

# EFEK SUBSTITUSI LOGAM TANAH JARANG TERHADAP KARAKTERISASI RADAR ABSORBER MATERIAL BERBASIS $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$ DENGAN METODE MECHANICAL MILLING GUNA MENINGKATKAN KUALITAS TEKNOLOGI PERTAHANAN

## SUBSTITUTION EFFECT OF RARE EARTH ELEMENT ON THE CHARACTERIZATION RADAR ABSORBER MATERIAL OF BASED $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$ USING MECHANICAL MILLING METHODS TO IMPROVE QUALITY OF DEFENSE TECHNOLOGY

Imastuti<sup>1</sup>, Romie O.Bura<sup>2</sup>, Wisnu Ari Adi<sup>3</sup>  
(Imastuti@gmail.com)

**Abstrak** – Meningkatkan produk dalam negeri dengan memanfaatkan untuk ilmu pengetahuan dan teknologi yang digunakan pada bagian pertahanan, yang mana berhasil dibuat pengerap gelombang radar (RAM) berbahan dasar Cobalt titanium dengan pencampuran dengan menggunakan bahan logam tanah jarang dengan substitusi ion  $Ce^{+4}$  sesuai dengan teknik perbandingan mol. Kemudian sistesis dengan menggunakan metode *Powder Metallurgy (Mechanical Milling)*. Fasa yang terbentuk dengan kalsinasi  $1000^{\circ}C$  dengan *holding time* 5 jam. Karakterisasi sampel dilakukan dengan XRD, SEM-EDX, VSM dan VNA. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa bahan yang dibuat dengan substitusi Cerium (Logam Tanah Jarang) didapatkan bahan memiliki sifat semiparamagnetik dengan menunjukkan keunggulan sifat *broadband* dapat menjangkau semua radar X band. Serapan gelombang radar diukur dengan VNA menunjukkan bahwa substitusi ion  $Ce^{+4}$  menunjukkan nilai maksimal pada bahan variabel  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$  dengan serapan dapat ditunjukkan  $\sim 80\%$  dengan nilai maksimal pada frekuensi 10 GHz.

**Kata Kunci:** RAM, antiradar, Logam Tanah Jarang, Serapan gelombang

**Abstract** - The utilization of domestic products needs to be improved by utilizing the knowledge and technology used in the defense sector, which has successfully made radar wave absorbers (Cobalt titanium) based by mixing using soil fuel with synthesized  $Ce^{+4}$  ion substitution using Powder Metallurgy (Mechanical Milling) method. Phase formed with calcination  $1000^{\circ}C$  with a holding time of 5 hours. Sample characterization was carried out by XRD, SEM-EDX, VSM, and VNA. Based on the results of the research obtained materials made with Cerium substitution (Rare Earth Metal) are obtained with materials that have semiparamagnetic properties by providing superior broadband properties that can be used for all X band radars. The maximum value shown on the material of  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$  with absorption can be calculated at 80% with a maximum value at a frequency of 10 GHz.

**Keywords:** RAM, anti-radar, rare earth metal, absorb wave

---

1 Program Studi Teknologi Daya Gerak, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

2 Universitas Pertahanan

3 Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN PUSPIITEK Serpong).

## Pendahuluan

Sistem pertahanan semesta mengintegrasikan pertahanan militer dan pertahanan nirmiliter, melalui usaha membangun kekuatan dan kemampuan pertahanan negara yang kuat dan disegani serta memiliki daya tangkal yang tinggi<sup>4</sup>. Salah satunya mengembangkan potensi dalam Tingkat Kandungan Dalam Negeri (TKDN) yang dimiliki negara tersebut. Sumber daya alam dan sumber daya manusia mempunyai peluang untuk dapat mengembangkan teknologi pertahanan yang maju untuk Alat peralatan pertahanan dan keamanan (Alpahankam) negara dengan tantangan yang cukup besar.

Indonesia mampu melakukan alih teknologi dengan berbagai tahap mulai dari perumusan kebijakan, pengembangan kajian penelitian, hingga mencapai tahapan kesiapan teknologi pada produksi awal, pengadaan dan produksi massal. Secara tidak langsung, *triple-helix* membentuk suatu sistem yang kuat, yakni pemerintah, peneliti/universitas, bersama dengan industri saling mendukung pembangunan

industri pertahanan. Kementerian Riset, Teknologi dan Perguruan Tinggi (Kemenristekdikti-RI) menegaskan peran penelitian dan pengembangan yang berintegrasi sehingga mendukung Industri Pertahanan dalam negeri yang jelas arah dan tepat sasaran sehingga tercapai kemandirian teknologi dan Industri Pertahanan<sup>5</sup>. Pada Tabel 1 menjelaskan bahwa fokus pengembangan pada Rencana Induk Riset Nasional (RIRN) tahun 2017-2045 menfokuskan coating bahan penyerap gelombang radar ditempatkan pada kapal perang penyerap gelombang radar dalam pengembangan riset teknologi pendukung daya gerak. Teknologi pertahanan dapat menjawab tuntutan ataupun ancaman yang senantiasa berubah, dengan demikian suatu negara memiliki sebuah keuntungan strategis dalam tatanan global atau dunia<sup>6</sup>. Instansi dalam satuan kerja yang terkait berperan penting untuk menuju Rencana Induk Riset Nasional secara optimal.

---

<sup>4</sup> Kementerian Pertahanan, *Buku Putih Pertahanan Negara*, (Jakarta: Kemhan, 2016), Hlm 1.

<sup>5</sup> Kemenristekdikti, "Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017-2045", dalam

<http://risn.ristekdikti.go.id/>, diakses pada 30 Desember 2018

<sup>6</sup> Kina Karya Indonesia, *Tonggak Bangkitnya Industri Pertahanan Lokal*, (Jakarta: Pusat Komunikasi Publik Kemenperin, 2012) Hlm. 5

**Tabel 1.** Tabel Integrasi Fokus Riset Pertahanan dan Keamanan dan Material Bahan Maju

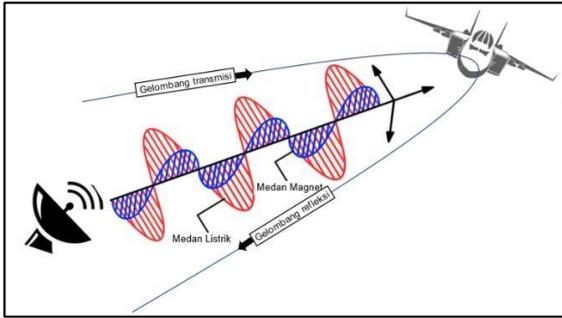
Integrasi Fokus Riset Pertahanan dan Keamanan					
Tema Riset	Topik Riset	Dukungan Anggaran	Institusi Terkait	Target	Lonk RIPIN 2015-2035
Teknologi pendukung Daya Gerak	Pengembangan Produk alat angkut matra laut	Kemenhan	Kemenhan Kemenparin BPPT	Kapal perang antiradar	Mesin dan Perlengkapan Komponen
Teknologi pendukung Hankam	Pengembangan Produk material	Kemenhan LIPI	Kemenhan Kemenparin LAPAN, BPPT, & BATAN	Material khusus alutsista Coating antiradar	Mesin Perlengkapan Komponen
Integrasi Fokus Riset Material Bahan Maju					
Teknologi Eksplorasi Potensi Material Baru	Desain dan eksplorasi material pigmen absorber		Kemenparin BPPT Perguruan Tinggi	Teknologi ekstraksi /isolasi bahan pigmen fungsional dan prototipe alat sensor Pigmen multispektral	

Sumber: Rencana Induk Riset Nasional Kemenristek-RI diakses pada <http://risn.ristekdikti.go.id/>, 201

Di bidang kemiliteran, radar dalam rentang frekuensi gelombang mikro digunakan sebagai alat untuk memvisualisasikan target atau obyek. Radar (*Radio Detection and Ranging*) mampu mendeteksi target untuk mendapatkan informasi berupa jarak, azimuth, dan kecepatan<sup>7</sup>. Pada prinsip kerjanya, adalah sebuah mesin pemancar gelombang elektromagnetik yang dikirim dengan rutinitas tinggi dan acak. Ketika energi yang dipancarkan menumbuk

suatu bahan atau struktur benda, maka energi tersebut akan mengembalikan energi (echo radar) dalam bentuk informasi. Dengan demikian, kegiatan yang dilakukan dalam jangkauan militer pada situasi baik perang ataupun damai, radar menjadi pusaka terpenting dalam pertahanan untuk mengawasi pergerakan target asing atau obyek asing yang mengancam untuk memberikan keamanan dalam pertahanan negara.

<sup>7</sup> Suwadi dan Fery Gustomo, "Analisa Penggunaan Sinyal Radar Bentuk Pulsa dan Gelombang Kontinyu untuk Target Bergerak

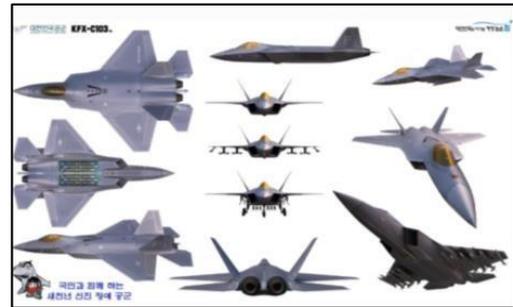


**Gambar 1.** Prinsip Kerja Gelombang pada Radar

Sumber : Rekayasa Peneliti, 2018

Bahan penyerap gelombang radar (RAM) dengan berbasis polimer telah diterapkan pada pesawat militer F-22 Raptor dan F-35 Lightning II<sup>8</sup> dan Pesawat F-117 A (dikenal sebagai "Stealth fighter") dan bomber B-2, keduanya dari Angkatan Udara Amerika Utara adalah contoh sukses dan terkenal dengan teknologi deteksi rendahnya, yang menghasilkan penetrasi pesawat terbang di wilayah musuh tanpa visualisasi radar<sup>9</sup>. Dengan kesesuaian Indonesia akan menargetkan pesawat tempur IFX memiliki kemampuan *Stealth* (tidak terdeteksi radar) di atas level *Eurifighter Thypoon* dan *Dassault's Rafale*, walau masih di bawah F-35 *Joint Strike Fighter*<sup>10</sup>, Indonesia diharapkan mampu mengembangkan secara mandiri untuk

mengandalkan industri pertahanan, khususnya untuk kendaraan militer dan alpakankam lainnya dapat diakuisisi pengembangan teknologi secara strategis dan mandiri bagi Indonesia.



(a)



(b)



(c)

<sup>8</sup> Mouritz, Andrian P, Introduction to Aerospace Materials, (New Delhi: Woodhead Publishing India Private Limited, 2012)

<sup>9</sup> Folgueras, Luiza De Castro & Mirabel Cerqueira Rezende, "Multilayer Radar Absorbing Material Processing by Using Polymeric Nonwoven and

Conducting Polymer", Materials Research, Vol. 11, No. 3, 2008, Hlm. 245-249.

<sup>10</sup> Armandha, S.T., Arwin D.W.S. & Haryo Budi Rahmadi, "Ekonomi Politik Kerja Sama Korea Selatan – Indonesia dalam Joint Developmnt", pada e-journal.unair.ac.id diakses tanggal 11 Apr 11 2018, Hlm 80

**Gambar 2.** Alat Peralatan Pertahanan dan Keamanan (a) Pesawat Kerja sama KFX- IFX (b) tank Kaplan (c) seragam kamuflase  
Sumber: Pada (a) dentmasoci.com (b) Pindad.com (c) Pinterenst.com diakses Tanggal 25 Desember 2018

Untuk meningkatkan teknologi pada alat dan peralatan pertahanan dan keamanan (alpahankam) untuk pertahanan negara maka dibutuhkan teknologi milineal untuk menyerap gelombang radar dalam jangkauan frekuensi yang sangat lebar (*broadband absorber*). Pemanfaatan teknologi *stealth* yang dapat digunakan untuk kegiatan pengintaian (mata-mata), penangkapan nelayan ilegal, atau untuk penyeragaman musuh (*intercept*) secara diam-diam baik untuk matra darat, laut, dan udara. Oleh sebab itu, bahan-bahan penyerap gelombang radar ini menjadi topik yang menarik dalam penelitian dan pengembangan pada Rencana Induk Riset Nasional (RIRN) 2017-2045 pada bidang pertahanan dan keamanan serta bahan maju. Adapun pencarian bahan baru yang digunakan untuk pengurangan deteksi radar yakni *Radar Absorbing Material (RAM)* akan dibahas pada penelitian ini. Ditambah pula, identifikasi pigmen warna dimana alat peralatan

pertahanan dan keamanan (alpahankan) indonesia menerapkan pemakaian warna hijau sebagai warna utama untuk unsur penyamaran (*camouflage*). Dengan demikian pengembangan dan pemilihan bahan yang dikembangkan untuk pigmen baju tentara, pigmen cat bangunan, pesawat tempur, tank dan lain lain (tergabung dalam logistik TNI) yang tidak terdeteksi oleh gelombang radar.

Bahan penyerap gelombang radar (RAM) memiliki persyaratan utama yaitu bahan harus memiliki sifat permitivitas dan sifat permeabilitas yang sangat tinggi<sup>11</sup>, yaitu bahan-bahan yang memiliki sifat magnet dan sifat listrik sebagai dasar penyerapan gelombang. Bahan-Bahan tersebut merupakan hasil rekayasa bahan yang akan memiliki dua sifat yaitu memiliki sifat permitivitas dan permeabilitas untuk menyamakan fase gelombang (resonansi) dengan gelombang radar sehingga dapat berinteraksi satu sama yang lain yang mengakibatkan terjadinya penyerapan gelombang radar sebelum gelombang echo kembali ke receiver. Salah satu bahan yang terpilih pada penelitian ini adalah bahan magnetik yang berbasis  $\text{CoTiO}_3$ .  $\text{CoTiO}_3$  ini merupakan bahan yang

---

11 Nasution, E.L, & Astuti, "Sintesis Nanokomposit PAni/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sebagai Penyerap Magnetik pada

Gelombang Mikro", Jurnal Fisika Universitas Andalas, 2012.

memiliki sifat permitivitas dan permeabilitas berfasa tunggal. Dan juga  $\text{CoTiO}_3$  ini merupakan pigmen warna hijau.  $\text{CoTiO}_3$  terbuat dari persenyawaan antara kobal oksida dan titanium oksida yang disintering pada suhu diatas  $1000^\circ\text{C}$ . Sebagai bahan penyerap gelombang radar diperlukan rekayasa bahan sehingga dapat meningkatkan kemampuan penyerapan gelombang radar pada sistem ini. Langkah yang ditempuh adalah substitusi unsur logam tanah jarang pada sistem ini sehingga persenyawaan menjadi  $\text{CoTi}_{1-x}\text{Ce}_x\text{O}_3$ . Sebagai bahan dielektrik penelitian ini menggunakan Logam Tanah Jarang (LTJ) yang merupakan berbahan maju yang dipercaya memiliki tingkat penyerapan radar yang memiliki sisi *state of the art* pada keilmuan material. Logam Tanah Jarang (LTJ) memiliki sifat yang unik antara lain memiliki stabilitas termal yang baik dan konduktivitas yang tinggi dan memiliki dua sifat pada gelombang sehingga dapat menyamai gelombang radar agar dapat berinteraksi dengan bahan penyerap gelombang radar (RAM).

Dari bahan  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,  $\text{TiO}_2$ , dan  $\text{CeO}_2$  kemudian membentuk bahan baru untuk membuat gelombang terjadi *impedance matching* yang mana kalibrasi dari  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,

$\text{TiO}_2$ , dan  $\text{CeO}_2$  difungsikan merekayasa dari bahan konduktif dan kapasitatif serta penambahan cerium oksida yang memiliki unsur keduanya. Sehingga, pada penelitian ini diharapkan sintesis berbasis  $\text{CoTi}_{1-x}\text{Ce}_x\text{O}_3$  dapat memberikan pendalaman lebih pada konsentrasi Reflection Loss jika digunakan dengan menggunakan logam tanah jarang untuk konsentrasi dielektrik dan sifat magnet menggunakan teknik metalurgi serbuk dengan reaksi padatan fabrikasi sederhana. Sehingga muncul beberapa pertanyaan yang perlu dijawab sebagai berikut: 1) bagaimana karakterisasi bahan yang berbasis  $\text{CoTi}_{1-x}\text{Ce}_x\text{O}_3$  dengan uji Analisa XRD, SEM, VSM dan VNA 2) Bagaimana kemampuan penyerapan gelombang radar pada frekuensi X-Band?

### Metode Penelitian

Bahan yang digunakan untuk membentuk  $\text{CoTi}_{1-x}\text{Ce}_x\text{O}_3$  dibutuhkan adalah  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,  $\text{TiO}_2$ , dan  $\text{CeO}_2$ . Metode yang digunakan adalah reaksi padatan dengan menggunakan mechanical milling dengan komposisi bahan dicampurkan dengan ball mill dalam lingkungan etanol dengan menggunakan *High Energy Milling* dengan rasio bahan dan ball mill adalah 2:1

Kemudian bahan  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$  di oven dalam suhu  $100^{\circ}C$  selama 6 jam. Kemudian bahan disinterring dengan menggunakan furnace Thermolyne 6000 pada suhu  $1000^{\circ}C$  selama 5 jam. Selanjutnya bahan dilakukan karakterisasi dengan menggunakan difraksi sinar X (XRD) dengan merek PANalytical sinar-X menggunakan  $CuK\alpha$  ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ) analisa dengan menggunakan perangkat lunak General Structure Analysis System (GSAS). Pada bagian ini, penulis menjelaskan langkah-langkah pada saat dilakukannya penelitian. Metode penelitian yang digunakan disampaikan secara mendetail untuk memungkinkan pembaca mengevaluasi metode, reliabilitas, dan validitas dari temuan penelitian. Disarankan metode penelitian disampaikan secara lugas dan padat. Scanning Electron Microscope (SEM) dengan emerk JEOL JED 350 untuk menentukan morfologi permukaan, Vibrating Sample Magnetometer (VSM) dengan merek Physik 255 dengan rentang -1 sampai 1 Tesla dan Vector Network Analyser (VNA) dengan merek Advantest tipe 3770 untuk pengujian serapan gelombang radar.

### Hasil dan Pembahasan

### Hasil Analisis Pigmen Modifikasi Pembuatan Bahan $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$



**Gambar 3.** Bahan Hasil Pembuatan  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$

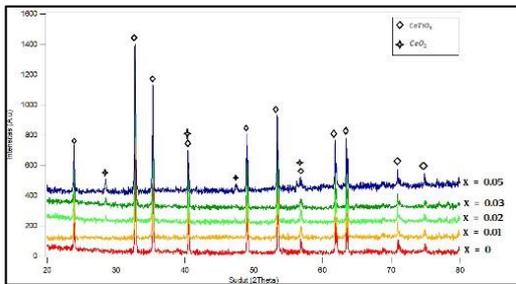
Sumber: Hasil Olahan Peneliti, 2019

Hasil akhir bahan berbentuk serbuk karena memiliki unggulan pada saat uji karakterisasi pada dengan menggunakan X-Ray Difrraction. Dalam bentuk serbuk, ukuran butiran memudahkan difraksi karena akan memiliki arah yang beragam. Bahan  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$  berhasil dibentuk dengan pigmen tetap berwarna hijau. Ini menunjukkan bahwa  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$  cocok untuk menjadi pengembangan penelitian TNI dengan pigmen warna dapat diaplikasikan pada identitas dan kode warna kamuflase untuk Indonesia yang rumpun lingkungan yang tropis. Sehingga jika pigmen dari  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$  ditempatkan pada berbagai alat dan peralatan pertahanan dan keamanan (Alpahankam) di Indonesia sangat sesuai untuk komposisi warna yang terbentuk.

### Hasil Analisis kualitatif dan kuantitatif dengan Karakterisasi X-Ray Difraction

Analisis kualitatif XRD bertujuan untuk mengidentifikasi struktur kristal yang berbentuk padatan dari pola-pola

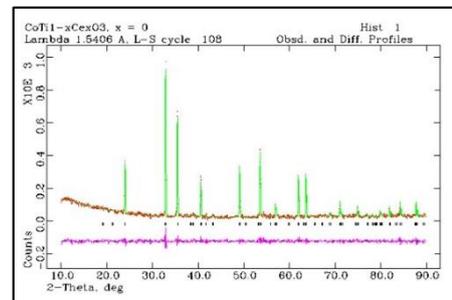
difraksi yang terbentuk dimana terjadi interferensi kontruksi sinar X. Dari data bahan  $\text{CoTi}_{1-x}\text{Ce}_x\text{O}_3$  yang muncul dalam pola difraksi mewakili bidang kristal untuk dilakukan pencocokan data COD.



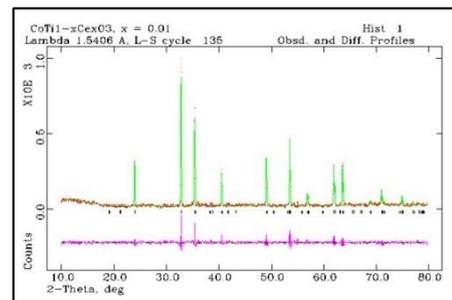
**Gambar 4.** Difraksi Sinar-X  $\text{CoTi}_{1-x}\text{Ce}_x\text{O}_3$   
 Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2019

Pada Gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran pola difraksi (XRD) bahan  $\text{CoTiO}_3$  substitusi  $\text{Ce}^{+4}$  ( $\text{CoTi}_{1-x}\text{Ce}_x\text{O}_3$ ) untuk komposisi  $x = 0, 0.01, 0.02, 0.03,$  dan  $0.05$ . Hasil analisis kualitatif dengan menggunakan program Match dengan pencocokan fasa puncak-puncak dari pola XRD bersesuaian dengan data Referensi COD 99-100-8694. Berdasarkan data bahan yang memiliki fasa tunggal pada komposisi  $x = 0, x = 0.01$  dan  $x = 0.02$ . Sementara komposisi  $x > 0.02$  yakni pada komposisi  $x = 0.03,$  dan  $0.05$  terbentuk multi fasa yang dihasilkan dari bahan, fasa tersebut muncul  $\text{CeO}_2$ . Berdasarkan data yang didapatkan dari pengukuran XRD dapat dikatakan bahwa komposisi  $x = 0, x = 0.01$  dan  $x = 0.02$  atom cerium dapat disubstitusikan pada kobal dan Titanium. Disisi lain, pada komposisi

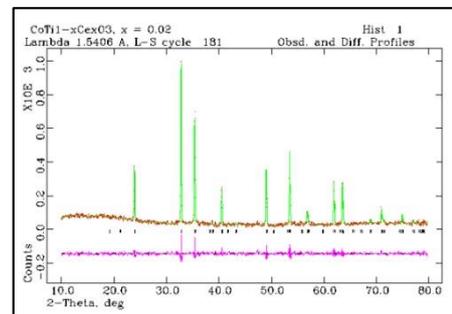
$x = 0.03,$  dan  $0.05$  terbentuk fase cerium oksida yang diduga dikarenakan oleh jumlah atom titanium yang terlalu besar maka cenderung membentuk fase baru pada bahan yang dikalibrasi dari perbandingan stoikiometrinya. Berturut-turut data grafik mengalami peningkatan puncak sehingga membutuhkan analisis lainnya untuk mendukung hasil yang didapatkan dari pengukuran XRD.



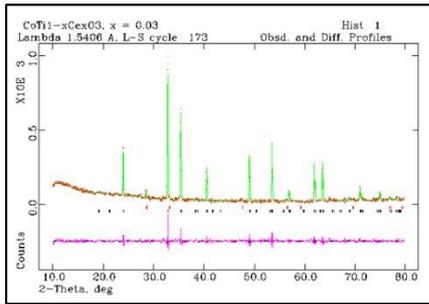
(a)  $x=0$



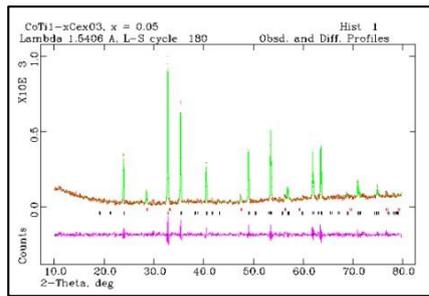
(b)  $x=0.01$



(c)  $x=0.02$



(d)  $x = 0.03$



(e)  $x = 0.05$

**Gambar 5.** Hasil Rifenement Pola Difraksi Sinar-X bahan  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$

Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2019

Gambar 5 (a), (b) dan (c) adalah hasil refinement pola XRD untuk  $x = 0$ , dan 0.01 dan 0.02 yang telah membentuk

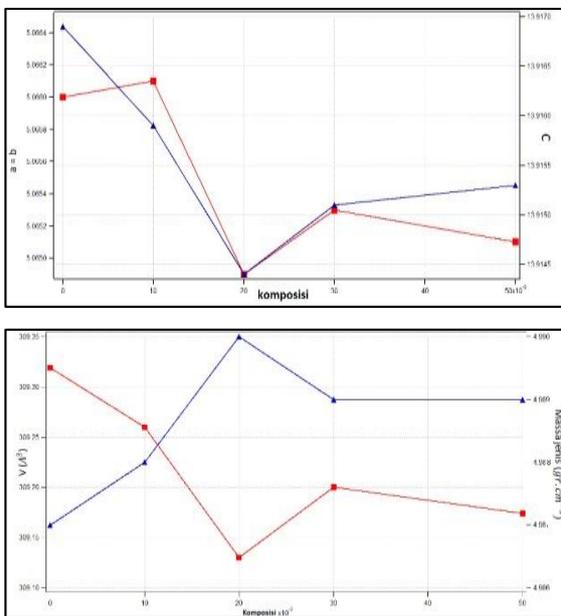
puncak difraksi bragg dengan fasa tunggal mengikuti struktur  $CoTiO_3$ . Gambar 5. (d) dan (e) adalah hasil penyempurnaan pola XRD untuk  $x = 0.02$ ; 0.03; dan 0.05 telah terbentuk puncak difraksi bragg dengan dua fasa, yang mengikuti struktur  $CoTiO_3$  dan  $CeO_2$ . Analisis kualitatif dan kuantitatif mengacu pada Kristalografi Open Database dengan nomor kartu (JCPDS: 99-100-8694), dan (JCPDS: 99-200-3340) masing-masing untuk fasa  $CoTiO_3$  dan  $CeO_2$ . Rangkuman lengkap dari hasil refinement pola difraksi sinar-X dari bahan  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$  dengan variasi komposisi ( $x = 0, 0.01, 0.02, 0.03$ , dan 0.05) untuk semua bahan ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Nilai Parameter Struktur dalam Bahan  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$

X	Fasa	Parameter Kisi (Å)			V (Å <sup>3</sup> )	$\rho$ (gr.c m <sup>3</sup> )	Fraksi (%)	Rwp	X <sup>2</sup>
		a	b	c					
0	$CoTiO_3$	5.0660(0)	5.0660(0)	13.9169(9)	309.31(9)	4.987	100	14.54	1.085
0.01	$CoTiO_3$	5.0657(0)	5.0661(2)	13.9159(8)	309.26(0)	4.98	100	20.17	1.551
0.02	$CoTiO_3$	5.0649(1)	5.0649(1)	13.9144(8)	309.13(0)	4.99	100	13.93	1.029
0.03	$CoTiO_3$	5.0653(6)	5.0653(6)	13.9151(2)	309.20(0)	4.98	98.9	14.53	1.175
	$CeO_2$	5.4011(5)	5.4011(5)	5.4011(5)	157.59(0)	7.254	1.06		
0.05	$CoTiO_3$	5.0651(0)	5.0651(0)	13.9153(9)	309.17(4)	4.98	98.0	14.62	1.344
	$CeO_2$	5.4076(4)	5.4076(4)	5.4076(4)	158.13(4)	7.233	1.99		

Sumber: Perhitungan Peneliti LX dari G-SAS, 2019

Gambar 5 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil refinement pola difraksi sinar-X memiliki kualitas fitting sesuai dengan kriteria fit (Rwp) dan *goodness of fit* ( $\chi^2$ )<sup>12</sup>. Rwp adalah rasio berat perbedaan antara pola observasi dan perhitungan XRD (nilai ideal Rwp <10%). Sedangkan ( $\chi^2$ ) (*chi-squared*) adalah rasio dari pola XRD hasil observasi yang sebanding dengan harapan.



**Gambar 6.** Hasil Analisis Parameter Kisi, Volume Unit Sel dan Kerapatan Atomik sebagai Fungsi Komposisi.

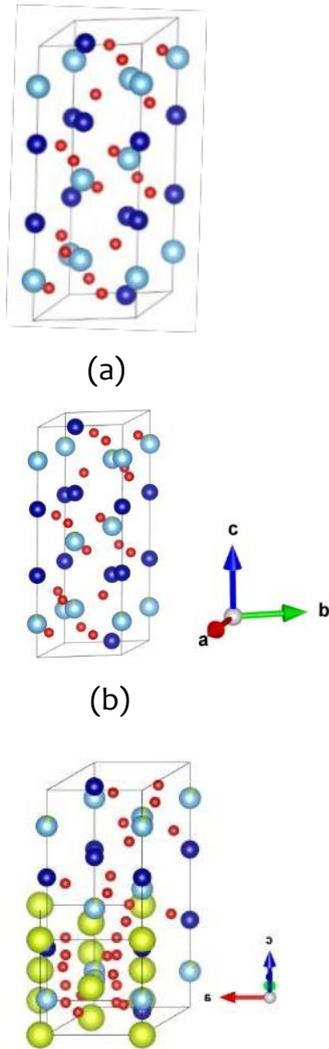
Sumber: Hasil olahan peneliti, 2019

Parameter kisi yang digambarkan pada Gambar 6 adalah salah satu hasil refinement yang telah dilakukan. Dari grafik dapat dijelaskan tampak bahwa komposisi  $x = 0,01$  dan  $0,02$  mengalami

persamaan jari jari sehingga memiliki besar volume sel satuan yang sama. Namun setelah digantikan sebagai komposisi atom pada mJika dilihat dari jari-jari atom Titanium dan Cerium, terjadinya multifasa disebabkan jari-jari atom Cerium ( $r = 1,03 \text{ \AA}$ ) lebih pendek daripada jari-jari atom Ti ( $r = 1,40 \text{ \AA}$ ), sehingga mengakibatkan parameter kisi berkurang. Kemudian untuk komposisi  $x > 0.02$  volume sel satuan secara bertahap menurun yang diduga disebabkan oleh distorsi kisi oleh kehadiran fasa lain yang terbentuk. Pada gambar 6 terlihat bahwa teterjadi penurunan nilai massa jenis yang dimiliki oleh bahan  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$ . Hal ini disebabkan karena penambahan atom Cerium mengakibatkan peningkatan massa jenis bahan  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$  karena semakin kecil volume maka massa jenis akan semakin rapat, sehingga Cerium semakin besar disubtitusikan akan lebih stabil jika mengikat oksigen dan membentuk  $CeO_2$ .

<sup>12</sup>Volker, Z, Rare Earth Elements A New Approach to the Nexus of Supply, Demand and Use:

Exemplified along the Use of Neodymium in Permanent Magnets. (Berlin: Springer, 2013)



**Gambar 7.** Model Struktur Kristal (a)  $\text{CoTiO}_3$ ;  
 (b)  $\text{CoTi}_{0.99/0.98}\text{Ce}_{0.01/0.02}\text{O}_3$   
 (c)  $\text{CoTi}_{0.97/0.95}\text{Ce}_{0.03/0.95}\text{O}_3$

Sumber: Hasil olahan peneliti, 2019

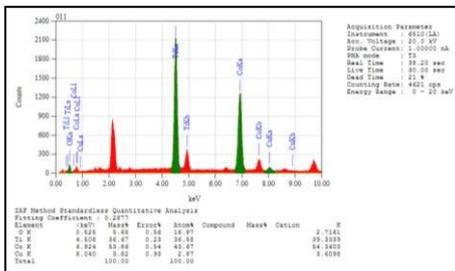
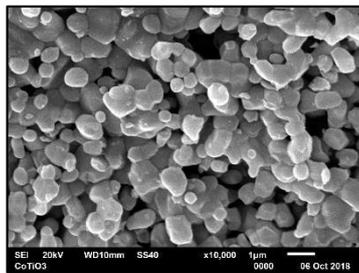
Rekayasa struktur kristal memiliki system kristal heksagonal dengan *space group* (R-3) dan parameter kisi  $a=b=5.0663$  dan  $c=13.91683$  dengan bahan pada  $\text{CoTi}_{0.99}\text{Ce}_{0.01}\text{O}_3$  tampak atom Cerium mengisi pada atom Titanium yang bergantung pada komposisi yang masuk, sesuai dengan persentase Cerium masuk pada bahan (pada Gambar 6). Namun

pada  $x=0.01$  dan  $x=0.02$  dengan kebolehjadian faktor hunian atom Titanium terisi penuh dengan ditunjukkan pada 100% komposisi yang masuk pada atom Titanium. Kemudian pula yang terjadi pada variasi komponen pada  $x=0.03$  dan  $0.05$  pada tabel dijelaskan bahwa fraksi yang masuk tidak sepenuhnya masuk pada fasa bahan. Kebolehjadian faktor hunian pada variasi komponen pada  $x=0.03$  dan  $0.05$  hanya terisi sebagian. Hasil analisis struktur kristal yang diperoleh berdasarkan gambar 7 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa substitusi ion  $\text{Ce}^{+4}$  dalam  $\text{Ti}^{+4}$  berhasil dilakukan dengan tidak mengubah struktur dan fasa seperti ilusi model struktur kristal. Struktur kristal tampak tidak berubah seiring dengan bertambahnya  $\text{Ce}^{+4}$ . Hal ini menjadi wajar karena ion  $\text{Ce}^{+4}$  menempati koordinat site yang sama dengan ion Ti sehingga hanya mempengaruhi kerapatan atomik pada setiap variasi komposisi bahan, seperti yang terlihat pada Gambar 7 (b).

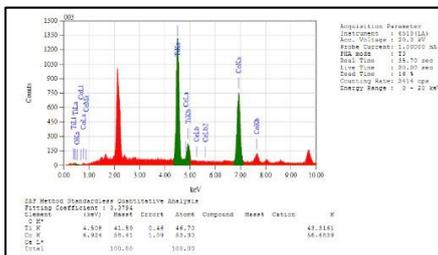
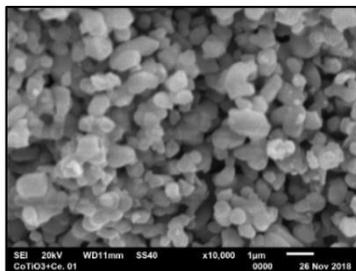
#### Hasil Analisis Morfologi Partikel dengan Karakterisasi SEM-EDS

Teknik karakterisasi konvensional untuk mendapatkan informasi untuk memberikan bantuan “penglihatan” bagi para peneliti untuk dapat melihat

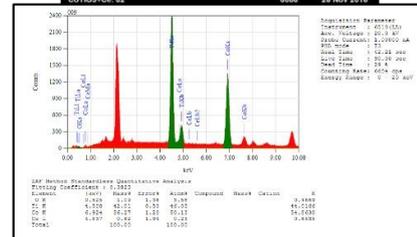
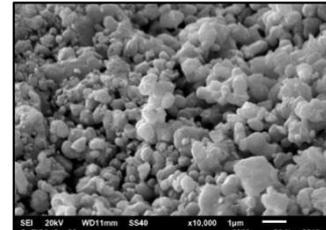
penampakan sekitar interface antara bahan dengan pembentukan image dengan objek yang terbilang kecil dengan memberikan kontras yang relative rendah dengan perbesaran tinggi.



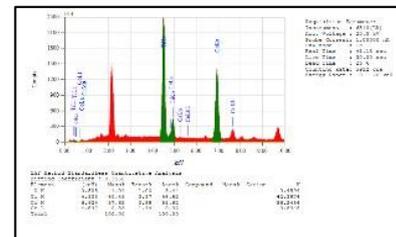
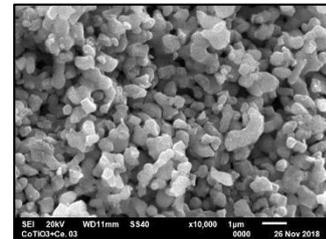
(a)



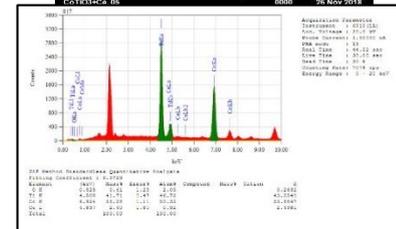
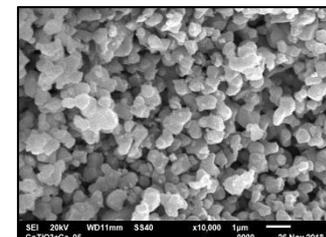
(b)



(c)



(d)



(e)

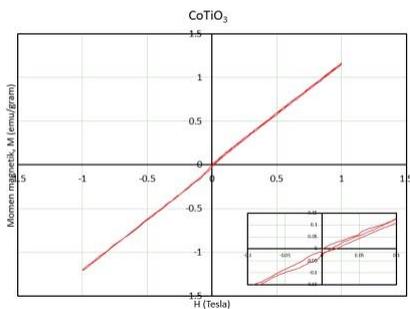
**Gambar 8.** Pengukuran SEM-EDS pada Bahan  $\text{CoTi}_{1-x}\text{Ce}_x\text{O}_3$  (a)  $x = 0$ ; (b)  $x = 0.01$  (c)  $x = 0.02$  (d)  $x = 0.03$  (e)  $x = 0.05$

Sumber: Hasil olahan peneliti, 2019

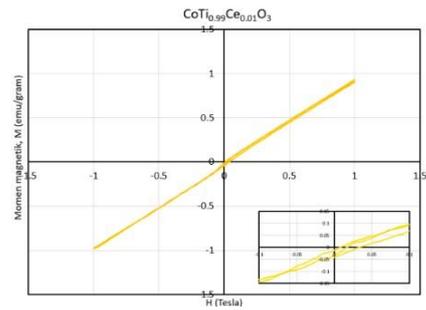
Gambar 8 menunjukkan struktur morfologi dari bahan  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$  dengan variasi komposisi ( $x = 0; 0.01; 0.02; 0.03; 0,05$ ). Hasil dari bahan  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$  bentuk bahan dari komposisi 0 dan 0,01 memiliki bentuk dan ukuran partikel yang homogen antara satu dan lainnya. Sedangkan variasi komposisi lainnya terlihat pada gambar 8 tampak partikel memiliki ukuran dan bentuk yang identik sama.

### Hasil Analisis Sifat Magnetik dengan Karakterisasi VSM

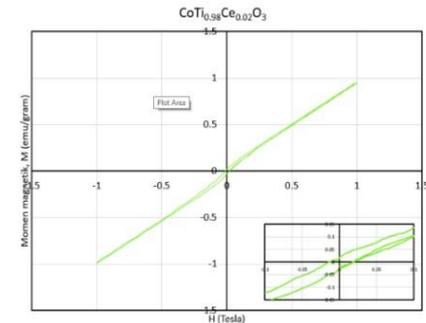
Pengujian VSM dilakukan untuk menentukan kurva histeresis untuk menggambarkan kurva ukuran besar magnet yang dimiliki pada bahan  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$  dalam penjelasan kurva dapat dinyatakan dalam bentuk besarnya magnetisasi remanen. Besarnya magnetik remanen yang menjelaskan magnetik sisa yang dimiliki bahan ketika gaya luar dihilangkan atau dibuat menjadi nol.



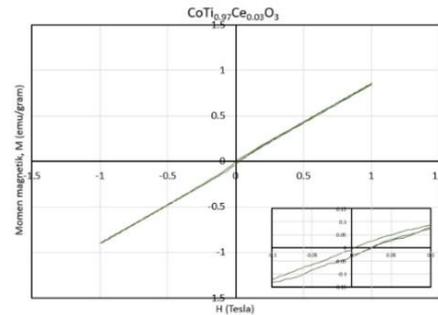
(a)  $x = 0$



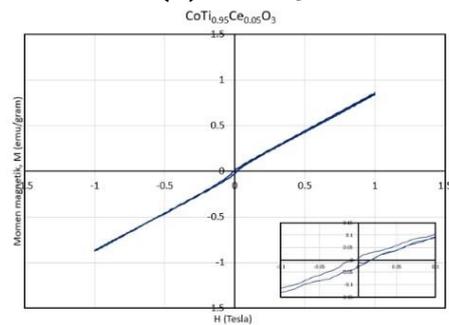
(b)  $x = 0.01$



(c)  $x = 0.02$



(d)  $x = 0.03$



(e)  $x = 0.05$

**Gambar 9.** Penampakan Analisis VSM  
Sumber: Hasil olahan peneliti, 2019

Dalam grafik VSM menunjukkan bahwa bahan memiliki sifat paramagnetik. Dapat dilihat dari grafik terlihat membentuk kurva histeresis walaupun kecil sifat magnetik sangat tampak pada komposisi

$x = 0.02$ . Sintesa bahan dibuktikan dengan nol pada koersivitas dan remanensi membentuk celah pada magnetisasi. Suatu saturasi magnetisasi setiap aktif menjadi paramagnetik jika diberi kuat medan 60 kOe dalam 3 emu/gr<sup>13</sup>.

**Tabel 3.** Parameter magnetik serbuk  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$

NILAI X	BAHAN	PARAMETER MAGNETIK		
		Ms (emu/gr)	Mr (emu/gr)	Hc (Oe)
0	CoTiO <sub>3</sub>	0.1	0	0.82
0.01	CoTi <sub>0.99</sub> Ce <sub>0.01</sub> O <sub>3</sub>	0.05	-0.02	0.58
0.02	CoTi <sub>0.98</sub> Ce <sub>0.02</sub> O <sub>3</sub>	0.40	0.002	0.44
0.03	CoTi <sub>0.97</sub> Ce <sub>0.03</sub> O <sub>3</sub>	0.27	0	0.30
0.05	CoTi <sub>0.95</sub> Ce <sub>0.05</sub> O <sub>3</sub>	0.28	0.01	0.19

Sumber: Hasil olahan peneliti, 2019

Nilai magnetik remanensi yang besar merupakan suatu keharusan yang dimiliki suatu bahan dengan syarat bahwa bahan tersebut bahan yang tergolong sebagai bahan penyerap gelombang radar<sup>14</sup>. Pada Tabel 3 dapat terlihat bahwa nilai menunjukkan bahwa untuk membentuk nilai histeresis yang bagus maka di sisi lain memiliki bahan magnetik remanen yang tinggi, nilai koersivitas disarankan lebih kecil mendekati nol karena dengan nilai koersivitas rendah maka semakin rendah

pula nilai remanensi yang bisa dihilangkan. Kedua alasan tersebut memberikan penjelasan semua komponen variasi memiliki anomali tidak sesuai harapan kemungkinan karena bahan tidak sesuai dengan bahan tidak menunjukkan transisi sepenuhnya reversibel, mewakili ferromagnet asli. Fakta ini mencerminkan kualitas sampel yang kurang baik, karena bersifat magnetis irreversibilitas sering hadir dalam sampel keramik magnetik<sup>15</sup>.

### Hasil Analisis Penyerapan Gelombang Radar dengan Karakterisasi VNA

Sifat penyerapan gelombang merupakan sifat gelombang dari suatu bahan yang muncul karena getaran atom per satuan bahan persatuan waktu relatif memiliki kesamaan getaran energi yang dipancarkan dari gelombang radar. Keseragaman frekuensi antara bahan dan gelombang tidak akan sama pada ketepatan dan ketelitian untuk setiap persatuan waktu pada nilai frekuensi gelombang. Beberapa gelombang bahkan hampir semua diteruskan sedikit

<sup>13</sup>P.N. Lisboa-Filho, A. Zennatti, G.M. Casali, and C.A. "Paskocimas Magnetic behavior at low temperatures of Ti Oxide polycrystalline samples", *J. Sol-Gel Sci. Technol*, Vol 24, 2002, Hlm. 241-245.

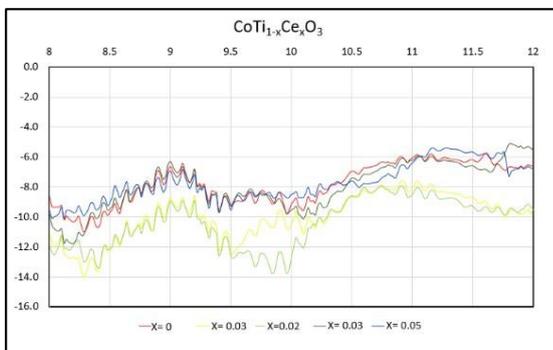
<sup>14</sup>Adi, W. A, Analisis Struktur dan Sifat Magnetik Paduan Sistem (Ba,Sr)<sub>0.6</sub>(Fe<sub>2</sub>(1-x)(MnTi)<sub>x</sub>)O<sub>3</sub> (x= 0; 0,25; 0,5), Tesis S2 Fakultas Matematika

dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, 2010)

<sup>15</sup>Enhassari, N., A. Parvis., K. Ozaee & E. Karamali, "Magnetik Properties and Heat Capacity of CoTiO<sub>3</sub> Nanopowders Prepared by Stearic Acid Gel Method", *Journal of Experimental Nanoscience*, Vol. 5 No.1, 2010, Hlm. 67

yang akan dipantulkan. Pengujian nilai frekuensi yang terpantul menggunakan instrument VNA (Vector Network Analyzer).

Pengujian nilai serapan gelombang (*reflection loss*) merupakan perbandingan jumlah fraksi gelombang yang terserap karena resonansi gelombang. Atom-atom yang bergetar pada bahan memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi yang digetarkan melalui instrument VNA. Pada alat VNA ada 2 Output yaitu S<sub>21</sub> dan S<sub>11</sub> yang masing-masing secara berurutan memiliki arti *transmission loss* dan *reflection loss* sehingga pada penelitian ini hanya mengambil nilai S<sub>11</sub>.



**Gambar 10.** Nilai reflection loss komposisi variasi ( $0 < x < 0.05$ )

Sumber: Hasil olahan peneliti, 2019

Karakter yang ditunjukkan dari bahan penyerap gelombang membuat unik untuk dipelajari. Karena concept requirement yang dibutuhkan pada bahan penyerap gelombang radar (RAM) adalah kehadiran sifat intrinsik yang dimiliki bahan (bahan yang memiliki

magnetic loss dan dielectric loss). Pada gambar 10 menunjukkan besaran desibel pada rumusan dalam reflection loss memiliki definisi dari rasio pemantulan gelombang dalam nilai impedansi yang terjadi pada rentang frekuensi 8-12 GHz pada ketebalan bahan 2 mm. Berdasarkan hasil VNA didapatkan reflection loss terbesar pada  $x = 0.02$  dengan nilai  $-13.99$  dB dengan frekuensi 10GHz dan nilai reflection loss terkecil pada nilai  $x = 0.05$  yang identik redaman gelombang menyerupai pada  $x=0$ .

Dalam teorinya, bahan penyerap radar dapat dipisahkan secara luas dalam dua kategori, peredam resonansi dan peredam *broadband*. Pada kenyataannya, kombinasi broadband dan efek resonansi berkontribusi terhadap pengurangan total pada sinyal kembali dari suatu bahan. Pengetahuan tentang nilai permitivitas dan permeabilitas pada rentang frekuensi yang luas merupakan input penting perhitungan desain ini. Sebuah survei singkat tentang kelas umum yang menyerap radar yang tersedia secara komersial bahan dibuat, dengan sejumlah referensi ke bahan

tertentu<sup>16</sup>. Bahan  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$  tergolong pada bahan yang memiliki sifat broadband yang artinya adalah bahan  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$  memiliki bahan yang mampu menyerap gelombang radar pada rentang frekuensi X-Band yakni diantara 8-12 GHz. Optimalisasi lapisan untuk beberapa desain alat militer dapat dikembangkan untuk melawan frekuensi radar tangkas dari lawan.

Pengembangan bahan-bahan magnetis-listrik potensi terbaik untuk penyerapan broadband tipis dengan cara.

### **Kesimpulan Rekomendasi dan Pembatasan**

Sintesis Bahan  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$  dengan metode mechanical milling menunjukkan fase pada uji karakterisasi XRD terbentuk fase tinggal pada variasi  $x= 0; 0,01$  dan  $0,02$ . Hasil pengamatan SEM menunjukkan bahan terbentuk seluruhnya homogen dengan ukuran 200-700 nm. Hasil data VSM menunjukkan bahan terbentuk semiparamagnetik komposisi maksimal pada  $x= 0,02$ . Substitusi cerium telah berhasil didapatkan nilai *reflection loss*

pada bahan magnet absorber memiliki nilai serapan 80% dengan nilai tertinggi di  $CoTi_{0,98}Ce_{0,02}O_3$ .

Bahan yang digunakan untuk pengembangan material penyerap gelombang radar diharapkan memiliki tingkat homogenitas yang tinggi dan ukuran yang sekecil mungkin serta memiliki sifat magnet yang berkualitas baik. Penyesuaian dengan hal tersebut maka lebih meningkatkan durasi milling agar memperoleh ukuran yang lebih nano, serta memberikan efek pada nilai magnetik dan koersivitas bahan. Sebagai mana bahan  $CoTi_{1-x}Ce_xO_3$  merupakan bahan bakal adsorber material yang dapat meresap gelombang radar dari variasi frekuensi, sehingga membutuhkan penelitian lanjutan dengan memiliki nilai *reflection loss* menjadi lebih optimal.

### **Daftar Pustaka**

#### **BUKU**

- Gaylor, Kevin. 1989. *Radar Absorbing Material-Mechanic and Materials*. Australia: DSTO.
- Kemenristekdikti. 2017. *Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017-2045*. Jakarta: Kemenristek-RI. (diakses

---

<sup>16</sup>Gaylor, Kevin, *Radar Absorbing Material-Mechanic and Materials*, (Australia, DSTO, 1989) Hlm. 22.

pada <http://risn.ristekdikti.go.id/tanggal> 30 Desember 2018)

Kementerian Pertahanan. 2015. *Buku Putih Pertahanan Negara*. Jakarta: Kemhan. Mouritz, Andrian P. 2012. *Introduction to Aerospace Materials*. New Delhi: Woodhead Publishing India Private Limited.

Volker, Z. 2013. *Rare Earth Elements A New Approach to the Nexus of Supply, Demand and Use: Exemplified along the Use of Neodymium in Permanent Magnets*. Berlin: Springer.

### TESIS

Adi, W. A. 2010. "Analisis Struktur dan Sifat Magnetik Paduan Sistem  $(\text{Ba,Sr})_{0.6}(\text{Fe}_{2(1-x)}(\text{MnTi})_x\text{O}_3$  ( $x=0; 0,25;0,5$ )". Tesis: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

### JURNAL

Armandha, S.T., Arwin D.W.S., & Haryo Budi Rahmadi. 2018. "Ekonomi Politik Kerja Sama Korea Selatan – Indonesia dalam Joint Developmnt", Di akses pada [e-journal.unair.ac.id](http://journal.unair.ac.id), License: [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) Hlm 80

Enhassari, N., A. Parvis., K. Ozaee & E. Karamali. 2010. "Magnetik Properties and Heat Capacity of  $\text{CoTiO}_3$  Nanopowders Prepared by Stearic Acid Gel Method". *Journal of Experimental Nanoscience*. Vol. 5 No. 1. hlm. 67

Folgueras, Luiza De Castro & Mirabel Cerqueira Rezende. 2008. "Multilayer Radar Absorbing Material Processing by Using Polymeric Nonwoven and Conducting Polymer". *Materials*

*Research*. Vol. 11. No. 3. hlm 245-249.

Nasution, E.L, & Astuti. 2012. "Sintesis Nanokomposit PAni/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sebagai Penyerap Magnetik pada Gelombang Mikro". *Universitas Andalas, Jurnal Fisika* 0,5". Tesis: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

Bhakti, I. N. (2011). Kleptokrasi dan Korupsi Berjamaah. Retrieved from <http://lipi.go.id/berita/kleptokrasi-dan-korupsi-berjamaah/6021>

Indrawan, R. M., & Widiyanto, B. (2016). Offset Policy in Building State Defense Independence. *Jurnal Pertahanan*, 6(2), 29–50.

Moleong, L. J. (2007). *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Jakarta: PT Remaja Rosdakarya.

Tickner, J. A. (1995). "Re-visioning Security", in Ken Booth and Steve Smith. In *International Relations Theory Today*. Oxford.

P.N. Lisboa-Filho, A. Zennatti, G.M. Casali, and C.A. 2002. "Paskocimas Magnetic behavior at low temperatures of Ti Oxide polycrystalline samples", *J. Sol-Gel Sci. Technol*. Vol 24. Hlm. 241–245.

S. Kumar, S. Supriya, L.K. Pradhan, & Manoranjan Kar . 2017. "Effect of microstructure on electrical properties of Li and Cr substituted nickel oxide". *J. Mater. Sci. Mater. Electron*. Vol.28

Suwadi., Fery Gustomo & Titiek Suryani. 2013. "Analisa Penggunaan Sinyal Radar Bentuk Pulsa dan Gelombang Kontinyu untuk Target Bergerak dengan Model Clutter Terdistribusi Rayleigh", *Journal ITS*

## MAJALAH ONLINE

Kina Karya Indonesia. 2012. *Tonggak Bangkitnya Industri Pertahanan Lokal*. Jakarta: Pusat Komunikasi Publik Kemenperin. Hal.5