

ANALISA PENINGKATAN GAIN ANTENNA MENGGUNAKAN ARRAY FEEDING PADA FREKUENSI X BAND

Bambang Bagus H¹, Sukahir², Ayub Wimatra³, Fatmawati Sabur⁴

¹⁾ Politeknik Penerbangan Surabaya, Jl. Jemur Andayani I/73, Surabaya, 60236

²⁾ Politeknik Penerbangan Palembang, Jl. Adi Sucipto No.3012, Sumatera selatan 30961

³⁾ Politeknik Penerbangan Medan, Jl. Penerbangan No.85 Sempakata Medan - Sumatera Utara

⁴⁾ Politeknik Penerbangan Makassar, Jl. Salodong, Untia, Kec. Biringkanaya, Kota Makassar, Sulawesi

E-mail correspondence : bambangfarzardy@gmail.com

Abstrak

Antena mikrostrip merupakan antena yang sering diaplikasikan karena struktur yang sederhana dan mudah diaplikasikan. Tujuan dari percobaan yang dilakukan yaitu untuk merancang dan menganalisis hasil antena mikrostrip pada aplikasi CST dengan frekuensi 10.5 GHz. Percobaan menggunakan antena single patch, array 1 x 2 yang menggunakan 2 patch dan antena array 1 x 4 yang menggunakan 4 patch antena. Masing-masing rangkaian memiliki karakteristik return loss, gain, VSWR, dan axial ratio yang berbeda-beda. Berdasarkan percobaan tersebut maka diperoleh hasil yaitu return loss single patch, array 1x2 dan array 1 x 4 berturut-turut adalah -19 dB, -11 dB dan -19 dB, sedangkan gain antena yaitu 2,9 kali, 9.09 kali dan 2.27 kali. Nilai VSWR terendah terdapat pada rangkaian single patch sedangkan tertinggi terdapat pada antena array 1 x 4. Axial ratio single patch dan array 1 x 4 memiliki nilai yang sama yaitu 40, sedangkan rangkaian array 1 x 2 memiliki nilai axial ratio 35. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa setiap rangkaian memiliki spesifikasi nilai yang tidak sama, namun masih termasuk ke dalam kriteria antena yang sesuai yaitu VSWR <2 dan return loss dibawah -10 dB.

Kata Kunci : Axial ration, microstrip, return loss, dan VSWR.

Abstract

Microstrip antennas are antennas that are often applied because of their simple structure and easy to apply. The purpose of the experiment was to design and analyze the results of microstrip antennas in CST applications with a frequency of 10.5 GHz. Experiments used single patch antennas, 1 x 2 arrays using 2 patches and 1 x 4 antenna arrays using 4 antenna patches. Each series has different characteristics of return loss, gain, VSWR, and axial ratio. Based on these experiments, the results were obtained, namely the return loss of single patch, array 1x2 and array 1 x 4 respectively were -19 dB, -11 dB and -19 dB, while antenna gain was 2.9 times, 9.09 times and 2.27 times. The lowest VSWR value is found in the single patch circuit while the highest is found in the 1 x 4 array antenna. The axial ratio of a single patch and an array of 1 x 4 has the same value of 40, while a series of arrays of 1 x 2 has an axial ratio value of 35. Based on these results, it can be concluded that each circuit has a specification of values that are not the same, but it is still included in the appropriate antenna criteria, namely VSWR <2 and return loss below -10 dB.

Keywords: Axial ration, microstrip, return loss, and VSWR.

PENDAHULUAN

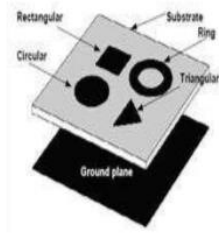
Seiring perkembangan zaman, manusia dituntut untuk dapat bertukar informasi tanpa memperdulikan waktu dan tempat. Komunikasi memegang peran penting dalam pertukaran informasi. Perubahan alat komunikasi terus berkembang dari komunikasi kabel menjadi komunikasi wireless atau nirkabel. Konsep komunikasi wireless memungkinkan manusia dapat bertukar informasi tanpa harus menggunakan perantara kabel.

Komunikasi wireless sering diaplikasikan pada penggunaan telepon genggam atau gadget. Penggunaan komunikasi ini tidak hanya terbatas pada pertukaran suara, namun dapat meliputi pertukaran gambar dan data. Pertukaran informasi wireless erat hubungannya dengan pengoperasian antena. Penggunaan antena berperan penting karena menjadi pengirim dan penerima gelombang elektromagnetik yang berisi informasi yang akan disalurkan.

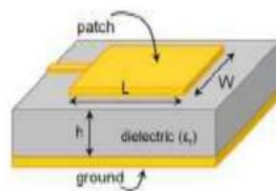
Jenis antena yang beragam dengan berbagai spesifikasi dapat digunakan sebagai solusi memenuhi kebutuhan manusia dalam proses pertukaran informasi. Antena dengan kriteria yang baik memiliki karakteristik mudah diaplikasi pada saat penggunaan. Mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang dijadikan pilihan untuk komunikasi wireless karena memiliki bentuk yang sederhana, kompak dan kecil [1]. WPAN termasuk jenis komunikasi wireless yang menggunakan antena mikrostrip dalam proses pengiriman dan penerimaan informasi. WPAN adalah komunikasi antar perangkat yang berdekatan tanpa menggunakan kabel seperti UWB (Ultra Wideband), Bluetooth, dan Zigbee. Salah satu frekuensi WPAN adalah 10,5 Ghz yang termasuk kategori UWB (Ultra Wideband) [2]. Penerapan antena mikrostrip UWB sering digunakan pada radar karena fabrikasi yang mudah, bentuk yang sederhana serta mudah diintegrasikan secara terpadu dengan gelombang elektromagnetik mikro [3].

Antena mikrostrip telah banyak diaplikasi pada pesawat ruang angkasa, pesawat terbang dan peluru kendali dengan fungsi utamanya seperti dengan antena

secara umum yaitu sebagai penerima dan pengirim gelombang elektromagnetik. Berikut merupakan gambar dari antenna mikrostrip [4].



Gambar 1. Bentuk umum antenna mikrostrip beserta variasi patch



Gambar 2. Detail bentuk umum antenna mikrostrip

Penyusun dasar antenna mikrostrip terdiri dari 3 elemen yaitu :

Patch atau elemen peradiator berada pada lapisan paling atas. Tersusun dari jenis logam tembaga yang memiliki konduktivitas 5.8×10^7 S/m, berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik dengan patch terdiri dari berbagai macam seperti lingkaran, oval dan cincin [5].

Groundplane terletak pada lapisan paling bawah, tersusun dari material konduktor yang dapat menterminasi elektron dari patch, sedangkan substrat merupakan material dielektrik alami berbentuk PCB (Printed Circuit Board) yang terletak diantara patch dan ground plane [6].

Substrat terletak diantara patch dan groundplane. Tersusun dari material dielektrik dengan ketinggian sekitar $0,002\lambda_0 - 0,005\lambda_0$, berfungsi menyalurkan radiasi gelombang elektromagnetik dari pencatu. Ketebalan substrat sebanding dengan besar bandwidth yang dihasilkan [4].

Parameter dalam pengujian antenna mikrostrip dapat meliputi return loss, radiation pattern, VSWR, gain, surface current dan axial ratio. Masing-masing parameter menggambarkan informasi tertentu tentang spesifikasi antenna mikrostrip.

Return loss Perbandingan dari gelombang amplitudo yang dipantulkan dengan nilai amplitudo yang dikirimkan, dengan rata-rata nilai return loss yang digunakan antenna adalah -10 dB. Pola Radiasi (radiation pattern) merupakan sebuah visualisasi grafis dari sifat radiasi medan jauh yang dipancarkan antenna yang berfungsi menunjukkan arah radiasi hampir seluruh power yang dipancarkan dalam satu arah yang berasal dari main lobe [7].

VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

Terjadi karena adanya pemantulan gelombang dari antenna menuju saluran transmisi dikarenakan ketidaksesuaian nilai impedansi antenna dengan saluran transmisi yang didapatkan dari hasil perbandingan nilai maksimum dan minimum tegangan antenna [8].

Gain Didapatkan dari hasil perbandingan nilai radiasi maksimum dari antenna tertentu dengan nilai radiasi maksimum suatu antenna referensi dengan input daya yang sama [9].

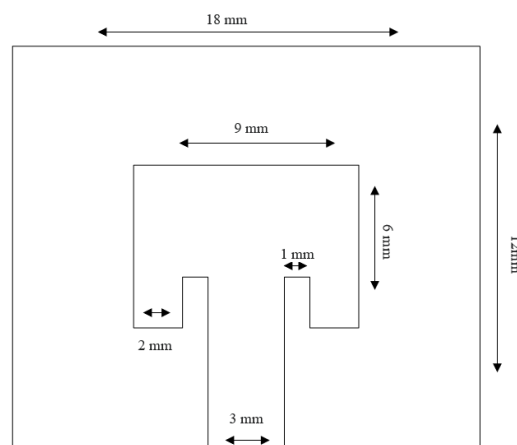
Surface Current

Axial Ratio Parameter yang menentukan bentuk polarisasi yang dihasilkan antenna. Axial ratio adalah perbandingan sumbu mayor dengan sumbu minor yang berada pada medan listrik antenna dengan satuan dB. Polarisasi ellips ditandai dengan nilai axial ratio 3 – 40 dB, sedangkan polarisasi linear ditandai dengan nilai axial ratio >40 dB [10].

METODE

Perencanaan pembuatan antenna diawali dengan memilih frekuensi kerja dan substrat yang sesuai dengan kebutuhan, kemudian membuat perencanaan pembuatan antenna yang bekerja pada frekuensi kerja yang telah dipilih [11].

Antena pada perancangan ini terusun atas ground yang terbuat dari copper, substrat yang terbuat dari Fr-4 dan patch yang terbuat dari copper. Berikut merupakan desain antenna mikrostrip Rectangular Single.



Gambar 3. Desain Antena Mikrostrip Rectangular (Tampak dari depan)

Dimensi antenna mikrostrip ditentukan dengan melakukan perhitungan rectangular single 10.5 Ghz seperti persamaan dibawah ini :

1. Lebar Patch

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1)$$

2. Panjang Patch

$$L = L_{eff} - 2\Delta L$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2}$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}}$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)}$$

$$L = L_{eff} - 2\Delta L$$

3. Lebar Saluran Pencatu

$$W_f = \frac{7.48 \times h}{3.9484} - 1.25 \times t \quad (2)$$

4. Panjang Groundplane

$$L_g = 2 \times L \quad (3)$$

5. Lebar Groundplane

$$W_g = 2 \times W \quad (4)$$

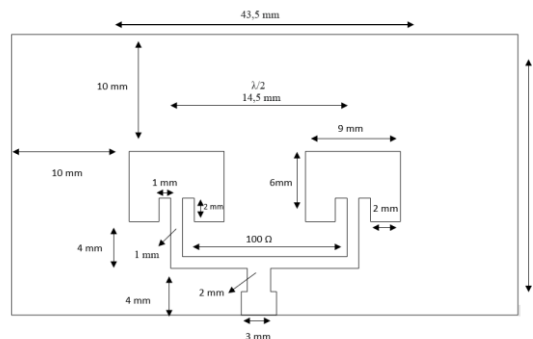
6. Panjang Feedline

$$F_i = \frac{6h}{2}$$

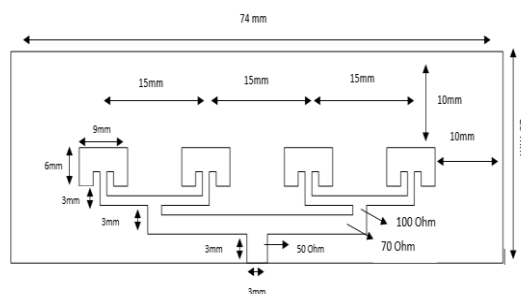
$$F_i = 10^{-4} (0.001699 \times \epsilon_r^7 + 0.13761 \times \epsilon_r^6 - 6.17383 \times \epsilon_r^5 + 93.187 \times \epsilon_r^4 - 682.69 \times \epsilon_r^3 + 2561.9 \times \epsilon_r^2 - 4043 \times \epsilon_r + 6697) \frac{L}{2} \quad (5)$$

7. Lebar Gap $G_{pf}=1$ mm

Antena Rectangular Array 1 x 2 dan 1 x 4 Perhitungan patch antenna array sama dengan perhitungan antenna single. Perbedaan terletak pada penambangan perhitungan titik pusat antar patch dan lebar pencatu.



Gambar 4. Desain Antena Array 1 x 2



Gambar 5. Desain Antena Array 1 x 4

Berikut merupakan rumus perhitungan antenna array :

1. Jarak antar titik pusat patch antenna

$$d = \lambda/2 \quad (6)$$

2. Lebar saluran pencatu patch 50 Ω

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{4.3}} = \frac{60(3.14)^2}{50\sqrt{4.3}} = 5.705 = 5.7$$

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\}$$

$$= \frac{2(1.6)}{3.14} \left\{ 5.7 - 1 - \ln(2(5.7) - 1) + \frac{4.3-1}{2(4.3)} \left[\ln(5.7 - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{4.3} \right] \right\}$$

$$= 3.106 \text{ mm dibulatkan } 3,1 \text{ mm} \quad (7)$$

3. Lebar saluran pencatu patch 70.7 Ω

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{4.3}} = \frac{60(3.14)^2}{70.7\sqrt{4.3}} = 0.9951 \text{ dibulatkan menjadi } 1$$

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\}$$

$$= \frac{2(1.6)}{3.14} \left\{ 1 - 1 - \ln(2(1) - 1) + \frac{4.3-1}{2(4.3)} \left[\ln(1 - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{4.3} \right] \right\}$$

$$= 0,16153 \text{ cm} = 1,6 \text{ mm dibulatkan menjadi } 2 \text{ mm} \quad (8)$$

4. Lebar saluran pencatu patch 100 Ω

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{4.3}} = \frac{60(3.14)^2}{100\sqrt{4.3}} = 0.519 \text{ dibulatkan menjadi } 0.52$$

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\}$$

$$= \frac{2(1.6)}{3.14} \left\{ 0.52 - 1 - \ln(2(0.52) - 1) + \frac{4.3-1}{2(4.3)} \left[\ln(0.52 - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{4.3} \right] \right\}$$

$$= 0.072 \text{ cm} = 0.72 \text{ mm dibulatkan menjadi } 1 \text{ mm} \quad (9)$$

Tabel 1. Hasil Perhitungan Perancangan

NO	Bagian	Simbol	Single	1x2	1x4
1.	Lebar Patch	W	9	9	9
2.	Panjang Patch	L	6	6	6
3.	Lebar Saluran Pencatu	Wf	3	1	1
4.	Panjang Groundplane	Lg	12	24	25
5.	Lebar groundplane	Wg	18	43.5	74
6.	Panjang Feedline	Fi	2	2	2
7.	Lebar gap	Gpf	1	1	1

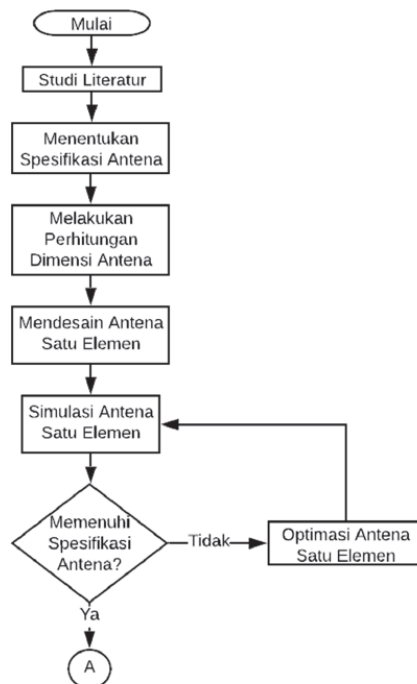
Tabel 2. Spesifikasi Antena Rancangan

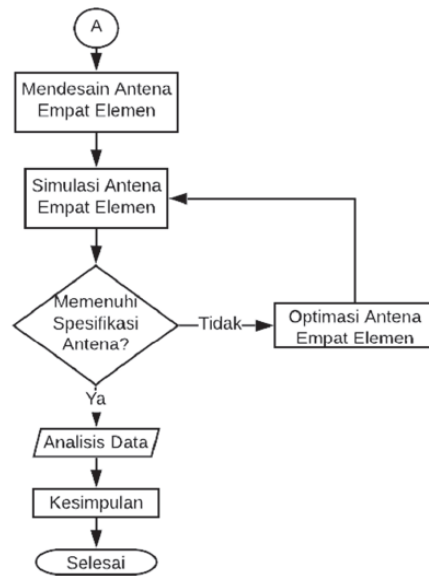
Spesifikasi	Keterangan
Bentuk Patch	Rectangular
Frekuensi	10.5 Ghz
Return Loss	< -10 Db
VSWR	< 2
Impedansi	$\pm 50 \Omega$
Konstantan Dielektrik	4.3 Er
Ketebalan Patch	0.035 mm
Ketebalah Substrat	1.6 mm
Bahan Substrat	Fr-4
Bahan Patch	Copper

Alur Perancangan

Tahap perancangan dilakukan pertahap dan secara runtut seperti diagram dibawah pada gambar 7 [12] :

Dalam melakukan perancangan terlebih dahulu dilakukan studi literatur, kemudian menentukan spesifikasi antenna, melakukan perhitungan dimensi antenna, mendesain antenna satu elemen melakukan simulai dan optimasi. Tahap selanjutnya hasil optimasi antenna single akan dibuat untuk mendesain antenna array

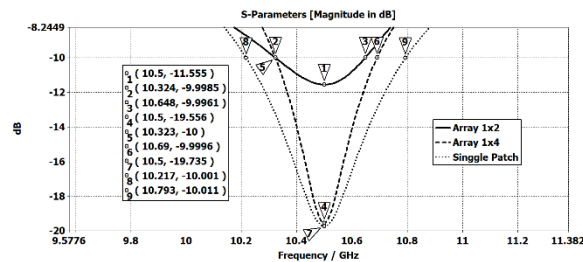




Gambar 7. Diagram Alir Perancangan Antena

HASIL DAN PEMBAHASAN

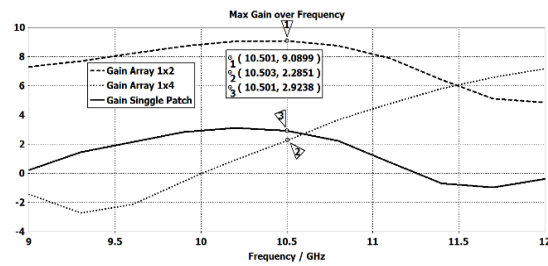
1. Return Loss



Gambar 8. Return Loss pada ketiga antena

Percobaan yang dilakukan menunjukkan adanya perbedaan nilai pada masing-masing kriteria yang terdapat pada 3 jenis antena yang diuji. Return loss tertinggi terdapat pada single patch yang memiliki nilai -19,75 dB kemudian array 1 x 2 sebesar -19,55 dB dan terendah terdapat pada array 1 X 4 -11,55 dB. Ketiga jenis antena tersebut masih memenuhi kriteria return loss antena yang diinginkan yaitu -10 db. Return loss ditentukan dengan melihat nilai return loss terendah pada frekuensi kerja antena yang digunakan. Besar nilai return loss sebanding dengan besar amplitudo yang dipancarkan antena, semakin kecil nilai return loss maka pancaran amplitudo gelombang akan semakin kecil [9]

2. Gain



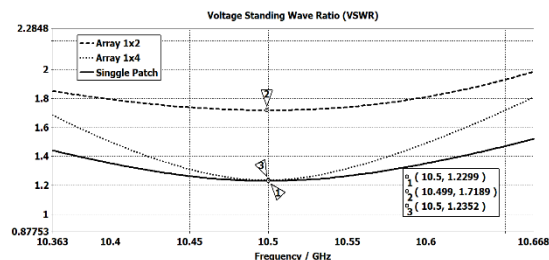
Gambar 9. Gain pada ketiga antenna

Gain tertinggi terdapat pada antenna array 1 x 2 sebesar 9.08 kali, sedangkan pada single patch dan array 1 x 4 cenderung memiliki gain yang hampir sama yaitu 2.9 kali dan 2.28 kali. Gain merupakan parameter penting dalam pembuatan antenna karena menentukan kualitas sinyal yang dihasilkan. Gain adalah hasil perbandingan dari level radiasi maksimal dari pancaran antenna terhadap level radiasi maksimum dari pancaran antenna referensi atau pembanding yang memiliki faktor efisiensi antenna yang sama [13].

3. Bandwidth

Dapat dilihat pada gambar 8 Bandwidth tertinggi terdapat pada single patch sebesar 0,6 dB, nilai ini 2 kali lipat lebih besar jika dibandingkan dengan nilai bandwidth pada array 1 x 2 yang hanya 0,3 dB, sedangkan pada array 1 x4 memiliki bandwidth sebesar 0,37 dBi. Lebar pita frekuensi atau disebut dengan bandwidth merupakan daerah disekitar frekuensi yang diuji dengan nilai return loss tertentu [9]. Bandwidth antenna pada percobaan ini diambil pada nilai -10 dB dengan frekuensi 10,5 GHz

4. VSWR

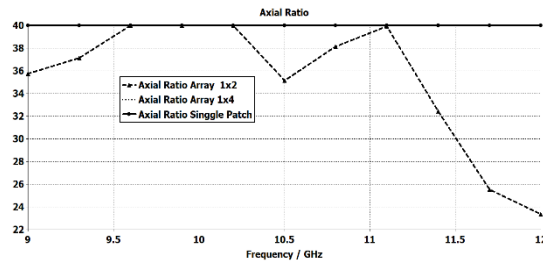


Gambar 10 VSWR pada ketiga antenna

Nilai VSWR pada ketiga jenis antenna cenderung hampir sama, single patch memiliki nilai VSWR sebesar 1,2 sedangkan nilai ini tidak terlampaui jauh dengan array 1 x 2 yang memiliki VSWR sebesar 1,235 dan array 1 x 4 sebesar 1,7. Ketiga

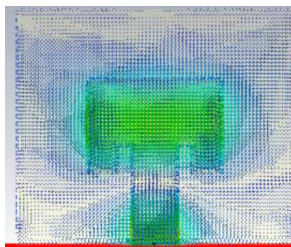
antena yang diuji memiliki nilai VSWR yang baik karena sesuai dengan kriteria yang diinginkan yaitu <2 . Return loss pada antenna dapat digunakan untuk mencari besar VSWR menggunakan persamaan seperti berikut [14].

5. Axial Ratio

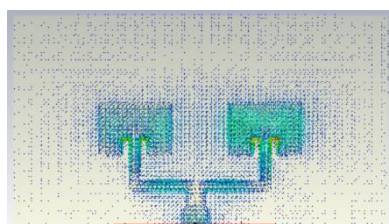


Gambar 11. Axial Ratio pada ketiga antenna Single patch dan array 1 x 4 menunjukkan nilai axial ratio yang sama yaitu 40, sedangkan pada array 1 x 2 memiliki nilai yang lebih rendah walau tidak terlampau jauh yaitu 35. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai Axial Ratio pada ketiga antenna tersebut tidak selalu tetap tetapi juga berubah-ubah.

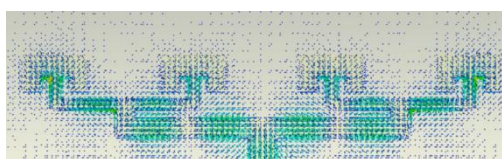
6. Surface Current



Gambar 12a Surface Current single



Gambar 12b Surface Current 1 x 2

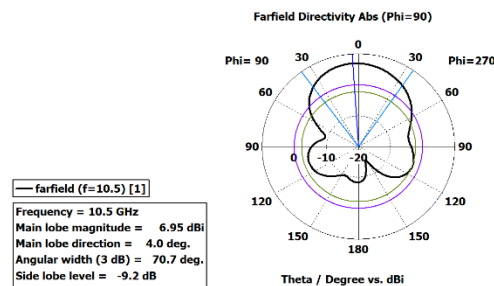


Gambar 12c Surface Current 1 x 4

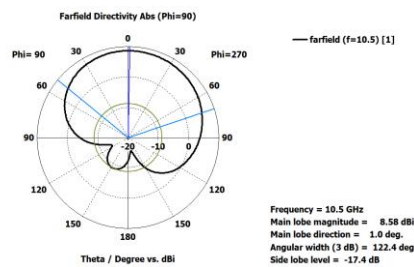
Gambar 12 Surface Current pada ketiga antenna

Gambar 12 merupakan hasil simulasi surface current, arus bergerak melalui saluran pencatu kemudian melewati patch dan menyebar keground, arus terbesar terdapat pada Sebagian besar dari patch antenna, dan juga berada disela-sela insert feeding antenna Sesuai dengan Hukum Kirchhoff I yang menyatakan bahwa jumlah arus yang masuk dalam suatu percabangan sama dengan jumlah arus yang keluar percabangan.

7. Radiation Pattern



Gambar 13a Radiation Pattern single



Gambar 13b Radiation Pattern 1 x 4
Gambar 13 Radiation Pattern

Gambar 13 menunjukkan hasil simulasi dari radiation pattern. Gambar tersebut menunjukkan main lobe magnitude, main lobe direction, angular width (3 dB) dan side lobe level. Main lobe magnitude ditunjukkan dengan garis putus putus yang berpotongan dengan main lobe direction yang berada di tengah. Lingkaran dalam menunjukkan nilai radiasi isotropis dan lingkaran tengah sebagai referensi dari posisi lingkaran. Tanda irisan lingkaran membentuk irisan pizza menunjukkan nilai angular width dan garis tengah diantara irisan menunjukkan nilai main lobe direction. Nilai dari radiation pattern pada antenna bisa dilihat pada gambar 13. Pembahasan ini disoroti nilai angular width pada antenna single sebesar 70.7° dan antenna array 1×4 sebesar 122.4°

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa rangkaian single, array 1 x 2 dan array 1 x 4 memiliki spesifikasi yang berbeda, namun masih memenuhi kriteria antenna yang baik.

1. Nilai return terendah terdapat pada antenna array 1x2 dan tertinggi pada array 1x4. Hal ini menunjukkan tidak adanya pengaruh jumlah patch terhadap nilai return loss. Nilai return loss pada antenna sebanding dengan nilai gain yang dihasilkan. Semakin kecil nilai return loss, maka nilai gain yang dihasilkan semakin besar.
2. VSWR terendah terdapat pada single patch, namun ketiga antenna yang dihasilkan memiliki nilai VSWR yang baik yaitu < 2 .
3. Bandwidth antenna terendah terdapat pada antenna array 1x2 dan tertinggi pada single patch sebesar 0,6 dB

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Herudin, "Perancangan Antena Mikrostrip Frekuensi 2,6 GHz untuk Aplikasi LTE (Long Term Evolution)," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 1, no. 1, p. 41, 2016, doi: 10.36055/setrum.v1i1.469.
- [2] R. Rahmania, H. Wijanto, and P. Daud, "Perancangan Dan Realisasi Antena Mikrostrip Array Inset-Fed Rektangular Dengan U-Slot Untuk Aplikasi Radio Over Fiber Pada Frekuensi 10 Ghz Design and Realization Inset-Fed Rectangular Microstrip Antenna Array With U-Slot for Radio Over Fiber At 10 Ghz Fr," vol. 2, no. 3, pp. 7182–7189, 2015.
- [3] H. Werfelli, K. Tayari, M. Chaoui, M. Lahiani, and H. Ghariani, "Design of rectangular microstrip patch antenna," *2nd Int. Conf. Adv. Technol. Signal Image Process. ATSIP 2016*, no. March, pp. 798–803, 2016, doi: 10.1109/ATSIP.2016.7523197.
- [4] D. Medianto, T. Telekomunikasi, M. Yana, and H. T. Telekomunikasi, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Triangular Metode Parasitic Untuk Aplikasi LTE di Frekuensi 2,3 GHz," *J. Teknol. Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 109–116, 2018, [Online]. Available: <https://jte.mercubuana.ac.id/publications/327297/>.
- [5] E. Yovita, D. Utami, F. D. Setiaji, and D. Pebrianto, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Persegi Panjang 2 , 4," no. 3, 2017.
- [6] H. Ludyati, E. Elisma, W. Pardosi, and N. Nurfiana, "Analisa Karakteristik Antena Mikrostrip Lingkaran Berbahan Substrat Material Dielektrik Artifisial pada Frekuensi 1800 MHz," *Pros. - Semin. Nas. Tek. Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, pp. 276–283, 2019.
- [7] S. U, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip MIMO 2x2 dan 4x4 Circular Patch dengan Frekuensi 2300-2400 MHz untuk Teknologi LTE (Long Term Evolution)," p. 72, 2019.

- [8] A. Mahendra, "Perancangan Antena Mikrostrip Bow-Tie pada Aplikasi Ultra Wideband," *J. Ilm.ELIT. Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 79–88, 2012.
- [9] Y. Christyono, I. Santoso, and R. D. Cahyo, "PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP ARRAY PADA FREKUENSI 850 MHz," *Transmisi*, vol. 18, no. 2, pp. 87–95, 2016, doi: 10.12777/transmisi.18.2.87-95.
- [10] F. W. ARDIANTO, S. RENALDY, F. F. LANANG, and T. YUNITA, "Desain Antena Mikrostrip Rectangular Patch Array 1x2 dengan U-Slot Frekuensi 28 GHz," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 7, no. 1, p. 43, 2019, doi: 10.26760/elkomika.v7i1.43.
- [11] R. Mishra, R. G. Mishra, R. K. Chaurasia, and A. K. Shrivastava, "Design and analysis of microstrip patch antenna for wireless communication," *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, vol. 8, no. 7, pp. 663–666, 2019, doi: 10.23883/ijrter.conf.20170331.001.bkajt.
- [12] F. Rizqa, D. Arseno, and T. Yunita, "Analisis Dan Desain Antena Mikrostrip Untuk Komunikasi Satelit Pada Frekuensi Ka-Band," *Avitec*, vol. 1, no. 2, pp. 1–12, 2020, doi: 10.28989/avitec.v2i1.590.
- [13] S. M. Putri, "ANALISIS ANTENA MIKROSTRIP FRAKTAL SIERPINSKI GASKET," pp. 55–61, 2010.
- [14] Istikomah, "RANCANG BANGUN ANTENA PENYEARAH (RECTIFIER ANTENNA) UNTUK PEMANEN ENERGI ELEKTROMAGNETIK PADA FREKUENSI GSM 1800 MHz," 2014.