

Realisasi Antena Mikrostrip Persegi Panjang Menggunakan Substrat FR4 Termodifikasi dengan Mode TM_{01} dan TM_{12} Pada Frekuensi Kerja Radar Altimeter Pesawat

Triyastika Amaliya¹, Hepi Ludyati²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung 40012
E-mail : ¹amaliyatr@gmail.com, ²hepi.ludyati@polban.ac.id

ABSTRAK

Radar Altimeter atau Radio Altimeter merupakan perangkat ketinggian yang mengukur jarak *vertical* pesawat ke permukaan tanah atau laut yang menggunakan gelombang elektromagnetik pada pesawat. Untuk memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik yang dipantulkan digunakan perangkat antena dari suatu objek pada frekuensi yang sama pada satu rentang frekuensi yaitu rentang frekuensi kerja radar altimeter 4200MHz-4400Mhz. Fokus pada penelitian ini terdapat pada material dielektrik FR4 murni yang akan dijadikan *substrate* pada antena dan dimodifikasi dengan memasang sejumlah kawat konduktor tegak lurus pada *host material* pada posisi medan listrik maksimum dari mode gelombang *Transverse Magnetic* yang dipilih. Modifikasi material dielektrik dengan menggunakan mode gelombang *Transverse Magnetic* bertujuan untuk memperkecil dimensi antena mikrostrip pada frekuensi yang diinginkan. Mode gelombang yang digunakan pada antena ini adalah mode TM_{01} dan TM_{12} pada *host material* FR4 persegi panjang. Modifikasi pada material dielektrik FR4 murni menghasilkan material dielektrik artifisial yang dapat digunakan untuk antena dan dapat bekerja pada frekuensi kerja radar altimeter dengan toleransi masing-masing spesifikasi antena dibawah 5%. Antena dengan material dielektrik termodifikasi dapat bekerja pada frekuensi tengah 4302 MHz untuk TM_{12} dan 4310 MHz untuk TM_{01} .

Kata Kunci: Antena Mikrostrip, Radar Altimeter, *Transverse Magnetic*

1. PENDAHULUAN

Antena merupakan suatu elemen penting yang harus ada pada sebuah alat komunikasi nirkabel ataupun perangkat yang berfungsi untuk memancarkan dan atau menerima gelombang elektromagnetik salah satunya pada RADAR (*Radio Detecting and Ranging*) Altimeter. Antena berfungsi untuk mengirim dan menerima gelombang radio pada rentang frekuensi sistem komunikasi pada radar altimeter. Antena yang disyaratkan pada sistem komunikasi radar altimeter selain kinerja berupa *return loss*, *bandwidth*, *gain*, pola radiasi dan polarisasi yang memenuhi syarat bagi komunikasi Radar Altimeter. Antena tersebut secara fisik harus memiliki massa ringan, dimensi kecil, dan memiliki sifat konformal yaitu sifat antena yang mudah dipasangkan dipermukaan dalam bentuk apapun. Dari persyaratan diatas salah satu jenis antena

yang memenuhi persyaratan tersebut adalah antena mikrostrip.

Konstruksi dasar antena mikrostrip terdiri dari 3 elemen, yaitu elemen peradiasi yang sering disebut dengan *patch*, elemen substrat, dan elemen *ground plane*. *Patch* dan *ground plane* terbuat dari bahan konduktor, sedangkan elemen substrat terbuat dari material dielektrik. Para peneliti Indonesia umumnya menggunakan *FR4-Epoksi* sebagai elemen substrat. Hal ini dikarenakan *FR4-Epoksi* berharga relatif murah dan mudah untuk didapatkan. Sayangnya, *FR4-Epoksi* memiliki rugi-rugi yang tinggi dan permitivitas terbatas pada rentang 4,4-4,6 [1]. Rugi-rugi yang tinggi pada substrat menyebabkan kemampuan antena untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke ruang bebas menjadi kecil, sedangkan nilai permitivitas terbatas

dari *FR4-Epoksi* menimbulkan kesulitan dalam miniaturisasi ukuran *patch*. Salah satu solusi yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan diatas yaitu menggunakan substrat *FR4-Epoksi* yang dimodifikasi melalui proses elektromagnetis dengan melakukan penggabungan beberapa sifat material elektromagnetik yang ada di alam, atau biasa disebut dengan material elektromagnetik artifisial [2].

Dari beberapa literatur terdapat beberapa penelitian yang membuat antena mikrostrip untuk radar altimeter pesawat. Salah satu antena yang dikembangkan oleh peneliti adalah desain antena mikrostrip untuk radar altimeter dengan bentuk segienam atau *hexagon* [3]. Dengan menggunakan software HFSS V.9, desain dibuat dengan substat R-Duroid. Antena heksagon tersebut berfungsi pada frekuensi 4.3 GHz dan 9,09 GHz yang keduanya dapat digunakan untuk radar dan komunikasi satelit.

Selain antena heksagon tersebut, terdapat juga antena mikrostrip lingkaran atau *circular* untuk radar altimeter [4]. Dibuat dari empat buah antena mikrostrip lingkaran

2. PEMBAHASAN

2.1 Perancangan Antena Mikrostrip Artifisial

Pada awal proses perancangan ditentukan spesifikasi teknis yang hendak dicapai dari antena mikrostrip yang akan dibuat.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis

No	Spesifikasi	Keterangan
1.	Frekuensi Kerja	4200MHz - 4400 MHz
2.	<i>Bandwidth</i>	200 MHz
3.	Pola Radiasi	Unidireksional
4.	SWR	≤ 2
5.	<i>Gain</i>	≥ 5 dBi
6.	<i>Return loss</i>	≥ 10 dB
7.	Impedansi Sistem	50 Ω

dengan ukuran sama dan disusun dalam bentuk array. Antena tersebut disimulasikan dengan menggunakan HFSS dan Microwave office sehingga didapat frekuensi kerja 4,2 GHz dengan bandwidth 400 MHz.

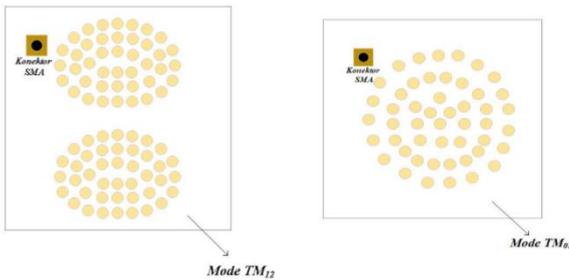
Pada pengembangannya terdapat juga antena mikrostrip *triangular* atau segitiga yang didesain menggunakan substrat FR-4 dan disimulasikan dengan HFSS V.13. Antena tersebut bekerja pada frekuensi 4,25GHz dengan bandwidth sebesar 100MHz [5]. Antena ini masih memiliki beberapa kekurangan karena pada antena ini memiliki rentang frekuensi kerja yang terbatas.

Pada penelitian ini berfokus pada keterbatasan pada nilai permitivitas yang menyebabkan kesulitan dalam meningkatkan kinerja antena mikrostrip. Sehingga pada penelitian antena yang diciptakan antena yang sesuai dengan karakteristik untuk radar Altimeter pesawat dengan dimensi yang kecil dan bandwidth yang lebar, dibuat dari bahan yang mudah didapatkan dan ekonomis dari segi pembatan karena dibuat secara *hand made* tanpa proses *etching*.

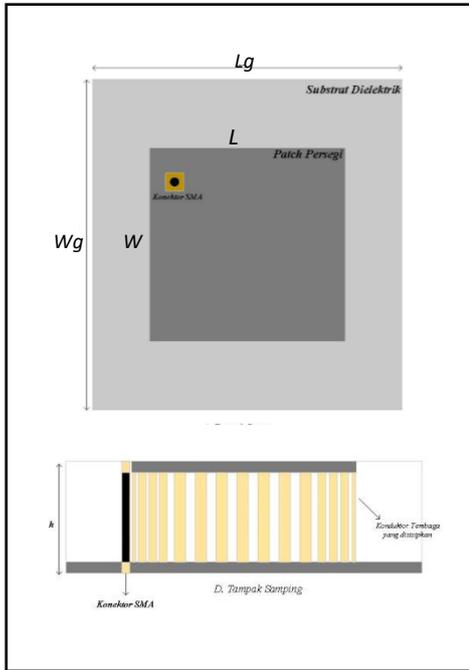
Spesifikasi teknik di atas bertujuan untuk menjadi acuan pada perhitungan yang akan dilakukan untuk menentukan dimensi antena. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus-rumus antena mikrostrip.

2.1.1 Penentuan Dimensi Antena

Penentuan dimensi antena dilakukan dengan melalui dua proses yaitu proses perhitungan yang dapat dijadikan nilai dimensi acuan untuk proses simulasi dan proses simulasi yang hasilnya dijadikan acuan pada proses realisasi.



Gambar 1. Konfigurasi material dielektrik Artifisial



Gambar 2. Bentuk antenna dan keterangan dimensi

Modifikasi pada substrat berfokus pada pemanfaatan sifat-sifat elektromagnetis material dielektrik berupa pemilihan mode gelombang. Mode gelombang TM_{01} dipilih karena memiliki konfigurasi paling sederhana dan tidak memiliki variasi medan magnet dalam arah angular. Sedangkan mode gelombang TM_{12} dipilih karena memiliki arah gelombang yang juga sederhana dan terdapat 2 arah jalar pada medan magnet. Berikut merupakan konfigurasi mode gelombang TM_{01} dan TM_{12} .

Name	X	Y
m1	4.3000	-16.0784
m2	4.2439	-10.1056
m3	4.3474	-10.1549

ena dilakukan dengan rumus-rumus antenna sehingga didapat data sesuai dengan Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi Antena sesuai dengan Perhitungan

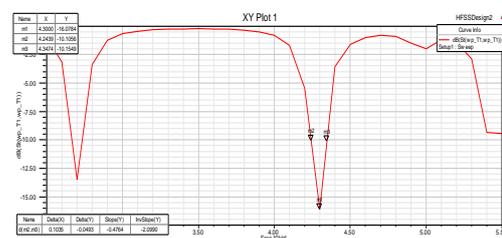
h	L	W	Lg	Wg
1.6 mm	13.778 mm	18.60 mm	23.778 mm	28.2 mm

Setelah dilakukan proses perhitungan, data yang didapat dijadikan acuan untuk merancang antenna di *software* simulator ANSOFT HFSS 15.0. Pada proses ini dilakukan optimasi berupa perubahan dimensi antenna, pemindahan titik catu, dan pengurangan/penambahan jumlah kawat untuk mendapatkan hasil yang paling mendekati spesifikasi yang diharapkan. Proses simulasi tersebut menghasilkan data seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.

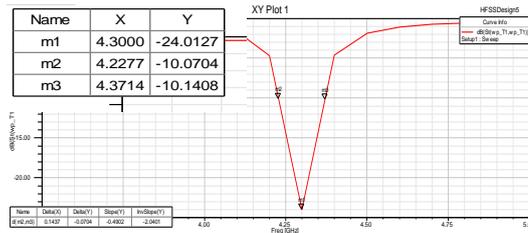
Tabel 3. Dimensi Antena Setelah Optimasi

Dimensi (mm)		Perhitungan	TM_{01}	TM_{12}
	h	1,6	1,6	1,6
	W patch	18,6	27,191	27,191
	L patch	13.778	20,624	20,624
	Wg	28,2	38,291	38,291
	Lg	23,778	31,724	31,724
	Jumlah Kawat	-	62	41
	Diameter Kawat	1mm	1mm	1mm

Tabel3. Menunjukkan proses optimasi yang dilakuakn berfungsi untuk mendapatkan nilai terdekat dari frekuensi kerja antenna untuk radar Altimeter pesawat. Berikut merupakan grafik S_{11} yang didapat dari simulasi setelah optimasi.



Gambar 3. Kurva S_{11} Antena Artifisial dengan Mode Gelombang TM_{01}

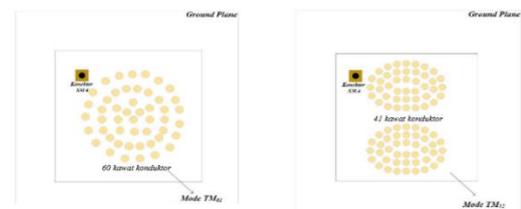
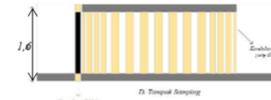
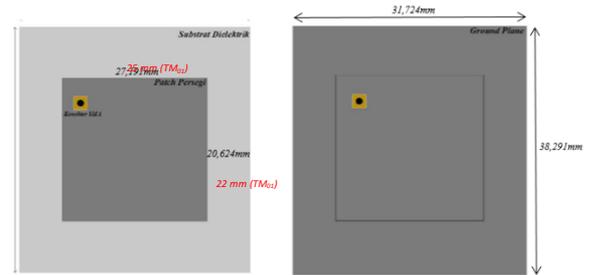


Gambar 4. Kurva S_{11} Antena Artifisial dengan Mode Gelombang TM_{12}

Hasil dari simulasi antena mikrostrip artifisial dengan mode gelombang TM_{01} menunjukkan antena mikrostrip bekerja pada frekuensi 4.3 GHz dengan frekuensi batas bawah pada 4.2439GHz dan frekuensi batas atas 4.3474Ghz dengan pencatutan *coaxial probe* yang berjarak -6 mm dari titik pusat. Hasil dari simulasi antena mikrostrip artifisial dengan mode gelombang TM_{12} menunjukkan antena mikrostrip bekerja pada frekuensi 4.3 GHz dengan frekuensi batas bawah pada 4.2277GHz dan frekuensi batas atas 4.3714 Ghz dengan pencatutan *coaxial probe* yang berjarak -4.5 mm dari titik pusat.

Coaxial Probe atau *probe feed* merupakan teknik pencatutan yang konduktor dalam konektor koaksial meluas melalui dielektrik dan disolder ke *radiating patch*, sedangkan konduktor luar terhubung ke *ground plane*. Keuntungan utama dari skema pencatutan jenis ini adalah bahwa pencatutan dapat ditempatkan pada setiap lokasi yang diinginkan di dalam *patch* untuk mencocokkan dengan impedansi input.

2.2 Realisasi Antena Mikrostrip Artifisial



Gambar 5. Bentuk antena yang akan direalisasikan

Pada realisasi antena mikrostrip artifisial dilakukan optimasi kembali pada dimensi *patch* antena dikarenakan hasil simulasi tidak selalu sama dengan hasil simulasi. Hal tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya nilai permitivitas ideal dan nilai permitivitas yang ada dipasaran tidak selalu sama.



Gambar 6. Antena Artifisial TM_{01} yang direalisasikan



Gambar 7. Antena Artifisial TM_{12} yang direalisasikan

Gambar 6 dan Gambar 7 memperlihatkan realisasi desain antena mikrostrip substrat FR4 termodifikasi dengan teknik pencatutan *coaxial probe* yang dibuat secara *hand made* tanpa proses *etching*.

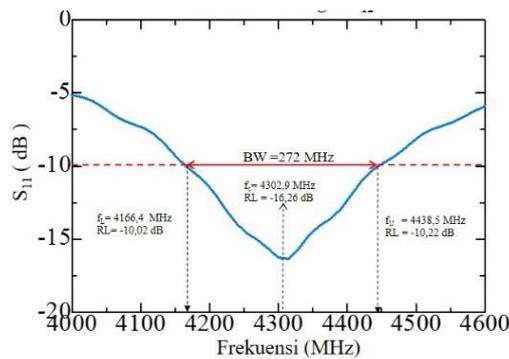
2.3 Pengukuran dan Analisa

Pengukuran pada antenna terdiri dari beberapa parameter yang diuji berdasarkan proses pengukuran dan alat ukur yang digunakan. Parameter antenna yang akan diukur antara lain:

2.3.1 Pengukuran Return Loss, Bandwidth, SWR

- TM_{12}

Berikut adalah hasil dari pengukuran *return loss* untuk antenna mikrostrip konvensional seperti yang ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Kurva Return Loss TM_{12} Sebelum diperbaiki

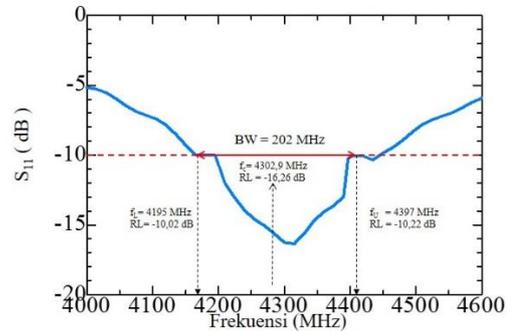
Pada Gambar 8 menunjukkan hasil pengukuran *return loss* dari antenna mikrostrip dengan material dielektrik konvensional. Pada gambar tersebut terdapat informasi dari frekuensi batas atas, frekuensi tengah, dan frekuensi batas bawah serta *bandwidth* dari antenna mikrostrip artifisial seperti yang ditunjukkan pada tabel 4

Tabel 4. Hasil pengukuran antenna mikrostrip artifisial dengan mode gelombang TM_{12}

	F (MHz)	RL (dB)
Frekuensi Bawah	4166	10,02
Frekuensi Tengah	4302,09	16,26
Frekuensi Atas	4438	10,22
Bandwidth	272 MHz pada $RL \geq 10$ dB	

Karena frekuensi batas atas dan batas bawah yang tidak memenuhi toleransi untuk spesifikasi parameter antenna yaitu sebesar 5% maka dilakukan perbaikan pada antenna mikrostrip artifisial TM_{12} . Perbaikan dilakukan dengan merapatkan jarak antara

patch dengan substrat dan substrat dengan *groundplane* menggunakan perekat tipis bening agar tidak mempengaruhi gain antenna. Setelah dilakukan perbaikan, didapatkan frekuensi batas atas, frekuensi tengah dan frekuensi batas bawah serta *bandwidth* dari antenna mikrostrip artifisial seperti yang ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Kurva Return Loss TM_{12} Setelah diperbaiki

Informasi mengenai frekuensi batas atas, frekuensi tengah dan frekuensi batas bawah serta *bandwidth* dari antenna mikrostrip artifisial seperti yang ditunjukkan pada tabel IV.4

Tabel 5. Hasil pengukuran antenna mikrostrip artifisial dengan mode gelombang TM_{12} setelah diperbaiki.

	F (MHz)	RL (dB)
Frekuensi Bawah	4195	10,02
Frekuensi Tengah	4302	16,26
Frekuensi Atas	4397	10,22
Bandwidth	202 MHz pada $RL \geq 10$ dB	

Dari hasil pengukuran yang telah didapatkan pada antenna mikrostrip dengan mode gelombang TM_{12} maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai SWR pada antenna mikrostrip artifisial yang menggunakan mode TM_{12} seperti yang perhitungan nilai SWR yang dilakukan pada antenna mikrostrip konvensional.

Perhitungan SWR dari antenna konvensional tersebut adalah sebagai berikut:

- Dengan $f_l = 4133$ MHz dan $RL = 10,02$

$$RL = -20 \log |\Gamma|$$

$$10,02 = -20\log|\Gamma|$$

$$|\Gamma| = 10^{\frac{10,02}{-20}} = 0,3$$

maka:

$$SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$\therefore SWR = \frac{1 + 0,3}{1 - 0,3} = 1,9$$

- Dengan $f_c = 4300 \text{ MHz}$ dan $RL = 16,26$

$$RL = -20\log|\Gamma|$$

$$16,26 = -20\log|\Gamma|$$

$$|\Gamma| = 10^{\frac{16,26}{-20}} = 0,153$$

maka:

$$SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$\therefore SWR = \frac{1 + 0,153}{1 - 0,153} = 1,36$$

- Dengan $f_u = 4330 \text{ MHz}$ dan $RL = 10,22$

$$RL = -20\log|\Gamma|$$

$$10,22 = -20\log|\Gamma|$$

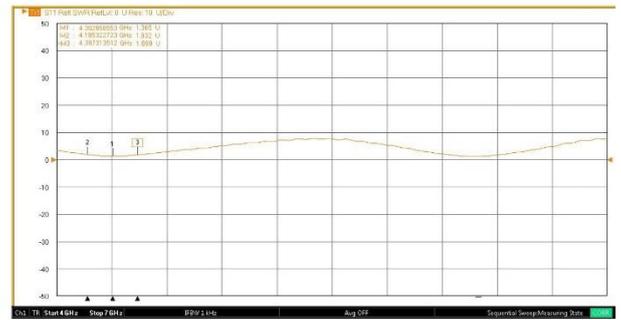
$$|\Gamma| = 10^{\frac{10,22}{-20}} = 0,307$$

maka:

$$SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$\therefore SWR = \frac{1 + 0,307}{1 - 0,307} = 1,8$$

Hasil perhitungan yang didapatkan selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan Anritsu *Vector Network Analyzer*. Hasil pengukuran ditunjukkan pada gambar IV.6



Gambar 10. Grafik SWR Antena Artifisial TM_{12} dengan Pengukuran

Pengukuran SWR yang dilakukan menunjukkan hasil yang sama dengan perhitungan SWR yang dilakukan seperti yang ditunjukkan pada tabel 6 nilai SWR yang didapat sudah sesuai dengan spesifikasi antenna yaitu $SWR \leq 2$.

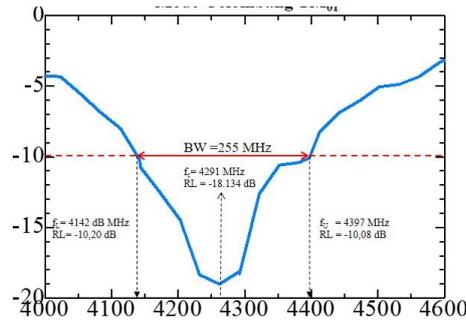
Tabel 6. Perbandingan nilai SWR antenna mikrostrip artifisial TM_{12}

	SWR (Perhitungan)	SWR Terukur
Frekuensi Bawah	1,9	1,9
Frekuensi Tengah	1,6	1,6
Frekuensi Atas	1,6	1,9

Pada antenna mikrostrip dengan material dielektrik FR4-Epoksi artifisial yang telah dilakukan modifikasi dengan memanfaatkan prinsip mode gelombang TM_{12} . Antena ini sudah memenuhi spesifikasi $SWR \leq 2$ dan $RL \geq 10 \text{ dB}$ dengan frekuensi tengah pada 4302 MHz yaitu bergeser sebesar 0,05% dan frekuensi batas atas (4397 MHz) dan frekuensi batas bawah (4195) yang juga bergeser $\leq 1\%$ sehingga antenna mikrostrip masih dapat bekerja pada range frekuensi kerja radar altimeter pesawat.

- TM_{01}

Berikut adalah hasil dari pengukuran *return loss* untuk antenna mikrostrip konvensional seperti yang ditunjukkan pada gambar 11.



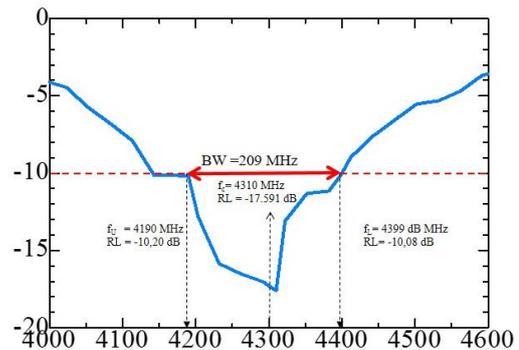
Gambar 11. Kurva *Return Loss* TM_{01} Sebelum diperbaiki

Informasi dari gambar 11 ditampilkan melalui tabel berikut ini:

Tabel 7. Hasil pengukuran antenna mikrostrip artifisial dengan mode gelombang TM_{01}

	F(MHz)	RL(dB)
Frekuensi Bawah	4142	10,20
Frekuensi Tengah	4291	18,134
Frekuensi Atas	4397	10,08
<i>Bandwidth</i>	255 MHz pada $RL \geq 10$ dB	

Pada gambar 11 ditunjukkan informasi mengenai rentang kerja frekuensi antenna artifisial dengan mode gelombang TM_{01} . Pada kurva *return loss* tersebut ditunjukkan nilai *bandwidth* dari antenna yang masih melebihi rentang nilai *bandwidth* pada antenna untuk radar altimeter pesawat sehingga perlu dilakukan perbaikan pada antenna artifisial dengan mode gelombang TM_{01} . Perbaikan pada antenna artifisial TM_{01} dilakukan dengan mengganti konektor SMA dengan *inner* yang lebih kecil dan juga merapatkan jarak diantara *patch*, substrat, dan *groundplane* yang dapat menimbulkan gap udara dan mempengaruhi *bandwidth* dari antenna mikrostrip artifisial dengan mode gelombang TM_{01} .



Gambar 12. Kurva *Return Loss* TM_{12} Setelah diperbaiki

Perbaikan yang dilakukan pada antenna mikrostrip dengan material dielektrik artifisial menghasilkan nilai *bandwidth* yang lebih sempit 18% dibandingkan dengan antenna mikrostrip artifisial dengan menggunakan mode gelombang TM_{01} yang dibuat sebelumnya. Frekuensi batas bawah dan frekuensi batas yang didapat berada pada 5% toleransi untuk parameter antenna yang dibuat. Informasi mengenai data yang ditunjukkan pada kurva di gambar 12 disajikan dalam tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengukuran antenna mikrostrip artifisial dengan mode gelombang TM_{01} setelah diperbaiki

	F(MHz)	RL(dB)
Frekuensi Bawah	4190	10,20
Frekuensi Tengah	4310	17,59
Frekuensi Atas	4399	10,08
<i>Bandwidth</i>	209 MHz pada $RL \geq 10$ dB	

Dari hasil pengukuran yang telah didapatkan pada antenna mikrostrip dengan mode gelombang TM_{01} maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai SWR pada antenna mikrostrip artifisial yang menggunakan mode TM_{01} seperti yang perhitungan nilai SWR yang dilakukan pada antenna mikrostrip konvensional.

Perhitungan SWR dari antenna konvensional tersebut adalah sebagai berikut:

- Dengan $f_l = 4133 \text{ MHz}$ dan $RL = 10,20$

$$RL = -20\log|\Gamma|$$

$$10,20 = -20\log|\Gamma|$$

$$|\Gamma| = 10^{\frac{10,20}{-20}} = 0,3$$

maka:

$$SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$\therefore SWR = \frac{1 + 0,3}{1 - 0,3} = 1,9$$

- Dengan $f_c = 4300 \text{ MHz}$ dan $RL = 17,59$

	SWR (Perhitungan)	SWR Terukur
Frekuensi Bawah	1,9	1,9
Frekuensi Tengah	1,3	1,3
Frekuensi Atas	1,6	1,9

$$RL = -20\log|\Gamma|$$

$$17,59 = -20\log|\Gamma|$$

$$|\Gamma| = 10^{\frac{17,59}{-20}} = 0,131$$

maka:

$$SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$\therefore SWR = \frac{1 + 0,139}{1 - 0,139} = 1,3$$

- Dengan $f_u = 4330 \text{ MHz}$ dan $RL = 10,22$

$$RL = -20\log|\Gamma|$$

$$10,25 = -20\log|\Gamma|$$

$$|\Gamma| = 10^{\frac{10,25}{-20}} = 0,3$$

maka:

$$SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$\therefore SWR = \frac{1 + 0,3}{1 - 0,3} = 1,9$$

Hasil perhitungan yang didapatkan selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan Anritsu *Vector Network Analyzer*. Hasil pengukuran ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 13. Kurva SWR Antena Mikrostrip Artifisial TM_{01}

Maka perbandingan nilai SWR pada saat pengukuran dan hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 9.

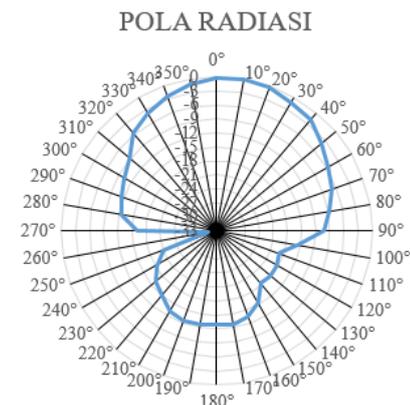
Tabel 9. Perbandingan nilai SWR antena mikrostrip artifisial TM_{01}

Pada antena mikrostrip dengan material dielektrik FR4-Epoksi artifisial yang telah dilakukan modifikasi dengan memanfaatkan prinsip mode gelombang TM_{01} . Antena ini sudah memenuhi spesifikasi $SWR \leq 2$ dan $RL \geq 10 \text{ dB}$ dengan frekuensi tengah pada 4310 MHz yaitu bergeser sebesar 0.2% dan frekuensi batas atas (4399 MHz) dan frekuensi batas bawah (4190) yang juga bergeser $\leq 1\%$ sehingga antena mikrostrip masih dapat bekerja pada range frekuensi kerja radar altimeter pesawat dengan *bandwidth* yang masih ada pada batas toleransi spesifikasi antena yaitu 5%.

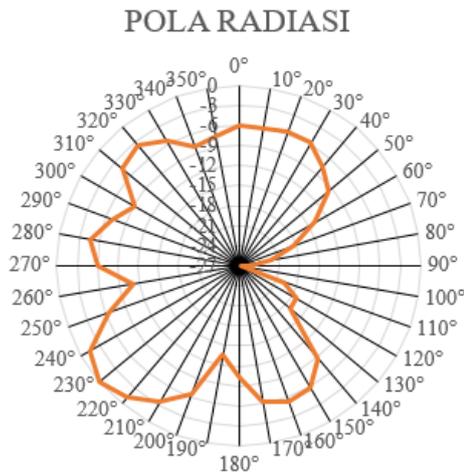
2.3.2 Pengukuran Pola Radiasi

a. TM_{12}

H-(Plane)

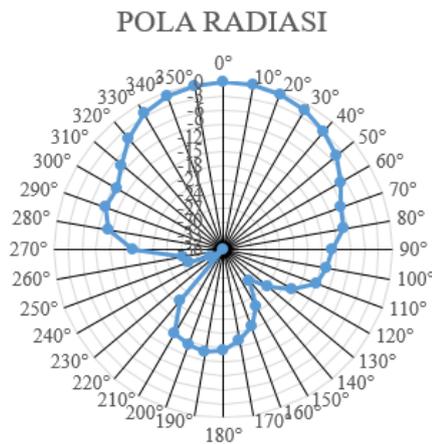


E-Plane

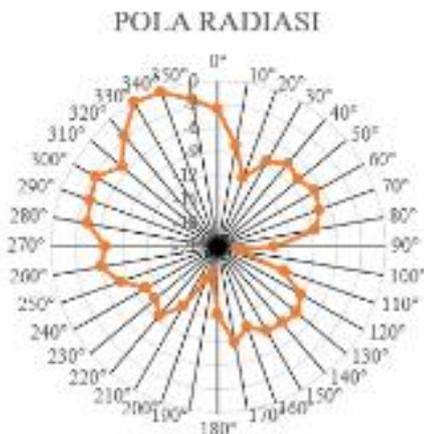


c. TM₀₁

H-Plane



E-Plane



Berdasarkan hasil pengukuran pola radiasi yang dilakukan pada masing-masing antenna. Antena mikrostrip dengan material dielektrik artifisial pada bidang H-Plane

maupun E-Plane didapatkan perbandingan yang tidak terlalu signifikan. Pola radiasi pada antena terukur pada antena dengan dielektrik artifisial sama-sama memiliki pola radiasi unidireksional yaitu pola radiasi yang hanya mengarah pada satu arah saja. Hal tersebut ditandai dengan satu main lobe yang besar juga beberapa side lobe yang tidak sempurna yang diakibatkan oleh faktor-faktor pantulan saat melakukan pengukuran pola radiasi.

Pola radiasi pada bidang H-Plane dan E-Plane memiliki bentuk yang cenderung sama dengan level daya maksimum yang berbeda-beda. Pada pengukuran yang telah dilakukan level daya maksimum yang diterima saat bidang E-Plane lebih kecil daripada level daya maksimum yang diterima pada bidang H-Plane.

2.3.3 Pengukuran Gain

Antena mikrostrip terukur yang akan dihitung *gain*-nya berupa antena mikrostrip dengan substrat FR4-Epoksi dengan material dielektrik konvensional maupun artifisial yang bekerja pada frekuensi tengah 4300MHz sedangkan antena referensi yang digunakan berupa *broadband horn antenna* yang bekerja pada frekuensi 1-18GHz. Berikut merupakan hasil pengukuran level daya maksimum pada setiap antena.

Tabel 10. Hasil pengukuran level daya maksimum

Antena	Level daya maksimum (dBm)	
	H-Plane	E-Plane
TM ₁₂	-40,15	-51,69
TM ₀₁	-41,17	-55,54
Referensi	-49,6	-46,5

1) Artifisial mode gelombang TM₁₂

- H-Plane

$$G_{test} = P_{test} - P_{ref} + G_{ref} \text{ dBi}$$

$$G_{test} = -40,15 - (-49,6) + 9.5 \text{ dBi}$$

$$G_{test} = 19 \text{ dBi}$$

- E-Plane

$$G_{test} = P_{test} - P_{ref} + G_{ref} \text{ dBi}$$

$$G_{test} = -51,69 - (-46,5) + 9,5 \text{ dBi}$$

$$G_{test} = 4,3 \text{ dBi}$$

2) Artifisial mode gelombang TM₀₁

- *H-Plane*

$$G_{test} = P_{test} - P_{ref} + G_{ref} \text{ dBi}$$

$$G_{test} = -41,17 - (-49,6) + 9,5 \text{ dBi}$$

$$G_{test} = 17,9 \text{ dBi}$$

- *E-Plane*

$$G_{test} = P_{test} - P_{ref} + G_{ref} \text{ dBi}$$

$$G_{test} = -55,54 - (-46,5) + 9,5 \text{ dBi}$$

$$G_{test} = 0,5 \text{ dBi}$$

Pada pengukuran *gain*, antena mikrostrip yang memiliki gain terbesar yaitu antena mikrostrip artifisial dengan mode gelombang TM₁₂ yaitu sebesar 19dBi . Pengukuran *gain* ini dibantu dengan antena referensi berupa *broadband horn antenna* yang memiliki *gain* sebesar 9,5dBi. Berikut merupakan tabel perbandingan *gain* pada antena mikrostrip dengan material artifisial. Hal ini menunjukkan saat antena diradiasikan dengan bidang H-Plane maka nilai *gain* yang didapat sudah sesuai dengan spesifikasi teknis yang diharapkan yaitu lebih dari 5dBi.

Tabel 11. Tabel perbandingan hasil pengukuran gain.

Antena	Level daya (dBi)	
	H-Plane	E-Plane
TM ₁₂	19	4,3
TM ₀₁	17,9	0,5

3. KESIMPULAN

Antena mikrostrip patch persegi dengan material dielektrik berupa FR4 yang dimodifikasi dengan teknik pencatutan *coaxial probe* sudah dapat bekerja pada frekuensi kerja radar altimeter pesawat yaitu 4200MHz-4400MHz dengan toleransi pergeseran frekuensi dibawah 5% dan toleransi pelebaran bandwidth tidak lebih dari 5%. Antena mikrostrip

artifisial dengan mode gelombang TM₁₂ yang disisipi kawat sebanyak 42 buah bekerja pada frekuensi tengah 4302MHz dengan RL 16,26 dan nilai SWR 1,6 dengan besar gain 19 dBi . Memiliki bandwidth 202 MHz yang bekerja pada rentang frekuensi 4195MHz-4397MHz. Sedangkan, Antena mikrostrip artifisial dengan mode gelombang TM₀₁ yang disisipi kawat 61 buah bekerja pada frekuensi tengah 4310MHz dengan RL 17,59 dan nilai SWR 1,3 dengan besar gain 17,9dBi. Memiliki bandwidth 209 MHz yang bekerja pada rentang frekuensi 4190MHz-4399MHz. Keduanya memiliki pola radiasi unidireksional. Antena ini sudah dapat diimplementasikan. Akan tetapi diperlukan juga perbaikan agar pola radiasi yang didapat semakin sesuai dengan kebutuhan radar Altimeter pesawat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang telah menyediakan peralatan untuk proses pengukuran dan Politeknik Negeri Bandung yang telah menyelenggarakan seminar IRWNS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1 T. Sianturi, F. R. dan H. Ali, “Studi
] Perbandingan Parameter- Parameter Primer
Antena Mikrostrip,” Konsentrasi Teknik
Telekomunikasi, Departemen Teknik
Elektro, Universitas Sumatera Utara,
Sumatera Utara.
- [2 A. Munir, “ Study of Artificial Dielectric
] Rectangular Resonator and Its
Applications,” Yamaguchi, Japan, 2015.
- [3 K. R. Devi, A. J. Rani dan A. M. Prasad,
] “Face Microstrip Antenna for Radar
Altimeter Application with Improved
Bandwith,” JNTU College of Engineering,
India, 2012.
- [4 A. Ketskar dan A. R. Dastkhosh, “Circular
] Microstrip Array band Antena for C-Band
Altimeter System,” Tabriz University, Iran,
2007.
- [5 A. Azizah, M. Baharudin dan E. Palantei,
] “Desain Antena Mikrostrip Triangular
untuk Radar Altimeter,” Universitas
Hasanudin, Makasar, 2013.
- [6 Wikipedia, “Antena (radio),” 23 November
] 2018. [Online]. Available:
[https://id.m.wikipedia.org/wiki/Istimewa:History/Antena_\(radio\)](https://id.m.wikipedia.org/wiki/Istimewa:History/Antena_(radio)). [Diakses 4 Februari
2019].
- [7 I. Kartika, “REALISASI ANTENA
] MIKROSTRIP LINGKARAN 1 ELEMEN
MENGUNAKAN PURWARUPA
MATERIAL ELEKTROMAGNETIK
INOVATIF BERBAHAN DASAR
AKRILIK DENGAN MODE TM01 DAN
TM11 PADA FREKUENSI 1800 MHZ,”
Bandung, 2018.
- [8 H. Ludyati, “Material Dielektrik Artifisial
] dengan Permittivitas Anisotropik dan
Penerapannya Pada Perangkat Gelombang
Mikro,” Bandung, 2018.