

FASA BARIUM HEXAFERRITE SEBAGAI COATING ANTI-RADAR PADA ALUTSISTA

BARIUM HEXAFERRITE PHASE AS ANTI-RADAR COATING FOR MILITARY VEHICLE AND WEAPONRY

Maulana Randa
Puslitbang Ipetkhan Balitbang Kemhan
Jl. Jati No.1, Pondok Labu, Jakarta
maulana.randa@kemhan.go.id

ABSTRAK

Pengetahuan teknologi coating anti radar merupakan hal yang harus dimiliki oleh komponen pertahanan negara. Hal ini dikarenakan oleh semakin berkembang pesatnya teknologi radar saat ini, dimana dengan adanya radar maka kedudukan dari alutsista dapat diketahui dari jarak yang jauh. Oleh karena itu, untuk mendukung pertahanan negara, terutama misi-misi pengintaian, dibutuhkan suatu usaha untuk dapat menyamarkan alutsista sehingga tidak terdeteksi oleh radar musuh. Salah satu usaha yang bisa dilakukan adalah dengan menggunakan coating *Radar Absorbing Material* (RAM) pada badan ranpur. Dalam penelitian ini dilakukan rekayasa nanostruktur material ferrite menggunakan paduan fasa ferrite $BaFe(MnCo)_{1,5}Ti_{1,5}O_{19}$ untuk mereduksi gelombang radar. Pengujian material tersebut dilakukan dengan dua metoda, yaitu metoda ruang terbuka dan menggunakan bumbung gelombang. Pengujian dilakukan untuk mengetahui parameter-S material, serta reflektivitas yang dimilikinya. Dari hasil pengujian diketahui bahwa untuk gelombang pada rentang frekuensi X-band (8 - 12 GHz) material yang dibuat memiliki redaman hingga -16 dB, sedangkan untuk material yang dicampur dengan elastomer redamannya menurun menjadi -5,3dB.

Kata kunci: Radar Cross Section, Coating, permitivitas material, Radar Absorbing Material.

ABSTRACT

Knowledge in anti-radar coating technology is something that have to be mastered by Indonesian military. That's because with the fast growing of radar technology, the position of military vehicle and weaponry can be known from the distance. Because of that, to support the national defence, especially in surveillance missions, it is required a technology to camouflage military vehicle and weponary so that it cannot be detected by enemy's radar. One of the technology to camouflage military vehicle and weaponry is by coating them using Radar Absorbing Material (RAM). In this paper nanostructure engineering of ferrite material has been done using ferrite phase alloy of $BaFe(MnCo)_{1,5}Ti_{1,5}O_{19}$ to reduce radar electromagnetic wave. The material was tested using two method, free-space measurement and waveguide measurement. The measurement was done to know the S-parameter of the material and its reflectivity. From the test, it is known that for X-Band frequency range, the material in powder shape has an absorbtion of -16dB, and when the material was mixed with elastomer the absorbtion is dropped to -5,3dB.

Keywords: Radar Cross Section, Coating, Material Permitivity, Radar Absorbing Material.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi radar secara umum di dunia semakin pesat. Hal ini mengharuskan Indonesia juga memiliki teknologi yang sama, khususnya dengan negara-negara tetangga sehingga dapat menjaga kedaulatan negara, terutama di daerah perbatasan. Radar di wilayah perbatasan berguna untuk menjaga wilayah negara agar tidak disusupi oleh pihak asing dengan berbagai macam tujuan, seperti penyelundupan warga asing dan pencurian sumber daya laut, dan pengintaian lewat udara. Pesawat dan kapal asing tersebut dilengkapi juga dilengkapi radar sehingga jika ada pesawat atau kapal Indonesia yang mendekat, maka kapal atau pesawat tersebut akan segera mengetahuinya, dan kemudian mlarikan diri.

Dari permasalahan tersebut, muncul gagasan untuk melakukan penelitian tentang cara menghindari pantauan radar. Secara umum ada dua cara yang dapat digunakan untuk menghindari pantauan radar, yang pertama adalah dengan membentuk badan ranpur sedemikian rupa sehingga sinyal radar yang sampai pada ranpur diteruskan, atau tidak kembali ke *receiver* radar musuh. Yang kedua adalah dengan melapisi ranpur dengan material yang dapat menyerap sinyal radar sehingga ranpur tersebut tidak terdeteksi radar musuh. Dalam penelitian ini dilakukan rekayasa nanostruktur material ferrite menggunakan paduan fasa ferrite $\text{BaFe}(\text{MnCo})_{1,5}\text{Ti}_{1,5}\text{O}_{19}$ untuk mereduksi gelombang radar. Metoda yang digunakan untuk sintesis material adalah sintesis sol-gel dan dicampurkan dengan bahan elastomer yang diperoleh di pasaran. Material tersebut kemudian diuji dengan metoda *free-space* untuk mengukur nilai permitivitas dan permeabilitas dari material tersebut, serta nilai S_{11} dan S_{21} .

Hasil yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah material penyerap sinyal radar yang dapat bekerja pada rentang frekuensi X-Band dan memiliki ketahanan terhadap perubahan cuaca, zat kimia, perubahan temperatur, dan kelembapan yang ekstrim.

SINTESA MATERIAL

Tahap awal sintesis dilakukan dengan mencampurkan serbuk Fe_2O_3 , MnCO_3 , Co_3O_4 , dan TiO_2 secara mekanikal dan kemudian

dipadatkan. Tahap ini menghasilkan senyawa oksida $(\text{FeMnCoTi})_2\text{O}_3$. Tahap selanjutnya mencampurkan serbuk yang dihasilkan pada tahap awal dengan serbuk BaCO_3 , dan kemudian dipadatkan.

Proses sol-gel dilakukan dengan mencampurkan *Ferrite Nitrate Nanohydrate* $(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O})$, *Barium Nitrate* $(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2)$, *Manganese (II) Nitrate Manganese (II) Tetrahydrate* $(\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$, dan *Titanium Nitrate* $(\text{Ti}(\text{NO}_3)_4)$. Material tersebut dicampurkan dengan *Asam Sitrat Monohidrat* $(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O})$. Pencampuran tersebut kemudian dikompres sehingga menjadi pellet berdiameter 2.54 cm. Pellet tersebut kemudian dibakar untuk mendapatkan material $\text{BaFe}_{12-2x}(\text{MnCo})_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$.

METODA PENELITIAN

Material yang dihasilkan diuji dengan metoda *free-space*. Metoda pengujian ini mensimulasikan *material test* dalam lingkungan yang sebenarnya, metoda ini memang memiliki kelebihan-kelebihan yang menjadi dasar pengujian *Radar Cross Section* (RCS). Metoda ini langsung diberikan sinyal radio frekuensi, namun demikian sangat dibutuhkan sebuah *anechoic chamber*.

Perangkat yang di butuhkan antara lain

1. *Vector Network Analyzer*
2. *Test cable* dan *Adapter*.
3. *Automatic calibration Kit* (atau *manual OSTL*)
4. 2 unit *Horn antenna X-Band*
5. *Anechoic Test Chamber*
6. *PC Controller* dan *RAM Processing Software*

Pada penelitian ini digunakan dua buah metoda masing-masing untuk pengukuran penyerapan material sudah dalam bentuk cat yang menempel pada lempengan metal dan material dalam bentuk serbuk yang sudah terkemas. Untuk karakterisasi elektromagnetik cat, pengukuran refleksi/ penyerapan dalam rentang frekuensi 8-12 GHz dilakukan menggunakan metoda *arch/lengkungan Naval Research Laboratory* (NRL). Lengkungan NRL terdiri dari struktur kayu berbentuk lengkungan setengah lingkaran. Bentukan ini memungkinkan posisi yang tepat untuk memancarkan dan menerima gelombang ke arah sampel yang diuji. Sampel ditempatkan di

pusat kelengkungan. Pertama, antena diposisikan pada posisi tertinggi dilengkungan, dan kemudian setiap antena digerakkan 10° untuk setiap sisi posisi ini. Antena selalu menunjuk ke pusat sampel. Sebuah plat aluminium datar digunakan sebagai acuan untuk refleksi/penyerapan pengukuran. Reflektifitas dan absorbtivitas dianggap 100% dan 0%. Keuntungan utama dari metoda NRL dibandingkan dengan metoda yang lain seperti metoda *Waveguide* adalah memungkinkan untuk melakukan pengukuran sampel yang relatif besar dalam kondisi ruang bebas.

Sedangkan untuk metodologi kedua yaitu teknik saluran transmisi menggunakan *waveguide* dilakukan untuk mengukur permitivitas listrik kompleks dan permeabilitas magnetik dari *coating* pada rentang frekuensi 8–12 GHz (X-band). Sebuah *Waveguide* tertutup digabungkan ke *vector network analyzer* yang beroperasi pada rentang frekuensi 300 kHz – 20 GHz. Kemudian dilakukan pengukuran S-parameter material, koefisien transmisi, dan refleksi.

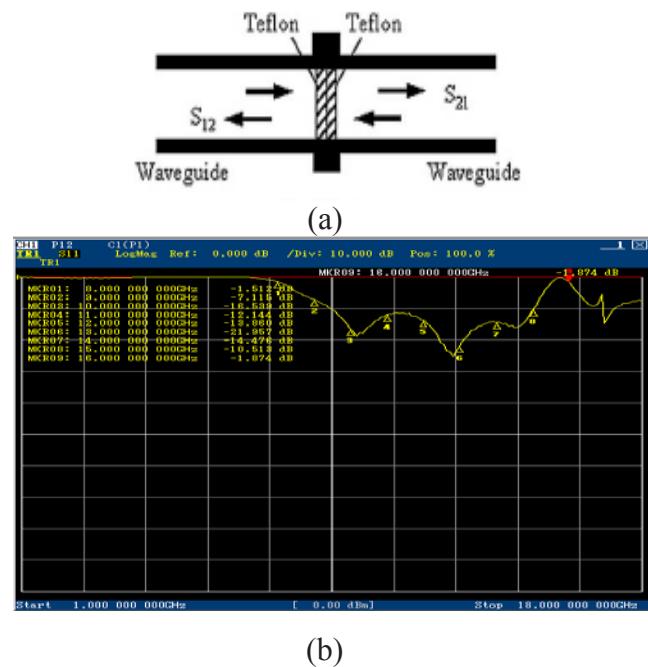
HASIL DAN ANALISIS

Pada pengukuran menggunakan *waveguide* dilakukan pengukuran *Thru the line* dengan diagram sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1 (a).

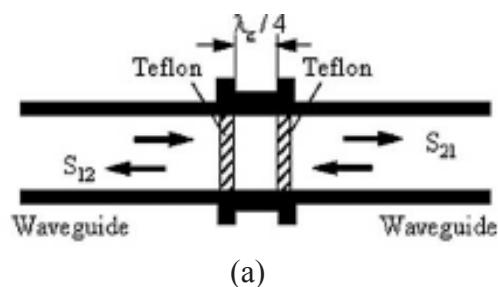
Model yang dikembangkan dalam gambar 1 (a) adalah bentuk kalibrasi *thru* yang menggambarkan semua radiasi dari *wave guide port* 1 dan *port* 2 dibataskan pada keadaan tanpa sampel atau menggunakan sampel standard Teflon untuk mengurangi tingginya faktor transmisi pada *receiver*. Pada keadaan ini dapat diketahui daerah operasi dari *waveguide X-band*. Hasil pengukuran pada gambar 1 (b) menunjukkan bahwa dari 8 GHz sampai dengan 15 GHz meskipun dapat dilihat kondisi pengukuran optimum dilakukan pada kisaran frekuensi 8.4 GHz sampai dengan 14.5 GHz. Besarnya intensitas maksimum yang dapat dideteksi oleh perangkat *waveguide* hanya sekitar 21 dB. Hal ini menandakan bahwa perangkat uji *network analyzer* memiliki kemampuan untuk menangkap faktor refleksi maksimum pada nilai tersebut.

Sedangkan apabila Teflon dipisahkan pada nilai $\frac{1}{4}\lambda$ dipe roleh hasil seperti ditunjukkan pada gambar 2. Meskipun keadaan pengukuran

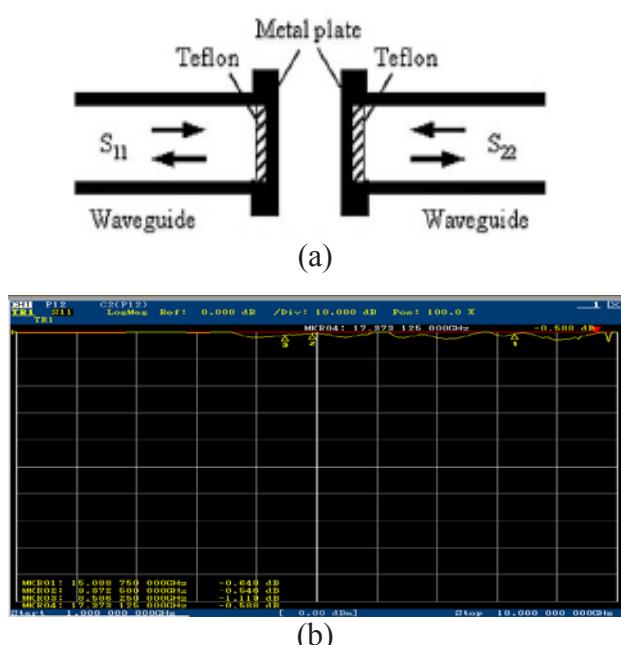
dibuat hal yang sedikit berubah dengan memisahkan jarak kedua Teflon tetapi menghasilkan pola refleksi yang menandakan daerah kerja *waveguide* yang sama tetapi terdapat perbedaan pola refleksi S_{11} .



Gambar 1. Spektrum dari *wave guide* untuk menentukan frekuensi *cut-off* dari *Waveguide X-Band* pada posisi *open* (terbuka)



Gambar 2. Spektrum dari *wave guide* untuk menentukan frekuensi *cut-off* dari *Waveguide X Band* pada posisi terbuka dengan jarak $\frac{1}{4}\lambda$



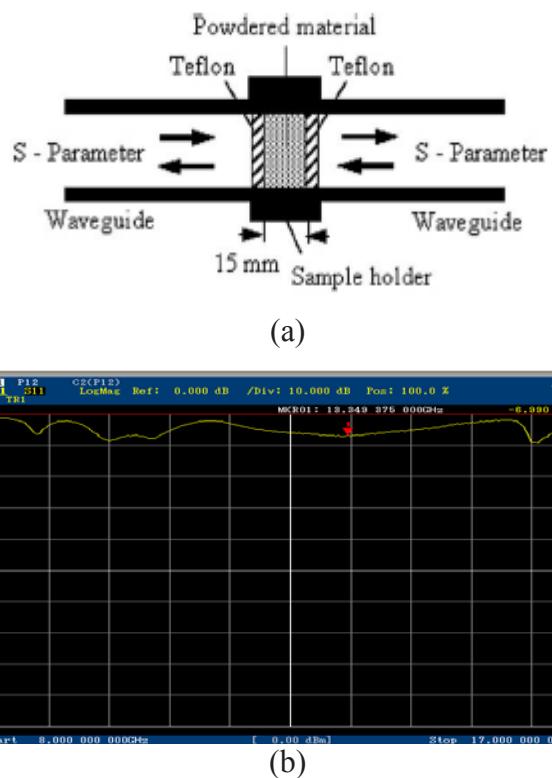
Gambar 3. Spekturm refleksi S₁₁ dari Waveguide X-Band pada posisi short (tertutup) menggunakan PEC alluminium

Pada pengukuran reflektivitas dengan plat aluminium sebagai PEC dengan diagram yang ditunjukkan pada gambar 3 menandakan bahwa semua radiasi dari sumber radar terpantulkan secara sempurna dan sangat kecil radiasi radar diserap dan ditransmisikan oleh plat disebabkan oleh sifat dari PEC. Pada gambar tersebut menunjukkan parameter transmisi S₁₁ dan S₂₂ yang menggambarkan besarnya reflektansi dari sumber pada port 1 dan sumber pada port2 dari perangkat *network analyzer*. Apabila port 1 dan port 2 dari perangkat VNA memiliki intensitas radiasi pada plat yang sama maka dapat dipastikan bahwa kuantitas S₁₁ dan S₂₂ sama dan sebanding pula.

Hasil pengukuran parameter refleksi menggunakan waveguide X-band ditunjukkan pada gambar 3 (b). Besarnya intensitas refleksi menggunakan plat aluminium berada pada kisaran -0.546 dB sampai -0.119 dB yang menunjukkan bahwa PEC mampu memantulkan kembali gelombang radar yang ditransmisikan pada sudut 180°. Hal ini memiliki arti bahwa jumlah transmisi dan absorpsi Aluminium sebagai PEC sangat efektif sebagai pemantul gelombang radar pada frekuensi 8 GHz sampai dengan 14 GHz sesuai dengan cutoff dari waveguide nya.

Selanjutnya dilakukan pengukuran S-Parameter pada Sampel berbentuk serbuk. Metoda yang digunakan adalah dengan

menggunakan *waveguide* dimana serbuk diletakkan didalam *waveguide* dan ditahan menggunakan material *teflon* sebagaimana pada gambar 4 (a) berikut



Gambar 4. Spekturm refleksi S₁₁ dari Waveguide X-Band pada powder material menggunakan jenis ferrite dipadu dengan 10% polimer.

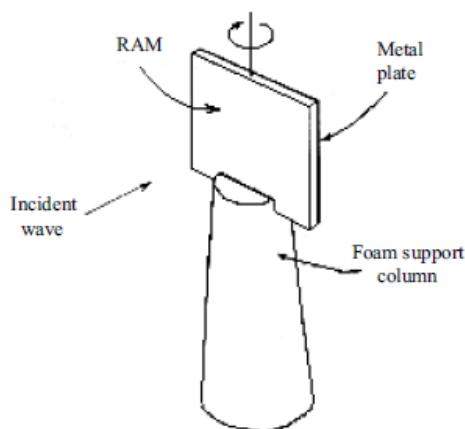
Pada gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran parameter refleksi S₁₁ pada material paduan ferrite dan polimer menggunakan *waveguide* yang beroperasi pada X-Band. Pada gambar terlihat bahwa refleksi terendah terdapat pada frekuensi 13,34 GHz, yang artinya bahwa material tersebut sangat buruk untuk memantulkan gelombang elektromagnetik pada frekuensi tersebut. Adapun pada frekuensi lainnya pada rentang X-Band, koefisien refleksi yang dimiliki oleh material tersebut juga cukup rendah. Dengan kata lain material tersebut dapat menjadi *material coating* anti radar yang baik untuk rentang frekuensi X-Band.

HASIL PENGUKURAN RCS

Gambar 5 menunjukkan skema pengukuran *Radar Cross Section* dengan menggunakan perangkat *vector network analyzer*. Material yang diuji merupakan material *body ranpur* yang telah dilapisi oleh *coating*. Material tersebut memiliki ketebalan 1.5 mm, dengan

ukuran dimensi $0,5 \times 0,5$ meter. Jarak sampel dengan antena pemancar adalah 1.5 meter, dengan sudut 0° terhadap sumber radiasi. Pengukuran dilakukan pada frekuensi 0 – 18 GHz untuk melihat redaman yang dihasilkan oleh material tersebut.

Gambar 6 menunjukkan hasil pengukuran yang dilakukan. Dari hasil pengukuran diketahui bahwa sembilan koefisien refleksi terendah terdapat pada frekuensi-frekuensi sebagaimana tabel 1.



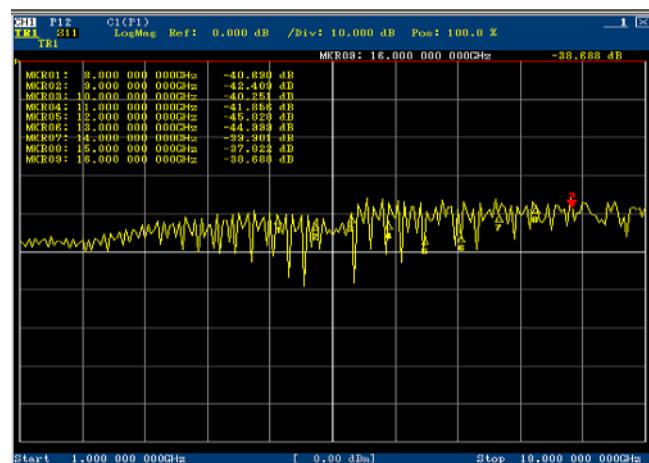
Gambar 5. Skema pengukuran RCS

Tabel 1. Hasil pengukuran koefisien redaman

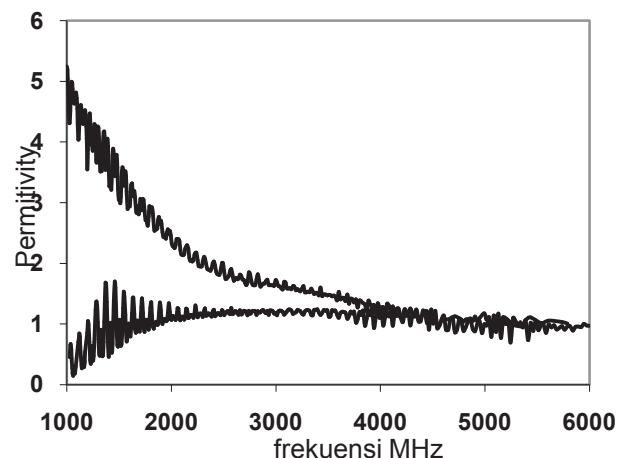
Frekuensi (GHz)	Log Magnitudo (dB)
8	-40.690
9	-42.4
10	-40.251
11	-41.858
12	-45.828
13	-44.992
14	-39.901
15	-37.822
16	-38.888

Hasil simulasi perhitungan besarnya permitivitas ditunjukkan dalam gambar 7 – gambar 8, sedangkan hasil simulasi permeabilitas digambarkan pada gambar 9 – gambar 10. Keseluruhan gambar memperlihatkan bahwa pada frekuensi semakin tinggi terjadi peningkatan nilai permitivitas imaginernya. Hal ini menandakan bahwa semakin besar frekuensi akan berakibat *loss tangen* yang semakin besar. Pada sampel standard tidak terjadi serapan gelombang dalam bentuk resonansi dipole listrik sedangkan pada material tersubstitusi terjadi serapan pada

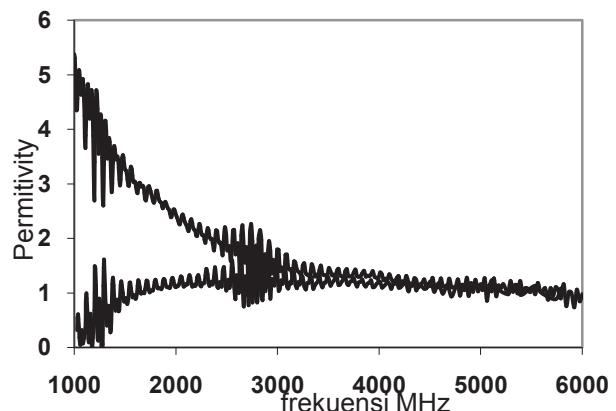
daerah frekuensi ~ 2700 MHz sampai dengan ~ 3000 MHz.



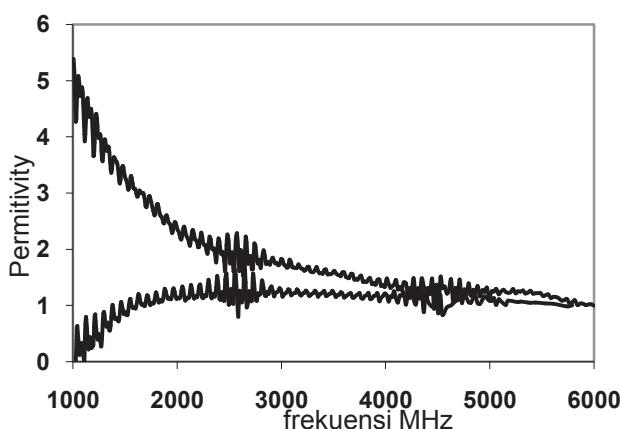
Gambar 6. Hasil pengukuran RCS pada beberapa sumber frekuensi radiasi dari 1 GHz hingga 18 GHz pada plat absorber dengan ketebalan 1.5 mm pada jarak 1.5 m dari sumber radiasi dengan sudut 0°



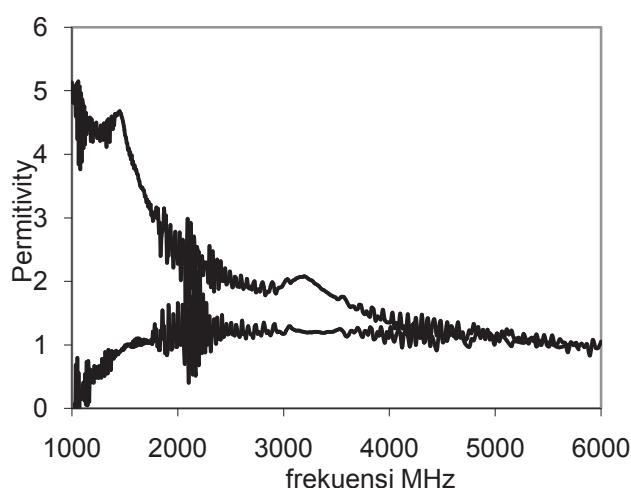
Gambar 7. Hasil simulasi nilai *permittivity ferrite* tanpa substitusi pada frekuensi 1 GHz sampai dengan 6 GHz



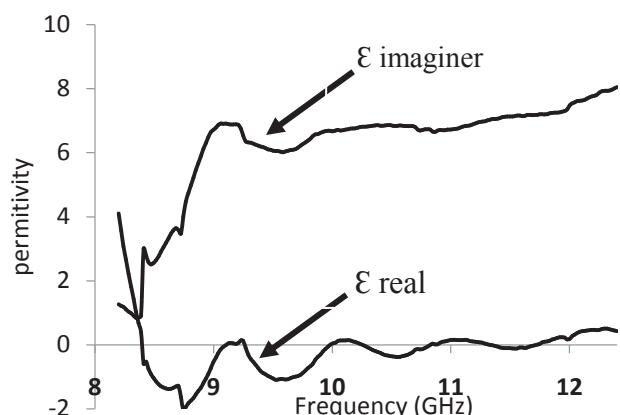
Gambar 8. Hasil simulasi nilai *permittivity ferrite* dengan substitusi pada frekuensi 1 GHz sampai dengan 6 GHz



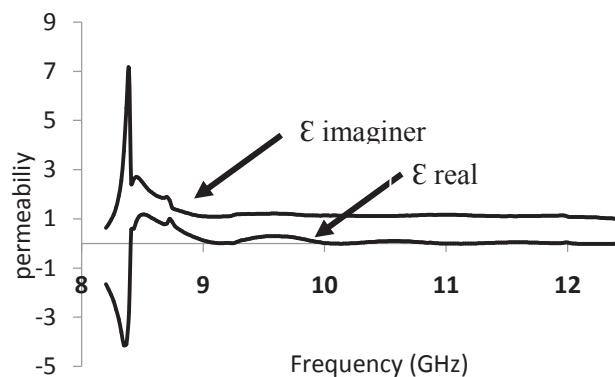
Gambar 9. Hasil simulasi nilai permeability ferrite tanpa substitusi pada frekuensi 1 GHz sampai dengan 6 GHz



Gambar 10. Hasil simulasi nilai permeability ferrite dengan substitusi pada frekuensi 1 GHz sampai dengan 6 GHz

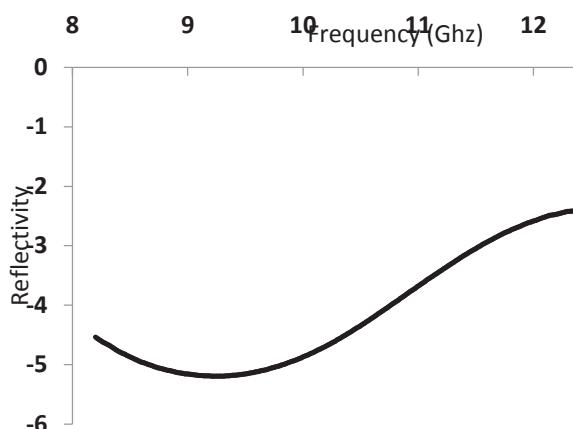


Gambar 11. Hasil simulasi nilai permitivitas ferrite dengan substitusi pada frekuensi 8 GHz sampai dengan 12 GHz



Gambar 12. Hasil simulasi nilai permeabilitas ferrite dengan substitusi pada frekuensi 8 GHz sampai dengan 12 GHz

Dari hasil pengukuran nilai permitivitas dan permeabilitas untuk frekuensi 8 Ghz sampai dengan 12 Ghz (X- band) menunjukkan bahwa pada daerah tertentu antara 8 Ghz sampai dengan 9 GHz serta daerah 9,5 Ghz berharga negatif. Hal ini menunjukkan bahwa material berperilaku seperti metamaterial yang mampu meresonansikan gelombang elektromagnet yang mengenai material tersebut sedemikian sehingga energi dari gelombang elektromagnet akan digunakan untuk memutar polarisasi elektrik dan *spin* magnetik.



Gambar 13. Hasil pengukuran reflektivitas absorber pada BaF dengan *coating elastomic paint* pada plat dengan ukuran 25 cm x 25 cm pada frekuensi 8 GHz sampai dengan 12 GHz

Dua masalah yang perlu diperhatikan dalam pengukuran *free space* termasuk *Radar cross section* adalah nilai *reflectivity absorbers* dan *insertion loss absorbers*. *Reflectivity absorbers* merupakan ukuran dari level reduksi dari material dibandingkan dengan nilai refleksi dari konduktor murni yang mampu merefleksikan radiasi secara penuh seperti metal aluminium, sedangkan *Insertion loss* menggambarkan

reduksi sinyal gelombang yang mengenai *absorber*. Material yang memiliki nilai reflektivitas yang tinggi (negatif) memiliki potensi yang cukup besar untuk mereduksi *Radar Cross Section* (RCS) dari satu identifikasi target benda. Artinya material yang mampu mereduksi level refleksi sangat berpotensi untuk menurunkan *Radar Cross Section*.

Hasil pengujian reflektivitas *absorber* pada BaF dengan *coating elastomeric paint* pada plat dengan ukuran 25 cm x 25 cm pada frekuensi 8 GHz sampai dengan 12 GHz menunjukkan terjadi penurunan reflektivitas hingga ~ 5 dB yang memiliki arti bahwa material *absorber* tersebut dapat mereduksi hingga lebih dari 25 % terhadap obyek.

KESIMPULAN

Telah berhasil dilakukan pengukuran parameter S_{11} , S_{22} , S_{12} , dan S_{21} terhadap *Radar Absorbing Material* menggunakan *waveguide*, di mana digunakan plat aluminium sebagai PEC yang dilapisi menggunakan material *ferrite*. Diketahui bahwa parameter transmisi S_{11} dan S_{22} memiliki intensitas radiasi yang sama. Maka dapat dipastikan bahwa kuantitas S_{11} dan S_{22} sama dan sebanding pula. Besarnya intensitas refleksi menggunakan plat aluminium berada pada kisaran -0.546 dB sampai -0.119 dB. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah transmisi dan absorbsi aluminium sebagai PEC sangat efektif sebagai pemantul gelombang radar pada frekuensi 8 GHz sampai dengan 14 GHz sesuai dengan *cut-off* dari *waveguidenya*.

Hasil uji reflektivitas untuk plat *absorber* dengan komposisi 25% polimer elastomik bahwa pantulan terendah pada kisaran frekuensi ~9 Ghz dengan nilai -5,3 dB. Pada pengukuran sebelumnya hasil simulasi pada *absorber* tanpa adanya polimer terjadi *reflection loss* hingga -16 dB atau terjadi kenaikan reflektivitas hingga 10,7 dB.

Penelitian yang dilakukan saat ini masih terbatas pada pengukuran medan dekat. Hal ini dikarenakan belum tersedianya fasilitas yang dibutuhkan untuk melakukan pengukuran medan jauh. Untuk lebih dapat memperdalam pengetahuan mengenai pengukuran RCS, maka dibutuhkan pengukuran medan jauh yang bisa dilakukan di ruang *anechoic*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Braun, P.B., 1962, Phillips Res. Rep 12 491-548, *The Crystals Structure of New Group of Ferrimagnetic Compounds*.
2. Doo W.K, Yeo H.G., (2005). *Preparation and Properties of Polyorganosiloxane rubber Nanocomposite containing Ultra fine manganese Zinc Ferrite Powder*, Journal of Ind. Eng. Chem. Vol. 11 No. 4, 567-572
3. Priyono, A. Manaf, "Substitusi Mn dan Ti Pada Struktur Fasa Fe_2O_3 Melalui Teknik Mechanical Alloying", Proc. Kentingan physiscs forum 4th, pp 25-30
4. Priyono, A. Manaf , "Kontribusi ion Mn dan Ti dalam pembentukan fasa $Ba(MnTi)_xFe_{12-2x}O_{19}$: Tinjauan pada struktur dan metallografi" Proc. SP MIPA 2006.
5. Sivakumar, A. Gedanken, W. Zhong, Y.W. Du, D. Bhattacharya, Y. Yeshurun, I. Felner, "Nanophase formation of Strontium hexaferrite fine powder by The Sonochemical method using $Fe(Co)_5$ ", 2004, Journal of magnetism and magnetic materials Sudakar, G.N. Subbanna, T R N. Kutty, , J. Magn. Materials, 263 (2003) 253-268