferrofluida akibat agitasi termal dan meningkatnya sifat optis magnetit yang mempercepat proses transmisi laser yang diberikan. Semakin tinggi suhu yang diberikan, semakin tinggi pula nilai intensitas yang terbaca di lux meter. Selain itu, sensitivitas ferrofluida kromium ferit sangat tinggi. Hal itu bisa dilihat dari



Gambar 5. Grafik respon ferrofluida kromium ferit terhadap suhu

perubahan nilai intensitas yang mengikuti perubahan suhu hanya dalam hitungan detik. Persamaan yang didapat setelah hasil fitting ditunjukkan dalam Persamaan 2.

$$y = y_0 + Ae^{R_0 x}, \quad (2)$$

dimana y sebagai intensitas, x sebagai suhu, y_0 bernilai -0,1405, A bernilai 0,09739, R_0 bernilai 0,05691. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas sinar laser yang dikenakan pada sampel ferrofluida kromium ferit akan sebanding dengan eksponensial perubahan suhu yang sesuai dengan teori [22].

Berdasarkan Gambar 5, terlihat bahwa saat laser dilewatkan pada ferrofluida tanpa adanya pengaruh medan luar, intensitas maksimum yang dicapai sekitar 3,5 lux dengan suhu maksimum sebesar 65 °C. Intensitas yang semula bernilai 0,4 lux, semakin meningkat suhu, nilai intensitas juga semakin meningkat dengan perubahan suhu yang relatif kecil. Yang *dkk* telah membuktikan bahwa medan magnet bergantung kepada transmisi optik yang berasal dari aglomerasi dari partikel magnetik yang mengurangi luas partikel dalam fasa cairnya [23]. Karena agitasi termal dapat menekan kemampuan dari aglomerasi [24], transmisi optik dapat diatur dengan mengubah suhu lingkungan disekitar ferrofluida. Oleh karena itu, semakin besar medan magnet luar yang digunakan, semakin kecil nilai intensitas karena absorbansi ferrofluida semakin besar [5]. Dengan demikian, kajian awal ini membuka peluang besar agar ferrofluida kromium ferit hasil sintesis ini diaplikasikan sebagai sensor suhu, khususnya berbasis pasir besi.

4. Kesimpulan dan Saran

Partikel nano kromium ferit menunjukkan struktur kristal kubik dengan rata-rata ukuran kristal sekitar 9 nm. Ferrofluida kromium ferit yang dilewati oleh laser sangat sensitif bahkan pada suhu yang relatif kecil. Semakin tinggi suhu yang diberikan, semakin tinggi pula nilai intensitas yang terbaca di lux meter. Intensitas maksimal senilai 3,5 lux dicapai saat suhu sebesar 65°C. Oleh sebab itu, kajian ini membuka peluang besar dalam aplikasi ferrofluida kromium ferit sebagai sensor suhu.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih disampaikan kepada KEMENRISTEKDIKTI yang telah memberikan hibah penelitian tahun 2018 untuk AT.

Daftar Rujukan

- [1] C. M. Jha *et al.*, "High resolution microresonator-based digital temperature sensor," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 91, no. 7, hal. 074101, 2007.

- [2] M. F. Moreira, I. C. S. Carvalho, W. Cao, C. Bailey, B. Taheri, dan P. Palffy-Muhoray, "Cholesteric liquid-crystal laser as an optic fiber-based temperature sensor," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 85, no. 14, hal. 2691–2693, 2004.
- [3] D. M. Henry, J. H. Herringer, dan N. Djeu, "Response of 1.6 μm Er: $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ fiber-optic temperature sensor up to 1520 K," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 74, no. 23, hal. 3447–3449, 1999.
- [4] L. Li, Q. Han, Y. Chen, T. Liu, dan R. Zhang, "An all-fiber optic current sensor based on ferrofluids and multimode interference," *IEEE Sens. J.*, vol. 14, no. 6, hal. 1749–1753, 2014.
- [5] D. Zhang, Z. Di, Y. Zou, dan X. Chen, "Temperature sensor using ferrofluid thin film," *Microfluid. Nanofluidics*, vol. 7, no. 1, hal. 141–144, 2009.
- [6] J. A. Lopez, F. González, F. A. Bonilla, G. Zambrano, dan M. E. Gómez, "Synthesis and characterization of Fe_3O_4 magnetic nanofluid," *Rev. Latinoam. Metal. Mater.*, vol. 30, no. 1, hal. 60–66, 2010.
- [7] A. Taufiq, E. G. Rachman Putra, dan S. Pratapa, "Nano-structural studies on Fe_3O_4 particles dispersing in a magnetic fluid using X-ray diffractometry and small-angle neutron scattering," in *Materials Science Forum*, 2015, vol. 827, hal. 213–218.
- [8] M. Abareshi, E. K. Goharshadi, S. M. Zebarjad, H. K. Fadafan, dan A. Youssefi, "Fabrication, characterization and measurement of thermal conductivity of Fe_3O_4 nanofluids," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 322, no. 24, hal. 3895–3901, 2010.
- [9] E. Petrova, D. Kotsikau, dan V. Pankov, "Structural characterization and magnetic properties of sol-gel derived $\text{Zn}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ nanoparticles," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 378, hal. 429–435, 2015.
- [10] H. D. Nguyen, T. D. Nguyen, D. H. Nguyen, dan P. T. Nguyen, "Magnetic properties of Cr doped Fe_3O_4 porous nanoparticles prepared through a co-precipitation method using surfactant," *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 5, no. 3, hal. 035017, 2014.
- [11] S. A. Kulkarni, P. S. Sawadh, dan K. K. Kokate, "Synthesis and Characterization of Fe_3O_4 Nanoparticles for Engineering Applications."
- [12] H. El Ghandoor, H. M. Zidan, M. M. Khalil, dan M. I. M. Ismail, "Synthesis and some physical properties of magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles," *Int J Electrochem Sci*, vol. 7, no. 6, hal. 5734–5745, 2012.
- [13] S. Bhukal, T. Namgyal, S. Mor, S. Bansal, dan S. Singhal, "Structural, electrical, optical and magnetic properties of chromium substituted Co-Zn nanoferrites $\text{Co}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Cr}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 1.0$) prepared via sol-gel auto-combustion method," *J. Mol. Struct.*, vol. 1012, hal. 162–167, 2012.
- [14] O. A. Li *et al.*, "Size dependent magnetic and magneto-optical properties of $\text{Ni}_{0.2}\text{Zn}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanoparticles," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 408, hal. 206–212, 2016.
- [15] Z. Reza Marand, M. Helmi Rashid Farimani, dan N. Shahtahmasebi, "Study of magnetic and structural and optical properties of Zn doped Fe_3O_4 nanoparticles synthesized by co-precipitation method for biomedical application," *Nanomedicine J.*, vol. 1, no. 4, hal. 238–247, 2014.
- [16] J. Saffari, N. Mir, D. Ghanbari, K. Khandan-Barani, A. Hassanabadi, dan M. R. Hosseini-Tabatabaei, "Sonochemical synthesis of $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ magnetic nanocomposites and their application in photo-catalytic degradation of various organic dyes," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 26, no. 12, hal. 9591–9599, 2015.
- [17] Y. Wang, I. Nkurikiyimfura, dan Z. Pan, "Sonochemical synthesis of magnetic nanoparticles," *Chem. Eng. Commun.*, vol. 202, no. 5, hal. 616–621, 2015.
- [18] S. Wu *et al.*, " Fe_3O_4 magnetic nanoparticles synthesis from tailings by ultrasonic chemical co-precipitation," *Mater. Lett.*, vol. 65, no. 12, hal. 1882–1884, 2011.
- [19] W. Wu, Q. He, H. Chen, J. Tang, dan L. Nie, "Sonochemical synthesis, structure and magnetic properties of air-stable $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Au}$ nanoparticles," *Nanotechnology*, vol. 18, no. 14, hal. 145609, 2007.
- [20] A. Taufiq *et al.*, "Analysis of crystal structure and dielectric of Zn^{2+} ion doped nanoparticle magnetite based on iron sand synthesized by coprecipitation method," *J. Sains Materi Indones.*, vol. 13, no. 2, 2012.

- [21] Q. Tian, Q. Wang, Q. Xie, dan J. Li, "Aqueous Solution Preparation, Structure, and Magnetic Properties of Nano-Granular $Zn_xFe_{3-x}O_4$ Ferrite Films," *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 5, no. 9, hal. 1518, 2010.
- [22] W. Crookes, *Chemical News and Journal of Industrial Science*, vol. 27. Chemical news office., 1773.
- [23] S.-Y. Yang, Y.-P. Chiu, B. Y. Jeang, H.-E. Horng, C.-Y. Hong, dan H.-C. Yang, "Origin of field-dependent optical transmission of magnetic fluid films," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 79, no. 15, hal. 2372–2374, 2001.
- [24] S. Pu, X. Chen, Z. Di, dan Y. Xia, "Relaxation property of the magnetic-fluid-based fiber-optic evanescent field modulator," *J. Appl. Phys.*, vol. 101, no. 5, hal. 053532, 2007.