

Rekayasa Antena Mikrostrip Persegi Panjang pada Radar Altimeter Menggunakan Metode Rekayasa Elektromagnetik Berbahan Dasar *Floral Foam*

Nurfiana¹, Hepi Ludyati²

¹ Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail: nurfiana214@gmail.com

² Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail: hepi.ludyati@polban.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan substrat dengan permitivitas tinggi dibutuhkan dalam miniaturisasi dimensi antena mikrostrip terutama bagi antena mikrostrip yang bekerja pada daerah frekuensi SHF. FR-4 Epoxy merupakan salah satu substrat alami yang memiliki permitivitas tinggi, yaitu berkisar dari 4,4 - 4,6. Substrat ini sangat mudah didapatkan di pasaran, namun sayang memiliki rugi-rugi yang cukup besar. Penelitian ini mengusulkan penggunaan *floral foam* yang memiliki rugi-rugi rendah untuk menggantikan penggunaan FR-4 Epoxy sebagai substrat pada antena mikrostrip persegi panjang. Antena mikrostrip dirancang bekerja pada rentang frekuensi 4200-4500 MHz. Untuk meningkatkan nilai permitivitas, *floral foam* dimodifikasi dengan memasang sejumlah kawat-kawat konduktor tipis menembus permukaan *floral foam* menggunakan metode rekayasa elektromagnetik. Pada kasus ini, *floral foam* disebut sebagai *host material*. Distribusi amplitudo maksimum dari mode *Transverse Magnetic*₂₁ atau biasa disebut TM₂₁ dijadikan referensi untuk penempatan kawat-kawat konduktor di atas permukaan *host material*. Sebagai pembandingan, direalisasikan pula antena mikrostrip persegi panjang konvensional berbahan substrat *floral foam* tanpa modifikasi. Dari hasil pengukuran diperoleh bahwa kawat-kawat konduktor dengan diameter 1 mm dan berjumlah 12 buah pada konfigurasi mode TM₂₁, telah berhasil memperkecil ukuran panjang antena mikrostrip persegi panjang konvensional sebesar 19,5 % pada frekuensi tengah 4360 MHz serta mengalami kenaikan nilai permitivitas dielektrik dari 1,25 menjadi 2,21.

Kata Kunci

Floral foam, artificial, transverse magnetic, host material, permitivitas.

1. PENDAHULUAN

Menurut peraturan *Internasional Telecommunication Union* atau biasa disingkat ITU pasal 1.108 radar altimeter adalah peralatan radio navigasi pesawat terbang atau pesawat ruang angkasa yang digunakan untuk menentukan ketinggian atau jarak vertikal dari pesawat ke permukaan tanah atau ke permukaan laut. Untuk memaksimalkan kinerja radar altimeter, dibutuhkan antena yang mampu menghasilkan pola radiasi *unidireksional* dengan *gain* yang tinggi serta *bandwidth* yang lebar. Untuk mendapatkan pola radiasi *unidireksional*, biasanya digunakan antena *horn*, namun antena *horn* memiliki kekurangan yaitu ukurannya yang besar. Salah satu solusinya adalah dengan menggunakan antena mikrostrip. Antena mikrostrip dipilih karena antena mikrostrip mendukung polaritas linear dan sirkular, pabrikan yang mudah dan relatif terjangkau karena menggunakan material elektromagnetik yang tersedia di alam. Akan tetapi, material elektromagnetik murni yang ada di alam ini memiliki keterbatasan karakteristik [1].

Salah satu solusi yang diusulkan oleh para peneliti di bidang elektromagnetik adalah mengganti substrat dielektrik natural dengan substrat buatan atau yang dinamakan material dielektrik artifisial. Substrat ini tidak dibuat dengan proses kimiawi, akan tetapi dibuat melalui proses elektromagnetisasi [2]-[4]. Metoda yang diusulkan sangat sederhana, yaitu dengan menambahkan kawat-kawat tipis yang mana pemasangannya tidak memerlukan proses *etching*. Kawat-kawat tipis dipasangkan manual pada permukaan substrat natural yang disebut sebagai *host material* ditembuskan ke struktur dalam dari *host material*. Kawat-kawat konduktor tersebut diposisikan searah dengan arah vektor polarisasi dari medan listrik pada antena mikrostrip persegi panjang. Peningkatan nilai permitivitas akan terjadi manakala kawat-kawat tersebut diletakkan pada posisi intensitas medan listrik yang kuat dari suatu mode *Transverse Magnetic* (TM) atau *Transverse Electric* (TE).

Pada penelitian, sebaran medan listrik dengan intensitas kuat pada mode TM_{21} digunakan sebagai referensi penempatan kawat-kawat konduktor tipis. Hal ini dikarenakan secara konfigurasi, sebaran intensitas medan listrik yang kuat pada mode ini sangat mudah direalisasikan. Efek peningkatan nilai permitivitas secara artifisial pada dimensi antenna akan dianalisis. Jumlah kawat-kawat konduktor tipis yang akan disisipkan berjumlah 12 buah. Untuk melihat prosentase pengecilan dimensi antenna mikrostrip berbahan substrat *floral foam* termodifikasi yang pada penelitian ini diberi istilah antenna mikrostrip artifisial, dirancang pula antenna mikrostrip persegi panjang berbahan *floral foam* alami yang mana pada penelitian ini dinamakan antenna mikrostrip konvensional. Perbandingan dimensi antenna mikrostrip artifisial dengan antenna mikrostrip konvensional dibandingkan.

2. MATERIAL DIELEKTRIK ARTIFISIAL

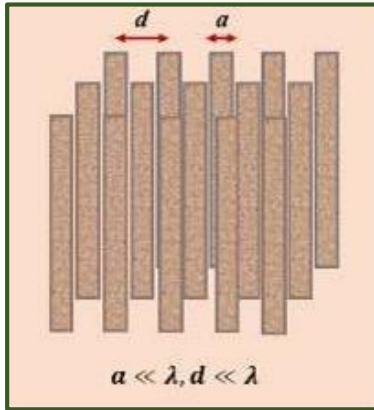
Material dielektrik merupakan salah satu material elektromagnetik yang sering digunakan sebagai material pada perangkat-perangkat telekomunikasi. Sifat utama material dielektrik adalah sebagai insulator, yang mana sifat ini identik dengan keberadaan elektron-elektron terikat, oleh karena itu insulator disebut pula sebagai pengikat muatan-muatan listrik [5]. Ketika material dielektrik dikenai medan listrik eksternal, respon yang terjadi dinamakan fenomena polarisasi. Fenomena polarisasi ini merupakan pergerakan elektron-elektron tidak bebas (*bounded electrons*) pada dielektrik sebagai reaksi terhadap medan listrik eksternal. Hasil akhir polarisasi adalah terjadinya pengkutuban antara muatan-muatan listrik positif dan negatif mengikuti pola tertentu secara berkelompok [5]. Kondisi ini memunculkan sifat khas material dielektrik yaitu menyimpan energi listrik. Semakin kuat sifat dielektrik, semakin kuat material ini mengikat muatan-muatan listrik dan hal ini akan menimbulkan semakin tinggi energi listrik yang disimpan material. Kuat lemahnya sifat dielektrik dinyatakan dengan parameter permitivitas dan susceptibilitas *electric* [6].

Material elektromagnetik lain adalah konduktor. Berbeda dengan material dielektrik, material konduktor memberikan reaksi terhadap medan listrik eksternal berupa pergerakan elektron-elektron bebas dari satu titik ke titik lain dalam konduktor secara konstan dan cepat [7]. Pergerakan ini sangat dipengaruhi oleh kekuatan sifat konduktor yang dinyatakan dengan parameter konduktivitas. Pergerakan elektron-elektron bebas dalam konduktor ini menimbulkan rapat arus konduksi. Jika dimensi konduktor ditetapkan dalam ukuran-ukuran yang sangat kecil, maka ketika konduktor dikenai medan listrik eksternal elektron-elektron tidak akan bisa bergerak bebas. Semakin kecil ukuran-ukuran konduktor maka semakin sulit elektron-elektron bergerak, yang menyebabkan seolah-olah elektron-elektron tersebut diikat oleh konduktor-konduktor yang terbatas ukurannya. Sifat ini mirip seperti sifat dielektrik, sehingga secara makroskopik, konduktor-konduktor dengan dimensi yang sangat kecil sudah berubah menjadi material

dielektrik yang mana di bidang elektromagnetika dinamakan material dielektrik artifisial [6].

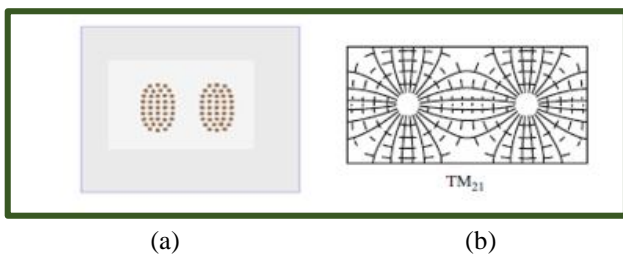
Seperti halnya kita ketahui, material dielektrik merupakan salah satu material elektromagnetik yang sering digunakan sebagai material pada perangkat-perangkat telekomunikasi]. Sifat utama material dielektrik adalah sebagai insulator, yang mana sifat ini identik dengan keberadaan elektron-elektron terikat, oleh karena itu insulator disebut pula sebagai pengikat muatan-muatan listrik [8]. Ketika material dielektrik dikenai medan listrik eksternal, respon yang terjadi dinamakan fenomena polarisasi. Fenomena polarisasi ini merupakan pergerakan elektron-elektron tidak bebas (*bounded electrons*) pada dielektrik sebagai reaksi terhadap medan listrik eksternal. Hasil akhir polarisasi adalah terjadinya pengkutuban antara muatan-muatan listrik positif dan negatif mengikuti pola tertentu secara berkelompok [9]. Kondisi ini memunculkan sifat khas material dielektrik yaitu menyimpan energi listrik. Semakin kuat sifat dielektrik, semakin kuat material ini mengikat muatan-muatan listrik dan hal ini akan menimbulkan semakin tinggi energi listrik yang disimpan material. Kuat lemahnya sifat dielektrik dinyatakan dengan parameter permitivitas dan susceptibilitas *electric* [10].

Pada Gambar 1 diperlihatkan contoh konfigurasi strip-strip konduktor pada material dielektrik artifisial. Jarak antar strip-strip dan lebar strip-strip disimbolkan masing-masing dengan d dan a , yang mana kedua dimensi ini lebih kecil dari dimensi panjang gelombang. Keunikan lain dari karakteristik material dielektrik artifisial adalah kemampuan elektron-elektron di dalamnya berpolarisasi mengikuti arah kedatangan medan listrik. Hal ini memberikan fakta bahwa pada material artifisial, memungkinkan dibangkitkan harga permitivitas yang merupakan fungsi arah kedatangan medan listrik. Sifat permitivitas seperti ini dinamakan sifat anisotropik, yaitu permitivitas material berbeda di arah tertentu [9]. Eksplorasi karakteristik-karakteristik unik dari material dielektrik artifisial dengan permitivitas bersifat anisotropik baik secara teoritis maupun eksperimental diusulkan oleh I. Awai dkk [10]-[11].



Gambar 1 Contoh konfigurasi strip-strip konduktor[13]

Penelitian ini menggunakan metoda yang berbeda dengan I. Awai dkk. Metoda peningkatan nilai permitivitas dilakukan dengan menembuskan sejumlah kawat-kawat konduktor tipis tegak lurus permukaan *host material*. Peletakan kawat-kawat konduktor tipis tersebut mengacu kepada dimana letak intensitas medan listrik yang kuat dari distribusi medan TE (*transverse electric*) atau TM (*transverse magnetic*). Distribusi medan listrik yang dipilih adalah mode TM_{21} . Mode TM_{21} dipilih karena mudah dalam pemodelan dan realisasi. Selain itu dalam mode TM_{21} terdapat dua kutub yang memiliki medan listrik maksimum sehingga peningkatan nilai permitivitas dielektrik akan semakin besar. Mode tersebut diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Distribusi medan listrik dari mode TM_{21} , (a) realisasi penempatan kawat-kawat konduktor pada *host material* (b) posisi medan listrik terbesar pada mode TM_{21}

3. ANTENA MIKROSTRIP PERSEGI PANJANG

Penggunaan antenna mikrostrip untuk menggantikan antenna batang diteliti pertama oleh G. A. Deschamps pada tahun 1953 [12]. Antena mikrostrip yang diusulkan oleh Deschamps sangat sederhana, yaitu menggunakan *patch* persegi 1 elemen dan substrat berbahan RT/duroid R5880. Pengembangan selanjutnya dilakukan oleh R. E. Munson dan Mailloux, yang mana Munson mulai mengenalkan konsep susunan pada antenna mikrostrip dengan *patch* berbentuk

persegi [13] sedangkan Mailloux mengembangkan metoda penyusunan antenna mikrostrip [13].

Antena mikrostrip tergolong ke dalam antenna *planar*, yaitu antenna berbentuk bidang datar. Struktur dasar antenna mikrostrip terdiri dari 3 lapisan, yaitu elemen peradiator atau lebih dikenal dengan sebutan *patch*. Elemen ini ditempatkan di lapisan paling atas. Elemen peradiator terbuat dari material konduktor karena fungsinya untuk meradiasikan energi gelombang elektromagnetik ke ruang bebas dan menerima sebagian kecil energi gelombang elektromagnetik dari ruang bebas. Ukuran *patch* diatur sedemikian rupa sesuai frekuensi resonansi antenna mikrostrip. Bentuk *patch* bermacam-macam, selain persegi dapat pula berbentuk lingkaran, cincin, oval dan lain-lain. Dalam penelitian ini, menggunakan *patch* berbentuk persegi panjang.

Lapisan paling bawah dari antenna mikrostrip adalah *ground plane*. Lapisan ini terbuat dari material konduktor, karena berfungsi untuk menterminasi elektron-elektron yang berasal dari *patch*. Sedangkan lapisan kedua yang ditempatkan diantara *patch* dan *ground plane* adalah substrat[14]. Substrat terbuat dari material dielektrik alami yang memiliki nilai permitivitas tertentu. Umumnya substrat ini berbentuk PCB (*printed circuit board*), sehingga pemasangan *patch* dilakukan melalui proses elektromagnetisasi yang dinamakan *etching*. Penelitian ini mengusulkan substrat dielektrik alami diganti oleh substrat *floral foam* termodifikasi yang merupakan kategori material dielektrik artifisial.

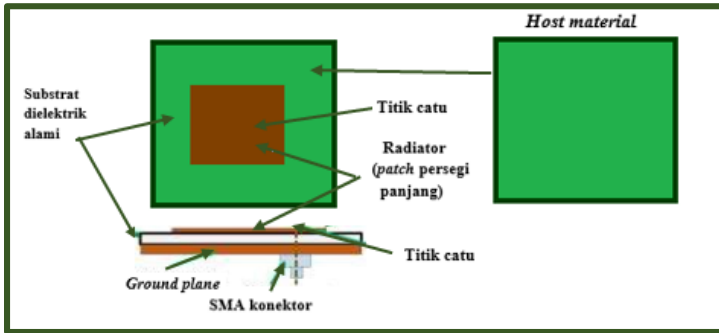
Struktur fisik dari antenna mikrostrip berbahan substrat *floral foam* konvensional dan artifisial masing-masing diperlihatkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Dari gambar ini terlihat perbedaan yang signifikan antara antenna mikrostrip persegi panjang konvensional dan artifisial yaitu terletak pada substrat yang disisipkan di antara lapisan *radiator* dan *ground plane*. Pada antenna artifisial terdapat sejumlah kawat-kawat tipis dipasangkan menembus permukaan *floral foam* alami dan menembus ke dalam *floral foam*, tanpa membuat hubung singkat *radiator* dengan *ground plane*. Antena mikrostrip konvensional dan artifisial diimplementasikan menggunakan beberapa material berikut ini :

- *Radiator (patch)* dan *ground plane* menggunakan lempengan konduktor dengan ketebalan 0,5 mm.
- Substrat berupa *floral foam* dengan ketebalan 7 mm (bekas limbah media tanam bunga). Untuk artifisial, digunakan kawat-kawat konduktor dengan diameter 1 mm.

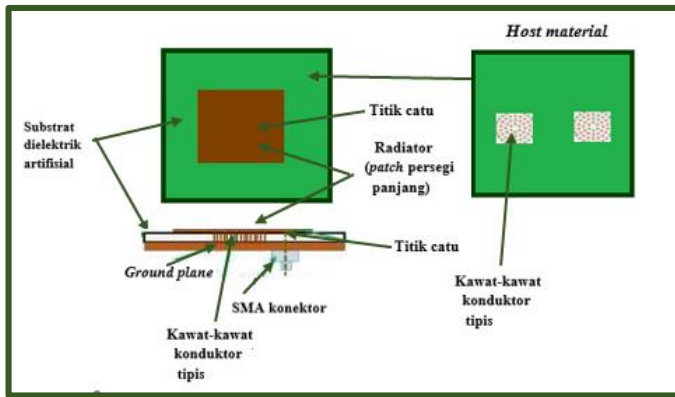
Bahan-bahan yang digunakan pada pembuatan antenna mikrostrip konvensional dan artifisial diperlihatkan pada Gambar 3.

PLAT TEMBAGA (PATCH DAN GROUNDPLANE)	FLORAL FOAM (SUBSTRAT)	KAWAT TEMBAGA (KONDUKTOR SILINDER)
		
PERMITIVITAS RELATIF(ϵ_r) : 1 PERMEABILITAS RELATIF : 0,99991 KETEBALAN : 0,5 mm	PERMITIVITAS RELATIF(ϵ_r) : 1,25 PERMEABILITAS RELATIF : 1 KETEBALAN : 7 mm	PERMITIVITAS RELATIF(ϵ_r) : 1 PERMEABILITAS RELATIF : 0,99991 KETEBALAN : 1 mm PANJANG KAWAT : 7 mm

Gambar 3. Bahan-bahan yang digunakan pada antenna mikrostrip konvensional dan artifisial



Gambar 4. Struktur fisik antenna mikrostrip persegi panjang konvensional



Gambar 5. Struktur fisik antenna mikrostrip persegi panjang artifisial

Mode gelombang yang digunakan pada antenna mikrostrip persegi panjang ini adalah mode TM_{21} . Berikut ini merupakan formulasi persamaan matematik untuk menghitung lebar dan panjang patch antenna mikrostrip persegi panjang yang dituliskan pada persamaan:

- Rumus mencari frekuensi resonansi

$$F_r = \frac{f_l + f_h}{2} \quad (1)$$

- Rumus mencari panjang gelombang

$$\lambda = \frac{c}{f_r} \quad (2)$$

- Rumus menghitung lebar *patch* antenna mikrostrip persegi panjang

$$w = \frac{V_0}{2f_r} X \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3)$$

- Rumus menghitung *patch* antenna mikrostrip persegi panjang

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} x \left(1 + 12 \frac{h}{w}\right)^{-1/2} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0,412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3)(w + 0,264)}{(\epsilon_{reff} - 0,258)(w + 0,8)} \quad (5)$$

$$L = \frac{\lambda}{2} - 2 \Delta L \quad (6)$$

- Rumus menghitung lebar dan panjang substrat dan *groundplane*

$$W_{substrat} = W_{patch} + 6h \quad (7)$$

$$L_{substrat} = L_{patch} + 6h \quad (8)$$

Dimana:

f_r = frekuensi resonansi

f_l = frekuensi bawah

f_h = frekuensi atas

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

λ = panjang gelombang

w = lebar *patch* (mm)

l = panjang *patch* (mm)

ϵ_r = permitivitas dielektrik

h = tinggi substrat (mm)

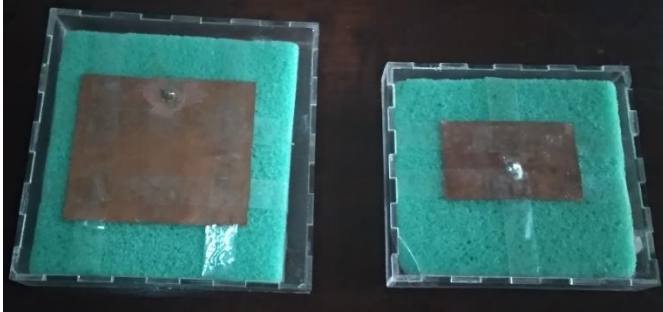
4. HASIL PENGUJIAN

Setelah melakukan perhitungan, antenna mikrostrip konvensional dan artifisial disimulasikan dengan menggunakan software HFSS 15.0. Tahap selanjutnya adalah merealisasikan antenna mikrostrip yang telah disimulasikan. Berikut merupakan tabel dimensi antenna konvensional dan artifisial yang telah direalisasikan.

Tabel 1 Dimensi antenna mikrostrip yang direalisasikan

Komponen	Antena Mikrostrip	
	Konvensional	Artifisial TM_{21}
w_{patch}	70 mm	53 mm
l_{patch}	59,5 mm	32 mm
$w_{substrat}$	96 mm	93 mm
$l_{substrat}$	100 mm	80,5 mm
Jumlah kawat	-	12 buah

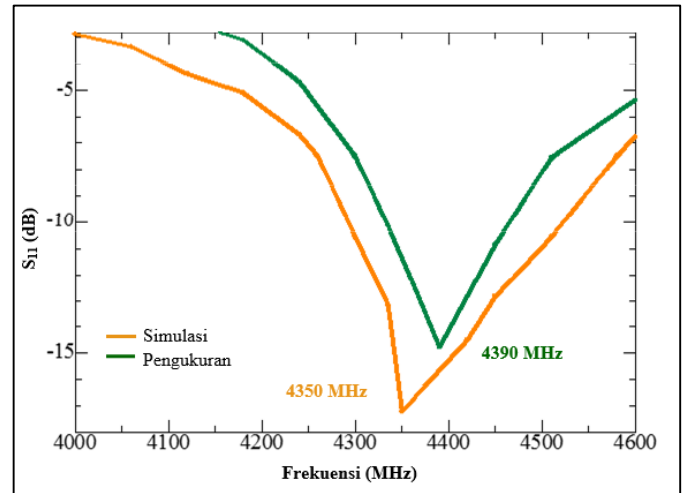
Berikut ini merupakan gambar antenna mikrostrip konvensional dan artifisial yang direalisasikan.



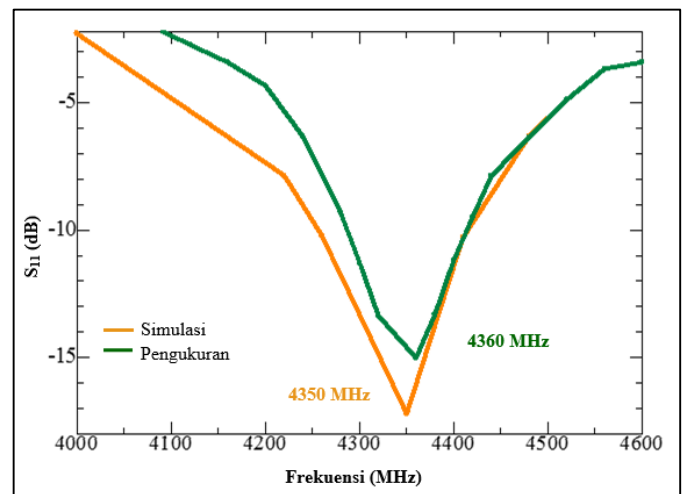
Gambar 6. Struktur fisik antenna mikrostrip persegi panjang konvensional dan artifisial yang direalisasikan

Dari gambar 6 terlihat perbedaan dimensi panjang dan lebar patch serta substrat antenna mikrostrip konvensional dan artifisial. Untuk beresonansi pada frekuensi 4350 MHz, antenna mikrostrip konvensional membutuhkan dimensi panjang substrat sebesar 100 mm dan lebar substrat sebesar 96 mm. Sedangkan antenna mikrostrip artifisial dengan mode gelombang TM_{21} hanya membutuhkan panjang substrat sebesar 80,5 mm dan lebar sebesar 93 mm dengan jumlah kawat-kawat berdiameter 1 mm sebanyak 12 buah telah ditambahkan pada substrat *floral foam* alami. Dengan demikian, penggunaan substrat artifisial yang berupa *floral foam* termodifikasi telah berhasil memperkecil dimensi panjang antenna mikrostrip konvensional sebesar 19,5% dan lebar antenna mikrostrip konvensional sebesar 3,125%. Dengan pengecilan dimensi ini, pembuatan antenna mikrostrip menjadi lebih ekonomis.

Pada pengujian ini, grafik S_{11} fungsi frekuensi untuk antenna mikrostrip konvensional dan antenna mikrostrip artifisial telah diukur dan dibandingkan. Grafik S_{11} fungsi frekuensi ini untuk melihat seberapa *match* antenna mikrostrip konvensional dan antenna mikrostrip artifisial dengan impedansi sistem untuk RF (*Radio Frequency*) sebesar 50Ω . Dari grafik S_{11} ini dapat diperoleh *bandwidth* -10dB bagi kedua antenna mikrostrip. Grafik S_{11} fungsi frekuensi untuk antenna mikrostrip konvensional dan artifisial masing-masing diperlihatkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Berdasarkan hasil pengukuran, penggunaan material dielektrik artifisial menghasilkan *gain* yang lebih tinggi dibandingkan *gain* antenna mikrostrip konvensional. Antenna mikrostrip persegi panjang konvensional memiliki *gain* sebesar 7,09 dBi, sedangkan antenna mikrostrip memiliki *gain* 5,71 dB lebih besar yaitu sebesar 12,8 dBi.

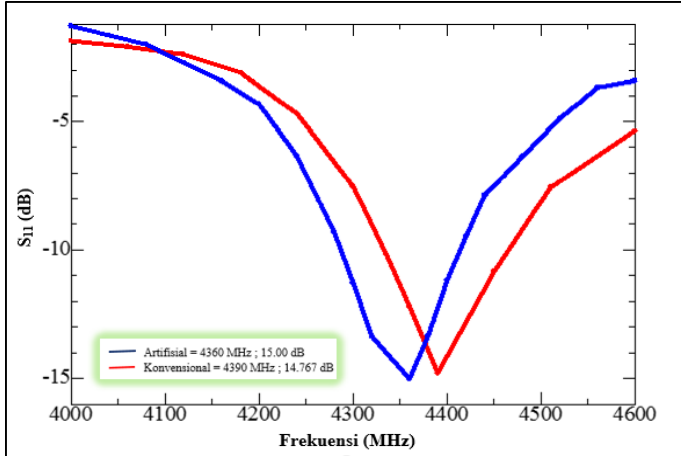


Gambar 7. Grafik S_{11} fungsi frekuensi untuk antenna mikrostrip konvensional



Gambar 8. Grafik S_{11} fungsi frekuensi untuk antenna mikrostrip artifisial

Dari gambar 7 dan gambar 8, frekuensi resonansi hasil pengukuran antenna mikrostrip konvensional dan artifisial sedikit bergeser dari hasil simulasi namun, masih dalam frekuensi kerja antenna mikrostrip untuk radar altimeter. Nilai *return loss* antenna mikrostrip konvensional dan artifisial hasil pengukuran lebih rendah dibandingkan dengan hasil simulasi dikarenakan kurangnya kepresisian tebal, lebar, dan panjang saat realisasi mengingat pemotongan dilakukan secara manual. Dari grafik terlihat bahwa *bandwidth* hasil pengukuran lebih sempit dibandingkan hasil simulasi. Grafik S_{11} antenna mikrostrip konvensional dan artifisial tersaji pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik S_{11} fungsi frekuensi untuk antenna mikrostrip konvensional dan artifisial

Antena mikrostrip artifisial memiliki frekuensi resonansi lebih match dibandingkan dengan antena mikrostrip konvensional. Antena mikrostrip artifisial memiliki frekuensi resonansi 4360 MHz dan return loss sebesar 15 dB, sedangkan antena mikrostrip konvensional memiliki frekuensi resonansi 4390 MHz dan return loss sebesar 14,767 dB. Penambahan kawat-kawat konduktor pada substrat floral foam mengakibatkan peningkatan nilai bandwidth sebesar 5% yaitu dari 119 MHz menjadi 125 MHz. Dari pengukuran ini juga dapat diketahui nilai *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) antena mikrostrip persegi panjang menggunakan persamaan:

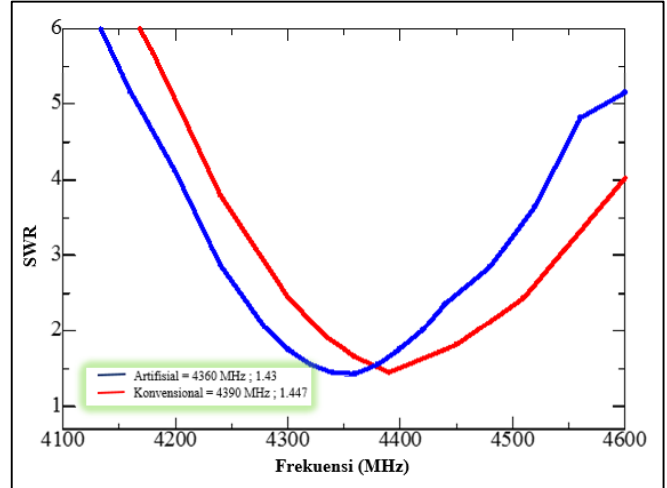
$$RL = -20 \log|\Gamma| \quad (9)$$

$$\Gamma = \frac{SWR+1}{SWR-1} \quad (10)$$

Sehingga,

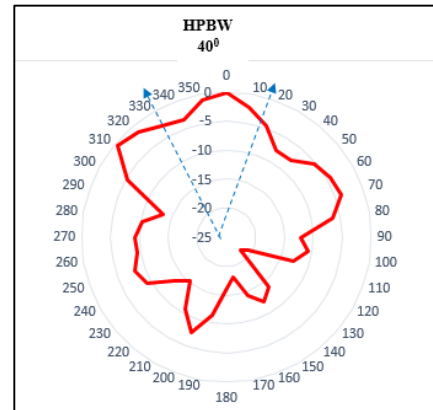
$$SWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (11)$$

Selain menggunakan persamaan (9)-(11), nilai vswr antena mikrostrip juga dapat diperoleh dari grafik hasil pengukuran seperti gambar 10. Nilai VSWR hasil perhitungan dan pengukuran memiliki nilai yang hampir sama, sehingga kita bisa menggunakan perhitungan maupun pengukuran untuk mencari nilai VSWR.

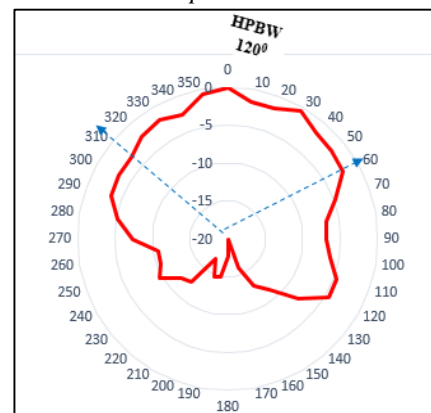


Gambar 10. Grafik vswr fungsi frekuensi untuk antenna mikrostrip konvensional dan artifisial.

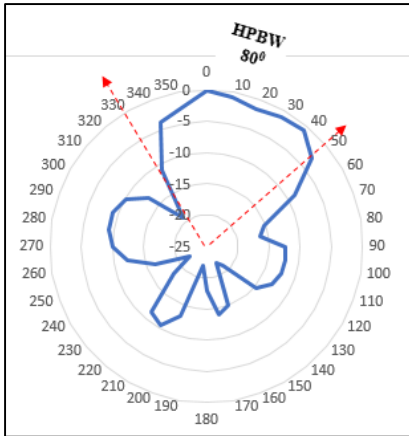
Pada antena mikrostrip konvensional dan artifisial dapat diketahui juga pola radiasi dan gain (penguatan) antena. Pola radiasi untuk antena mikrostrip yang bekerja pada radar altimeter, memiliki pola *unidireksional* dan membutuhkan *gain* yang tinggi seperti yang ditunjukkan pada gambar 11-14.



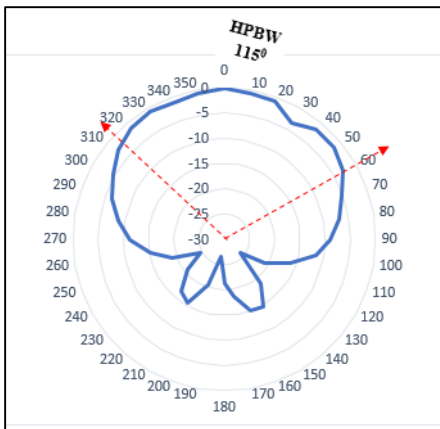
Gambar 11. Pola radiasi antena mikrostrip konvensional *Eplane1*



Gambar 12. Pola radiasi antenna mikrostrip konvensional
Eplane2



Gambar 13. Pola radiasi antenna mikrostrip artifisial *Eplane1*



Gambar 14. Pola radiasi antenna mikrostrip artifisial *Eplane2*

Pola radiasi antenna mikrostrip konvensional dan artifisial hasil pengukuran memiliki pola radiasi *unidireksional*. Antena *unidireksional* memiliki pola radiasi yang terarah karena memancarkan dan menerima sinyal dari satu arah dan dapat menjangkau jarak yang relatif jauh. Antena mikrostrip untuk radar altimeter juga harus diketahui nilai *Half Power Beam Width* (HPBW). HPBW adalah besarnya sudut berkas pancaran gelombang frekuensi radio utama (*main lobe*) yang dihitung pada titik 3 dB menurun dari puncak lobe utama. Nilai ideal HPBW antenna mikrostrip adalah sebesar 75° , sehingga pola radiasi yang mendekati ideal pada pengukuran saat *Eplane1*. Antena mikrostrip konvensional memiliki nilai HPBW sebesar 40° sedangkan antenna mikrostrip artifisial memiliki HPBW 80° .

Gain (*directive gain*) adalah karakter antenna yang terkait dengan kemampuan antenna mengarahkan radiasi sinyalnya, atau penerimaan sinyal dari arah tertentu. Antena mikrostrip yang bekerja pada radar altimeter membutuhkan *gain* yang besar. Nilai *gain* antenna dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$G_{test} = P_{test} - P_{ref} + G_{ref} \text{ dBi} \quad (12)$$

Dimana:

G_{test} = *gain* antenna yang diukur (dBi)

P_{test} = daya maksimum antenna yang diukur (dB)

P_{ref} = daya maksimum antenna referensi (dB)

G_{ref} = *gain* antenna referensi (dBi)

Dari hasil perhitungan, antenna mikrostrip konvensional memiliki *gain* sebesar 7,09 dBi, sedangkan antenna mikrostrip artifisial menggunakan mode gelombang TM_{21} memiliki *gain* 5,71 dB lebih besar yaitu sebesar 12,8 dBi. Tujuan lain penelitian ini adalah meningkatkan nilai permitivitas dielektrik bahan yang telah disisipi kawat-kawat konduktor. Untuk menghitung nilai permitivitas dielektrik baru bahan yang telah disisipi kawat menggunakan persamaan:

$$\frac{f_{r \text{ konvensional}}}{f_{r \text{ artifisial}}} = \frac{a^2 \sqrt{\epsilon_r \text{ artifisial}}}{a^1 \sqrt{\epsilon_r \text{ konvensional}}} \quad (13)$$

$$\frac{4390 \times 10^6}{4360 \times 10^6} = \frac{53 \sqrt{\epsilon_r \text{ artifisial}}}{70 \sqrt{1,25}}$$

$$1007 = \frac{53 \times \epsilon_r \text{ artifisial}}{70 \sqrt{1,25}}$$

$$1007 = \frac{53 \times \epsilon_r \text{ artifisial}}{78,262}$$

$$\epsilon_r \text{ artifisial} = 2,21$$

Jadi, nilai permitivitas dielektrik antenna artifisial sebesar 2,21.

5. KESIMPULAN

Pada makalah ini, Miniaturisasi dilakukan dengan mengganti substrat *floral foam* alami pada antenna mikrostrip persegi panjang konvensional dengan substrat material dielektrik artifisial. Substrat material dielektrik artifisial adalah *floral foam* alami yang telah dimodifikasi dengan cara ditambahkan kawat-kawat konduktor tipis menembus ke dalam *floral foam* alami. Kawat-kawat ini diletakan pada intensitas medan listrik yang kuat dari mode TM_{21} untuk meningkatkan permitivitas *floral foam*. Dari hasil pengukuran telah menunjukkan bahwa untuk beresonansi pada rentang frekuensi antara 4200 MHz- 4500 MHz, dimensi panjang antenna mikrostrip persegi panjang artifisial lebih kecil 19,5 % dari dimensi panjang antenna mikrostrip persegi panjang konvensional. Dari hasil ini, material dielektrik artifisial dapat dijadikan solusi untuk menggantikan antenna material dielektrik natural pada radar altimeter, karena penggunaan material dielektrik artifisial dapat memperkecil dimensi antenna serta antenna mikrostrip artifisial memiliki nilai HPBW lebih ideal hal itu menyebabkan peningkatan dalam kinerja radar altimeter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menghaturkan terimakasih kepada Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), karena telah memfasilitasi tempat dan alat untuk melakukan pengukuran hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. A. Balanis, dalam *Antenna Theory Analysis and Design 3rd Edition*, New Jersey, John Wiley and Sons Inc, 2005
- [2] Kubo, H., Mukai, T., Awai, I. dan Sanada, A. *Improvement of Q of artificial dielectric resonator in waveguide*. 34th European Microwave Conference, vol. 3, pp. 1217–1220.
- [3] McAllister, A. et al.. Rectangular dielectric resonator antennas. *Electronic Letters*. Vol. 19, pp. 219-220, March 1983.
- [4] Gianto, H., A. dan Munir, A. *Artificial Dielectric Material for Lowering Resonant Frequency of Microstrip Circular Patch Antenna*. 2015 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS) November 9-12, 2015.
- [5] Awai, I. *An Artificial Dielectric Material of a Huge Permittivity with Novel Anisotropy and Its Application to a Microwave BPF*. IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, Vol. 2, pp. 301–304, Philadelphia, PA, USA, Juni 2003.
- [6] Awai, I. Artificial Dielectric Resonators for Miniaturized Filters. *IEEE Microwave Magazine*, Okt. 2008, pp. 55–64.
- [7] Awai, I., Kubo, H., Iribe, T. dan Sanada, A. *Dielectric Resonator Based on Artificial Dielectrics and Its Application to a Microwave BPF*. 32nd European Microwave Conference Proc., Milan, Italy, Sept.2002, pp. 1045–1048.
- [8] Balanis, C., A. *Advance Engineering Electromagnetics*. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. 1938.
- [9] Kock, W. P. *Metalic Delay Lens*. *Bell System Technical Journal*. Vol. 34, pp. 58-82, 1948.
- [10] Kubo, H., Awai, I., Iribe, T., Sanada, A. dan Munir, A. Artificial dielectric composed of metal strips and calculation method of the permittivity and permeability. *IEEJ Trans. FM.*, vol. 123, no. 3, pp. 265–272, Mar. 2003.
- [11] Kubo, H., Iribe, T., Sanada, A. dan Awai, I. *An Artificial Dielectric Composed Metal Strips and Evaluation of Its Permittivity and Loss*. 2002 Asia-Pacipic Microwave Conference Proc., Kyoto, Jepang, Mar. 2003, pp. 265–272. (dalam bahasa Jepang).
- [12] A. A. Ramadian, “Desain Antena Mikrostrip Rectangular Gerigi untuk Radar altimeter,” Departemen Teknik Elektro, Universitas Trisakti , 2017.
- [13] H. Ludyati, A. B. Sukasmono dan A. Munir, “FDTD Method for Property Analysis of Waveguide Loaded Artificial Circular Dielectric Resonator with Anisotropic Permittivity,” dalam *PIERS Proceedings*, Shanghai, China, 2016.
- [14] Berry, “Aplikasi Antena pada Radar Pesawat Terbang,” Departemen Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Udayana, Bali, 2016.