

PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP ARRAY RECTANGULAR UNTUK RADAR PADA FREKUENSI L-BAND

DESIGN AND REALIZATION OF RECTANGULAR MICROSTRIP ARRAY ANTENNA FOR L-BAND RADAR FREQUENCY

Asky Arief Nidardika¹, Kris Sujatmoko², Yuyu Wahyu³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

³PPET-LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)

¹ askyarief.n@gmail.com , ² krissujatmoko@telkomuniversity.ac.id , ³ yuyu@ppete.lipi.go.id

Abstrak

Sebagian wilayah Indonesia merupakan lautan dan kerap terjadi tindak kejahatan di wilayah perairan Indonesia. Perlu adanya sistem keamanan yang dapat mengantisipasi tindakan tersebut dengan mengimplementasikan sistem RADAR (*Radio Detection and Ranging*) untuk mendeteksi kapal-kapal yang melewati wilayah perairan Indonesia. Untuk menunjang dari fungsi teknologi ini diperlukan sebuah perangkat, yaitu antena. Untuk mendapatkan antena dengan hasil yang sesuai, yaitu dengan cara memodifikasi dimensi antena yang dirancang menggunakan teknik antena susun atau array dengan menggunakan teknik pencatutan *mikrostrip line* dengan bentuk *patch rectangular*.

Pada tugas akhir ini membahas perancangan, pembuatan, dan realisasi antena mikrostrip *rectangular array 4 patch* untuk aplikasi radar yang bekerja pada frekuensi 1.3 Ghz (L-Band) dengan nilai $VSWR \leq 2$, $bandwidth \geq 60$ Mhz polarisasinya unidireksional, dan polarisasinya linier. Antena mikrostrip yang bekerja pada frekuensi rendah dengan tujuan untuk memperoleh *beamwidth* yang lebar dan perancangan yang diusulkan pada penelitian ini memenuhi jaminan *fairness* dengan kompleksitas waktu terjaga. Untuk mempermudah proses perancangan digunakan *software* simulasi. Tugas akhir ini dimulai dengan menghitung dimensi antena. Dimensi hasil perhitungan digunakan pada proses simulasi. Modifikasi dimensi antena digunakan sebagai cara untuk mendapatkan hasil yang optimum dalam simulasi.

Hasil pengukuran parameter antena menunjukkan bahwa frekuensi 1.3 Ghz, memiliki *return loss* -12.261 dB dan VSWR sebesar 1.644, impedansi 31.170 Ω , gain 5.34 dB, dan *bandwidth* 30 Mhz pada perpotongan VSWR = 2.

Kata Kunci: antena, mikrostrip *rectangular*, L-Band

Abstract

Indonesia region is surrounded an ocean and often occur crime in the territorial waters of Indonesia. there needs to be a security system that can anticipate such actions by implementing RADAR (*Radio Detection and Ranging*) system to detect ships passing through Indonesian waters. To support the function of this technology required a device that is antenna. To get the antenna with the appropriate result is by modifying the antenna dimension designed using the antenna array technique by using microstrip line tracing technique with rectangular patch antenna.

This final project discuss the design, manufacture, and realization of rectangular patch microstrip antennas for radar applications that work on frequencies 1.3 Ghz (L-Band) and a value $VSWR \leq 2$, $bandwidth \geq 60$ Mhz, unidirectional radiation pattern, and linear polarisation. Microstrip antennas working at low frequencies in order to obtain wide beamwidth and design proposed the fairness guarantees with the complexity of waking time. To simplify the design process used simulation software. This final project begins by calculating the dimensions of the antenna. The dimension of the calculation result used in the simulation process. Modified antenna dimensions are used as a way to obtain optimum results in the simulation.

Result of antenna measurement parameters indicate that at frequency of 1.3 Ghz, has a -12.261 dB return loss and VSWR 1.644, impedance is 31.170 Ω , gain 5.34 dB and bandwidth 30 Mhz at the intersection of VSWR = 2.

Keywords: Antenna, Rectangular, Microstrip, L-Band

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang sebagian besar wilayahnya adalah lautan dan banyak terjadi tindak kejahatan seperti ilegal *logging*, ilegal *fishing*, penyelundupan dan lain-lain di wilayah perairan Indonesia. Perlu adanya sistem keamanan yang dapat mengantisipasi tindakan tersebut dan menjaga perairan Indonesia. Salah satunya dengan mengimplementasikan sistem RADAR untuk mendeteksi kapal-kapal yang melewati wilayah perairan Indonesia. *Radio Detection and Ranging* atau yang biasa disebut RADAR merupakan

salah satu jenis teknologi gelombang elektromagnetik yang dapat berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur suatu objek. Untuk menunjang fungsi teknologi ini diperlukan sebuah perangkat. Perangkat tersebut dinamakan antena[1].

Antena merupakan sebuah perangkat yang berfungsi untuk mengirim dan menerima gelombang elektromagnetik. Antena merupakan komponen penting dalam sistem komunikasi. Pada sistem komunikasi radio, diperlukan adanya antena sebagai pelepas energi elektromagnetik ke udara atau ruang bebas, atau sebaliknya[3]. Terdapat banyak jenis antena, salah satunya yaitu antena mikrostrip. Antena mikrostrip merupakan jenis antena yang mempunyai dimensi dan bentuk yang relatif kecil. Antena mikrostrip memiliki kinerja yang baik dan desainnya yang kuat, serta kegunaannya yang luas. Keuntungan dari antena mikrostrip, yaitu mudah untuk dirancang dan ringan sehingga dapat memberikan performansi yang lebih baik[5].

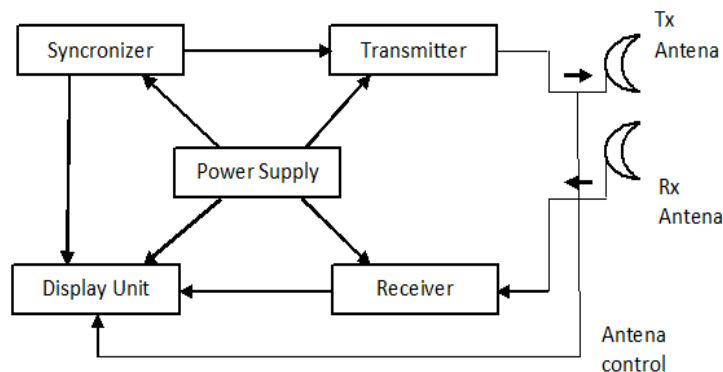
Pada penelitian sebelumnya yang berjudul Perancangan dan Realisasi Susunan 8 Patch Antena Mikrostrip Rektanguler pada Frekuensi S-Band (2.9-3.1 GHz) untuk RADAR Pengawas Pantai[6], telah dibuat antena mikrostrip 8 rectangular patch untuk RADAR pengawas pantai. Pada tugas akhir ini akan membahas perancangan dan realisasi antena mikrostrip *rectangular* pada frekuensi L-Band (1.0-2.0 GHz) untuk aplikasi radar.

Pada tugas akhir ini dirancang suatu antena mikrostrip patch persegi panjang (*rectangular*) untuk aplikasi radar yang bekerja pada frekuensi L-Band (1.0-2.0 GHz). Antena mikrostrip yang dirancang menggunakan teknik antena susun atau array dan bekerja pada frekuensi rendah dengan tujuan untuk memperoleh beamwidth yang lebar.

2. Teori

2.1 Diagram Blok RADAR

Sistem RADAR terbagi atas dua bagian utama, yaitu pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*) seperti terlihat pada gambar di bawah ini. Hasil deteksi RADAR akan ditampilkan oleh *Display Unit* yang mengolah sinyal yang diterima dari bagian *receiver* menjadi suatu gambar yang dapat diinterpretasikan dengan mudah oleh pengguna. Ada *antenna control* yang berfungsi untuk mengatur agar gerakan antena sesuai dengan tampilan di layar dari *Display Unit*. *Synchronizer* berfungsi untuk menyesuaikan sinyal-sinyal yang dikirimkan oleh *transmitter* dengan tampilan yang diinginkan di *Display Unit*. Salah satu bagian dari sistem RADAR adalah antena yang berfungsi sebagai transformator. Antena menyalurkan gelombang radio di udara dan mengubah gelombang elektromagnetik menjadi gelombang listrik [2].

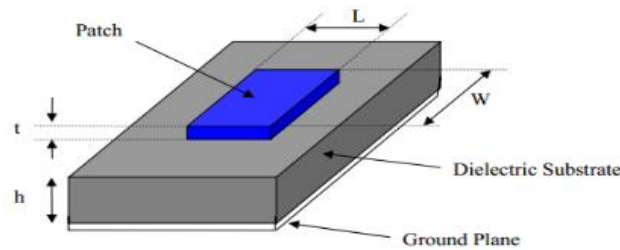


Gambar 1. Blok Diagram RADAR Secara Umum

Cara kerja RADAR secara umum adalah RADAR memancarkan gelombang elektromagnetik ke arah tertentu, kemudian gelombang tersebut dipantulkan oleh benda yang diamati. Sinyal pantul tersebut kemudian ditangkap oleh RADAR. Level daya sinyal pantul yang diterima oleh RADAR sangat kecil karena redaman yang didapat sangat besar, walaupun demikian sinyal tersebut dapat dideteksi karena sistem RADAR memiliki gain yang besar.

2.2 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip adalah antena yang memiliki bentuk seperti lempengan tipis. Antena mikrostrip dibuat pada substrat yang terdiri dari tiga lapisan, yaitu lapisan *conducting patch*, *dielectric substrate*, dan *groundplane* [6].



Gambar 2. Antena Mikrostrip Umum

2.2.1 Antena Patch Rectangular

Patch rectangular atau *patch* segi empat antena merupakan konfigurasi yang paling banyak digunakan karena bentuknya memungkinkan dibaca secara analisa teoritik. Patch segiempat sejauh ini merupakan konfigurasi mikrostrip yang paling banyak digunakan. Patch segiempat lebih mudah dibuat karena bentuknya yang lebih sederhana. Hanya dengan menyisakan metal yang berbentuk segiempat pada proses etching antena ini dapat dibuat. Antena rectangular patch juga sering dimodelkan seperti saluran transmisi mikrostrip dengan panjang (L), lebar (W), dan ketebalan subtrat (h).

2.3 Antena Array

Antena mikrostrip *array* adalah pengembangan dari antena mikrostrip yang merupakan gabungan dari beberapa elemen peradiasi yang membentuk suatu jaringan. Ada beberapa macam konfigurasi antena *array*, di antaranya linear, planar, dan sirkular [10]. Pengelompokan elemen antena menghasilkan beberapa keuntungan seperti: direktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan elemen antena tunggal. Antena array merupakan susunan dari beberapa antena yang identik. Dalam mikrostrip yang di susun secara *array* adalah bagian *patch*. Ada beberapa konfigurasi antena array di antaranya linier, planar dan sirkular. Masing-masing konfigurasi memiliki keuntungan. Antena *array* planar adalah *array* dengan susunan elemen *array* membentuk area berbentuk kotak [11].

3. Perancangan

3.1 Spesifikasi Antena

Dalam perancangan antena, langkah awal adalah menentukan spesifikasi antena. Spesifikasi tersebut sebagai berikut:

- Frekuensi kerja : 1.3 Ghz (L-Band)
- VSWR : ≤ 2
- Bandwidth : ≥ 60 MHz
- Polarisasi : Linier
- Pola Radiasi : Unidireksional
- Bahan Substrat : FR-4
- Jumlah Elemen : Empat elemen

3.2 Simulasi

Menentukan dimensi antena :

1. Menghitung W Patch (lebar patch)

$$W = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.1)$$

C = kecepatan cahaya

ϵ_r = konstanta dielektrik

Dengan perhitungan, diperoleh Wp = 68.95 mm

2. Menghitung L Patch (panjang patch)

$$L = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_r f f}} - 2\Delta l \quad (3.2)$$

Dengan,

$$\Delta l = 0,412h \left(\frac{\epsilon_{eff} + 0,3}{\epsilon_{eff} - 0,258} \right) \left(\frac{W/h + 0,264}{W/h + 0,8} \right) \quad (3.3)$$

Karena nilai $w/h = 68.95/1.6 = 43.09$ ($w/h > 1$)

Maka, menggunakan persamaan:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2} \right] \quad (3.4)$$

Dengan perhitungan, diperoleh $L_p = 53.58$ mm

3. Menghitung W *Groundplane* (lebar *groundplane*)

$$W = 6h + W_{patch} \quad (3.5)$$

h adalah nilai tebal substrat yang digunakan. Sehingga, didapat $W_g = 78.55$ mm

4. Menghitung L *Groundplane* (panjang *groundplane*)

$$L = 6h + L_{patch} \quad (3.5)$$

h adalah nilai tebal substrat yang digunakan. Sehingga, didapat $L_g = 63.18$ mm

5. Menghitung W *Stripline* (lebar *stripline*)

$$\frac{2h}{\pi} \left(B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \right) \ln(B - 1) + 0,39 + \frac{0,61}{\epsilon_r} \quad (3.6)$$

$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$; Z_0 : 50 Ω (impedansi beban)

Didapat $B = 5.52$, sehingga $W_s = 2.96$ mm

6. Menghitung L *Stripline* (panjang *stripline*)

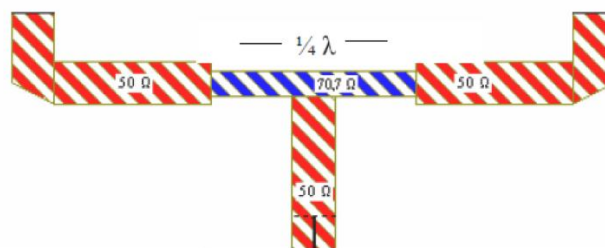
L *stripline*: $\frac{\lambda}{4}$, dengan $\lambda = \lambda_g$

$\lambda_g = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} = 10.75$ mm

Sehingga, didapat nilai $L_s = 26.89$ mm

7. Perhitungan T junction untuk saluran transmisi pada *array*.

Pada perancangan antenna array menggunakan huruf T (T-Junction) atau biasa disebut sebagai *parallel feed* atau *corporate feed*, dengan dua saluran mikrostrip yaitu 50 ohm dan 70.7 ohm. Pada umumnya, T-Junction digunakan sebagai pembagi daya (*power divider*) dalam antenna *array* [17].



Gambar 3.2 Model T-Junction

$$Z_T = \sqrt{50 \times 100} = 70,7\Omega \quad (3.7)$$

- a. Lebar saluran pencatu mikrostrip 70.7 ohm dengan persamaan 3.6 :

$$l_c = \frac{2h}{\pi} \left(B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \right) \ln(B - 1) + 0,39 + \frac{0,61}{\epsilon_r} \quad (3.8)$$

Dengan perhitungan, didapat $L_c = 1.575$ mm

Dengan nilai $B = 3,901$ diperoleh dari persamaan 3.6 :

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_o\sqrt{\epsilon r}} = 3,901 \quad (3.9)$$

- b. Karena nilai $w/h = 2.96/1.6 = 1.85$ ($w/h > 1$)
Maka menggunakan persamaan :

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon r + 1}{2} + \frac{\epsilon r - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{12h}{w} \right)^{-1/2} \right] \quad (3.10)$$

Didapat $\epsilon_{reff} = 3.296$ mm, sehingga didapat panjang catuan

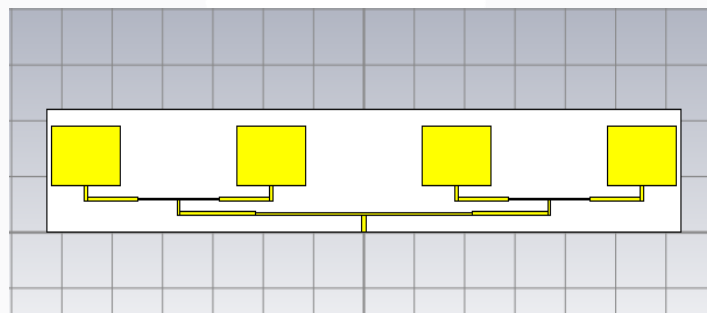
$$\lambda_g = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon r}} = 0.127 \text{ m}$$

Melalui perhitungan dan simulasi, didapatkan nilai dimensi antenna yang menghasilkan performansi mendekati nilai spesifikasi antenna awal. Nilai dimensi antenna setelah simulasi ditunjukkan oleh tabel berikut.

Tabel 1. Parameter Dimensi Antena Setelah Optimasi

Parameter	Keterangan	Nilai
Wp	Lebar Patch	68.95 mm
Lp	Panjang Patch	53.4 mm
Ws	Lebar Feedline	2.96 mm
Ls	Panjang Feedline	10.59 mm
Jp	Jarak antar Patch	107.5 mm
Ja	Jarak Atas Substrat dan Patch	9.86 mm
Jb	Jarak Samping Substrat dan Patch	4.8 mm
Wf	Lebar Pencatu	2.96 mm
Lf	Panjang Pencatu	13.75 mm
La	Lebar Stripline	3.3 mm
Lc	Lebar Stripline 2	1.57 mm

Berdasarkan nilai-nilai dimensi di atas, didapatkan gambar desain simulasi antenna dengan dua elemen array sebagai berikut.

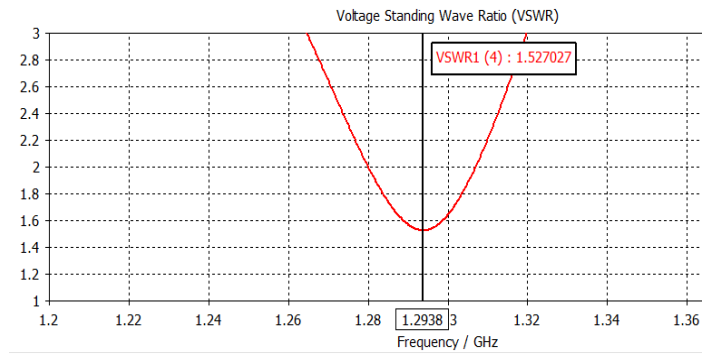


Gambar 3. Antena Susunan Empat Patch

3.3 Hasil Simulasi

3.3.1 VSWR

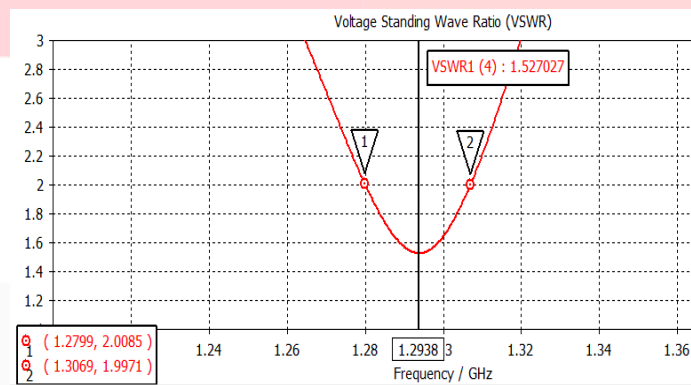
VSWR yang dihasilkan pada frekuensi 1.3 GHz adalah sebesar 1.527027. Nilai tersebut sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Berikut ini adalah gambar grafik nilai VSWR.



Gambar 4. Nilai VSWR

3.3.2 Bandwidth

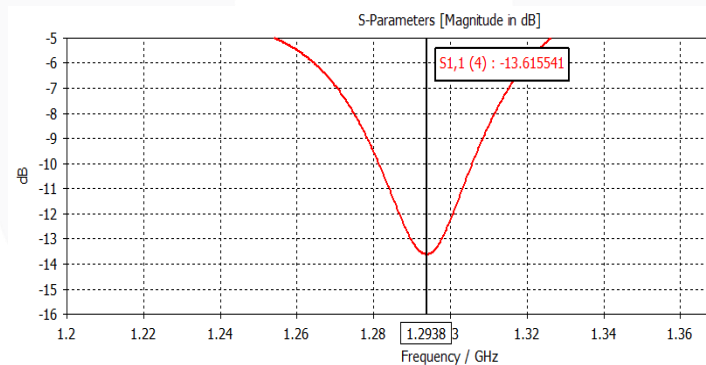
Berdasarkan gambar di bawah ini, selisih band frekuensi atas (marker 2) dan band frekuensi bawah (marker 1) pada saat VSWR 2 menunjukkan *bandwidth* yang dihasilkan sebesar 27 Mhz..



Gambar 5. Nilai Bandwidth

3.3.3 Return Loss

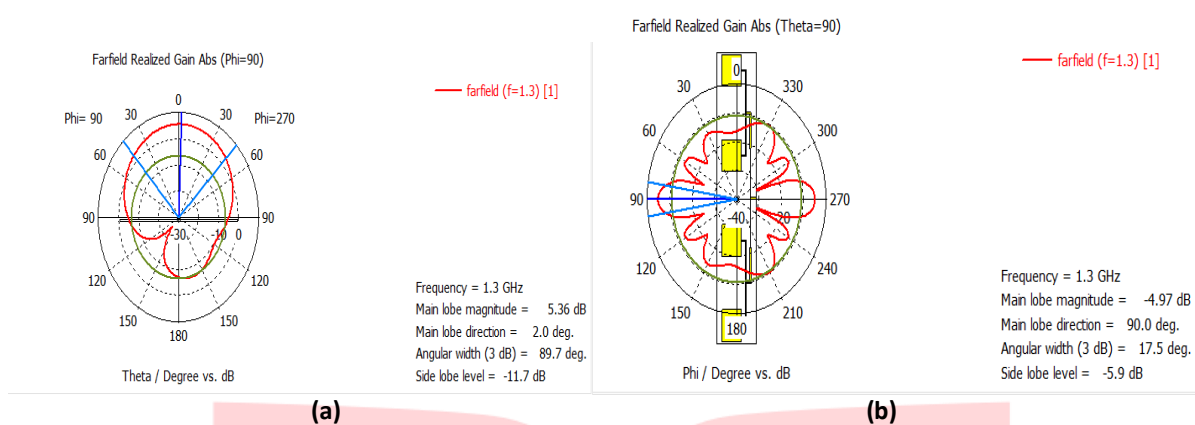
Nilai *return loss* pada frekuensi 1.3 GHz adalah -13.615541 dB. Berikut ini adalah gambar dari grafik nilai *return loss*.



Gambar 6. Nilai Return Loss

3.3.4 Pola Radiasi

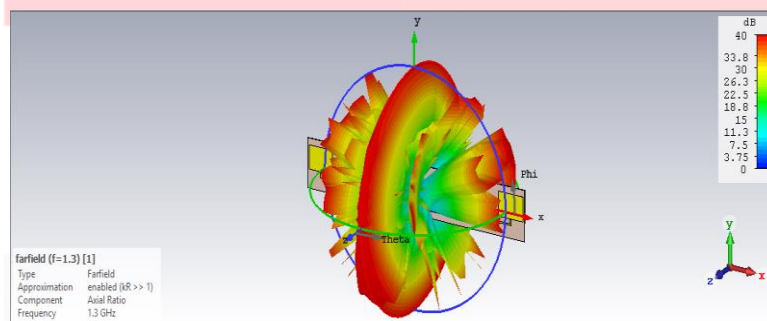
Gambar di bawah ini adalah gambar yang merepresentasikan nilai HPBW. Dimana, pada arah elevasi nilai HPBW sebesar 17.5° dan pada arah azimuth sebesar 89.7° .



Gambar 7. Pola Radiasi (a) Arah Azimuth dan (b) Arah Elevasi

3.3.5 Polarisasi

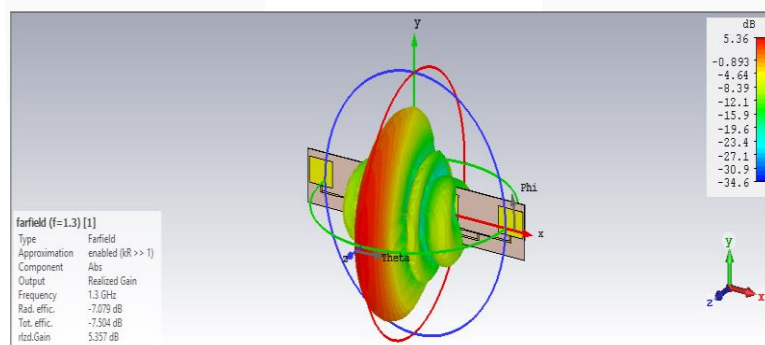
Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan bentuk polarisasi antenna adalah polarisasi sirkular. Berikut ini adalah gambar polarisasi antenna dalam bentuk tiga dimensi.



Gambar 8. Grafik Polarisasi Bentuk 3D

3.3.6 Gain

Pola radiasi yang dihasilkan adalah *unidirectional* dengan *gain* sebesar 5.36 dB. Di bawah ini adalah gambar yang menunjukkan nilai dan bentuk *gain* dalam tampilan tiga dimensi.

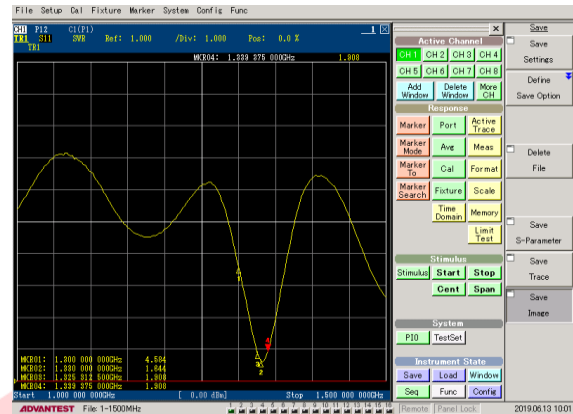


Gambar 9. Nilai Gain

4. Pengukuran dan Analisis

4.1 Pengukuran VSWR, Bandwidth, dan Return Loss

Dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Hasil dari pengukuran frekuensi, kurva ditandai pada frekuensi 1.33 GHz dan didapatkan *return loss* sebesar -12.261 dB, yaitu pada marker 2. Sedangkan hasil dari pengukuran VSWR, didapatkan nilai VSWR pada frekuensi 1.3 GHz sebesar 1.544. Lalu pada VSWR 1.644 didapatkan nilai frekuensi 1.33 GHz. Sehingga, untuk mendapatkan *bandwidth* pada VSWR 1.644 adalah 1.33 - 1.3 = 30 MHz.

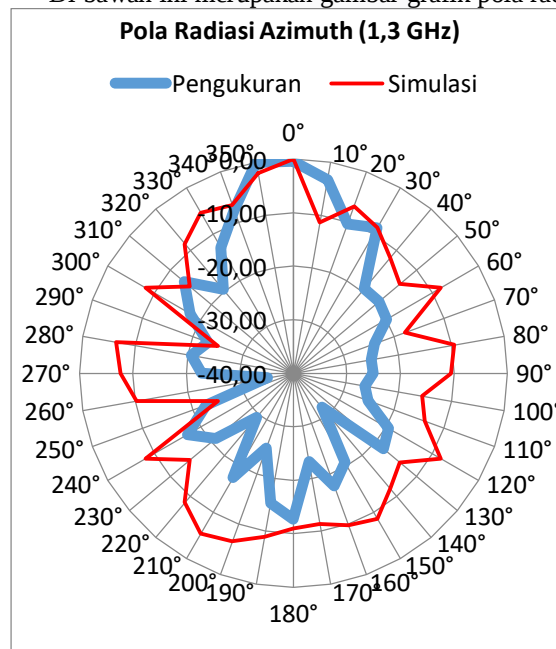
Gambar 10. Hasil Pengukuran *Return Loss*Gambar 11. Hasil Pengukuran *VSWR*

4.2 Pola Radiasi dan Polarisasi

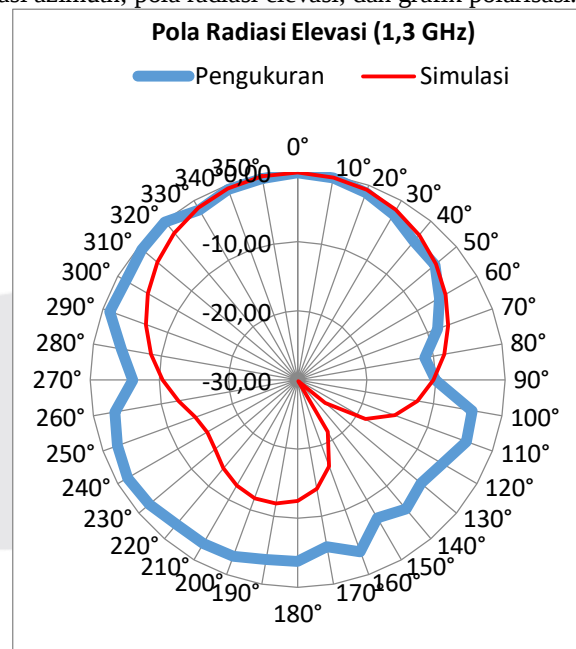
Pengukuran pola radiasi arah azimuth antara simulasi dan pengukuran menunjukkan arah pola radiasi adalah unidireksional. Hasil pengukuran didapat level daya terima maksimum pada sudut 0° sebesar -37.5 dBm dan yang terendah pada 140° , yaitu sebesar -68.87 dBm. Sedangkan pada simulasi, gain maksimum didapat pada sudut 0° , yaitu 5.36 dB. Namun, jika dilihat pada sudut 90° - 270° didapatkan perbedaan pola radiasi yang cukup signifikan. Dapat ditarik kesimpulan bahwa pola radiasi arah elevasi antara level daya terima AUT antara pengukuran dan simulasi bahwa level daya terima maksimum hasil pengukuran, yaitu pada sudut 180° sebesar -52.61 dBm. Hasil pengukuran terendah pada sudut 20° , yaitu -67.5 dBm. Sedangkan simulasi untuk gain maximum didapat dari sudut 17.5° , yaitu sebesar 5.9 dB.

Pengukuran polarisasi dilakukan dengan konfigurasi yang sama dengan pengukuran pola radiasi, namun antenna yang diukur diputar pada arah θ dengan sudut ϕ tetap di 90° . Dari hasil pengukuran didapatkan daya terima maksimum adalah pada sudut 30° sebesar -29.87 dBm dan daya terima minimum adalah pada sudut 90° sebesar -55.66 dBm. Sehingga, antenna yang telah direalisasikan memiliki nilai *axial ratio* sebesar 19.46 yang artinya antenna tersebut memiliki polarisasi elips yang mendekati polarisasi linier.

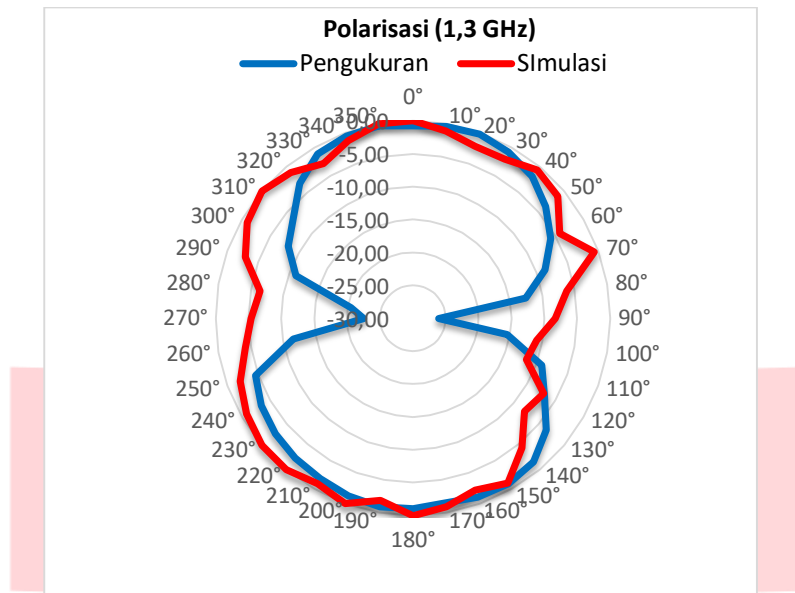
Di bawah ini merupakan gambar grafik pola radiasi azimuth, pola radiasi elevasi, dan grafik polarisasi.



Gambar 12. Grafik Pola Radiasi Azimuth



Gambar 13. Grafik Pola Radiasi Elevasi



Gambar 14. Grafik Polarisasi

4.3 Gain

Berdasarkan hasil pengukuran yang diperoleh seperti pada tabel di bawah ini, maka kita dapat mengetahui *gain* yang dihasilkan oleh antenna yang direalisasikan. Besarnya *gain* dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 G_{\text{AUT}}(\text{dBi}) &= P_{\text{AUT}}(\text{dBm}) - P_{\text{REF}}(\text{dBm}) + 8.5 \text{ dBi} \\
 &= -37.5 - (-32.94) + 8.5 \text{ dBi} \\
 &= 3.94 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

Tabel 2. Hasil Pengukuran Gain

Pengukuran	Daya terima (dBm)	
	AUT (P1)	Referensi (P2)
1	-37.31	-32.94
2	-38.14	-32.87
3	-37.13	-33.05
4	-37.29	-32.97
5	-37.87	-33.11
6	-38.06	-32.27
7	-38.38	-32.89
8	-37.22	-33.31
9	-37.97	-33.02
10	-37.25	-32.92
Rata-rata	-37.5	-32.94

4.4 Perbandingan Spesifikasi, Hasil Simulasi dan Pengukuran

Berikut ini adalah tabel perbandingan nilai parameter antenna berdasarkan spesifikasi awal, hasil dari simulasi dan hasil dari pengukuran langsung antenna realisasi pada frekuensi L-Band.

Tabel 3. Perbandingan Parameter Spesifikasi, Simulasi, dan Pengukuran

Parameter	Spesifikasi	Simulasi	Pengukuran
Frekuensi	1,3 Ghz	1,3 Ghz	1,3 Ghz
Bandwith	60 Mhz	27 Mhz	30 Mhz
VSWR	1.5	1,527	1,644
Polaradiasi	Unidireksional	Unidireksional	Unidireksional
Polarisasi	Linier	Linier	Elips
Impedansi	50 Ω	34,132 Ω	31,170 Ω
Gain	≥ 4	3.94 dB	5.34 dB

5. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut.

1. *Range* frekuensi yang dibutuhkan yaitu dari 1.2 GHz – 1.4 GHz dengan frekuensi tengah adalah 1.3 GHz. Pengukuran pada frekuensi 1.3 GHz didapatkan VSWR simulasi 1.527 dan VSWR pengukuran 1.644. Perbedaan ini dikarenakan kurang presisinya pencetakan antenna dan tidak rapinya penyolderan konektor.
2. *Bandwidth* yang dibutuhkan, yaitu 60 MHz. Pada saat VSWR = 2 *bandwidth* simulasi didapatkan sebesar 27 MHz dan *bandwidth* pengukuran sekitar 30 MHz sehingga belum memenuhi spesifikasi. Untuk dapat memenuhi spesifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan metode lain untuk meningkatkan *bandwidth*.
3. Hasil simulasi didapat *gain* sebesar 5.34 dB dan pengukuran sebesar 3.94 dB. Perbedaan ini disebabkan pengukuran tidak dilakukan di ruang terbuka atau di ruang *anechoic chamber*.
4. Pola radiasi yang dibutuhkan, yaitu unidireksional. Hasil pengukuran juga didapatkan unidireksional yang mana sudah sesuai dengan spesifikasi.

Untuk mendapatkan performansi antenna yang lebih baik lagi, maka beberapa hal yang akan menjadi saran untuk penelitian berikutnya antara lain.

1. Untuk mendapatkan hasil antenna mikrostrip yang lebih baik, disarankan untuk lebih selektif dalam memilih bahan substrat yang akan digunakan dan penentuan dimensi antenna.
2. Pencetakan antenna seharusnya lebih presisi dan rapi, sebaiknya dicetak ditempat khusus pembuatan antenna. Karena selisih 0.1 mm saja dapat mempengaruhi parameter performansi antenna
3. Penyolderan konektor harus rapi agar tidak terjadi arus yang memantul agar transfer daya bisa maksimum.
4. Selain beberapa faktor di atas, disarankan juga untuk memperhatikan faktor-faktor seperti: ketelitian dalam pemasangan konektor dan pengukuran antenna sebaiknya dilakukan di ruangan yang ideal seperti *anechoic chamber* dan menggunakan alat yang ukur yang ideal.

Daftar Pustaka

- [1] Nicolas, Arnold. "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip S-Band Susunan Linier untuk Radar Kapal". Universitas Telkom. 2015..
- [2] Dwian Prakoso, Angga. 2012. Perancangan dan Realiasasi Susunan 8 Patch Antena Mikrostrip Rektangular pada Frekuensi 2,9-3,1 GHz untuk RADAR Pengawas Pantai, Proyek Akhir. Institut Teknologi Telkom. Bandung.
- [3] Skolnik, Merrill. 1990. RADAR Handbook Second Edition. United States.
- [4] Wong, Kin-Lu. 2002. Compact and Broadband Microstrip Antennas. New York: Wiley & Sons, Inc.
- [5] Balanis, Constant A. 1982. Antenna Theory: Analysis and Design. Haper & Row. Publisher. New York..
- [6] Gard, R., Bartia, P., Bahl, I., & Apisak. (2001). Microstrip Antenna Design Handbook. Boston: Artech House.
- [7] Nakar, Punit S. 2004. Design of a Compact Microstrip Patch Antenna for use in Wireless/Cellular Devices. The Florida State University. Thesis.
- [8] C. A. Balanis. Antena Theory Analisis and Design 3rd Edition. United Science, Wiliey Inter Science. 2005.
- [9] Ronaldo. Ferreira. Junior, M. Marinho, K. Liu dan J. P. d. Costa. Improved Landing Radio Altimeter for Unmanned Aerial Vehicles based on an Antenna Array. International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems. 2012.
- [10] Maria Natalia Silalahi, Ali Hanafiah Rambe. Analisis Antena Mikrostrip Patch Segiempat Dengan Teknik Planar Array. Universitas Sumatera Utara. 2013.
- [11] Zilya. Fatimah, H. Wijanto dan Y. Wahyu, "Perancangan Dan Realisasi Antena Phased Array Mikrostrip 1x4 X-Band", 2015.
- [12] Laboratorium Antena, Modul Praktikum Antena dan Propagasi S1 Teknik Telekomunikasi., Universitas Telkom, 2015.
- [13] Y K Chan, Y K Koo. "An Introduction to Synthetic Aperture Radar (SAR)". PIERB. 2008.
- [14] Yohandri, H. Kuze, J.T. Sri Sumantyo. "Development of Circularly Polarized Microstrip Antennas for CP-SAR System Installed on Unmanned Aerial Vehicle". Dissertation Chiba University. 2011.
- [15] Fahrazal, Muhammad. "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Triple Band Linear Array 4 Elemen Untuk Aplikasi WIMAX". Thesis Universitas Indonesia. 2008.

- [16] Fitriadi, Aidil. "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Sirkular Susunan Linier S-Band untuk Radar Kapal". Universitas Telkom. 2016.
- [17] Krishnanti, Alief Kusumaningtyas. "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Array dengan Pencatatan Proximity FED dengan Berpolarisasi Sirkular untuk S-Band Transmitter pada Satelit Mikro". Univesitas Telkom. 2017.

