

PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA SUSUNAN LINIER MIKROSTRIP PATCH PERSEGI DENGAN CATUAN *PROXIMITY COUPLED* UNTUK RADIO ALTIMETER PESAWAT 4,2 – 4,4 GHz

DESIGN AND REALIZATION OF LINEAR ARRAY RECTANGULAR PATCH MICROSTRIP ANTENNA WITH PROXIMITY COUPLED FOR AIRPLANE RADIO ALTIMETER 4.2 – 4.4 GHz

Bayu Heri Prabowo¹, Heroe Wijanto², Yuyu Wahyu³.

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

³PPET-LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)

¹ibayuheri@student.telkomuniversity.ac.id, ²heroe@Telkomuniversity.ac.id, ³yuyu@ppet.lipi.go.id

Abstrak

Altimeter adalah sebuah instrumen untuk mengukur ketinggian pesawat berdasarkan tekanan udara [17]. Pengukuran ketinggian altimeter berdasarkan MEA (mean sea level). Tekanan udara semakin dekat dengan *ground* maka semakin tidak akurat karena molekul udara tertarik gravitasi bumi sehingga diperlukan pengukuran yang lebih akurat apabila posisi pesawat berada di ketinggian minimum yaitu 11000 feet (flight level 130). Radio altimeter adalah sebuah perangkat yang berada di pesawat terbang yang berfungsi untuk mengukur ketinggian pesawat terhadap *ground level* [14]. perangkat radio altimeter ini beroperasi pada frekuensi 4.3 GHz [14]. Antena pengirim dan penerima pada perangkat ini biasanya dipisahkan [14]. Pada praktek penggunaannya, antena penerima harus mendeteksi sinyal pantul yang berasal dari landasan saja, bukan langsung dari antena pengirim. [18][14] Tujuan dari pemisahan pada antena pengirim dan penerima adalah untuk menghindari efek *crosstalk* [14].

Tugas akhir ini merancang dan merealisasikan antena mikrostrip *array* dengan catuan *proximity coupling* untuk aplikasi radio altimeter. Perancangan dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak *CST Studio Suite 2014* untuk mendapatkan karakteristik yang diinginkan melalui simulasi. Antena yang dirancang untuk mampu bekerja pada frekuensi 4.3 GHz, dengan *return loss* < -10 dB, *VSWR* < 2, *bandwidth* 100 MHz, *gain* ≥ 9.25 dBi, pola radiasi unidireksional, dan polarisasi linier. Substrat yang digunakan adalah Rogers RT5880 yang memiliki permitivitas relatif (ϵ_r) sebesar 2.2 dan ketebalan sebesar 1,57 mm.

Antena bekerja pada frekuensi tengah 4,3 GHz yang menghasilkan *VSWR* 1,005, polarisasi elips, Gain 13,46 dB, dan pola radiasi unidireksional, impedansi 50,113,-j228,123mΩ. *Return loss* -51,890 dB, *effective bandwidth* 286 MHz (4.175-4.461)MHz.

Kata kunci : Antena Susunan Linear, Proximity Coupled, Radio Altimeter

Abstract

Altimeter is an instrument for measuring altitude based on air pressure [17]. *Measurement of altitude altimeter based MEA (mean sea level). If the air pressure is getting close to the ground, causes more inaccurate because the air molecules are extracted to the earth's gravity so air pressure altimeter is more accurate measurement is required if the position of the aircraft is at a minimum altitude is 11000 feet (flight level 130). Radio altimeter is a device that is in the airplane that serves to measure the altitude of the ground level* [14]. *This altimeter using radio device and operates at a frequency of 4.3 GHz* [14]. *Antenna sender and receiver of the device is usually separated* [14]. *In practical use, the receiving antenna must detect the reflected signals coming from the runway, not directly from the transmitting antenna.* [18] [14] *The purpose of the separation of the sender and the receiver antenna is to avoid crosstalk effects* [14].

In this final task is to design and realize the microstrip antenna array with a proximity coupling portion of the radio altimeter applications. Designed used the CST Studio Suite 2014 software to get the characteristics through simulation. Antennas are designed to be able to work at a frequency of 4.3 GHz, the return loss < -10 dB, VSWR < 2, a bandwidth of 100 MHz, ≥ 9:25 dBi gain, unidirectional radiation pattern and linear polarization. The substrate used is Rogers RT5880 which has a relative permittivity (ϵ_r) elliptic polarization, Gain 13,46 dB, and radiation pattern unidirectional, impedance 50,113,-j228,123mΩ, Return loss -51,890 dB, effective bandwidth 286 MHz (4.175-4.461)MHz.

Keywords: Linear array antenna, proximity coupled, radio altimeter

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Altimeter adalah sebuah instrumen untuk mengukur ketinggian pesawat berdasarkan tekanan udara^[17]. Pengukuran ketinggian altimeter berdasarkan MEA (mean sea level). Tekanan udara semakin dekat dengan *ground* maka semakin tidak akurat karena molekul udara tertarik gravitasi bumi sehingga diperlukan pengukuran yang lebih akurat apabila posisi pesawat berada di ketinggian minimum yaitu 11000 feet (flight level 130). Radio altimeter adalah sebuah perangkat yang berada di pesawat terbang yang berfungsi untuk mengukur ketinggian pesawat terhadap *ground level*^[14]. perangkat radio altimeter ini beroperasi pada frekuensi 4.3 GHz dan dapat mengukur hingga 5000 feet^[16]. Antena pengirim dan penerima pada perangkat ini biasanya dipisahkan. Pada praktek penggunaannya, antena penerima harus mendeteksi sinyal pantul yang berasal dari landasan saja, bukan langsung dari antena pengirim.^[13] Tujuan dari pemisahan pada antena pengirim dan penerima adalah untuk menghindari efek *crosstalk*.

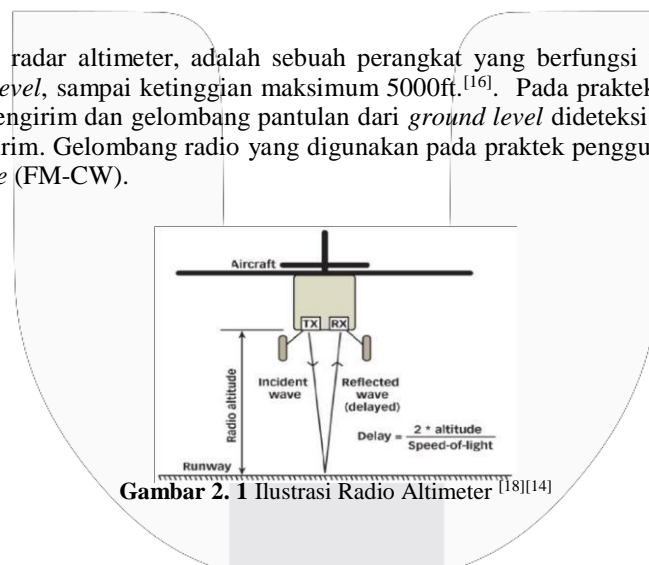
Antena yang dibutuhkan untuk digunakan pada sistem radio altimeter adalah antena yang mampu menghasilkan pola radiasi unidireksional dengan *gain* yang tinggi serta *bandwidth* yang lebar.^[18] Antena yang cocok dengan spesifikasi yang dibutuhkan untuk perangkat ini adalah antena horn, dimana antena horn memiliki pola radiasi unidireksional dan tepat mengarah ke satu titik. Namun antena horn memiliki kekurangan yaitu dimensinya yang besar dan cukup sulit dalam penempatannya, sehingga tidak memungkinkan ditempatkan di badan pesawat, untuk mengatasi masalah ini dapat digunakan antena mikrostrip dimana dimensinya tidak terlalu besar dan mudah ditempatkan dimana saja.

Tugas akhir ini merancang dan merealisasikan antena mikrostrip untuk aplikasi radio altimeter. Antena mikrostrip dipilih karena kelebihanya yaitu memiliki masa ringan dan mudah untuk dipabrikasi. Meskipun demikian, antena mikrostrip memiliki kelemahan yang terletak pada lebar *bandwidth* yang sempit dan nilai *gain* yang rendah.^{[12][15]}. Pada penelitian ini, akan dilakukan perancangan antena mikrostrip linear array dengan polarisasi linear *patch rectangular* dengan catuan *proximity coupling* yang mampu memberikan *bandwidth* yang cukup lebar sekaligus menurunkan nilai *VSWR*, juga nilai *return loss* yang kecil dan *gain* yang sudah cukup memenuhi spesifikasi dari antenna untuk perangkat radio altimeter tersebut.

2. Dasar Teori

2.1. Radio Altimeter

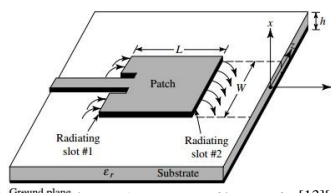
Radio altimeter, atau radar altimeter, adalah sebuah perangkat yang berfungsi untuk mengukur ketinggian pesawat terhadap *ground level*, sampai ketinggian maksimum 5000ft.^[16]. Pada praktek penggunaannya, gelombang dipancarkan oleh antena pengirim dan gelombang pantulan dari *ground level* dideteksi oleh antena penerima, bukan langsung dari antena pengirim. Gelombang radio yang digunakan pada praktek penggunaannya berbentuk *frequency modulated continuous wave* (FM-CW).



Gambar 2. 1 Ilustrasi Radio Altimeter ^{[18][14]}

2.2. Antena Mikrostrip

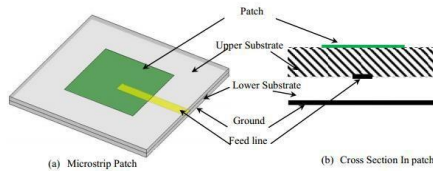
Antena merupakan sebuah perangkat transisi atau transformator yang dapat mengubah besaran listrik dari gelombang tembuing menjadi gelombang elektromagnetik (GEM) untuk ditransmisikan ke udara bebas atau sebaliknya. Berdasarkan asal katanya, mikrostrip terdiri atas dua kata, yaitu *micro* (kecil) dan *strip* (bilah/potongan). Antena mikrostrip dapat didefinisikan sebagai salah satu jenis antena yang mempunyai bentuk seperti bilah/potongan yang mempunyai ukuran kecil^{[1][8]}.



Gambar 2. 2 Struktur Antena Mikrostrip ^{[13][14]}

2.3. Teknik Pencatuan Proximity Coupling

Proximity coupled feeding terdiri dari dua lapisan substrat dielektrik. Antena mikrostrip patch terletak di atas substrat atas dan garis mikrostrip catuan terletak di atas substrat yang lebih rendah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 ini adalah catuan non kontak langsung, catuan ini dilakukan melalui kopling elektromagnetik yang terjadi antara patch dan mikrostrip. Kedua parameter substrat dapat dipilih berbeda dari satu sama lain untuk meningkatkan kinerja antena. Namun perlu pe-matching-an yang tepat antara dua lapisan dalam fabrikasi multilayer^[2].



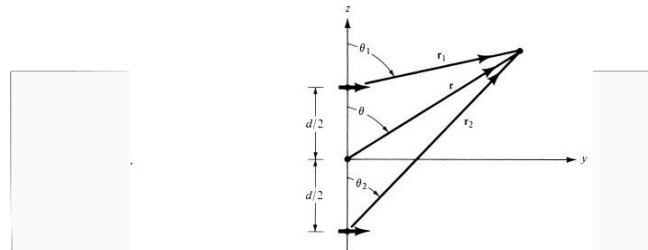
Gambar 2.3 Proximity Coupling^[2]

2.4. Antena Array

Antena Array terdiri dari beberapa elemen antena yang dikelompokkan membentuk satu antena. 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. Antena array linier adalah antena dengan susunan yang membentuk garis lurus. Antena array planar adalah array dengan susunan elemen array membentuk area berbentuk kotak. Antenna array circular array dengan elemen array terletak pada suatu lingkaran dengan radius tertentu^{[3][20]}.

2.5. Linier Array

Pada susunan antena linier, elemen –elemen yang identik di susun dalam 1 garis lurus^{[3][20]}



Gambar 2.4 Linier Array^{[3][20]}

Element total pada 2 elemen array^{[3][20]}:

$$E_{total} = E_1 + E_2 = E_0 \left\{ e^{-j\beta d \cos \theta_1} + e^{-j\beta d \cos \theta_2} \right\} \quad (2.1)$$

Array faktor Untuk 2 elemen array, nilai array factor adalah^{[3][20]} :

$$A_{\theta} = 2 \cos \left[\frac{1}{2} (\beta d \cos \theta + \beta) \right] \quad (2.2)$$

$$A_{\theta} = \sum_{n=0}^{N-1} e^{j n (\beta d \cos \theta + \beta)} \times e^{j n \beta} \quad (2.3)$$

Array faktor untuk N-elemen susunan adalah sebagai berikut^{[3][20]}

$$A_{\theta} = 1 + e^{j(\beta d \cos \theta + \beta)} + e^{j2(\beta d \cos \theta + \beta)} + \dots + e^{j(N-1)(\beta d \cos \theta + \beta)} \quad (2.21)$$

$$A_{\theta} = \sum_{n=0}^{N-1} e^{j n (\beta d \cos \theta + \beta)} \quad (2.4)$$

Maka dapat di tulis^{[3][20]}:

$$A_{\theta} = \sum_{n=0}^{N-1} e^{j n (\beta d \cos \theta + \beta)} \quad (2.5)$$

Dimana

$$\theta = \beta d \cos \theta + \beta \quad (2.6)$$

Keterangan

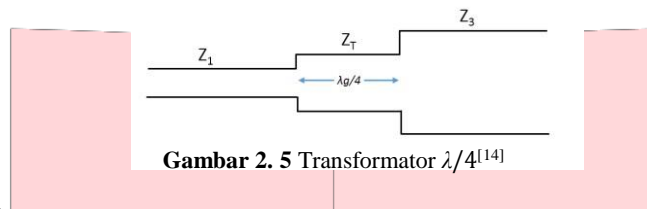
E_1 = medan listrik elemen pertama

E_2 = medan listrik elemen kedua
 r_1 = jarak elemen pertama terhadap objek
 r_2 = jarak elemen kedua terhadap objek
 k = konstanta pergeseran fasa sebesar $\frac{2\pi}{\lambda}$
 d = jarak antar elemen
 θ = sudut main beam antena array

β = beda fasa catuan tiap elemen
 A_n = amplitudo elemen tunggal

2.6. Penyesuaian Impedansi

Perancangan suatu antenna tidak terlepas dari penyesuaian impedansi (*impedance matching*). Suatu jalur transmisi dikatakan *matched* apabila karakteristik impedansi $Z_0 = Z_L$, atau dengan kata lain tidak ada refleksi yang terjadi pada ujung saluran beban. Z_0 merupakan karakteristik impedansi suatu saluran transmisi dan biasanya bernilai 50 ohm. Z_L merupakan impedansi beban, beban dapat berupa antenna atau rangkaian lain yang mempunyai impedansi ekivalen Z_L . Karena kegunaan utama saluran transmisi adalah untuk mentransfer daya secara sempurna, maka beban yang *matched* sangat diperlukan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu cara untuk mendapatkan kondisi yang *matching*, yaitu dengan menambahkan transformator $\lambda/4$. Dengan cara ini impedansi beban, Z_L , akan diubah menjadi Z_0 . Gambar (2.5) memperlihatkan



Gambar 2.5 Transformator $\lambda/4$ ^[14]

3. Perancangan Antena

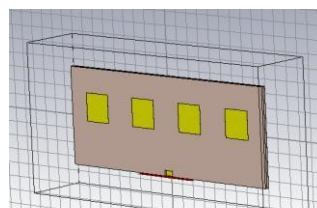
3.1 Penentuan Spesifikasi Antena

Prosedur perancangan Antena susunan linier mikrostrip *patch* persegi dengan catuan *proximity coupled* untuk radio altimeter ini dimulai dari penentuan spesifikasi perangkat yang diinginkan. Adapun spesifikasi yang diperlukan dalam perancangan Antena pada tugas akhir ini sebagai berikut^{[4][12]}:

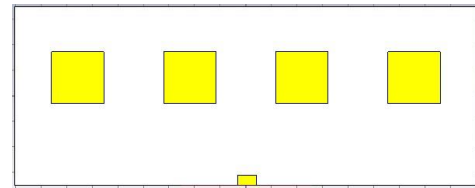
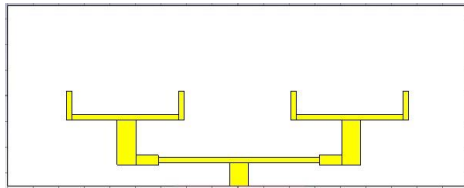
- | | | |
|----|------------------|----------------------|
| a. | Desain antena | : Linear Array 1 x 4 |
| b. | Jenis antena | : Linear array |
| c. | Frekuensi kerja | : 4.3 – 4.4 GHz |
| d. | Frekuensi tengah | : 4.3 GHz |
| e. | VSWR | : ≤ 2 |
| f. | Pola Radiasi | : Unidireksional |
| g. | Polarisasi | : Linear |
| h. | Gain | : ≥ 10 dB |
| i. | Impedansi | : 50 Ω unbalance |
| j. | Bandwidth | : 100 MHz |

Dalam pembuatan antena ini dipilih Antena susunan linier mikrostrip *patch* persegi dengan catuan *proximity coupled* ini dikarenakan dengan menggunakan teknik ini dapat memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan untuk sistem Radio Altimeter

3.1.1 Simulasi 4 elemen proximity coupled dengan teknik matching impedance



Gambar 3.1 Simulasi Antena susunan 4 elemen *proximity coupled* dengan teknik *matching impedance*



Gambar 3. 2 (a) Simulasi Antena susunan 4 elemen lapis 1

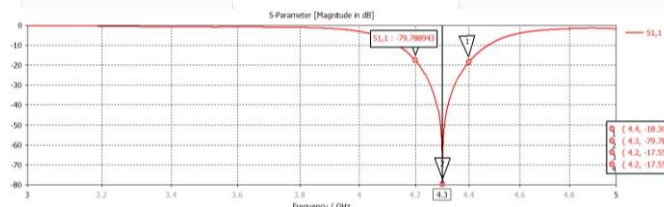
(b) Simulasi Antena susunan 4 elemen lapis 2

3.2 Hasil optimasi 4 elemen menggunakan teknik matching impedance

Tabel 3. 1 hasil optimasi dimensi antena 4 elemen teknik *matching impedance* setelah optimasi

Parameter	Dimensi (mm)	Keterangan
Lg	70	Panjang Groundplane
Wg	180	Lebar Groundplane
Ls	70	Panjang Substrate
Ws	180	Lebar substrate
Lp	20.241	Panjang patch
Wp	20.38	Lebar patch
D	23.3586	Jarak antar elemen
W1	2.122	Lebar saltran 1 (100 ohm)
W2	3.73	Lebar saltran 2 (70.7 ohm)
W3	7.2649	Lebar saltran 3 (50 ohm)
L1	11.3568	Panjang saltran 1 (100 ohm)
L2	8.82569	Panjang saltran 2 (70.7 ohm)
L3	8.9495	Panjang saltran 3 (50 ohm)
L4	17.411	Panjang saltran 4 (50 ohm)

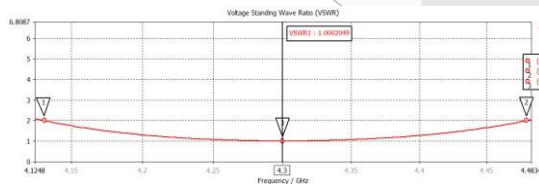
3.2.1 Return loss



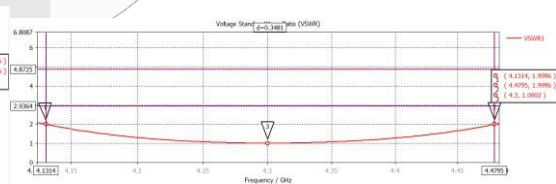
Gambar 3. 3 Return loss 4 Elemen *Proximity coupled* teknik *matching impedance*

Berdasarkan gambar 3.3 terlihat bahwa frekuensi tengah antena berada di frekuensi 4300 MHz serta nilai dari *return loss* berada pada -79,78 dB.

3.2.2 VSWR dan Bandwidth



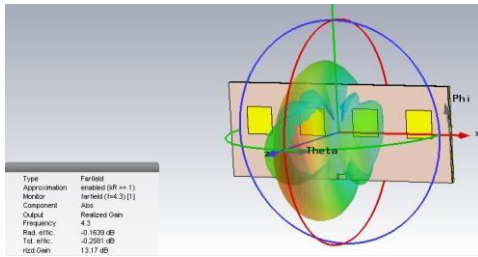
Gambar 3. 4 (a) VSWR 4 Elemen



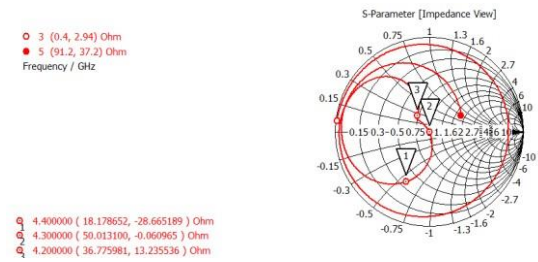
(b) Bandwidth

Berdasarkan gambar 3.4 (a) dan (b) terlihat bahwa nilai dari VSWR berada pada 1,0002 sedangkan *bandwidth* yang dihasilkan yaitu 348,1 MHz.

3.2.3 Gain dan Impedansi



Gambar 3.5 (a) Gain 4 Elemen



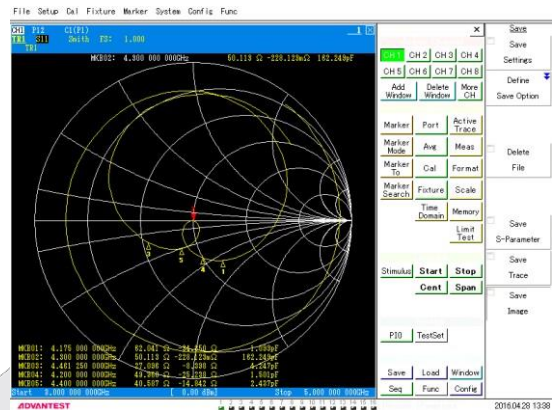
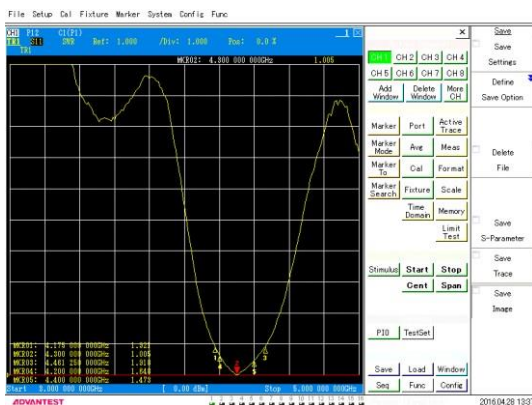
(b) impedansi 4 Elemen

Berdasarkan gambar 3.5 (a) terlihat bahwa nilai *gain* yang didapat dari simulasi berada pada 13,17 dB. Impedansi antenna setelah digunakan teknik matching impedance pada simulasi ditunjukkan pada Gambar 3.5 (b), Antena ini memiliki impedansi sebesar (50,00,-j0,01) Ω.

4. Pengukuran dan analisis

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil dari pengukuran karakteristik dan dimensi fisik antenna hasil pabrikasi . Pengukuran dimensi fisik antenna bertujuan untuk membandingkan antara performansi antenna hasil simulasi dengan performansi antenna realisasi atau hasil pabrikasi. Diharapkan dengan dilakukannya pengukuran dimensi fisik akan diketahui penyebab penyimpangan karakteristik antenna akibat proses pabrikasi antenna yang telah dirancang melalui simulasi sebelumnya. Pengukuran parameter-parameter dilakukan di Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung.

4.1 Hasil Pengukuran VSWR , Bandwidth dan Impedansi



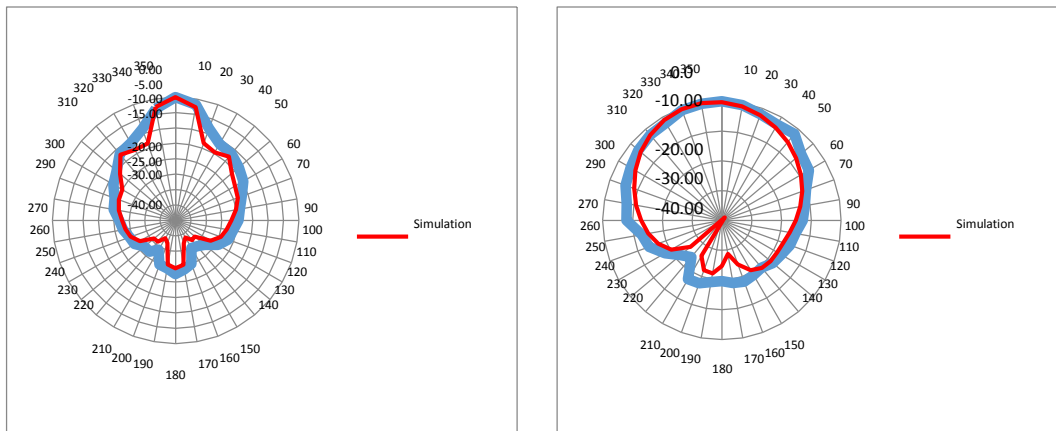
Gambar 4.1 (a) Hasil pengukuran VSWR di Network Analyzer

(b) Hasil Pengukuran Impedansi realisasi

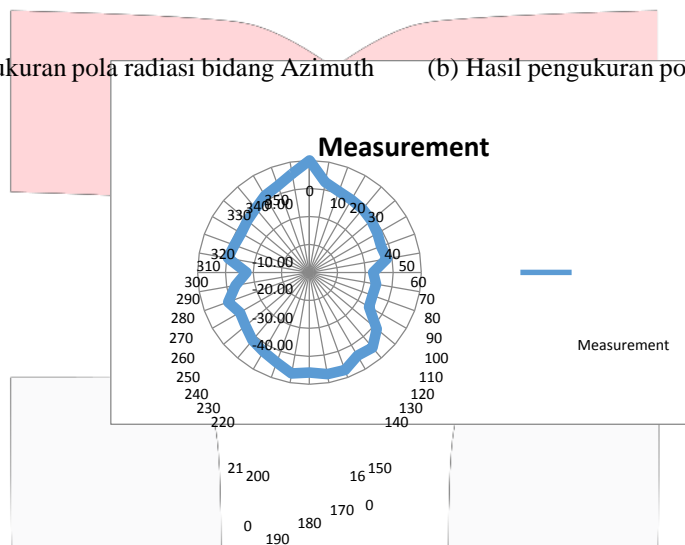
Berdasarkan gambar 4.1 (a) menunjukkan grafik VSWR pada frekuensi 4,3 adalah 1,005 Pada realisasi filter didapatkan nilai insertion loss -4.824 dB dan return loss -30.041 dB. Jika dibandingkan dengan nilai return loss -40 dB dan nilai insertion loss -1.16 dB. Hal ini menunjukkan bahwa proses fabrikasi dapat mengurangi kualitas dari output dikarenakan dalam proses fabrikasi yang sulit serta pengaruh pemasangan konektor pada filter. Pada proses fabrikasi perlu ketelitian dalam menentukan ukuran dari resonator sehingga nilai dari s – parameter dapat sesuai dengan nilai optimasi. Selain itu perlu diperhatikan pemasangan konektor sehingga daya yang dikirim akan sama dengan daya yang diterima di masing masing port.

Pada gambar 4.1 (b) menunjukkan hasil pengukuran impedansi antenna *array proximity coupled* menunjukkan nilai impedansi pada frekuensi tengah 4.3 GHz yaitu 50.118-j228,123mΩ , ini menunjukkan bahwa impedansi antenna ini telah mencapai kondisi yang *matching* yaitu berada di nilai impedansi 50 Ω.

4.2 Hasil Pengukuran pola radiasi dan polarisasi



Gambar 4. 2 (a) Hasil pengukuran pola radiasi bidang Azimuth (b) Hasil pengukuran pola radiasi bidang elevasi



(c) Hasil pengukuran polarisasi

Namun dengan melihat hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan bahwa kedua hasil tersebut (Gambar 4.2 (a) dan (b)) menunjukkan jenis pola radiasi *unidirectional* karena daya terbesar mengarah pada salah satu sudut. Maka hal ini sesuai dengan spesifikasi awal antenna yang diinginkan mempunyai pola radiasi *unidirectional*.

Hasil pengukuran polarisasi memiliki nilai R= 6,91 berbeda dengan simulasi memiliki nilai axial ratio 40 dB maka hasil pengukuran menunjukkan jenis polarisasi elips.

4.3 Hasil Pengukuran Gain

Besarnya *Gain*, ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 G_{AUT} &= P_{AUT(dBm)} - P_{REF(dBm)} + 12 \text{ dBi} \\
 &= -32,21 - (-33,67) + 12 \text{ dBi} \\
 &= 13,46 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

Hasil pengukuran gain menunjukkan nilai gain 13,46 dBi ini membuktikan bahwa gain memenuhi kebutuhan spesifikasi yang dibutuhkan

4.4 Perbandingan nilai spesifikasi, simulasi dan hasil pengukuran

Tabel 4. 1 Tabel nilai spesifikasi, simulasi dan hasil pengukuran

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,-j228,123mΩ	50,00,-j0,01Ω	50 Ω
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

Dari tabel 4.1 tersebut dapat dilihat bahwa hasil pengukuran tidak bergeser terlalu jauh dari simulasi dan juga hasil tersebut dapat dibuktikan bahwa antenna ini dapat bekerja karena memiliki nilai melebihi spesifikasi yang dibutuhkan.

5. Kesimpulan dan saran

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan dan realisasi antenna mikrostrip *array proximity coupled* sebagai berikut:

1. Semua parameter antenna diantaranya *VSWR*, *bandwidth*, *Gain*, dan pola radiasi memenuhi spesifikasi perancangan awal antenna dan hasilnya tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi.
2. Penggunaan teknik pencatutan *proximity coupled* sangat cocok dengan kebutuhan spesifikasi antenna, karena antenna dapat memiliki *bandwidth* yang lebar.
3. Penggunaan teknik *array* juga merupakan teknik yang cukup cocok dengan kebutuhan spesifikasi antenna, karena teknik ini dapat menjawab masalah kecilnya *Gain* dan *bandwidth* pada antenna mikrostrip.
4. Penggunaan teknik pertubasi juga merupakan teknik yang paling penting dalam metode antenna mikrostrip *array* karena teknik ini sangat membantu untuk membuat saluran transmisi dan antenna menjadi kondisi *matching*.

5.2 Saran

Untuk mendapatkan performansi antenna yang lebih baik pada perancangan berikutnya, terdapat beberapa hal yang bisa dijadikan saran dan sebagai bahan pertimbangan antara lain:

1. Lakukan pabrikasi semaksimal mungkin apabila menggunakan teknik *proximity coupled* dikarenakan sangat rentan bergeser frekuensinya apabila salah dalam desain film dan juga pemotongan substrat.
2. Kedepannya gunakan teknik atau metode lain dimana memiliki dimensi yang lebih kecil tetapi memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan untuk menghemat bahan.

Daftar Pustaka

- [1] Adriansyah, Nachwan Mufti. *Sistem Antena*. Bandung: Mobile Comm Laboratory, 2004.
- [2] Arif Rahman Hakim, Bambang SN, Agus Dwi P. "Perancangan Dan Realisasi Antena Mikrostrip Polarisasi Sirkular Dengan Catuan Proximity Coupled untuk Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar (CP-SAR)." 2014.
- [3] Balanis, Constantine A. *Antena Theory Analysis and Design 3rd Edition*. United Science: Willey Inter Science, 2005.
- [4] Division, Kratos Lancaster Electronic Products. "Altimeter Antenna Model 8201 Microstrip." n.d. www.kratosepd.com/lancaster (accessed December 16, 2015).
- [5] Helfrick, Albert. *Principles Of Avionics Seventh Edition*. Leesburg VA USA: Avionics Communication.inc, 2012.
- [6] K. RamaDevi A. Mallikarjuna Prasad A. Jhansi Rani. "Design of A Pentagon Microstrip Antenna for Radar Altimeter Application." *International Journal of Web & Semantic Technology* 3, no. 4 (2012): 31.
- [7] Krauss, John D. *Antennas*. United Stated: Willey Inter Science, 1998.
- [8] Laboratorium Antena Universitas Telkom. "Modul Praktikum Antena dan Propagasi S1 Teknik Telekomunikasi." 2015.
- [9] National Telecommunications And Infromation Administration . "4200-4400 MHZ." *Aeronautical Radio Navigation*, March 2014.
- [10] Organization, International Civil Aviation. "Use of 4200-4400 MHZ Radio Altimeter Band." *AERONAUTICAL COMMUNICATIONS PANEL (ACP) 24th Meeting of working group F*, March 2011.
- [11] Otto, T. "www.slideshare.net." n.d. <http://www.slideshare.net/tobiasotto/principle-of-fmcw-radars>. (accessed Januari Rabu, 2015).
- [12] R Garg, P Bhartia, I Bahl, A Ittipiboon. *Microstrip Antenna Design Handbook*. London: Artech House, 2001.
- [13] Ronaldo Ferreira Junior, Marco Marinho, Kefei Liu, Joao Paulo da Costa. "Improved Landing Radio Altimeter for Unmanned Aerial Vehicles based on an Antenna Array." *International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems*, 2012.
- [14] Sitia Gamawati Erta Lestari, Heroe Wijanto, Yuyu Wahyu, "Perancangan Dan Realisasi Antena Mikrostrip Bentuk E Modifikasi Dengan Elemen Parasit Untuk Radio Altimeter Pada Frekuensi 4.2 – 4.4 Ghz," 2015.
- [15] Sujati, Indra. *Antena Mikrostrip : Konsep dan Aplikasinya*. Jakarta: Universitas Trisakti, 2010.
- [16] THFS and NAR. "Radio Altimeter." *National Astronomy and Ionosphere Center (Arecibo Observatory)*. n.d. www.naic.edu/~phil/rfi/NAR_Radio_Altimeter.pdf (accessed January Senin, 2016).
- [17] U.S. Department Of Transportation Federal Aviation Administrationflight Standards Service. *Pilot's Handbook Of Aeronautical Knowledge*. Federal Aviation Administration. 2008. https://www.faa.gov/Regulations_Policies/Handbooks_Manuals/A%20Viation/Pilot_Handbook/ (accessed December 17, 2015).
- [18] Vidmar, Matjaz. *Design Improves 4.3-GHz Radio Altimeter Accuracy*. *Microwaves and RF*. June 17, 2005. <http://mwrf.com/systems/design-improves-43-ghz-radio-altimeter-accuracy> (accessed December 15, 2015).
- [19] Yetkil, Y.B. *Design Of an FM-CW Radar Altimeter*. Ankara: Middle East Technical University, 2005.
- [20] Zillya Fatimah, Heroe Wijanto, Yuyu Wahyu. "Perancangan Dan Realisasi Antena Phased Array Mikrostrip 1x4 X-Band." 2015.