

**RANCANG BANGUN *METAMATERIAL* MENGGUNAKAN
MICROSTRIP UNTUK PENYERAP GELOMBANG RADAR**

SKRIPSI

*untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Sains*



**MEDIA SENTOSA
NIM 2014/14034030**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2018**

PERSETUJUAN SKRIPSI

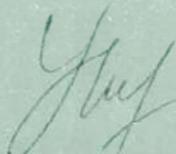
**RANCANG BANGUN *METAMATERIAL* MENGGUNAKAN
MICROSTRIP UNTUK PENYERAP GELOMBANG RADAR**

Nama : Media Sentosa
NIM : 14034030
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 27 Juli 2018

Disetujui oleh

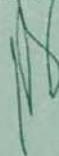
Pembimbing



Yohandri, M.Si., Ph.D

NIP. 19780725 200604 1 003

Ketua Jurusan



Dr. Ratnawulan, M. Si

NIP. 196901201993032002

HALAMAN PENGESAHAN

Nama : Media Sentosa
NIM : 14034030
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

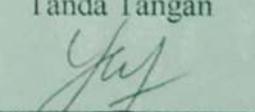
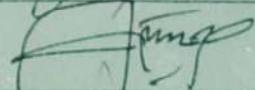
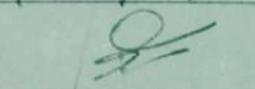
dengan judul

RANCANG BANGUN *METAMATERIAL* MENGGUNAKAN *MICROSTRIP* UNTUK PENYERAP GELOMBANG RADAR

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 27 Juli 2018

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	: Yohandri, M.Si., Ph.D	1. 
Anggota	: Drs. H. Asrizal, M.Si	2. 
Anggota	: Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si	3. 

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul “Rancang Bangun *Metamaterial* Menggunakan *Microstrip* Untuk Penyerap Gelombang RADAR”, adalah asli karya saya sendiri.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali dari pembimbing.
3. Di dalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan didalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada kepustakaan.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, 27 Juli 2018
Yang membuat pernyataan



Media Sentosa
NIM. 14034030/2014

ABSTRAK

Media Sentosa : Rancang Bangun *Metamaterial* Menggunakan *Microstrip* Untuk Penyerap Gelombang RADAR

Penyerap gelombang RADAR pada frekuensi C-band dengan titik kerja berbentuk *broadband* sangat jarang ditemui. Penggunaan *metamaterial* pada *microstrip* sebagai sudah banyak digunakan karena memiliki banyak kelebihan. Penelitian ini bertujuan untuk membuat penyerap gelombang RADAR dengan refleksi dibawah -10 dB menggunakan *microstrip*.

Microstrip yang digunakan memiliki konstanta dielektrik 2,17 dan ketebalan 1,6 mm. Agar bekerja pada frekuensi C-band *microstrip* direkayasa berupa tinggi dan bentuk *patch* menggunakan software CST Studio. Desain *microstrip metamaterial* difabrikasi untuk mengambil data pengukuran menggunakan GB-SAR. Data yang ambil pada penelitian ini berupah besar *return loss* pada titik S11. Besar penyerapan *metamaterial microstrip* didapat dari hasil analisis *return loss*.

Hasil penelitian ini didapat *microstrip metamaterial* yang mampu menyerap gelombang RADAR hingga 99,9% pada frekuensi C-band. *Microstrip metamaterial* ini merupakan terobosan terbaru di mana penyerap gelombang RADAR dengan frekuensi *broadband* pada rentang C-band sangat jarang ditemui. Hasil simulasi menunjukkan penyerapan >90% pada dimulai pada frekuensi 4,1 Ghz. Hasil pengukuran penyerapan >90% dimulai pada frekuensi 3,3 Ghz. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa *microstrip metamaterial* dapat dijadikan sebagai bahan RAM.

Kata kunci: rancang bangun, *metamaterial*, *broadband*

KATA PENGANTAR



Segala Puji dan syukur kehadirat Allah yang maha kuasa, karena dengan berkat dan rahmat-Nya peneliti telah dapat menulis dan menyelesaikan tugas akhir ini. Sebagai judul penelitian tugas akhir ini adalah “Rancang Bangun *Metamaterial* Menggunakan *Microstrip* untuk Penyerap Gelombang RADAR “.

Dalam merealisasikan dan menulis tugas akhir ini peneliti banyak menerima bantuan, arahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Yohandri, M.Si, Ph.D sebagai Pembimbing atas segala bantuannya yang tulus dan ikhlas memberikan bimbingan, arahan dan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si, dan Bapak Drs. H. Asrizal, M.Si sebagai dosen penguji pada Tugas Akhir ini.
3. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si, selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
4. Ibu Syafriani, M.Si, Ph.D sebagai Ketua Prodi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang dan selaku pembimbing akademik.
5. Kedua orang tua dan semua anggota keluarga yang telah memberikan motivasi baik moril maupun materil.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika FMIPA UNP.

7. Staf Administrasi dan Laboran di Laboratorium Fisika FMIPA UNP.
8. Rekan-rekan ELIN 16 dan Fisika 14 telah ikut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Peneliti menyadari sepenuhnya bahwa dalam laporan penelitian ini masih terdapat beberapa kelemahan atau kekurangan. Adanya saran dan kritikan dari pembaca akan lebih menyempurnakan laporan ini dimasa yang akan datang. Mudah-mudahan hasil laporan penelitian ini dapat memberikan manfaat kepada seluruh pembaca.

Padang, Juli 2018

penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Perumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Pertanyaan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
A. Kajian Teori.....	6
1. <i>Microstrip</i>	6
2. Model <i>Cavity</i>	8
3. Parameter Umum <i>Microstrip</i>	8
4. Gelombang Permukaan (<i>Surface Wave</i>).....	10
5. <i>Mutual Coupling</i>	11
6. Elektromagnetik <i>Reduction</i>	12
B. Penelitian Relevan	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
A. Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	18
B. Alat dan Bahan	18
C. Desain Penelitian	18
1. Jenis Penelitian	18
2. Data dan Variabel Penelitian	19
3. Desain <i>Microstrip Metamaterial</i>	20
D. Prosedur Penelitian	21

1. Studi Literatur.....	22
2. Mendesain <i>Microstrip Metamaterial</i>	22
3. Melakukan Simulasi, Fabrikasi dan Pengukuran	23
4. Analisis Data	23
5. Tahap Penyusunan dan Penyajian Hasil.....	23
E. Teknik Pengumpulan Data	23
F. Teknik Analisis Data	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
A. Hasil Penelitian.....	26
1. Pengaruh <i>Microstrip Metamaterial</i> Terhadap Gelombang Elektromagnetik	27
2. Pengaruh Parameter Desain <i>Microstrip Metamaterial</i>	29
3. Kemampuan Daya Serap Gelombang	36
B. Pembahasan	37
BAB V PENUTUP.....	41
A. Kesimpulan.....	41
B. Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Data simulasi variasi besar <i>patch</i>	30
Tabel 2. Data simulasi variasi jarak <i>patch</i>	31
Tabel 3. Data simulasi variasi jarak unit <i>cell</i>	32
Tabel 4. Data simulasi variasi konstanta <i>dielektrik</i>	33
Tabel 5. Data simulasi variasi tinggi <i>substrate</i>	34
Tabel 6. Data simulasi variasi panjang sisi <i>patch</i>	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Struktur dasar <i>microstrip</i>	6
Gambar 2. Bentuk-bentuk <i>patch microstrip</i>	7
Gambar 3. Rentang frekuensi yang menjadi <i>bandwidth</i>	10
Gambar 4. Propagasi dari gelombang permukaan pada <i>substrate</i>	11
Gambar 5. <i>Coupling</i> pada <i>patch array</i>	12
Gambar 6. Perambatan gelombang elektromagnetik yang terdiri dari medan listrik (e), medan magnet (b) dan kecepatan cahaya (c).....	13
Gambar 7. Sketsa bentuk FFS (a) FSS absorber (b) rangkain <i>equivalent</i>	16
Gambar 8. Rangkain RLC.....	20
Gambar 9. Desain <i>metamaterial absorber</i> (a) tampak atas (b) tampak samping (c) tampilan pada CST Studio	21
Gambar 10. Diagram Alir Prosedur Penelitian	22
Gambar 11. Bentuk <i>microstrip metamaterial</i> pada aplikasi CST Studio.....	26
Gambar 12. Bentuk <i>microstrip metamaterial</i> setelah difabrikasi	27
Gambar 13. Hasil simulasi <i>microstrip metamaterial</i> pada CST Studio.....	28
Gambar 14. Grafik <i>return loss microstrip metamaterial</i> hasil pengukuran.....	29
Gambar 15. Grafik hubungan nilai S11 terhadap frekuensi dengan variasi besar <i>patch</i>	30
Gambar 16. Grafik hubungan nilai S11 terhadap frekuensi dengan variasi jarak <i>patch</i>	31
Gambar 17. Grafik hubungan nilai S11 terhadap frekuensi dengan variasi jarak unit <i>cell</i>	32
Gambar 18. Grafik hubungan nilai S11 terhadap frekuensi dengan variasi konstanta <i>dielektrik subtrate</i>	33
Gambar 19. Grafik hubungan nilai S11 terhadap frekuensi dengan variasi tinggi dielektrik <i>subtrate</i>	34
Gambar 20. Grafik hubungan nilai S11 terhadap frekuensi dengan variasi panjang sisi <i>pacth</i>	35

Gambar 21. Grafik hubungan <i>absorption</i> dengan frekuensi pada simulasi.....	37
Gambar 22. Grafik hubungan <i>absorption</i> dengan frekuensi pada pengukuran	37
Gambar 23. Grafik presentase kesalahan hasil pengukuran dan hasil simulasi....	39
Gambar 24. Satuan parameter	46
Gambar 25. <i>Dialog box substrate</i>	47
Gambar 26. Bentuk <i>substrate</i>	47
Gambar 27. Bentuk <i>substrate</i> dan <i>ground</i>	47
Gambar 28. Bentuk pusat pada <i>substrate</i>	48
Gambar 29. <i>Dialog box</i> ukuran <i>patch</i>	48
Gambar 30. Bentuk <i>patch</i>	48
Gambar 31. <i>Dialog box translate</i>	49
Gambar 32. <i>Dialog box rotate</i>	49
Gambar 33. Hasil <i>translate</i> dan <i>rotate</i>	50
Gambar 34. Bentuk satu buah <i>unit cell metamaterial absorber</i>	50
Gambar 35. <i>Dialog box boundary condition</i>	51
Gambar 36. <i>Dialog box Frekuensi Domain Solver Parameters</i>	51
Gambar 37. Hasil simulasi <i>metamaterial absorber</i>	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1. Pembuatan Simulasi <i>Metamaterial Absorber</i> Menggunakan Cst Studio	46
Lampiran 2. Fabrikasi <i>Microstrip Metamaterial</i>	52
Lampiran 3. Pengukuran dengan GB-SAR.....	53
Lampiran 4. Data Hasil Simulasi <i>Microstrip Metamaterial</i>	54
Lampiran 5. Data Hasil Pengukuran <i>Microstrip Metamaterial</i>	62

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) merupakan salah satu hal yang terus berkembang seiring perkembangan kebutuhan manusia. Para ahli riset terus melahirkan berbagai produk baru yang sangat berguna bagi manusia. Perkembangan IPTEK ini tidak lepas dari kemajuan berbagai disiplin ilmu salah satunya fisika.

Fisika telah melahirkan dasar-dasar pengetahuan untuk perkembangan teknologi. Salah satu bidang dari fisika yang berkembang pesat saat ini adalah bidang Elektronika dan Instrumentasi. Elektronika adalah suatu ilmu yang mempelajari alat listrik arus lemah yang dioperasikan dengan cara mengontrol aliran elektron atau partikel bermuatan listrik dalam suatu bahan semikonduktor. Berbagai kajian dalam bidang elektronika terus tumbuh seiring dengan kebutuhan teknologi seperti teknologi *stealth* (siluman).

Teknologi siluman merupakan proses penyerapan gelombang *Radio Detection and Ranging* (RADAR) oleh suatu material. Teknologi ini telah menjadi inovasi militer modern saat ini, untuk monitoring dan mengantisipasi gangguan keamanan wilayah perbatasan (Fadhallah,2012). Aplikasi teknologi siluman dikembangkan dengan dua cara, yaitu pemantulan gelombang RADAR kearah lain dan penyerapan gelombang. Dalam teknologi pemantulan, peralatan militer dirancang untuk memantulkan gelombang RADAR ke arah lain, namun pengembangan cara ini membutuhkan anggaran biaya yang besar. Sementara itu,

teknologi penyerapan dilakukan dengan melapisi permukaan kapal menggunakan suatu material yang mampu menyerap gelombang RADAR, yaitu material penyerap gelombang.

Teknologi penyerapan gelombang elektromagnetik telah melahirkan material baru yaitu RADAR *Absorber Material* (RAM). Material ini bersifat meredam pantulan atau penyerap gelombang mikro, sehingga benda yang dilapisi dengan RAM tidak terdeteksi oleh RADAR. Bahan *absorber* dipengaruhi oleh *impedance matching* dari bahan dengan gelombang elektromagnetik melalui mekanisme frekuensi resonansi yang dirumuskan dengan *return loss* (dB).

Pembuatan RAM biasanya menggunakan karbon aktif, cara ini dapat menyerap pada rentang frekuensi C-band dengan *bandwidth* yang lebar. Pembuatan RAM dari karbon memerlukan tahapan yang panjang. Tahun 2017 Satria membuat karbon aktif dari kulit kakao dengan KOH aktivator dan didapat *return loss* sebesar -14 dB pada ketebalan 8 mm dalam rentang frekuensi C-band. Tahun yang sama Yohandri melakukan penelitian membuat karbon aktif menggunakan batok kelapa dan menghasilkan *return loss* sebesar -19,5 dB pada ketebalan 6 mm dengan aktivator HCL dalam rentang frekuensi C-band. Cara lain untuk menyerap gelombang RADAR adalah dengan menggunakan *microstrip metamaterial*. Cara ini memiliki beberapa kelebihan seperti fabrikasi yang mudah, *bandwidth* yang lebar dan *return loss* yang tinggi, tetapi *microstrip metamaterial* umumnya berbentuk *broadband* pada frekuensi X-band berbentuk, sedangkan pada rentang C-band berbentuk *narrowband*.

Perkembangan *microstrip metamaterial absorber* yang berkerja pada frekuensi C-band masih terbuka lebar. Umumnya karakteristik dari bahan-bahan *microstrip metamaterial* yang berada dipasaran sangat menunjang untuk X-band seperti konstanta *dielectric* yang besar dan ketebalan yang tipis, sehingga diperlukan modifikasi bahan supaya dapat bekerja pada rentang C-band. *Microstrip metamaterial* yang berkerja pada frekuensi C-band dengan besar *return loss* -10 dB sangat sedikit sekali. Tahun 2014 Hoa Zhang membuat *microstrip metamaterial* dengan titik kerja 4,29 Ghz dan 6,49 Ghz, pada tahun yang sama Jamilan merancang *microstrip metamaterial* dengan titik kerja 5,4 Ghz dan 6 Ghz, pada tahun 2016 Susanto membuat *microstrip metamaterial* dengan titik kerja 2 Ghz, 2,89 Ghz dan 3,89 Ghz. Ketiga penelitian yang telah dilakukan hanya menghasilkan *narrowband*, sehingga pengembangan *microstrip metamaterial* untuk C-band dengan *return loss* -10 dB dengan kualitas *broadband* masih sangat jarang dijumpai. Sedangkan frekuensi C-band banyak digunakan untuk *airborne* dan *spaceborne*.

Dalam merancang, simulasi dan karakterisasi dari *microstrip metamaterial* penyerap gelombang RADAR perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil penelitian sesuai yang diharapkan. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software CST Studio Suite*, sedangkan karakterisasi dilakukan menggunakan alat ukur GB-SAR untuk mengukur besar daya serap pada *microstrip metamaterial*.

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diutarakan, maka pembuatan bahan penyerap gelombang RADAR menggunakan *microstrip metamaterial* yang bekerja pada frekuensi C-band sangat mungkin dilakukan.

Oleh karena itu, peneliti telah melakukan penelitian dengan judul “Rancang Bangun *Metamaterial* Menggunakan *Microstrip* untuk Penyerap Gelombang RADAR”.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat dirumuskan masalah penelitian adalah “ Bagaimana desain dan karakterisasi dari rancang bangun *metamaterial* menggunakan *microstrip* untuk penyerap gelombang RADAR ?”

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Menyelidiki pengaruh *microstrip metamaterial* pada gelombang elektromagnetik menggunakan CST Studio dan GB-SAR.
2. Menyelidiki pengaruh parameter desain *microstrip metamaterial*.
3. Menyelidiki kemampuan daya serap gelombang RADAR *microstrip metamaterial*.

D. Pertanyaan Penelitian

Untuk menjelaskan permasalahan dalam penelitian ini dikemukakan beberapa pertanyaan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh parameter desain *microstrip metamaterial* ?
2. Bagaimana pengaruh *microstrip metamaterial* pada gelombang elektromagnetik ?

3. Bagaimana kemampuan daya serap gelombang RADAR *microstrip metamaterial* ?

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

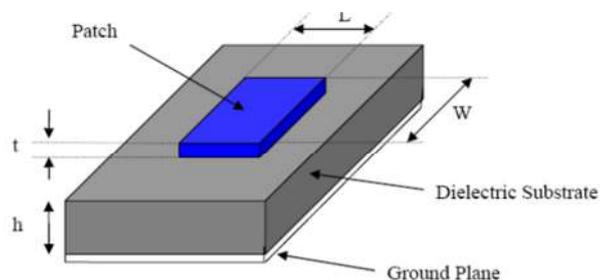
1. Menghasilkan *microstrip metamaterial absorber* yang berkerja dengan frekuensi *broadband* pada rentang C-band.
2. Memberikan informasi dan pengetahuan tentang bahan penyerap gelombang RADAR dari *microstrip metamaterial*.
3. Dapat juga dijadikan sebagai sumber ide dan referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. *Microstrip*

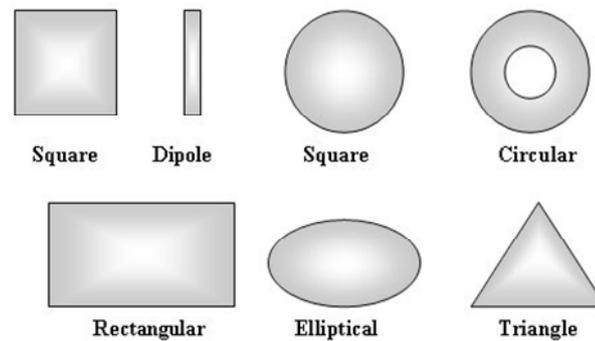
Microstrip adalah salah satu jenis transmisi yang terdiri dari *patch* konduktor yang berada di atas *ground* dan diantaranya terdapat *dielectric substrate*. *Microstrip* pertama kali diperkenalkan pada tahun 1950. Melalui beberapa dekade penelitian, diketahui kinerja *microstrip* dapat diatur melalui bentuk *patch*. Saat ini *microstrip* telah banyak digunakan pada berbagai bidang seperti komunikasi satelit, komunikasi RADAR dan militer. Struktur dari *microstrip* dapat kita perhatikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur dasar *microstrip* (Panwar, 2013)

Seperti diilustrasikan pada Gambar 1 *patch* berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik. *Dielectric substrate* merupakan bagian *dielectric* yang membatasi elemen peradiasi dengan *Ground Plane*. Bagian ini memiliki nilai konstanta *dielectric* (ϵ_r) dimana nilai dari konstanta *dielectric* ini mempengaruhi frekuensi kerja dan efisiensi. Bagian yang terakhir yaitu *Ground plane* atau pentanahan bagi sistem *microstrip*.

Saat ini telah dikembangkan berbagai macam bentuk *patch* dari *microstrip*. Bentuk *patch microstrip* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk-bentuk *patch microstrip*

Bentuk *patch* yang paling sering digunakan yaitu *patch* yang berbentuk segiempat dan lingkaran, hal ini disebabkan oleh bentuk *patch* ini mudah dalam analisi dan fabrikasi, serta memiliki *cross polarization* yang rendah (Constantine, 1997).

Microstrip memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan transmisi jenis lainnya baik dari segi fisik maupun dari segi ekonomi. Berbagai kelebihan *microstrip* ini diantaranya memiliki dimensi yang kecil, lebih tipis lebih ringan dan biaya fabrikasi yang murah. *Microstrip* memiliki beberapa karakteristik, yaitu *gain* yang lebih rendah (-6dB), *bandwidth* yang sempit, timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*), faktor Q tinggi, kemurnian polarisasi rendah, efisiensi kecil dan *ohmic loss*. Beberapa dari karakteristik *microstrip* ini sangat menunjang untuk pembuatan *metamaterial absorber*.

2. Model Cavity

Microstrip memiliki pita resonansi yang sempit. Keadaan ini dapat disebut sebagai *lossy cavities*. Dasar dari asumsi model *cavity* ini adalah berdasarkan observasi dari substrat tipis ($h \ll \lambda_0$) (Garg, 2001):

- a) Medan di daerah interior tidak berubah terhadap z ($\partial/\partial z \equiv 0$) karena *substrate* sangat tipis ($h \ll \lambda_0$).
- b) Medan elektrik E_z hanya muncul pada arah z saja, dan medan magnetis hanya ada komponen transversnya saja (H_x dan H_y) pada daerah yang dibatasi oleh *patch* dan bidang petanahan (*ground*).
- c) *Patch* arus listrik tidak mempunyai komponen normal pada ujung metal, yang juga menyatakan bahwa komponen tangensial dari \vec{U} sepanjang sisi diabaikan, dan dinding medan magnet ditempatkan pada sisi luar.

3. Parameter Umum *Microstrip*

a. VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum dengan minimum (Fawwaz, 2001). Terdapat dua komponen gelombang tegangan pada saluran transmisi, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_o^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_o^-). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan / *return loss* (Γ) (Lee, 1998). Besar *return loss* dapat dihitung menggunakan persamaan 1.

$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+} = \frac{Z_l - Z_o}{Z_l + Z_o} \quad (1)$$

Dengan Z_L adalah impedansi beban (*load*), Z_0 adalah impedansi saluran *lossless*. Semakin besar *return loss* maka penyerapan *microstrip metamaterial* akan semakin besar. *Return loss* memiliki nilai kompleks antara -1 hingga +1, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi.

$\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat.

$\Gamma = 0$: tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna.

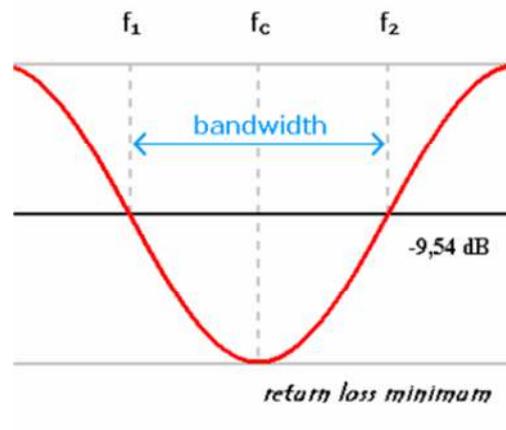
$\Gamma = +1$: refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka.

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika transmisi dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini dalam praktiknya sangat sulit untuk dijumpai. Dalam menghitung besar VSWR dapat menggunakan persamaan 2.

$$S = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2)$$

b. Bandwidth

Bandwidth didefinisikan sebagai rentang frekuensi dimana sistem dapat bekerja maksimal. Semakin lebar *bandwidth* maka penerapannya akan semakin banyak. Umumnya *microstrip* memiliki *bandwidth* yang sempit. *Bandwidth* pada *microstrip* dapat di tingkatkan dengan mengurangi konstanta dielektrik dan meningkatkan ketebalan (Rahim, 2007). *Bandwidth* memiliki batas frekuensi yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rentang frekuensi yang menjadi *bandwidth*

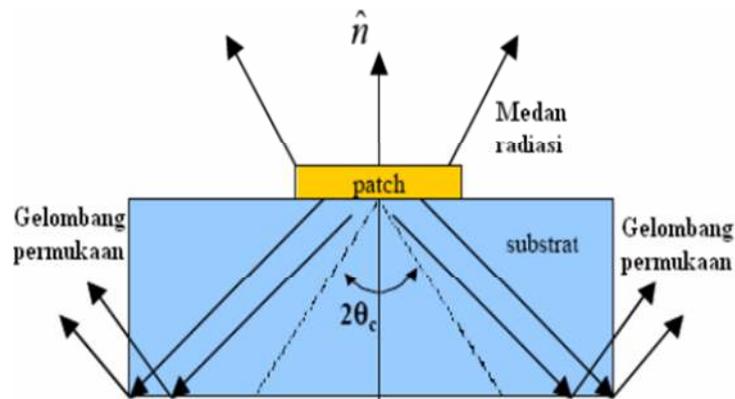
Seperti yang di ilustrasikan pada Gambar 3, dalam menentukan besar *bandwidth* ditentukan oleh jarak f_1 dengan f_2 dengan kondisi dibawah $-9,54$ dB. Besarnya *bandwidth* dapat dinyatakan dalam persentase *bandwidth* dengan menggunakan persamaan 3.

$$BW(\%) = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad (3)$$

Dengan BW adalah *bandwidth* (%), f_2 adalah frekuensi tertinggi (Hz), f_1 adalah frekuensi terendah (Hz) dan f_c adalah frekuensi tengah (Hz)

4. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang permukaan merupakan *power loss* yang tersebar pada pembengkokan dan diskontinuitas *dielectric*. Pengurangan gelombang permukaan pada antenna mengakibatkan meningkatnya efisiensi antenna, mengurangi difraksi dari tepi *substrate* dan mengurangi *coupling* antara elemen antenna yang berdekatan (Komanduri, 2013). Sebaliknya pada *absorber* peningkatan gelombang permukaan akan meningkatkan efisiensi. Ilustari gelombang permukaan dapat dilihat pada Gambar 4.



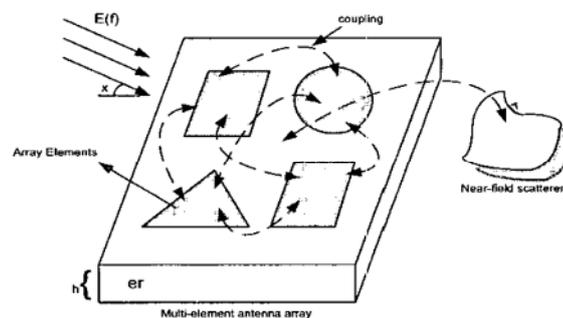
Gambar 4. Propagasi dari gelombang permukaan pada *substrate*

Ketika *patch microstrip* meradiasikan gelombang ke udara, maka juga ada gelombang yang terjebak di dalam substrat. Gelombang-gelombang ini membentuk gelombang permukaan. Gelombang permukaan ini masuk ke substrat pada sudut elevasi θ_c ($\theta_c = \text{Arc sin}(1/\sqrt{\epsilon_r})$) (Garg, 2001). Gelombang ini terjadi pada bidang *ground plane* dengan sudut tertentu dan kemudian direfleksikan ke perbatasan *dielectric* udara. Dari perbatasan dielektrik- udara ini gelombang tersebut akan direfleksikan lagi sehingga akan terbentuk jalur *zigzag* dan akhirnya akan mencapai batas dari struktur *microstrip*. Selanjutnya, gelombang ini akan direfleksikan kembali dan dibelokkan oleh ujung yang akan menyebabkan meningkatnya radiasi *end-fire*. Semakin besar *patch* dan ketebalan *substrate* maka gelombang permukaan juga akan semakin besar (Joshi, 2015).

5. *Mutual Coupling*

Mutual coupling adalah suatu efek gandingan yang terjadi pada antena *array*, salah satu penyebabnya adalah gelombang permukaan. *Mutual coupling* didefinisikan sebagai bagian dari energi datang pada satu atau kedua elemen antena *array* yang dapat dihamburkan kembali ke arah yang berbeda seperti

suatu *transmitter* yang baru (Constantine, 1997). Hal ini menyebabkan kontribusi total ke daerah *far-field* tidak hanya tergantung pada eksitasi masing-masing generator (pencatu) antena tetapi juga dari eksitasi yang merugikan karena *mutual coupling*. Gambar 5 mengilustrasikan bentuk dari *mutual coupling*.



Gambar 5. *Coupling* pada *patch array*
(O'zdemir, 2003)

Gambar 5 menunjuk efek *coupling* yang terjadi antara antenna array yang saling terhubung satu sama lain. Efek ini berpengaruh pada semakin meningkatnya nilai *standing wave* dan *return loss*.

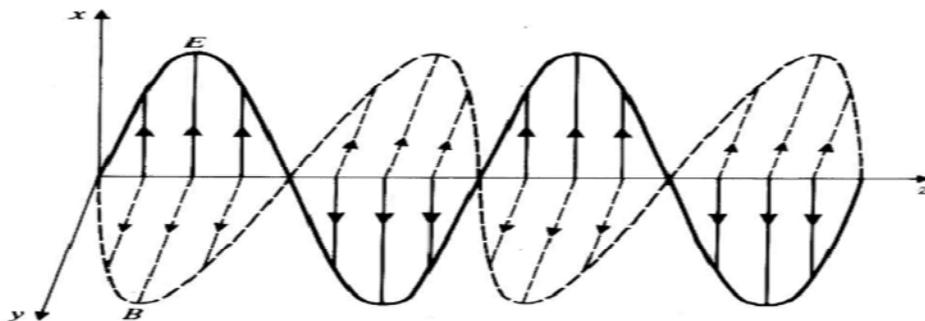
6. Elektromagnetik *Reduction*

RADAR Cross Section (RCS) adalah ukuran seberapa terdeteksi suatu benda oleh RADAR. Penyerapan gelombang elektromagnetik dapat dilakukan dengan mengurangi RCS (Zhang, 2014). Jenis penyerapan gelombang elektromagnetik terbagi 2 (dua) yaitu rekayasa material dan rekayasa geometri (Bentuk). Rekayasa material adalah ketika membuat suatu material dengan menambahkan beberapa unsur strukturnya tetap. Sedangkan rekayasa geometri pembuatannya harus memperhatikan bentuk partikel, ketebalan, medan listrik dan medan magnet.

RCS dari target adalah area yang menahan sejumlah energi yang mana ketika RADAR ditembakkan ke segala arah akan menghasilkan *echo* dari target atau dalam istilah lain dapat dirumuskan pada persamaan 4.

$$\sigma = \frac{\text{power reflected toward source/unit solid angle}}{\text{incident power density}/4\pi} = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R \left[\frac{E_r}{E_i} \right]^2 \quad (4)$$

Dengan R adalah jarak antara RADAR dengan target, E_r adalah energy pantulan pada RADAR dan E_i adalah energy yang datang pada target (Skolnik, 1981). RCS yang lebih besar mengindikasikan bahwa objek lebih mudah dideteksi. Pengurangan RCS dapat dicapai dengan mengintegrasikan RAM atau dengan memodifikasi geometri target untuk menghamburkan gelombang pantulan ataupun keduanya (Modi, 2016:1). Gelombang elektromagnetik terdiri dari *couple* (pasangan) medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus satu sama lain, seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perambatan gelombang elektromagnetik yang terdiri dari medan listrik (e), medan magnet (b) dan kecepatan cahaya (c) (Ress, 2001:12)

seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6, dalam perambatannya gelombang elektromagnetik merambat dengan kecepatan yang nilainya ditentukan oleh dua besaran yaitu permitivitas listrik dan permeabilitas magnetik. Maxwell berhasil menemukan hubungan antara amplitudo medan listrik dan amplitudo medan magnet. Hubungan ini dapat dilihat pada persamaan 5.

$$\frac{E}{B} = c \quad (5)$$

Dengan E adalah medan listrik, B adalah medan magnet, dan c adalah kecepatan cahaya (3×10^8 m/s). Persamaan maxwell merupakan perumusan hukum-hukum alam yang melandasi semua fenomena elektromagnetik (Tjia, 1993 : 123). Gelombang elektromagnetik yang dirumuskan oleh Maxwell memiliki rentang frekuensi dan panjang gelombang yang berbeda, yang bisa dihubungkan melalui persamaan 6.

$$c = \lambda f \quad (6)$$

Dengan c adalah kecepatan cahaya (3×10^8 m/s), λ adalah panjang gelombang (m), dan f adalah frekuensi (Hertz) (Giancoli, 2001).

B. Penelitian Relevan

Metamaterial berasal kata Yunani μετά *meta* , yang berarti "di luar" adalah bahan yang direkayasa untuk memiliki properti yang tidak ditemukan di alam (Kshetrimayum, 2004:1). *Metamaterial* merupakan media/bahan yang dirancang untuk memiliki karakteristik permeabilitas dan permitivitas negatif. Dengan karakteristik tersebut *metamaterial* dapat digunakan untuk menyerap gelombang *elektromagnetik*. *Metamaterial* memiliki dua tipe, *volumetrik* (3D) dan *planar* (2D/1D). Tipe pertama memiliki karakteristik yang ditandai oleh teori medan, sedangkan yang kedua dimodelkan oleh teori saluran transmisi. Untuk *microstrip* menggunakan tipe *metamaterial planar* karena memiliki bentuk yang datar.

Gelombang elektromagnetik yang diabsorpsi oleh *microstrip metamaterial* memiliki frekuensi yang berbeda-beda. Perbedaan frekuensi ini bergantung

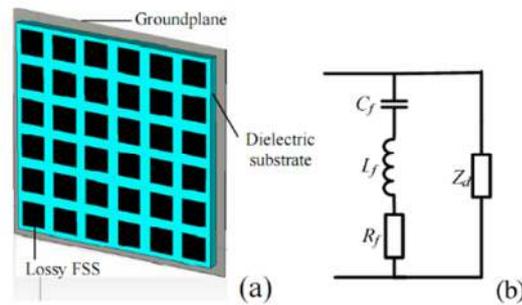
kepada frekuensi resonansi dari desain *microstrip metamaterial*. Besarnya absorpsi pada *microstrip metamaterial* dapat dihitung menggunakan persamaan 7.

$$A(\omega) = 1 - R(\omega) - T(\omega) \quad (7)$$

Dengan $A(\omega)$ adalah besarnya *absorption*, $R(\omega)$ adalah besarnya *reflectivity* (S_{11}^2) dan $T(\omega)$ adalah besarnya *transmitter* (S_{21}^2). Pada *microstrip metamaterial absorber* $T(\omega) = 0$ (Shater, 2016:136).

Tahun 2008, Landy merancang *metal-dielectric perfect metamaterial absorber* (PMA) yang terdiri dari gabungan yaitu dua lapisan logam dan substrat *dielectric*. Mekanisme desain PMA adalah dengan mengatur $\varepsilon(\omega)$ dan $\mu(\omega)$ secara bebas dengan bermacam-macam dimensi dari komponen resonansi elektrik dan komponen magnetik resonan pada unit sel yang cocok dengan impedansi PMA ruang hampa dan mencapai penyerapan yang tinggi. Dibandingkan dengan *absorber* konvensional, *absorber* ini memiliki banyak keuntungan seperti pembuatan sederhana, struktur ultra-tipis, tanpa *lumped resistance* dan berbagai aplikasi tidak hanya pada frekuensi *microwave* tetapi juga di Thz, inframerah dan optik band (Zhang, 2014).

Umumnya pembuatan metamaterial *absorber* menggunakan *frequency selective surface* (FSS). *Absorber* FSS, terdiri dari FSS resistif dan *substrate dielectric* yang merupakan pilihan terbaik untuk *Absorber broadband* (Sun, 2012). Bentuk FSS *absorber* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Sketsa bentuk FFS (a) FFS absorber
(b) rangkain *equivalent* (Sun, 2012)

Gambar 7 (a) menunjukkan bentuk umum dari FSS. Sedangkan Gambar 7 (b) menunjukkan model rangkaian ekuivalen penyerap dengan FSS sederhana. Sebagai referensi bentuk dari dua absorpsi *absorber* tidak dapat dijelaskan oleh pendekatan *circuital*, dan kinerja penyerapan gelombang dapat ditingkatkan dengan menyesuaikan impedansi FSS. Pola FSS bisa dapat di modifikasi sesuai kebutuhan penyerapan.

Pembuatan *metamaterial absorber* diharuskan untuk mengetahui besar impedansi FSS dan impedansi dielektrik pada desain yang digunakan. Besarnya impedansi dari FSS dapat menggunakan persamaan 8.

$$Z_{FSS} = R + \frac{1}{j\omega C} + j\omega L \quad (8)$$

Dengan R adalah resistansi dari FSS, C adalah besar kapasitansi dan L adalah besar induktansi (Sen, 2017). Sedangkan besar impedansi dari *dielectric* dapat dihitung menggunakan persamaan 9.

$$Z_d = jZ_o \sqrt{\frac{1}{\epsilon_r}} \tan\left(\frac{2\pi f}{c} \sqrt{\epsilon_r} d\right) \quad (9)$$

Dengan Z_d adalah karakteristik impedansi *dielectric substrate* dengan *patch*, ϵ_r adalah *dielectric substrate*, f adalah frekuensi yang digunakan, c adalah kecepatan gelombang pada ruang hampa dan d adalah panjang elemen (Sun, 2012).

Perkembangan *microstrip metamaterial absorber* yang berkerja pada frekuensi C-band sangat jarang ditemui. Umumnya karakteristik dari bahan-bahan *microstrip metamaterial* yang berada dipasaran sangat menunjang untuk X-band seperti konstanta *dielectric* yang besar dan ketebalan yang tipis, sehingga diperlukan modifikasi bahan supaya dapat bekerja pada rentang C-band. *Microstrip metamaterial* yang berkerja pada frekuensi C-band dengan besar *return loss* -10 dB sangat sedikit sekali. Tahun 2014 Hoa Zhang membuat *microstrip metamaterial* dengan titik kerja 4,29 Ghz dan 6,49 Ghz, pada tahun yang sama Jamilan merancang *microstrip metamaterial* dengan titik kerja 5,4 Ghz dan 6 Ghz, pada tahun 2016 Susanto membuat *microstrip metamaterial* dengan titik kerja 2 Ghz, 2,89 Ghz dan 3,89 Ghz. Ketiga penelitian yang telah dilakukan hanya menghasilkan *narrowband*.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat dikemukakan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Pengaruh *microstrip metamaterial* pada gelombang elektromagnetik
 - a. Pada CST Studio gelombang elektromagnetik dengan refleksi -10 dB kebawah berapa pada renang 4,15-7,9 Ghz.
 - b. Pada GB-SAR gelombang elektromagnetik dengan refleksi -10 dB kebawah pada rentang frekuensi 3,9 Ghz-8 Ghz .
2. Pengaruh variasi ukuran parameter sebagai berikut:
 - a. semakin besar *patch*, maka lebar frekuensi *broadband* semakin besar namun lebar frekuensi dengan refleksi dibawah -10 dB berkurang.
 - b. semakin besar jarak *patch*, maka lebar frekuensi *broadband* semakin besar namun lebar frekuensi dengan refleksi dibawah -10 dB berkurang.
 - c. semakin kecil jarak unit *cell*, maka lebar frekuensi *broadband* semakin besar namun lebar frekuensi dengan refleksi dibawah -10 dB berkurang.
 - d. semakin besar konstanta *dielektrik*, maka lebar frekuensi *broadband* akan semakin kecil dan frekuensi kerja akan menurun.
 - e. semakin tebal *substrate*, maka lebar frekuensi *broadband*, frekuensi kerja dan S11 akan semakin kecil.
 - f. semakin besar panjang *patch*, maka lebar frekuensi *broadband* semakin besar namun lebar frekuensi dengan refleksi dibawah -10 dB berkurang.

3. Kemampuan daya serap gelombang RADAR dalam rentang 90%-99,9% dimulai dari frekuensi 4,1 Ghz pada simulasi dan 3,3 Ghz pada hasil fabrikasi

B. Saran

Berdasarkan pembahasan dan analisis yang telah dilakukan, maka sebagai saran untuk pengembangan penelitian ini yaitu :

1. Dari hasil penelitian didapat nilai refleksi dibawah -10,0 dB pada frekuensi 3,9 Ghz dengan bentuk *broadband*. Untuk itu disarankan untuk melakukan penelitian dengan nilai refleksi dibawah -10,0 dB pada frekuensi 1 Ghz dengan bentuk *broadband* karena itu masih sangat jarang ditemui.
2. Dalam penelitian ini hanya dilakukan didalam ruangan dengan pengaruh *noise* yang besar. Disarankan penelitian ini dilakukan pada ruangan yang tidak ada *noise*.

DAFTAR PUSTAKA

- Constantine, A. Balanis.1997.*Antena Theory : Analysis and Design*. USA:John Willey and Sons.
- Fawwaz, T Ulaby. 2001. *Fundamentals of applied Electromagnetics*. USA : Prentice Hall.
- Fadhallah Esa Ghanim. 2012. *Prototype Material Penyerap Gelombang RADAR Dari Komposit Polimer Chitosan-Polivinil Alcohol*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Garg, R., Bhartia, P, Bahl, I., and Ittipiboon, A.2001.*Microstrip Design Handbook*. Artech House Inc., Norwood, MA.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika Edisi Kelima*. Jakarta: Erlangga.
- Jamilan, Saeid, Mohammad N. Azarmanesh and Davoud Zarifi.2014.*Design and Charaterization of a Dual-Band Metamaterial Absorber Based on Destructive Interferences*.Progress In Elektromagnetics Research C, Vol. 47 95-101.
- Janner, Simarmata. 2010. *Rekayasa Perangkat Lunak*. Yogyakarta: ANDI OFFET
- Joshi, Sanket, *et al.*2015. *Effect of Mutual Coupling on Microstrip Antenna*. Procedia Computer Science.313-318.
- Komanduri, Varada Rajan, *et al.*2013. *A General Method for Designing Reduced Surface Wave Microstrip Antennas*. IEEE Transactions On Antennas And Propagation,Vol. 61, NO. 6.
- Kirkup, L. (1994). *Experimental Method An Introduction to The Analysis and Presentation of Data*. John Willey & Sons, Singapore.
- Kshetrimayum, RS .2004. *A Brief Introduction to Metamaterials* . Potensi IEEE . Hal 1.
- Landy, N. I.2008. *Perfect metamaterial absorber*. Phys. Rev. Lett., Vol. 100, 207402.

- Lee, K.F., Luk K.M. and Dahele, J.S. 1988. *Characteristics of the Equilateral Triangular Antena*. IEEE Transaction on Antenas and Propagation. vol. 36, no. 11, pp. 1510-1518
- Modi , Anuj Y., et al.2016. *Novel Design of Ultra-Broadband RADAR Cross Section Reduction Surfaces using Artificial Magnetic Conductors*. IEEE Transactions On Antennas And Propagation.
- Ozdemir ,Mehmet Kemal. Huseyin Arslan and Ercument Arvas .2003. *A Mutual Coupling Model for MIMO Systems*.IEEE.
- Panwar, Harvesh Singh, Firoz Khan and Puneet Khanna.2013. *Design & Analysis of Square Microstrip Patch Antenna*. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE).Vol-2.Issue-3.
- Rahim, Kamal Muhammad A and Peter Gardner.2007. *Microstrip Bandwidth Enhancement Using Log Periodic Technique with Inset Feed*. Jurnal Teknologi, 41(D) Dis. 2004: 53–66
- Ress W. G. 2001. *Physical Prinapies of Remote Sensing*. University of Cambridge
- Satria,Nova, Yohandri and Ananda Putra.2017.*Synthesis and Characterization of Cocoa Pods Waste Carbon for Radar Absorber Material*.Progress In Electromagnetics Research Symposium — Fall (PIERS — FALL).IEEE
- Sen, Gobinda, et al.2017. *Broadband metamaterial absorber on a single-layer ultrathin substrat*. India. Indian Institute Of Engineering Science And Technology. Department Of Electronics And Telecomm Engineering.
- Sun, LiangKui et al.2012. *Broadband metamaterial absorber based on coupling resistive frequency selective surface*. Optical Society of America
- Susanto, Heri Agus, Eko Setijadi and Puji Handayani.2016.*Simulation Design of Triple Band Metamaterial Absorber for RADAR Cross Section Reduction*.IEEE COMNETSAT.
- Shater, Alizera and Davoud Zarifi.2016.*RADAR Cross Section of Microstrip Antenna Using Dual-Band Metamaterial Absorber*.Iran.School of Electrical and Computer Engineering.University of Tehran.
- Skolnik, Merrill Ivan.1981.*Introduction to RADAR systems (Second edition)*.McGRAW-HILL BOOK COMPANY.USA.

Tjia M. O. 1993. *Gelombang dan optik*. Jakarta: Debara.

Yohandri, Debi Rianto and Ananda Putra. 2017. *Study of Single Layer Radar Absorber Material (RAM) Based on Coconut Shell Activated Carbon*. Progress In Electromagnetics Research Symposium — Fall (PIERS — FALL). IEEE

Zhang, Hao, *et al.* 2014. *A Novel Dual-Band Metamaterial Absorber and Its Application for Microstrip Antenna*. Electromagnetics Research Letters, Vol. 44, 35-41.