

DESAIN DAN SIMULASI METAMATERIAL ABSORBER UNTUK APLIKASI RADAR CROSS SECTION REDUCTION

Heri Agus Susanto

Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya
Jl. Raya ITS, Keputih, Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur 60111, INDONESIA
E-mail : heriagus273@gmail.com

ABSTRAK

Adanya suatu permasalahan kendaraan militer pada kapal maritim yang mengalami pendeteksian dan penyerangan dari pesawat tempur karena kapal tersebut terdeteksi oleh adanya radar dari pesawat tempur. Hal ini disebabkan oleh adanya suatu refleksi gelombang elektromagnetik yang mengenai konduktor kapal ketika melakukan tracking radar oleh pesawat. Untuk mengatasi masalah tersebut dapat dilakukan dengan cara mengelabui pendeteksian oleh radar pesawat tempur agar tidak dapat melakukan penyerangan ke kapal yaitu menggunakan Radar Absorbing Material (RAM) berupa metamaterial absorber yang diimplementasikan dengan cara melapisi bagian dari body kapal tersebut dengan metamaterial absorber

Metamaterial absorber didesain menggunakan perancangan optimum berdasarkan spesifikasi yang telah ditetapkan dan dilakukan simulasi antena dengan menggunakan software CST Microwave Studio 2012. Hasil simulasi metamaterial absorber menunjukkan bahwa metamaterial absorber menghasilkan tiga band (triple band) dari peak S_{11} , dimana band 1 mempunyai nilai S_{11} -parameter -15.547 dB pada frekuensi 8.336 GHz, sehingga menghasilkan nilai absorption rate sebesar 99.92 %. Pada band 2 frekuensi 11.008 GHz mempunyai nilai S_{11} sebesar -13.278 dB, oleh karena itu menghasilkan nilai absorption rate sebesar 99.78 % dan band 3 dalam frekuensi GHz menghasilkan nilai S_{11} -parameter -8.58 dB pada frekuensi 11.664 GHz, sehingga menghasilkan nilai absorption rate sebesar 98.07 %. Dari hasil simulasi tersebut dapat dikatakan pada tiga band (triple band) dari peak frekuensi mempunyai performansi absorpsi yang baik karena nilai absorption rate lebih besar dari 80 %.

Kata-kata kunci: Metamaterial Absorber; Radar Absorbing Materials (RAM); triple band

1. PENDAHULUAN

Adanya suatu permasalahan kendaraan militer pada kapal maritim yang mengalami pendeteksian dan penyerangan dari pesawat tempur karena kapal tersebut terdeteksi oleh adanya radar dari pesawat tempur. Hal ini disebabkan oleh adanya suatu refleksi gelombang elektromagnetik yang mengenai konduktor kapal ketika melakukan tracking radar oleh pesawat [1]. Untuk mengatasi masalah tersebut dapat dilakukan dengan cara mengelabui pendeteksian oleh radar pesawat tempur agar tidak dapat melakukan penyerangan ke kapal yaitu menggunakan

Radar Absorbing Material (RAM) berupa metamaterial absorber yang diimplementasikan dengan cara melapisi bagian dari body kapal tersebut dengan metamaterial absorber [2].

Metamaterial absorber tersebut merupakan suatu konstruksi buatan oleh atom yang tersusun dari lapisan multilayer, yang mana top layer merupakan resonator metalik terpisah dari metalik bawah ground plane oleh dielektrik interlayer [3]. Pada penelitian ini metamaterial absorber menggunakan triple band dengan range frekuensi yang digunakan antara 8 GHz hingga 12 GHz. Hal ini berdasarkan range frekuensi band radar

yang digunakan dalam pengawasan dan navigasi kapal maupun pesawat terbang [6], dimana tujuannya untuk meminimalkan pendeteksian kapal dari radar pesawat. Oleh karena itu, metamaterial absorber dapat diimplementasikan pada body kapal sebagai peredam kapal agar tidak terdeteksi lokasinya ketika pesawat melakukan tracking radar, sehingga kapal terlindungi dari penyerangan oleh suatu pesawat.

2. DASAR TEORI

Metamaterial merupakan material struktural buatan yang terdiri dari metal dan dielektrik yang diatur sedemikian periodik. Dimana, diperlihatkan property yang disesuaikan seperti permitivitas dan permeabilitas. Metamaterial telah ditemukan banyak aplikasinya seperti invisibility cloak, sub-wavelength imaging, perfect lens, dan perfect absorber [8].

Kebanyakan metamaterial perfect absorber unit cell juga dipanggil sebagai tiga struktur layer, yang mana terdiri dari dua layer metal, satu layer ground plane dan bermacam-macam bentuk dari Elektrik Ring Resonator (ERR) yang terpisah dari dielektrik layer. ERR pada bagian atas dielektrik layer berpasangan dengan kuat untuk medan listrik yang seragam dari gelombang datang, tetapi lemah pada medan magnet, yang mana penyediaan frekuensi tergantung pada respon elektrik $\epsilon(\omega)$. Medan magnet dari gelombang datang akan menembus ruang diantara ERR dan bagian belakang metal ground plane, utamanya frekuensi yang tergantung pada respon magnetik $\mu(\omega)$. Salah satu dapat menyesuaikan efektif dari $\epsilon(\omega)$ dan $\mu(\omega)$ melalui penyesuaian dimensi dari ERR, bagian belakang ground plane dan ruang gap diantara keduanya. Dengan demikian, realisasi dari matching impedansi terjadi sempurna diantara absorber dan free space serta meminimalkan refleksi yang berdekatan dengan nol. Secara simultan, divariasikan bagian imajiner dari permitivitas material untuk mencapai loss yang besar dan meminimalkan transmisi yang dekat dengan nol. Hasil absorpsi $A(\omega)$ dapat dihitung dengan persamaan 1 [2] :

$$A(\omega) = 1 - R(\omega) - T(\omega) \quad (1)$$

$$A(\omega) = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2$$

$$A(\omega) = 1 - |S_{11}|^2$$

Dimana :

$R(\omega)$ = koefisien refleksi

$T(\omega)$ = koefisien transmisi

$|S_{11}|$ = magnitudo dari S11

$|S_{21}|$ = magnitudo dari S21 (nilainya 0

karena tidak ada daya yang tembus)

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Perancangan Metamaterial Absorber

Desain dari metamaterial absorber ini disimulasikan pada software CST Microwave Studio 2012. Pada metamaterial absorber ini didesain dengan ukuran 8.1 mm x 8.1 mm x 0.8 mm, dimana digunakan pada frekuensi kerja X-band. Terdapat beberapa kriteria untuk memenuhi spesifikasi dari desain metamaterial absorber yaitu $S_{11} \leq -3.5$ dB and absorption rate ≥ 80 %. Bahan yang digunakan dalam metamaterial absorber menggunakan FR-4 dielektrik substrat (epoxy). Pada FR4 dielektrik substrat mempunyai epsilon $\epsilon_r = 4.6$ dan tangen loss $\tan \delta = 0.025$. Metamaterial Absorber menggunakan prinsip periodic boundary condition, dimana diatur the x-y plane. Untuk spesifikasi dari perancangan metamaterial absorber seperti ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Parameter Perancangan Absorber

Parameter	Spesifikasi
Jenis band	Triple Band
Range Frekuensi	X-Band (8-12 GHz)
S11-parameter	≤ -3.5 dB
S21-parameter	0 (linear)
Absorption rate	≥ 80 %

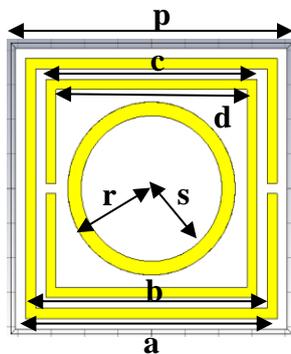
Sedangkan, untuk spesifikasi bahan PCB dalam simulasi seperti ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Spesifikasi PCB

Parameter	Spesifikasi
Permittivitas bahan (ϵ_r)	4.6
Tebal substrat	0.8 mm
Tebal konduktor (copper)	0.035 mm

Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa permittivitas bahan sebesar 4.6 dan tebal copper sebesar 0.035 mm. Hal ini dikarenakan pada perancangan metamaterial absorber ini menyesuaikan pada ketersediaan pada pasar fabrikasi, dimana hanya ada nilai tersebut. Sedangkan, untuk tebal substrat menyesuaikan dengan desain dan simulasi unit sel yaitu 0.8 mm, untuk tebal substrat yang ada dipasaran hanya terdapat dua jenis yaitu 0.8 mm dan 1.6 mm.

Untuk bentuk simulasi Metamaterial Absorber tampak depan pada software CST Studio 2012 seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Terdapat beberapa variasi bentuk dan dimensi yang disesuaikan pada teknik SRR (Split Ring Resonator).

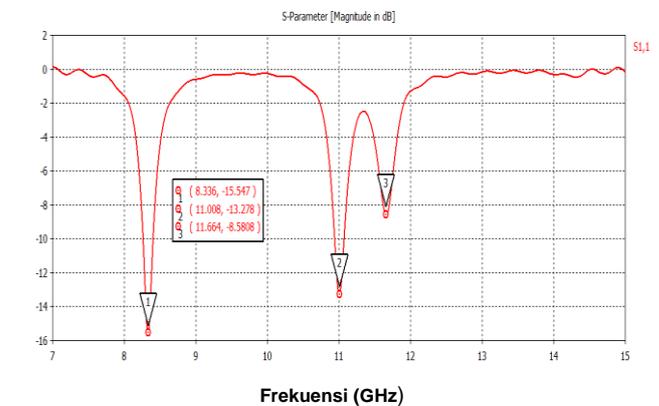


Gambar 1. Bentuk Simulasi Metamaterial Absorber Tampak Depan

3.2 Hasil Simulasi Metamaterial Absorber

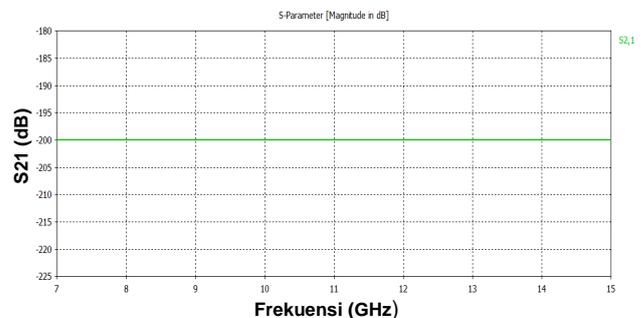
Dimensi dari masing-masing ukuran adalah $p = 8.1$ mm, $a = 7.5$ mm, $b = 6.9$ mm, $c = 6.3$ mm, $d = 5.7$ mm, $g = 0.3$ mm, $r = 2.75$ mm, dan $s = 2.45$ mm. Untuk bahan substrat yang digunakan adalah FR-4 dengan nilai $\epsilon_r = 4.6$, loss tangent = 0.025 dan tebal copper sebesar 0.8 mm.

Teknik simulasi metamaterial absorber dengan CST Studio 2012 ini menggunakan prinsip *periodic boundary condition*, dimana bagian atas dan bawah unit sel dengan bahan *perfect electric conductor* ($E_t=0$), tetapi pada bagian samping kiri dan kanan menyentuh bagian *perfect magnetic conductor* ($H_t=0$), sedangkan bagian depan dan belakang dengan posisi *open* karena sebagai arah datang gelombang dan pemasangan port. Hasil simulasi S_{11} pada unit sel 1 dengan CST Studio 2012 menggunakan *Time Domain Solver* (TDS) dengan rentang frekuensi antara 7 GHz hingga 15 GHz seperti ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.



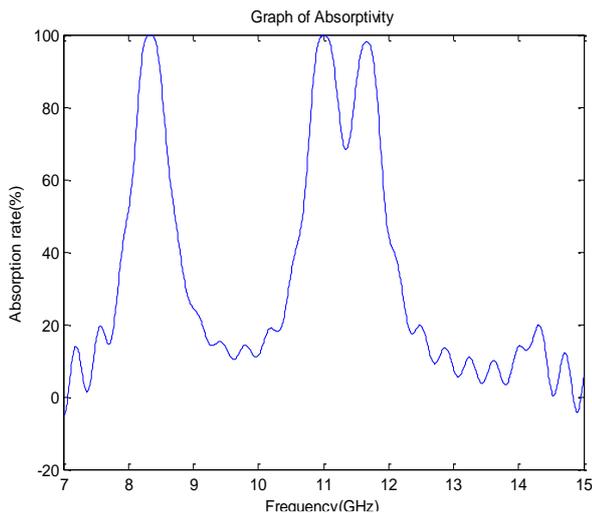
Gambar 2. Hasil S_{11} -parameter

Pada gambar 2 menunjukkan hasil simulasi S_{11} -parameter, dimana terdapat tiga peak S_{11} yang mempunyai nilai maksimum yaitu frekuensi 8.336 GHz, 11.008 GHz dan 11.664 GHz dengan nilai S_{11} masing-masing -15.547 dB, -13.278 dB dan -8.5808 dB. Sedangkan, Hasil simulasi S_{21} pada unit sel 1 dengan CST Studio 2012 dengan rentang frekuensi antara 7 GHz hingga 15 GHz seperti ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar Error! No text of specified style in document.. Hasil S_{21} -parameter

Untuk nilai *absorption rate* dilakukan perhitungan dari hasil S11-parameter dengan menggunakan persamaan $A=1-R(\omega)-T(\omega)=1-|S_{11}|^2-|S_{21}|^2$. Oleh karena nilai S21 yang dihasilkan dari simulasi seperti pada gambar 3 sebesar -200 dB atau nilai magnitude bernilai 0. Maka persamaannya menjadi $A=1-|S_{11}|^2$, sehingga plot grafik *absorption rate* ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini.

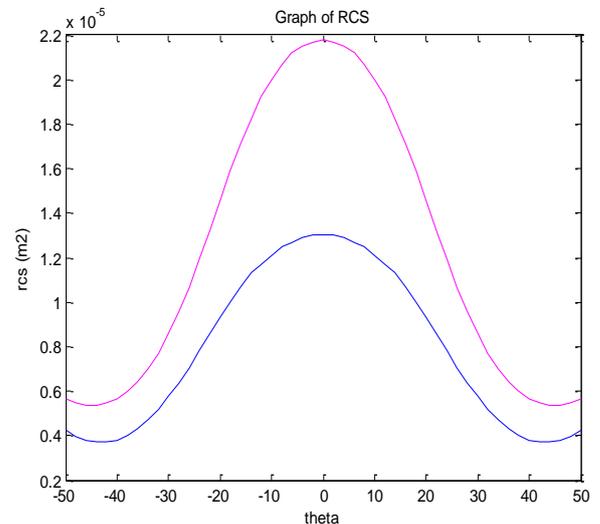


Gambar 4. Grafik *absorption rate*

Dari grafik absorpsi pada gambar 4 diatas, diketahui bahwa untuk batas minimum absorption rate sebesar 80 % pada band 1 terletak pada frekuensi 8.15 GHz hingga 8.6 GHz dengan bandwidth sebesar 450 MHz, band 2 terletak pada frekuensi 10.816 GHz hingga 11.224 GHz dengan bandwidth sebesar 408 MHz dan band 3 terletak pada frekuensi 11.464 GHz hingga 11.832 GHz dengan bandwidth sebesar 368 MHz. Untuk peak absorption terletak pada tiga band frekuensi yaitu pada frekuensi 8.336 GHz, 11.008 GHz, dan 11.664 GHz dengan absorption rate masing-masing 99.92 %, 99.78 % dan 98.07 %, sehingga dari hasil absorption rate telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan karena nilai absorption rate lebih besar dari 80 %.

Untuk menentukan nilai radar cross section dapat dilakukan simulasi dengan CST Microwave Studio 2012, dimana diinputkan range sudut yang ingin ditentukan nilai RCS nya. Pada simulasi ini diinputkan range sudut

antara -50° hingga 50° . Satuan dari RCS pada simulasi CST yaitu linear square meter atau m^2 . Untuk nilai RCS hasil simulasi pada modifikasi unit terpilih seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik RCS Hasil Simulasi

Pada gambar 5 menunjukkan grafik hasil simulasi rcs terhadap sudut (*theta*), dimana dilakukan perbandingan antara hasil simulasi RCS dengan metamaterial absorber dan RCS tanpa menggunakan metamaterial absorber. Pada grafik ditunjukkan bahwa besar nilai RCS dengan metamaterial absorber lebih kecil dibandingkan dengan nilai RCS tanpa menggunakan metamaterial absorber.

Pada gambar 5 menunjukkan bahwa pada sudut 0° nilai RCS yang dihasilkan ketika menggunakan metamaterial absorber (MMA) yaitu $1.3 \times 10^{-5} m^2$, Sedangkan nilai RCS yang dihasilkan tanpa menggunakan metamaterial absorber pada sudut 0° yaitu $2.18 \times 10^{-5} m^2$. Dari nilai RCS pada sudut 0° menunjukkan bahwa nilai RCS menggunakan metamaterial absorber lebih kecil nilainya dibandingkan nilai RCS tanpa menggunakan metamaterial absorber dengan persentase penurunan nilai RCS sebesar 59.78 %.

Dari hasil RCS tersebut dapat dikatakan bahwa metamaterial absorber dapat membuat radar cross section (RCS) berkurang nilainya dibandingkan dengan tanpa menggunakan metamaterial absorber.

4. KESIMPULAN

Metamaterial absorber yang dirancang mampu bekerja dengan baik pada range frekuensi kerja yang ditentukan yaitu 8.5 GHz hingga 10.5 GHz dengan peak triple band. Untuk hasil simulasi metamaterial absorber pada parameter *absorption rate* telah memenuhi spesifikasi dengan nilai minimum dari absorption rate sebesar 80 % dan hasil simulasi pada RCS ketika menggunakan metamaterial absorber mempunyai nilai RCS lebih kecil dibandingkan dengan tanpa menggunakan metamaterial absorber, sehingga metamaterial absorber dapat mengurangi nilai RCS.

5. Daftar Pustaka

- [1] William L. Melvin and James A. Scheer, "Principles of Modern Radar Vol. III: Radar Applications", SciTech Publishing, 2014.
- [2] S.Ramya and I.Srinivasa Rao, "Dual Band Microwave Metamaterial Absorber Using Loop Resonator For Electromagnetic Interference Suppression", International Journal of Applied Engineering Research, ISSN 0973-4562 Vol. 10 No.30, 2015.
- [3] Longjiang Deng, "Broadband absorption in mid-infrared metamaterial absorbers with multiple dielectric layers", Optics Communications 338 (2015) 388–392, 2015.
- [4] Kenyu Ling, Hyung Ki Kim, Minyeong Yoo and Sungjoon Lim, "Frequency-Switchable Metamaterial Absorber Injecting Eutectic Gallium-Indium (EGaIn) Liquid Metal Alloy", *Sensors* 2015, 15, 28154-28165; doi:10.3390/s151128154, 2015.
- [5] Tao Liu, Xiangyu Cao, Jun Gao, Qirong Zheng, Wenqiang Li, and Huanhuan Yang, "RCS Reduction of Waveguide Slot Antenna With Metamaterial Absorber", IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 61, NO. 3, MARCH 2013.
- [6] William M. Daley, Kathy Smith dkk "FEDERAL RADAR SPECTRUM REQUIREMENTS," U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE National Telecommunications and Information Administration, 2000.
- [7] Arthur von Hippel and Paul Dixon, "Theory and Application of RF/Microwave Absorbers", Emerson & Cuming Microwave Products, Inc
- [8] Claire M. Watts, Xianliang Liu, and Willie J. Padilla, "Metamaterial Electromagnetic Wave Absorber", Adv. Mater, 24 2012.
- [9] Hewlett-Packard Company, "S-Parameter Techniques for Faster, More Accurate Network Design"1997. 3000 Hanover Street, Palo Alto California, USA.
- [10] Mark A. Richards, James A. Scheer and William A. Holm, "Principles of Modern Radar Vol. I: Basic Principles", SciTech Publishing, 2014.
- [11] F.E. Terman and McGraw-Hill "Radio Engineers Handbook", New York, 1945.
- [12] Kin-Lu Wong, Chien-Chin Huang, and Wen-Shan Chen, "Printed Ring Slot Antenna for Circular Polarization", IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 50, NO. 1, 2002.
- [13] H. Yoshiizumi, R. Suga, O. Hashimoto, and K. Araki, "A Design of Circular Patch Array Absorber Based on Patch Antenna Theory", Proceedings of the 45th European Microwave Conference, 2015.
- [14] FAN Yue-Nong, CHENG Yong-Zhi, DENG Yan-Ming and GONG Rong-Zhou, "Absorbing Performance of Ultrathin Wide-Band Planar Metamaterial Absorber, 978-1-4673-1800-6/12/\$31.00 ©2012 IEEE, 2012.
- [15] Jingbo Sun, Lingyun Liu, Guoyan Dong, and Ji Zhou, "An extremely broad band metamaterial absorber based on destructive interference", Vol. 19, No. 22 / OPTICS EXPRESS 21156, 2012.