

Desain dan Realisasi Antena Mikrostrip *Patch* Persegi Susunan Linier dengan Teknik Pencatutan *Proximity Coupled* pada Frekuensi 4,3 GHz untuk Radio Altimeter Pesawat

Design and Realization Linear Array Rectangular Patch Microstrip Antenna with Proximity Coupled Feeding for Airplane Radio Altimeter at Frequency of 4.3 GHz

Yahya Syukri Amrullah^{a,*}, Arief Budi Santiko^a,

Bayu Heri Prabowo^b, dan Yuyu Wahyu^a

^aPusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

Komp LIPI Gd 20, Jl Sangkuriang 21/54D, Bandung 40135, Indonesia

^bProgram Studi Teknik Telekomunikasi, Universitas Telkom.

Jalan Telekomunikasi No. 1 Terusan Buah Batu, Bandung 40257, Indonesia

Abstrak

Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan, simulasi, dan realisasi antena mikrostrip *array* dengan catutan *proximity coupling* untuk aplikasi radio altimeter. Penentuan nilai dimensi antena dilakukan dengan menggunakan rumus-rumus antena mikrostrip. Nilai-nilai dimensi yang telah diperoleh kemudian disimulasikan dengan simulator elektromagnetik untuk memperoleh performansi yang dihasilkan. Selain itu, proses simulasi juga digunakan untuk mengoptimasi desain antena. Antena yang dirancang mampu bekerja pada frekuensi 4,3 GHz, dengan *return loss* < -10 dB, *VSWR* < 2, *bandwidth* 100 MHz, *gain* ≥ 9,25 dBi, pola radiasi *unidirectional*, dan polarisasi linier. Substrat yang digunakan adalah Rogers RT5880 yang memiliki permitivitas relatif sebesar 2,2 dan ketebalan sebesar 1,57 mm. Antena yang terealisasi bekerja pada frekuensi tengah 4,3 GHz yang menghasilkan *VSWR* 1,005, polarisasi elips, *gain* 13,46 dB, pola radiasi *unidirectional*, impedansi 50,113 - j228,123 mOhm, *return loss* -51,890 dB, dan *effective bandwidth* 286 MHz (4,175-4,461 MHz).

Kata kunci : antena susunan linear, *proximity coupled*, radio altimeter

Abstract

This research is aimed to design, simulate and realize a microstrip antenna array with a proximity coupling for the radio altimeter applications. Determination of antenna dimension value was conducted by using microstrip antenna formulas. The obtained dimension values, then, were simulated by electromagnetic simulator software to get its performance. Furthermore, the simulation is also used to optimize the antenna design. The Antenna was designed to work at frequency of 4.3 GHz, the return loss < -10 dB, VSWR < 2, a bandwidth of 100 MHz, gain ≥ 9.25 dBi, with unidirectional radiation pattern and linear polarization. The substrate used was Rogers RT5880 which has relative permittivity of 2.2 and thickness of 1.57 mm. The implemented antenna worked on center frequency of 4.3 GHz, VSWR of 1.005, elliptic polarization, gain of 13.46 dB, unidirectional radiation pattern, impedance of 50.113 - j228.123 mOhm, return loss of -51.890 dB, and effective bandwidth of 286 MHz (4.175-4.461 MHz).

Keywords: linear array antenna, proximity coupled, radio altimeter

I. PENDAHULUAN

Pengukuran ketinggian merupakan salah satu aktifitas pengukuran utama dalam dunia penerbangan. Pengukuran ketinggian ini dilakukan untuk mengukur ketinggian pesawat terbang, UAV dan kendaraan terbang lainnya. Untuk mengukur ketinggian, setiap kendaraan terbang dilengkapi dengan peralatan yang dinamakan altimeter. Altimeter menggunakan gelombang radio [1] yang ditembakkan ke arah permukaan bumi kemudian menerima kembali

gelombang pantulnya. Dengan membandingkan waktu sinyal yang dipancarkan dengan waktu sinyal pantul yang diterima, maka dapat diperoleh jeda waktunya sehingga ketinggian kendaraan terbang dapat ditentukan. Antena pengirim dan penerima pada perangkat ini biasanya dipisahkan [2]. Altimeter bekerja dalam rentang frekuensi 4,2 – 4,4 GHz yang berpusat pada 4,3 GHz [3]. Pada frekuensi ini, sangat dimungkinkan untuk mendesain antena altimeter dengan tipe mikrostrip *patch* yang berukuran kecil dan *low-profile*. Paper-paper yang membahas antena mikrostrip [4], [5] sudah banyak beredar mulai tahun 1981. Dalam paper lain [6] telah didesain antena mikrostrip *array* dengan bentuk *patch*-nya lingkaran pada substrat duroid dan dicatu oleh kabel koaksial 50 Ohm. Desain ini masih belum menghasilkan performa yang bagus pada VSWR, yaitu masih ≥ 1,2. Nilai VSWR tersebut

* Corresponding Author.

Email: yahya.syukri@gmail.com

Received: November 24, 2016; Revised: December 8, 2016

Accepted: December 8, 2016

Published: December 20, 2016

© 2016 PPET - LIPI

doi: 10.14203/jet.v16.33-39

mengindikasikan bahwa energi pada antena tidak teradiasikan dengan sempurna, sejumlah energi dipantulkan balik ke sisi sumber. Dalam paper berikutnya [7] telah didesain antena mikrostrip *array* 80 patch yang beroperasi pada frekuensi 1,26 GHz dengan *bandwidth* sebesar 20 MHz. Selain itu, *gain* yang dihasilkan sangat besar, yakni 21,5 dB, dan *beamwidth*-nya sebesar 106 derajat. Meskipun memiliki *gain* dan *beamwidth* yang memadai tetapi dimensi antena *array* ini mencapai $1,2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$. Ukuran dimensi yang sangat besar ini hanya cocok diaplikasikan pada altimeter pesawat terbang yang berukuran besar, jika diaplikasikan pada altimeter UAV yang berukuran kecil. Dalam paper yang lebih baru [8] telah dikembangkan sebuah antena yang kompak menggunakan dua substrat. Pada antena ini kedua substrat tersebut disusun bertumpuk sehingga antena yang dihasilkan semakin tebal, pabrikasinya lebih sulit dan membutuhkan lebih banyak biaya. Dalam paper yang lebih mutakhir [9] telah dikembangkan antena *patch* konformal untuk radar altimeter yang pemasangannya diletakkan di bawah pesawat antariksa. Antena ini memberikan *return loss* sebesar 14,85 dB pada frekuensi 4,3 GHz dan *gain* yang sangat rendah yaitu sekitar 1,362 dB di mana dengan performa seperti ini tidak mencukupi kebutuhan altimeter.

Penelitian ini dimaksudkan untuk merancang dan merealisasikan antena mikrostrip untuk aplikasi radio altimeter. Antena mikrostrip dipilih karena kelebihanannya yaitu memiliki masa yang ringan dan mudah untuk dipabrikan. Meskipun demikian, antena mikrostrip memiliki kelemahan yang terletak pada lebar *bandwidth* yang sempit dan nilai *gain* yang rendah [2], [10]. Tipe antena yang didesain adalah antena mikrostrip dengan *patch* berbentuk persegi yang disusun secara linear dengan pencatutan menggunakan *proximity coupling*. Perancangan antena dilakukan dengan menggunakan simulator antena.

II. PERANCANGAN, SIMULASI, DAN REALISASI ANTENA

Bagian ini menerangkan tiga tahapan penelitian, yaitu perancangan, simulasi dan realisasi antena. Tahap perancangan dilakukan untuk menentukan spesifikasi antena yang meliputi penentuan bentuk, dimensi, frekuensi kerja, *bandwidth*, pola radiasi, *gain* dan polarisasi yang dibutuhkan radio altimeter. Tahap simulasi untuk mengetahui nilai parameter-parameter antena dari hasil tahap perancangan. Pada tahap simulasi juga dilakukan optimasi desain antena. Setelah diperoleh desain antena yang optimum, kemudian merealisasikan desain antena menjadi antena yang sesungguhnya.

A. Perancangan

Beberapa parameter antena untuk keperluan altimeter yang harus dipenuhi adalah seperti dalam Tabel 1.

Bahan yang digunakan ada dua macam, yaitu tembaga dan Roger Duroid 5880. Tembaga digunakan untuk *patch* dan *groundplane*. Sedangkan roger duroid

5880 digunakan sebagai substrat antara *patch* dan *groundplane*. Spesifikasi kedua bahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 1
PARAMETER-PARAMETER ANTENA DAN NILAINYA

Parameter Antena	Nilai
Model antena	Mikrostrip linear array 1×4
Model <i>patch</i>	Kotak
Frekuensi kerja	4,25-4,35 GHz
VSWR	≤ 2
Pola radiasi	Unidirectional
Polarisasi	Linear
<i>Gain</i>	$\geq 10 \text{ dB}$
Impedansi	50 Ohm <i>unbalance</i>
<i>Bandwidth</i>	100 MHz

TABEL 2
SPESIFIKASI MATERIAL ANTENA

Material	Spesifikasi		
	Permittivitas relatif (ϵ_r)	Ketebalan	Rugi tangensial
Tembaga	1	0,035 mm	-
Roger duroid 5880	2,2	1,57 mm	0,0009

B. Simulasi

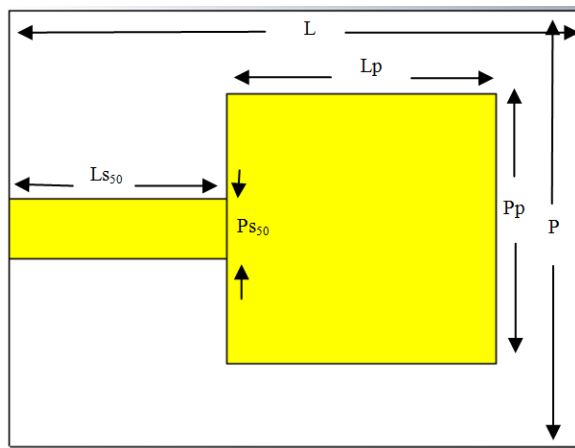
Setelah mengetahui hasil perhitungan dimensi antena, dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak untuk mendapatkan dimensi optimal suatu antena. Jika hasil desain dari perhitungan awal belum sesuai spesifikasi maka dilakukan optimasi dengan mengubah bentuk dan parameter antena. Optimasi dilakukan sampai mendapatkan dimensi antena yang optimum sesuai spesifikasi yang diharapkan. Sebelum merancang antena *array* 4 elemen mikrostrip terlebih dulu merancang antena *single patch* dan dioptimasi, kemudian dikembangkan menjadi 2 elemen mikrostrip dan dioptimasi, selanjutnya dirancang antena *array* 4 elemen. Proses ini dilakukan agar mempermudah dalam optimasi antena 4 elemen.

1) Simulasi Antena Satu-Elemen

Berdasarkan spesifikasi material dan nilai parameter-parameter antena yang telah ditetapkan pada Tabel 1 dan Tabel 2, dan dengan menggunakan rumus desain antena mikrostrip maka diperoleh desain awal seperti dalam Tabel 3 berikut.

TABEL 3
DIMENSI AWAL ANTENA

Dimensi Antena	Simbol	Nilai
Lebar <i>patch</i>	L_p	27,578 mm
Panjang <i>patch</i>	P_p	22,645 mm
Lebar <i>groundplane</i>	L	36,998 mm
Panjang <i>groundplane</i>	P	32,065 mm
Lebar saluran transmisi 50 Ohm	LS_{50}	4,900 mm
Panjang saluran transmisi 50 Ohm	PS_{50}	8,705 mm



Gambar 1. Desain Antena Satu Elemen.

Gambar 1 merupakan desain simulasi dari dimensi antena pada Tabel 3. Dari hasil simulasi diperoleh hanya nilai VSWR yang belum memenuhi kebutuhan, yaitu masih sebesar 4,7.

Agar memenuhi performa yang diinginkan, dimensi antena perlu dioptimasi yaitu dengan cara merubah nilai-nilainya. Dimensi antena satu-elemen yang telah dioptimasi adalah seperti yang terlihat pada Tabel 4.

TABEL 4
DIMENSI ANTENA SATU-ELEMEN TEROPTIMASI

Dimensi Antena	Nilai
Lebar patch	19,85 mm
Panjang patch	19,85 mm
Lebar groundplane	32,06572 mm
Panjang groundplane	32,06572 mm
Lebar saluran transmisi 50 Ohm	4,39 mm
Panjang saluran transmisi 50 Ohm	16 mm

Dari optimasi ini diperoleh nilai VSWR pada frekuensi 4,3 GHz telah memenuhi standar desain antena yaitu sebesar 1,0984904.

2) Simulasi Antena Dua-Elemen

Satu modul antena terdiri dari dua patch antena yang dipisahkan jarak sejauh $\lambda/2$. Pada simulasi ini menggunakan catutan paralel agar tiap elemen mendapatkan daya yang sama. Simulasi antena dua-elemen ini menggunakan dimensi antena satu elemen yang sudah dioptimasi. Setelah disimulasikan menggunakan parameter tersebut, ternyata parameter antena yang diharapkan belum memenuhi spesifikasi. Nilai VSWR yang dihasilkan masih jauh dari batas yang diinginkan. Untuk itu perlu dilakukan optimasi lagi. Dimensi antena dua-elemen yang telah dioptimasi adalah sebagaimana pada Tabel 5.

Berdasarkan simulasi antena dua-elemen yang dimensinya telah dioptimasi diperoleh hasil bahwa antena bekerja pada frekuensi 4,3 GHz dengan nilai *return loss* -48,82055 dB. Nilai VSWR 1,0072, *bandwidth* diperoleh sebesar 305,9 MHz pada rentang frekuensi 4,1074 GHz sampai dengan 4,4133 GHz, serta *gain* antena hasil simulasi sebesar 10,42 dB. Perubahan parameter-parameter seperti lebar saluran transmisi dari 100 Ohm, menjadi 50 Ohm, lebar patch, panjang patch

dan jarak antar elemen mengakibatkan perubahan yang membuat antena memenuhi spesifikasi.

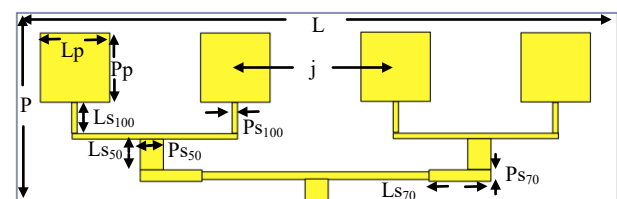
TABEL 5
DIMENSI ANTENA DUA-ELEMEN TEROPTIMASI

Dimensi Antena	Nilai
Lebar patch	20,059 mm
Panjang patch	20,059 mm
Lebar groundplane	58 mm
Panjang groundplane	30 mm
Lebar saluran transmisi 50 Ohm	12,45 mm
Panjang saluran transmisi 50 Ohm	13,52 mm
Lebar saluran transmisi 100 Ohm	3 mm
Panjang saluran transmisi 100 Ohm	12,3 mm

Hasil dari simulasi antena susunan dua-elemen ini sudah memenuhi spesifikasi. Namun satu parameter yaitu *gain* mengalami kenaikan yang berarti. Hal ini menjadi pertimbangan saat realisasi antena. Apabila *gain* antena realisasi jauh lebih kecil dari *gain* antena saat simulasi maka antena tidak dapat digunakan karena *gain*-nya di bawah spesifikasi yang diharapkan. Oleh karena itu dilakukan percobaan untuk analisis antena susunan 4 elemen untuk mendapatkan performansi yang lebih tinggi sehingga saat realisasi nanti apabila terjadi penurunan performansi, antena ini tetap masih dapat digunakan.

3) Simulasi Antena Susunan Empat-Elemen Teknik Pencatutan Stripline

Satu modul antena yang terdiri dari empat elemen dengan menggunakan teknik pencatutan *microstrip line parallel* yaitu membagi saluran transmisi menjadi 100 ohm, 70,71 ohm dan 50 ohm dan mencatut langsung saluran transmisi dengan patch tanpa adanya substrat tambahan diharapkan memberikan hasil yang jauh lebih tinggi dari spesifikasi. Desain dan ukuran antena susunan empat-elemen dengan pencatutan *stripline* yang sudah dioptimasi ditunjukkan Gambar 2 berikut.

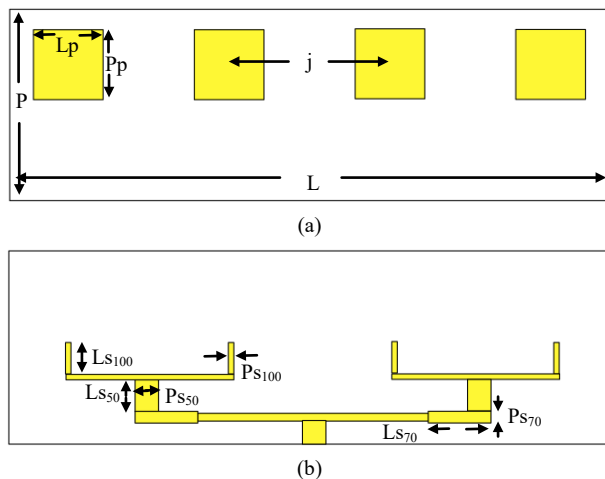


GAMBAR 2. DESAIN ANTENA SUSUNAN EMPAT-ELEMEN PENCATUTAN STRIPLINE.

Nilai parameter-parameter antena dari simulasi desain antena di atas telah terpenuhi, kecuali *bandwidth*. *Bandwidth* yang dihasilkan sebesar 44 MHz dengan rentang frekuensi 4,279-4,323 GHz. Ini menunjukkan masih kurangnya *bandwidth* mengakibatkan perlunya teknik lain untuk memenuhi *bandwidth* tersebut.

4) Simulasi Antena Susunan Empat-Elemen Teknik Pencatutan Parallel Proximity Coupled

Gambar 3 merupakan desain antena susunan empat-elemen teknik pencatutan *proximity coupled* yang telah dioptimasi.



Gambar 3. Desain Antena Susunan Empat-Elemen Pencatutan *Parallel Proximity Coupled* (a) Empat-Elemen Patch (b) Pencatutan *Parallel Proximity Coupled*

TABEL 6
DIMENSI ANTENA EMPAT-ELEMEN PENCATUTAN STRIPLINE TEROPTIMASI

Dimensi Antena	Simbol	Nilai
Lebar patch	L_p	22,91 mm
Panjang patch	P_p	22,91 mm
Jarak antar elemen	j	40,49 mm
Lebar groundplane	L	231,8 mm
Panjang groundplane	P	60 mm
Lebar saluran transmisi 50 Ohm	LS_{50}	11,45 mm
Panjang saluran transmisi 50 Ohm	PS_{50}	8,5 mm
Lebar saluran transmisi 70,71 Ohm	LS_{70}	2,3 mm
Panjang saluran transmisi 70,71 Ohm	PS_{70}	13,52 mm
Lebar saluran transmisi 100 Ohm	LS_{100}	1,23 mm
Panjang saluran transmisi 100 Ohm	PS_{100}	12,872 mm

TABEL 7
DIMENSI ANTENA EMPAT-ELEMEN PENCATUTAN *PARALLEL PROXIMITY COUPLED*

Dimensi Antena	Simbol	Nilai
Lebar patch	L_p	19,85 mm
Panjang patch	P_p	19,85 mm
Jarak antar elemen	j	43,55 mm
Lebar groundplane	L	231,8 mm
Panjang groundplane	P	60 mm
Lebar saluran transmisi 50 Ohm	LS_{50}	11,45 mm
Panjang saluran transmisi 50 Ohm	PS_{50}	8,5 mm
Lebar saluran transmisi 70,71 Ohm	LS_{70}	2,3 mm
Panjang saluran transmisi 70,71 Ohm	PS_{70}	13,52 mm
Lebar saluran transmisi 100 Ohm	LS_{100}	1,23 mm
Panjang saluran transmisi 100 Ohm	PS_{100}	12,872 mm

Nilai VSWR di frekuensi $4,3 \text{ GHz} \leq 2$. *Bandwidth*-nya sebesar 208,9 MHz pada rentang 4,1693 - 4,3782 GHz. *Return loss*-nya sebesar -47,0349 dB. Pola radiasi yang dihasilkan adalah *unidirectional* dengan *gain* sebesar 13,16 dB. Dari hasil *gain* yang dihasilkan sudah memenuhi spesifikasi yaitu *gain* harus $\geq 10 \text{ dB}$. Antena

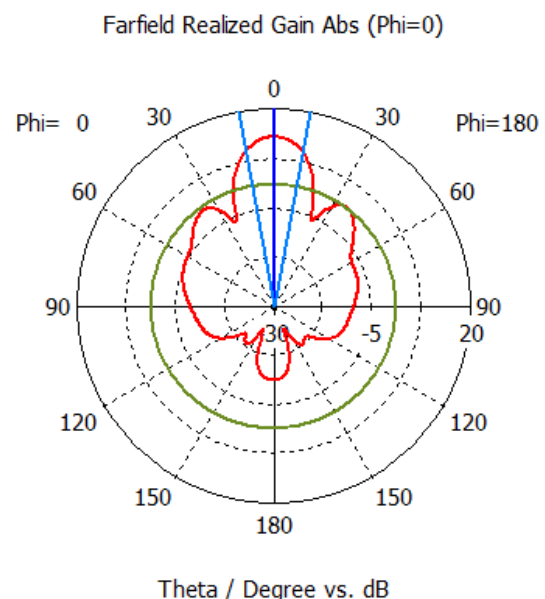
ini memiliki polarisasi linier, namun *bandwidth* yang tersedia sebesar 208,9 MHz bukan untuk alokasi rentang frekuensi yang ditentukan yaitu 4,2-4,4 GHz sehingga belum memenuhi spesifikasi maka dilakukan percobaan teknik lain untuk mencapai hasil yang jauh lebih tinggi dan juga tepat.

5) Simulasi Antena Susunan Empat-Elemen *Proximity Coupled* dengan Teknik *Matching Impedance*

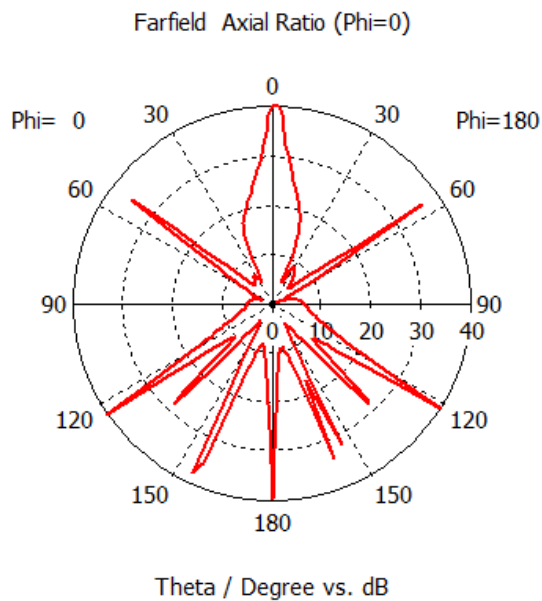
Teknik *matching impedance* digunakan untuk mengurangi refleksi pada ujung saluran beban. Untuk mendapatkan impedansi yang *match* dapat dilakukan dengan cara menambahkan transformator $\lambda/4$. Struktur antena ini sama dengan Gambar 3. Karena ada penyesuaian impedansi pada pencatutan 50 Ohm maka semua *stripline* 50 Ohm dioptimasi. Desain antena susunan empat-elemen *proximity coupled* dengan teknik *matching impedance* yang telah dioptimasi adalah seperti pada Tabel 8 berikut.

TABEL 8
DIMENSI ANTENA EMPAT-ELEMEN PENCATUTAN *P PROXIMITY COUPLED*

Dimensi Antena	Nilai
Lebar patch	20,38 mm
Panjang patch	20,24 mm
Jarak antar elemen	23,3586 mm
Tebal substrat	1,57 mm
Lebar groundplane	180 mm
Panjang groundplane	70 mm
Lebar saluran transmisi 50 Ohm (1)(2)	7,265 mm
Panjang saluran transmisi 50 Ohm (1)	8,949 mm
Panjang saluran transmisi 50 Ohm (2)	17,41 mm
Lebar saluran transmisi 70,71 Ohm	3,73 mm
Panjang saluran transmisi 70,71 Ohm	8,825 mm
Lebar saluran transmisi 100 Ohm	2,122 mm
Panjang saluran transmisi 100 Ohm	11,3568 mm



Gambar 4. Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena Susunan Empat-Elemen *Proximity Coupled* dengan Teknik *Matching Impedance*.

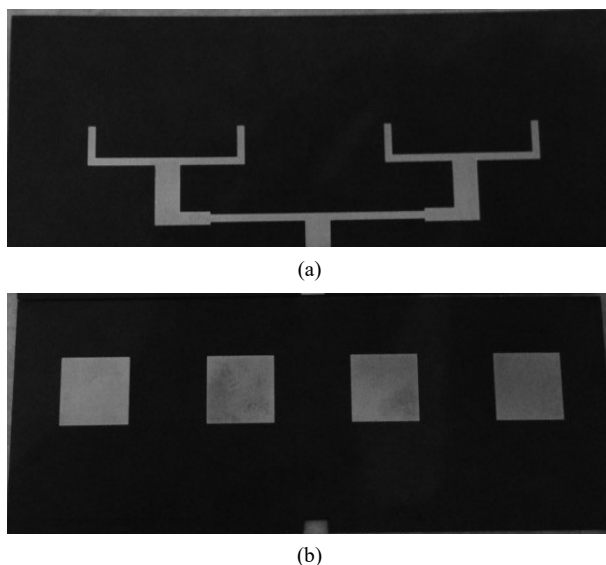


Gambar 5. Hasil Simulasi Polarisasi Antena Susunan Empat-Elemen *Proximity Coupled* dengan Teknik *Matching Impedance*.

Nilai VSWR di frekuensi 4,3 GHz sebesar 1,0002. *Bandwidth*-nya sebesar 348,1 MHz pada rentang 4,1314 GHz – 4,4795 GHz. *Return loss*-nya pada 4,3 GHz sebesar -79,78 dB. Pola radiasi yang dihasilkan adalah *unidirectional* dengan *gain* sebesar 13,17 dB. Dari hasil *gain* yang dihasilkan sudah memenuhi spesifikasi yaitu *gain* harus ≥ 10 dB. Antena ini memiliki polarisasi linier. Dengan teknik pencatutan ini diperoleh performansi antena susunan empat-elemen yang memenuhi kriteria desain. Oleh karena itu desain antena ini yang akan direalisasikan.

C. Realisasi

Realisasi desain antena empat-elemen *proximity coupled* dengan teknik *impedance matching* dilakukan menggunakan teknologi *thick film* secara *screen printing* dan dibakar dengan suhu 850° C. Gambar 6 adalah hasil dari realisasi antena tersebut.



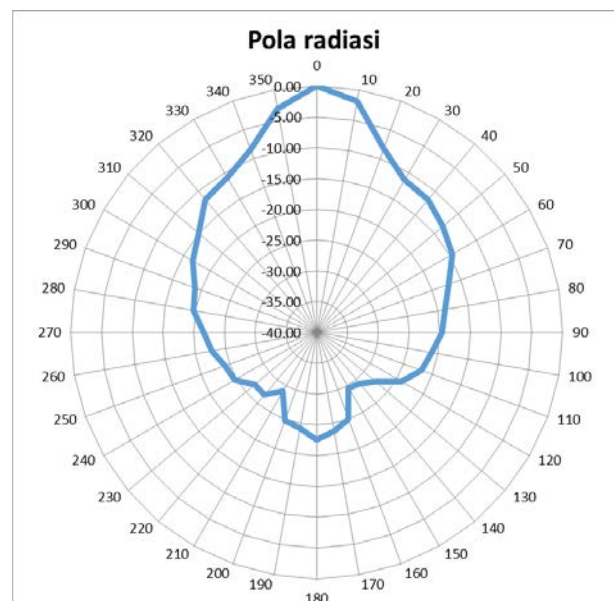
Gambar 6. Realisasi Antena Susunan Empat-Elemen *Proximity Coupled* dengan Teknik *Matching Impedance*. (a) Lapis 1 dan (b) Lapis 2.

III. PENGUKURAN DAN ANALISIS

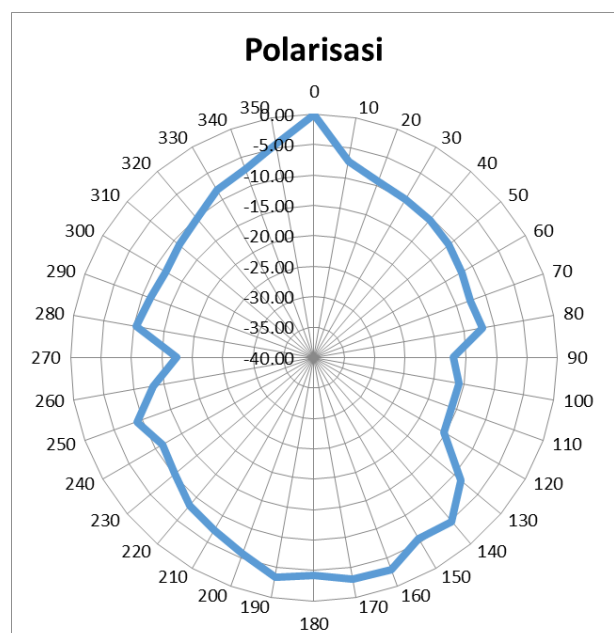
Pengukuran dan analisis bertujuan untuk membandingkan antara performansi antena hasil simulasi dengan performansi antena realisasi. Dengan melakukan pengukuran antena diharapkan akan diketahui penyebab penyimpangan karakteristik antena akibat proses pabrikan antena yang telah dirancang terhadap hasil simulasi sebelumnya. Pengukuran parameter-parameter dilakukan di Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung.

A. Pengukuran

Pengukuran antena dilakukan untuk memperoleh nilai parameter-parameter antena, seperti VSWR, *bandwidth*, *return loss*, impedansi, *gain*, pola radiasi dan polarisasi. Hasil pengukuran ditunjukkan oleh Tabel 9, Gambar 7 dan 8 berikut.



Gambar 7. Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena yang Terealisasi.



Gambar 8. Hasil Pengukuran Polarisasi Antena yang Terealisasi.

TABEL 9
HASIL PENGUKURAN ANTENA

Parameter Antena	Nilai
VSWR	1,005
Bandwidth	286 MHz (4,175-4,461 GHz)
Returnloss	-51 dB
Impedansi	50,113 - j228,123mOhm
Gain	13,46 dBi
Pola radiasi	Unidireksional
Polarisasi	Elips

B. Analisis

Untuk mempermudah analisis hasil pengukuran dengan hasil simulasi, data-data parameter antena hasil pengukuran dan hasil simulasi disajikan dalam Tabel 10 berikut.

TABEL 10
PERBANDINGAN HASIL SIMULASI DAN HASIL PENGUKURAN ANTENA

Parameter Antena	Hasil Pengukuran	Hasil Simulasi	Spesifikasi Kebutuhan
VSWR	1,005	1,0002	≤ 2
Return loss	-51,890 dB	-79,788	< -10 dB
Gain	13,46 dB	13,17 dB	> 10 dB
Impedansi	50,113- j228,123mOhm	50,00- j0,01Ohm	50 Ohm
Bandwidth Antena	286 MHz (4,175- 4,461)MHz	348,1 MHz (4,131- 4,479) MHz	200 MHz (4,200-4,400) MHz
Pola radiasi	Unidireksional	Unidireksional	Unidireksional
Polarisasi	Elips	Linear	Linear

Berdasarkan Tabel 10 terjadi penurunan nilai parameter pada saat pengukuran, hal ini disebabkan oleh pabrikan dari antena yang kurang presisi dikarenakan sulitnya dalam pabrikan tersebut karena sangat membutuhkan ketelitian yang tinggi mengingat pabrikan masih dilakukan secara manual oleh tangan manusia mengakibatkan bergesernya dimensi dari antena tersebut. Namun hasil pengukuran masih mendapatkan nilai VSWR 1,005, *returnloss* -51,890 dB. Hal ini menunjukkan bahwa gelombang yang dipantulkan kembali ke arah generator bernilai kecil. Hal ini bisa berhubungan dengan nilai impedansi masukan dari antena yang juga relatif sesuai dengan saluran transmisi.

Hasil dari pengukuran menunjukkan impedansi saluran transmisi pada rentang frekuensi 4,3 GHz memiliki nilai mendekati nilai 50 Ohm. Hal ini mengakibatkan antena berada dalam kondisi *matching* yaitu kondisi di mana gelombang yang diteruskan melalui saluran transmisi menuju antena dapat diteruskan nyaris seluruhnya, hampir tidak ada gelombang yang dipantulkan kembali.

Hasil pengukuran *bandwidth* yang didapatkan juga mengalami penurunan. Hal ini dipengaruhi oleh faktor antena hasil realisasi yang kurang ideal akibat kurang teliti dalam realisasi. Namun demikian dari hasil pengukuran, nilai *bandwidth* yang didapat, masih melebihi dari spesifikasi yang ditentukan.

Dari Tabel 10 dapat dilihat bahwa *gain* yang dihasilkan pada simulasi memiliki perbedaan dengan *gain* yang dihasilkan dari pengukuran antena yang terealisasi. Hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Kondisi antena referensi yang kurang ideal
2. Kondisi pengukuran yang kurang ideal
3. Kesalahan pembacaan level daya yang sangat mungkin terjadi akibat fluktuasi daya terima yang terukur di *spectrum analyzer*. Namun untuk hasil pengukuran *gain* pada antena ini masih cukup bagus di mana masih melebihi dari spesifikasi yang ditentukan.

Dari hasil yang diperoleh terlihat perbedaan pola radiasi antara hasil pengukuran dan simulasi. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan adanya penyimpangan hasil pengukuran dibandingkan hasil simulasi, antara lain:

1. Perangkat untuk pengukuran yang masih manual seperti pengarah sudut, sehingga pada saat pengarah terdapat kemungkinan kesalahan sudut karena pengarahannya yang masih kurang tepat.
2. Kesalahan pembacaan level daya yang mungkin terjadi akibat fluktuasi daya terima yang terukur pada *spectrum analyzer*.
3. Terjadi ketidakstabilan jarak saat pengukuran, sehingga daya yang diterima tidak akurat.
4. Adanya gelombang dari luar sistem yang dapat mengganggu pola pancar dari antena

Namun dengan melihat hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan bahwa kedua hasil tersebut jenis pola radiasi *unidirectional* karena daya terbesar mengarah pada salah satu sudut. Dengan demikian hal ini sesuai dengan spesifikasi awal antena yang diinginkan, yang mempunyai pola radiasi *unidirectional*.

Untuk melakukan verifikasi antena dengan polarisasi linear harus dilakukan pengukuran nilai *axial ratio*. Berdasarkan Gambar 8, hasil pengukuran menunjukkan level penerima sinyal maximum berada pada sudut 0° dengan nilai -33,14 dBm, sedangkan level penerima sinyal minimum berada pada sudut 270° dengan nilai -52,96 dBm. Jadi, *axial ratio*-nya adalah sebesar 7,48 dB. Berdasarkan pada nilai *axial ratio* tersebut, dapat dikatakan bahwa antena berpolarisasi elips karena nilai *axial ratio* adalah $1 < AR < \infty$. Hasil pengukuran menunjukkan polarisasi elips disebabkan faktor lingkungan pengukuran di mana masih banyaknya interferensi dari gelombang lain dan pantulan-pantulan yang terjadi disebabkan *anechoic chamber* yang tidak sempurna dan juga alat-alat pengukuran yang digunakan masih digerakkan oleh manusia.

Berdasarkan pembahasan di atas, jika dibandingkan dengan hasil simulasi yang telah dilakukan, hasil pengukuran pada antena yang terealisasi tidak jauh berbeda dan masih memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan.

KESIMPULAN

Antena mikrostrip *patch* persegi susunan linear dengan *matching impedance* pada pencatutan *proximity*

coupled telah didesain dan diimplementasikan. Antena yang terealisasi bekerja pada frekuensi tengah 4,3 GHz yang menghasilkan VSWR 1,005, polarisasi elips, *gain* 13,46 dB, dan pola radiasi *unidirectional*, impedansi 50,113 - j228,123 mOhm, *return loss* -51,890 dB, *effective bandwidth* 286 MHz (4,175-4,461 MHz). Dengan performansi tersebut, antena ini lebih unggul dari antena lain yang telah dibuat sebelumnya untuk aplikasi yang sama, yaitu radio altimeter pesawat. Meskipun begitu, perbaikan antena ini masih dibutuhkan agar diperoleh polarisasi yang semakin mendekati linear.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada PPET LIPI yang telah mendanai dan memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. I. Skolnik, *Radar handbook 2nd ed.*, Tata McGRAW Hill, 1990.
- [2] S. G. E. Lestari, H. Wijanto, Y. Wahyu, "Perancangan dan realisasi antena mikrostrip bentuk e modifikasi dengan elemen parasit untuk radio altimeter pada frekuensi 4.2 – 4.4 Ghz," *Skripsi*, Telkom University, 2015.
- [3] THFS and NAR. (2016), *Radio altimeter*. National Astronomy and Ionosphere Center (Arecibo Observatory). n.d. [Online]. Available: www.naic.edu/~phil/rfi/NAR_Radio_Altimeter.pdf
- [4] J.-S. Kuo and K.-L. Wong, "A compact microstrip antenna with meandering slots in the ground plane," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 29, no. 2, pp. 95–97, 2001.
- [5] J.-S. Kuo and K.-L. Wong, "Dual-frequency operation of a planar inverted-L antenna with tapered patch width," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 28, no. 2, pp. 126–127, 2001.
- [6] A. Keshtkar, A. Keshtkar, and A. R. Dastkhosh, "Circular microstrip patch array antenna for c-band altimeter system," *International Journal of Antennas and Propagation* Volume 2008, Jan 2008.
- [7] R. F. Rincon, M. A. Vega, . Buenfil, and A. Geist, "NASA's l-band digital beamforming synthetic aperture radar," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 49, no. 10, pp. 3622-3628, October 2011.
- [8] A. Chen, X. Ying, K. Ding "A novel compact antenna of radio altimeters based on bi-layer substrate technology," *IEEE conference, Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications (MAPE)*, pp. 402-405, Oct 2013.
- [9] J. Porrazzo, C. White, "Conformal patch antenna for radar altimeter applications," *Journal of Modeling and Simulation of Antennas and Propagation*, vol. 1, no. 1, pp. 9-12, Jan. 2015.
- [10] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, A. Ittipiboon. *Microstrip Antenna Design Handbook*. London: Artech House, 2001.