

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN UNGGULAN KOMPETITIF
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

JUDUL PENELITIAN

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI BAHAN NANOKRISTALIN
BERBASIS $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ SEBAGAI KANDIDAT
BAHAN SMART MAGNETIK UNTUK PIGMEN ABSORBER
GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK**



Ketua Peneliti : **Akmal Johan, S.Si.,M.Si.** (NIDN 0021127309)
Anggota Peneliti : 1. **Dr. Dedi Setiabudidaya, M.Sc.** (NIDN 0010116003)
2. **Dr. Ramlan, M.Si.** (NIDN 0010046604)
3. **Prof. Dr. Wisnu Ari Adi, M.Si.** (NIP 197112131998031003)

Dibiayai oleh:
Anggaran DIPA Badan Layanan Umum
Universitas Sriwijaya Tahun Anggaran 2021
Nomor SP DIPA-023.17.2.677515/2021, tanggal 23 November 2020
Sesuai dengan SK Rektor
Nomor : 0010/UN9/SK.LP2M.PT/2021
Tanggal 28 April 2021

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
TA. 2021**

**HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR
SKEMA PENELITIAN UNGGULAN KOMPETITIF**

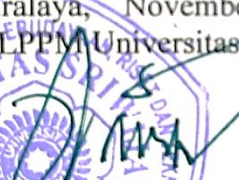
1. Judul Penelitian : Pembuatan dan Karakterisasi Bahan Nanokristalin Berbasis $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ Sebagai Kandidat Bahan Smart Magnetik Untuk Pigmen Absorber Gelombang Elektromagnetik.
2. Bidang Penelitian : Material Maju
3. Ketua Peneliti :
 - a. Nama Lengkap : Akmal Johan, S.Si., M.Si.
 - b. NIDN/ NIDK : 0021127309
 - c. Pangkat dan Golongan : Pembina/ IV.a
 - d. Fakultas/ Jurusan/ Prodi : MIPA/ Fisika
 - e. Telepon/ HP/ E-mail : 08127392602/ akmal_johan@mipa.unsri.ac.id
4. Jumlah Anggota Peneliti : 3 (tiga) orang
 - a. Nama Anggota I : Dr. Dedi Setiabudidaya, M.Sc.
NIDN/ NIDK : 0010116003
 - b. Nama Anggota II : Dr. Ramlan, M.Si.
NIDN/ NIDK : 0010046604
 - c. Nama Anggota III : Prof. Dr. Wisnu Ari Adi, M.Si. (BATAN)
NIDN/ NIP : 197112131998031003
5. Jangka Waktu Penelitian : 1 (dua) tahun
6. Jumlah Dana yang Disetujui : Rp. 60.000.000,- (*Enam puluh juta rupiah*)
7. Target Luaran TKT : 3
8. Nama, NIM dan Jurusan/ Program Studi/ BKU Mahasiswa yang Terlibat : -

Mengetahui
Dekan Fakultas MIPA

Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 19711119 199702 1 001

Indralaya, 29 November 2021
Ketua Peneliti,


Akmal Johan, S.Si., M.Si.
NIP. 197312211999031003

Indralaya, November 2021
Ketua LPPM Universitas Sriwijaya,

Samsuryadi, S.Si., M.Kom., Ph.D.
NIP. 197102041997021003

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Cover	
Halaman Pengesahan	1
Daftar Isi	2
Ringkasan	3
I. Pendahuluan	4
II. Peta Jalan Penelitian (<i>Road Map</i>)	7
III. Tinjauan Pustaka	8
IV. Metode Penelitian	15
V. Hasil dan Pembahasan	18
VI. Kesimpulan	34
Daftar Pustaka	35
LAMPIRAN: Biodata Ketua dan Anggota Tim Peneliti	37
LAMPIRAN: Bukti Luaran wajib dan luaran tambahan	53

RINGKASAN

Pembuatan dan Karakterisasi Bahan Nanokristalin Berbasis $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ Sebagai Kandidat Bahan *Smart* Magnetik Untuk Pigmen Absorber Gelombang Elektromagnetik

Kehilangan refleksi (*reflection loss*, RL) adalah sebuah parameter yang menunjukkan indicator besarnya penyerapan bahan terhadap gelombang mikro yang mengenainya. Namun biasanya dipengaruhi oleh sifat intrinsik berupa sifat permeabilitas dan permitivitas bahan, serta sifat ekstrinsik berupa faktor geometri dan ketebalan dari bahan tersebut. Besarnya serapan merupakan akumulasi dari keduanya sebagai fungsi frekuensi.

Dengan meningkatnya konsentrasi ion dopan La^{3+} , mengakibatkan sifat feromagnetik bahan relatif menurun terutama pada magnetisasi saturasi dan medan koersivitas. Pada sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0.2 - 0.8$), parameter magnetik baik medan saturasi, dari 70 emu/gr menjadi 66 emu/gr, sementara magnetisasi remanensi, dan koersivitas relatif tetap yang berturut-turut pada 10 emu/gr, dan 100 Oe. Berkurangnya medan koersivitas seiring dengan meningkatnya ion dopan La^{3+} diduga berasal dari berkurangnya medan anisotropi.

Pada komposisi sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ tampak bahwa ukuran partikel hasil pengamatan berkisar dari 200 nm hingga 300 nm. Pada penelitian ini tampak bahwa ukuran kristalit meningkat sementara ukuran partikel relatif tidak berubah, artinya bahwa diduga ada peningkatan area domain magnetik, sehingga akan berpengaruh terhadap sifat magnetik bahan ini.

Efek substitusi ion La^{3+} ke dalam ion Fe^{3+} terhadap struktur *cobalt ferrite* yang masih menghasilkan fasa tunggal *cobalt ferrite* diperoleh pada komposisi ion dopan $\text{La}^{3+} < 0,08$. Efek substitusi ion Zn^{2+} ke dalam ion Co^{2+} dan substitusi ion La^{3+} ke dalam ion Fe^{3+} terhadap struktur *cobalt ferrite* diperoleh komposisi terbaik $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{1.94}\text{La}_{0.06}\text{O}_4$ dan memiliki parameter kisi : $a = b = c = 8.4093(1) \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, $V = 594.68(3) \text{ \AA}^3$ dan $\rho = 5.241 \text{ gr.cm}^{-3}$.

Reflection loss (RL) maksimum yang berhasil dicapai pada komposisi optimum sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{1.94}\text{La}_{0.06}\text{O}_4$ ditunjukkan bahwa telah terjadi penyerapan gelombang mikro dengan *bandwidth* yang sangat lebar pada rentang frekuensi antara 8 – 12 GHz dengan nilai RL sebesar -10 dB. Pada frekuensi puncak tertinggi dikalkulasikan besarnya absorpsi gelombang mikro mencapai 98% dengan ketebalan bidang penyerapan 1,5 mm.

Kata Kunci: $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$, *cobalt ferrite*, *reflection loss*, magnetisasi saturasi, medan koersivitas, absorpsi gelombang mikro.

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Material magnetik dengan basis senyawa ferit sampai saat ini masih menarik perhatian banyak para peneliti maupun pelaku industri mengingat aplikasinya yang sangat luas dalam industri elektronik dan telekomunikasi. Diketahui bahwa material berbasis ferit sampai saat ini masih menguasai pangsa pasar dunia hingga 52% hanya sebagai bahan magnet permanen saja [3-4]. Bagi para peneliti, senyawa ferit menjadi menarik karena sifat kemagnetannya juga menjanjikan untuk dieksplorasi lebih lanjut dalam kaitan dengan fenomena-fenomena fisis yang lain, antara lain potensinya untuk menjadi bahan penyerap gelombang elektromagnetik, dikarenakan permeabilitasnya sebagai fungsi frekuensi bernilai tinggi terutama di sekitar daerah frekuensi gelombang mikro [5,6]. Kelebihan yang dimiliki oleh senyawa magnetik ferit antara lain adalah di samping komponen utamanya berbasis besi oksida (Fe_2O_3) yang ketersediaannya di dunia berlimpah dan dengan demikian dapat diproduksi dengan biaya material yang murah, senyawa ini juga memiliki *magnetocrystalline anisotropy constant* yang relatif tinggi $\sim 0.33 \text{ MJ.m}^{-3}$, temperatur Curie $\sim 450^\circ\text{C}$ sehingga dapat beroperasi pada temperatur relatif tinggi, di samping nilai magnetisasi totalnya yang besar $\sim 0,5 \text{ T}$ dan dengan demikian berpotensi memiliki energi sebesar $\sim 45,26 \text{ kJ.m}^{-3}$. [7,8]. Jenis material magnetik yang disebutkan di atas memiliki fasa-fasa oksida yang dibangun berdasarkan ikatan ionik yang sangat kuat. Hal ini menunjukkan bahwa dalam kondisi atmosfer yang umum, jenis material ini secara kimia dan fisika sangat stabil. Jenisnya yang ionik, memudahkan pula proses sintesis material melalui metode yang tidak terlalu sulit seperti *solid state reaction* [9] dan *sol gel* [10] serta metode pembentukan thin film melalui *spin coating* [11]. Mempertimbangkan pengalaman yang cukup dari tim peneliti kami dalam hal sintesis senyawa oksida dengan dasar fasa ferit, dan pengetahuan serta pengalaman penelitian dalam riset fundamental fenomena-fenomena fisis dalam zat mampat dari pengusul, maka kami mengusulkan untuk mengeksplorasi sifat-sifat penyerapan gelombang mikro dari material nanokristalit berbasis $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ dalam kegiatan penelitian unggulan kompetitif ini. Hal ini sejalan dengan pengembangan kegiatan riset yang sedang berjalan di Universitas Sriwijaya oleh kelompok peneliti material magnetik-elektrik agar terdapat sinergi yang saling menguntungkan dari dua keahlian yang berbeda, yakni keahlian sintesis bahan magnetik dan keahlian dalam pemodelan teoretik. Di samping itu, arah penelitian ini juga masih sangat *up-to-date*, mengingat pemanfaatan bahan magnetik berbasis ferit sebagai bahan penyerap

gelombang elektromagnetik hingga saat ini masih terbuka untuk dikembangkan. Fokus penelitian ini pada eksplorasi sifat ekstrinsik material nanokristalit berbasis $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ pasca rekayasa struktur kristal, dan pengukuran serta perhitungan teoretik sifat serapan gelombang elektromagnetik dari material hasil rekayasa struktur tersebut. Rekayasa struktur kristal akan dilakukan melalui substitusi ionik dengan teknik implantasi serta rekayasa material menjadi *nanocrystalline materials* melalui teknik deformasi mekanik dilanjutkan dengan deformasi secara ultrasonik.

1.2. Tujuan Penelitian

Bertolak dari deskripsi yang telah diberikan diatas, pengusul menetapkan arah pengembangan penelitian pada eksplorasi rekayasa struktur Kristal material komposit sistem $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$. Senyawa material memiliki fasa magnetik dasar $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_2\text{O}_4$ dan $\text{CoFe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ atau dikenal sebagai *cobalt ferrite*. Kedua fasa penyusun material akan direkayasa baik struktur kristalnya maupun struktur materialnya untuk menghasilkan efek kopling antar fasa. Rekayasa struktur kristal akan dilakukan melalui substitusi parsial elemen-elemen penyusun kristal dan menjalani proses implantasi ion dengan ion Zn^{2+} dan La^{3+} untuk menurunkan *magnetocrystalline anisotropy constant* fasa. Preparasi material ditelusuri melalui mechanical milling dan solid state reaction agar diperoleh partikel mengandung nanokristalit penyusun struktur material. Pembuatan nanoparticles material akan ditelusuri melalui deformasi oleh ledakan *cavity* yang dihasilkan oleh vibrasi mekanik frekuensi tinggi ~ 20 kHz. Tujuan dari penelitian ini dengan demikian adalah penelusuran sifat ekstrinsik material terutama sifat magnetik dan elektrik antara lain permeabilitas magnetik dan permitivitas elektrik suatu *system bulk materials* untuk mengkaji potensi senyawa magnetik *cobalt ferrite* [$\text{CoO}.\text{Fe}_2\text{O}_3$ (CoFe_2O_4)] sebagai kandidat material penyerap (pigmen absorber) gelombang elektromagnetik.

1.3. Urgensi (Keutamaan) Penelitian

Sintesis dan karakterisasi terhadap senyawa $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ dengan variasi x diperoleh bahwa dengan substitusi ion-ion Zn^{2+} dan La^{3+} akan meningkatkan kepadatan dan konektivitas antar butir. Efek substitusi terhadap sifat magnetik mengungkapkan bahwa magnetisasi total, remanen dan koersivitas berubah dengan adanya substitusi ini. Karena koersivitas dan magnetisasi total dapat dikendalikan atau diatur, sementara sifat

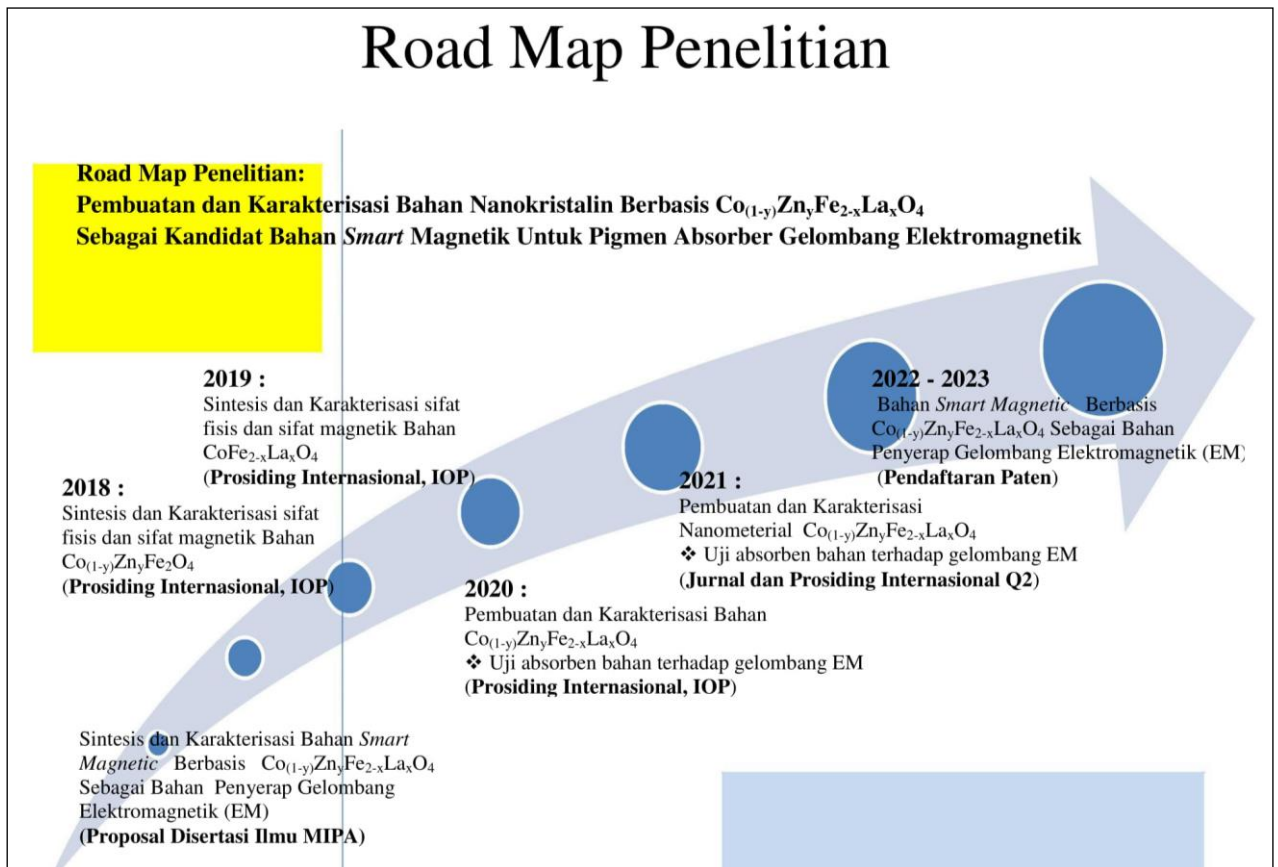
resistivitasnya dipertahankan, maka bahan ini sangat berguna untuk absorber gelombang elektromagnetik [12].

Pada Tahun 2018-2019, penelitian yang telah dilakukan yaitu mensintesis dan mengkarakterisasi senyawa magnetik sistem $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_2\text{O}_4$ dan $\text{CoFe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ hasil *mechanical alloying*. Fokus utama penelitian adalah pada efek modifikasi struktur kristal fasa material dasar terhadap sifat fisika dan magnetik.

Pada tahun ini (2020) rencana yang akan dilakukan pada tahun ini yaitu mempelajari sifat fisika dan magnetik dari senyawa magnetik sistem $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ hasil *mechanical alloying*. Fokus utama penelitian adalah pada efek modifikasi struktur kristal fasa material dasar terhadap sifat fisika dan magnetik. Sifat Fisika yang dimaksud mencakup resistivitas listrik, permitivitas, parameter sel satuan kristal masing-masing senyawa, polarisasi listrik, konstanta dielektrik. Sifat magnetik mencakup polarisasi spontan magnet, magnetisasi remanen, konstanta anisotropi, permeabilitas, medan koersivitas dan bentuk loop histeresis. Kajian sifat-sifat material jenis senyawa tersebut ditelusuri secara teoretikal dan eksperimental.

Pada tahun berikutnya (2021) rencana yang akan dilakukan pada tahun selanjutnya yaitu fokus penelitian pada material nanopartikel sistem nanokristal yang melibatkan fasa material dari jenis senyawa magnetik yang selesai dikaji pada tahun (2018-2019) dan tahun 2020. Sistem nanopartikel yang dimaksud dipersiapkan melalui proses penghalusan material hasil mekanikal milling dan dilanjutkan dengan deformasi gelombang ultrasonik frekuensi tinggi menggunakan perangkat sonikator untuk menghasilkan material yang memiliki sistem nanopartikel. Diharapkan dari kegiatan penelitian pada tahun 2020 telah dihasilkan kandidat material yang mampu menyerap adanya interferensi gelombang elektromagnetik lengkap dengan spesifikasi sifat-sifat absorpsinya.

BAB II. PETA JALAN PENELITIAN (ROAD MAP)

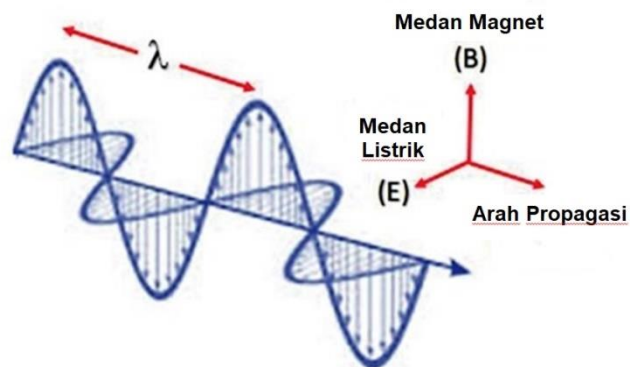


Gambar 2.1. Peta Jalan Penelitian (Road Map)

BAB III. TINJAUAN PUSTAKA

3.1. Gelombang Elektromagnetik (EM)

Gelombang elektromagnetik adalah bentuk energi yang dipancarkan dan diserap oleh partikel bermuatan, yang menunjukkan perilaku seperti gelombang karena bergerak melalui ruang [13]. Gelombang elektromagnetik adalah gelombang transversal yang berosilasi dan terdiri dari medan listrik dan komponen vektor medan magnet seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.



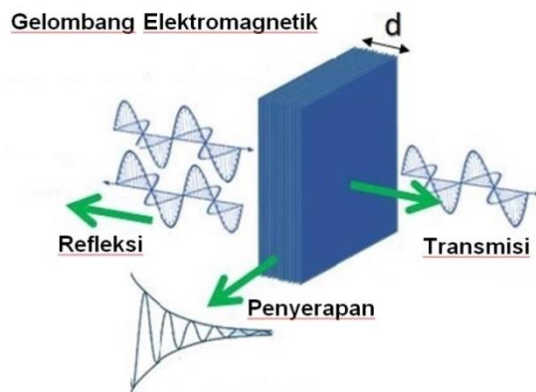
Gambar 3.1. Skema Propagasi Gelombang Elektromagnetik [13]

Energi gelombang elektromagnetik merambat dengan beberapa parameter yang dapat diukur, yaitu panjang gelombang, frekuensi, amplitudo, dan kecepatan. Amplitudo adalah tinggi gelombang, sedangkan panjang gelombang adalah jarak antara dua puncak. Frekuensi adalah jumlah gelombang yang melewati suatu titik dalam satuan waktu. Frekuensi tergantung pada kecepatan gelombang naik. Karena kecepatan energi gelombang elektromagnetik adalah konstan (kecepatan cahaya), panjang gelombang dan frekuensi berbanding terbalik. Semakin panjang gelombang, semakin rendah frekuensi, dan semakin pendek gelombang, semakin tinggi frekuensi [13].

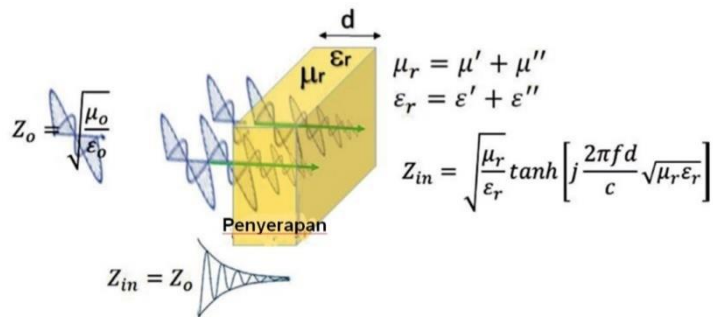
Karakteristik umum dari gelombang elektromagnetik adalah bahwa perubahan dalam medan listrik dan medan magnet terjadi pada waktu yang sama, sehingga kedua bidang memiliki nilai maksimum dan minimum pada waktu dan tempat yang sama. Arah medan listrik dan medan magnet saling tegak lurus, dan keduanya tegak lurus dengan arah rambat gelombang, gelombang elektromagnetik adalah gelombang transversal, dan gelombang elektromagnetik mengalami peristiwa refleksi, refraksi, interferensi, polarisasi, dan difraksi. Perambatan cepat gelombang elektromagnetik hanya tergantung pada sifat listrik dan magnetik dari media yang dilewatinya [13].

yang dilewatinya. Secara umum, penggunaan gelombang mikro didasarkan pada fenomena refleksi dan transmisi saja (lihat Gambar 3.3).

Namun dalam beberapa dekade terakhir, fenomena penyerapan gelombang mikro juga menjadi sangat populer sebagai konsep inti dalam pengembangan teknologi elektronik dan telekomunikasi yang berkembang pesat seperti ditunjukkan dalam inti (Gambar 3.4) [15-17]. Persyaratan utama yang diperlukan sebagai bahan penyerap gelombang mikro adalah bahwa bahan ini memiliki nilai permeabilitas (μ , sifat kehilangan magnetik) dan bahan permitivitas (ϵ , sifat kerugian listrik) [18].



Gambar 3.3. Aturan hukum optik dalam gelombang mikro.[13]



Gambar 3.4. Mekanisme penyerapan gelombang mikro pada bahan.[13]

Secara umum sifat-sifat listrik dan magnetik dari bahan penyerap gelombang mikro ditandai oleh permitivitas kompleks dan permeabilitas kompleks, seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (3.1) dan persamaan (3.2) berikut [19],

$$\epsilon_r = \epsilon' + j\epsilon'' \quad (3.1)$$

$$\mu_r = \mu' + j\mu'' \quad (3.2)$$

Bagian nyata dari permitivitas (ϵ') menyatakan ukuran jumlah energi dari medan listrik eksternal yang tersimpan dalam material, sedangkan bagian imajiner (ϵ'') menyatakan ukuran energi yang hilang akibat medan listrik eksternal. Jika bagian imajiner adalah nol maka materi

adalah materi *lossless* dan disebut faktor kerugian. Hal yang sama untuk permeabilitas, bagian real (μ') menyatakan pengukuran langsung jumlah energi dari medan magnet eksternal yang disimpan dalam material, sedangkan bagian imajiner (μ'') menunjukkan jumlah energi yang dihamburkan karena medan magnet.

Permitivitas hadir dari polarisasi dielektrik bahan. Kuantitas ϵ' juga dapat disebut sebagai konstanta dielektrik suatu bahan. Kuantitas ϵ'' adalah ukuran pelemahan dari medan listrik yang disebabkan oleh bahan. Hilangnya izin singgung suatu bahan didefinisikan seperti persamaan (3.3) berikut,

$$\mathbf{Tan} \delta_{\epsilon} = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (3.3)$$

Semakin besar tangen kerugian suatu bahan, maka akan semakin besar redamannya ketika gelombang bergerak menembus bahan. Hal yang sama berlaku untuk medan magnet seperti ditunjukkan pada persamaan (3.4) berikut,

$$\mathbf{Tan} \delta_{\mu} = \frac{\mu''}{\mu'} \quad (3.4)$$

Kedua komponen berkontribusi pada kompresi panjang gelombang dalam bahan. Karena gelombang elektromagnetik (EM) adalah kombinasi dari dua gelombang antara gelombang listrik dan magnetik, hilangnya medan magnet dan listrik akan melemahkan energi dalam gelombang. Pada sebagian besar damper, baik permitivitas dan permeabilitas adalah fungsi frekuensi dan dapat bervariasi secara signifikan bahkan dalam rentang frekuensi kecil. Jika permitivitas dan permeabilitas kompleks diketahui dalam rentang frekuensi tertentu, efek bahan pada gelombang akan diketahui.

Diketahui bahwa parameter dielektrik dan magnetik meliputi vektor medan listrik \vec{E} , medan magnet \vec{H} , medan induksi \vec{B} , perpindahan \vec{D} , polarisasi \vec{P} , dan magnetisasi \vec{M} . Interaksi medan listrik dalam bahan mengikuti pola yang mirip dengan interaksi magnetik dalam bahan. Salah satu persyaratan yang harus dipenuhi untuk aplikasi praktis sebagai penyerap gelombang elektromagnetik adalah bahwa bahan ini harus memiliki nilai permeabilitas dan permitivitas tertinggi dengan saturasi magnetik yang tinggi. Satuan SI dari permitivitas dan permeabilitas masing-masing adalah farad per meter dan henry per meter. Dalam hal penyerapan energi gelombang EM, interaksi keseluruhan dapat diwakili oleh pencocokan impedansi dielektrik dan magnetik dari bahan (Z_{in}) yang sama dengan impedansi udara (Z_0) sebagai fungsi frekuensi, dan dapat dihitung dengan persamaan (3.5) berikut,

$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left[j \frac{2\pi f d}{c} \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right] \quad (3.5)$$

di mana Z_{in} adalah impedansi bahan, (μ_r) dan (ϵ_r) adalah permeabilitas relatif kompleks dan permitivitas bahan, d adalah ketebalan bahan penyerap, dan c serta f masing-masing adalah kecepatan cahaya dan frekuensi gelombang mikro dalam ruang bebas.

Penyesuaian impedansi ini penting dalam rentang frekuensi gelombang mikro. Saluran transmisi yang diberi beban yang sama dengan impedansi karakteristik memiliki rasio gelombang berdiri (SWR) sama dengan satu dan mentransmisikan sejumlah daya tertentu tanpa refleksi gelombang. Efisiensi penyerapan juga optimal jika tidak ada daya yang dipantulkan. Pencocokan berarti memberikan impedansi yang sama dengan impedansi karakteristik gelombang elektromagnetik. Parameter yang diukur adalah kehilangan refleksi (*Reflection Loss, LR*), dengan menggunakan persamaan (3.6) berikut,

$$RL = -20 \log \left[\frac{Z_{in} - Z_o}{Z_{in} + Z_o} \right] \quad (3.6)$$

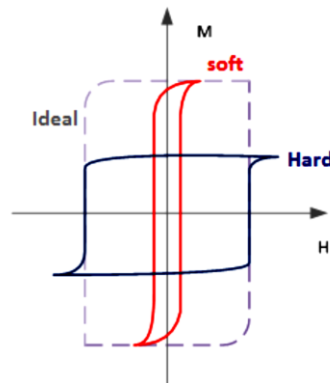
dimana, jika ada impedansi pencocokan $Z_{in} = Z_o$, artinya RL akan menjadi tak terbatas atau semua gelombang telah diserap dengan sempurna. Penentuan kehilangan refleksi (RL) akan didapatkan dari kurva hasil pengukuran dengan peralatan *vector network analyzer* (VNA) serta bantuan tabel Marki (Tabel 3.1) [20] berikut,

Tabel 3.1. Tabel Perhitungan kehilangan refleksi (*Reflection Loss, LR*) [20]

Reflection Loss, LR (dB)	Daya Serap (%)
1	20,57
2	36,90
3	49,88
4	60,19
5	68,38
6	74,88
7	80,05
8	84,15
9	87,41
10	90,00
11	92,06
12	93,69
13	94,99
14	96,02
15	96,84
16	97,49
17	98,00
18	98,42
19	98,74
20	99,00

3.3. Klasifikasi Bahan Magnetik

Bahan magnet dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu magnet lunak (*soft magnets*) dan magnet keras (*hard magnets*). *Soft magnets* adalah bahan magnet yang memiliki koersivitas yang rendah (<25 Oe) dan kurva histeresis loop yang kurus, sedangkan *hard magnets* merupakan bahan magnet yang memiliki nilai koersivitas yang besar (>1 kOe) dan kurva histeresis loop yang lebih lebar [21]. Perbedaan kurva histeresis loop dari soft dan hard magnet di perlihatkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Kurva Histeresis bahan *soft* dan *hard magnets*. [21]

Pengertian magnet permanen merupakan magnet yang memiliki nilai remanensi, yaitu memiliki kemampuan untuk mempertahankan medan magnet ketika eksternal medan magnet diadadakan. Hampir semua magnet permanen berbasis *Rare Earth* merupakan jenis magnet permanen (*hard magnet*) karena digunakan dalam keadaan dimana medan magnet nya dipertahankan permanen (yaitu tidak ada pembalikan atau demagnetisasi). Mikro struktur magnet permanen berbasis *rare earth* memang diperlukan untuk kondisi dengan nilai koersivitas dan energi produk yang tinggi [21].

3.4. Bahan Penyerap Gelombang

3.4.1. Permeabilitas magnetik (μ)

Dalam elektromagnetik, permeabilitas adalah ukuran kemampuan sebuah bahan untuk menunjang terbentuknya medan magnet dalam bahan tersebut. Dapat juga dikatakan, derajat magnetisasi pada sebuah bahan dalam merespon terhadap suatu medan magnet. Permeabilitas magnetik dilambangkan dengan huruf μ . Istilah ini pertama kali disebut pada bulan September 1885 oleh Oliver Heaviside. Kebalikan dari permeabilitas magnetik adalah reluktivitas magnetik [22].

Dalam satuan SI, permeabilitas diukur dalam henri per meter ($\text{H}\cdot\text{m}^{-1}$), atau newtons per ampere persegi ($\text{N}\cdot\text{A}^{-2}$). Konstanta permeabilitas (μ_0), atau dikenal juga dengan konstanta magnetik atau permeabilitas ruang hampa adalah ukuran besarnya hambatan yang muncul

ketika membentuk medan magnet dalam ruang hampa klasik. Konstanta magnetik memiliki nilai eksak (didefinisikan) adalah ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1} \approx 1,2566370614 \times 10^{-6} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$ atau $\text{N}\cdot\text{A}^{-2}$). [22]

Karakteristik bahan yang mirip adalah kepekaan magnetik (*magnetic susceptibility*), yang merupakan faktor berbanding lurus yang menunjukkan derajat magnetisasi sebuah material dalam merespon terhadap medan magnetik.

3.4.2. Permittivitas listrik (ϵ)

Permittivitas adalah suatu kuantitas fisik yang menggambarkan bagaimana medan listrik mempengaruhi dan dipengaruhi oleh suatu medium dielektrik, dan nilainya ditentukan oleh kemampuan bahan dari medium untuk terpolarisasi sebagai respons dari medan tersebut, yang pada akhirnya juga mengurangi medan listrik dalam bahan. Jadi, permittivitas berkaitan dengan kemampuan suatu bahan untuk menyampaikan atau memperbolehkan (atau permit dalam bahasa Inggris) suatu medan listrik [23].

Dalam ruang hampa atau tanpa adanya medium, permittivitas dilambangkan dengan $\epsilon_0 = 8.85... \times 10^{-12} \text{ F/m}$, sedangkan dalam bahan atau medium, dilambangkan dengan ϵ , yang merupakan hasil perkalian nilai permittivitas dalam vakum dengan nilai permittivitas relatif yaitu $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ [23].

IV. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode sintesis dengan penghalusan serbuk menggunakan teknik *mechanical milling* yang dilanjutkan karakterisasi sampel untuk orientasi pada eksplorasi sifat-sifat material absorben khususnya besaran impedansi dan *reflection loss*. Penelusuran secara eksperimental memerlukan preparasi yang sistematis terhadap material, baik pada komposisi material maupun pada proses pembentukan fasa material. Sifat-sifat material yang diteliti mencakup beberapa fenomena fisika di dalam material seperti *ferromagnetism*, ferroelektrik, *magnetocrystalline anisotropy constant*, *complex impedance*, *magnetic permeability*, *electric permittivity* dan lain sebagainya yang kaya dengan kandungan ilmiah.

4.1. Preparasi Sampel

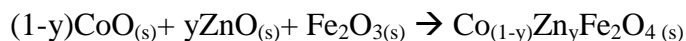
4.1.1. $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_2\text{O}_4$ (dengan $y : 0 - 1,0$) (Penelitian Tahun 2018)

Penyiapan prekursor $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_2\text{O}_4$ (dengan $y : 0 - 1,0$) dengan metode *mechanical milling* dilakukan dengan perbandingan nominal kandungan besi dan barium Fe : Co adalah 2:1. Bahan-bahan dasar yang digunakan adalah Fe_2O_3 , CoO, dan ZnO dan ethanol, produk *merck* dengan tingkat kemurnian *pro analysis*.

Tabel 4.1. Bahan dasar penelitian $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_2\text{O}_4$

No	Nama	Formula Kimia	Produk	Kemurnian
1	Cobalt Oksida	CoO	Merck	99,5 %
2	Iron Oksida	Fe_2O_3	Merck	99,5 %
3	Zinc Oksida	ZnO	Merck	99,5 %

Melakukan pencampuran 3 bahan-bahan dasar tersebut dengan jumlah massanya digunakan prinsip stoichiometri dengan persamaan reaksi :



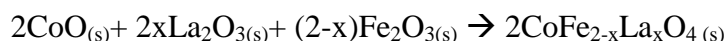
4.1.2. $\text{CoFe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ (dengan x dan $y : 0 - 1,0$) (Penelitian Tahun 2019-2020)

Penyiapan prekursor $\text{CoFe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ (dengan $x : 0 - 1,0$) dengan metode *mechanical milling* dilakukan dengan perbandingan nominal kandungan besi dan barium Fe : Co adalah 2:1. Bahan-bahan dasar yang digunakan adalah Fe_2O_3 , CoO, dan La_2O_3 dan ethanol, produk *merck* dengan tingkat kemurnian *pro analysis*.

Tabel 4.2. Bahan dasar penelitian $\text{CoFe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$

No	Nama	Formula Kimia	Produk	Kemurnian
1	Cobalt Oksida	CoO	Merck	99,5 %
2	Iron Oksida	Fe_2O_3	Merck	99,5 %
3	Lanthanum Oksida	La_2O_3	Merck	99,5 %

Melakukan pencampuran bahan-bahan dasar tersebut dengan jumlah massanya digunakan prinsip stoichiometri dengan persamaan reaksi :



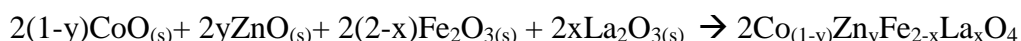
4.1.3. $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ (dengan x dan y : 0 – 1,0) (Penelitian Tahun 2021)

Penyiapan prekursor $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ (dengan x dan y : 0 – 1,0) dengan metode *mechanical milling* dilakukan dengan perbandingan nominal kandungan besi dan barium Fe : Co adalah 2:1. Bahan-bahan dasar yang digunakan adalah Fe_2O_3 , CoO , ZnO , dan La_2O_3 dan ethanol, produk *merck* dengan tingkat kemurnian *pro analysis*.

Tabel 4.3. Bahan dasar penelitian $\text{Co}_{(1-y)}\text{Zn}_y\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$

No	Nama	Formula Kimia	Produk	Kemurnian
1	Cobalt Oksida	CoO	Merck	99,5 %
2	Zinc Oksida	ZnO	Merck	99,5 %
3	Iron Oksida	Fe_2O_3	Merck	99,5 %
4	Lanthanum Oksida	La_2O_3	Merck	99,5 %

Melakukan pencampuran bahan-bahan dasar tersebut dengan jumlah massanya digunakan prinsip stoichiometri dengan persamaan reaksi :



Kemudian serbuk ini masing-masing di milling selama 30 jam menggunakan *high-energy milling*, 'SPEX CertiPrep 8000M Mixer/Mill' yang terdapat di Laboratorium Bidang Karakterisasi dan Analisis Nuklir (BKAN) – Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM) – BATAN PUSPIPTEK Serpong. Untuk menghindari kerusakan pada alat *milling* akibat peningkatan suhu motor yang terlalu tinggi, maka untuk setiap siklus *milling* selama 90 menit, proses dihentikan selama 1 jam untuk proses pendinginan motor. Dalam proses *milling* ini *vial* serta bola yang digunakan terbuat dari *stainless steel*. Serbuk yang telah melalui proses *milling* ini kemudian dibagi dalam beberapa bagian dan dikompaksi dalam bentuk

pellet dengan tekanan kompaksi sekitar 7 ton/cm². Sampel yang telah dipelet kemudian diproses *sintering* dengan suhu 1050°C selama 15 jam di dalam kondisi atmosfer udara biasa.

Analisis kualitas dan kuantitas fasa-fasa yang ada di dalam sampel diukur menggunakan alat *x-ray diffractometer (XRD)*. Pengukuran pola difraksi sampel dilakukan dengan berkas sinar-x dari *tube anode* Cu (cobalt) dengan panjang gelombang, $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$, *mode: continuous-scan*, *step size* : 0,02°, dan *time per step* : 0,5 detik. Profil difraktometer sinar-x dianalisis menggunakan perangkat lunak RIETAN (*Rietveld Analysis*) 1994 dan GSAS [25]. Kemudian analisis struktur magnetik dilakukan dengan alat difraksi neutron (HRPD). Analisis komposisi dan morfologi permukaan menggunakan alat *scanning electron microscope* dan *energy dispersive x-ray spectroscopy (SEM-EDS)*. Sedangkan karakterisasi sifat magnetik diukur dengan menggunakan alat vibrating sampel magnetometer (VSM).

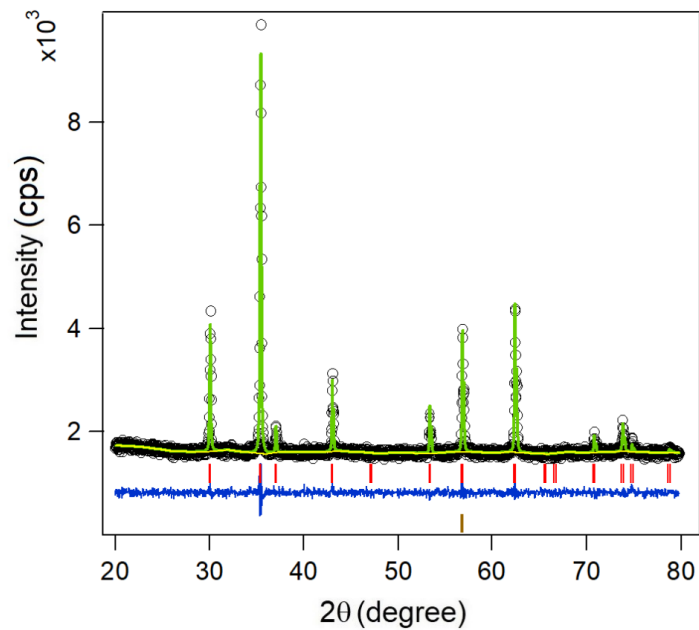
V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Penelitian

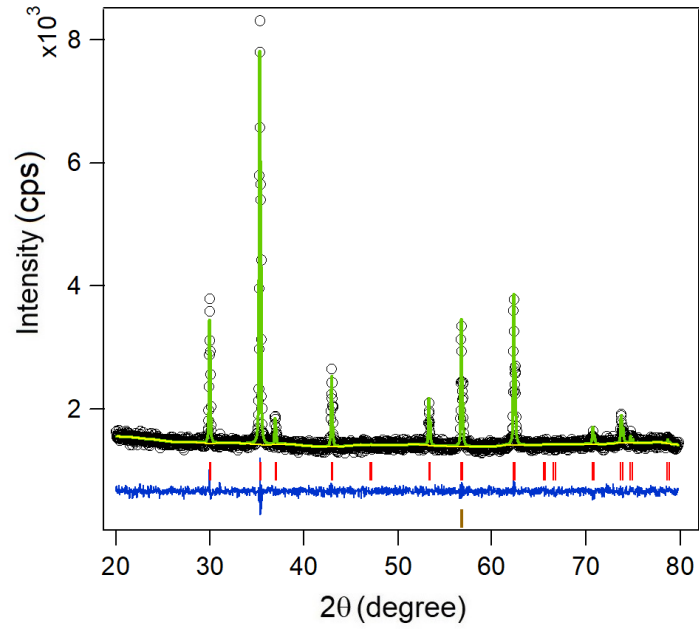
5.1.1. Hasil Analisis Fasa dan Ukuran Kristalit

- $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0,02 - 0,08$)

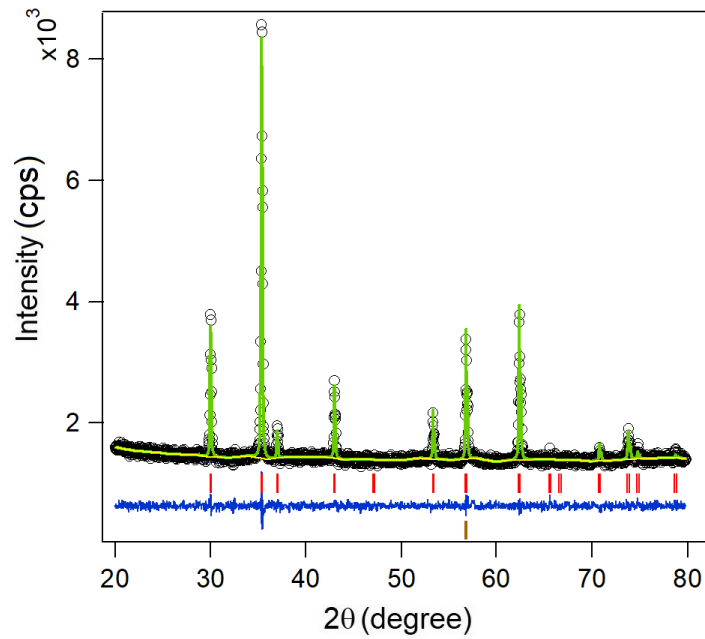
Pada Gambar 5.1 sampai Gambar 5.4 ditunjukkan hasil analisis pola Difraksi Sinar-X sampel $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ setiap komposisi sesuai dengan kandungan dopan lanthanum pada masing-masing sampel. Berdasarkan hasil *refinement* pola difraksi sinar-X sampel $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0,02 - 0,08$) menunjukkan bahwa identifikasi puncak-puncak sampel juga memiliki fasa tunggal sistem cobalt ferit CoFe_2O_4 .



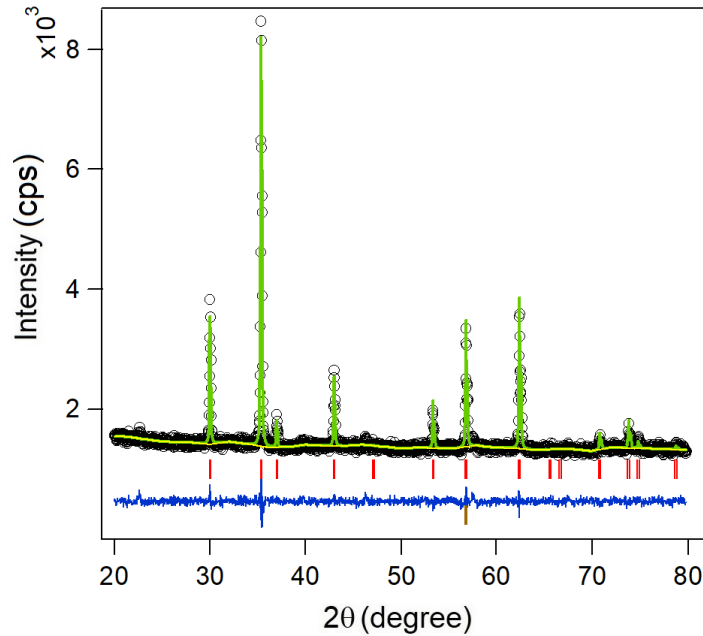
Gambar 5.1. Refinement pola XRD sampel $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0,02$)



Gambar 5.2. Refinement pola XRD sampel $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0,04$)



Gambar 5.3. Refinement pola XRD sampel $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0,06$)



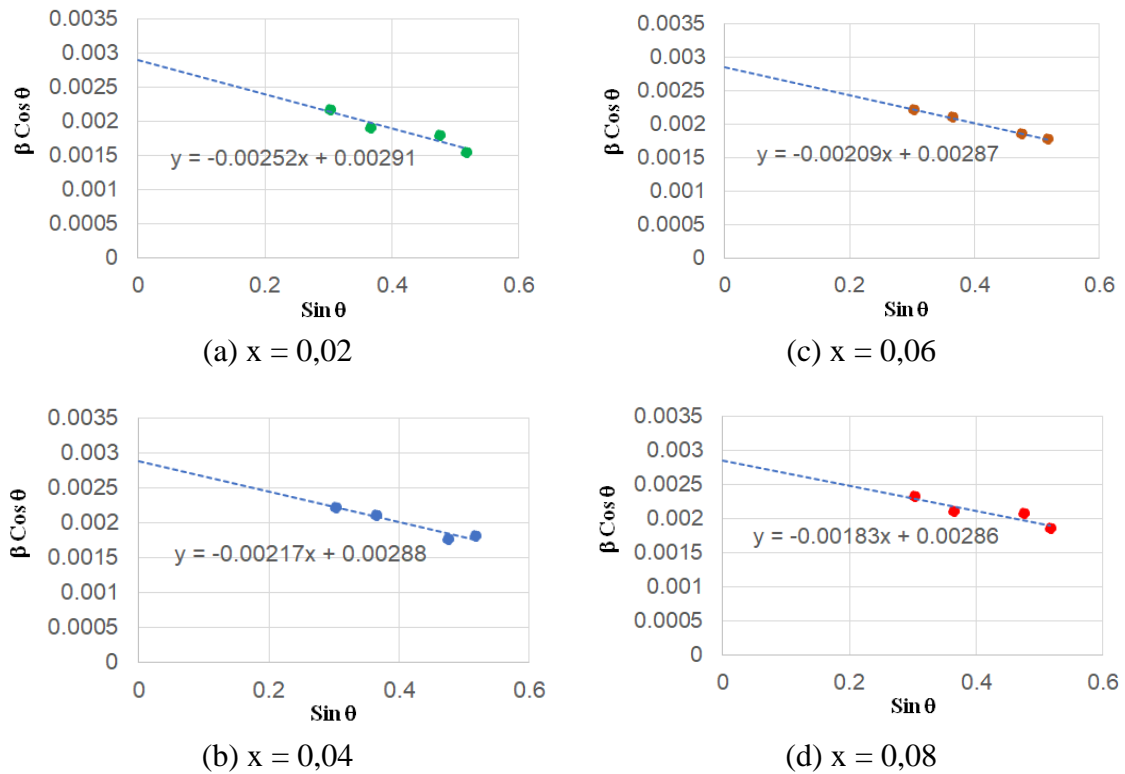
Gambar 5.4. Refinement pola XRD sampel $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0,08$)

Hasil *refinement* ini menghasilkan kualitas *fitting* sangat baik dengan faktor R yang sangat kecil juga. Faktor R merupakan *criteria of fit* dan faktor S adalah *goodness of fit* yang bernilai sangat kecil, dan menurut Izumi nilai S atau χ^2 (*chi-squared*) yang diperkenankan maksimum 1,3. Sedangkan nilai parameter struktur, *Criteria of fit* (R_{wp}) dan *goodness of fit* (χ^2) hasil *refinement* ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Parameter struktur, *Criteria of fit* (R_{wp}) dan *goodness of fit* (χ^2) hasil *refinement*

x	Fasa	SG	R_{wp} (%)	χ^2	Parameter kisi (\AA) $a = b = c$	V (\AA^3)	ρ (g/cm^3)
0,02	CoFe_2O_4	Fd-3m	2.72	1.269	8.4114(1)	595.12(3)	5.237
0,04	CoFe_2O_4	Fd-3m	2.77	1.184	8.4111(1)	595.06(3)	5.238
0,06	CoFe_2O_4	Fd-3m	2.78	1.180	8.4093(1)	594.68(3)	5.241
0,08	CoFe_2O_4	Fd-3m	2.90	1.259	8.4077(1)	594.34(3)	5.244

Perhitungan ukuran kristalit diperoleh dari kurva linear antara $\sin\theta$ sebagai sumbu X terhadap $\beta\cos\theta$ sebagai sumbu Y, sehingga menghasilkan persamaan kurva linear dengan konstanta C. Perhitungan ukuran kristalit ini didapat dari nilai $C = k \lambda/D$ seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.5.

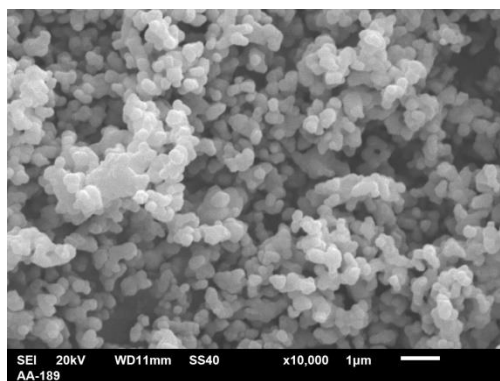


Gambar 5.5. Hasil perhitungan ukuran kristalit menggunakan metode WH

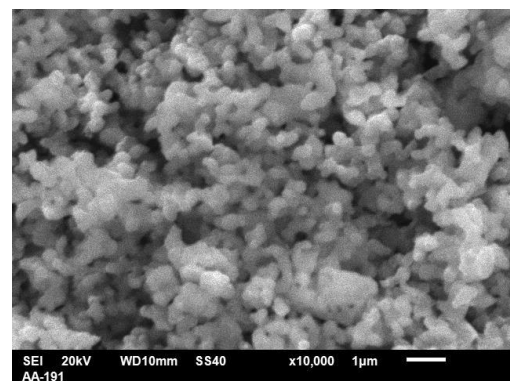
5.1.2. Hasil Analisis Morfologi Partikel dan Komposisi Elementer

- $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0,02 - 0,08$)

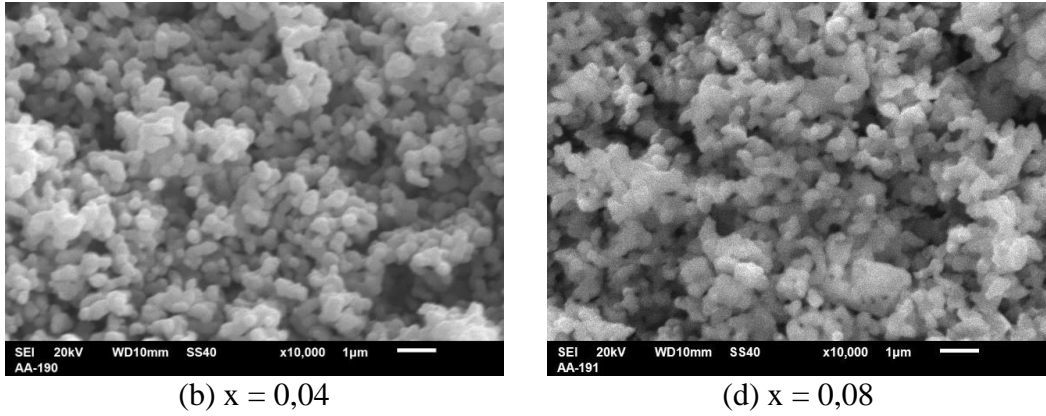
Pada Gambar 5.6 diperlihatkan morfologi partikel sampel $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0,02 - 0,08$) yang juga diamati dengan menggunakan alat scanning electron microscope (SEM) dan analisis komposisi elementer diamati dengan menggunakan *energy dispersive spectroscopy* (EDS). Fasa tunggal $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ini juga tampak memiliki struktur mikro yang homogen.



(a) $x = 0,02$

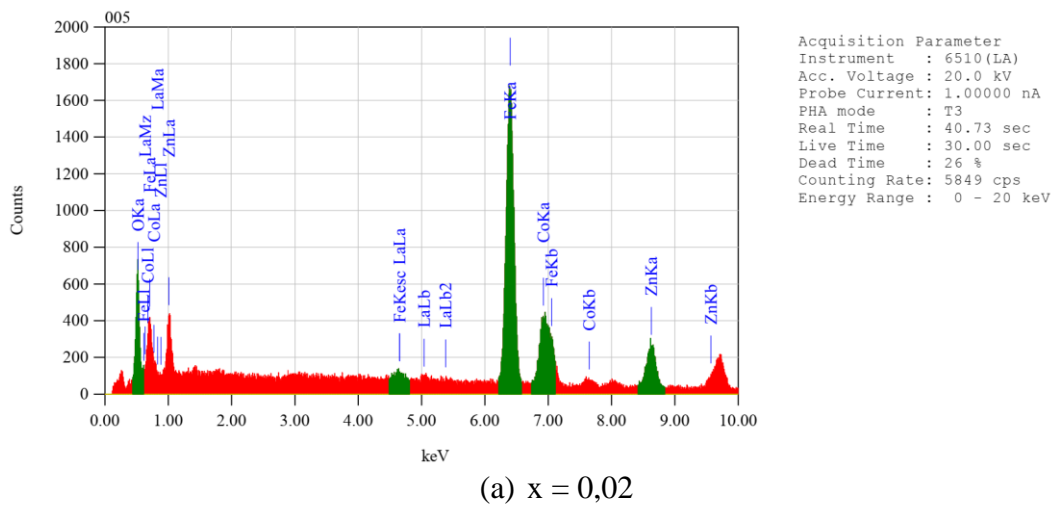


(c) $x = 0,06$

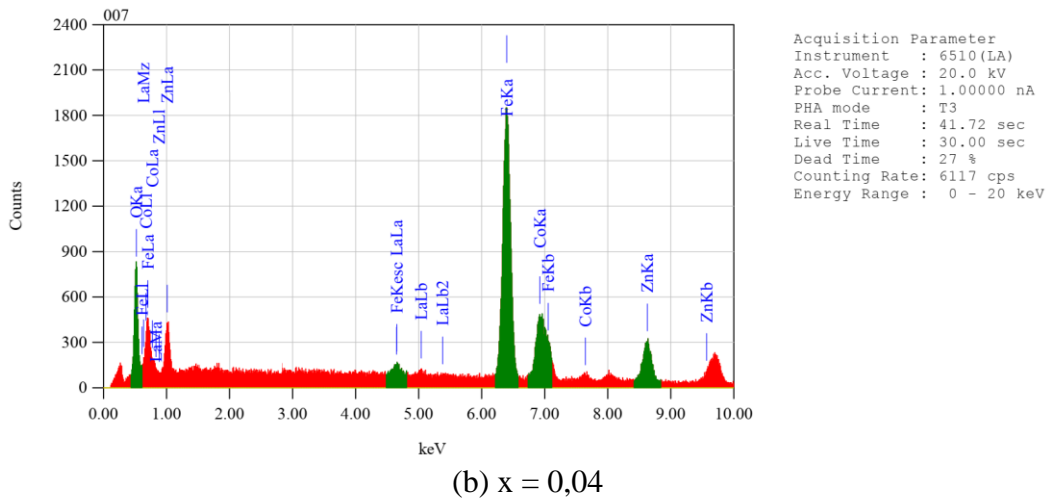


Gambar 5.6. Morfologi permukaan sampel $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$.

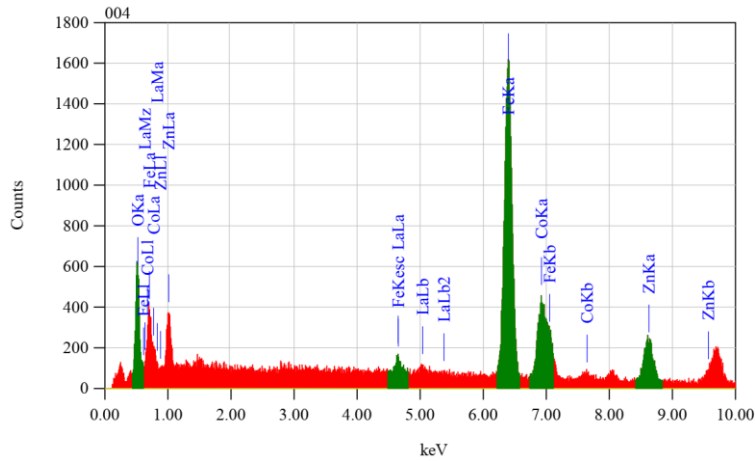
Hasil pengamatan morfologi permukaan tampak bahwa sampel memiliki bentuk dan distribusi ukuran partikel yang relatif seragam. Pada Gambar 5.7 diperlihatkan hasil analisa komposisi elementer sampel $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$.



(a) $x = 0,02$

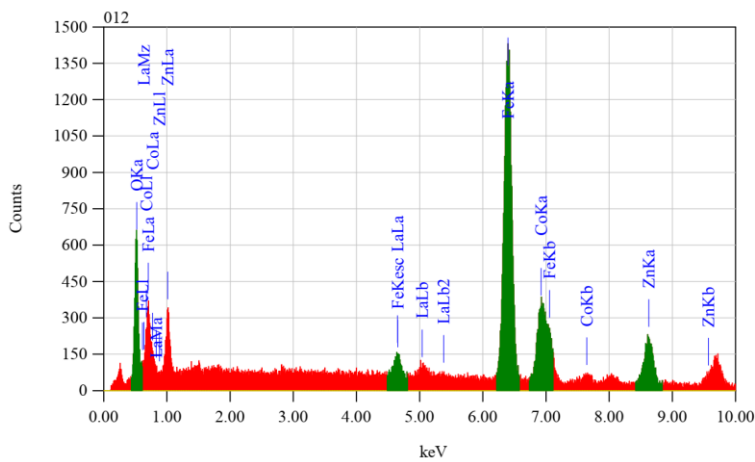


(b) $x = 0,04$



Acquisition Parameter
 Instrument : 6510 (LA)
 Acc. Voltage : 20.0 kV
 Probe Current: 1.00000 nA
 PHA mode : T3
 Real Time : 40.23 sec
 Live Time : 30.00 sec
 Dead Time : 25 %
 Counting Rate: 5518 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

(c) x = 0,06



Acquisition Parameter
 Instrument : 6510 (LA)
 Acc. Voltage : 20.0 kV
 Probe Current: 1.00000 nA
 PHA mode : T3
 Real Time : 37.89 sec
 Live Time : 30.00 sec
 Dead Time : 20 %
 Counting Rate: 4455 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

(a) x = 0,08

Gambar 5.7. Analisa elementer sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$

Secara rinci kandungan unsur yang ada di dalam sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ini ditunjukkan pada Tabel 5.2. Dan menurut hasil analisis elementer ini diperlihatkan bahwa komposisi fasa dari sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ juga sesuai dengan komposisi yang diharapkan.

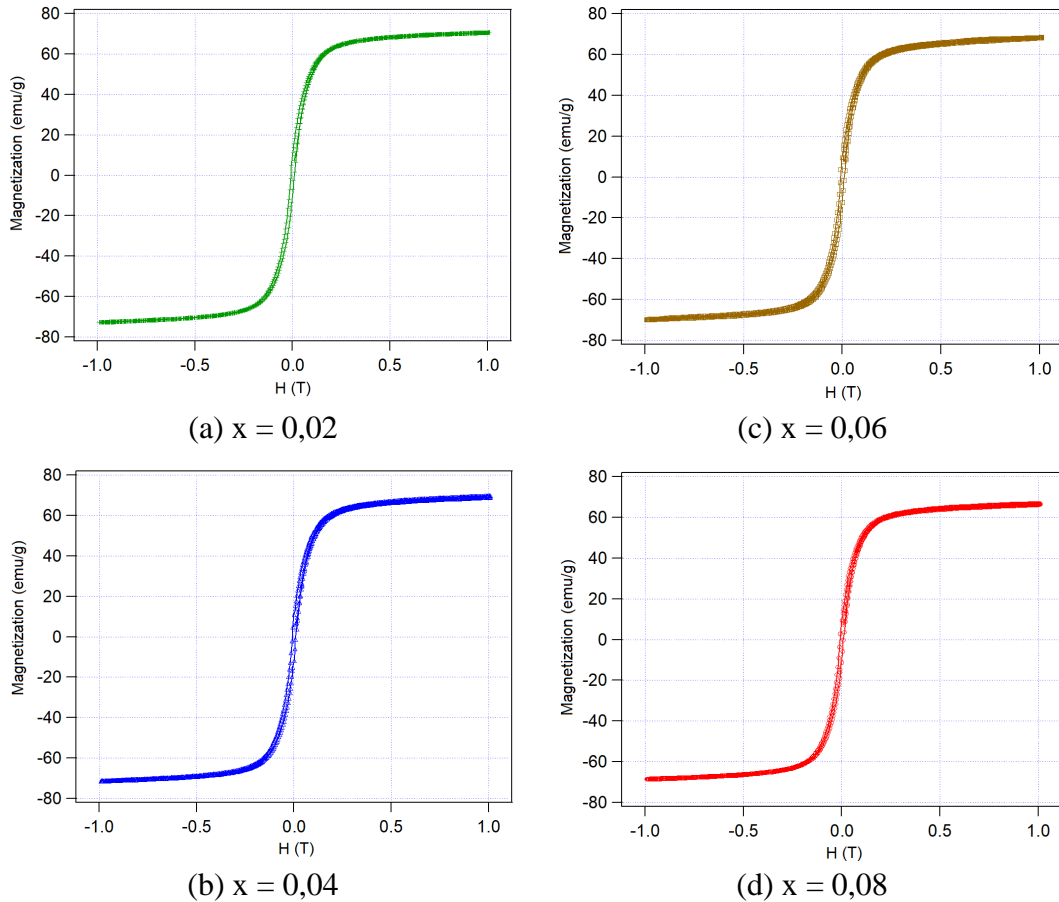
Tabel 5.2. Hasil analisis komposisi menggunakan *energy dispersive spectroscopy*

No.	Unsur	Kandungan (% berat)			
		x = 0,02	x = 0,04	x = 0,06	x = 0,08
1.	Oksigen (O)	10.82 ± 0.39	12.10 ± 0.34	10.55 ± 0.40	12.27 ± 0.29
2.	Iron (Fe)	53.65 ± 0.97	51.65 ± 0.85	53.88 ± 0.87	51.40 ± 0.73
3.	Cobalt (Co)	14.41 ± 0.20	14.30 ± 0.15	15.15 ± 0.23	14.09 ± 0.91
4.	Zinc (Zn)	19.45 ± 0.70	19.48 ± 0.36	17.18 ± 0.77	17.56 ± 0.23
5.	Lanthanum (La)	1.67 ± 0.48	2.46 ± 0.30	3.24 ± 0.52	4.68 ± 0.12

5.1.3. Hasil Analisis Sifat Magnetik

- $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0,02 - 0,08$)

Kurva histerisis sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0,02 - 0,08$) juga diamati dengan menggunakan alat *vibrating sample magnetometer* (VSM). Pada Gambar 5.8 diperlihatkan hasil pengukuran sifat magnetik sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0,02 - 0,08$).



Gambar 5.8. Kurva histerisis sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$.

Berdasarkan karakteristik kurva histerisis tersebut ditunjukkan bahwa semua sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0.2 - 0.8$) juga bersifat feromagnetik dengan magnetisasi saturasi yang cenderung rendah. Pada Tabel 5.3 ditunjukkan hasil karakteristik sifat magnetik bahan komposisi ini.

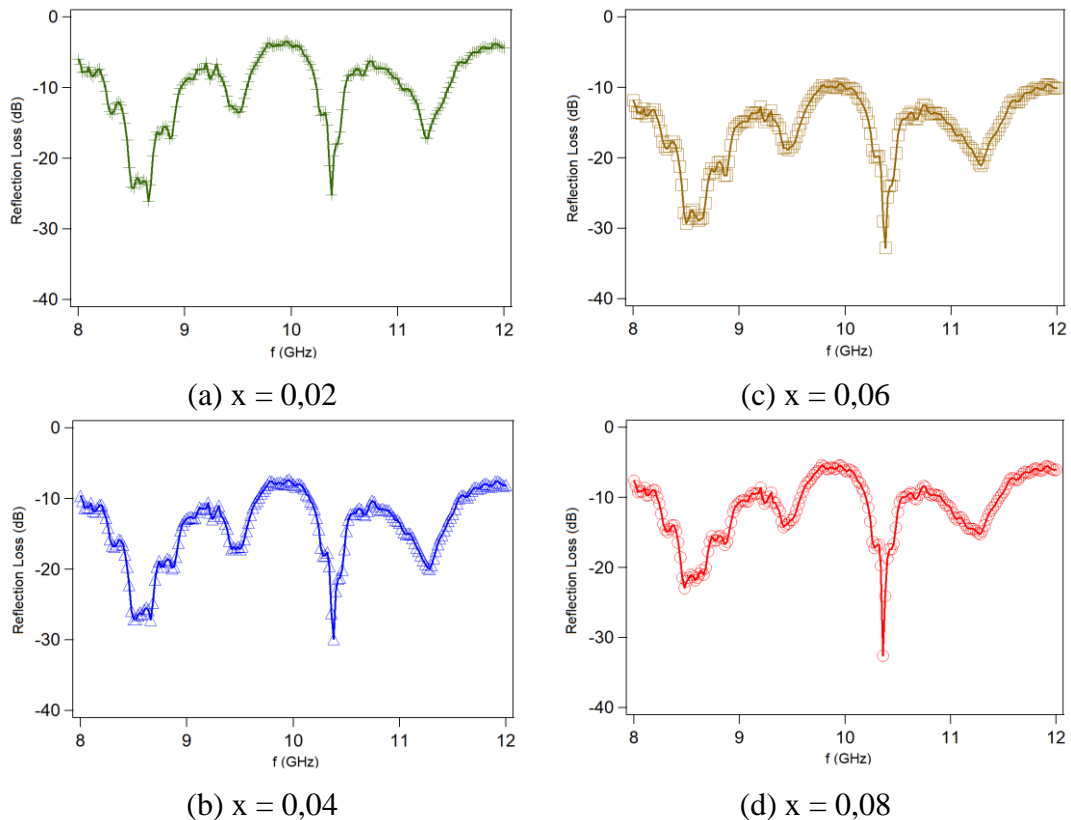
Tabel 5.3. Sifat magnetik sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0.2 - 0.8$)

x	Formula	M_s (emu/gr)	M_r (emu/gr)	H_c (Oe)
0.2	$\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{1.98}\text{La}_{0.02}\text{O}_4$	70	10	100
0.4	$\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{1.96}\text{La}_{0.04}\text{O}_4$	69	10	100
0.6	$\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{1.94}\text{La}_{0.06}\text{O}_4$	68	10	100
0.8	$\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{1.92}\text{La}_{0.08}\text{O}_4$	66	10	100

5.1.4. Hasil Analisis Sifat Serapan Gelombang Mikro

- $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0.02 - 0.08$)

Berdasarkan hasil pengukuran RL sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0.2 - 0.8$) telah ditemukan 3 puncak RL maksimum yang berada pada frekuensi 8.4 GHz, 10.2 GHz dan 11.2 GHz. Pada Gambar 5.9 ditunjukkan hasil pengukuran RL sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0.2 - 0.8$).



Gambar 5.9. Reflection loss (RL) sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$.

Pada Gambar 5.9 tampak bahwa sampel dengan komposisi ini telah ditemukan 3 puncak RL maksimum. Pada Tabel 5.4 diperlihatkan hasil analisa RL sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0.2 - 0.8$).

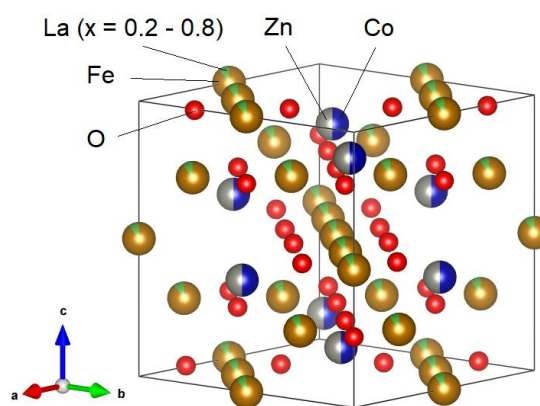
Table 5.4. Reflection loss (RL) sample $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0.2 - 0.8$)

x	RL (dB)	f (GHz)	RL (dB)	f (GHz)	RL (dB)	f (GHz)
0,02	-24	8.5	-26	10.3	-17	11.3
0,04	-26	8.5	-30	10.3	-20	11.3
0,06	-29	8.5	-32	10.3	-21	11.3
0,08	-22	8.5	-32	10.3	-15	11.3

5.2. Pembahasan

Semua spinel magnetik berasal dari sistem magnetite, Fe_3O_4 atau $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$. Definisinya adalah spinel magnetik (normal spinel) ini terdiri dari $[\text{A}][\text{B}]_2\text{O}_4$ atau $[\text{FeIII}][\text{FeIII}\text{FeII}]_2\text{O}_4$, yang memiliki delapan ion Fe trivalen pada sub kisi A dan campuran ion divalen (delapan) dan trivalen (delapan) pada sub kisi B. Disamping itu juga ada dimana struktur dan distribusi kationnya terbalik disebut sebagai spinel terbalik (bentuk invers spinel). Sederhananya spinel terbalik ini dimana bentuk dari Fe_2O_3 terdapat kekosongan pada sublattice B.

Pada penelitian ini 8 ion divalen Co^{2+} telah disubstitusi dengan ion Zn^{2+} , artinya ada sebagian posisi site Co^{2+} diisi oleh ion Zn^{2+} , demikian juga pada 16 ion trivalen Fe^{3+} juga telah disubstitusi dengan ion La^{3+} dimana sebagian posisi site ion Fe^{3+} diisi oleh ion La^{3+} . Pada Gambar 5.10 ditunjukkan ilustrasi struktur kristal fasa *cobalt ferrite* yang telah berhasil disubstitusi oleh Zn^{2+} dan La^{3+} pada komposisi $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$.

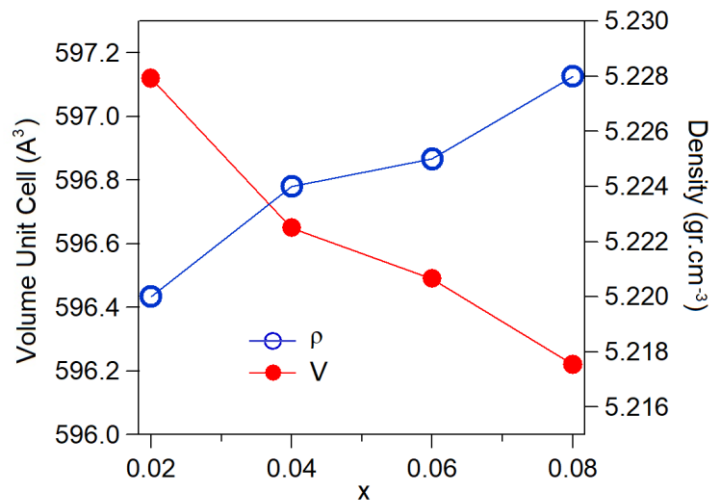


Gambar 5.10. Ilustrasi struktur kristal sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$

Berdasarkan ilustrasi pada Gambar 5.10 kemudian dilakukan analisis pola difraksi sinar-X menggunakan perangkat lunak GSAS (*general structure analysis system*) dengan input komparasi data melalui identifikasi fasa menggunakan program MATCH dan mengacu pada *crystallography open database* fasa *cobalt ferrite* COD: 1533163. Hasil identifikasi fasa diperoleh bahwa ketiga komposisi sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ diduga merupakan fasa tunggal, dan setelah dikonfirmasi menggunakan analisis Rietveld menunjukkan bahwa ketiga komposisi sampel terbukti memiliki fasa tunggal dengan substitusi ion Zn^{2+} dan La^{3+} seperti yang terlihat pada Gambar 5.1 hingga 5.4. Hasil ini dapat dibuktikan dengan data dukung pengukuran analisis elementer EDS bahwa kesemua sampel mengandung unsur Co, Fe, Zn,

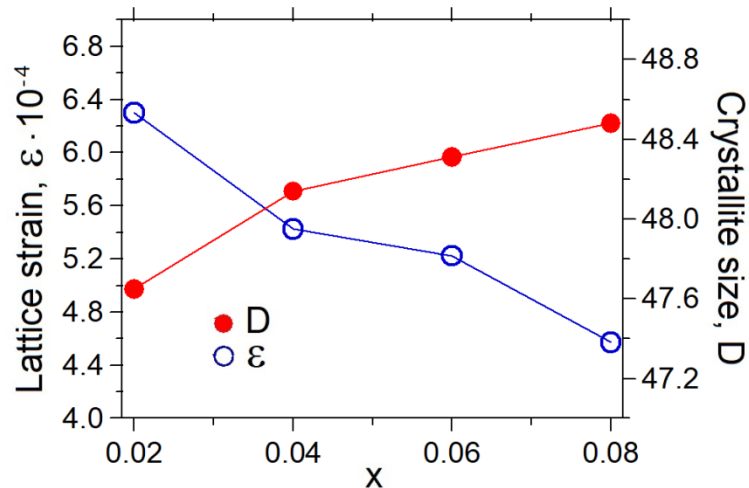
dan La dengan fraksi massa sesuai dengan komposisi masing-masing sampel. Pada komposisi sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ tampak bahwa kandungan unsur Co dalam fraksi massa berkisar dari $14,09 \pm 0,91$ % hingga $15,15 \pm 0,23$ %, dan kandungan unsur Zn dalam fraksi massa berkisar dari $17,18 \pm 0,77$ % hingga $19,48 \pm 0,36$ %. Sedangkan kandungan unsur La dalam fraksi massa tampak semakin meningkat seiring dengan meningkatnya komposisi $x = 0,02$ hingga $0,08$ yang berturut-turut sebesar $1,67 \pm 0,48$ % hingga $4,68 \pm 0,12$ %.

Keberhasilan substitusi ini ditandai dengan sampel berfasa tunggal dan terjadi perubahan parameter struktur baik volume unit sel maupun kerapatan atomik (*density*) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.11, berikut



Gambar 5.11. Volume unit sel dan kerapatan atomik sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$

Tampak pada Gambar 5.11 diperlihatkan terjadinya penurunan volume unit sel dan peningkatan kerapatan atomik sampel seiring dengan meningkatnya kandungan ion dopan La^{3+} pada setiap komposisi ion dopan Zn^{2+} . Dalam kasus ini, volume unit sel menurun dengan doping ion La^{3+} . Hal ini disebabkan oleh jari-jari ionik yang sangat besar dari ion La^{3+} menyebabkan ion La^{3+} ini tidak mampu menempati situs tetrahedral dan oktahedral dan membentuk agregat pada batas butir. Dengan kata lain bahwa diduga penyebab penurunan volume unit sel ini adalah jari-jari ionik yang terlalu besar dari La^{3+} ion dapat menyebabkan distorsi kisi dan menghasilkan tingkat keselarasan kisi-kisi didaerah batas butir. Karena volume unit sel menurun seiring dengan meningkatnya komposisi ion dopan La^{3+} sementara jumlah atomnya tetap maka mengakibatkan kerapatan atomik menjadi meningkat pada semua komposisi sampel.



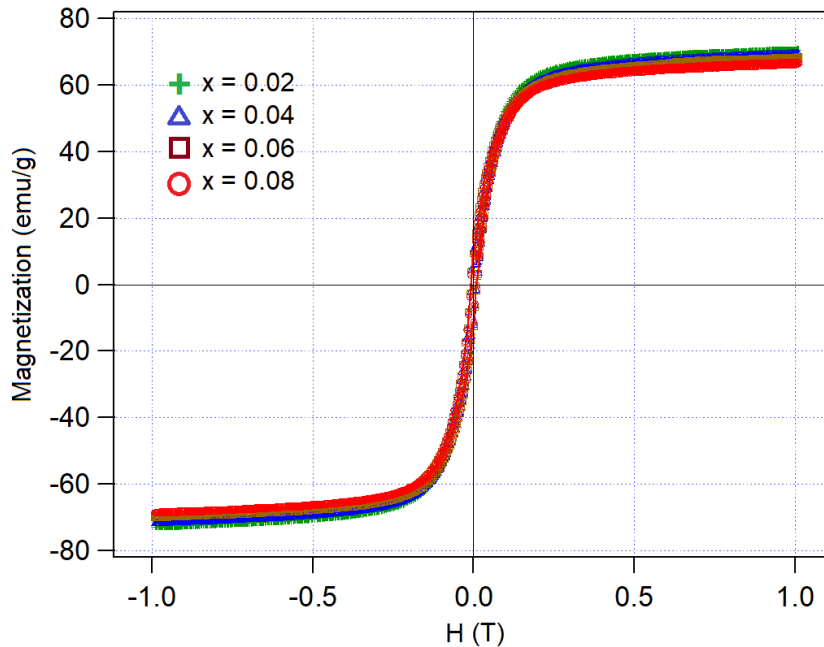
Gambar 5.12. Ukuran kristalit dan strain kisi sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$

Jari-jari ion La^{3+} ini jauh lebih besar dibandingkan dengan ion Fe, sehingga ion La^{3+} ini umumnya hadir pada batas butir, yang membatasi pertumbuhan butir tetapi dapat menginduksi strain kisi yang menghasilkan perubahan ukuran kristal dan parameter kisi. Mikrostrain ini baik karena kompresi yang disebabkan oleh perbedaan dalam koefisien ekspansi termal atau ketidaksesuaian kisi antara butir dan batas butir. Kondisi ini diperkuat dengan hasil perhitungan ukuran kristalit dan strain kisi pada ketiga komposisi sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.12.

Hal yang menarik untuk dibahas disini adalah pengaruh dari peningkatan ukuran kristalit seiring dengan meningkatnya komposisi ion dopan La^{3+} . Berdasarkan hasil pengamatan morfologi partikel menggunakan SEM pada Gambar 5.6(a-d), diketahui bahwa ukuran partikel rata-rata masing masing komposisi sampel tidak berubah secara signifikan. Pada komposisi sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ tampak bahwa ukuran partikel hasil pengamatan berkisar dari 200 nm hingga 300 nm. Pada penelitian ini tampak bahwa ukuran kristalit meningkat sementara ukuran partikel relatif tidak berubah, artinya bahwa diduga ada peningkatan area domain magnetik, sehingga akan berpengaruh terhadap sifat magnetik bahan ini.

Karena spin pada site-B dan site-A sejajar antiparalel, dapat meningkatkan magnetisasi total (M) dalam ferit dengan menciptakan ketidakseimbangan antara magnetisasi *sublattice* ini. Pada umumnya dilakukan dengan mengganti kation non-magnetik untuk ion besi. Hadirnya substitusi Zn^{2+} untuk kation Co^{2+} site-A. menyebabkan magnetisasi meningkat dengan mengorbankan kekuatan interaksi pertukaran AB. Strategi ini bekerja sampai titik tertentu, dan kemudian spin pada *sublattice* A dan B tidak bisa memutar lagi karena

pengurangan pertukaran sublattice A dan B, yang pada akhirnya mengarah pada berkurangnya magnetisasi total. Berkurangnya magnetisasi total ini dapat dilihat berdasarkan hasil pengukuran kurva histerisis untuk komposisi sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.13, berikut



Gambar 5.13. Kurva histerisis sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$

Dengan meningkatnya konsentrasi ion dopan La^{3+} , mengakibatkan sifat feromagnetik bahan relatif menurun terutama pada magnetisasi saturasi dan medan koersivitas. Pada sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0,02 - 0,08$), parameter magnetik baik medan saturasi, dari 70 emu/gr menjadi 66 emu/gr, sementara magnetisasi remanensi, dan koersivitas relatif tetap yang berturut-turut pada 10 emu/gr, dan 100 Oe.

Berkurangnya medan koersivitas seiring dengan meningkatnya ion dopan La^{3+} diduga berasal dari berkurangnya medan anisotropi dari masing-masing sampel. Karena bila merujuk pada hasil perhitungan ukuran kristalit seperti pada Gambar 5.5 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya ukuran kristalit diduga area domain magnetik meningkat, sehingga lebih mudah bagi medan eksternal untuk mengarahkan spin magnetik ke arah tertentu bergantung pada arah medan eksternal yang diterapkan.

Pada akhirnya *spinel ferrite* untuk setiap jenis ion memiliki distribusi kisi yang lebih disukai secara termodinamika berdasarkan terutama pada jari-jari ion kation, energi elektrostatik, dan konfigurasi elektronik. Kelas ferit ini biasanya dihasilkan dari pemrosesan nonequilibrium seperti yang melibatkan transfer energi kinetik yang tinggi (misalnya, ball

milling). Spesies kation yang ada secara alami dalam beberapa keadaan valensi lebih rentan terhadap struktur tipe ini. Kecenderungan untuk menstabilkan cacat pada struktur semacam itu menambah tingkat kerumitan lainnya. Seperti yang bisa dibayangkan, menentukan struktur seperti itu dengan statistik pengukuran yang meyakinkan merupakan tantangan yang cukup signifikan bagi eksperimentalis.

Perubahan sifat magnetik ini memberi dampak terhadap sifat permeabilitas kompleks bahan ($\mu = \mu' + j\mu''$), sedangkan hadirnya unsur Zn dan La juga berdampak kepada peningkatan sifat permitivitas kompleks bahan ($\epsilon = \epsilon' + j\epsilon''$). Salah satu syarat bahan yang memiliki sifat absorpsi gelombang elektromagnetik adalah bahwa bahan tersebut memiliki permitivitas dan permeabilitas yang tinggi untuk menstimulus terjadinya frekuensi resonansi. Dengan kata lain bahwa karakteristik μ dan ϵ dapat mempengaruhi sensitivitas bahan terhadap medan magnet dan medan listrik.

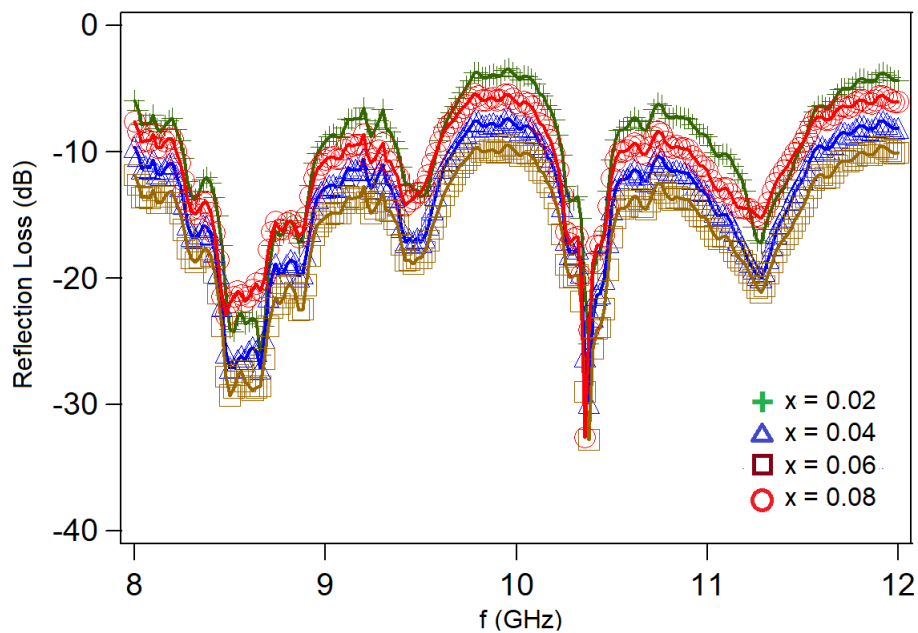
Pemahaman ini akan lebih jelas dengan melihat hasil pengukuran *reflection loss*. *Reflection loss* adalah salah satu indikator untuk mengetahui tingkat serapan gelombang mikro terhadap bahan, yaitu rasio antara gelombang datang dengan gelombang pantul, dan didefinisikan seperti persamaan (5.1) berikut:

$$RL = -20 \log \left[\frac{Z_{in} - Z_o}{Z_{in} + Z_o} \right] \quad (5.1)$$

Bila mana $Z_{in} = Z_o$, maka nilai dari RL akan tidak berhingga, artinya tidak ada lagi gelombang mikro yang dipantulkan. Untuk metode one port bermakna bahwa gelombang terserap sempurna di dalam bahan. Pengujian serapan gelombang mikro menggunakan alat vector network analyzer (VNA). Metode yang digunakan adalah one port. Pada metode pengukuran one port, sampel harus dilapisi logam *perfect electrical conductor* (PEC) sebagai bahan refleksi sempurna. Sampel berbentuk serbuk padat yang diletakkan pada sebuah holder VNA sesuai dengan adapter yang disiapkan yaitu adapter dengan frekuensi kinerja di X-band. Metode one port, gelombang datang hanya akan mengalami dua kondisi, yaitu dipantulkan atau diserap. Gelombang tidak akan ditransmisikan karena telah dilapisi dengan plat logam, sehingga gelombang mikro tidak mengalami transmisi. Oleh sebab itu pengujian one port ini dapat memberikan informasi riil mengenai besarnya serapan gelombang mikro terhadap bahan tersebut.

Pada Gambar 5.14 merupakan hasil pengukuran sifat serapan gelombang mikro pada ketiga komposisi sampel dengan indikator kemampuan penyerapan ditandai dengan

menurunnya nilai *relection loss* (RL) yang memberikan arti bahwa RL semakin berharga negatif menunjukkan tingkat penyerapan gelombang mikro semakin besar.



Gambar 5.14. Reflection loss (RL) sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$

Pada Gambar 5.14 diperlihatkan bahwa komposisi sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ memiliki puncak serapan yang relatif sama walau memang terjadi sedikit pergeseran frekuensi dan peningkatan nilai *reflection loss* nya. Secara umum memang bahan penyerap gelombang mikro dipengaruhi oleh adanya *impedance matching* antara bahan dengan gelombang mikro melalui mekanisme frekuensi resonansi. Sementara frekuensi resonansi ini sangat dipengaruhi oleh tingkat kemudahan spin magnetik bahan terpolarisasi oleh gelombang mikro tersebut. Ada dua faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dari interaksi tersebut, yaitu meningkatnya area domain sehingga mekanisme resonansi spin elektron yang berada pada domain tersebut mudah terjadi dan menurunnya medan anisotropi dalam hal ini diwakili oleh medan koersivitas dari bahan tersebut yang bertujuan agar energi yang dibutuhkan untuk mempolarisasi spin magnetik pada setiap area domain semakin rendah.

Kedua kondisi ini diduga dapat tercapai berdasarkan analisa data XRD dan SEM yang menunjukkan bahwa ukuran kristalit dari bahan meningkat sementara ukuran partikelnya relatif sama pada semua komposisi ion dopan. Hal ini mengindikasikan bahwa diduga terjadi peningkatan area domain terutama pada sumbu mudah yang pada akhirnya mengakibatkan spin magnetik bahan tersebut mudah bergerak akibat hadirnya energi foton gelombang mikro yang mampu mempolarisasi spin-spin magnetik bahan tersebut. Disamping itu faktor kedua

adalah menurunnya medan anisotropi dari bahan. Berdasarkan hasil analisa sifat magnetik menggunakan VSM menunjukkan bahwa medan koersivitas dari masing-masing komposisi tampak menurun dengan meningkatnya ion dopan La^{3+} . Dengan demikian energi yang dibutuhkan untuk mempolarisasi spin-spin magnetik bahan menjadi lebih rendah.

Pemahaman yang lain bahwa *impedance* itu sangat dipengaruhi oleh besarnya permitivitas (ϵ_r) dan permeabilitas (μ_r) bahan. Dalam hal penyerapan energi gelombang mikro, keseluruhan interaksi dapat diwakili oleh penyesuaian impedansi (*impedance matching*) dari bahan (Z_{in}) yang bersifat dielektrik dan magnetik dengan impedansi udara (Z_o) sebagai fungsi frekuensi. Penyesuaian impedansi ini adalah hal yang sangat penting terkait dengan mekanisme serapan gelombang mikro terhadap bahan. Suatu saluran transmisi yang diberi beban yang sama dengan impedansi karakteristik akan mempunyai *standing wave ratio* (SWR) sama dengan satu, artinya tanpa adanya refleksi gelombang, sehingga efisiensi penyerapan menjadi optimum jika tidak ada daya yang direfleksikan. Apabila Z_{in} sama dengan Z_o , maka akan terjadi *impedance matching*. Makna dari *matching* ini adalah memberikan impedansi yang sama dengan impedansi karakteristik gelombang mikro. Besarnya impedansi bahan didefinisikan seperti persamaan (5.2) berikut:

$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left[j \frac{2\pi f d}{c} \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right] \quad (5.2)$$

Dengan Z_{in} , Z_o , μ_o , ϵ_o , μ , ϵ , f , c , dan d berturut-turut adalah impedansi bahan absorber, impedansi gelombang mikro di udara, permeabilitas udara, permitivitas udara, permeabilitas relatif bahan, permitivitas relatif bahan, frekuensi, kecepatan cahaya, dan ketebalan bidang serapan. Pada persamaan (5.2) disebutkan bahwa komponen *tanh* maksimum bernilai 1, sehingga dengan menganggap kondisi sampel dan frekuensi kinerja yang sama, maka impedansi bahan akan berbanding lurus dengan permeabilitas kompleks ($\mu = \mu' + j\mu''$) dan berbanding terbalik dengan permitivitas kompleks ($\epsilon = \epsilon' + j\epsilon''$). Namun rasio antara permitivitas dan permeabilitas pada bahan yang memiliki tingkat penyerapan tinggi belum dapat ditentukan secara sistematis karena menyangkut sifat instrinsik dari suatu bahan. Namun sejauh ini tingkat absorpsi gelombang mikro pada bahan ini masih belum optimal, sehingga diperlukan rekayasa struktur lebih lanjut dengan hipotesis yang ada seperti yang telah dilakukan pada penelitian ini bahwa sifat permeabilitas bahan dapat ditentukan dari sifat bahan. Diketahui bahwa sistem cobalt ferrite ini adalah bahan feromagnetik yang memiliki nilai permeabilitas yang sangat tinggi karena dipercaya bahwa baik ion Co^{2+} dan Fe^{3+}

memiliki nilai magneton bohr yang tinggi sehingga sistem ini akan memiliki total momen dipol magnetik yang sangat besar. Hal ini terbukti bahwa berdasarkan hasil pengukuran sifat magnetik menunjukkan bahwa magnetisasi saturasi dari bahan system ini sangat besar. Sedangkan sifat permitivitas bahan dapat ditingkatkan dengan cara mensubstitusi ion Co^{2+} dengan Zn^{2+} dan ion Fe^{3+} dengan La^{3+} yang dipercaya memiliki konstanta dielektrik yang tinggi.

Rasio antara permitivitas dan permeabilitas kompleks dari bahan ini yang sangat menentukan tingkat penyerapan paling optimum dapat dicapai seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.14. Pada sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ ($x = 0,02 - 0,08$), juga ditemukan tiga puncak serapan berdasarkan hasil pengukuran RL sampel pada frekuensi 8.5 GHz, 10.3 GHz dan 11.3 GHz dimana memiliki serapan maksimum juga semakin meningkat namun hingga batas ion dopan La^{3+} $x = 0,06$, penambahan selanjutnya menyebabkan serapan gelombang mikro semakin kecil. Pada frekuensi 8.5 GHz diperoleh RL maksimum meningkat dari -24 menjadi -29 dB untuk komposisi ion dopan La^{3+} dari 0,02 hingga 0,06, sedangkan pada komposisi $x = 0,08$ menurun menjadi -22 dB. Pada frekuensi 10.3 GHz diperoleh RL maksimum meningkat dari -26 menjadi -32 dB untuk komposisi ion dopan La^{3+} dari 0,02 hingga 0,06, sedangkan pada komposisi $x = 0,08$ tetap sebesar -32 dB. Sementara pada frekuensi 11.3 GHz diperoleh RL maksimum meningkat dari -17 menjadi -21 dB juga untuk komposisi ion dopan La^{3+} dari 0,02 hingga 0,06, sedangkan pada komposisi $x = 0,08$ menurun menjadi -15 dB. Pada komposisi sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ dengan ion dopan La^{3+} , $x = 0,06$ ini diduga rasio antara permitivitas dan permeabilitas kompleks menghasilkan impedansi yang terbaik mendekati impedansi gelombang mikro sehingga menghasilkan serapan gelombang mikro yang paling optimal.

Dengan demikian pada penelitian ini telah diperoleh komposisi yang paling optimum dan dapat menghasilkan absorpsi gelombang mikro relatif besar pada komposisi $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ dengan ion dopan La^{3+} , $x = 0,06$ dengan nilai RL maksimum sebesar -29, -32, dan -21 dB yang berturut-turut berada pada frekuensi 8.5 GHz, 10.3 GHz dan 11.3 GHz. Disamping itu pada komposisi optimum ini $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{1.94}\text{La}_{0.06}\text{O}_4$ ditunjukkan bahwa telah terjadi penyerapan gelombang mikro dengan bandwidth yang sangat lebar pada rentang frekuensi antara 8 – 12 GHz dengan nilai RL sebesar -10 dB. Pada frekuensi puncak tertinggi dikalkulasi besarnya absorpsi gelombang mikro mencapai 98% dengan ketebalan bidang penyerapan 1.5 mm.

VI. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan melalui analisis dan pembahasan maka dapat disimpulkan:

1. Pada komposisi sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{2-x}\text{La}_x\text{O}_4$ tampak bahwa ukuran partikel hasil pengamatan berkisar dari 200 nm hingga 300 nm. Pada penelitian ini tampak bahwa ukuran kristalit meningkat sementara ukuran partikel relatif tidak berubah, artinya bahwa diduga ada peningkatan area domain magnetik, sehingga akan berpengaruh terhadap sifat magnetik bahan ini.
2. Efek substitusi ion La^{3+} ke dalam ion Fe^{3+} terhadap struktur *cobalt ferrite* yang masih menghasilkan fasa tunggal *cobalt ferrite* diperoleh pada komposisi ion dopan $\text{La}^{3+} < 0,08$.
3. Efek substitusi ion Zn^{2+} ke dalam ion Co^{2+} dan substitusi ion La^{3+} ke dalam ion Fe^{3+} terhadap struktur *cobalt ferrite* diperoleh komposisi terbaik $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{1.94}\text{La}_{0.06}\text{O}_4$ dan memiliki parameter kisi : $a = b = c = 8.4093(1) \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, $V = 594.68(3) \text{ \AA}^3$ dan $\rho = 5.241 \text{ gr.cm}^{-3}$.
4. *Reflection loss* (RL) maksimum yang berhasil dicapai pada komposisi optimum sampel $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_{1.94}\text{La}_{0.06}\text{O}_4$ ditunjukkan bahwa telah terjadi penyerapan gelombang mikro dengan *bandwidth* yang sangat lebar pada rentang frekuensi antara 8 – 12 GHz dengan nilai *RL* sebesar -10 dB. Pada frekuensi puncak tertinggi dikalkulasikan besarnya absorpsi gelombang mikro mencapai 98% dengan ketebalan bidang penyerapan 1,5 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Johan, A., W. A. Adi, F. S. Arsyad, D. Setiabudidaya, *Analysis crystal structure of magnetic materials $Co_{1-x}Zn_xFe_2O_4$* , 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1282 012032, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1282/1/012032>
- [2]. Johan, A., W. A. Adi, F. S. Arsyad, D. Setiabudidaya, *Effect of Lanthanum Substituted $CoFe_{2-x}La_xO_4$ on Change of Structure Parameter and Phase Formation*, 2020 Key Engineering Materials: Magnetism and its Application, Vol. 855, pp 70-77 <https://www.scientific.net/KEM.855.70>
- [3]. Alexandre R. Buena, Maria L. Gregorib, Maria C.S. No' Bregac, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 320 (2008) 864–870.
- [4]. Bin Yu, Lu Qi, Hui Sun, Jian-Zhong Ye, *J Mater Sci* (2007) 42:3783–3788.
- [5]. Estevez Rams, E., Martinez Garcia, R., Reguera, E., Montiel, Sanchez, E., and Madeira, H. Y., *Structural Transformation with Milling on Sol-Gel Precursor for BaM Hexaferrite*, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 33, (2000) 2708-2715
- [6]. Joonghoe Dho, E.K. Lee, J.Y. Park, N.H. Hur, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 285 (2005) 164–168.
- [7]. L.A. Dobrzaski, M. Drak, B. Zi Bowicz, *Materials with specific magnetic properties*, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 17 (2006) 37-40.
- [8]. A.M.M. Farea, Shalendra Kumara, Khalid Mugasam Batoo, Ali Yousef, Chan Gyu Lee, Alimuddin, *Journal of Alloys and Compounds* 469 (2009) 451–457.
- [9]. Mustofa, Abdullah, H., Mardiana, Noor Baa'yah, I., Nazlim Yusuf, A., *Microwave Magnetic Dielectric Properties of some Cerium Ytrium Garnet*, *J. Sains Malaysia*, 37, (2008), pp 202-210.
- [10]. Li, B., Shen, Y., Yue, Z., Nan, C., *Enhanced Microwave Absorption in Nickel/Hexagonal Ferrite/Polymer Composite*, *J. Appl. Phys. Lett.*, Vol. 89, (2006), No. 132505.
- [11]. Kawasel, K., Shikata, J., Hiromasaito, *Terahertz Wave Parametric Source*, *J. Phys. D: appl. Phys.*, 34 (2001), R1-R14.
- [12]. Wisnu A.A. and Azwar M., *J. Basic. Appl. Sci. Res.*, 2(8)7826-7834, 2012.
- [13]. Wisnu, A.A., Yunasfi, Mashadi, Winatapura D.S., Mulyawan A., Sarwanto Y., Gunanto Y.E., and Taryana Y., *Chapter Book: Electromagnetic Fields and Waves, Metamaterial: Smart magnetic Material for Microwave Absorbing Material*, IntechOpen, 2019.
- [14]. Léna, Pierre, *Observational Astrophysics*. Springer-Verlag. ISBN 3-540-63482-7, (1998).
- [15]. Mashadi Y, Adi WA. *Structural, magnetic properties and microwave absorbing behavior of iron based carbon nanocomposites*. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 2016;12(1):6-11. ISSN: 2289-5981
- [16]. Adi WA, Sarwanto Y, Taryana Y, Soegijono B. *Effects of the geometry factor on the reflection loss characteristics of the modified lanthanum manganite*. *IOP Conference Series. Journal of Physics: Conference Series*. 2018;1091:012028. DOI:10.1088/1742-6596/1091/1/012028

- [17]. Adi WA, Wardiyati S, Dewi SH. Nanoneedles of lanthanum oxide (La₂O₃): A novel functional material for microwave absorber material. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017;202:012066. DOI: 10.1088/1757-899X/202/1/012066 012076
- [18]. Jiu R et al. Complex permittivity, permeability and electromagnetic wave absorption of α -Fe/C(amorphous) and Fe₂B/C(amorphous) nanocomposites. Journal of Physics D: Applied Physics. 2004;**37**:2737-2741. DOI:10.1088/0022-3727/37/19/019
- [19]. Hecuari AY, Adi WA, Purwanto S. A study on the behaviour of M-type strontium hexagonal ferrite based microwave absorbing. In: Proceedings of the 6th National Radar Seminar and ICRAMET 2012. Bali, Indonesia; 2012
- [20]. Trevor S. Bird, *Definition and Misuse of Return Loss*, IEEE Antennas & Propagation Magazine, vol.51, iss.2, pp.166-167, April 2009.
- [21]. Laura H. Lewis, *Fundamentals of Magnetism & Magnetic Materials*, IE IEEE Summer School – June 14-19, University of Minnesota, 2015.
- [22]. The NIST reference on fundamental physical constants. Physics.nist.gov. Diakses tanggal 11-07-2019.
- [23]. Böttcher, C.J.F., *Theory of Electric Polarization: Dielectric Polarization*, ISBN 0-444-41579-3.

LAMPIRAN: BIODATA KETUA DAN ANGGOTA TIM PENELITIAN

I. KETUA PENELITIAN

A. IDENTITAS DIRI

1.1.	Nama Lengkap (dengan gelar)	Akmal Johan, S.Si., M.Si.
1.2.	Jenis Kelamin	Laki-laki
1.3.	Jabatan Fungsional	Lektor Kepala
1.4.	NIP/ NIK/ Identitas lainnya	197312211999031003/ 1610042112730003
1.5.	NIDN	0021127309
1.6.	Tempat dan Tanggal Lahir	Bailangu, 21 Desember 1973
1.7.	E-mail	akmal_johan@mipa.unsri.ac.id
1.8.	Nomor Telepon/ HP	(0711) 581380/ 08127392602
1.9.	Alamat Kantor	Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya Jl. Raya Palembang-Prabumulih KM.32 Indralaya Kabupaten Ogan Ilir Sumatera Selatan, 30862
1.10.	Nomor Telepon/Fax	(0711) 580743 / (0711) 580056
1.11.	Alamat Rumah	Jl. Lintas Timur Perumahan Taman Permata Indah Blok D.6 No.09 RT.10 LK.V Kelurahan Indralaya Mulya Kecamatan Indralaya Kabupaten Ogan Ilir Propinsi Sumatera Selatan, 30862

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

2.1. Program:	S1	S2	S3
2.2. Nama PT	Universitas Sriwijaya	Universitas Indonesia	Universitas Sriwijaya
2.3. Bidang Ilmu	Fisika	Ilmu Material	Ilmu MIPA
2.4. Tahun Masuk	1993	2003	2018
2.5. Tahun Lulus	1998	2005	? (Sedang S3)
2.6. Judul Skripsi/ Tesis/ Disertasi	Analisis Status Energi Terkuantisasi Atom Merkuri (Hg) dengan Melakukan Percobaan Franck-Hertz dan Percobaan Spektroskopi Optik.	Pengaruh <i>High-Energy Milling</i> Terhadap Sifat Magnetik Bahan Barium Heksaferit (BaO.6Fe ₂ O ₃).	Sintesis dan Karakterisasi Bahan <i>Smart Magnetic</i> Berbasis Co _(1-y) Zn _y Fe _{2-x} La _x O ₄ Sebagai Bahan Penyerap Gelombang Elektromagnetik
2.7. Nama Pembimbing/ Promotor	1. Drs. Arsali, M.Sc 2. Dr. Ramlan, M.Si	1. Prof. Dr. Azwar Manaf, M.Met 2. Prof. Dr. Ridwan	Promotor: Dr. Dedi Setiabudidaya, M.Sc. Ko-Promotor: Prof. Dr. Wisnu Ari Adi, S.Si., M.Si. Dr. Fitri Suryani Arsyad, S.Si., M.Si.

C. PENGALAMAN PENELITIAN (5 Tahun Terakhir)

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (Juta Rp)
1.	2019	Pengembangan Sistem Komputasi Untuk Desain	Unggulan	51,629

		Dan Optimasi Burnup GCFR-600 MWt Dengan Thorium-Uranium Mixed Fuel. (<i>Anggota</i>)	Kompetitif - PNBP UNSRI	
2.	2018	Sintesis Bahan Smart Magnetik Berbasis $Co_{(1-y)}Zn_yFe_{2-x}La_xO_4$ Untuk Penyerapan Gelombang Elektromagnetik. (<i>Ketua</i>)	Unggulan Kompetitif - PNBP UNSRI	71
3.	2018	Pembuatan Nanopartikel Aluminium (Al) Dari Limbah Aluminium Menggunakan High Energy Milling (HEM) Untuk Aplikasi Pelat Bipolar Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC). (<i>Anggota</i>)	Unggulan Kompetitif - PNBP UNSRI	71
4.	2018	Pembuatan Aditif Nabati Untuk Meningkatkan Kinerja BBM dari Pirolisis Biomassa. (<i>Anggota</i>)	Unggulan Kompetitif - PNBP UNSRI	50
5.	2017	Blower dan Elektrolisis Air untuk Penghematan LPG pada Kompor Gas (<i>Ketua</i>)	Sateks - PNBP UNSRI	21,8
6.	2017	Pembuatan Magnet Permanen Berbasis Logam Tanah Jarang (Nd-Fe-B) Sebagai Komponen Generator Listrik Dan Karakterisasinya (<i>Anggota</i>)	Unggulan Kompetitif - PNBP UNSRI	75
7.	2017	Pengaruh Temperatur Dan Kecepatan Gas Hidrogen Pada Sifat Produk Hidrocracking Minyak Biji Karet Menggunakan Katalis Co/Zaa (<i>Anggota</i>)	Sateks - PNBP UNSRI	29
8.	2016	Pengaruh Tegangan, Waktu Anodisasi dan Berat Grafen Oksida terhadap Kuat Arus pada Proses Fotoelektrokatalis Go/TiO ₂ dengan Metode Elektrokimia. (<i>Ketua</i>)	Sateks - PNBP UNSRI	18
9.	2016	Pembuatan Serat Kain Berbasis Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO ₂) Untuk Mendekomposisi Logam-Logam Berat Di Dalam Air Rawa. (<i>Anggota</i>)	Unggulan Kompetitif - PNBP UNSRI	65

D. PENGALAMAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT (5 Tahun Terakhir)

No	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Juta Rp)
1.	2020	Pemanfaatan Buah Kepala Untuk Produk Kesehatan VCO. (<i>Ketua</i>)	Aplikasi IPTEKS dan Pengembangan Seni Budaya Lokal – PNBP UNSRI	12,5
2.	2020	Pelatihan dan Pendampingan Pembuatan Sarung Tangan dari Lateks Kepada Karang Taruna Tanjung Batu. (<i>Anggota</i>)	Aplikasi IPTEKS dan Pengembangan	12.5

			Seni Budaya Lokal – PNBP UNSRI	
3.	2019	Pelatihan Manajemen Data Bencana Kelompok Pemuda Desa Sungai Rambutan Kecamatan Indralaya Utara. (<i>Anggota</i>)	Mandiri	-
4.	2018	Pembuatan VCO (Virgin Coconat Oil) dari buah kelapa. (<i>Ketua</i>)	Aplikasi IPTEKS dan Pengembangan Seni Budaya Lokal – PNBP UNSRI	10,75
5.	2017	Pembuatan Jamur Merang. (<i>Anggota</i>)	Aplikasi IPTEKS dan Pengembangan Seni Budaya Lokal – PNBP UNSRI	10
6.	2016	Pelatihan Pembuatan Sabun cair dan Dekoratif bernuasa Cinderamata Unsri. (<i>Ketua</i>)	PPM Reguler BOPTN UNSRI	6
7.	2016	Pembuatan Kompor Elektrolisis untuk Pengirit LPG. (<i>Anggota</i>)	Aplikasi IPTEKS-PATEN BOPTN UNSRI	9
8.	2016	Pelatihan Pembuatan Sabun Cair (Sabun Cuci Piring). (<i>Anggota</i>)	PPM Reguler BOPTN UNSRI	6

E. PUBLIKASI ARTIKEL ILMIAH PADA JURNAL (5 Tahun Terakhir)

No	Tahun	Judul Artikel Ilmiah	ISSN/ Volume/ Nomor	Nama Jurnal	Link
1.	2020	Johan A. , Adi WA., Arsyad FS. and Setiabudidaya D., <i>Effect of Lanthanum Substituted $CoFe_{2-x}La_xO_4$ on Change of Structure Parameter and Phase Formation</i>	1662-9795/ 855/ 1 doi: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.855.70	Key Engineering Materials: Magnetism and its Application	https://www.scientific.net/KEM.855.70
2.	2020	Ariani M., Supardi, Johan A. , Monado F., Su'ud Z., and Sekimoto H., <i>Optimized core design for small long-life gas cooled fast reactors with natural uranium-thorium-blend as fuel cycle input.</i>	1742-6596/ 1568/ 1 doi: 10.1088/1742-6596/1568/1/012015	Journal of Physics: Conference Series	https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1568/1/012015

3.	2019	Johan A. , Adi WA., Arsyad FS., Setiabudidaya D., <i>Analysis Crystal Structure of Magnetic Materials $Co_{1-x}Zn_xFe_2O_4$.</i>	1742-6596/ 1282/ 1 doi: 10.1088/1742-6596/1282/1/012032	Journal of Physics: Conference Series	https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1282/1/012032/meta
4.	2019	Aulia, Aprilianda, Arsyad FS., Johan A. , <i>Temperature carbonization effect on the quality of activated carbon based on rubber seed shell.</i>	1742-6596/ 1282/ 1 doi: 10.1088/1742-6596/1282/1/012043	Journal of Physics: Conference Series	https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1282/1/012043/meta
5.	2018	Firza S., Nita S., Arsyad FS. and Johan A. , <i>Time milling influence on the size of the Lemabang iron sand powder synthesized by using high energy milling method.</i>	1742-6596/ 1091/ 1 doi: 10.1088/1742-6596/1091/1/012008	Journal of Physics: Conference Series	http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1091/1/012008/meta
6.	2016	Setiabudidaya, D., Ramlan, dan A. Johan , <i>Kajian Pendahuluan Penggunaan OER Pada Matakuliah Fisika Dasar Ps Kimia Unsri.</i>	978-602-71798-1-3 hal. 958-960	Prosiding Semirata 2016 Bidang MIPA BKS Wilayah Barat	http://semirata2016.mipa.unsri.ac.id/PROSIDING/2-FISIKA-893-1452.pdf
7.	2016	Pungki, D., Ramlan, A. Johan dan I. Safari, <i>Pengaruh Penambahan LLDPE Terhadap Karakteristik HDPE Untuk Aplikasi Rotan Sintetis.</i>	978-602-71798-1-3 hal. 974-980	Prosiding Semirata 2016 Bidang MIPA BKS Wilayah Barat	http://semirata2016.mipa.unsri.ac.id/PROSIDING/2-FISIKA-893-1452.pdf

F. PENGALAMAN PENULISAN BUKU (5 Tahun Terakhir)

No	Tahun	Judul	Jenis Buku (Referensi, Buku Ajar, Monograf, <i>Book Chapter</i>)	ISBN	Penerbit

G. HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

No	Tahun	Judul	Jenis (Paten, Paten Sederhana, Hak Cipta, Merk, Desain Industri, Indikasi)	Status (Terdaftar/ <i>Granted</i>)

			Geografis, Rahasia Dagang, Desain Tata Letak Sirkuit Terpadu)	
1.	2009	Proses Pembuatan Bahan Magnet Nanokristalin Barium Heksaferit Dengan Menggunakan <i>High-Energy Milling</i> .	Paten	No. Pendaftaran: P00200900773 <i>Granted</i> No. Paten: IDP000040946, Tanggal 26 April 2016

H. PRODUK INOVASI

No	Tahun	Judul	Jenis (Prototipe Industri, Produk Inovasi, kebijakan)	Keterangan

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima resikonya.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi persyaratan sebagai salah satu syarat pengajuan Hibah Penelitian Unggulan Kompetitif Universitas Sriwijaya.

Indralaya, 25 November 2021
Ketua Peneliti,

(Akmal Johan, S.Si.,M.Si.)
NIP. 197312211999031003

II. ANGGOTA PENELITI-1

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Dr. Dedi Setiabudidaya, M.Sc.
2	Jenis Kelamin	Laki-laki
3	Jabatan Fungsional	Lektor Kepala
4	NIP/NIK/Identitas lainnya	196011101986021001
5	NIDN	0010116003
6	Tempat, Tanggal Lahir	Bandung, 10 Nopember 1960
7	E-mail	dsetiabudidaya@mipa.unsri.ac.id
8	Nomor Telepon/HP	0711-443717/ 08153578260
9	Alamat Kantor	Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sriwijaya, Jalan Raya Palembang - Prabumulih, Km. 32 Inderalaya, Kab. Ogan Ilir, Kode Pos : 30662, Sumatera Selatan
10	Nomor Telepon/Faks	0711-580056

B. Riwayat Pendidikan

2.1. Program:	S1	S2	S3
2.2. Nama PT	ITB	Universitas Leeds, Inggris	Universitas Liverpool, Inggris
2.3. Bidang Ilmu	Fisika	Ilmu Kebumian	Ilmu Kebumian
2.4. Tahun Masuk	1979	1986	1988
2.5. Tahun Lulus	1984	1987	1991
2.6. Judul Skripsi/ Tesis/ Disertasi	Penentuan Radionuklida secara Kualitatif dan Kuantitatif dengan Spektrometer Gamma	Airborne Gamma Ray Spectrometry	Magnetostratigraphy and Tectonic Rotation in South Wales
2.7. Nama Pembimbing/ Promotor	Drs. Suwarno Wirjosimin dan Drs. Hasbuna Kifli	Dr. D.J. Fairhead (M.Sc. Organizer)	Dr. John Shaw

C. Pengalaman Penelitian Dalam 5 Tahun Terakhir

(Bukan Skripsi, Tesis, maupun Disertasi)

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (Juta Rp)
1	2016	Studi Mitigasi Daerah Rawan Bencana Longsor Jalur Kereta Api Lahat-Lubuk Linggau (sebagai anggota)	Unsri	225
2		Kajian interaksi laut-atmosfer di kawasan Indo-Pasifik dan pengaruhnya terhadap variasi iklim di	Unsri	100

		wilayah Indonesia (sebagai anggota)		
3		Kajian Dinamika Spasial dan Temporal Sebaran klorofil-a Permukaan Laut di Perairan Indonesia dan Hubungannya dengan Fenomena Iklim di Kawasan Indo-Pasifik (sebagai ko-promotor/ anggota)	PMDSU	57
4		Kajian Dinamika dan Termodinamika Sirkulasi Laut dan Atmosfer di Wilayah Tropis Samudera India dan Implikasinya terhadap Iklim di Indonesia (sebagai ko-promotor/ anggota)	PMDSU	54,5

* Tuliskan sumber pendanaan baik dari skema penelitian DIKTI maupun dari sumber lainnya.

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (Juta Rp)
1	2016	Pelatihan Bahasa Pemrograman Python bagi Murid dan Guru SLTA di Kab.Ogan Ilir	Unsri	7

* Tuliskan sumber pendanaan baik dari skema pengabdian kepada masyarakat DIKTI maupun dari sumber lainnya.

E. Publikasi Artikel Ilmiah Dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volume/Nomor/ Tahun
1	Simulated Interannual Modulation of Intraseasonal Kelvin Waves in the Equatorial Indian Ocean (co-author)	Journal of Mathematical and Fundamental Sciences	48 (3) 2016
2	Effect of Architectural Tree Model to the Noise Level of Motor Vehicle on Demang Lebar Daun Street Palembang (co-author)	Biovalentia	2(2) 2016

F. Pemakalah Seminar Ilmiah (*Oral Presentation*) dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1	ICTAP	Implementation of Student Centered Learning using Jupyter Notebook: Teaching Atmospheric Physics at Posgraduate Program Sriwijaya University	2016 Makassar, Sulawesi Selatan
2	Semirata MIPA	Kajian Pendahuluan Penggunaan OER pada Mata Kuliah Fisika Dasar Program Studi Kinia Unsri	2016 Palembang, Sumatera Selatan
3	ARS	Jupyter Notebook App: Alternatif Teknologi Pembelajaran Fisika Berbasis Web Browser	2015 Palembang, Sumatera Selatan

4	PEDISGI	The two dimensional fold test in paleomagnetism using ipython notebook	2015 Jatinangor, Jawa Barat
---	---------	--	-----------------------------

G. Karya Buku dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
1				

H. Perolehan HKI dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul/Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
1				

I. Pengalaman Merumuskan Kebijakan Publik/Rekayasa Sosial Lainnya dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tahun	Tempat Penerapan	Respon Masyarakat
1				

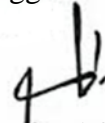
J. Penghargaan dalam 5 tahun Terakhir (dari pemerintah, asosiasi atau institusi lainnya)

No.	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun
1			

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Hibah Unggulan Kompetitif Universitas Sriwijaya.

Indralaya, 25 November 2021
Anggota Peneliti,



Dr. Dedi Setiabudidaya, M.Sc.
NIP. 196011101986021001

III. ANGGOTA PENELITI-2

A. IDENTITAS DIRI

1.1.	Nama Lengkap (dengan gelar)	Dr. Ramlan, M.Si.
1.2.	Jenis Kelamin	Laki-laki
1.3.	Jabatan Fungsional	Lektor Kepala
1.4.	NIP/ NIK/ Identitas lainnya	196604101993031003
1.5.	NIDN	0010046604
1.6.	Tempat dan Tanggal Lahir	Pancur Batu, Medan 10 April 1966
1.7.	E-mail	ramlan@unsri.ac.id / ramlan041066@gmail.com
1.8.	Nomor Telepon/ HP	(0711) 411784/ 082178778386
1.9.	Alamat Kantor	Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya Jl. Raya Palembang-Prabumulih KM.32 Indralaya Kabupaten Ogan Ilir Sumatera Selatan, 30862
1.10.	Nomor Telepon/Fax	(0711) 580743 / (0711) 580056
1.11.	Alamat Rumah	Jl. Kol.Sulaiman Amin, Perumahan Pos Blok A1 No.3 RT/RW 39/007 Kel. Karya Baru, Palembang - 30152

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

2.1. Program:	S1	S2	S3
2.2. Nama PT	Universitas Riau	Universitas Indonesia	Universitas Sriwijaya
2.3. Bidang Ilmu	Fisika	Fisika Material	Fisika Material
2.4. Tahun Masuk	1987	1999	2016
2.5. Tahun Lulus	1992	2001	2019
2.6. Judul Skripsi/ Tesis/ Disertasi	Menghitung Efisiensi Pembangkit Uap Dengan Metoda Perbedaan Enthalpi Di Area 4 Section A Duri Steam Flood-Project.	Pengaruh MgO dan Suhu Sintering Terhadap Mikrostruktur dan Sifat Fisis Keramik Beta Alumina (β'' -Al ₂ O ₃)	Studi Analisis Sifat Fisis, Mekanik, Magnetik, dan Struktur Mikro Pada Pembuatan Magnet Permanen Berbasis NdFeB Dengan Berperekat Polimer
2.7. Nama Pembimbing/ Promotor	1. Ir. R. Awan Setyawan W. 2. Drs. Barsong	1. Dr. Bambang Soegijono 2. Dr. Ing. Priyo Sarjono	1. Dr. Dedi Setiabududaya, M.Sc 2. Dr. Suprapedi, M. Eng

C. PENGALAMAN PENELITIAN (5 Tahun Terakhir)

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (Juta Rp)
1.	2016	Pembuatan Magnet permanen NdFeB untuk generator listrik dan Karakterisasinya	Unggulan Kompetitif UNSRI	75
2.	2017	Pembuatan Magnet permanen NdFeB untuk generator listrik dan Karakterisasinya	Unggulan Kompetitif UNSRI	75
3.	2018	Pembuatan Flexible Magnet Permanen Berbasis B	Unggulan	69

		Ferrite dan NdFeB Serta Karakterisasinya Sebagai Komponen Mottor Listrik	Kompetitif UNSRI	
4.	2019	Studi Analisis Sifat Fisis, Mekanik, Magnetik, dan Struktur Mikro Pada Pembuatan Magnet Permanen Berbasis NdFeB Dengan Berperekat Polimer	Penelitian Disertasi Doktor (Hibah Doktor)	60
5.	2019	Nano Partikel Bonded Magnet Berbasis Ba-Ferrite Dan NdBeB Sebagai Komponen Generator Listrik	Unggulan Kompetitif UNSRI	54,215

D. PENGALAMAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT (5 Tahun Terakhir)

No.	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Juta Rp)
1.	2016	Pelatihan simulasi spektrum warna cahaya merah, biru, hijau sebagai warna dasar untuk menghasilkan warna komplemen kepada siswa SMA Negeri dan swasta Ogan Ilir.	BOPTN UNSRI	7
2.	2018	Bantuan Evaluasi Naskah Akademis Dokumen Kajian Pengurangan Resiko Bencana (PRB) di Sumatera Selatan	MANDIRI	
3.	2019	Model Desa Tangguh Bencana (DESTANA)	MANDIRI	
4.	2019	Pengurangan Resiko Bencana Berbasis Masyarakat Melalui Sosialisasi Mekanisme Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Bencana Banjir Bagi Kelompok Pemuda Desa Sungai Rambutan Kecamatan Indralaya Utara	MANDIRI	

E. PUBLIKASI ARTIKEL ILMIAH PADA JURNAL (5 Tahun Terakhir)

No	Tahun	Judul Artikel Ilmiah	ISSN/ Volume/ Nomor	Nama Jurnal	Link
1.	2016	Crystal structure and magnetic properties of Nd ₂ Fe ₁₄ B powder prepared by using high energy milling from element metal Nd,Fe,B powders.	1742-6596/ 776	Journal of Physics : Conference Series. 8 Th	doi.10.1088/1742-6596/776/1/012013
2.	2016	Substitution of Local TiO ₂ on the Synthesis of Li,Ti,O (LTO) for Anodes Lithium Ion batteries.	496	ICoSE Conference Proceedings ICoSE Conference on Instrumentation,	DOI:10.18502/keg.viii.496

				Environment and Renewable Energy.	
3.	2016	Preparation And Characterization Of Hybrid Bonded Magnet Ba-Ferrite/NdFeB With Epoxy Resin	1662-9752/ 864	Material Science Forum, Trans Tech Publications, Switzerland.	doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.864.65
4.	2017	Effect of composition polymeric PVB binder on physical, magnetic properties and microstructure of bonded magnet NdFeB	1742-6596/ 817/ 012052	IOP Conf.Series : Journal of Physics :	doi:10.1088/1742-6596/817/1/012052
5.	2017	Effect of sintering temperature to physical, magnetic properties and crystall structure on permanent magnet BaFe ₁₂ O ₁₉ prepared from mill scale	1757-899X/ 214/ 012009	Materials Science and Engineering IOP Publishing	doi:10.1088/1757-899X/214/012009
6.	2018	Effect of temperature sintering on characterization of BaFe _{12-4x} Al _{4x} O ₁₉ on x = 0.001 prepared by powder metallurgy method	1742-6596/ 1120 / 012079	IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series	
7.	2018	Effect of silicon rubber composition on mechanical, magnetic properties and micro structures on Neodymium Iron Boron composite	1742-6596/ 1120 / 012079	IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series	
8.	2018	Effect of Addition of Amorphous Glass (Soda Lime Glass) on Sintering Process and Properties of Alumina Ceramics	1742-6596/ 1120 / 012079	IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series	
9.	2018	Analysis of Physica and Magnetic Properties of Composite NdFeB bind Polyviny Alcohol	1742-6596 / 985/ 012047	IOP. Conf. Series. Jurnal of Physics. Conf. Series	doi:10.1088/1742-6596/985/1/012047
10.	2018	Effect of temperature	1742-6596/ 1120 /	IOP	doi:10.1088/

		sintering on characterization of BaFe _{12-4x} Al _{4x} O ₁₉ on x = 0.001 prepared by powder metallurgy metho	012079	Publishing	1742-6596/1120/1/012079
11.	2019	Analisis of the physical, mechanical, and magnetic properties of hard magnetic Composite Materials NdFeB Made Using Bakelite Polimers	24(1)39-42	Jurnal of Magnetic	https://doi.org/10.4283/JMAG.2019.24.1.039
12.	2019	Syntesis and Characterization of Nd ₂ Fe ₁₄ B Powder Prepared by Using Milling and Heat Treatment	966, pp 352-356	Materials Science Forum	Doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.966.352
13.	2019	Influence of addition Ba – Ferrite on the hardnes, magnetic properties and corrosion resistance of hybrid bonded magnet NdFeB	1742-6596 / 1204/ 012013	7th Asian Physics Symposium IOP Publishing	Doi:10.1088/1742-6596/1204/1/012013
14.	2019	Effec of Al ₂ O ₃ addition with concentration (z=0.1%, 0.2%, 0.4%) mol on the crystal structure and physical properties of permanent Magnets barium hexaferrite (BaO.6Fe ₂ O ₃)	1742-6596/ 1282/ 012026	IOP Publishing	Doi:10.1088/1742-6596/1282/1/012026
15.	2019	Mechanical and magnetic properties of flexible magnet Ba-hexa Ferrite	1742-6596/ 1282/ 01 2060	IOP Publishing	Doi:10.1088/1742-6596/1282/1/012060
16.	2019	Timbangan Sembiring, Syntesis ang characterization of Ba – Ferrite with variation of Nd ₂ O ₃ additive by powder metallurgy method	1742-6596/ 1204/ 012016	7th Asian Physics Symposium IOP Publishing	Doi:10.1088/1742-6596/1204/1/012016
17.	2020	Synthesis and Characterization of Nd ₂ Fe ₁₄ B Powder by using Mechanical Milling of Flakes NdFeB	1428/ 012014	Journal of Physics: Conference Series	
18.	2020	Synthesis and	192-197/ 55/ 1	Journal of	

		Characterization of Nd ₂ Fe ₁₄ B Powder by using Mechanical Milling of Flakes NdFeB		Chemical Technology and Metallurgy	
--	--	---	--	------------------------------------	--

F. PENGALAMAN PENULISAN BUKU (5 Tahun Terakhir)

No	Tahun	Judul	Jenis Buku (Referensi, Buku Ajar, Monograf, <i>Book Chapter</i>)	ISBN	Penerbit

G. HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

No.	Tahun	Judul	Jenis (Paten, Paten Sederhana, Hak Cipta, Merk, Desain Industri, Indikasi Geografis, Rahasia Dagang, Desain Tata Letak Sirkuit Terpadu)	Status (Terdaftar/ <i>Granted</i>)

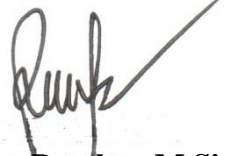
H. PRODUK INOVASI

No	Tahun	Judul	Jenis (Prototipe Industri, Produk Inovasi, kebijakan)	Keterangan

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima resikoanya.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi persyaratan sebagai salah satu syarat pengajuan Hibah Penelitian Unggulan Kompetitif Universitas Sriwijaya.

Indralaya, 25 November 2021
Anggota Peneliti,



Dr. Ramlan, M.Si.
NIP. 196604101993031003

IV. ANGGOTA PENELITI-3

Personal Data :

Name : Prof. Dr. Wisnu Ari Adi, M.Si.
Address : Komplek Batan Lama A8 PUSPIPTEK
Setu, Tangerang Selatan, Banten,
Indonesia
Telephone : +628158317916
E-mail : dwisnuaa@batan.go.id
Date of birth : Malang, December 13, 1971
Nationality : Indonesia
Sex : Male
Marital status : Married



Education :

Doctor in Material Science, the University of Indonesia, Indonesia (2014)
Title: Solution Crystallization of Long Chain N-alkanes
Supervisor: Prof. Goran Ungar
M.Eng. in Material Science, the University of Indonesia, Indonesia (2010)
B.Sc. in Physics, the University of Udayana, Indonesia (1996)

Work Experience :

1998 – present
Researcher
Center for Science and Technology of Advanced Materials
National Nuclear Energy Agency
Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia
Phone : +62217560922, Fax. : +62217560926

Other skills :

As interviewees in workshop and training of crystallography and X-ray diffraction at some universities and institution in Indonesia

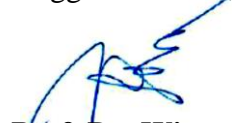
Publications :

Wisnu Ari Adi and Azwar Manaf, Structural and Absorption Characteristics of Mn-Ti Substituted Ba-Sr Hexaferrite Synthesized by Mechanical Alloying Route, Journal of Basic and Applied Scientific Research, ISSN 2090-4304, 2 (8) 7826-7834, 2012.
Wisnu Ari Adi and Azwar Manaf, Structural Investigation and Microwave Characteristics of $(\text{Ba}_{0.2}\text{La}_{0.8})\text{Fe}_{0.2}\text{Mn}_{0.4}\text{Ti}_{0.4}\text{O}_3$ Absorbing Materials, Proceeding of Science for Food, Health, and Sustainable Energy, November 8-9, 2012.
Wisnu Ari Adi, Asep Yudi Hercuadi, Decky J. Indrani and Azwar Manaf, Structural Investigation and Microwave Characteristics of Ba-La Hexaferrite/ Fe_2O_3 / LaFeO_3 Composite for Microwave Radiation Shielding on Cellular Phone, Proceeding The International Conference on Biomedical Engineering and Medical Applications, November 9-10, 2012.
Wisnu Ari Adi and Azwar Manaf, Microstructure and Phase Analysis of $\text{La}_{0.8}\text{Ba}_{0.2}\text{Ti}_x\text{Mn}_{(1-x)}\text{O}_3$ system for Microwave Absorber Material ($x = 0 - 0.7$), Journal

-
- of Advanced Materials Research, Vol. 789 (2013) pp 97-100,
doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.0.97.
- Wisnu Ari Adi**, Ridwan, and Azwar Manaf, Magnetic and microwave absorption properties of $\text{La}_{0.8}\text{Ba}_{0.2}\text{Fe}_x\text{Mn}_{(1-x)}\text{O}_3$ ($x = 0 - 0.7$) in the frequency range 9–15 GHz, Proceeding The International Seminar On Magnetic Materials 2013 Batam, Indonesia, October 24-25, 2013.
- Nurul T. Rochman and **Wisnu Ari Adi**, Preliminary study of the development of absorber electromagnetic wave materials by modifying iron sand, International Journal of Academic Research, Part A; 2013; 5(4), 91-96. DOI: 10.7813/2075-4124.2013/5-4/A.11.
- Priyo Sardjono and **Wisnu Ari Adi**, Structural, Magnetic and Electrical Properties of $\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x\text{MnO}_3$ ($x = 0 - 0.7$) for Absorber Electromagnetic Wave, J. Basic. Appl. Sci. Res., 3(7)230-234, 2013.
- Priyo Sardjono and **Wisnu Ari Adi**. Preliminary study of processing hematite mineral from local resources as raw material candidates of ferrite magnet, International Journal of Academic Research, Part B; 2013; 5(4), 70-77. DOI: 10.7813/2075-4124.2013/5-4/A.8.
- Azwar Manaf and **Wisnu Ari Adi**, Characterization of single phase of $\text{La}_{0.8}\text{Ba}_{0.2}\text{Fe}_{0.3}\text{Mn}_{0.35}\text{Ti}_{0.35}\text{O}_3$ nanoparticles as microwave absorbers, J. of Adv. Materials Research, Vol. 896 (2014) pp 428-433,
doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.896.428.
- Nurul Taufiq Rochman and **Wisnu Ari Adi**, Analysis structural and microstructure of lanthanum ferrite by modifying iron sand for absorber microwave material application, Journal of Advanced Materials Research, Vol. 896 (2014) pp 423-427,
doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.896.423.
- Priyo Sardjono and **Wisnu Ari Adi**, Thermal analysis and magnetic properties of lanthanum barium manganite perovskite, Journal of Advanced Materials Research, Vol. 896 (2014) pp 381-384, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.896.381.
- Wisnu Ari Adi** and Th. Rina M., Composition analysis of titanomagnetite and ilmenite from iron sand using neutron activation analysis as preliminary study for producing iron oxide and titanium dioxide, International Journal of Academic Research, Part A; Vol. 7. No. 3. May, 2015. DOI: dx.doi.org/10.7813/2075-4124.2015/7-3/A.54.
- Yunasfi , **Wisnu Ari Adi**, Structure And Magnetic Properties of Ni-C Nanocomposite, International Journal of Technology (2016) 3: 479-485.
- Mashadi, Yunasfi and **Wisnu Ari Adi**, Structural, Magnetic Properties and Microwave Absorbing Behavior of Iron Based Carbon Nanocomposites, Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences Vol.12, No.1 (2016) 6-11.
- Didin S. Winatapura, Sari H. Dewi dan **Wisnu Ari Adi**, Synthesize, Characterization and Photocatalytic Activity of $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{ZnO}$ Nanocomposite, International Journal of Technology (2016) 3: 408-416 ISSN 2086-9614.
- Yohanes Edi Gunanto, Eric Jobiliong & **Wisnu Ari Adi**, Microwave Absorbing Properties of $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Fe}_{12-z}\text{Mn}_z\text{O}_{19}$ ($z = 0 - 3$) Materials in X Band Frequencies, J. Math. Fund. Sci Vol. 48, No. 1, 2016, 55-65.
- Y. E. Gunanto, L. Cahyadi, and **W. Ari Adi**, Effect of Mn and Ti Substitution on the Reflection Loss Characteristic of $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Fe}_{11-z}\text{MnTi}_z\text{O}_{19}$ ($z = 0, 1, 2$ and 3), AIP Conference Proceedings 1725, 020023 (2016); doi: 10.1063/1.4945477.
- W. A. Adi**, M. N. Indro and A. A. Kusumastuti, Effect of Manganese Addition on the Structure, Magnetic Properties and Microwave Absorption of $\text{La}_{0.8}\text{Ba}_{0.2}\text{Mn}_x\text{Fe}_{1/2(1-x)}\text{Ti}_{1/2(1-x)}\text{O}_3$, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 58 (2017) 012047
doi:10.1088/1755-1315/58/1/012047.
-

W. A. Adi, S. Wardiyati and S. H. Dewi, Nanoneedles of Lanthanum Oxide (La₂O₃): A Novel Functional Material for Microwave Absorber Material, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 202 (2017) 012066 doi:10.1088/1757-899X/202/1/012066.

Tangerang, 25 November 2021
Anggota Peneliti,



Prof. Dr. Wisnu Ari Adi, M.Si.
NIP. 19711213 1998031003

LAMPIRAN: BUKTI LUARAN WAJIB DAN LUARAN TAMBAHAN

1. LUARAN WAJIB

- Submit di Jurnal Internasional terindeks scopus (Q3): *Abstrak artikel jurnal*
✓ **Jurnal Teknologi Malaysia** (<https://journals.utm.my/jurnalteknologi/submissions>)

Jurnal Teknologi	Full Paper
MAGNETIC AND MICROWAVE ABSORBING PROPERTIES IN SEMI-HARD $\text{Co}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ SYNTHESIZED BY SOL-GEL METHOD	Article history Received X Month 202Y Received in revised form XA Month 202Y Accepted XB Month 202Y Published Online XC Month 202Z
Akmal Johan ^{1,2,*} , Wisnu Ari Adi ^{3,*} , Fitri Suryani Arsyad ¹ , Mashadi ³ , Yosef Sarwanto ³ , Yana Taryana ⁴ , Yunasfi ³ and Dedi Setiabudidaya ¹	
¹ Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Science, Sriwijaya University, Palembang, South Sumatra, Indonesia	*Corresponding author akmal_johan@mipa.unsri.ac.id dwisnuaa@batan.go.id
² Graduate School of Sciences, Faculty of Mathematics and Natural Science, Sriwijaya University, Palembang, South Sumatra, Indonesia	
³ Centre for Science and Technology of Advanced Materials, National Nuclear Energy Agency, Kawasan PUSPIITEK Serpong, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia	
⁴ Research Center for Electronic and Telecommunication-LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung, West Java, Indonesia	
Abstract Magnetic and microwave absorption properties of $\text{Co}_x\text{Fe}_{(3-x)}\text{O}_4$ semi-hard materials ($x = 0.75, 1.0$ and 1.5) synthesized using chemical method by sol-gel have been studied. Mixture of iron nitrate $\text{Fe}_2(\text{NO}_3)_3$ and cobalt nitrate $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ dissolved in ethylene glycol, then the mixture heated while stirring at 60°C for 1 hours to form a gel. After that dried at temperature of 120°C for 5 hours. Through the grinding process, a fine powder of $\text{Co}_x\text{Fe}_{(3-x)}\text{O}_4$ is obtained. The $\text{Co}_x\text{Fe}_{(3-x)}\text{O}_4$ powders crystallization was carried out by sintering process at 1000°C for 5 hours. Based on the results of phase identification using XRD, it shows that samples with composition $x = 0.75$ were found to have 2 phases, namely CoFe_2O_4 and Fe_2O_3 phases. While the composition $x \geq 1$ sample is a single phase of CoFe_2O_4 . Particle morphology observed by SEM-EDS shows that the particle is homogeneous and not uniform powder with spherical in shape. Particle size is about 100 – 500 nm. Magnetic properties were analyzed by VSM and shows that the samples are ferromagnetic behavior with the M_s and H_c values were respective 26.1-40.4 emu/g and 223-299 Oe. Microwave absorption ability were characterized by VNA which indicated that the maximum reflection loss RL obtained at the composition of $x = 1.0$ was about -14.03 db at 10.98 GHz. It means that the CoFe_2O_4 has largest microwave absorption of 96% at a frequency of 10.98 GHz. Thus, CoFe_2O_4 can be used as a microwave absorbing material. Keywords: Magnetic materials, $\text{Co}_x\text{Fe}_{(3-x)}\text{O}_4$ system, sol-gel method, magnetic properties, microwave absorption.	
1.0 INTRODUCTION Research on microwave absorbent materials has become very important today because of the demands of the rapid development of technology in	the field of electronics and telecommunications as microwave protection and for anechoic spaces. Coupled with the development of anti-radar technology in the field of defense, where several countries are competing to develop stealth technology. Microwave absorbing materials as

2. LUARAN TAMBAHAN

- Seminar Internasional (International Conference): *Sertifikat presenting*
 - ✓ The 2nd Sriwijaya International Conference on Basic and Applied Sciences (SICBAS), 2 November 2021. <http://sicbas.conf.unsri.ac.id>



- Prosiding Internasional AIP: *Abstrak artikel*

Comparative Study of Reflection Loss of Microwave Absorbing Materials from Single Phase $\text{Co}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ and $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{LaFeO}_3$ Composites

Akmal Johan^{1,2,a)}, Wisnu Ari Adi^{3,b)}, Fitri Suryani Arsyad¹, Ramlan¹ and Dedi Setiabudidaya¹

¹*Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University, Indralaya South Sumatra 30862, Indonesia).*

²*Graduate School of Sciences, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University, Indonesia.*

³*Centre for Science and Technology of Advanced Materials, National Nuclear Energy Agency of Indonesia, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314, Indonesia.*

Corresponding author: ^{a)}akmal_johan@mipa.unsri.ac.id; ^{b)}dwisnuaa@batan.go.id

Abstract. Reflection loss is a parameter that indicates the magnitude of the absorption of the material against the microwaves that hit it. However, it is usually influenced by intrinsic properties in the form of permeability and permittivity properties of the material, as well as extrinsic properties in the form of geometry and thickness factors of the material. The amount of absorption is the accumulation of both as a function of frequency. In this study, two types of test samples have been prepared, namely single-phase and composite samples. Single phase sample is system material $\text{Co}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ with various compositions ($x = 0, 0.25, 0.5, \text{ and } 0.75$), while the composite sample is a mixture of $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{LaFeO}_3$ with composition 70/30, 50/50, 30/70, and 15/85. The results of the impedance measurement of each sample show that the impedance significantly changes with the addition of Zn in the $\text{Co}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ system. While the composite sample with several variations in composition does not significantly affect the value of the impedance. The results of the reflection loss (RL) measurement show that the sample with single phase has a change in absorption along with changes in composition (the presence of Zn substitution), but there is no significant change in the composite sample with changes in composition variations. It is concluded that the intrinsic properties of microwave absorbing materials can affect both the impedance and the reflection loss when in single phase. Thus the importance of making materials as microwave absorbers starts from a system that has a single phase because it will be easy to control and understand its absorption characteristics.

Keywords: $\text{Co}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$, LaFeO_3 , single phase, composite, impedance, and reflection loss.

INTRODUCTION

Cobalt Ferrite (CoFe_2O_4) is a magnetic material that has unique magnetic properties and has moderate value [1]. This means that its magnetic properties are between the properties of a hard magnet and a soft magnet, therefore CoFe_2O_4 is also known as a semi-hard magnet. In addition, CoFe_2O_4 also has good physical and chemical stability [2], uniform in size [3], has a high resistivity value and a semi-hard coercivity value, but has low dielectric loss [4]. Electromagnetic properties such as the permeability and permittivity of the complex in cobalt ferrite are in the frequency range of MHz to GHz. This indicates that cobalt ferrite has the potential to be applied as an absorber of electromagnetic waves at high frequencies [5].