

ANALISIS PERBANDINGAN KARAKTERISTIK SIMULASI ANTENA SUSUNAN PLANAR DAN CIRCULAR UNTUK SAR 5,7 GHz

COMPARATION ANALYSIS OF SIMULATION CHARACTERISTICS OF PLANAR ARRAY ANTENNA AND CIRCULAR ARRAY FOR SAR 5.7 GHz

Anggra Primadita Banu¹, Dr.Ir.Wijanto Heroe.M.T², Edwar.ST.,M.T³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹primaditatalima@students.telkomuniversity.ac.id, ²heroewijanto@telkomuniversity.co.id,

³edwarm@tass.telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pada pemanfaatan teknologi sekarang banyak dikembangkan perangkat yang canggih untuk pemanfaatan yang lebih luas, salah satunya pemanfaatan gelombang radio untuk perangkat SAR yang merupakan sistem RADAR untuk pencitraan penginderaan jarak jauh, digunakan untuk pengaplikasian geografis, militer, topografi atau lainnya karena mempunyai kehandalan pada sisi penginderaan dan komunikasi yang tahan pada gangguan cuaca atau gangguan *fading* lain.

Pada tugas akhir ini membahas perbandingan karakteristik model susunan antena (*array antenna*) pada simulasi untuk kegunaan SAR yang bekerja pada frekuensi C-Band (5,7 GHz) dengan bentuk *patch* lingkaran serta menggunakan 2 model *array antenna*. Konfigurasi antena menggunakan bahan dari tembaga dan bahan substrat FR-4 epoxy (4,4) adapun teknik pencatutan yang digunakan dengan *coplanar feeding* (*microstrip line*). Dari hasil simulasi kedua model *array antenna* tersebut dilakukan perbandingan nilai karakteristik.

Pada tugas akhir ini didapatkan hasil dari dua simulasi antena susunan yang bekerja di frekuensi 5,7 GHz. Pemodelan planar array lebih baik dari circular array, nilai *Bandwidth* yang didapat yakni $\geq 591,8$ MHz, *Gain* $\leq 6,53$ dBi, *Return Loss* $\leq -10,696$ dB, Polarisasi yang dihasilkan untuk model *circular* dan *planar* adalah polarisasi linear. Dengan pola radiasi *unidirectional*.

Kata kunci : C-Band, Antena, *Circular Polarization*, *Circular Array*, *Planar Array*

Abstract

In the utilization of technology developed many sophisticated devices for wider utilization, one of the utilization of radio waves for SAR devices which is a RADAR system for remote sensing imaging, used For geographical, military, topography or other applications because it has reliability on the sensing side and communication that is resistant to weather disorders or other channel disorders.

In this final task discusses the characteristics of the antenna composition model (array antenna) in the simulation for the use of SAR that works at a C-Band frequency (5.7 GHz) with a circular patch form as well as using 2 array antenna models. The antenna configuration uses copper material and RF-4 epoxy substrate (4.4) and the feeding technique (microstrip line). From the simulation results of the two array models antenna is done comparing characteristic values.

At this final task obtained results from two simulated antenna arrays working at a frequency of 5.7 GHz. Planar array modeling is better than the circular array, the value of Bandwidth ≥ 591.8 MHz, Gain ≤ 6.53 dBi, Return Loss ≤ -10.696 dB, polarization produced for the circular and planar models are linear polarization. With unidirectional radiation patterns.

Keywords: C-Band, Antenna, *Circular Polarization*, *Circular Array*, *Planar Array*

1. Pendahuluan

Pada pemanfaatan teknologi sekarang banyak dikembangkan perangkat yang canggih untuk pemanfaatan yang lebih luas, salah satunya pemanfaatan gelombang radio untuk perangkat SAR yang merupakan sistem RADAR untuk pencitraan penginderaan jarak jauh, digunakan untuk pengaplikasian geografis, militer, topografi atau lainnya karena mempunyai kehandalan pada sisi penginderaan dan komunikasi yang tahan pada gangguan cuaca atau gangguan *fading* lain. Pada perkembangannya beberapa negara mengaplikasikan SAR *micro satellite* untuk kepentingan teritorial dan militer sebagai contoh Canadian radarsat, USA JPL-AirSat yang menggunakan frekuensi C-band dengan ketahanan terhadap gangguan yang lebih baik, Indonesia sendiri adalah negara kepulauan yang memiliki cakupan daerah yang luas masalah pelanggaran batas - batas negara yang sering terjadi baik wilayah perairan maupun sektor batas wilayah masih sering terjadi dan dalam penanganannya masih menjadi celah yang sering dilanggar untuk memasuki wilayah tersebut. Dalam iklim teritorial negara Indonesia terletak pada kawasan tropis, dimana dengan daerah curah hujan yang tinggi. Dengan ukuran implementasi antenna RADAR yang besar maka dikembangkan menjadi lebih kecil menjadi *micro satellite* radar, dengan nilai bandwidth dan gain yang tinggi untuk mengurangi beberapa efek pada penghantaran gelombang.

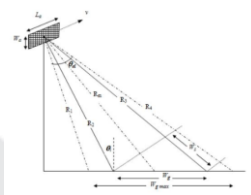
Dalam mengatasi masalah penghantaran gelombang berupa efek faraday dengan mengubah polarisasi yang linier menjadi polarisasi sirkular serta peningkatan gain dan bandwidth, terlebih untuk penggunaan di Indonesia frekuensi yang dapat diandalkan pada frekuensi C-band yang memiliki frekuensi kerja 4 – 8 GHz dengan panjang gelombang 3,75 – 7,5 cm untuk mendapatkan *circular polarization synthetic aperture radar* (CP-SAR) dengan menggunakan prinsip kerja kaidah tangan kanan / RHCP ataupun kiri / LHCP bisa dikembangkan.

Tugas akhir ini mengembangkan antenna mikrostrip *array* untuk antenna SAR pada frekuensi 5,7 GHz yang memiliki rancangan bentuk patch lingkaran dengan nilai *axial ratio* maksimum 3 dB sehingga mendapatkan polarisasi yang sirkular dengan nilai *bandwidth* lebih dari 100 MHz, VSWR maksimum 1,5 serta nilai gain minimum 10 dB dengan pemanfaatan dimensi yang kecil sehingga dapat diimplementasikan untuk kebutuhan lain seperti penggunaan pada radar / satelit mikro, sensing, drone image mapping.

2. Dasar Teori

2.1 Synthetic Aperture Radar

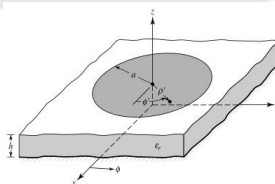
Synthetic Aperture Radar merupakan kemajuan besar pada perkembangan komunikasi dan penginderaan jarak jauh. Secara konvensional *side looking airborne radar* (SLAR) *system*, antenna dipasang pada sisi pesawat terbang yang bergerak dan radar mengamati pemandangan yang dilakui. Disisi lain *Synthetic Aperture Radar* (SAR) menggunakan *antenna motion* untuk mendapat resolusi yang lebih baik dari cara konvensional. SAR dianggap sebagai sistem yang menggunakan gerak untuk mensintesiskan antenna *array uniform, linear* dan mendapatkan focus *beam* tinggi yang mampu mencapai *azimuth* tinggi [14].



Gambar 2.1 Geometri Synthetic Aperture Radar

2.2 Microstrip patch Lingkaran

Antena mikrostrip dengan bentuk *patch* lingkaran sama populernya dengan bentuk *patch* lain seperti persegi, dan persegi panjang. Berbeda dengan bentuk *patch* lain yang memerlukan beberapa perhitungan untuk menentukan bentuk dari patch [11].



Gambar 2.2 Bentuk Patch Lingkaran

Pada *patch* lingkaran terdapat satu perhitungan untuk menentukan ukuran bentuk *patch* yakni pada jari – jari lingkaran *patch* tersebut seperti gambar 2.3. Adapun perhitungan untuk mendapatkan nilai *a* pada *patch* didapat dari (2.1) dengan acuan parameter nilai dari substrat dan frekuensi yang digunakan [11].

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{1/2}} \quad (2.1)$$

Dimana,

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.2)$$

Menentukan jarak antar elemen

$$d = \frac{\tau}{2} = \frac{c}{2f} \quad (2.3)$$

Keterangan :

ϵ_r dan f_r (Hz) dan h (cm).

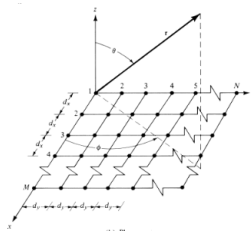
2.3 Antena Array

Array antenna merupakan sebuah antena yang terdiri dari beberapa elemen yang sama, dengan susunan yang teratur, adapun beberapa parameter yang membentuk pola antena yaitu [5]:

1. Bentuk konfigurasi antena.
2. Jumlah elemen penyusun antena
3. Jarak antar elemen antena
4. Level dan fasa amplituda masukan di masing-masing elemen
5. Bentuk pola radiasi elemen

Adapun beberapa model susunan konfigurasi untuk antena *array* yang memiliki keuntungan masing-masing, sebagai berikut:

1. *Linear array* adalah antena yang susunan elemen terletak pada garis lurus.
2. *Planar array* adalah antena yang susunan elemen membentuk suatu area berbentuk matriks kotak.



Gambar 2.4 Geometri N- elemen *Planar Array*

Dalam penentuan koefisien jarak efektif dari tiap elemen pada *planar array* digambarkan pada sumbu *x* dan *y* yang disimbolkan dengan \mathbf{d}_x dan $\mathbf{\beta}_y$. Jika elemen *N* pada *array* di tempatkan pada sumbu *y* maka, \mathbf{d}_y adalah jarak dan $\mathbf{\beta}_y$ adalah fasa progresif. Adapun *Array Factor* yang merupakan factor pengali dielektrik untuk menentukan pola radiasi *planar array*.

$$AF = \sum_{n=1}^N I_n \left[\sum_{m=1}^M I_{m1} e^{j(m-1)(kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x)} \right] e^{j(n-1)(kd_y \sin \theta \cos \phi + \beta_y)} \quad (2.4)$$

Atau nilai Array Factor

$$AF = S_{xm} S_{yn} \quad (2.5)$$

Dimana nilai

$$S_{xm} = \sum_{m=1}^M I_{m1} e^{j(m-1)(kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x)} \quad (2.6)$$

$$S_{yn} = \sum_{n=1}^N I_{n1} e^{j(n-1)(kd_y \sin \theta \cos \phi + \beta_y)} \quad (2.7)$$

Dari persamaan perhitungan (2.4) sampai (2.7) dapat di normalisasikan dengan persamaan

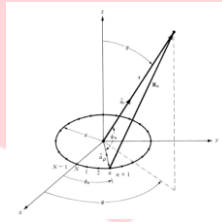
$$AF_n(\theta, \varphi) = \left\{ \frac{1}{M} \frac{\sin(\frac{M}{2}\psi_x)}{\sin(\frac{\psi_x}{2})} \right\} \left\{ \frac{1}{N} \frac{\sin(\frac{N}{2}\psi_y)}{\sin(\frac{\psi_y}{2})} \right\} \quad (2.8)$$

Dimana,

$$\psi_x = kd_x \sin \theta \cos \varphi + \beta_x$$

$$\psi_y = kd_y \sin \theta \cos \varphi + \beta_y$$

3. *Circular array* adalah susunan elemen antenna yang terletak pada suatu lingkaran dengan radius dan jarak tertentu pada masing-masing elemen.



Gambar 2.5 Geometri N- elemen *Circular Array* [3]

Dalam penentuan bentuk *array* yang digunakan, misal pada susunan lingkaran seperti gambar 2.4 diperlukan perhitungan untuk menentukan jarak antar elemen (2.2) dan beberapa faktor lain yang harus diperhitungkan sebagai berikut.

Luas normal *circular array*

$$E_n(r, \theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N a_n \frac{e^{-jkR_n}}{R_n} \quad (2.8)$$

Jarak elemen ke- n dengan titik observasi

$$R_n = (r^2 + a^2 - 2ar \cos \psi)^{1/2} \quad (2.9)$$

Dengan asumsi bahwa variasi amplitude $R_n \cong r$

$$E_n(r, \theta, \varphi) = \frac{e^{-jkr}}{r} \sum_{n=1}^N a_n e^{+jka \sin \theta \cos(\varphi - \varphi_n)} \quad (2.10)$$

Dimana,

a_n = koefisien amplitude dan phasa dari elemen ke-n

$\varphi_n = 2\pi \left(\frac{n}{N} \right)$ = posisi angular elemen ke-n di x-y plane

Dalam penggunaan antenna *array* dipastikan memiliki *Array Factor* (AF) yang merupakan faktor pengali medan elektrik dari elemen tunggal untuk menentukan pola radiasi antenna yang dirancang^[6].

$$\rho_0 = a [(\sin \theta \cos \varphi - \sin \theta_0 \cos \varphi_0)^2 + (\sin \theta \sin \varphi - \sin \theta_0 \sin \varphi_0)^2]^{1/2} \quad (2.11)$$

$$AF(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N I_n e^{jka(\cos \psi - \cos \psi_0)} = \sum_{n=1}^N I_n e^{jk\rho_0 \cos(\varphi_0 - \xi)} \quad (2.12)$$

dimana

$$\xi = \tan^{-1} \left[\frac{\sin \theta \sin \phi - \sin \theta_0 \sin \phi_0}{\sin \theta \cos \phi - \sin \theta_0 \cos \phi_0} \right] \quad (2.13)$$

3. Perancangan Antena

3.1. Spesifikasi Antena

Dalam perancangan yang dilakukan, parameter acuan untuk mendapatkan polarisasi sirkular berupa nilai *axial ratio* yang kurang dari 3. Dengan demikian perancangan tugas akhir kali ini memiliki spesifikasi seperti tabel 3.1 dibawah ini :

Tabel 3.1 Spesifikasi Parameter Antena Susunan untuk CP-SAR lingkaran C-Band

Parameter	Spesifikasi
Axial Ratio	$\leq 3\text{dB}$
Bentuk Antena	Circular Array dan Planar Array
Bentuk Patch	Lingkaran
Gain Antenna	$\geq 10\text{ dBi}$
Impedansi Sistem	$50\ \Omega$
Efisiensi Antena	$> 85\%$

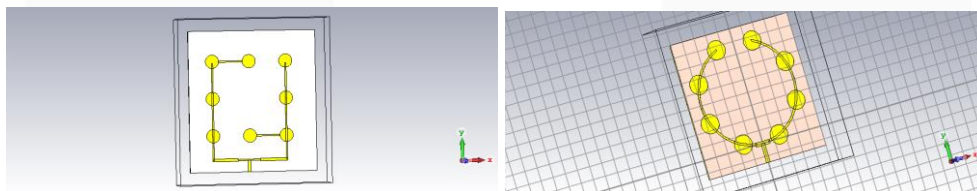
VSWR	$\leq 1,5\text{ dB}$
Bandwidth	$\geq 100\text{ MHz}$
Frekuensi Kerja	5,7 GHz (C Band)
Polarisasi	Tx : RHCP + LHCP Rx : RHCP + LHCP
Sumber catuan	Coplanar feeding (Microstrip line)

Dengan spesifikasi tersebut diharapkan mendapat kualitas gambar yang lebih bagus karena lebar *bandwidth* yang lebih lebar dan *beam forming* yang dihasilkan lebih fokus.

3.2. Hasil simulasi

Hasil simulasi dirancang dengan memasukan nilai parameter yang di hitung jika pada hasil simulasi sesuai dengan nilai parameter yang diinginkan maka hasil simulasi *planar array* dinyatakan berhasil. Namun jika hasil simulasi tidak sesuai dilakukan optimasi hingga mendapat nilai yang diinginkan. Pada simulasi planar array 8 elemen ini hanya dilakukan pada ukuran feed catuan dan ukuran patch agar sesuai dengan frekuensi kerja 5 - 6 GHz namun lebih dilakukan pengamatan pada frekuensi 5,7 GHz yang diharapkan sesuai dengan rancangan awal.

a. Gambar Simulasi Array



Gambar 4.2 Simulasi Array 8 Elemen Tampak Depan

Adapun untuk ground dari antena digunakan full patch yang menutupi bagian belakang patch

Tabel 4.1 Ukuran Dimensi Simulasi

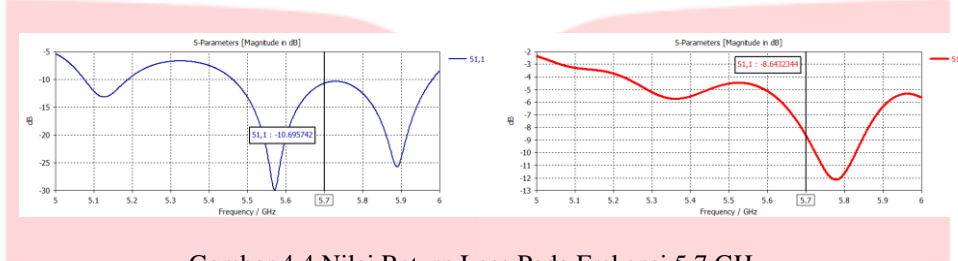
No	Parameter	Ukuran Planar Array	Ukuran Circular Array	Satuan
1.	Dimensi Antena	150 x 150	180 x 180	mm
2.	Tebal Patch (h_p)	0,035	0,035	mm
3.	Radius Patch (a)	6,95388	6,95388	mm
4.	Radius Efektif (a_e)	7,37	7,4	mm
5.	Panjang Groundplane (L_g)	150	180	mm
6.	Lebar Groundplane (W_g)	150	180	mm
7.	Tebal Substrat (h)	1,6	1,6	mm
8.	Jumlah patch array planar	8	8	Elemen
9.	Lebar Slot (W_f)	3	3,3	mm
10.	Panjang Slot (L_f)	12,54	10	mm

11	Jarak antar elemen (d)	26,32	26,32	mm
----	------------------------	-------	-------	----

b. Hasil Simulasi

Berikut ini hasil dari simulasi yang sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan.

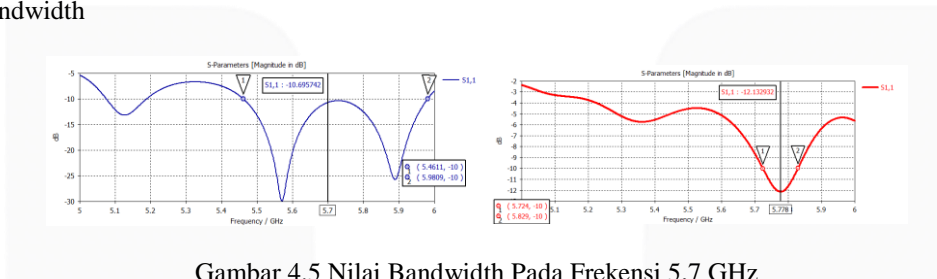
1. Return Loss



Gambar 4.4 Nilai Return Loss Pada Frekuensi 5,7 GHz

Pada simulasi *planar array* didapatkan nilai *return loss* sebesar -10,696 dB dengan mengacu pada Gambar 4.4 nilai *return loss* tersebut didapatkan pada frekuensi kerja 5,7 GHz. Sedangkan untuk *circular array* didapatkan nilai yang lebih kecil dengan nilai -8,643 dB seperti Gambar 4.14, hal ini mengakibatkan kerja dari model *circular array* tidak optimal pada frekuensi kerja 5,7 GHz namun pada titik acuan -10 dB pada *circular array* frekuensi kerja optimal di dapat pada 5,725 GHz. Hal ini dipengaruhi oleh bentuk dari kedua model konfigurasi *array* yang berbeda.

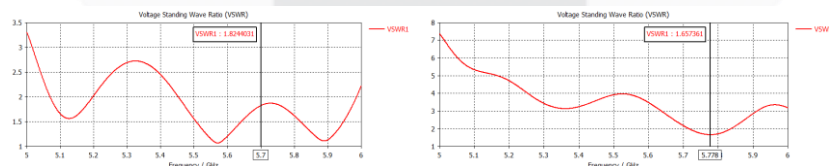
2. Bandwidth



Gambar 4.5 Nilai Bandwidth Pada Frekuensi 5,7 GHz

Pada perbandingan nilai *bandwidth* yang disandingkan pada Gambar 4.5 *planar array* dan Gambar 4.15 pada *circular array* nilai *bandwidth* yang didapatkan sudah memenuhi spesifikasi parameter yang diinginkan ≥ 100 MHz. Namun pada perbandingan besar nilai *bandwidth* yang didapatkan pada *planar array* lebih besar dari *circular array* dengan perbandingan 4: 1 lebih besar. Nilai yang didapatkan pada *planar array* 591,8 MHz sedangkan nilai yang didapatkan pada *circular array* hanya 105 MHz. Dengan semakin besarnya nilai *bandwidth* yang ada maka semakin besar lebar berkas yang dapat ditransmisikan. Dalam analisis desain antenna nilai *bandwidth* dipengaruhi oleh besarnya dimensi dan groundplane dari antenna yang disimulasikan mempengaruhi nilai besaran *bandwidth* yang didapatkan semakin besar lebar penampang konduktansi antenna semakin besar nilai *bandwidth* yang didapatkan.

3. VSWR

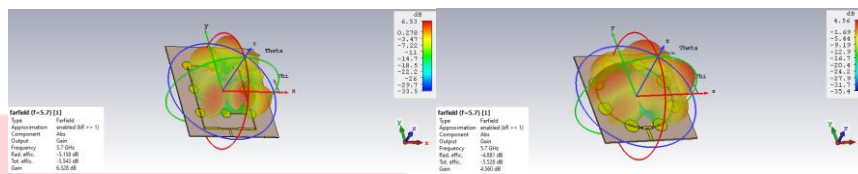


Gambar 4.6 Nilai VSWR Pada Frekuensi 5,7 GHz

Sedangkan pada nilai VSWR kedua model *array* mendapatkan nilai yang tidak cukup bagus dapat ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.16 karena nilai ideal yang didapatkan idealnya ≤ 1 . Namun hasil yang didapatkan pada simulasi masih bias di toleransi pada model *circular array* karena nilai yang didapatkan pada simulasi VSWR = 1,657 nilai ini masih lebih baik dari *planar array* yang mendapatkan nilai = 1,84. Nilai VSWR

pada circular array dinilai lebih bagus karena batas tertinggi dari nilai VSWR pada simulasi sama dengan dua. Dengan nilai VSWR = 1,657 circular array masih memiliki dampak minim reflection dari planar array.

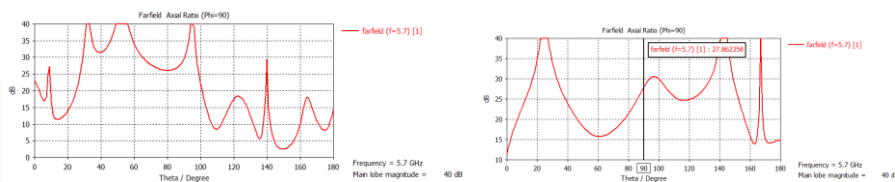
4. Gain



Gambar 4.7 Nilai Gain Pada Frekuensi 5,7 GHz

Nilai gain yang didapat pada simulasi masih tidak sesuai dengan spesifikasi yang dirancang namun masih lebih baik dari referensi [1][2][4]. Hal tersebut menjadi acuan seberapa baik penguatan antenna yang di simulasikan seperti pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.17 yang menampilkan grafik 3D pancaran *gain* antenna *planar* dan *circular array*, nilai yang diharapkan pada rancangan sebesar 10 dBi, namun nilai yang didapat pada planar array hanya 6,53 dB serta pada realize gain hanya 6,14 dB. Nilai ini cukup dapat memenuhi nilai yang diharapkan karena nilai dari circular array < 5dBi yang hanya 4,56 dB dan pada realized gain hanya 3,91 dB. Dengan semakin tinggi nilai gain maka akan berpengaruh pada semakin tinggi nilai direktivitas dan bandwidth yang didapatkan.

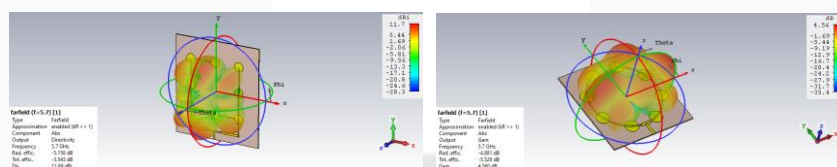
5. Polarisasi



Gambar 4.8 Nilai Polarisasi Pada Frekuensi 5,7 GHz

Pada hasil simulasi 2 model *array* sama – sama tidak dapat memenuhi spesifikasi yang dirancang yakni polarisasi sirkular. Kedua model *array* hanya mendapatkan polarisasi linear karena nilai axial ratio yang didapat pada kedua model array planar dan circular bernilai 40 dB. Desain antenna ini masih tidak dapat merubah polarisasi *default* untuk antenna SAR yang berpolarisasi linear untuk lebih optimal.

6. Pola Radiasi



Gambar 4.11 Pola Radiasi Dalam Plot 3 Dimensi

Pada simulasi model antenna planar array dan circular array didapatkan hasil pola radiasi yang pada kedua model array seperti pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.21 yang menyebar kesegala arah menandakan bahwa pola radiasi pada kedua model ini unidirectional.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari keseluruhan proses tugas akhir ini adalah

1. Pada planar array memiliki nilai bandwidth 591.8 MHz pada frekuensi kerja 5,7 GHz dengan nilai gain 6,53dBi serta memiliki multi band pada frekuensi 5,58 dan 5,89 GHz, Axial Ratio ≤ 40 .
2. Penambahan gain antenna dapat dilakukan dengan menambahkan jumlah elemen dari antenna. Frekuensi kerja optimal pada circular array ada pada frekuensi 5,77 GHz sedangkan pada *planar array* frekuensi kerja optimal ada pada 5,7 GHz.

3. Pada circular array memiliki nilai bandwidth 105 MHz pada frekuensi kerja 5,7 GHz dengan nilai gain 4,56 dBi, $AR \leq 40$
4. Kedua model antenna susunan tidak mendapatkan polarisasi sirkular, dengan hasil $AR > 3$ pada tiap model antenna susunan yang disimulasikan mendapatkan polarisasi linier.
5. Nilai perbandingan kedua model konfigurasi array antenna mendapat nilai yang tidak jauh berbeda dari nilai parameter yang diharapkan dengan potensi keberhasilan dari rancangan sebesar 80% nilai parameter terpenuhi.
6. Pada pemilihan model konfigurasi *planar array* antenna lebih bagus untuk digunakan karena sesuai dengan spesifikasi pada rancangan antenna CP-SAR.
7. Semakin besar dimensi antenna dan lebar feed catuan maka akan meningkatkan nilai bandwidth dan gain antenna.

Daftar Referensi:

- [1] Hakim, Arif Rahman. Setia, Bambang. Prasetyo, Agus Dwi "Perancangan Dan Realisasi Antena Mikrostrip Polarisasi Sirkular Dengan Catuan Proximity Coupled Untuk Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar (CP-SAR)". Universitas Telkom. Bandung, 2014
- [2] ISSN : 2355-9365 e-Proceeding of Engineering : Vol.3, No.3 December 2016 Octaviany.Fanny, Wijanto.Heroe, Prasetyo. Agus Dwi "Perbandingan Antena Mikrostrip Patch Lingkaran Dan Persegi Polarisasi Sirkular Untuk Synthetic Aperture Radar Frekuensi 1, 27 GHz". Universitas Telkom. Bandung, 2016
- [3] Duersch.Michael Israel "Backprojection for Synthetic Aperture Radar" Brigham Young University. Provo.2013
- [4] ISSN : 2355-9365 e-Proceeding of Engineering : Vol.4, No.2 Agustus 2017 Vica.M Elio, Wijanto.Heroe, Wahyu Yuyu "Antena Phased Array Untuk Radar 3D S-Band" Universitas Telkom .Bandung, 2017
- [5] P. Rizki Akbar, J.T. Sri Sumantyo , H. Kuze "CP-SAR UAV Development" International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan 2010
- [6] Yohandri, V.Wissan, I. Firmansyah, P.Rizki Akbar, J.T.Sri Sumantyo And H. Kuze "Development Od Circular Polarized Array Antenna For Sar Installed On Uav" Chiba University. 2011
- [7] J.Venkatachalapathi "U-Slot Microstrip Patch Antenna for Wireless Application" Dr. S.J.S Paul Memorial College of Engineering and Technology, Pondicherry, India.2015
- [8] Mondejar.Albert Garcia, Dekker.Paco Lopez, Project Advisor "Feasibility Study on SAR System on Small Satellites". Barcelona, January 2009
- [9]Tayuan Technologies "Surveyor"Satellite Constellation <http://www.spaceref.com/news/viewpr.html?pid=14919>
- [10]China Plans Commercial SAR EO Constellation" http://news.eoportal.org/eomissions/040907_surveyo [Diakses 8 Oktober 2017, 19:55:00 WIB].
- [11] Balanis.Constantine A "Antenna Theory Analysis and Design" John Wiley & Sons, Inc. 2005
- [12] Lars Josefsson, Patrik Persson "Conformal Array Antenna Theory and Design" The IEEE Press Series on Electromagnetic wave theory. Donald G.Dudley, Series Editor
- [13] Rahim. Tehseen "Directional Pattern Synthesis in Circular Array Of Directional Antennas" University Of London. August 1980
- [15] Ramesh Garg, Prakash Bhartia, Inder Bahl, Apisal Ittipiboon"Microstrip Antenna Design Handbook"Artech House, Buston.London.2001
- [14] Kurniawan. Dwi Fadhila, Dahlan. Erfan Achmad"Antena Mikrostrip Circular Dual Frekuensi"Jurnal EECCIS Vol.IV, No.1, Juni 2010
- [15]Teknologi Pengamatan dan Informasi Kedirgantaraan, Pusat Sains Antariksa halaman 28-33, 2010
- [16]Abusultan Monther, Harkness Sam, Lameres Brock, Huang Yikun "Implementation Of A Bartlett Direction Of Arrival For A 5.8 Ghz Circular Antenna Array" Electrical & Computer Engineering Department, Montana State University, Bozeman, 2010