

DESAIN ANTENA MICROSTRIP RECTANGULAR ARRAY 1x4 PADA FREKWENSI 2.2 UNTUK RADAR KAPAL

Agus Dwi Santoso¹, Fery Budi Cahyono², Bambang Bagus Harianto³

^{1,2)} Politeknik Pelayaran Surabaya, Jl. Gunung Anyar Lor No.1, Surabaya, 60294

³⁾ Politeknik Penerbangan Surabaya, Jl. Jemur Andayani I/73, Surabaya, 60236

E-mail correspondence : agusbp2ipsby@gmail.com

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisa karakteristik antenna pada frekuensi 2.2 GHz yang meliputi nilai return loss, VSWR, gain, bandwidth, surface current dan radiation pattern. Karakteristik antenna telah didesain menggunakan simulasi yang dibuat dengan substrat FR-4 dengan konstanta dielektrik $\epsilon_r=4.3$ dan ketebalan substrat (h) = 1.6 mm dan patch dari copper dengan ketebalan patch 0.035 mm. Antenna single dibuat terlebih dahulu untuk mendapatkan parameter yang diinginkan kemudian dilanjutkan pembuatan antenna array 1x2 dan 1x4. Feeding antenna array disusun dengan menggunakan teknik wilkinson power divider pada sisi patch nya. Perencanaan antenna array memiliki tujuan untuk meningkatkan nilai gain antenna maupun nilai keterarahan (directivity) antenna. Dari hasil simulasi didapatkan nilai berturut turut mulai dari antenna single, antenna array 1x2 dan antenna array 1x4 yang meliputi return loss -22 dB, 25,9 dB, -15.3 dB. Nilai SWR masing masing 1.1,1.1,dan 1.4. Nilai gain masing masing 3.38 dB, 5.52 dB,7.84 dB. Bandwidth antenna didapatkan sebesar 100 MHz, 400 MHz, 200MHz. Angular width didapatkan sebesar 99.40, 92.20, 80.20.

Kata Kunci : Antena microstrip rectangular, Wilkinson power divider, Array

Abstract

This study aims to analyze antennas' characteristics at a frequency of 2.2 GHz, including the value of return loss, VSWR, gain, bandwidth, surface current, and radiation pattern. The antenna characteristics have been designed using simulations made with FR-4 substrates with a dielectric constant $\epsilon_r= 4.3$ and substrate thickness (h) = 1.6 mm and copper patches with a patch thickness of 0.035 mm. Single antennas are made first to get the desired parameters, then continue to make 1x2 and 1x4 antenna arrays. The feeding antenna array is arranged using the Wilkinson power divider technique on the side of the patch. Antenna array planning aims to increase the antenna gain value as well as the antenna directivity value. From the simulation results, successive values were obtained starting from a single antenna, a 1x2 antenna array, and a 1x4 antenna array which included return loss of -22 dB, 25.9 dB, and -15.3 dB. Swr values are 1.1,1.1,1.4 each. The gain values are 3.38 dB, 5.52 dB, 7.84 dB, respectively. Antenna bandwidth is obtained by 100 MHz, 400 MHz, and 200MHz. The angular width obtained is 99.40, 92.20, and 80.20.

Keywords: Antena microstrip rectangular, Wilkinson power divider, Array

PENDAHULUAN

Perkembangan antenna mikrostrip sangat menarik bagi para peneliti sampai dengan sekarang karena kemudahannya dalam mendesain dan melakukan proses pembuatan[1]–[3]. Antena mikrostrip mempunyai bentuk dasar pada patchnya yang berbentuk rectangular[4], [5], circular[1], [6]–[8] dan triangular[9]–[11]. Teknologi antenna mikrostrip telah diaplikasikan pada peralatan berbagai peralatan elektronika seperti telekomunikasi[12]–[14] dan surveillance[15].

Antena mikrostrip mempunyai kelemahan bandwidth yang sempit dan karakteristik gain yang rendah[16]–[18] serta lebih bagus diaplikasikan pada frekuensi tinggi. pada proses pengukuran seringkali kesulitan dalam menghasilkan parameter karena kurangnya peralatan dalam pengukuran seperti VNA, spektrum analyzer frekuensi tinggi, frekuensi counter frekuensi tinggi serta sebuah ruangan yang bebas dari arus gelombang elektromagnetik dari berbagai peralatan elektronik. Dalam perkembangannya, sektor telekomunikasi dan surveillance diharapkan mampu beradaptasi dengan kebutuhan dan perkembangan teknologi 4.0.

Studi parametrik telah dilakukan di beberapa penelitian terdahulu, bertepatan U-shaped split ring resonator (SRR) structure effect on the ultra-wide-band (UWB) monopole[19] a textile patch antenna designed for WBAN applications at 2.45 GHz ISM band[20], A wideband circularly polarized (CP) L-slot antenna single fed by L-shaped feed line is designed[21], a combination of dual U-slot and multiple layers is used to get multiple bands and wide bandwidth[22]

Desain antenna mikrostrip dapat mempengaruhi hasil dari transmisi suatu gelombang sinyal. Hal yang mempengaruhi hasil tersebut terutama pada jumlah patch yang dipakai dalam suatu rangkaian antenna. Patch ini berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara, terletak paling atas dari keseluruhan sistem antenna. Kontribusi pada penelitian ini akan membahas tentang pengaruh banyak nya patch pada antenna terhadap nilai return loss, VSWR, bandwidth, gain dan angular width. Untuk bentuk patch yang digunakan

menggunakan bentuk rectangular/persegi panjang. sistem antenna dievaluasi menggunakan desain antenna single patch, antenna array 1x2, dan 1x4.

METODE

Sebelum melakukan desain terlebih dahulu dimensi antenna dihitung menggunakan rumus di bawah dalam menentukan panjang setiap bagian antenna. Spesifikasi kerja yang dipakai untuk prototype antenna mikrostrip rectangular yang disimulasikan adalah:

- Frekuensi kerja : 2.2 GHz
- Impedansi terminal : 50 Ohm
- VSWR : ≤ 2
- Polarisasi : Vertikal
- Gain : ≥ 2 dB
- Return Loss : ≤ -10 dB
- Bentuk Patch : Rectangular

Microstrip patch antenna dirancang secara simulasi dengan spesifikasi frekuensi 2.2 GHz. Substrat yang digunakan pada antenna mikrostrip ini adalah FR-4 dengan nilai permeabilitas sebesar 4.3, sedangkan untuk ground plane dan patch yang digunakan adalah *cooper*.

Untuk perhitungan rumus dalam menentukan Panjang setiap bagian menggunakan rumus sebagai berikut [23]:

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

Dari rumus (1) diatas dapat diketahui sebagai berikut [23]:

W = Lebar patch

c = Cepat rambat gelombang di udara

f_0 = Frekuensi resonan

ϵ_r = Permeabilitas bahan/jenis bahan

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2 \sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \quad (2)$$

Dari rumus (2) diatas dapat diketahui sebagai berikut[23] :

ϵ_{reff} = Permeabilitas efektif

ϵ_r = Permeabilitas bahan/jenis bahan

h = Tebal substrat

W = Lebar patch

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3)$$

Dari rumus (3) diatas dapat diketahui sebagai berikut [23]:

L_{eff} = Panjang efektif patch

f_0 = Frekuensi resonan

ϵ_{reff} = Permeabilitas efektif

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff}+0.3)\left(\frac{W}{h}+0.264\right)}{(\epsilon_{reff}-0.258)\left(\frac{W}{h}+0.8\right)} \quad (4)$$

Dari rumus (4) diatas dapat diketahui sebagai berikut [23]:

ΔL = Perubahan Panjang patch

h = Tebal substrat

W = Lebar patch

ϵ_{reff} = Permeabilitas efektif

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (5)$$

Dari rumus (5) diatas dapat diketahui sebagai berikut [24]:

ΔL =Perubahan Panjang patch

L_{eff} = Panjang efektif patch

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln \ln (2B - 1) + \left[\ln \ln (B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (6)$$

$$B = \frac{6\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

Dari rumus (6) diatas dapat diketahui sebagai berikut [24]:

W_f =Lebar feeding

B =Impedance Permeabilitas

Z_0 =Nilai impedansi yang diinginkan

h = Tebal substrat

ϵ_r = Permeabilitas bahan/jenis bahan

Rumus rumus diatas digunakan untuk menghitung patch antenna dengan sistem pencatuan inset feeding. Dalam melakukan perhitungan antena array diperlukan Teknik percabangan percabangan menggunakan rumus sebagai berikut

$$Z = Z_0\sqrt{N} \tag{7}$$

Dari rumus (7) diatas dapat diketahui sebagai berikut [25]:

Z = Output Impedance percabangan

Z_0 = Impedansi masukan

N = Jumlah percabangan

$$d = \frac{\lambda}{2} \tag{8}$$

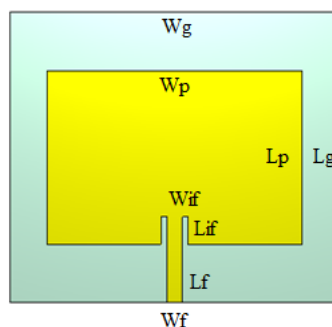
Dari rumus (8) diatas dapat diketahui sebagai berikut [25]:

d = jarak antar patch

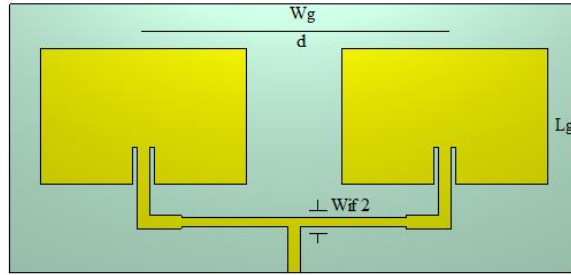
λ = Panjang gelombang frekuensi resonan

Desain Antena

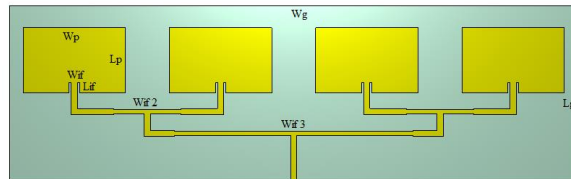
Setelah melakukan perhitungan maka hasil perhitungan antena akan diaplikasikan menggunakan software. Terlebih dahulu antena akan didesain secara single dengan menggunakan patch berbentuk rectangular dan sistem pencatuan insert feeding. Desain antena single terlihat pada gambar 1a. setelah dilakukan desain antena single maka dilakukan desain yang kedua yaitu antena array 1x2, menggunakan perhitungan patch antena single digunakan. Antena yang terdiri dari 2 patch ini disatukan menggunakan sistem feeding bercabang dengan Teknik *wilkinson power divider* dengan kombinasi dua nilai impedansi sebesar 50-ohm dan 70.7 ohm



Gambar 1a. Single Antenna



Gambar 1b. Antenna array 1



Gambar 1c. Antenna array 1x4

Gambar 1c. menunjukkan gambar desain antenna array 1x4, desain ini merupakan gabungan dari desain antenna single dan antenna array 1x2, dengan menggunakan teknik *wilkinson power divider*[26], antenna ini memiliki 3 cabang yang terdiri dari 2 cabang dari antenna array 1x2 kemudian kedua cabang tersebut dihubungkan ke satu feeding utama untuk mendapatkan catu daya. Jarak antar patch dibuat dengan perhitungan setengah lamda Sebagian Jarak terdekat untuk meminimalkan interferensi.

Untuk mendapatkan kinerja peralatan antenna yang baik dan sesuai parameter, maka hasil simulasi yang dilakukan terkadang perlu dilakukan teknik optimasi pada antenna, hal ini disebabkan ada beberapa bagian antenna yang tidak dilakukan perhitungan secara langsung seperti insert feeding dan juga Panjang feeding antenna. Optimasi dilakukan dengan mengubah bentuk ukuran peradiasi dan saluran pencatu hingga memenuhi kriteria spesifikasi antenna pada umumnya. Hasil optimasi menghasilkan ukuran antenna yang baru.

Tabel 1. Hasil perhitungan antenna microstrip

Bagian	Simbol	Spesifikasi
Panjang Patch	L_p	48 mm
Lebar Patch	W_p	31.2 mm
Panjang Saluran Pencatu	L_f	15.4 mm
Lebar Saluran Pencatu	W_p	3 mm
Panjang Insert Feeding	L_{if}	10 mm
Lebar Insert Feeding	W_{if}	1 mm
Panjang Patch $\frac{1}{2}$ lamda	d	70 mm
Panjang Ground	L_g	52 mm

Lebar Ground	Wg	62 mm
Panjang Substrat	Ls	52 mm
Lebar Substrat	Ws	62 mm
Lebar Insert Feeding 2	Wif 2	32.2 mm
Panjang Insert Feeding 2	Lif 2	2 mm
Lebar Insert Feeding 3	Wif 3	114.2 mm
Panjang Insert Feeding 3	Lif 3	2 mm

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan ini kita akan mengevaluasi perbandingan return loss, VSWR, gain, angular width, parameter-parameter tersebut penting dalam mendesain antenna. Return Loss adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan [27]. Return loss pada dasarnya memiliki asal yang saling bersinergi dengan VSWR yaitu terjadi disebabkan oleh percampuran antara gelombang yang ditransmisikan dan gelombang yang dipantulkan yang sama-sama menentukan matching antara perangkat transmitter dengan antenna

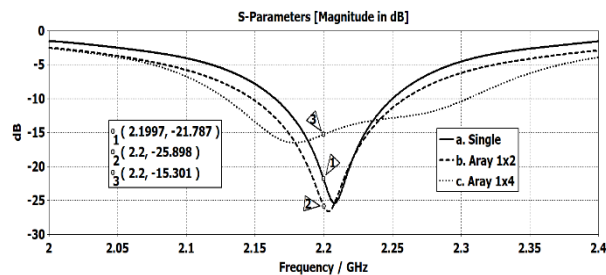
VSWR adalah rasio perbandingan antara gelombang datang dan gelombang pantul pada antena, dimana kedua gelombang tersebut akan membentuk gelombang berdiri[27]. Gelombang berdiri (Standing Wave) merupakan gabungan antara refleksi dan interferensi yaitu gelombang pantul menginterferensi gelombang datang sehingga fasa gelombang datang terganggu oleh gelombang pantul yang mengakibatkan gelombang datang mengalami kerusakan. Semakin tinggi nilai VSWR berarti performansi dari antena tersebut semakin tidak baik atau gelombang yang berinterferensi semakin besar

Gain (directive gain) adalah karakter antena yang terkait dengan kemampuan antena mengarahkan radiasi sinyalnya, atau penerimaan sinyal dari arah tertentu[27]. Gain bukanlah kuantitas yang dapat diukur dalam satuan fisis pada umumnya seperti watt, ohm, atau lainnya, melainkan suatu bentuk perbandingan. Oleh karena itu, satuan yang digunakan untuk gain adalah decibel.

Pola Radiasi Antena (Radiation Pattern) adalah penggambaran radiasi yang berkaitan dengan kekuatan gelombang radio yang dipancarkan oleh antena ataupun tingkat penerimaan sinyal yang diterima oleh antena pada sudut yang berbeda[27]. Pada umumnya Pola Radiasi ini digambarkan dalam bentuk plot 3 dimensi. Pola radiasi antena 3 dimensi ini dibentuk oleh dua pola radiasi yaitu pola elevasi dan pola azimuth. Bentuk pola radiasi adalah Pola Omnidirectional pattern yaitu pola radiasi yang serba sama dalam satu bidang radiasi dan Pola Directive yang membentuk bola berkas yang sempit dengan radiasi yang tinggi. Pada pembahasan di bawah ini akan dibahas tentang parameter-parameter yang telah dijelaskan diatas.

Return Loss

Hasil dari return loss ketiga antena tertera pada gambar dibawah ini. Garis solid menunjukkan grafik dari single antenna.



Gambar 1. Nilai returnloss antena

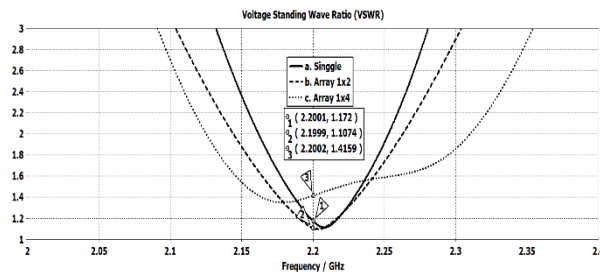
Garis dashed menunjukkan nilai dari antenna array 1x2 dan garis dot menunjukkan nilai dari antenna array 1x4. Nilai frekuensi yang terdapat pada sumbu x dimulai dari 2 GHz sampai dengan 2.4 Ghz, kemudian nilai sumbu y adalah nilai magnitude return loss dengan nilai dari 0 dB sampai dengan -50 dB

Pada gambar 2 terdapat segitiga yang diletakkan pada nilai frekuensi 2.2 GHz. Terlihat pada segitiga 1 nilai return loss menunjukkan -22 dB, pada segitiga 2 nilai return loss -26,3 dB dan pada segitiga 3 nilai return loss -15.3 dB. Terlihat bahwa untuk nilai range maksimal tidak terletak pada frekuensi 2.2 GHz. Antenna single mempunyai pada frekuensi 2.207 mempunyai nilai return loss sebesar -25.4 dB.

Sedangkan antenna array 1x8 mempunyai returnloss -45 dB pada frekwensi 2.14 GHz, sedangkan antenna array 1x2 dan 1x4 menunjukkan perbedaan yang berarti.

VSWR

Gambar 3 menunjukkan grafik VSWR terhadap frekuensi kerja antenna 2.2 GHz. Grafik solid menunjukkan nilai antenna single. Grafik dashed menunjukkan nilai antenna array 1x2. Grafik dot menunjukkan nilai antenna array 1x4 dan Grafik dashdot menunjukkan nilai dari antenna array 1x8. Ada korelasi hubungan return loss terhadap nilai VSWR. Jika nilai return loss dibawah 10 dB maka nilai VSWR dibawah 2. Terdapat segitiga sebagai penanda yang menunjukkan nilai SWR hasil simulasi, didapatkan nilainya berturut turut 1.2, 1.11, 1.4 dan 1.2. nilai SWR

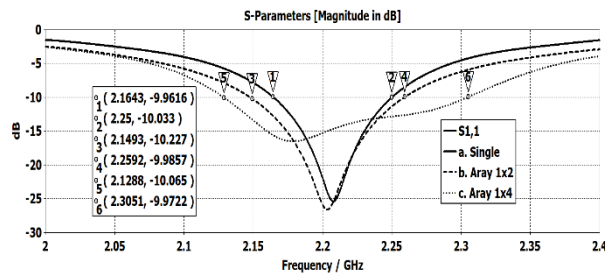


Gambar 2. Nilai VSWR Antena

ini mempunyai korelasi dengan nilai return loss pada gambar 2. Semakin tinggi nilai return loss maka nilai SWR semakin rendah. Jika VSWR = 1 maka seluruh daya akan dipancarkan melalui antenna.

Bandwidth

Gambar 4 menunjukkan nilai frekuensi terhadap nilai magnitude return loss antenna. Nilai bandwidth didapatkan dengan mengambil frekuensi kerja lebih besar sama dengan 10 dB. Nilai grafik menunjukkan bahwa grafik solid adalah untuk antenna single. Grafik dashed untuk antenna array 1x2. Grafik dot menunjukkan antenna 1x4

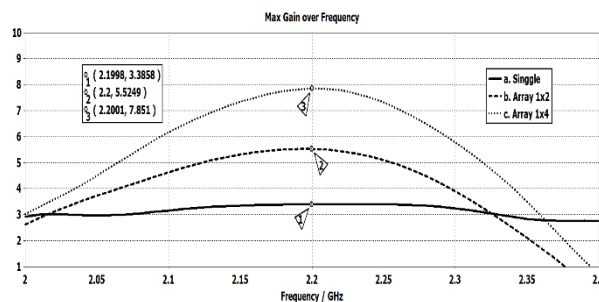


Gambar 3. Nilai bandwidth antenna

Penanda segitiga pada gambar 4. antenna menunjukkan frekuensi kerja dibawah sama dengan 10 dB. setelah dilakukan penandaan pada masing masing grafik didapatkan nilai bandwidth masing – masing 90 MHz,110 Mhz dan 180 MHz. terdapat pergeseran nilai pada desain antenna ini pada masing masing desain. Nilai bandwidth terkecil 90 MHz dan terbesar adalah 180 MHz.

Gain

Gambar 4. dibawah ini menunjukkan nilai gain masing masing antenna, grafik solid menunjukkan nilai gain antenna single. Grafik dashes menunjukkan nilai antenna array 1x2 . Grafik dot menunjukkan nilai array 1x4. Gain berhubungan dengan nilai patch antenna yang dibuat menjadi desain antenna array. Pada series array feeding,semakin banyak jumlah patch antenna maka besaran gain semakin tinggi.

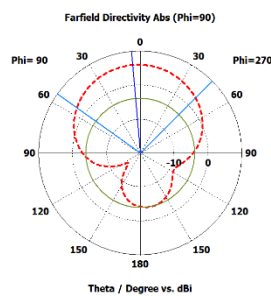


Gambar 4. Nilai gain antenna

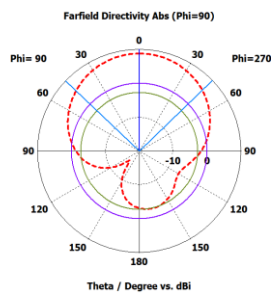
Pada gambar 4 diatas terdapat juga 3 buah segitiga yang menandakan nilai gain pada masing masing desain antenna dengan nilai masing masing 3.38 dB, 5.52 dB,7.81 dB. sehingga menunjukkan satu pembuktian bahwa semakin banyak jumlah array nya maka semakin besar nilai gain antenna.

Radiation pattern

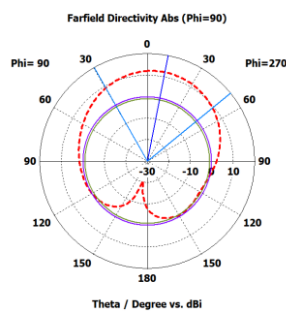
Gambar 5. dibawah ini menunjukkan hasil simulasi dari radiation pattern. Gambar tersebut menunjukkan main lobe magnitude, main lob direction, angular width (3 dB) dan side lobe level. Main lobe magnitude ditunjukkan dengan garis putus putus yang berpotongan dengan main lobe direction yang berada di tengah. 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



Gambar 5a. Antena single



Gambar 5b. Antena array 1x2



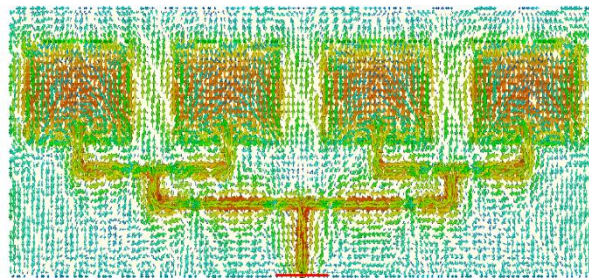
Gambar 5c. Antena array 1x4

Gambar 5. Radiation pattern

Nilai dari radiation pattern masing masing antenna bisa dilihat pada gambar 5a,5b dan 5c. pada pembahasan ini disoroti nilai angular width berturut turut 99.40,92.20,dan 80.20 . Nilai tersebut menunjukkan pengaruh patch pada susunan linear array mempengaruhi direktivitas antenna.

Current Analysis

Gambar 6 dibawah ini adalah 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 , disebelah distribusi arus terdapat grafik batang nilah arus maksimum sebesar 27 A/m



Gambar 6. Current analysis antenna array 1x4

Pada gambar 6 diatas hanya terdapat gambaran distribusi arus antenna array 1x4, untuk antenna single, antenna array 1x2 penggambarannya aliran arusnya hampir sama, yang membedakan hanya pada nilai arus maksimum yang melewati antenna. Nilai arus maksimum dari ke tiga antenna adalah 44.6 A/m,31.5 A/m dan 27 A/m. besaran arus menunjukkan nilai tertinggi antenna single dan nilai terendah antenna array 1x4. Sesuai dengan Hukum Kirchoff I menyatakan bahwa jumlah arus yang masuk dalam suatu percabangan sama dengan jumlah arus yang keluar percabangan[28].

PENUTUP

Kesimpulan

Pada paper ini berhasil dirancang antenna microstrip berbentuk rectangular patch yang bekerja pada frekuensi 2,2. Frekuensi tersebut terletak pada S band. Di penelitian ini menggunakan 4 desain antenna antenna, yaitu single patch, array 1x2, dan array 1x4. Dari hasil evaluasi simulasi didapatkan hasil yang ditunjukkan seperti tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Hasil evaluasi antenna

Parameter Antenna	Single Patch	Array 1x2	Array 1x4
Return Loss	-22 dB	-25.9 dB	-15.3 dB
VSWR	1.1	1.1	1.4
Bandwidth	90 Mhz	110 Mhz	180 Mhz
Gain	3.38 dB	5.52 dB	7.84 dB
Angular Width	99.4 ^o	92.2 ^o	80.2 ^o

Desain antenna array dengan menggunakan series feeding menunjukkan bahwa gain antenna semakin besar saat ada penambahan patch antenna, sedangkan angular width (AW)(3dB) menjadi semakin kecil. Nilai AW yang semakin kecil menunjukkan direktivitas antenna semakin sempit. Hal ini berakibat nilai gain semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Liu, Y. Liu, and S. Gong, "Broadband microstrip-CPW fed circularly polarised slot antenna with inverted configuration for L-band applications," *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 11, no. 6, pp. 880–885, 2017, doi: 10.1049/iet-map.2016.0880.
- [2] H. W. Lai, Kain Fong Lee, Kwai Man Luk, *Microstrip Patch Antennas*, vol. 2, no. X. 2017. doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- [3] Anil Pandey, *Practical Microstrip and Printed Antenna Design*. Artech House, 2019.
- [4] B. Pratiknyo Adi Mahatmanto and C. Apriono, "High Gain 4x4 Microstrip Rectangular Patch Array Antenna for C-Band Satellite Applications," *Proceeding - 1st FORTEI-International Conference on Electrical Engineering, FORTEI-ICEE 2020*, pp. 125–129, 2020, doi: 10.1109/FORTEI-ICEE50915.2020.9249810.
- [5] V. Samarthay, S. Pundir, and B. Lal, "Designing and Optimization of Inset Fed Rectangular Microstrip Patch Antenna (RMPA) for Varying Inset Gap and Inset Length," *International Journal of Electronic and Electrical Engineering*, vol. 7, no. 9, pp. 1007–1013, 2014, [Online]. Available: <http://www.irphouse.com>
- [6] Z. Gan, Z. H. Tu, Z. M. Xie, Q. X. Chu, and Y. Yao, "Compact wideband circularly polarized microstrip antenna array for 45 GHz application," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 66, no. 11, pp. 6388–6392, 2018, doi: 10.1109/TAP.2018.2863243.

- [7] K. M. Gatea, "Compact ultra wideband circular patch microstrip antenna," 2012 1st National Conference for Engineering Sciences, FNCES 2012, pp. 8–12, 2012, doi: 10.1109/NCES.2012.6740471.
- [8] S. Park, C. Kim, Y. Jung, H. Lee, D. Cho, and M. Lee, "Gain enhancement of a microstrip patch antenna using a circularly periodic EBG structure and air layer," *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 64, no. 7, pp. 607–613, 2010, doi: 10.1016/j.aeue.2009.04.014.
- [9] M. K. Bonthu and A. K. Sharma, "An investigation of multiband triangular microstrip patch antenna using DGS," 2019 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking, WiSPNET 2019, pp. 440–443, 2019, doi: 10.1109/WiSPNET45539.2019.9032739.
- [10] M. K. Bonthu and A. Kumar Sharma, "Design and Analysis of Frequency Reconfigurable Equilateral Triangular Microstrip Patch Antenna," 17th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2020, pp. 226–229, 2020, doi: 10.1109/ECTI-CON49241.2020.9158121.
- [11] K. Mahendran, D. R. Gayathri, and H. Sudarsan, "Design of multi band triangular microstrip patch antenna with triangular split ring resonator for S band, C band and X band applications," *Microprocessors and Microsystems*, vol. 80, p. 103400, 2021, doi: 10.1016/j.micpro.2020.103400.
- [12] D. Alvarez Outerelo, A. V. Alejos, M. Garcia Sanchez, and M. Vera Isasa, "Microstrip antenna for 5G broadband communications: Overview of design issues," *IEEE Antennas and Propagation Society, AP-S International Symposium (Digest)*, vol. 2015-October, pp. 2443–2444, 2015, doi: 10.1109/APS.2015.7305610.
- [13] E. D. Meutia, R. Munadi, and M. N. Simatupang, "Circular Patch Microstrip Antenna Design for Wideband Communication," pp. 287–292.
- [14] D. Imran et al., "Millimeter wave microstrip patch antenna for 5G mobile communication," 2018 International Conference on Engineering and Emerging Technologies, ICEET 2018, vol. 2018-Janua, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ICEET1.2018.8338623.
- A. S. Prabowo, N. Pambudiyatno, and B. B. Harianto, "Microstrip Antenna Design with Patch Rectanguler for Primary Surveillance Radar (PSR) L-Band Application," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 1845, no. 1. doi: 10.1088/1742-6596/1845/1/012033.
- [15] S. Palanivel Rajan and C. Vivek, "Analysis and Design of Microstrip Patch Antenna for Radar Communication," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol. 14, no. 2, pp. 923–929, Mar. 2019, doi: 10.1007/s42835-018-00072-y.
- [16] H. Srivastava, A. Singh, A. Rajeev, and U. Tiwari, "Bandwidth and Gain Enhancement of Rectangular Microstrip Patch Antenna (RMPA) Using Slotted Array Technique," *Wireless Personal Communications*, vol. 114, no. 1, pp. 699–709, Sep. 2020, doi: 10.1007/s11277-020-07388-x.
- [17] M. U. Khan, M. S. Sharawi, and R. Mittra, "Microstrip patch antenna miniaturisation techniques: a review," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 9, no. 9, pp. 913–922, Jun. 2015, doi: 10.1049/iet-map.2014.0602.
- [18] Mohd Ibrahim et al., "Parametric Study of Modified U-shaped Split Ring Resonator Structure Dimension at Ultra-Wide-band Monopole Antenna," *Journal of Telecommunication*,

- Electronic and Computer Engineering, vol. 10, pp. 2–5, 2018, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/328095758>
- [19] M. Grilo and F. Saleté Corra, “Parametric study of rectangular patch antenna using denim textile material,” 2013 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave & Optoelectronics Conference (IMOC), pp. 1–5, Aug. 2013, doi: 10.1109/IMOC.2013.6646439.
- [20] S.-L. S. Yang, A. A. Kishk, and K.-F. Lee, “Wideband Circularly Polarized Antenna With L-Shaped Slot,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 56, no. 6, pp. 1780–1783, Jun. 2008, doi: 10.1109/TAP.2008.923340.
- [21] N. K. Darimireddy, R. Ramana Reddy, and A. Mallikarjuna Prasad, “Design of triple-layer double U-slot patch antenna for wireless applications,” Journal of Applied Research and Technology, vol. 13, no. 5, pp. 526–534, 2015, doi: 10.1016/j.jart.2015.10.006.
- [22] D. N. Arizaca-Cusicuna, J. Luis Arizaca-Cusicuna, and M. Clemente-Arenas, “High Gain 4x4 Rectangular Patch Antenna Array at 28GHz for Future 5G Applications,” in 2018 IEEE XXV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON), Aug. 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/INTERCON.2018.8526451.
- [23] N. Ripin, R. Adawiyah A., A. A. Sulaiman, N. H. Baba, and S. Subahir, “2012 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED),” May 2012. doi: DOI: 10.1109/SCORED.2012.6518651.
- [24] C. A. Balanis, Antenna Theory Analysis And Design Third Edition. A John Wiley & Sons, INC, 2005. doi: 10.1002/9780470661369.ch4.
- [25] Z. Muludi and B. Aswoyo, “Truncated microstrip square patch array antenna 2 × 2 elements with circular polarization for S-band microwave frequency,” in 2017 International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA), Sep. 2017, vol. 2017-Decem, pp. 87–92. doi: 10.1109/ELECSYM.2017.8240384.
- [26] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, Antena Theory and Design. John Wiley and Sons, Inc, 2012.
- [27] R. Dewan, S. K. A. Rahim, S. F. Ausordin, H. U. Iddi, and M. Z. A. Abd. Aziz, “X-Polarization array antenna with parallel feeding for WiMAX 3.55 GHz application,” in 2011 IEEE International RF & Microwave Conference, Dec. 2011, pp. 368–372. doi: 10.1109/RFM.2011.6168769. Murray, B.J. Rev. of *Chamber Music: An Essential History*, by Mark A. Radice. *CHOICE: Current Reviews for Academic Libraries*, Sept. 2012: 93. *Academic OneFile*. Web. 21 Oct. 2014.