

PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA *PHASED ARRAY* MIKROSTRIP 1×4 X-BAND

Zillya Fatimah¹, Heroe Wijanto², Yuyu Wahyu³

^{1,2}ProdiS1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³PPET-LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)

¹zillya.fatimah@gmail.com, ²heroewijanto@telkomuniversity.ac.id, ³yuyu.wahyu@ppet.lipi.go.id

Abstrak

Air Defense Radar merupakan radar pertahanan udara yang mampu mendeteksi target di udara yang meliputi posisi dan kecepatan. Sistem *Air Defense Radar* membutuhkan sebuah media transmisi berupa antenna. Untuk sistem radar konvensional, antenna diputar menggunakan rotator sehingga memungkinkan antenna melakukan *scanning* area yang lebih luas jangkauannya. Dengan menggunakan aplikasi antenna *phased array* akan memungkinkan dilakukan *scanning* secara elektrik, dimana dengan posisi antenna yang tidak berubah tapi pola radiasi bisa diarahkan dengan cara mengendalikan fasa arus catu pada antenna. Pada penelitian ini, antenna dirancang dan disimulasikan dengan bantuan perangkat lunak dan direalisasikan menggunakan bahan substrat Rogers *Duroid* 5880 dengan nilai ($\epsilon_r = 2,2$ dan $h = 1,57$ mm). Antenna bekerja pada frekuensi *X-Band* (9,37 – 9,43 GHz) dengan VSWR di bawah 2 (1,101, 1,104, 1,106, dan 1,109), berpolarisasi linier, memiliki *gain* 18,636 dBi dan pola radiasi unidireksional. Antenna memiliki dimensi 256,6 × 37,88 × 1,535 mm serta mampu menggeser fasa secara elektrik sebesar 20° dan 30° saat variasi sudut fasa 70° dan 90° dengan menggunakan variasi kabel catu. Dengan spesifikasi tersebut antenna *phased array* mampu bekerja dengan baik untuk *Air Defense Radar*.

Kata kunci: Antena *Phased Array*, *Phase Shifter*, X-Band

Abstract

Air Defense Radar is an air defense radar that capable of detecting targets in the air include the position and velocity. *Air Defense Radar*'s system need a transmission medium that is antenna. For conventional radar system, radar antenna is rotated using rotator which allow the antenna scanning the area around them. The *phased array* antenna application allows electric scanning in the radar antenna, which is not change the position of antenna but the radiation pattern can be directed with controlling the supply current phase in the antenna. In this paper, antenna designed and simulated with software and realized using a substrate material *Duroid* Rogers 5880 with a value ($\epsilon_r = 2.2$ and $h = 1.57$ mm). Antenna works at a *X-Band* (9.37 – 9.43 GHz) frequency that produces VSWR are 1.101, 1.104, 1.106, 1.109, linear polarization, gain 18.636 dBi and unidirectional radiation pattern. Antenna has 256.6 × 37.88 × 1.535 mm dimension and electrically able to shift the phase until 20° and 30° with phase difference of 70° dan 90° using a variation of supply cable. With these specification, the *phased array* antenna is work well for the performance of air defense radar.

Keywords: Antena *phased array*, *Phase shifter*, X-band

1. Pendahuluan

Radio Detection and Ranging (radar) adalah suatu sistem deteksi gelombang radio yang berguna untuk mendeteksi, mengukur jarak dan memetakan map benda-benda seperti pesawat terbang, militer, dan informasi cuaca. Untuk sistem radar konvensional, antenna radar diputar menggunakan rotator sehingga memungkinkan antenna melakukan *scanning* area sekitar antenna. Dengan aplikasi antenna *phased array* maka memungkinkan dilakukan *scanning* secara elektrik pada antenna radar, dimana dengan posisi antenna tidak berubah tetapi pola

radiasi bisa diarahkan dengan mengendalikan fasa arus catu pada antenanya.

Dalam penelitian sebelumnya di rancang sebuah antenna *phased array* pada frekuensi X-band menggunakan butler matrix [6]; dan pada penelitian [7] didesain *phased array antenna* 32 elemen untuk SAR; serta pada penelitian [8] didesain *phased array antenna* dengan desain antenna dipole. Pada makalah ini, antenna dirancang dan disimulasikan dengan bantuan perangkat lunak bantu yang memiliki desain antenna mikrostrip dan direalisasikan menggunakan bahan substrat Rogers *Duroid* 5880 dengan nilai ($\epsilon_r = 2,2$ dan $h = 1,57$ mm). Antenna bekerja pada

frekuensi *X-Band* (9,37– 9,43GHz)

2. Metodologi

2.1 Desain Antena

Spesifikasi dari *Phased Array Antenna* yang akan direalisasikan adalah sebagai berikut:

2.2 Perhitungan Dimensi Antena Mikrostrip

a. Frekuensi Tengah ^[1]

$$f_c = \frac{f_L + f_H}{2} = \frac{9,37 \times 10^9 + 9,43 \times 10^9}{2} = 9,4 \times 10^9 = 9,4 \text{GHz} \quad [1]$$

b. Panjang Gelombang ^[1]

$$\lambda = \frac{c}{f_c} = \frac{3 \times 10^8}{9,4 \times 10^9} = 0,03 \text{m} = 3,19 \quad [2]$$

c. Lebar Patch ^[11]

$$W = \frac{V_0}{2fr} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 9,4 \times 10^9} \sqrt{\frac{2}{2,2 + 1}} = 0,0126154 \text{m} = 12,615 \text{mm} \quad [3]$$

d. Panjang Patch ^[11]

$$\epsilon_{r_{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1} = \frac{2,2 + 1}{2} + \frac{2,2 - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{1,5 \times 10^{-3}}{12,6 \times 10^{-3}} \right]^{-1} = 1,9851 \quad [4]$$

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{r_{eff}} + 0,3) \left(\frac{w}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{r_{eff}} - 0,258) \left(\frac{w}{h} + 0,8 \right)} = 0,412h \frac{(3,0564 + 0,3) \left(\frac{12,61}{1,5} + 0,264 \right)}{(3,0564 - 0,258) \left(\frac{12,61}{1,5} + 0,8 \right)} = 0,768 \text{mm} \quad [5]$$

$$L = \frac{1}{2fr \sqrt{\epsilon_{r_{eff}}} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L = \frac{1}{2 \times 9,4 \times 10^9 \sqrt{1,9851} 516 \sqrt{4\pi \times 107 \times 8,85 \times 10^{-12}}} - 2\Delta L = 9,782 \text{mm} \quad [6]$$

e. Lebar Substrate ^[11]

$$W_s = 6h + W_{patch} = 21,61 \text{mm} \quad [7]$$

f. Panjang substrate ^[11]

$$L_s = 6h + L_{patch} = 18,78 \text{mm} \quad [8]$$

g. Lebar Saluran Transmisi ^[10]

$$\frac{w}{h} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{8e^A}{e^{2A-2}} \\ \text{untuk } \frac{w}{h} < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right\} \right] \\ \text{untuk } \frac{w}{h} > 2 \end{array} \right\} \quad [9]$$

Untuk $\frac{w}{h} > 2$

Karena $\frac{w}{h}$, maka :

$$\circ B_1 = \frac{377\pi}{2Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{377\pi}{2 \times 200 \sqrt{2,2}} = 1,996 \quad [10]$$

$$W_1 = 0,67 \text{mm}$$

$$\circ B_2 = \frac{377\pi}{2Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{377\pi}{2 \times 100 \sqrt{2,2}} = 3,9924 \quad [11]$$

$$W_2 = 1,3 \text{mm}$$

$$\circ B_3 = \frac{377\pi}{2Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{377\pi}{2 \times 50 \sqrt{2,2}} = 7,984 \quad [12]$$

$$W_3 = 4,59 \text{mm}$$

h. Perhitungan panjang Saluran Transmisi ^[10]

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{r_{eff}}}} = \frac{0,03 \text{m}}{\sqrt{1,985}} = 22 \text{mm} \quad [13]$$

$$l_f = \frac{\lambda_g}{4} = 5,662 \text{mm} \quad [14]$$

i. Perhitungan Jarak Antar Elemen Antena ^[10]

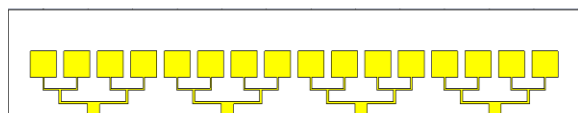
$$d = \frac{\tau}{2} = \frac{c}{2f} = 15 \text{mm} \quad [15]$$

Tabel 1. Spesifikasi Antena yang dirancang

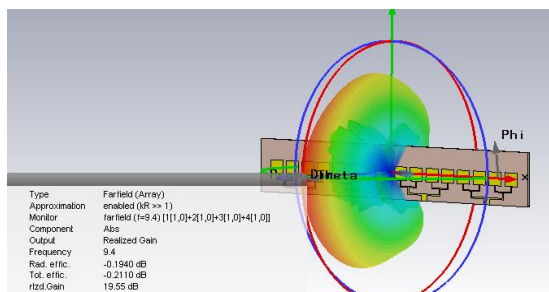
Desain antena	:	<i>Phased Array</i> 1×4
Jenis antena	:	<i>Phased array</i>
Frekuensi kerja	:	<i>X-Band</i> (9,37 – 9,43 GHz)
Frekuensi tengah	:	9,4 GHz
VSWR	:	≤ 1,5
Pola Radiasi	:	Unidireksional
Polarisasi	:	Linear
Gain	:	≥ 10 dBi
Impedansi	:	50 Ω <i>unbalance</i>
Bandwidth	:	≥ 50 MHz
Bahan PCB	:	Rogers Duroid 5880

Tabel 2. Hasil Simulasi Antena 16 Elemen

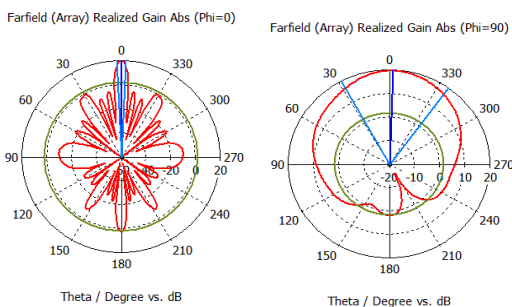
Antena port ke-	Frekuensi Tengah	Return Loss	VSWR	Bandwidth (MHz)
1	9,4	-26,058	1,104	448
2	9,4	-25,674	1,109	441
3	9,4	-25,674	1,109	440,5
4	9,4	-26,058	1,104	445,8



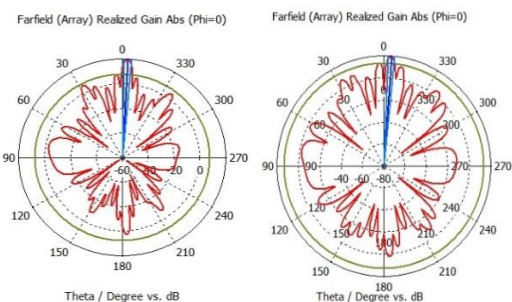
Gambar 2(a). Desain Antena Array Mikrostrip 16 elemen



Gambar 2(b). Gain Antena Hasil Simulasi



Gambar 2(c). Hasil Simulasi Pola Radiasi (i) Azimuth (ii) Elevasi



Gambar 2(d). Hasil Simulasi Pola Radiasi azimuth (i) Beda fasa 70° (ii) Beda fasa 90°

Antena ini memiliki 4 modul, dimana masing masing modul terdiri dari 4 elemen antena, antena dibuat bersusun array agar memiliki gain >10dB, Karena semakin banyak jumlah elemen suatu antena array gainnya akan semakin tinggi. Pergeseran fasa pada gambar 2(d) hasil pola radiasi di dihasilkan pada beda fasa 70° bergeser sebesar 3° dengan besar gain 20,02dB dan pada beda fasa 90° bergeser 4° dengan gain 19,37dB. Untuk perhitungan gain secara teoritis sebagai berikut:

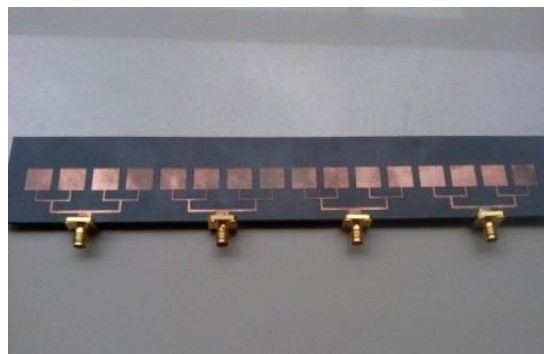
$$G_{total} = 10 \log N + G_{elemen} = \tag{16}$$

$$G_{total} = 10 \log 16 + 6,911 = 18,952 \tag{17}$$

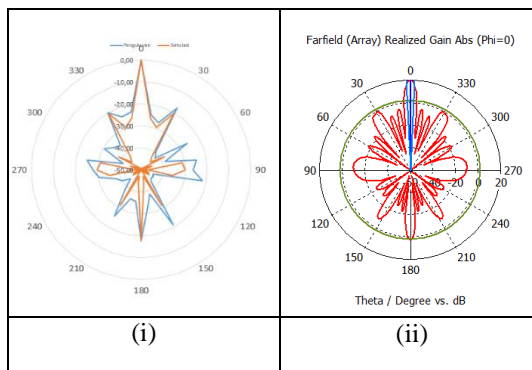
$$G_{70^0} = 18,952 - 0,05852 = 18,893 \tag{17}$$

$$G_{90^0} = 18,952 - 0,1145 = 18,8375 \tag{18}$$

Dari hasil gain yang dihasilkan sudah memenuhi spesifikasi antena radar yaitu gain harus ≥10dB. Pola radiasi azimuth dan elevasi bersifat unidireksional karena fokus ke satu arah, 0° pada azimuth, 358° pada arah elevasi. Hasil Frekuensi, Bandwidth, Return Loss, VSWR, impedansi, gain, pola radiasi sudah sesuai spesifikasi dan pergeseran sudut sebesar 3° dan 4° untuk masing-masing beda fasa 70° dan 90°.

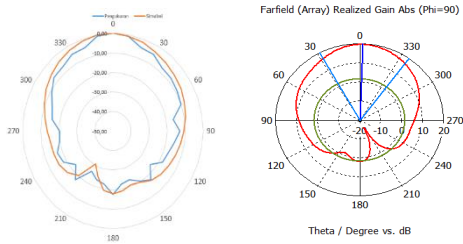


Gambar 3(a). Realisasi Antena Tampak Depan

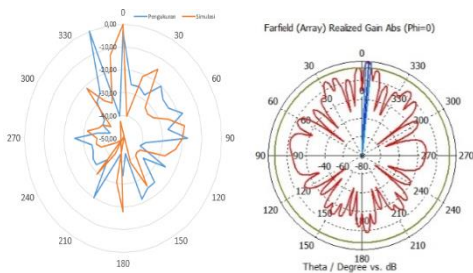


Gambar 3(b). Perbandingan Pola Radiasi Azimuth(i) Realisasi (ii) Simulasi

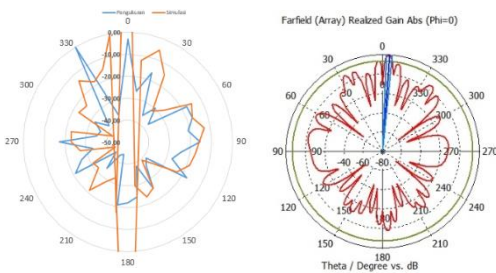
2.3 Simulasi Software



Gambar 3(c). Perbandingan Pola Radiasi Elevasi 90° (i) Realisasi (ii) Simulasi



Gambar 3(d). Perbandingan Pola Radiasi 70° Elevasi (i) Realisasi (ii) Simulasi



Gambar 3(e). Perbandingan Pola Radiasi 90° Elevasi (i) Realisasi (ii) Simulasi

Tabel 3(a). Hasil Pengukuran Return Loss, VSWR, Impedansi.

Variasi Fasa 70°		Variasi Fasa 90°	
Beda Fasa	Panjang catuan (cm)	Beda Fasa	Panjang catuan (cm)
$\frac{0^0}{360^0} \times \lambda = 0\lambda$	0	$\frac{0^0}{360^0} \times \lambda = 0\lambda$	0
$\frac{70^0}{360^0} \times \lambda = 0,194\lambda$	0,58	$\frac{90^0}{360^0} \times \lambda = 0,25\lambda$	0,75
$\frac{140^0}{360^0} \times \lambda = 0,38\lambda$	1,166	$\frac{180^0}{360^0} \times \lambda = 0,5\lambda$	1,5
$\frac{210^0}{360^0} \times \lambda = 0,583\lambda$	1,75	$\frac{270^0}{360^0} \times \lambda = 0,75\lambda$	2,25

Tabel 3(b) Perhitungan Variasi Kabel Pencatu

Antena port ke-	Return loss (dB)	VSWR	Bandwith (MHz)
1	-26,354	1,101	357
2	-26,845	1,104	582
3	-28,649	1,076	575
4	-25,702	1,109	732

3. Hasil dan Pembahasan

Dimensi antenna yang difabrikasi didapat ukuran 256,6 × 37,88 x 1,535 mm. Antena di realisasikan dengan substrat Roger Duroid 5880 karena memiliki tangen loss yang rendah sehingga jumlah energi yang hilang (disipasi) akan bernilai rendah. Alat ukur yang digunakan yaitu *Spectrum analyzer* untuk pengukuran *gain* dan polaradiasi dari antenna. Dalam penggunaannya, *spectrum analyzer* ditempatkan pada antenna penerima (Rx) yang akan menampilkan level daya terima (RSL). Melalui pengukuran inilah dapat diketahui karakteristik level sinyal pada antenna penerima. *Sweep oscilator* digunakan dalam pengukuran *gain* dan polaradiasi. Dalam pengukuran ini, *sweep oscilator* ditempatkan pada antenna pemancar (Tx) yang berfungsi memberikan level daya dan frekuensi. *Network analyzer* digunakan dalam pengukuran VSWR, *return loss*, *bandwidth*, dan impedansi antenna. *Network analyzer* akan menampilkan grafik hasil ukur berupa VSWR fungsi frekuensi, dan impedansi dalam bentuk *smithchart*.

3.1 Hasil Pengukuran Return Loss, VSWR, Impedansi

Berdasarkan perbandingan tabel diatas yang memberikan perbedaan hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Nilai VSWR yang didapat dari pengukuran pada frekuensi 9,4 GHz memiliki nilai ≤ 1,5, hal ini menunjukkan bahwa gelombang yang dipantulkan kembali ke arah generator bernilai kecil. Hal ini bisa berhubungan dengan nilai impedansi masukan dari kedua antenna yang juga *relative matching* dengan saluran transmisi.

3.2 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Azimuth dan Elevasi

Dari hasil yang diperoleh terlihat perbedaan pola radiasi baik pada arah *azimuth* maupun elevasi antara hasil pengukuran dan simulasi. Terdapat beberapa faktor: Pengukuran tidak dilakukan di ruangan *anechoic chamber*, Perangkat untuk pengukuran yang masih manual.

3.3 Hasil Pengukuran Pola Radiasi dengan Phase Shifter

Phase shifter yang digunakan pad pengujian ini

adalah menggunakan variasi kabel pencatu, untuk penjelasannya sebagai berikut:
 Pada pengukuran pola radisasi elevasi ini, hanya dilakukan pengukuran terhadap frekuensi kerja yaitu 9,4 GHz.
 Pada saat realisasi fasa mengarah ke 20° dan 30° untuk masing-masing perubahan fasa 70° dan 90° Saat simulasi hanya 3° dan 4°.

3.4 Hasil Perhitungan Pola Radiasi dengan Prinsip Perkalian Diagram

a. Antena 4 Elemen Isotropis

$$E_{tot} = \sum_{i=1}^4 A_i E_0 e^{\pm j\beta\Delta d} e^{\pm j\alpha} \quad [1]$$

$$E_{01} = E_0 e^{-j\frac{2\pi 6\lambda}{\lambda 8} \sin \theta} e^{j.0}$$

$$E_{01} = E_0 e^{-j\frac{3\pi}{2} \sin \theta}$$

$$E_{02} = E_0 e^{-j\frac{2\pi\lambda}{\lambda 4} \sin \theta} e^{j.0}$$

$$E_{02} = E_0 e^{-j\frac{1\pi}{2} \sin \theta}$$

$$E_{03} = E_0 e^{+j\frac{2\pi\lambda}{\lambda 4} \sin \theta} e^{j.0}$$

$$E_{03} = E_0 e^{+j\frac{1\pi}{2} \sin \theta}$$

$$E_{04} = E_0 e^{+j\frac{2\pi 6\lambda}{\lambda 8} \sin \theta} e^{j.0}$$

$$E_{04} = E_0 e^{+j\frac{3\pi}{2} \sin \theta}$$

$$E_{tot} = \sum_{i=1}^4 A_i E_0 e^{\pm j\beta\Delta d} e^{\pm j\alpha}$$

$$= E_0 \begin{bmatrix} e^{-j\frac{3\pi}{2} \sin \theta} & + e^{+j\frac{3\pi}{2} \sin \theta} \\ + e^{-j\frac{\pi}{2} \sin \theta} & + e^{+j\frac{\pi}{2} \sin \theta} \end{bmatrix}$$

$$E_{tot} = 2 \cos\left(\frac{3\pi}{2} \sin \theta\right) + 2 \cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \theta\right)$$

b. Perhitungan Pergeseran Beda Fasa 70°

$$E_{TOTAL} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$$

$$= E_{tot} \begin{bmatrix} e^{-j6\pi \sin \theta} + e^{+j6\pi \sin \theta} e^{j210^\circ} \\ + e^{-j2\pi \sin \theta} e^{j70^\circ} \\ + e^{+j2\pi \sin \theta} e^{j140^\circ} \end{bmatrix}$$

$$E_{TOTAL} = E_{tot} \left[\begin{matrix} \left(2 \cos\left(6\pi \sin \theta + 105^\circ\right)\right) \\ + \left(2 \cos\left(2\pi \sin \theta + 35^\circ\right)\right) \end{matrix} \right] e^{j105}$$

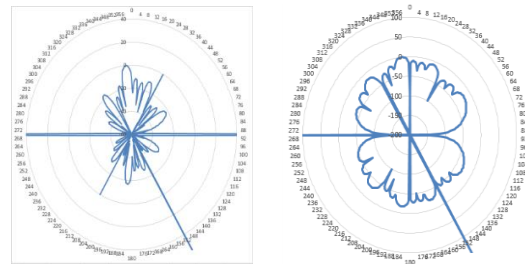
c. Perhitungan Pergeseran Beda Fasa 90°

$$E_{TOTAL} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$$

$$= E_{tot} \begin{bmatrix} e^{-j6\pi \sin \theta} + e^{-j6\pi \sin \theta} e^{j270^\circ} \\ + e^{-j2\pi \sin \theta} e^{j90^\circ} \\ + e^{-j2\pi \sin \theta} e^{j180^\circ} \end{bmatrix}$$

$$= E_{tot} \left[\begin{matrix} \left(2 \cos\left(6\pi \sin \theta + 135^\circ\right)\right) \\ + \left(2 \cos\left(2\pi \sin \theta + 45^\circ\right)\right) \end{matrix} \right] e^{j135}$$

Setelah mendapatkan hasil perhitungan pada pergeseran fasa 70° dan 90° lalu di kalikan dengan hasil pola radiasi antena satu-elemen yang identik dengan n antena isotropis yang telah di array untuk masing-masing fasa dan didapatkan pergeseran sudut untuk beda fasa 70° dan 90° adalah 5° dan 7°



Gambar 3(f) Perhitungan pola radiasi beda fasa 70° (i), Perhitungan pola radiasi beda fasa 90° (ii)

Tabel 3(c) Tabel Perbandingan Hasil Simulasi Realisasi dan Perhitungan Menggunakan Phase Shifter

Beda fasa	Beam steering			Gain		
	Simulasi	Realisasi	Perhitungan	Simulasi	Realisasi	Perhitungan
70°	3°	20°	5°	20,02 dB	18,53 5 dB	18,893 dB
90°	4°	30°	7°	19,37 dB	17,25 2 dB	18,952 dB

Perbedaan hasil simulasi dan realisasi dikarenakan pengukuran antena di lakukan tempat yang banyak pantulan sinyal lain sehingga data yang didapatkan

kurang akurat, kurang presisinya panjang kabel catuan berdasarkan perhitungan serta Pengaruh perpanjangan dari kabel combiner Namun dengan melihat kedua hasil di atas menunjukkan bahwa terjadi pergeseran fasa dengan penambahan secara konstan.

3.5 Hasil Pengukuran Gain

Berdasarkan hasil pengukuran pada frekuensi 9,4 GHz didapatkan gain sebesar 18,636 dBi, ketika diarahkan pada sudut 70° sebesar 18,535 dBi, ketika diarahkan pada sudut 90° sebesar 17,252 dBi.

3.6 Analisis Hasil Pengukuran

Pada Hasil simulasi dan pengukuran Return Loss, Impedansi, Bandwidth, VSWR terdapat perbedaan. Nilai VSWR yang didapat dari pengukuran pada frekuensi 9,4 GHz memiliki nilai $\leq 1,5$, hal ini menunjukkan bahwa gelombang yang dipantulkan kembali ke arah generator bernilai kecil. Hal ini bisa berhubungan dengan nilai impedansi masukan dari kedua antena yang juga *relative matching* dengan saluran transmisi, impedansi saluran transmisi pada rentang frekuensi 9,37 - 9,43 GHz menunjukkan nilai impedansi mendekati kurang lebih 50Ω . Pada pengukuran pola radiasi dan gain terlihat perbedaan antara hasil pengukuran dan simulasi. 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

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan dan realisasi Antena *Phased Array* 1x4 Elemen Mikrostrip adalah sebagai berikut:

1. Semua parameter antena diantaranya VSWR, *bandwith*, *gain*, dan pola radiasi memenuhi spesifikasi perancangan awal antena dan hasilnya tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi.

2. Hasil Pergeseran sudut untuk beda fasa 70° dan 90° adalah sebesar 20° dan 30° , hasil ini berbeda dengan simulasi diakibatkan karena pengukuran tidak dilakukan di ruang anechoic chamber sehingga terjadi banyak pantulan saat pengukuran dan juga disebabkan kurang presisinya panjang kabel catuan berdasarkan perhitungan serta pengaruh perpanjangan dari kabel *combiner* yang digunakan.
3. Pemasangan variasi kabel catuan pada antena yang berfungsi sebagai *phase shifter* dapat menggeser fasa pada pola radiasi antena, tetapi terdapat perbedaan antara hasil simulasi dan realisasi pengukuran.

Daftar Pustaka

- [1] C. Balanis, Antena Theory: Analysis and Design, New York: Harper & Row Publisher, 1982.
- [2] Mailloux and R. J. , Phased Array Antenna Handbook, 2005.
- [3] Skolnik and M. I. , Introduction to Radar System, McGrawhill, 1980.
- [4] Kraus and JohnD, Antennas For All Applications, New York: McGraw-Hill, 1961.
- [5] K.Hussein and M.S.Mahdi, Design of Five Bit Digital Phase Shifter, 2012.
- [6] Prasetyo and A. Hananto, Perancangan Dan Realisasi Antena Phased Array Pada Fasa 0° - 180° Untuk Efektivitas Peluru Kendali Atau Rudal Antikapal Pada Frekuensi X-Band (9.4 Ghz), 2012.
- [7] Prasetyo and A. Hananto, Perancangan Dan Realisasi Antena Phased Array Pada Fasa 0° - 180° Untuk Efektivitas Peluru Kendali Atau Rudal Antikapal Pada Frekuensi X-Band (9.4 Ghz), 2012.
- [8] A. A. Shafaat and P. SUPARCO, Karachi Design & Development of a 32 Elements X-band Phased Array Antenna for Airborne & Space Borne SAR Payloads, 2102.
- [9] Firdaus and Sri Yusnita, Pengontrolan Polaradiasi Antena Array Dengan Antena individu Dipole $\frac{1}{2}$ Lambda, 2013.
- [10] M.U.Afzal, A.A.Qureshi, M.A.Tarar and T.Taqueer, Modeling and Simulation of an X-band Planar Phased Array Antenna.
- [11] Visser Hubregt j, Array and phased array antenna, 2005.
- [12] Hansen and Robert C, Phased Array Antennas second edition, 2009.