e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Pengaruh Jenis Pelapis Polyethylene Glycol Dan Oleic Acid terhadap Sifat Magnetik Nanopartikel Fe3O4 Untuk Aplikasi Biosensor: Kajian Komparatif

Effect of Polyethylene Glycol and Oleic Acid Coating Types on the Magnetic Properties of Fe3O4 Nanoparticles for Biosensor Applications: Comparative Studies

Cindy Florecita Lumbangaol*, Sovian Aritonang, Hotma Siringoringo, Lutfiah Maharani, Fesa Mahardika,

*Program Studi Fisika Militer, Universitas Pertahanan Republik Indonesia

florecitacindy017@gmail.com*, sovian.aritonang@idu.ac.id , hotmarentasiringoringo@gmail.com, luthfiahmaharani3@gmail.com, fesamahardikaanastasya@gmail.com

Abstract

Magnetite nanoparticles (Fe_3O_4) have significant potential for magnetic biosensor development due to their magnetic properties, which can be utilized as biomolecular detection elements. However, the tendency of Fe_3O_4 nanoparticles to agglomerate may affect their stability and performance, requiring surface coating with organic compounds such as polyethylene glycol (PEG) and oleic acid. This study aims to compare the effects of these two coating materials on magnetic properties, structure, particle size, and their implications for biosensor sensitivity. The method employed was a comparative literature review using descriptive qualitative and quantitative approaches based on two experimental studies: Antarnusa and Suharyadi (2020) on PEG coating and Helendra et al. (2025) on oleic acid coating. The analyzed parameters included saturation magnetization (Ms), coercivity (Hc), crystallite size based on XRD, particle morphology based on TEM, and giant magnetoresistance (GMR) sensor sensitivity. The results indicate that both coatings reduce saturation magnetization and particle size. In the PEG system, Ms decreased from 77.16 to 37.15 emu/g, while in the oleic acid system, it decreased from 47.71 to 42.29 emu/g. Oleic acid coating also reduced GMR sensor sensitivity from 5.07 to 3.35 mV/(mg/mL). These reductions are associated with the addition of non-magnetic coating layers, changes in surface spin interactions, and possible partial oxidation of magnetite. Therefore, selecting the appropriate coating type and concentration requires balancing particle stability, magnetic property retention, and biosensor sensitivity to obtain optimal materials for magnetic biosensor development.

Keywords **:** *Fe_3O_4 Nanoparticles, Polyethylene Glycol, Oleic Acid, Magnetic Properties, GMR Biosensor.*

Abstrak

Nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) memiliki potensi besar dalam pengembangan biosensor magnetik karena sifat magnetiknya yang dapat dimanfaatkan sebagai elemen pendeteksi biomolekul. Namun, kecenderungan aglomerasi pada nanopartikel Fe_3O_4 dapat memengaruhi stabilitas dan kinerjanya, sehingga diperlukan pelapisan menggunakan senyawa organik seperti polyethylene glycol (PEG) dan asam oleat. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh kedua jenis pelapis tersebut terhadap sifat magnetik, struktur, ukuran partikel, serta implikasinya terhadap sensitivitas biosensor. Metode yang digunakan adalah kajian literatur komparatif dengan pendekatan deskriptif kualitatif dan kuantitatif berdasarkan dua penelitian eksperimental, yaitu Antarnusa dan Suharyadi (2020) mengenai pelapisan PEG serta Helendra dkk. (2025) mengenai pelapisan asam oleat Parameter yang dianalisis meliputi magnetisasi saturasi (Ms), koersivitas (Hc), ukuran kristalit berdasarkan XRD, morfologi partikel berdasarkan TEM, serta sensitivitas sensor giant magnetoresistance (GMR). Hasil kajian menunjukkan bahwa kedua jenis pelapis menyebabkan penurunan magnetisasi saturasi dan ukuran partikel. Pada sistem PEG, nilai Ms menurun dari 77,16 menjadi 37,15 emu/g, sedangkan pada sistem asam oleat menurun dari 47,71 menjadi

Author@ This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

42,29 emu/g. Pelapisan asam oleat juga menunjukkan penurunan sensitivitas sensor GMR dari 5,07 menjadi 3,35 mV/(mg/mL). Penurunan tersebut berkaitan dengan penambahan lapisan nonmagnetik, perubahan interaksi spin pada permukaan, serta kemungkinan oksidasi sebagian magnetit. Dengan demikian, pemilihan jenis dan jumlah pelapis perlu mempertimbangkan keseimbangan antara stabilitas partikel, retensi sifat magnetik, dan sensitivitas biosensor agar diperoleh material yang optimal untuk pengembangan biosensor magnetik.

Kata Kunci: Nanopartikel Fe_3O_4, Polyethylene Glycol, Asam Oleat, Sifat Magnetik, Biosensor GMR.

Penulis Korespondensi : Cindy Florecita Lumbangaol

I. PENDAHULUAN

Nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) banyak dikembangkan untuk aplikasi biosensor, baik sebagai penanda biomolekul (nano-tag) maupun sebagai elemen pendeteksi pada sensor giant magnetoresistance (GMR). Material ini menarik karena magnetisasi saturasinya tinggi, sifat magnetiknya lunak, dan dapat disintesis dengan metode kopresipitasi yang sederhana, murah, dan tidak memerlukan suhu tinggi [Helendra, 2025]. Pada biosensor magnetik, sinyal deteksi berasal dari medan magnet nanopartikel yang terikat pada target biologis, sehingga kekuatan sifat magnetik partikel berpengaruh langsung pada sensitivitas sensor [Chen and Lee, T.R. (2017)]. Oleh karena itu, setiap perlakuan yang mengubah sifat magnetik Fe_3O_4 perlu dipahami dampaknya terhadap kinerja sensor.

Nanopartikel Fe_3O_4 tanpa pelapis cenderung menggumpal akibat interaksi magnetik antarpartikel dan luas permukaannya yang besar, sehingga stabilitas dan dispersibilitasnya dalam media cair menurun [Urian, Y.A. 2021)]. Untuk mengatasinya, permukaan partikel umumnya dilapisi senyawa organik. Pelapis mencegah aglomerasi dan membantu mengendalikan ukuran partikel, tetapi menambahkan lapisan non-magnetik pada permukaan partikel, sehingga jenis dan jumlah pelapis menentukan keseimbangan antara stabilitas partikel dan kekuatan sifat magnetiknya. Dua pelapis yang sering digunakan adalah polyethylene glycol (PEG) dan asam oleat. PEG merupakan polimer hidrofilik yang biokompatibel dan larut dalam air, sedangkan asam oleat merupakan asam lemak rantai panjang yang bersifat hidrofobik dan banyak dipakai untuk menstabilkan nanopartikel selama sintesis [Wibowo, N.A. 2020]. Sifat kimia keduanya yang berlawanan membuat dampaknya terhadap sifat magnetik dan kinerja sensor layak dibandingkan.

Dua penelitian terbaru menyediakan data untuk perbandingan tersebut. Antarnusa dan Suharyadi (2020) mensintesis Fe_3O_4 dengan metode kopresipitasi dan melapisinya dengan PEG pada konsentrasi 0 hingga 50% berat. Fe_3O_4 tanpa pelapis menunjukkan perilaku magnetik lunak dengan magnetisasi saturasi (Ms) 77,16 emu/g dan koersivitas (Hc) 50 Oe. Penambahan PEG menurunkan Ms hingga 37,15 emu/g dan memperkecil ukuran kristalit dari 12 nm menjadi 8,6 nm. Helendra dkk. (2025) juga menggunakan kopresipitasi, tetapi dengan pelapis asam oleat pada beberapa variasi jumlah pelapis. Ms yang dilaporkan berada pada rentang 47,71 hingga 42,29 emu/g, dan sensitivitas sensor GMR menurun dari 5,07 menjadi 3,35 mV/(mg/ml). Kedua penelitian menunjukkan pola yang sama, yaitu penambahan pelapis menurunkan Ms, namun rentang variasi pelapis, besar penurunan, dan cakupan pengujiannya berbeda: penelitian pertama berfokus pada karakterisasi material, sedangkan penelitian kedua menghubungkan sifat magnetik dengan kinerja sensor.

Berdasarkan penelusuran penulis, kedua penelitian tersebut belum pernah disandingkan secara langsung. Akibatnya, belum jelas bagaimana pelapis hidrofilik (PEG) dan hidrofobik (asam oleat) berbeda dalam menurunkan sifat magnetik Fe_3O_4 yang disintesis dengan metode yang sama, dan bagaimana perbedaan itu berimplikasi pada sensitivitas biosensor. Informasi ini penting karena pemilihan pelapis merupakan

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

keputusan desain yang harus mempertimbangkan dua hal yang saling bertentangan, yaitu kompatibilitas dengan media biologis berbasis air dan retensi sifat magnetik. Kebaruan artikel ini terletak pada sintesis komparatif kedua data tersebut, yaitu memadukan data karakterisasi magnetik pada sistem PEG dengan data kinerja sensor pada sistem asam oleat untuk menjelaskan trade-off antara biokompatibilitas dan retensi sifat magnetik, yang belum dibahas dalam kedua penelitian secara terpisah. Tujuan artikel ini adalah (1) membandingkan perubahan magnetisasi saturasi, koersivitas, dan ukuran partikel Fe_3O_4 akibat pelapisan dengan PEG dan asam oleat, (2) menjelaskan faktor kimia dan struktural yang mendasari perbedaan tersebut, dan (3) memberikan pertimbangan pemilihan pelapis untuk pengembangan biosensor magnetik berbasis Fe_3O_4.

II. METODE

Penelitian ini adalah kajian literatur komparatif dengan pendekatan deskriptif kualitatif dan kuantitatif. Tidak ada eksperimen yang dilakukan. Perbandingan dilakukan terhadap data sekunder dari dua penelitian eksperimental yang telah dipublikasikan, dengan jenis pelapis sebagai variabel pembeda. Sumber data utama adalah dua artikel, yaitu Antarnusa dan Suharyadi (2020) yang meneliti Fe_3O_4 berlapis polyethylene glycol (PEG) dan Helendra dkk. (2025) yang meneliti Fe_3O_4 berlapis asam oleat. Seluruh angka dalam artikel ini diambil dari tabel, gambar, dan teks kedua artikel tersebut. Artikel lain hanya digunakan sebagai pendukung teori dan tidak sebagai sumber data perbandingan.

Artikel dipilih berdasarkan tiga kelompok kriteria. Pertama, material yang sama: nanopartikel Fe_3O_4 (magnetit) dengan pembanding sampel tanpa pelapis pada masing-masing artikel. Kedua, metode sintesis yang sama: kopresipitasi dari $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dan $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dengan massa yang sama (8,109 g dan 4,170 g) pada 60 °C selama 90 menit. Ketiga, aplikasi yang sama, yaitu biosensor. Selain itu, kedua artikel menggunakan jenis pelapis yang berbeda, melaporkan data kuantitatif sifat magnetik, dan terbit dalam sepuluh tahun terakhir di jurnal bereputasi dengan akses terbuka. Dengan kriteria ini, perbedaan hasil dapat dikaitkan terutama pada jenis pelapis

Parameter yang dicatat dari kedua artikel adalah (1) magnetisasi saturasi (Ms, emu/g), (2) koersivitas (Hc, Oe), (3) ukuran partikel, yaitu ukuran kristalit dari XRD dan ukuran butir dari TEM (nm), serta (4) sensitivitas sensor GMR (mV per mg/mL) bila dilaporkan. Data pendukung yang dicatat adalah kondisi sintesis, jenis dan takaran pelapis, serta alat karakterisasi (XRD, FTIR, TEM, VSM). Nilai diambil dari teks atau tabel; nilai yang hanya tersedia pada grafik ditandai sebagai perkiraan. Data disusun dalam tabel komparasi yang memuat kondisi dan hasil kedua artikel. Analisis dilakukan dalam empat tahap. Pertama, perubahan relatif tiap parameter terhadap sampel tanpa pelapis dihitung dengan persamaan berikut.

Δ (%) = (nilai awal − nilai akhir) / nilai awal × 100%. Perhitungan dilakukan di dalam masing-masing artikel, bukan antarartikel, karena takaran pelapis berbeda (persen berat pada PEG dan volume pada asam oleat). Kedua, tren perubahan Ms, koersivitas, ukuran partikel, dan sensitivitas dibandingkan secara deskriptif pada kedua sistem. Ketiga, efek pengenceran massa pada sistem PEG diperiksa dengan membandingkan Ms terukur terhadap Ms,0 × (1 − fraksi massa PEG). Keempat, perbedaan tren dijelaskan secara kualitatif melalui sifat kimia pelapis dan struktur permukaan partikel, berdasarkan kedua artikel dan literatur pendukung.

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Tabel 1. Alat dan bahan pada eksperimen kedua artikel sumber

Komponen	PEG (Antarnusa & Suharyadi, 2020)	Asam Oleat (Helendrad kk, 2025)
Bahan	$FeCl_3$, 6H2O, dan FeSO4, 7H2O (Merck), NH4OH 10%, akuades PEG 400.	FeCl3, 6H2O dan FeSO4, 7H2O (merck), Nh4OH 25% diencerkan menjadi 10%, akuades, etanol, asam oleat.
Peralatan Sintesis	Pengaduk magnetic (450 rpm, 60 derajat C), magnet permanen untuk pemisahan, rungku pengering 80	Pengaduk magnetic (500 rpm untuk pelarutan, 600 rpm pada 60 derajat C untuk reaksi), ultrasonikator (pengenceran NH4OH dan pelapisan), magnet permanen, tungku/oven 80 derajat C (Fe3O4) dan 70 derajat (pelapisan)
XRD	Shimadzu XD, monokromator kristal, Cu-Kα (λ = 1,5406 Å)	Philips X'Pert PRO (PW3050/60), Cu-Kα (λ = 0,15406 nm), 40 kV, 40 mA, 2θ = 5–90°, laju 0,016°/s
FTIR	Tipe alat tidak disebutkan	PerkinElmer Spectrum 2, 400–4000 cm^{-1}, resolusi 0,5 cm^{-1}
TEM	JEOL JEM-1400	Tipe alat tidak disebutkan
VSM	Riken Denshi Co. Ltd., medan hingga ±15 kOe, suhu ruang	Dexing VSM250, medan hingga ±20 kOe
Uji Sensor	Tidak dilakukan	Chip sensor GMR; dispersi Fe_3O_4 dan Fe_3O_4–OA 2–35 mg/mL dalam etanol, 2 µL per tetes, tiga kali pengulangan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil

Antarnusa dan Suharyadi (2020) menyintesis Fe_3O_4 dengan kopresipitasi, lalu melapisinya dengan PEG-4000 melalui kopresipitasi dua tahap pada lima variasi (0, 20, 25, 33,3, dan 50% berat). Karakterisasinya mencakup XRD, FTIR, TEM, dan VSM. Penelitian ini tidak menguji kinerja sensor. Helendra dkk. (2025) menyintesis Fe_3O_4 dengan kopresipitasi yang serupa, kemudian melapisinya dengan asam oleat pada dua takaran (0,75 dan 1,25 mL) dan menambahkan uji sensor giant magnetoresistance (GMR). Tabel 2 merangkum perbandingan kondisi dan hasil utama keduanya.

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Tabel 2. Perbandingan kondisi sintesis dan hasil karakterisasi

Aspek	PEG (Antarnusa Suharyadi, 2020)	Asam oleat (Helendra dkk., 2025)	Catatan
Prekursor kondisi dan	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 8,109 g; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 4,170 g; 60 °C; 90 menit; 450 rpm	Sama; 60 °C; 90 menit; 600 rpm	Prekursor identik, pengadukan berbeda
Sifat pelapis	PEG-4000, hidrofilik	Asam oleat, hidrofobik	
Cara pelapisan	Kopresipitasi dua tahap, 50 mL akuades	Dilapiskan pada Fe_3O_4 jadi (500 mg dalam 200 mL etanol), sonikasi 90 menit	Cara berbeda
Variasi pelapis	0; 20; 25; 33,3; 50% berat	0; 0,75; 1,25 mL	Satuan berbeda
Ms (emu/g)	77,16 → 37,15 (50% berat)	47,71 → 45,90 → 42,29	Acuan tanpa pelapis berbeda
Mr (emu/g)	7,65 (tanpa pelapis)	6,10 → 6,08 → 5,53	
Hc (Oe)	50 (tanpa pelapis); sampel berlapis dinyatakan nol, tanpa angka	97,93 → 97,23 → 99,91	Hc artikel PEG tidak konsisten
Kristalit (nm) XRD	12 → 8,6 (sampel berlapis PEG, kadar tidak dirinci)	18,55 → 17,27 → 16,30	
Butir TEM (nm)	14,5 ± 0,5 → 12,5 ± 0,5 (kadar tidak dirinci)	17,52 → 15,41 (0,75 mL)	TEM 1,25 mL tidak disajikan
Sensitivitas GMR [mV/(mg/mL)]	Tidak diuji	5,07 → 4,49 → 3,35	

Dua hal perlu diingat sejak awal. Prekursor dan massanya identik, tetapi pelapisan PEG dilakukan bersamaan dengan kopresipitasi, sedangkan asam oleat dilapiskan pada Fe_3O_4 yang sudah jadi di dalam etanol. Selain itu, titik acuan tanpa pelapis kedua penelitian sudah berbeda sebelum pelapisan: Ms 77,16 dan 47,71 emu/g, serta kristalit 12 dan 18,55 nm. Karena itu, perbandingan dilakukan pada arah dan besar perubahan di dalam masing-masing penelitian, bukan pada nilai mutlaknya.

Kedua penelitian mengonfirmasi bahwa Fe_3O_4 terbentuk sebagai spinel inversi. Antarnusa dan Suharyadi (2020) mengindeks puncak (220), (311), (400), (511), dan (440) dengan puncak terkuat (311) pada 2θ sekitar 35,4°. Helendra dkk. (2025) melaporkan puncak serupa pada 2θ = 30,06°; 35,44°; 43,05°; 53,07°; 57,13°; dan 62,66° yang sesuai dengan data magnetit JCPDS 19-0629. Pola sampel berlapis asam oleat tidak menunjukkan pergeseran puncak yang berarti, sehingga struktur spinel tidak berubah oleh pelapisan.

Kedua pola juga memperlihatkan fase tambahan. Pada Fe_3O_4 tanpa pelapis, Antarnusa dan Suharyadi (2020) menemukan α-Fe_2O_3 pada $2\theta \approx 32°$ dan mengaitkannya dengan oksidasi selama sintesis. Pada sampel berlapis PEG muncul puncak baru pada 23°, 27°, dan 32° yang diindeks sebagai γ-FeO(OH), α-FeO(OH), dan α-Fe_2O_3. Penulisnya menafsirkan bahwa PEG bereaksi dengan permukaan melalui gugus hidroksil dan

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

membatasi pertumbuhan kristal, dan menyebut PEG juga dapat menekan fase α-Fe_2O_3. Helendra dkk. (2025) menandai α-Fe_2O_3 pada pola ketiga sampelnya. Dengan demikian, fase oksida non-magnetit hadir pada kedua sistem, dan hal ini perlu diingat saat menafsirkan penurunan magnetisasi pada Subbab 3.5. Ukuran kristalit dihitung kedua penelitian dengan persamaan Scherrer. Pada sistem PEG, ukuran turun dari 12 menjadi 8,6 nm (penurunan 28,3%). Pada sistem asam oleat, ukuran turun dari 18,55 menjadi 17,27 dan 16,30 nm (penurunan 6,9% dan 12,1%). Kedua penelitian menafsirkan hasil ini sebagai peran pelapis dalam membatasi pertumbuhan kristal dan menghambat aglomerasi. Helendra dkk. (2025) menambahkan bahwa pelapis mengurangi interaksi dipolar magnetik antarpartikel yang selama ini mendorong penggabungan partikel Gugus fungsi dan bukti keberadaan pelapis (FTIR)

Spektrum FTIR dipakai kedua penelitian untuk membuktikan bahwa pelapis benar-benar menempel pada permukaan partikel (Tabel 3).

Tabel 3. Pita FTIR yang dilaporkan sebagai bukti pelapisan

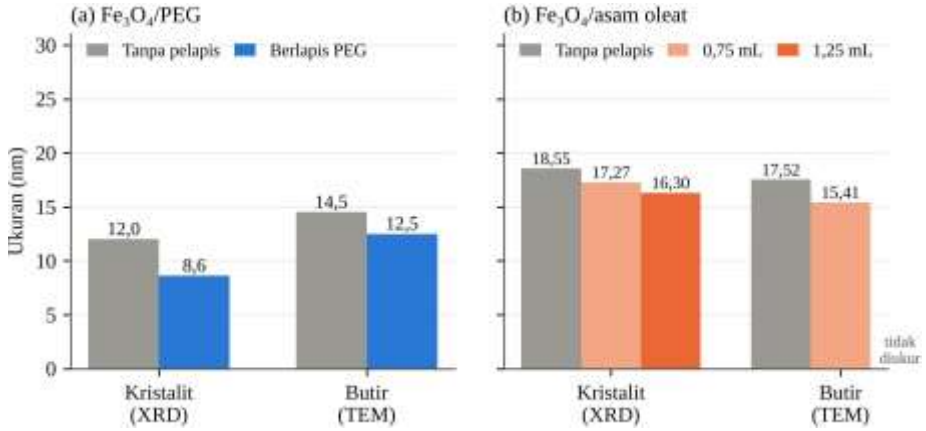
Sistem	Pita (cm^{-1})	Penetapan menurut artikel sumber
PEG (Antarnusa & Suharyadi, 2020)	620–571 (tanpa pelapis); 632 dan 586,36 (berlapis)	Getaran Fe–O, menandakan fase Fe_3O_4
	≈2890	Regangan O–H, air teradsorpsi yang memungkinkan ikatan dengan PEG
	≈1105	Regangan C–O, muncul pada PEG dan Fe_3O_4/PEG, tidak muncul pada Fe_3O_4
Asam oleat (Helendra dkk., 2025)	≈530 (tanpa pelapis) → ≈591 (berlapis)	Fe–O, bergeser akibat interaksi gugus COO^- dengan Fe
	≈1710	Regangan C=O dari asam oleat
	≈2852 dan 2922	Regangan simetris dan asimetris CH_2 rantai hidrokarbon
	bahu ≈630	Mode getar yang dikaitkan dengan maghemit (γ-Fe_2O_3)

Pada sistem PEG, pita C–O 1105 cm^{-1} yang hanya muncul pada sampel berlapis menjadi bukti utama pelapisan. Pada sistem asam oleat, pergeseran pita Fe–O ke 591 cm^{-1} menunjukkan ikatan antara gugus karboksilat dan ion besi di permukaan. Bahu 630 cm^{-1} menandakan oksidasi sebagian magnetit menjadi maghemit, yang oleh Helendra dkk. (2025) dijadikan salah satu penjelasan penurunan Ms.

Kedua penelitian melaporkan partikel berbentuk bola. Antarnusa dan Suharyadi (2020) mendapati diameter rata-rata butir 14,5 ± 0,5 nm untuk Fe_3O_4 dan 12,5 ± 0,5 nm untuk Fe_3O_4/PEG, dengan pola difraksi elektron yang sesuai bidang (220), (311), (400), (440), dan (511). Helendra dkk. (2025) mendapati 17,52 nm untuk Fe_3O_4 dan 15,41 nm untuk Fe_3O_4–OA (0,75 mL). TEM sampel 1,25 mL tidak disajikan (Gambar 2).

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

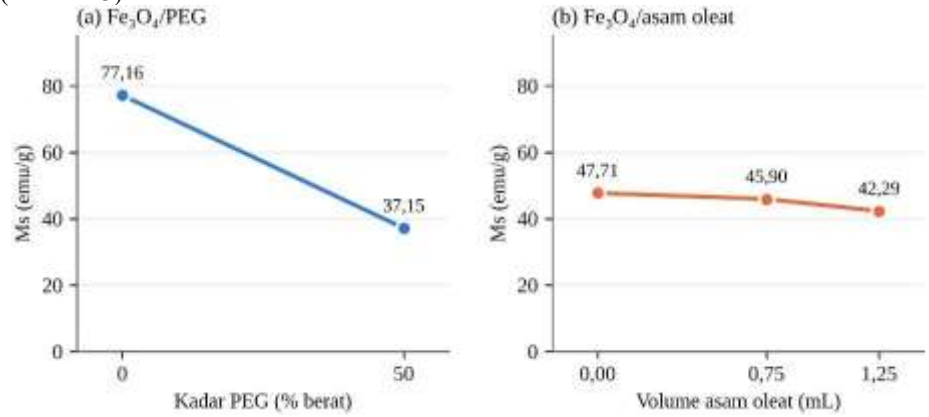
Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan



Gambar 2. Ukuran kristalit (XRD) dan butir (TEM) sebelum dan sesudah pelapisan: (a) Fe_3O_4/PEG, (b) Fe_3O_4/asam oleat. Data diolah dari Antarnusa dan Suharyadi (2020) serta Helendra dkk. (2025).

Penurunan ukuran butir (13,8% pada PEG dan 12,0% pada asam oleat) searah dengan penurunan kristalit pada XRD. Pada sistem PEG, ukuran butir TEM (14,5 dan 12,5 nm) mendekati ukuran kristalit XRD (12 dan 8,6 nm), yang oleh penulisnya dipakai untuk menyimpulkan bahwa partikel bersifat kristalin tinggi. Pada sistem asam oleat, ukuran butir TEM (17,52 dan 15,41 nm) juga mendekati kristalit XRD (18,55 dan 17,27 nm). Helendra dkk. (2025) juga melihat partikel berlapis asam oleat tersebar lebih merata dengan aglomerasi minimal, sedangkan Fe_3O_4 tanpa pelapis menggumpal karena tarikan dipolar magnetik. Antarnusa dan Suharyadi (2020) tetap menemukan aglomerasi di beberapa area meski dengan PEG.

Magnetisasi saturasi. Pada sistem PEG, Ms menurun dari 77,16 emu/g (0%) menjadi 37,15 emu/g (50% berat), atau turun 51,9%. Kurva keempat variasi berlapis berada di antara kedua titik itu, sekitar 62, 55, dan 50 emu/g untuk 20, 25, dan 33,3%; nilai ini hanya dapat dibaca dari grafik dan tidak tertulis di teks artikel sumber. Pada sistem asam oleat, Ms menurun dari 47,71 menjadi 45,90 dan 42,29 emu/g (turun 3,8% dan 11,4%) (Gambar 3)



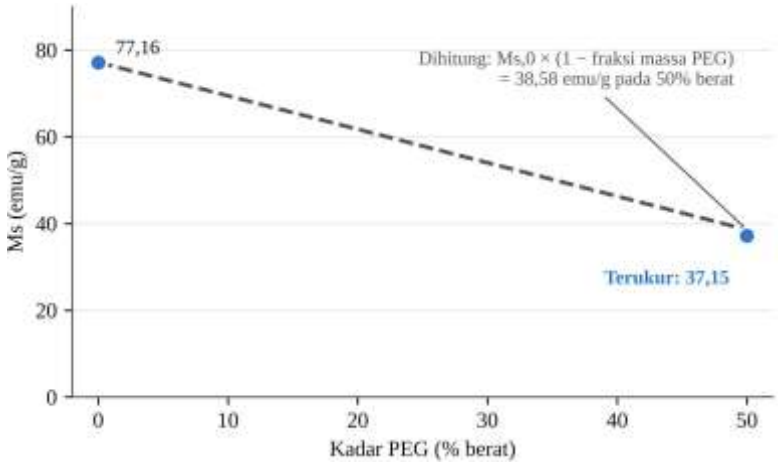
Gambar 3. Magnetisasi saturasi (Ms) terhadap jumlah pelapis: (a) Fe_3O_4/PEG (hanya titik 0 dan 50% berat yang tertulis di teks artikel sumber), (b) Fe_3O_4/asam oleat. Data diolah dari Antarnusa dan Suharyadi (2020) serta Helendra dkk. (2025).

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Koersivitas dan remanensi. Pada sistem asam oleat, Hc nyaris tidak berubah (97,93; 97,23; 99,91 Oe) dan Mr turun dari 6,10 menjadi 6,08 dan 5,53 emu/g. Rasio Mr/Ms, yang dihitung penulis dari data itu, hampir tetap: 0,128; 0,132; dan 0,131. Artinya pelapisan menurunkan magnitudo magnetisasi, tetapi tidak mengubah karakter magnetiknya, yang tetap feromagnetik lunak dengan koersivitas kecil. Pada sistem PEG, Fe_3O_4 tanpa pelapis memiliki Mr 7,65 emu/g dan Hc 50 Oe (Mr/Ms hitungan 0,099), tetapi pembahasan artikel menyebut semua kurva berlapis PEG bersifat superparamagnetik dengan koersivitas nol tanpa menyajikan angka. Pernyataan ini bertentangan dengan Hc 50 Oe untuk sampel tanpa pelapis (0% PEG juga termasuk kurva yang dibahas), sehingga Hc sistem PEG tidak dibandingkan secara kuantitatif.

Pemeriksaan efek pengenceran massa pada PEG. PEG tidak bersifat magnetik. Bila PEG hanya menambah massa sampel dan seluruh PEG tetap berada dalam sampel, Ms yang diharapkan adalah $Ms,0 \times (1 - \text{fraksi massa PEG})$. Pada 50% berat, nilainya $0,5 \times 77,16 = 38,58$ emu/g, sangat dekat dengan hasil ukur 37,15 emu/g, selisih sekitar 3,7% (Gambar 4). Perhitungan ini menunjukkan bahwa penurunan Ms pada sistem PEG sebagian besar dapat dijelaskan oleh komposisi sampel. Antarnusa dan Suharyadi (2020) sendiri menjelaskan penurunan Ms dengan ukuran partikel yang mengecil. Kedua penjelasan tidak saling meniadakan, dan pemeriksaan ini adalah hipotesis penulis yang perlu dikonfirmasi dengan data massa sampel dan hasil pada kadar PEG lainnya.



Gambar 4. Ms terukur dan Ms hasil perhitungan pengenceran massa pada sistem PEG. Perhitungan disusun penulis dari data Antarnusa dan Suharyadi (2020).

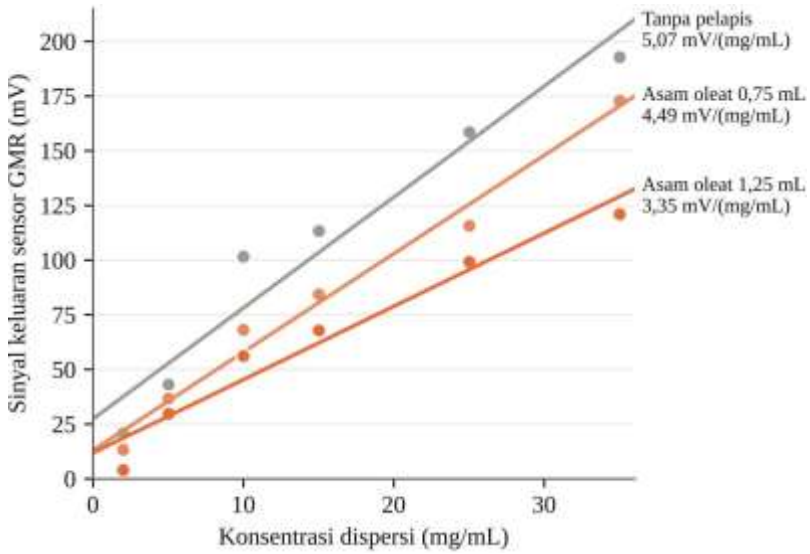
Mekanisme pada asam oleat. Helendra dkk. (2025) menjelaskan penurunan Ms dengan tiga faktor. Pertama, lapisan asam oleat menambah volume nonmagnetik sehingga rapat momen magnet sampel berkurang. Kedua, interaksi karboksilat dengan atom permukaan mengganggu tatanan spin sehingga muncul spin disorder yang mengurangi kontribusi momen permukaan, dan efek asam organik pada tatanan spin ini juga dibahas secara teoretis oleh Bianchetti dan Di Valentin (2022). Ketiga, oksidasi sebagian Fe^{2+} membentuk maghemit yang magnetisasi jenuhnya lebih rendah daripada magnetit. Ketiganya diajukan sebagai penyebab bersama, tanpa uji yang memisahkan kontribusi masing-masing.

Hanya Helendra dkk. (2025) yang menguji sensor. Dispersi Fe_3O_4 dan Fe_3O_4–OA dalam etanol pada enam konsentrasi (2, 5, 10, 15, 25, dan 35 mg/mL) diteteskan ke chip GMR dan sinyal diukur tiga kali pada tiap konsentrasi. Simpangan baku antarpengukuran kecil, sekitar 0,002–0,015 V, sehingga sistem dinilai reprodusibel. Sinyal meningkat dengan konsentrasi pada ketiga sampel (Gambar 5). Sensitivitas, yaitu kemiringan kurva sinyal terhadap konsentrasi, berturut-turut 5,07 ($R^2 = 0,93$), 4,49 ($R^2 = 0,97$), dan 3,35

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

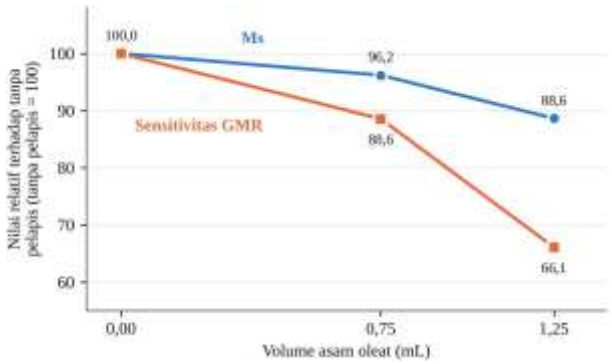
mV/(mg/mL) (R^2 = 0,92) untuk tanpa pelapis, 0,75 mL, dan 1,25 mL. Hitung ulang dari data mentah (Tabel 3 Helendra dkk., 2025) menghasilkan 5,07; 4,50; dan 3,35 mV/(mg/mL), sehingga angka tersebut dapat diverifikasi.



Gambar 5. Sinyal keluaran sensor GMR terhadap konsentrasi dispersi. Kemiringan garis adalah sensitivitas (nilai yang dilaporkan artikel sumber). Data diolah dari Tabel 3 Helendra dkk. (2025).

Pada konsentrasi 35 mg/mL, sinyal turun dari 192,8 menjadi 173,0 dan 121,2 mV (turun 10,3% dan 37,1%). Pada konsentrasi rendah, perbedaan antarsampel lebih kecil daripada simpangan bakunya, misalnya pada 2 mg/mL sinyal Fe_3O_4 tanpa pelapis (20,7 ± 6,3 mV) dan Fe_3O_4–OA 0,75 mL (13,5 ± 2,5 mV) masih tumpang tindih. Artinya perbedaan sensitivitas lebih meyakinkan pada konsentrasi tinggi.

Dibandingkan dengan Ms, sensitivitas turun jauh lebih cepat: 11,4% berbanding 3,8% pada 0,75 mL, dan 33,9% berbanding 11,4% pada 1,25 mL, yaitu sekitar tiga kali lipat pada kedua takaran (Gambar 6). Rasio ini bertumpu pada tiga titik data dari satu penelitian, sehingga hanya menunjukkan bahwa sinyal sensor lebih peka terhadap pelapisan daripada Ms, bukan hubungan kuantitatif yang pasti. Helendra dkk. (2025) menerima penurunan sensitivitas ini sebagai harga untuk dispersibilitas yang lebih baik. Mereka tidak membuktikan peningkatan dispersibilitas secara langsung dengan uji kuantitatif pada media air.



Gambar 6. Ms dan sensitivitas GMR pada sistem asam oleat, dinyatakan relatif terhadap sampel tanpa pelapis (= 100). Data diolah dari Helendra dkk. (2025).

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

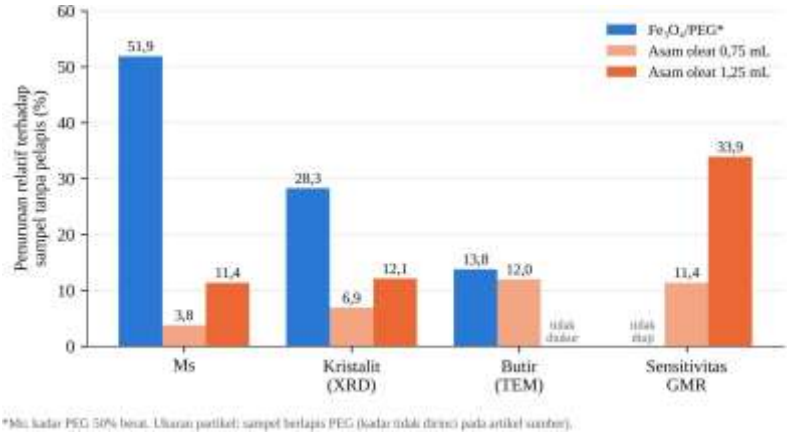
Penelitian lain dari kelompok yang sama melaporkan bahwa Fe_3O_4 berlapis PEG pada sensor GMR spin-valve juga memberi sinyal lebih rendah daripada tanpa pelapis (Suharyadi dkk., 2021). Hasil ini searah dengan Subbab 3.5 dan dengan sistem asam oleat, tetapi karena jenis sensor dan kondisinya berbeda, nilainya tidak digabungkan dengan data Helendra dkk. (2025).

Tabel 4. Penurunan relatif terhadap sampel tanpa pelapis (%)

Parameter	Fe_3O_4/PEG	Asam oleat 0,75 mL	Asam oleat 1,25 mL
Ms	51,9 (50% berat)	3,8	11,4
Kristalit (XRD)	28,3*	6,9	12,1
Butir (TEM)	13,8*	12,0	tidak diukur
Sensitivitas GMR	tidak diuji	11,4	33,9

**Sampel berlapis PEG dengan kadar yang tidak dirinci pada artikel sumber. Perhitungan penulis dari data Antarnusa dan Suharyadi (2020) serta Helendra dkk. (2025).*

Pola yang sama muncul pada kedua sistem: pelapis memperkecil ukuran kristalit dan butir serta menurunkan Ms, dan besar penurunan bertambah seiring jumlah pelapis (gambar 7)



Gambar 7. Penurunan relatif Ms, ukuran partikel, dan sensitivitas GMR terhadap sampel tanpa pelapis. Data diolah dari Antarnusa dan Suharyadi (2020) serta Helendra dkk. (2025).

2. Pemabahasan

Berdasarkan hasil kajian komparatif, penggunaan polyethylene glycol (PEG) dan asam oleat sebagai pelapis nanopartikel Fe_3O_4 menunjukkan pengaruh terhadap sifat magnetik, struktur, dan ukuran partikel. Kedua jenis pelapis memiliki karakteristik kimia yang berbeda, yaitu PEG bersifat hidrofilik, sedangkan asam oleat bersifat hidrofobik. Meskipun demikian, keduanya memiliki fungsi yang serupa, yaitu memodifikasi permukaan nanopartikel dan mengurangi kecenderungan aglomerasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan pelapis menyebabkan penurunan magnetisasi saturasi (Ms) dan ukuran partikel. Hal ini menunjukkan bahwa pelapisan tidak hanya memengaruhi kestabilan nanopartikel, tetapi juga dapat mengubah respons magnetiknya. Pada nanopartikel Fe_3O_4 berlapis PEG, nilai magnetisasi saturasi mengalami penurunan dari 77,16 emu/g menjadi 37,15 emu/g pada konsentrasi PEG 50% berat. Penurunan sebesar 51,9% tersebut menunjukkan bahwa peningkatan jumlah material pelapis dapat mengurangi nilai magnetisasi yang terukur. Salah satu penyebabnya adalah PEG merupakan material nonmagnetik sehingga penambahannya

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

meningkatkan massa total sampel tanpa memberikan kontribusi magnetisasi yang sebanding dengan Fe_3O_4. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya efek pengenceran massa magnetik. Selain itu, pelapisan PEG juga membatasi pertumbuhan kristal, sebagaimana ditunjukkan oleh penurunan ukuran kristalit dari 12 nm menjadi 8,6 nm. Perubahan ukuran ini dapat memengaruhi kondisi magnetik pada permukaan nanopartikel.

Sementara itu, pada sistem Fe_3O_4 berlapis asam oleat, magnetisasi saturasi menurun dari 47,71 emu/g menjadi 42,29 emu/g pada penambahan 1,25 mL asam oleat. Penurunan ini lebih kecil dibandingkan sistem PEG berdasarkan persentase perubahan dalam masing-masing penelitian. Asam oleat memiliki gugus karboksilat yang dapat berinteraksi dengan permukaan nanopartikel besi oksida, sehingga membentuk lapisan organik pada permukaan partikel. Interaksi tersebut dapat memengaruhi keteraturan spin magnetik pada permukaan dan mengurangi kontribusi magnetisasi. Selain itu, kemungkinan oksidasi sebagian Fe_3O_4 menjadi maghemit juga menjadi salah satu faktor yang dapat menjelaskan penurunan magnetisasi. Namun, perbedaan nilai magnetisasi antara kedua penelitian tidak dapat dibandingkan secara langsung karena nilai awal, kondisi sintesis, dan jumlah pelapis yang digunakan berbeda.

Hasil karakterisasi XRD dan TEM memperlihatkan bahwa pelapisan kedua material mampu memengaruhi ukuran kristalit dan ukuran butir nanopartikel. Pada sistem PEG, ukuran kristalit mengalami penurunan dari 12 nm menjadi 8,6 nm, sedangkan ukuran butir berdasarkan TEM menurun dari 14,5 nm menjadi 12,5 nm. Pada sistem asam oleat, ukuran kristalit menurun dari 18,55 nm menjadi 16,30 nm, sementara ukuran butir menurun dari 17,52 nm menjadi 15,41 nm pada variasi pelapis 0,75 mL. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa keberadaan lapisan organik dapat membatasi pertumbuhan partikel dan mengurangi interaksi antarpartikel yang mendorong terjadinya aglomerasi. Meskipun demikian, hasil XRD juga menunjukkan adanya fase oksida besi tambahan pada beberapa sampel, sehingga kemurnian fase material tetap menjadi faktor yang perlu diperhatikan dalam analisis sifat magnetiknya. Pengaruh pelapisan juga terlihat pada kinerja sensor Giant Magnetoresistance (GMR) yang diuji pada penelitian Helendra dkk. (2025). Sensitivitas sensor mengalami penurunan dari 5,07 mV/(mg/mL) pada Fe_3O_4 tanpa pelapis menjadi 4,49 mV/(mg/mL) pada penambahan 0,75 mL asam oleat dan 3,35 mV/(mg/mL) pada penambahan 1,25 mL. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan jumlah pelapis dapat menurunkan respons sensor terhadap perubahan konsentrasi nanopartikel. Hal ini berkaitan dengan berkurangnya kontribusi magnetisasi partikel terhadap medan magnet yang dideteksi oleh sensor GMR. Dengan demikian, meskipun pelapisan dapat membantu meningkatkan kestabilan dan mengurangi aglomerasi nanopartikel, jumlah pelapis yang terlalu besar berpotensi mengurangi sensitivitas deteksi magnetik.

Secara keseluruhan, PEG dan asam oleat memiliki pengaruh yang sama dalam menurunkan magnetisasi saturasi dan memperkecil ukuran nanopartikel Fe_3O_4, tetapi besarnya perubahan bergantung pada jenis dan jumlah pelapis serta kondisi sintesisnya. PEG menunjukkan penurunan magnetisasi yang lebih besar pada variasi yang dilaporkan, sedangkan asam oleat memberikan data tambahan mengenai hubungan antara pelapisan dan sensitivitas sensor GMR. Temuan ini menunjukkan adanya keseimbangan antara kestabilan partikel dan kemampuan mempertahankan sifat magnetik. Oleh karena itu, pemilihan jenis pelapis perlu disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi biosensor, terutama dengan mempertimbangkan lingkungan penggunaannya, kestabilan dispersi, dan sensitivitas deteksi. Penelitian selanjutnya perlu melakukan pengujian PEG dan asam oleat pada kondisi sintesis, konsentrasi pelapis, serta sistem sensor yang sama agar perbandingan pengaruh kedua pelapis dapat dilakukan secara lebih objektif.

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

IV. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa jenis pelapis polyethylene glycol (PEG) dan asam oleat memberikan pengaruh terhadap sifat magnetik nanopartikel Fe_3O_4 untuk aplikasi biosensor. Kedua jenis pelapis mampu memperkecil ukuran kristalit dan ukuran partikel serta mengurangi magnetisasi saturasi (Ms), dengan penurunan yang semakin besar seiring bertambahnya jumlah pelapis. Pelapisan PEG menunjukkan penurunan Ms dari 77,16 menjadi 37,15 emu/g, sedangkan asam oleat menurunkan Ms dari 47,71 menjadi 42,29 emu/g. Pada pengujian sensor GMR, peningkatan jumlah asam oleat juga menyebabkan penurunan sensitivitas dari 5,07 menjadi 3,35 mV/(mg/mL). Hasil ini menunjukkan bahwa pemilihan jenis dan jumlah pelapis perlu disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi, yaitu keseimbangan antara stabilitas partikel, kompatibilitas dengan media biologis, dan kemampuan mempertahankan sifat magnetik. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pengujian. langsung terhadap kedua jenis pelapis menggunakan kondisi sintesis dan pengujian sensor yang sama agar diperoleh perbandingan yang lebih akurat serta dapat ditentukan komposisi pelapis yang paling optimal untuk pengembangan biosensor magnetik berbasis Fe_3O_4.

DAFTAR PUSTAKA

Antarnusa, G. and Suharyadi, E. (2020) 'A synthesis of polyethylene glycol (PEG)-coated magnetite Fe3O4 nanoparticles and their characteristics for enhancement of biosensor', *Materials Research Express*, 7, 056103. https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab8bef.

Antarnusa, G., Jayanti, P.D., Denny, Y.R. and Suherman, A. (2022) 'Utilization of co-precipitation method on synthesis of Fe3O4/PEG with different concentrations of PEG for biosensor applications', *Materialia*, 25, 101525. https://doi.org/10.1016/j.mtla.2022.101525.

Chen, Y.-T., Kolhatkar, A.G., Zenasni, O., Xu, S. and Lee, T.R. (2017) 'Biosensing using magnetic particle detection techniques', *Sensors*, 17(10), 2300.

Helendra, Istiqomah, N.I., Sabarman, H. and Suharyadi, E. (2025) 'Synthesis of varied oleic acid-coated Fe3O4 nanoparticles using the co-precipitation technique for biosensor applications', *Sensors International*, 6, 100295. https://doi.org/10.1016/j.sintl.2024.100295.

Lai, C.W., Low, F.W., Tai, M.F. and Abdul Hamid, S.B. (2018) 'Iron oxide nanoparticles decorated oleic acid for high colloidal stability', *Advanced Polymer Technology*, 37(6), pp. 1712–1721.

Liu, S., Yu, B., Wang, S., Shen, Y. and Cong, H. (2020) 'Preparation, surface functionalization and application of Fe3O4 magnetic nanoparticles', *Advances in Colloid and Interface Science*, 281, 102165. https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102165.

Rife, J.C., Miller, M.M., Sheehan, P.E., Tamanaha, C.R., Tondra, M. and Whitman, L.J. (2003) 'Design and performance of GMR sensors for the detection of magnetic microbeads in biosensors', *Sensors and Actuators A: Physical*, 107(3), pp. 209–218.

Urian, Y.A., Atoche-Medrano, J.J., Quispe, L.T., Félix, L.L. and Coaquira, J.A.H. (2021) 'Study of the surface properties and particle-particle interactions in oleic acid-coated Fe3O4 nanoparticles', *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 525, 167686.

Wibowo, N.A., Juharni, J., Alfansuri, T., Handriani, L.S., Sabarman, H. and Suharyadi, E. (2020) 'Core-shell Fe3O4@Ag magnetic nanoparticles detection using spin-valve GMR sensing element in the Wheatstone bridge circuit', *Materials Research Express*, 7(12), 126102. https://doi.org/10.1088/2053-1591/abce87.

Wulandari, I.O., Sulistyarti, H., Safitri, A., Santjojo, D.J.D.H. and Sabarudin, A. (2019) 'Development of synthesis method of magnetic nanoparticles modified by oleic acid and chitosan as a candidate for drug delivery agent', *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 9(7), pp. 1–11.