

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiv
INTISARI	xv
ABSTRACT	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	6
1.3 Hipotesis Penelitian.....	7
1.4 Tujuan Penelitian	7
1.5 Batasan Penelitian	8
1.6 Manfaat Penelitian	8
1.7 Kebaharuan Penelitian	8
1.8 Peta Jalan Penelitian.....	9
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	10
BAB 3 DASAR TEORI	19
3.1 Kemagnetan pada Bahan.....	19
3.2 Superparamagnetik.....	20
3.3 Magnetit (Fe_3O_4).....	23
3.4 Perak.....	25
3.5 MSN	26
3.6 <i>Green Synthesis</i>	27
3.7 Hipertermia Magnetik	30
3.8 Biokompatibilitas	34

3.9 Metode Karakterisasi Material	35
3.9.1 <i>X-Ray diffractometer (XRD)</i>	35
3.9.2 <i>Transmission electron microscopy (TEM)</i>	36
3.9.3 <i>Scanning electron microscope-energy dispersive x-ray mapping (SEM-EDX Mapping)</i>	38
3.9.4 <i>Vibrating sample magnetometer (VSM)</i>	38
3.9.5 <i>Fourier transform infrared (FTIR)</i>	39
3.9.6 Spektrofotometer UV-Vis	40
3.9.7 <i>Zeta potential analyzer</i>	41
3.9.8 Uji biokompatibilitas.....	43
BAB 4 METODE PENELITIAN.....	44
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian	44
4.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	44
4.2.1 Alat-alat yang digunakan dalam mensintesis komposit nanopartikel	44
4.2.2 Bahan-bahan yang digunakan dalam mensintesis komposit nanopartikel.	46
4.3 Prosedur Penelitian.....	46
4.3.1 <i>Green synthesis Fe₃O₄</i>	48
4.3.2 <i>Green synthesis Fe₃O₄/Ag</i>	49
4.3.3 <i>Green synthesis Fe₃O₄-MSN/Ag</i>	50
4.4 Analisis Data	52
4.4.1 XRD	52
4.4.2 TEM	53
4.4.3 <i>SEM-EDX Mapping</i>	54
4.4.4 VSM.....	54
4.4.5 FTIR	55
4.4.6 UV-Vis.....	56
4.5 Pengukuran SAR.....	57
4.6 Uji <i>zeta potential</i>	57
4.7 Uji biokompatibilitas.....	58
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	60

5.1 Analisis Karakterisasi Nanopartikel Fe ₃ O ₄	60
5.1.1 Mekanisme pembentukan nanopartikel Fe ₃ O ₄	60
5.1.2 Struktur kristal.....	61
5.1.3 Sifat kemagnetan.....	62
5.1.4 Analisis SAR.....	63
5.1.5 Struktur kristal.....	66
5.2 Analisis Karakterisasi Nanopartikel Fe ₃ O ₄ /Ag.....	67
5.2.1 Mekanisme pembentukan nanopartikel Fe ₃ O ₄ /Ag.....	67
5.2.2 Morfologi.....	68
5.2.3 Sifat kemagnetan.....	69
5.2.4 Spektrum UV-Vis.....	70
5.2.5 Spektrum FTIR.....	71
5.2.6 Analisis SAR.....	72
5.3 Analisis Karakterisasi Nanopartikel Fe ₃ O ₄ -MSN/Ag.....	75
5.3.1 Mekanisme pembentukan nanopartikel Fe ₃ O ₄ -MSN/Ag.....	75
5.3.2 Struktur kristal.....	77
5.3.3 Morfologi dan komposisi.....	78
5.3.4 Sifat kemagnetan.....	81
5.3.5 Spektrum UV-Vis.....	82
5.3.6 Spektrum FTIR.....	83
5.3.7 Analisis zeta potensial.....	84
5.3.8 Analisis SAR.....	86
5.3.9 Analisis Biokompatibilitas.....	89
5.4 Analisis Perbandingan Fe ₃ O ₄ , Fe ₃ O ₄ /Ag, dan Fe ₃ O ₄ -MSN/Ag terhadap Nilai SAR sebagai Agen Hipertermia Magnetik.....	90
BAB 6 PENUTUP.....	93
6.1 Kesimpulan.....	93
6.2 Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA.....	95
LAMPIRAN.....	110

Lampiran 1. Daftar Publikasi	110
Lampiran 2. Analisis Data XRD	113
Lampiran 3. Analisis Data VSM.....	116
Lampiran 4. Analisis Data UV-Vis.....	118
Lampiran 5. Analisis Data SAR.....	120
Lampiran 6. Alat Ukur SAR	121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Ilustrasi terapi hipertermia(lian dkk., 2021).....	2
Gambar 1.2	Skema <i>green synthesis</i> MNPs(Gahlawat dkk., 2019)	5
Gambar 1.3	Peta Jalan Penelitian.....	9
Gambar 2.1	Pencitraan TEM Fe/Fe ₃ O ₄ berbentuk (a) bola dan (b) kubus (Martinez-Boubeta dkk (2021)).....	12
Gambar 3.1	Konfigurasi momen magnetik tiap-tiap jenis bahan ketika tidak terpapar medan magnet luar(Coey, 2020)	20
Gambar 3.2	Profil kurva histerisis(Arruebo dkk., 2007)	21
Gambar 3.3	Skema transisi feromagnetik menjadi superparamagnetik bergantung dari ukuran partikel(Arruebo dkk., 2007).....	21
Gambar 3.4	Energi termal partikel magnetik ketika tanpa medan magnet luar(Mohapatra dkk., 2019).....	23
Gambar 3.5	(a)Ilustrasi kation-anion (b)konfigurasi elektron kulit-3d pada Fe ₃ O ₄ (L. Wang dkk., 2004).....	25
Gambar 3.6	Ilustrasi proses <i>green synthesis</i> pembuatan MNPs(Yew dkk., 2020) .	27
Gambar 3.7	Mekanisme pembentukan nanopartikel oleh ekstrak daun tumbuhan(Singh dkk., 2018)	29
Gambar 3.8	Mekanisme pembangkitan panas yang berbeda dari nanopartikel magnetik sebagai respons terhadap AMF(Zeinoun dkk., 2021).....	31
Gambar 3.9	Waktu relaksasi untuk nanopartikel magnetit domain tunggal pada dalam media air(Deatsch dkk., 2014).....	33
Gambar 3.10.	Ilustrasi difraksi dari dua atom pada dua bidang berurutan(Karaman Dennis O, 2005).....	36
Gambar 3.11	Ilustrasi lintasan pancaran elektron beserta komponen utama di dalam TEM(Inkson, 2016)	37
Gambar 3.12	Ilustrasi alat VSM(Rafique, 2015)	39
Gambar 3.13	Ilustrasi pengujian sampel dengan FTIR(Ganzoury dkk., 2015)	40

Gambar 3.14 Ilustrasi zeta potensial (Pate dkk., 2016).....	42
Gambar 4.1 Diagram alir penelitian.....	47
Gambar 4.2 Diagram alir <i>green synthesis</i> Fe ₃ O ₄ dengan MO	48
Gambar 4.3 Diagram alir <i>green synthesis</i> untuk Fe ₃ O ₄ /Ag dengan MO	50
Gambar 4.4 Diagram alir <i>green synthesis</i> untuk Fe ₃ O ₄ -MSN dengan MO	51
Gambar 4.5 Diagram alir <i>green synthesis</i> untuk Fe ₃ O ₄ -MSN/Ag dengan MO	51
Gambar 4.6 Pola XRD nanopartikel Fe ₃ O ₄ (Zhuang dkk., 2015).....	52
Gambar 4.7 a.TEM dan b.SAED nanopartikel Fe ₃ O ₄ (Ravariu dkk., 2020).....	54
Gambar 4.8 Kurva magnetisasi Fe ₃ O ₄ (Ghanbari dkk., 2016).....	55
Gambar 4.9 Hasil FTIR nanopartikel Fe ₃ O ₄ (Gadgeel dkk., 2019).....	56
Gambar 4.11 Skema pengukuran SAR	57
Gambar 4.12 Ilustrasi pengukuran <i>zeta potential</i>	58
Gambar 4.13 Uji biokompatibilitas.....	59
Gambar 5.1 Mekanisme pembentukan Fe ₃ O ₄	60
Gambar 5.2 Hasil XRD Fe ₃ O ₄ dengan variasi larutan MO (a) 10 mL dan (b) 20 mL	61
Gambar 5.3 Kurva histerisis magnetik (<i>M-H</i>) Fe ₃ O ₄ dengan variasi larutan MO (a) 10 mL dan (b) 20 mL.....	62
Gambar 5.4 Profil kenaikan suhu pada frekuensi yang bervariasi pada 100 Oe untuk (a) Fe ₃ O ₄ variasi 10 mL MO, (b) Fe ₃ O ₄ variasi 20 mL MO dan medan magnet bolak-balik yang bervariasi pada 15 kHz untuk (c) Fe ₃ O ₄ variasi 10 mL MO, (d) Fe ₃ O ₄ variasi 20 mL MO.....	63
Gambar 5.5 Nilai SAR Fe ₃ O ₄ pada (a) frekuensi bervariasi pada 100 Oe dan (b) variasi medan magnet bolak-balik pada 15 kHz.....	64
Gambar 5.6 Skema pemanasan nanopartikel Fe ₃ O ₄ pada saat diberi medan magnet eksternal bolak-balik	65
Gambar 5.7 Mekanisme pembentukan Fe ₃ O ₄ /Ag	67
Gambar 5.8 Pola XRD (a) Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ /Ag dengan konsentrasi (b) 20 mM, (c) 40 mM, (d) 60 mM, (e) 80 mM dan (f) 100 mM.....	66

Gambar 5.9	(a) TEM Fe_3O_4 , (b) SAED Fe_3O_4 , (c) distribusi ukuran Fe_3O_4 , (d) TEM $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ 40 mM, (e) SAED $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ 40 mM, dan (f) distribusi ukuran $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ 40 mM.....	68
Gambar 5.10	Kurva histeresis ($M-H$) dari (a) Fe_3O_4 , dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ dengan konsentrasi Ag bervariasi: (b) 20 mM, (c) 40 mM, (d) 60 mM, (e) 80 mM, (f) 100 mM.....	69
Gambar 5.11	Spektrum UV-Vis (a) Ag, (b) Fe_3O_4 , dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ dengan konsentrasi (c) 40 mM, dan (d) 80 mM.....	71
Gambar 5.12	Spektrum FTIR (a) Ag, (b) Fe_3O_4 , dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ dengan konsentrasi (c) 40 mM, dan (d) 80 mM.....	72
Gambar 5.13	Profil kenaikan suhu MNP $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ dengan konsentrasi Ag berbeda: (a) 10 kHz pada 100 Oe, (b) 15 kHz pada 100 Oe, dan (c) 15 kHz pada 150 Oe	73
Gambar 5.14	Nilai SAR $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ MNPs dengan (a) frekuensi bervariasi pada 100 Oe dan (b) medan magnet bolak-balik bervariasi pada 15 kHz	74
Gambar 5.15	Skema pemanasan komposit nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ pada saat diberi medan magnet eksternal bolak-balik.....	75
Gambar 5.16	Mekanisme pembentukan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MSN}/\text{Ag}$	76
Gambar 5.17	Pola XRD dari (a) Fe_3O_4 , (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MSN}$, (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ (konsentrasi Ag 20 mM tanpa MSN) dan MNP $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MSN}/\text{Ag}$ dengan variasi konsentrasi Ag: (d) 5 mM, (e) 10 mM, (f) 15 mM, (g) 20 mM, (h) 25 mM	78
Gambar 5.18	(a)SAED, (b)TEM, dan (c)distribusi ukuran dari $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MSN}/\text{Ag}$ 10 mM	79
Gambar 5.19	SEM, spektrum EDX dan analisis <i>mapping</i> : (a,c,e) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MSN}/\text{Ag}$ 10 mM dan (b,d,f) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MSN}/\text{Ag}$ 20 mM	80
Gambar 5.20	Kurva histeresis ($M-H$) dari (a) Fe_3O_4 , dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MSN}/\text{Ag}$ dengan konsentrasi Ag bervariasi: (b) 5 mM, (c) 10 mM, (d) 15 mM, (e) 20 mM, (f) 25 mm	81

Gambar 5.21	Spektrum UV–Vis (a) Fe_3O_4 , (b) MSN, (c) Fe_3O_4 -MSN, (d) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ dengan konsentrasi Ag 20 mM, dan Fe_3O_4 -MSN/Ag dengan konsentrasi Ag yang bervariasi: (e) 5 mM, (f) 10 mM, (g) 15 mM, (h) 20 mM, (i) 25 mM.....	83
Gambar 5.22	Spektrum FTIR dari (a) Fe_3O_4 , (b) MSN, (c) Ag, (d) Fe_3O_4 -MSN, dan (e) 5 mM Fe_3O_4 -MSN/Ag.	84
Gambar 5.23	Grafik zeta potensial (a) Fe_3O_4 dan (b) Fe_3O_4 -MSN/Ag 20 mM	85
Gambar 5.24	Kurva perubahan suhu terhadap waktu untuk nanopartikel Fe_3O_4 dan Fe_3O_4 -MSN/Ag (a) frekuensi 10 kHz dan medan magnet 100 Oe, (b) frekuensi 15 kHz dan medan magnet 100 Oe, (c) frekuensi 20 kHz dan medan magnet 100 Oe, (d) frekuensi 10 kHz dan medan magnet 150 Oe, (e) frekuensi 15 kHz dan medan magnet 150 Oe, dan (f) frekuensi 20 kHz dan medan magnet 150 Oe.....	86
Gambar 5.25	Nilai SAR berdasarkan variasi medan pada frekuensi (a) 10 kHz, (b) 15kHz, (c) 20 kHz dan variasi frekuensi pada medan (d) 100 Oe, (e) 150 Oe	87
Gambar 5.26	Skema pemanasan komposit nanopartikel Fe_3O_4 -MSN/Ag pada saat diberi medan magnet eksternal bolak-balik.....	88
Gambar 5.27	Diagram viabilitas sel fibroblas.....	90
Gambar 5.28	Grafik perbandingan Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$, dan Fe_3O_4 -MSN/Ag terhadap Nilai SAR	91
Gambar 5.29	Skema pemanasan nanopartikel pada saat diberi medan magnet eksternal bolak-balik	92

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan nilai SAR nanopartikel bentuk bola dengan kubus ($f = 375$ kHz)(Martinez-Boubeta dkk (2021)).....	13
Tabel 2.2 Penelitian terkait sintesis komposit nanopartikel pada aplikasi hipertermia	15
Tabel 2.3 Penelitian <i>green synthesis</i> MNPs dan komposit nanopartikel pada aplikasi hipertermia.....	17
Tabel 4.1 Alat dan kegunaan dalam sintesis MNPs.....	44
Tabel 5.1 Magnetisasi saturasi dan koersivitas MNP Fe_3O_4 dan Fe_3O_4/Ag dengan variasi konsentrasi Ag	70
Tabel 5.2 Data parameter magnetik MNP Fe_3O_4 , Fe_3O_4 -MSN, dan Fe_3O_4 -MSN/Ag dengan konsentrasi Ag yang bervariasi	82