

## Karakteristik Gelombang Elektromagnetik Pada Antena Mikrostrip Aplikasinya Untuk Sistem Komunikasi Satelit

### *Characteristics Of Electromagnetic Waves In Microstrip Antenna Application For Satellite Communication Systems*

Putu Artawan

Jurusan Fisika dan Pengajaran IPA, Fakultas MIPA, Universitas Pendidikan Ganesha  
scientya@yahoo.com/artawan.putu@undiksha.ac.id

#### **Abstract**

*Electromagnetic energy propagates in waves of some measurable character. The different characteristics of wave energy are used to classify electromagnetic energy. Waves consisting of electric and magnetic fields that propagate in space are called electromagnetic waves. In the application of information technology, electromagnetic waves have a major role in energy transformation systems with characteristic indicators in certain quantities such as VSWR, Gain, Radiation Pattern and Return Loss. Numerical analysis with empirical formulas that support calculations related to the characterization is needed which is then compared through simulation and fabrication results. The results of the designed fabrication are measured to obtain design parameters (VSWR, Gain, Radiation Pattern and Return Loss) using a Network Analyzer. One of the designs is in the application of information technology in the form of an antenna. The results of a review of several studies resulted in an Antenna design with a more optimal parameter characterization in its application to satellite communication systems, namely having a wider Band Width, very small Return Loss, high Gain and Directivity, and wider point-to-point access range with minimal input power.*

*Keywords: Electromagnetic Energy, Electromagnetic Waves, Satellite, Antenna*

#### **Abstrak**

Energi elektromagnetik merambat dalam gelombang dengan beberapa karakter yang bisa diukur. Perbedaan karakteristik energi gelombang digunakan untuk mengelompokkan energi elektromagnetik. Gelombang yang terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang merambat dalam ruang disebut gelombang elektromagnetik. Dalam aplikasi teknologi informasi, gelombang elektromagnetik memiliki peran utama dalam sistem transformasi energi dengan indikator karakteristik dalam besaran tertentu seperti VSWR, Gain, Pola Radiasi dan Return Loss. Analisa secara numerik dengan formula empiris yang mendukung perhitungan terkait dengan karakterisasi tersebut sangat diperlukan yang kemudian dikomparasi melalui simulasi dan hasil fabrikasi. Hasil fabrikasi yang didesain diukur untuk mendapatkan parameter desain (VSWR, Gain, Pola Radiasi dan Return Loss) dengan menggunakan Network Analyzer. Salah satu desainnya dalam aplikasi teknologi informasi berupa antena, Hasil review beberapa penelitian dihasilkan desain Antena dengan karakterisasi parameter yang lebih optimal dalam aplikasinya pada sistem komunikasi satelit yaitu memiliki Band Width yang lebih lebar, Return Loss yang sangat kecil, Gain dan Direktivitas yang tinggi, serta jangkauan akses point to point yang lebih luas dengan daya input seminimal mungkin.

Kata kunci: Energi Elektromagnetik, Gelombang Elektromagnetik, Satelit, Antena

#### **Pendahuluan**

Energi elektromagnetik merambat dalam gelombang dengan beberapa karakter yang bisa diukur, yaitu: panjang gelombang, frekuensi, amplitudo, dan kecepatan. Energi elektromagnetik dipancarkan, atau dilepaskan, oleh semua masa di alam semesta pada level yang berbeda-beda. Semakin tinggi level energi dalam suatu sumber energi, semakin rendah panjang gelombang dari energi yang dihasilkan, dan semakin tinggi frekuensinya. Perbedaan karakteristik energi gelombang digunakan untuk mengelompokkan energi

elektromagnetik. Inti teori Maxwell mengenai gelombang elektromagnetik adalah, perubahan medan listrik dapat menghasilkan medan magnet.

Beberapa percobaan yang diteliti terkait gelombang elektromagnetik membawa kesimpulan: a). Pola gelombang elektromagnetik sama dengan pola gelombang transversal dengan vektor perubahan medan listrik tegak lurus pada vektor perubahan medan magnet. b). Gelombang elektromagnetik menunjukkan gejala-gejala pemantulan, pembiasan, difraksi, polarisasi seperti halnya pada cahaya. c). Diserap oleh konduktor dan diteruskan oleh isolator. Beberapa Sifat Gelombang Elektromagnetik antara lain: a). Perubahan medan listrik dan medan magnet terjadi pada saat yang bersamaan. b). Arah medan listrik dan medan magnet saling tegak lurus. c). Kuat medan listrik dan magnet besarnya berbanding lurus satu dengan yang lain. d). Arah perambatan gelombang elektromagnetik selalu tegak lurus arah medan listrik dan medan magnet. e). Gelombang elektromagnetik dapat merambat dalam ruang hampa. f). Gelombang elektromagnetik merambat dengan laju yang hanya bergantung pada sifat-sifat listrik dan magnet medium. g). Laju rambat gelombang elektromagnetik dalam ruang hampa merupakan tetapan umum dan nilainya  $c = 3 \times 10^8$  m/s. h). Gelombang elektromagnetik adalah berupa gelombang transversal. i).

Gelombang elektromagnetik dapat mengalami proses pemantulan, pembiasan, polarisasi, interferensi, dan difraksi. Dalam aplikasi teknologi informasi, antena merupakan salah satu perangkat yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik sebagai perantaranya. Untuk merancang bentuk dan ukuran serta menganalisa antena diperlukan pengetahuan khusus mengenai teori medan elektromagnetik. Medan elektromagnetik yang dihasilkan tergantung dari jarak akses dan sumber medannya. Semakin jauh tentu medan elektromagnetik yang dihasilkan semakin kecil artinya dalam proses penjalarnya gelombang elektromagnetik dari pemancar menuju penerima mengalami attenuasi (pelemahan) sinyal. Oleh karena itu, diperlukan desain antena dengan dimensi tertentu yang mempunyai nilai gain tinggi dan direktivitas yang tinggi dengan return loss yang sangat kecil. Salah satu jenis antena yang memiliki karakteristik dimaksud yaitu Desain Antena Mikrostrip Double Bi-Circular. Antena ini merupakan jenis antena Mikrostrip dengan karakteristik penampang yang tipis, massa yang ringan, mudah dalam pembuatannya, dapat dengan mudah diintegrasikan dengan Microwave Integrated Circuits (MICs) serta dapat dibuat untuk multifrekuensi. Berbagai penelitian telah dilakukan terhadap jenis antena Mikrostrip, di antaranya adalah dengan melakukan berbagai variasi disain dan bentuk antena Mikrostrip, dengan memberikan slot dan patch pada antena Mikrostrip, dan penambahan terhadap jumlah array (larik). Penggunaan slot akan dapat meningkatkan bandwidth, semakin kecil lebar slot akan semakin besar lebar bandwidth, sedangkan penambahan jumlah array akan meningkatkan directivity dan gain dari antena [3-8, 11].

Perkembangan teknologi dalam bidang komunikasi begitu pesatnya dengan terciptanya komunikasi jaringan. Perkembangan tersebut tidak terlepas dengan peran salah satu perangkat yang menentukan performansi jaringan yaitu antena. Sebagai bagian utama dari proses transmisi, Antena yang dirancang haruslah memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan seperti frekuensi kerja, koefisien refleksi dan VSWR yang kompatibel serta return loss yang sangat kecil. Antena mikrostrip merupakan antena yang terbuat dari strip/patch logam yang sangat tipis dengan panjang gelombang ( $h \ll \lambda_0$ ;  $0,003 \lambda_0 < 0,005 \lambda_0$ ). Strip/patch logam dipisahkan dari ground planenya oleh bahan/substrat dari bahan dielektrik dengan konstanta dielektrik  $2,2 < \epsilon_r < 12$  [4]. Jenis antena mikrostrip memiliki beberapa keunggulan terutama pada rancangan antenanya yang tipis, kecil, ringan dan dapat diterapkan ke dalam Microwave Integrated Circuit (MICs). Pada prinsipnya antena mikrostrip memiliki karakteristik dengan bandwidth yang sempit. Salah satu teknik untuk memperlebar bandwidth yaitu dengan menggunakan teknik array atau dengan sistem panel. Dengan sistem panel (teknik array) selain dapat memperlebar bandwidth juga dapat meningkatkan penguatan (gain) suatu antena. Dalam teknik array pencatutan yang umumnya digunakan adalah saluran mikrostrip. Pada antena mikrostrip slot memiliki mekanisme kopling. Efek kopling diberikan antara saluran mikrostrip dan elemen peradiasi sebagai transformer ideal [5].

### Metode Penelitian

Impedansi Karakteristik dan Kesetaraannya

Besarnya impedansi karakteristiknya dapat diketahui melalui persamaan berikut:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (2.1)$$

Impedansi antenna dinyatakan oleh perbandingan tegangan dan arus di terminal input atau catu (feeder). Perancangan suatu saluran transmisi tidak terlepas dari penyesuaian impedansi (matching impedance). Suatu jalur atau saluran transmisi dikatakan match apabila impedansi karakteristik  $Z_0 = Z_L$  atau dengan kata lain tidak ada refleksi yang terjadi pada ujung saluran beban.  $Z_0$  merupakan impedansi karakteristik saluran transmisi dan bernilai 50 Ohm sedangkan  $Z_L$  merupakan impedansi beban. Beban dapat berupa antenna atau rangkaian lain yang mempunyai impedansi ekuivalen  $Z_L$ . [2]

Persamaan-Persamaan Yang Digunakan Pada Bagian Patc (Stripline)

Panjang stripline:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f}, \quad (2.2)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}, \quad (2.3)$$

Lebar stripline:

$$w = \frac{1}{2f \sqrt{\mu_0 Z_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}, \quad (2.4)$$

Hubungannya dengan Impedansi karakteristik digunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

Untuk bagian patch yang tipis ( $w/h < 3,3$ ):

$$Z_0 = \frac{119.9}{\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \left[ \ln \left\{ 4 \frac{h}{w} + \sqrt{16 \left( \frac{h}{w} \right)^2 + 2} \right\} \right], \quad [12-16,24,26] \quad (2.5)$$

Permittivitas listrik pada rangkaian mikrostrip ditentukan dengan persamaan:

$$\frac{1}{c_{tot}} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}, \quad (2.6)$$

dengan  $c = \epsilon_o \epsilon_r \frac{A}{d}$  diperoleh:

$$\frac{1}{\epsilon_o \epsilon_r \frac{A}{d_{tot}}} = \frac{1}{\epsilon_o \epsilon_{r1} \frac{A_1}{d_1}} + \frac{1}{\epsilon_o \epsilon_{r2} \frac{A_2}{d_2}} \quad (2.7)$$

Dengan permittivitas efektif mikrostrip ( $\epsilon_{eff}$ ):

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + 10 \frac{h}{w} \right)^{-0.555}, \quad (2.8)$$

Persamaan analisis impedansi ( $Z_{in}$ ) pada bagian tapered disesuaikan karena impedansi ( $Z_0$ ) di setiap titik berbeda, sehingga diperlukan analisis dengan memperhatikan dimensi parameter pada bagian tapered [2].

Pada kasus open circuit diasumsikan bahwa nilai tahanan nol. Dikatakan terjadi lossless, sehingga:

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + j Z_0 \tan \beta l}{Z_0 + j Z_L \tan \beta l}, \quad (2.9)$$

Setelah diuraikan diperoleh:

$$Z_{in} = \frac{Z_o Z_L}{j Z_L \tan \beta l} \quad (2.10)$$

$$= -Z_o j \cot \beta l ; \beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Nilai  $Z_o$  dicari dengan mengacu pada Persamaan (2.5).  
 Sehingga diperoleh persamaan  $Z_{in}$  pada bagian tapered:

$$\int_0^l d(Z_{in}) = \int_0^l j l (1 + \cot^2 \beta l) \frac{119,9}{\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \left[ \frac{-2h\sqrt{3}}{l^2} - \frac{12h^2\sqrt{3}}{l^3} \left( \frac{1}{\frac{3h^2}{4l^2} + 2} \right) \right] dl$$

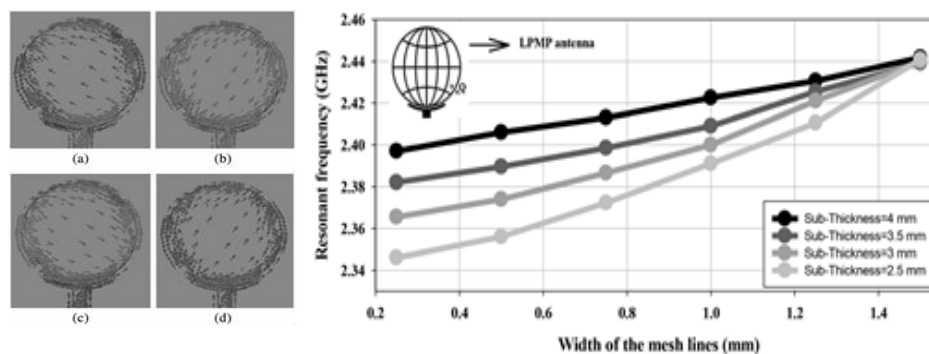
$$Z_{in} = j \frac{1}{2} l^3 (1 + \cot^2 \beta l) \frac{119,9}{\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \left[ -\frac{3\sqrt{3}h}{l} - \frac{192\sqrt{3}h^2}{9h^2 + 2l} \right]$$

Dengan  $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$  (2.11)

Setelah nilai impedansi intrinsik ( $Z_{in}$ ) diperoleh pada bagian tapered, akan menjadi impedansi beban ( $Z_L$ ) baru yang dihubungkan dengan impedansi ( $Z_o$ ) pada bagian patch (stripline) untuk mendapatkan nilai impedansi karakteristik ( $Z_{in}$ ) pada bagian percabangan yang selanjutnya diparalel sesuai jumlah array yang dirancang hingga mendapatkan nilai impedansi total sebagai nilai  $Z_L$  pada bagian konektor sebagai daerah pencatuan.

### Hasil Dan Pembahasan

Penelitian oleh T. Yasin and R. Baktur, "Circularly polarized meshed patch antenna for small satellite application," IEEE. Pada penelitian ini dianalisis Polarisasi Lingkaran pada MPA (Meshed Patch Antenna). Pada penelitian ini dibandingkan performansi dari Opto Radio Elektrik, yang mana menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang berlawanan antara transparansi optik dengan bandwidth (lebar pita) antena yang dimaksud. Simulasi polarisasi lingkaran dalam hal perbedaan fasenya, hendaknya dilakukan lebih bervariasi lagi dari rentangan perbedaan fase yang lebih kecil, sehingga dihasilkan polarisasi yang lebih spesifik sebagai dasar analisis terhadap pola polarisasi yang dihasilkan dan efeknya terhadap parameter lain yang berpengaruh.

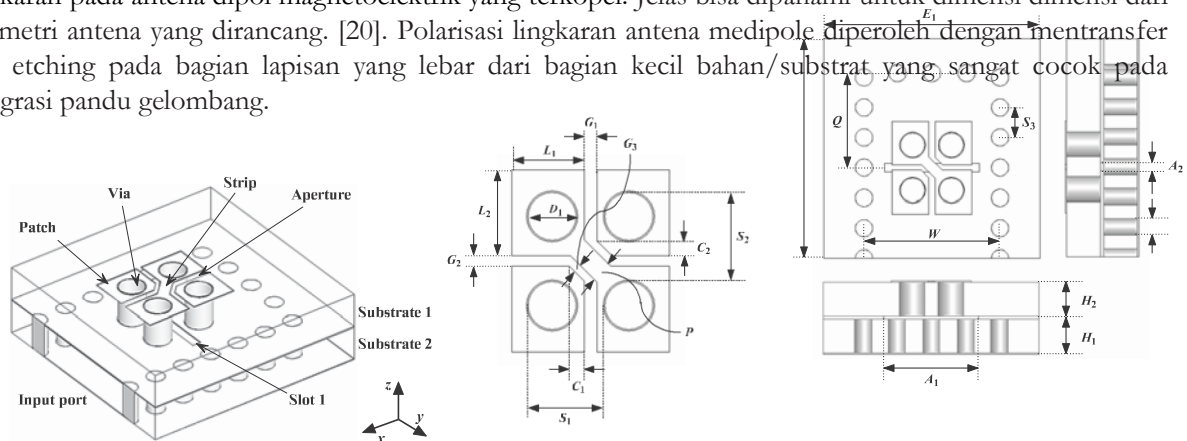


Gambar 1. Desain Dan Grafik MPA

Penelitian oleh T. Yasin and R. Baktur, "Circularly polarized meshed patch antenna using coplanar Y-shaped coupling feed," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, 2014. dan D. G. Fang, "Microstrip patch antennas," in *Antenna Theory and Microstrip Antennas*, 1st ed. New York, NY, USA: Taylor & Francis, 2010. Dihasilkan dua jenis fabrikasi MPA dengan polarisasi lingkaran yaitu satu dengan *copper ground plane (CGP)* dan yang satunya dengan *solar cell ground plane (SGP)*. Hasilnya menunjukkan bahwa 2,79% dan 3,27% axial rasio pada *bandwidth* 3dB di frekuensi 2,43 GHz sama baiknya dengan gain 4,9 dan 4,4 dBiC untuk MPA baik dengan *copper ground plane* maupun dengan *solar cell ground plane*. Hasil ini menunjukkan bahwa

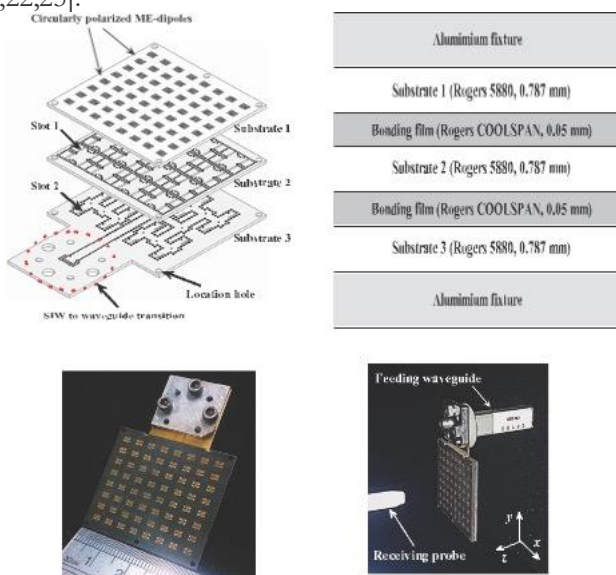
substrat/bahan yang mampat sangat efisien dalam mengurangi terjadinya disipasi pada konduktor. Seperti contohnya pada patch dengan lapisan photovoltaic [17-19].

Penelitian oleh H. C. Sun, Y. X. Guo, and Z. L. Wang, “60-GHz circularly polarized U-slot patch antenna array on LTCC,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 2013. Pada penelitian ini sangat detail disampaikan secara geometri terkait dengan *Fed SIW* (*Substrate Integrated Waveguide*) untuk polarisasi lingkaran pada antenna dipole magnetoelektrik yang terkopel. Jelas bisa dipahami untuk dimensi dimensi dari geometri antenna yang dirancang. [20]. Polarisasi lingkaran antenna medipole diperoleh dengan mentransfer slot etching pada bagian lapisan yang lebar dari bagian kecil bahan/substrat yang sangat cocok pada integrasi pandu gelombang.



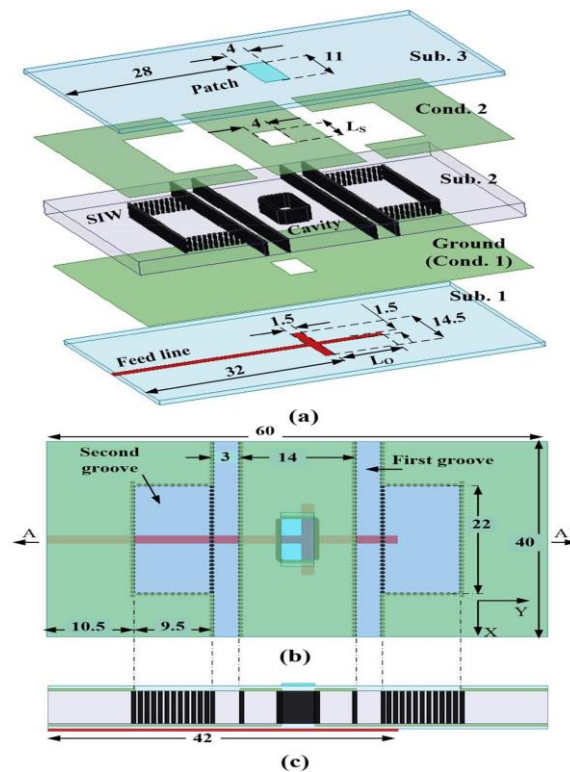
Gambar 2. Desain LTCC antenna patch

Penelitian Y. J. Li and K. M. Luk, “Low-cost high-gain and broadband substrate integrated waveguide fed patch antenna array for 60-GHz band,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 2014. Antena  $8 \times 8$  wideband high-gain CP aperture-coupled ME-dipole antenna array secara terpadu dengan jaringan SIW feed dijelaskan secara detail. Dengan disajikannya secara geometri rancangan antenna, dapat diketahui detail dimensinya dan juga substrat/bahan yang digunakan. Dengan demikian tergugah untuk menganalisis secara numerik dari beberapa kemungkinan array yang dihasilkan. Mengetahui tampilan fisik hasil fabrikasinya. Tidak hanya dalam bentuk sket. Dengan teknik fabrikasi ini dihasilkan gain yang tinggi, efisiensi radiasi yang bagus, dan juga loss yang rendah [21,22,25].



Gambar 3. Desain antenna array co-planar

Penelitian C. Huang, Z. Zhao, and X. Luo, "Application of "bull's eye" corrugated grooves integrated with artificially soft surfaces structure in the patch antenna to improve radiation performance," *Microm. Opt. Technol. Lett.*, Jul. 2009. Dengan refrensi C. A. Balanis, *Antenna Theory—Analysis and Design*, 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2005. Di bagian *Groove* (alur lekukan Antena), lihat gambar. Didesain/dirancang hanya untuk meningkatkan gain antena tanpa memperhatikan efek dari frekuensi resonansi yang dihasilkan. [23]. Sebenarnya secara teori Groove juga berefek terhadap frekuensi resonansi yang dihasilkan yangmana akan berdampak terhadap pola radiasi konstruktif ketika gelombang yang dihasilkan mengalami superposisi medan listrik.



Gambar 4. Struktur antena patch dengan varian groove

Hasil penelitian lainnya oleh Artawan, P [1]. Desain antena mikrostrip double bi-ellipse terdiri dari beberapa parameter sebagai berikut:

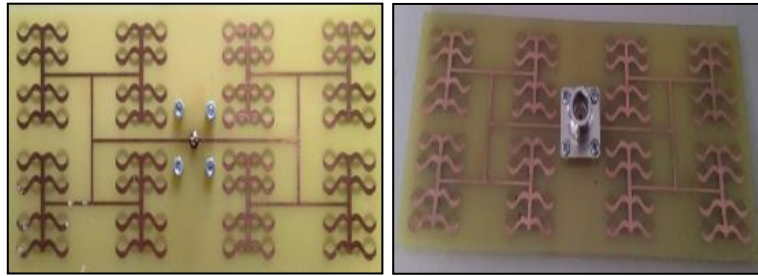
Tabel 1. Parameter dimensi dari desain antena mikrostrip double bi-ellipse.

Parameter	Dimensi	Keterangan
$W_g$	100mm	Width
$T$	0.035mm	Thick
$L_g$	50mm	Length
$H$	1.6 (+18mm)	High
Parameters	Dimension	Description
$l_1$	30mm	Length of feeding stripline
$l_2 = l_3$	15mm	Length of curve stripline
Model 1		
$w_1 = w_2$	1mm	Width of stripline
$w_3$	2mm	Width of curve stripline
$\theta$	30°	The Gradient in the curve line

Model 2

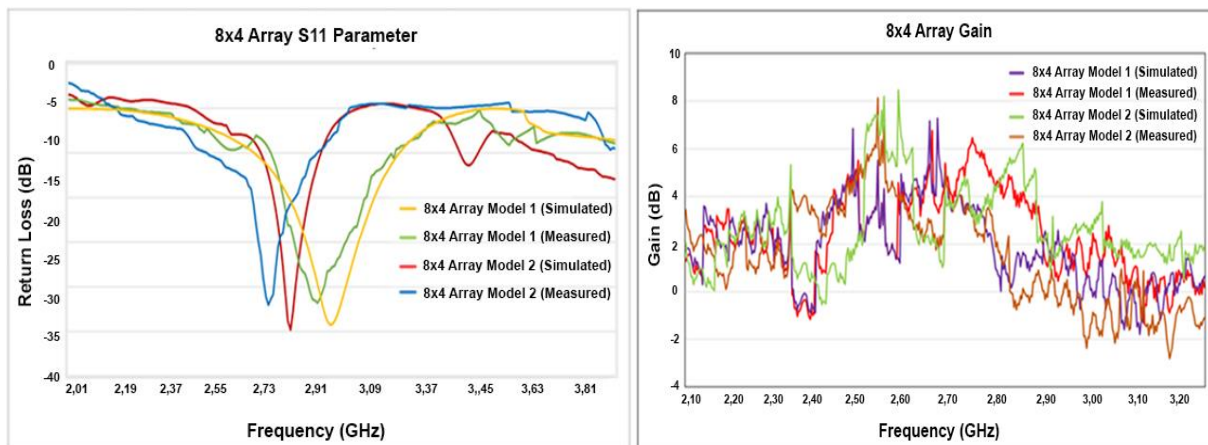
$w_1$	2mm	Width of stripline
$w_2 = w_3$	1mm	Width of curve stripline
$\theta$	30°	The Gradient in the curve line

Variasi lebar feeding pada model 1 dan model 2 dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan nilai gain dari performansi antenna.



Gambar 5. Hasil fabrikasi prototipe nxn antenna array mikrostrip double bi-ellipse.

Hasil analisis berupa perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran yang disajikan dalam bentuk grafik.



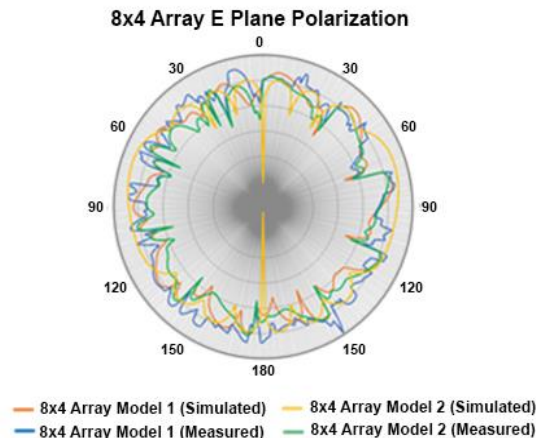
Gambar 6. Grafik  $S_{11}$  parameter dan gain varian array antenna mikrostrip double bi-ellipse

Pada hasil simulasi antenna mikrostrip double bi-ellipse array 8x4 “model 1” ditunjukkan bahwa antenna mampu bekerja pada frekuensi 2.97GHz dengan range bandwidth rata-rata 300.0MHz (2.82GHz-3.12GHz). Hasil simulasi mengindikasikan bahwa antenna mampu bekerja dengan baik pada range frekuensi S-Band yang dapat diaplikasikan pada sistem komunikasi satelit. Pada grafik  $S_{11}$  parameter nampak bahwa antenna memiliki nilai koefisien refleksi 0.03, VSWR 1.07, return loss -29.23dB, dan gain 7.28dB. Pada hasil simulasi antenna mikrostrip double bi-ellipse array 8x4 “model 2”, antenna bekerja pada frekuensi 2.82GHz dengan range bandwidth rata-rata 120.0MHz (2.76GHz-2.88GHz). Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada grafik  $S_{11}$  parameter nilai koefisien refleksi yang dimiliki antenna yaitu 0.03, VSWR 1.07, return loss -29.83dB, dan gain 8.46dB. Pada hasil pengukuran untuk antenna mikrostrip double bi-ellipse array 8x4 “model 2” menunjukkan nilai frekuensi kerja 2.74GHz dengan range bandwidth rata-rata 150.0MHz (2.68GHz-2.83GHz), dengan nilai koefisien refleksi 0.04, VSWR 1.09, return loss -27.06dB dan gain 8.19dB. Tanda negatif (-) pada nilai return loss memiliki makna kehilangan daya.

Pola radiasi dari antenna mikrostrip double bi-ellipse yang dihasilkan bersifat linear omnidirectional. Pola radiasi antenna menggambarkan kekuatan relatif medan yang dipancarkan di berbagai arah dari antenna pada



jarak yang konstan. Secara fisika dapat dijelaskan bahwa pola radiasi merupakan gambaran sifat-sifat radiasi (medan jauh) oleh suatu antenna yang terjadi karena arus listrik dalam suatu kawat selalu dikelilingi oleh medan magnetis. Arus listrik bolak balik menyebabkan muatan-muatan listrik bebas dalam kawat akan mendapatkan percepatan, sehingga timbul suatu medan elektromagnetik bolak balik yang berjalan menjauhi antenna dalam bentuk gelombang elektromagnetik dan terbentuklah medan elektromagnet.



Gambar. 7. Grafik pola radiasi bidang E antenna mikrostrip double bi-ellipse.

Pola radiasi dari antenna mikrostrip double bi-ellipse yang dihasilkan bersifat linear omnidirectional. Ini diartikan bahwa daya yang dipancarkan oleh suatu antenna ke semua arah tegak lurus dengan sumbu dengan daya yang bervariasi.

### Kesimpulan

Telah dilakukan analisis numerik, simulasi, fabrikasi dan karakterisasi antenna mikrostrip yang bisa diaplikasikan pada sistem komunikasi satelit khususnya aplikasi radar. Beberapa hal sebagai bahan penelitian lebih lanjut: 1). Bahan/substrat yang digunakan pada saat proses fabrikasi diupayakan dengan konduktivitas listrik lebih kecil. 2). Hasil parameter karakteristik antenna yang dihasilkan utamanya polarisasinya masih bersifat linear. Untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam aplikasi komunikasi satelit hendaknya polarisasi yang dihasilkan bersifat sirkular. Dengan demikian kepada peneliti lain yang tertarik untuk mengembangkan variasi desain antenna dan untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dari performansi antenna mikrostrip, untuk mengevaluasi dan mencari solusi mengacu dari keterbatasan hasil penelitian ini.

### Ucapan Terima Kasih

Terimakasih penulis sampaikan kepada Kementerian Riset dan Teknologi Republik Indonesia melalui beasiswa LPDP dan program Sandwich (PKPI), ITS Surabaya, Chiba University Japan, dan Universitas Pendidikan Ganesha.

### Daftar Rujukan

- [1] Artawan. (2020), Antena Mikrostrip Array berbasis Double Bi-ellips untuk Komunikasi Satelit. Disertasi, Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- [2] Artawan, Hadi Pramono, Yono. (2010), Perancangan Antena Panel Mikrostrip Horn Array 2x2 Untuk Komunikasi Wi-Fi Pada Frekuensi 2,4 GHz. Prosiding Simposium Fisika Nasional (SFN), ITS, Surabaya.



- [3] Balanis, C.A. (1997), Antena Theory Analysis and Design, Second Edition, John Wiley and Sons, New York.
- [4] Edward, Terry. (1991), Foundation For Microstrip Circuit Design. Knaresborough England.
- [5] Shafai. (2001), Microstrip Antena Design Handbook, Profesor University Of Manitoba, Wimmipeg, Canada.
- [6] Kraus, John, D. (1984), Electromagnetics, Third Edition, McGraw-Hill, New York.
- [7] Ohri, V, Amin, O, Gebremariam, H Dubois, B. (2003), Microwave Mikrostrip Horn Antena Design and Test System, San Jose State University.
- [8] Hund, E. (1989), Microwave Communications, Component and Circuit, McGraw Hill, New York.
- [9] IEEE 802.15.4 Spesification,2003MaD-WiSeManual, July 2006
- [10] Hadi Pramono, Yono. (2009), Prototipe Antenna Bi-Mikrostrip tapered patch Dengan Dua Arah Pola Radiasi Dan Satu Feeding Monopole Beroperasi Pada Freq,2,4 GHz. Prosiding T.Informatika, UPN. Yogyakarta.
- [11] [S. Gao, Q. Luo, F. Zhu, Circularly Polarized Antenna, John Wiley & Sons, Ltd, 2014.
- [12] S. Murugan, V. Rajamani, "Study of broadband circularly polarised microstrip antenna" Science Engineering and Management Research (ICSEMR), 2014 International Conference on. IEEE, 2014.
- [13] Kurniawan Farohaji, Sri Sumantyo, J. T, Gao Steven, Ito Koichi, Edi Santosa C. "Square-shaped feeding truncated circularly polarised slot antenna". IET Microwaves, Antenna & Propagation Journals. ISSN 1751-8725, 2018.
- [14] Edi Santosa C, Sri Sumantyo, J.T, Yam Chua Ming, Urata Katia, Ito Koichi, Gao Steven. "Subarray Design for C-Band Circularly-Polarized Synthetic Aperture Radar Antenna Onboard Airborne," Progress in Electromagnetics Research, Vol. 163, 107-117, 2018.
- [15] Xu Mao-Chun, Gao Steven, Wang Yi, Sri Sumantyo, J.T. "Compact Broadband Dual-Sense Circularly Polarized Microstrip Antenna/Array With Enhanced Isolation". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol 65, No.12, 2017.
- [16] Kumar Dwivedi M, Srivastava Pragati. "Microstrip Patch Array Antenna for X Band Application". Antenna Test and Measurement Society (ATMS India-16), 01-03 Feb, 2016.
- [17] *Zubair Shakor Mahmood, Ali Najdet Nasret, Attallah Younis Awed.* "Design of New Multiband Slot Antennas for Wi-Fi Devices". International Journal on Communication Antenna and Propagation, Vol 9, No 5, 2019.
- [18] *Nadia Chater, Tomader Mazri, Mohammed Benbrahim.* "Study, Simulation and Optimization of an 8×1 Array Antenna for Electronic Scanning Radar Application". International Journal on Communication Antenna and Propagation, Vol 8, No 6, 2018.
- [19] Dasari Nataraj, G. Karunakar. "Compact Printed Elliptical Microstrip Patch with Defected Ground Structure (DGS) for Wireless Applications". International Journal on Communication Antenna and Propagation, Vol 8, No 3, 2018.

- [20] Thep Kueathaweekun. "A Study of Dual/Triple-Band Microstrip-Fed Slot Antenna Design for WLAN/WiMAX Communication Systems". *International Journal on Communication Antenna and Propagation*, Vol 7, No 2, 2017.
- [21] *Abmed Al Amin, Md. Shoriful Islam, M. A. Masud, N. H. Khan, J. W. A. Zavala, M. M. U. Islam* "Design and Performance Analysis of 3.4 GHz Rectangular Microstrip Patch Antenna for Wireless Communication Systems". *International Journal on Communication Antenna and Propagation*, Vol 7, No 1, 2017.
- [22] Ravi Kant Prasad, D. K. Srivastava, J. P. Saini "Design and Analysis of Gain and Bandwidth Enhanced Triangular Microstrip Patch Antenna". *International Journal on Communication Antenna and Propagation*, Vol 8, No 1, 2018.
- [23] Taher Al Sharabati, Bilal S. Taha. "Theoretical Modeling and Performance Assessment of the Effects of the Dissipation Factor (Loss Tangent) on Microstrip Patch Antennas Using Rogers' Kappa-438 Substrate". *International Journal on Communication Antenna and Propagation*, Vol 9, No 6, 2019.
- [24] *Mourad S. Ibrahim*. "2×2 Circularly Polarized MIMO Antenna at Ka-band for Fifth Generation Applications". *International Journal on Communication Antenna and Propagation*, Vol 9, No 2, 2019.