

PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP ARRAY PADA FREKUENSI X-BAND UNTUK APLIKASI RADAR CUACA

DESIGN OF ARRAY MICROSTRIP ANTENNA AT X-BAND FREQUENCY FOR WEATHER RADAR APPLICATION

Rahmita Rufaidah¹, Aloysius Adya P², Radial Anwar³

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

¹titarahmita@student.telkomuniversity.ac.id,

²pramuditaadya@telkomuniversity.ac.id, ³radialanwar@tass.telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Radar merupakan sistem gelombang elektromagnetik yang digunakan untuk mendeteksi, mengukur jarak dan memetakan benda-benda seperti kapal laut, pesawat terbang dan kendaraan bermotor. Daerah cakupan radar dapat ditentukan dari *bandwidth*, daya pancar, propagasi sinyal, gain, *beamwidth* dan polarisasi antena. Pola radiasi satu elemen antena relatif lebar dan setiap elemen memberikan *gain* yang rendah, hal ini hanya dapat dipenuhi dengan memperbesar ukuran antena yaitu dengan membentuk elemen sesuai dengan konfigurasi geometri tertentu yang disebut dengan *array*.

Pada penelitian kali ini membahas tentang antena mikrostrip *array* pada frekuensi x-band untuk aplikasi radar. Setiap penambahan jumlah elemen antena *array*, maka semakin kecil pola radiasi sidelobe yang terjadi namun arus eksitasi transmisi yang diperlukan menjadi lebih banyak. Sehingga penelitian ini difokuskan untuk mengetahui pengaruh antena *array* yang digunakan pada aplikasi radar terhadap nilai pola radiasi dan *beamwidth* yang dihasilkan dari adanya penambahan *array* tersebut.

Hasil dari antena mikrostrip *array* pada frekuensi x-band ini telah memenuhi spesifikasi antena dengan VSWR yaitu 1,39, *bandwidth* 86 MHz, *beamwidth* azimuth 19,5° dan *beamwidth* elevasi 19,8° dan gain antena sebesar 13,23 dBi. Hasil tersebut sudah memenuhi spesifikasi antena aplikasi radar dengan *beamwidth* yang sempit serta gain yang cukup besar.

Kata Kunci: Antena mikrostrip *array patch* persegi, *beamwidth*, aplikasi radar

Abstract

Radar is an electromagnetic wave system that is used to detect, measure distances and map objects such as ships, aircraft and motor vehicles. The radar coverage area can be determined from bandwidth, transmit power, signal propagation, gain, beamwidth and antenna polarization. The radiation pattern of one antenna element is relatively wide and each element gives a low gain, this can only be fulfilled by increasing the size of the antenna by forming the element according to a certain geometrical configuration called an array.

This research discusses the microstrip array antenna at x-band frequency for radar applications. Each additional number of antenna array elements, the smaller the sidelobe radiation pattern that occurs but the transmission excitation currents needed become more. So this research is focused to find out the effect of antenna array used in radar applications on the value of radiation patterns and beamwidth resulting from the addition of the array.

The results of the microstrip array antenna at the x-band frequency have met the antenna specifications with VSWR of 1.39, 86 MHz bandwidth, 19.5° azimuth beamwidth and 19.8° elevation beamwidth and antenna gain of 13,23 dBi. These results have met the radar application antenna specifications with a narrow beamwidth and a large enough gain.

Keywords: Square patch array microstrip antenna, beamwidth, radar applications

1. Pendahuluan

Antena merupakan salah satu elemen penting dalam terselenggaranya hubungan komunikasi nirkabel antara dua user atau lebih yang ingin berkomunikasi. Kegunaan antena tidak lepas dari perkembangan teknologi informasi, karena kini penggunaan antena tidak hanya terbatas pada komunikasi suara saja, tetapi juga komunikasi data dan radar. Hal ini akan membutuhkan perkembangan perangkat fisik yang mampu menjadikan jembatan komunikasi antara satu perangkat komunikasi dengan yang lainnya. 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 antenna mikrostrip, yaitu mudah untuk dirancang dan ringan sehingga dapat memberikan performansi yang lebih baik [1].

Antena mikrostrip banyak digunakan pada berbagai sistem *wireless* maupun radar. Antena ini berpotensi dikembangkan sebagai struktur dasar sistem antena untuk radar x-band yang di rancang sebelumnya. Namun demikian gain yang rendah perlu diatasi, sehingga dibuatlah antena mikrostrip array agar nilai gain yang dihasilkan semakin meningkat.

Pola radiasi satu elemen antena relatif lebar dan setiap elemen memberikan *gain* yang rendah. Banyak aplikasi yang membutuhkan karakteristik antena yang terarah untuk memenuhi kebutuhan komunikasi jarak jauh, seperti pada komunikasi satelit, mobile, dan radar. Pola radiasi antena *array* ditentukan dengan masukan parameter desain dan delay relatif tiap elemen. Antena *array* memiliki nilai *gain* yang tinggi dan memiliki pola radiasi terarah pada penerimaan sinyal datang di sudut tertentu, hal ini yang mendasari penggunaan antena *array* pada sistem radar.

Pada pengembangan radar x-band untuk penelitian ini, membutuhkan antena dengan spesifikasi frekuensi kerja 10 GHz, dengan *bandwidth* sebesar > 60 MHz, dan memiliki nilai *gain* yang tinggi yaitu sebesar 10 dBi serta nilai *beamwidth* sebesar $< 20^\circ$.

2. Dasar Teori

2.1 Radar

Radar adalah sebuah sistem yang menggunakan gelombang elektromagnetik untuk mengidentifikasi jarak, ketinggian, arah ataupun kecepatan dari masing-masing benda bergerak ataupun diam seperti pesawat, perahu, sepeda motor ataupun bahan mineral dalam tanah. Sistem radar ini terdiri dari dua bagian utama yaitu perangkat *transmitter* (pemancar) dan *receiver* (penerima).

Radar bekerja dengan cara mengirimkan sinyal radio ke udara dan menunggu sinyal tersebut kembali. Jika sinyal radio yang ditransmisikan mengenai suatu objek kemudian akan banyak energi yang berhambur, tapi sebagian akan dipantulkan kembali ke penerima radar sehingga keberadaan target bisa ditetapkan oleh sinyal pantul. Jarak target dari radar dapat ditentukan oleh pengukuran dari lamanya waktu yang ditempuh sinyal saat pada saat pengiriman dan penerimaan dari pantulan [5].

2.2 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip dapat didefinisikan sebagai salah satu jenis yang mempunyai bentuk seperti bilah atau potongan sangat tipis/kecil. Antena mikrostrip menjadi pilihan dikarenakan bahannya yang sederhana dan murah. Struktur dasar dari antena mikrostrip terdiri atas tiga lapisan diantaranya:

Patch

Patch ini terletak pada bagian paling atas antena mikrostrip dan berfungsi sebagai radiator. Umumnya *patch* dibuat dari material konduktor seperti logam. Banyak macam bentuk *patch* antena mikrostrip yang dapat dirancang sesuai dengan kebutuhan. Namun dalam penelitian ini akan dirancang sebuah *patch* berbentuk persegi sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

Substrat Dielektrik

Substrat terletak dibagian bawah *patch*. Pemilihan material *substrat* berdasarkan karakteristik material yang diinginkan untuk daya yang optimal pada suatu jarak frekuensi tertentu. Spesifikasi umum *substrat*, yaitu konstanta dielektrik, faktor disipasi (*loss tangent*), dan ketebalan.

Groundplane

Groundplane terletak dibagian dasar antena mikrostrip. Material yang dibuat sama dengan material pada *patch*, yakni konduktor. *Groundplane* ini berfungsi untuk memantulkan radiasi yang dihasilkan dari elemen peradiasi. Dalam penelitian ini, bentuk *groundplane* yang akan dirancang adalah sama dengan bentuk *substrat*-nya.

2.3 Mikrostrip Line Feed

Microstrip Line Feed merupakan salah satu metode pencatuan antena mikrostrip yang digunakan dalam perancangan penelitian ini. Dalam pencatuan jenis ini, *patch* dari mikrostrip di catu dengan jalur konduktor yang diletakkan di sisi yang sama pada elemen *patch*, atau biasa disebut dengan *microstrip line*. *Microstrip line feed* sangat mudah didesain, dihubungkan, dan dipabrikasi. Namun juga memiliki kelemahan, yaitu menghasilkan *bandwidth* yang sempit.

2.4 Dimensi Antena Mikrostrip

Dimensi antena sangat berpengaruh pada nilai yang diperoleh untuk mencapai spesifikasi tertentu dalam suatu parameter. Untuk mencari dimensi antena mikrostrip, harus diketahui terlebih dahulu parameter bahan yang digunakan, diantaranya tebal *substrat* (h), konstanta dielektrik (ϵ_r), tebal konduktor (t), dan frekuensi kerja yang diharapkan (fr).

Dimensi Elemen Peradiasi (*Patch*)

Dalam hal ini, antena mikrostrip yang akan dirancang adalah berbentuk persegi. Bentuk tersebut memiliki panjang sisi *patch* saja. Hasil perhitungan dapat diperoleh panjang sisi *patch* (L_s) melalui Persamaan (2.1) dan Persamaan (2.2). Pencarian nilai panjang gelombang pada *patch* (F) adalah sebagai berikut [9]:

$$F = \frac{8,79 \times 10^9}{fr \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.1)$$

Dimana f_r merupakan frekuensi kerja antena dan ϵ_r merupakan konstanta dielektrik antena. Dari persamaan (2.1), maka diperoleh panjang *patch* (L_s) sebagai berikut [9]:

$$L_s = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi\epsilon_r F} \left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1,7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} \times 2 \quad (2.2)$$

Dimana:

L_s = Lebar sisi *patch*

ϵ_r = Konstanta dielektrik antena

h = Ketebalan *substrat*

F = Panjang gelombang pada *patch*

Dimensi Saluran Pencatu

Saluran pencatu yang akan dirancang adalah saluran pencatu *feed line*. Untuk membuat *matching* antena, hal yang dapat dilakukan adalah dengan mengubah-ubah ukuran lebar saluran pencatu dan mengubah-ubah posisi pencatu terhadap *patch*. Lebar saluran pencatu (W_f) dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.3) dan Persamaan (2.4) [4]. Berikut nilai A pada Persamaan (2.3) untuk dapat disubstitusikan ke dalam Persamaan (2.4) adalah [6]:

$$A = \frac{Z_0}{60} + \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r}\right) \quad (2.3)$$

Dengan nilai A , akan diperoleh nilai lebar saluran pencatu sebagai berikut [9]:

$$w_f = \frac{8h \exp(A)}{\exp(2A) - 2} \quad (2.4)$$

Dimana:

Z_0 = Impedansi karakteristik sebesar 50Ω

ϵ_r = Konstanta dielektrik antena

W_f = Lebar saluran pencatu

Kemudian untuk menentukan panjang saluran pencatu dengan diawali pengecekan nilai $\frac{W_f}{h} < 1$ atau $\frac{W_f}{h} > 1$. Jika kondisi yang diperoleh yaitu $\frac{W_f}{h} > 1$, maka menggunakan Persamaan (2.5) untuk menghitung ϵ_{eff} . Sedangkan jika kondisi yang diperoleh yaitu $\frac{W_f}{h} < 1$, maka menggunakan Persamaan (2.6) untuk menghitung ϵ_{eff} [9].

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W_f}}} \right) \quad (2.5)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{w_f}}} + 0,041 \left(\sqrt{1 - \frac{w_f}{h}} \right) \right) \quad (2.6)$$

Dimana ϵ_{eff} adalah konstanta dielektrik efektif. Selanjutnya dapat ditentukan nilai panjang saluran pencatu (P_c) berdasarkan Persamaan (2.7) [9].

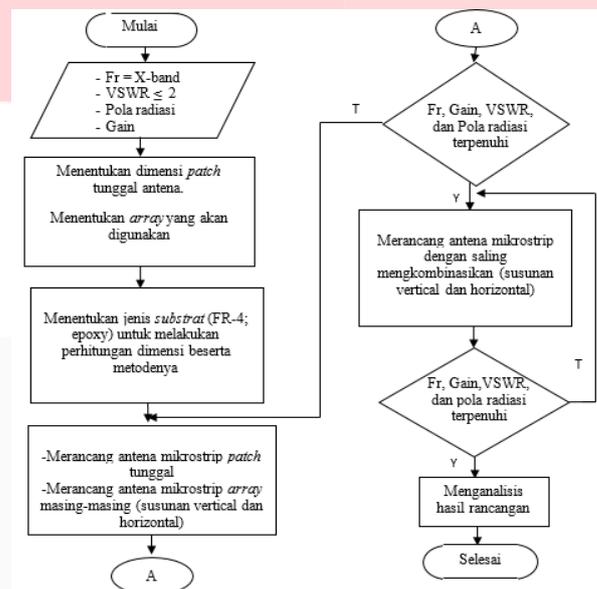
$$P_c = \frac{\lambda_g}{4} = \frac{\lambda_o}{4 \times \sqrt{\epsilon_{eff}} \times f_r} \quad (2.7)$$

2.5 Parameter Antena Mikrostrip

Pola Radiasi merupakan representasi grafik dari radiasi antena. Pengamatan radiasi antena dapat dilihat dari berbagai variasi sudut observasi (θ dan ϕ) [16]. Impedansi input dapat didefinisikan sebagai impedansi yang diberikan antena pada terminal, atau rasio tegangan terhadap arus pada terminal antena [14]. *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) merupakan perbandingan gelombang berdiri maksimum dengan minimum yang diakibatkan impedansi *input* (sumber) dan *output* (beban) tidak *matching* [16].

3. Model Sistem dan Perancangan

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini dilakukan tahapan-tahapan seperti Gambar 1. Proses perancangan antena mikrostrip *array* diawali dengan penentuan spesifikasi antena seperti frekuensi kerja, VSWR, gain, dan pola radiasi yang diinginkan. Selanjutnya melakukan perhitungan dimensi antena sesuai dengan rumus. Setelah melakukan perhitungan untuk menentukan parameter-parameter dimensi antena, tahap selanjutnya yaitu perancangan dengan perangkat lunak CST Studio Suite 2019. Hasil perancangan disimulasikan yang bertujuan untuk mendapatkan hasil performansi antena sesuai dengan perhitungan sistematis dengan rumus terkait. Lalu dilihat hasil perancangan apakah sudah memenuhi spesifikasi atau belum. Apabila hasil simulasi antena *array* belum sesuai dengan spesifikasi maka harus dilakukan optimasi hingga didapatkan geometri kerja antena paling optimum.



Gambar 1. Diagram alir pengerjaan tugas akhir.

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini dilakukan tahapan-tahapan seperti Gambar 1. Menentukan spesifikasi antena merupakan tahap paling awal dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah menentukan spesifikasi antena. Tahap selanjutnya adalah perancangan dengan *software* 3D. Geometri antena mikrostrip *patch* persegi berdasarkan perhitungan didesain dan disimulasikan. Antena mikrostrip *patch* persegi yang telah disimulasikan kemudian disusun secara linier dan horizontal. Kemudian antena *array* yang telah dibuat disimulasikan dan dioptimasi hingga mendapatkan performansi paling optimum dan sesuai dengan spesifikasi yang telah dibuat sebelumnya. Tahapan terakhir adalah dengan melakukan analisa mendalam terhadap perbandingan karakteristik bahan yang digunakan. Spesifikasi *antenna* yang akan diinginkan mempunyai spesifikasi sebagai berikut: Frekuensi kerja 10 GHz, VSWR ≤ 2 , *Bandwidth* > 60 MHz, *Gain* > 10 dB, dan *beamwidth* $< 20^\circ$.

Tabel 1. Spesifikasi Bahan Antena

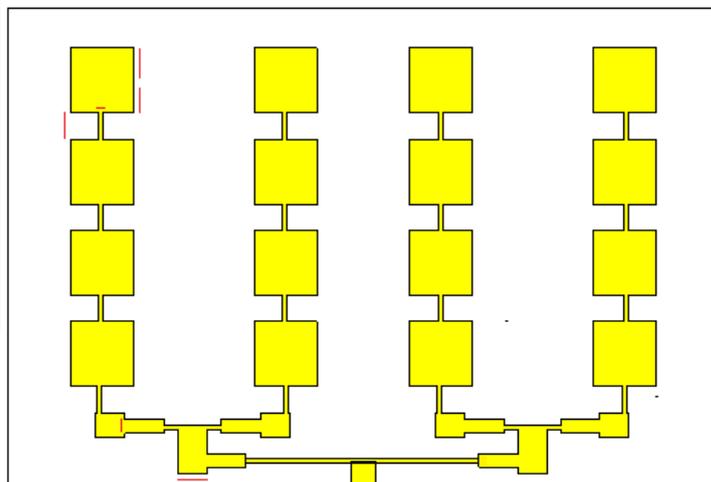
No.	Spesifikasi	Nilai
1.	Konstanta dielektrik relatif (ϵ_r)	4.3
2.	Loss Tangen	0.02
3.	Ketebalan substrat (h)	1.6 mm

Tabel 2. Konfigurasi Perhitungan *antenna* mikrostrip *array*

Nama	Hasil Perhitungan (mm)	Keterangan
l_p	8,36	Lebar atau panjang <i>patch</i>
A_{em}	738,7 x 738,7	Apperture antena
W_{fa}	3,12	Lebar <i>feed</i> 50 Ω
W_{fb}	0,73	Lebar <i>feed</i> 100 Ω
W_{fc}	1,66	Lebar <i>feed</i> 70,71 Ω
L_{fa}	4,11	Panjang <i>feed</i> 50 Ω
L_{fb}	4,35	Panjang <i>feed</i> 100 Ω
L_{fc}	4,27	Panjang <i>feed</i> 70,71 Ω
d	15	Jarak antar <i>patch</i>

Tabel 3. Nilai Dimensi Antena *Array* Setelah Optimasi

Nama	Hasil Perhitungan (mm)	Keterangan
l_p	8	Lebar atau panjang <i>patch</i>
A_{em}	64,3 x 71,2	Apperture antena
W_{fa}	3,12	Lebar <i>feed</i> 50 Ω
W_{fb}	0,73	Lebar <i>feed</i> 100 Ω
W_{fc}	1,66	Lebar <i>feed</i> 70,71 Ω
L_{fa}	4	Panjang <i>feed</i> 50 Ω
L_{fb}	4,35	Panjang <i>feed</i> 100 Ω
L_{fc}	4,12	Panjang <i>feed</i> 70,71 Ω
d	13,2	Jarak antar <i>patch</i>



Gambar 2. Desain Antena *Array* Pada CST

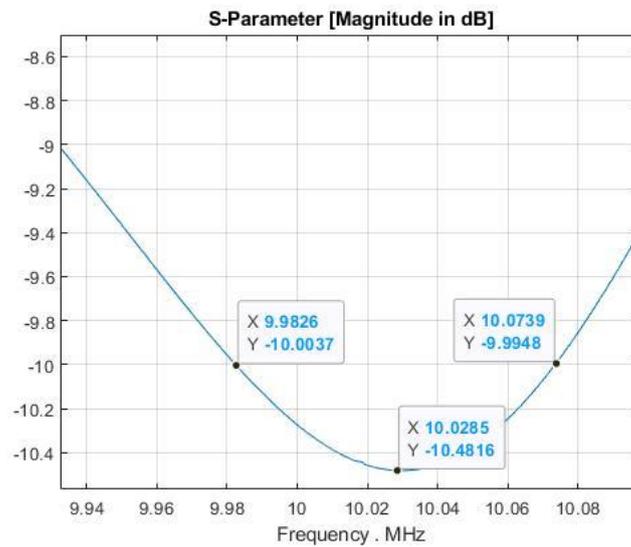
4. Hasil Simulasi dan Pembahasan

Geometri *antenna array* yang memberikan hasil paling optimum dan hasil simulasi setelah optimasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Geometri Antena *Array* dan Hasil Simulasi Setelah Optimasi

No.	Panjang Patch (mm)	Jarak Antar Patch (mm)	Frekuensi (GHz)	Return Loss (dB)	VSWR	Beamwidth		Gain (dB)
						Tetha	Phi	
1	9.4	15.56	9.58	-14.87	1,53	22,6°	23,2°	10.124
2	9.2	15.52	9.67	-13.89	1,61	22,4°	22,8°	10.632
3	9.1	15.49	9.69	-13.67	1,69	21,9°	22,65	10.889
4	8.97	15.44	9.74	-13.43	1,73	21,7°	22,3°	11.334
5	8.85	15	9.79	-13.12	1,80	21,3°	22,1°	11.577
6	8.7	14.25	9.85	-12.88	1,97	21,1°	21,8°	11.827
7	8.5	14.1	9.91	-12.69	2,04	20,08°	21,4°	12.546
8	8.36	14	9.93	-12.54	2,1	20,05°	21,2°	12.676
9	8.2	13.4	9.96	-12.27	1,5	20,01°	20,7°	12.922
10	8.1	13.35	9.99	-11.82	1,42	19,8°	20,1°	13.182
11	8	13.2	10.03	-10.48	1,39	19,5°	19,8°	13.232
12	7.09	10.18	10.09	-10.17	1,35	19,2°	19,6°	13.848

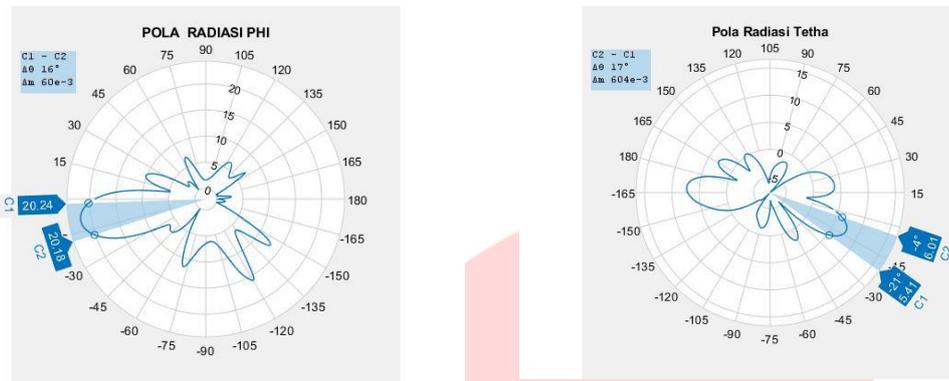
4.1 Hasil Simulasi S-Parameter



Gambar 3. Hasil Simulasi S-11

Pada Gambar 4.1 menunjukkan hasil S11 antena *array* setelah dioptimasi. Antena dari hasil simulasi nilai S11 telah sesuai dengan spesifikasi yaitu < -10 dB dengan nilai S11 sebesar -10,48 dB pada frekuensi 10,03 GHz dan telah bekerja pada rentang frekuensi 8 – 12 GHz. Pada grafik ini dapat diperoleh nilai *bandwidth* sebesar 91,6 % dan telah memenuhi spesifikasi.

4.2 Hasil Simulasi Pola Radiasi



Gambar 4. Pola Radiasi Bidang Azimuth (kiri) dan Elevasi (kanan)

Tujuan dari Tugas Akhir ini yaitu membuat antenna *array* yang dapat diaplikasikan pada radar cuaca. Salah satu syarat yang paling penting dalam penggunaannya yaitu dengan menggunakan antenna yang memiliki *beamwidth* yang sempit, sehingga disini dilakukan pengamatan terhadap pola radiasi azimuth dan elevasinya.

Gambar 4. bagian kiri menunjukkan pola radiasi antenna *array* pada bidang azimuth pada frekuensi 10 GHz yang terdapat HPBW sebesar 19,8°, *side lobe level* sebesar -1,6 dB dengan *main lobe* magnitude sebesar 8,68 dB, *main lobe direction* sebesar 345°.

Gambar 4. bagian kanan menunjukkan pola radiasi antenna *array* pada bidang elevasi pada frekuensi 10 GHz yang terdapat HPBW sebesar 19,5°, *side lobe level* sebesar -13,3 dB dengan *main lobe* magnitude sebesar 22,3 dB, *main lobe direction* sebesar 95°.

Melalui tampilan pola radiasi di atas, dapat dilihat bahwa panjang antenna baik *patch* maupun substrat berpengaruh terhadap sudut dan bentuk pola radiasi. Semakin tinggi nilai panjang antenna, maka sudut radiasi mengecil dan pola radiasinya pun menyempit. Sudut radiasi (HPBW) yang kecil menunjukkan bahwa direktivitas meningkat dan pola radiasinya semakin terarah. Nilai panjang antenna yang tinggi tidak hanya dapat meningkatkan direktivitas, tapi juga mengakibatkan timbulnya lobe-lobes radiasi lain di mana jumlah lobe pada masing-masing sisi antenna tergantung dari kelipatan $\frac{1}{2}\lambda$ yang digunakan. Semakin banyak jumlah lobe yang terbentuk menyebabkan lobe-lobes yang paling dekat dengan sumbu 0° menjadi lebih besar daripada yang lain (*major lobe*). Semakin tinggi nilai panjang antenna menyebabkan *major lobe* tidak terarah ke tujuan dengan tepat dan juga *minor lobe* yang terbentuk menyatakan pancaran radiasi ke sembarang arah, sehingga pola radiasi menjadi tidak terarah dan tidak efisien lagi.

4.3 Hasil Simulasi Gain

Untuk hasil simulasi *gain* antenna dapat dilihat pada Tabel 4.1. Penyusunan beberapa antenna dapat meningkatkan *gain* yang diinginkan. Dari hasil simulasi, didapatkan bahwa ketika antenna disusun vertikal, *gain* yang dihasilkan sebesar 13,122 dB. Selanjutnya, ketika antenna disusun secara horizontal, *gain* yang didapatkan sebesar 13,003 dB. Dan yang terakhir, ketika antenna disusun secara vertikal dan horizontal *gain* 13,623 dB.

Tabel 4.1 Perbandingan Simulasi Nilai *Gain* pada frekuensi 10 GHz

Kondisi	Gain (dB)
Antena disusun secara vertikal	13,122
Antena disusun secara horizontal	13,003
Antena disusun vertikal dan horizontal	13,623

Perubahan *gain* dipengaruhi oleh direktivitas dan efisiensi antenna. Pada tabel 4.2 merupakan perbandingan efisiensi antenna dalam 3 kondisi.

Tabel 4.1 Perbandingan Simulasi Nilai Direktivitas pada frekuensi 10 GHz

Kondisi	Direktivitas (dBi)
Antena disusun secara vertikal	12,69
Antena disusun secara horizontal	12,96
Antena disusun vertikal dan horizontal	16,69

Hasil simulasi direktivitas pada ketiga kondisi antena memiliki selisih nilai direktivitas yang besar. Perbedaan direktivitas ini disebabkan *aperture* pada dari kondisi masing-masing antena. Dimensi antena yang lebih besar akan menyebabkan *aperture* antena yang digunakan besar dan menyebabkan direktivitas antena pada kondisi ketiga lebih besar. Perubahan direktivitas ini yang mempengaruhi nilai gain antena tersebut yang mengalami kenaikan.

5. Kesimpulan

1. Pola radiasi antena *array* yang dihasilkan yaitu direksional. Penambahan elemen antena yang disusun secara vertikal dan horizontal akan menyebabkan penyempitan *beamwidth* pada bidang azimuth dan elevasi.
2. Antena yang disusun secara vertikal menghasilkan *beamwidth* pada bidang elevasi sebesar $20,8^\circ$ namun pada bidang azimuth *beamwidth* yang dihasilkan masih lebar yaitu $69,9^\circ$ sehingga disusun antena secara horizontal.
3. Antena yang disusun secara vertikal menghasilkan *beamwidth* pada bidang elevasi sebesar $23,2^\circ$ namun pada bidang azimuth *beamwidth* yang dihasilkan masih lebar yaitu $81,4^\circ$ sehingga disusun antena secara vertikal dan horizontal.
4. Antena *array* yang disusun telah bekerja pada frekuensi 10 GHz dengan nilai S11 sebesar -10,48 dB pada frekuensi 10,03 GHz dan VSWR 1.39. Nilai S11 walaupun sudah memenuhi parameter yang ditentukan namun masih bisa dikatakan kurang optimal hal ini karena dipengaruhi oleh susunan antena dan pencatutan yang digunakan. Untuk nilai gain yang dihasilkan, yaitu sebesar 13,23 dB.
5. Polaradiasi antena *array* yang telah disusun secara vertikal dan horizontal, pada bidang elevasi terdapat *beamwidth* sebesar $19,5^\circ$ sedangkan pada bidang azimuth terdapat *beamwidth* sebesar $19,8^\circ$. Dengan adanya penambahan *array* disini dapat memperkecil *sidelobe* yang dihasilkan yaitu pada bidang elevasi dan azimuth masing-masing terdapat *sidelobe* sebesar -1,6 dB dan -13,3 dB.

Daftar Pustaka

- [1] Kai, Chang, dkk. 2002. *RF and Microwave Circuit and Component Design for Wireless System*. New York: John Wiley and Son.
- [2] Lestari, Karina C., "Rancang Bangun Antena *Array* Mikrostrip *Square Patch* dengan Sudut Terpotong 2x2 Elemen pada Frekuensi S-Band (2,4 Ghz) Polarisasi Sirkular", Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2015.
- [3] Ramdhani, Tisya R., "Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Array* 2x2 *Patch* Persegi dengan *Slot* Diagonal untuk Frekuensi 2,4 GHz", Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2017.
- [4] Balanis, Cosntantine A. 2005. *Antena Theory – Analisis and Design*, Third Edition. New Jersey: John Wiley and Sons.
- [5] Novella, Anggit D., "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip untuk S-Band *Transmitter Sistem Synthetic Aperture Radar* (SAR) pada *Space Segment*", Telkom Universty, 2015.
- [6] N. Y. S. Anjani dan A. Alphones, "A *Wide-Beam Circularly Polarized Asymmetric-Microstrip Antenna*", *IEEE Transaction On Antennas And Propagation*, pp. 2-3, 2015.
- [7] M. Abbaspour and H. R. Hassani. 2015. "Design and Realization of X-band Mikrostrip *Array* for Maritime Radar Application," *Progress In Electromagnetics Research Letters*, Vol. 1, 61–68. Shahed University
- [8] Balanis, Cosntantine A., *Antenna Theory* "Modern Antenna Handbook", John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- [9] Ashari, Ahmad. 2017. *Implementasi Antena Mikrostrip Rectangular dengan X-band Frekuensi untuk Aplikasi Radar Cuaca*. Telkom University: Bandung.
- [10] Surjati, I., Alam, S., & Ningsih, Y. K., "Patch Modification and Slot arrangement of mikrostrip Antenna for Improving the Axial Ratio", In Broadband Communication, Wireless Sensors and Powering (BCWSP), IEEE International Conference, pp. 1-5, 2017.
- [11] Radiman, Nurul Hidayah M., "Pengoptimalan *Beamwidth* dan *Gain* Susunan Antena Mikrostrip untuk Sensor *Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar* (CP-SAR) pada Satelit Mikro", Telkom University 2017.
- [12] Yuan-Ming Cai, Ke Li, Ying-Zeng Yin and Queshi Ren, "Dual-Band Circularly Polarize Antenna Combining Slot and Mikrostrip Modes for GPS with HIS Ground Plane", *IEEE Antennas And Wireless Propagation Letters*, VOL. 14, 2015
- [13] Garcia-Vigueras, M., M. Esquiús-Morote, and J. R. Mosig, "Dual-polarized directional antenna with application to polarimetric radar," *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Scienc Meeting*, Hal: 27–28, IEEE Conference Publications, 2015.
- [14] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design* Fourth Edition, New Jersey: John Wiley & Son, Inc., 2016.
- [15] J. W. Honchell and A. L. Miller, "Antenna Design, Simulation, Fabrication and Test Tailored for Engineering Technology Students," in *American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, 2001.
- [16] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design* Third Edition, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2013.

