



# Desain Antena Mikrostrip Segitiga Terpancung Tunggal LHCP Patch Stack sebagai Basic Sensor CP-SAR

<sup>1</sup> Muhammad Fauzan Edy Purnomo, <sup>2</sup> Vita Kusumasari, <sup>3</sup> Rini Nur Hasanah, <sup>4</sup> Hadi Suyono

<sup>1,3,4</sup> Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang

<sup>2</sup> Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, Malang

<sup>1</sup>mfauzanep@ub.ac.id, <sup>2</sup>vita.kusumasari.fmipa@um.ac.id, <sup>3</sup>rini.hasanah@ub.ac.id, <sup>4</sup>hadis@ub.ac.id

## INFORMASI

### Kata kunci:

Aircraft  
L-band  
CP-SAR  
MoM  
Patch stack LHCP antenna

Pesawat terbang  
pita L  
CP-SAR  
MoM  
Antena LHCP patch stack

## ABSTRACT

The development of SAR radar technology (Synthetic Aperture Radar) and aircraft as the carrier media is relatively fast and demands the need for communication facilities and infrastructure that have a variety of platforms and high-quality imaging, which can produce processed data with high resolution and good images for all type explored terrain. Based on the demands of the progress of civilization, the antenna placed on the carrier media should have simple, compact, thin, and conformal characteristics. This research will analyze and study the need for a single, low power microstrip antenna in the L-band (1.25 GHz - 1.27 GHz) for CP (Circularly Polarized)-SAR radar applications. The use of Method of Moments (MoM) show that the result of characteristic performance and S-parameter for the single triangular truncated patch stack Left-Handed Circular Polarization (LHCP) antenna,  $f = 1.25$  GHz, are consecutively 7.23 dBic of gain, 0.51 of axial ratio, -16.35 dB of S-parameter. Moreover, the 3-dB axial ratio bandwidth LHCP antenna is around 15 MHz or the percentage around 1.2%

Perkembangan teknologi radar SAR (*Synthetic Aperture Radar*) dan pesawat terbang sebagai media pembawanya relatif cepat dan menuntut kebutuhan sarana dan prasarana komunikasi yang memiliki ragam platform dan pencitraan yang berkualitas tinggi, yang mampu menghasilkan data olahan dengan resolusi tinggi dan gambar yang baik untuk segala jenis medan yang dijelajahi. Berdasarkan tuntutan kemajuan peradaban zaman, maka antena yang diletakan pada media pembawa tersebut, seyogyanya memiliki karakteristik sederhana, *compact*, tipis, dan *conformal*. Dalam makalah ini akan dianalisis dan dikaji kebutuhan antena mikrostrip tunggal berdaya rendah pada pita L (1,25 GHz - 1,27 GHz) untuk aplikasi radar CP (*Circularly Polarized*)-SAR. Penggunaan *Method of Moments* (MoM) menunjukkan bahwa hasil performansi karakteristik dan S-parameter untuk antena segitiga terpancung tunggal *Left-Handed Circular Polarization* (LHCP) *patch stack*,  $f = 1.25$  GHz, berturut-turut yaitu *gain* sebesar 7.23 dBic, *axial ratio* sebesar 0.51, dan S-parameter sebesar -16.35 dB. Selain itu, *bandwidth axial ratio* 3-dB antena LHCP sekitar 15 MHz atau persentasinya sebesar 1,2%.

\* Corresponding author.

E-mail address: mfauzanep@ub.ac.id

## I. PENDAHULUAN

Terdapat dua jenis radar gambar/*image* yaitu pemindaian melingkar gambar/*Plan-Position Indicator* (PPI) dan gambar tampak samping/*image side looking*. Aplikasi PPI dibatasi untuk memantau lalu lintas udara dan laut. Aplikasi penginderaan jarak jauh yang menggunakan gambar tampak samping dibagi menjadi dua jenis, yaitu (i) *Real Aperture Radar* (RAR, biasanya disebut SLAR untuk *Side-Looking Airborne Radar* atau SLR untuk *Side-Looking Radar*), (ii) *Synthetic Aperture Radar* (SAR).

Salah satu sensor aktif untuk aplikasi penginderaan jarak jauh pada gelombang mikro adalah SAR. Suatu objek atau fenomena dapat diamati tanpa menyentuhnya dengan aplikasi ini. Selain itu, sensor aktif membantu manusia yang terkait dengan wilayah pengamatan, seperti pengawasan, mitigasi bencana, pemetaan darat, udara, dan laut. Sistem SAR dapat beroperasi pada beberapa jalur dengan polarisasi yang berbeda. Frekuensi pita yang paling umum adalah pita *C* yang memiliki panjang gelombang sekitar 5 cm. Panjang gelombang ini digunakan pada sistem Radarsat dan Envisat. Pita *S* ( $\lambda \approx 10$  cm) dan pita *L* ( $\lambda \approx 20$  cm) juga umum digunakan (Purnomo and Sumantyo, 2011). Karena panjang gelombang yang lebih panjang maka pita *L* dapat menembus permukaan dengan lebih baik. Hal ini berguna untuk aplikasi laut es, kelembaban tanah, dan vegetasi dimana diperlukan penetrasi permukaan.

Karena penggunaan sensor *Circularly Polarized-Synthetic Aperture Radar* (CP-SAR), karakteristik penuh dari sinyal pancaran balik SAR dapat melewati objek acak. Jika kita membandingkan CP-SAR dengan sensor SAR berpolarisasi linier, maka sejumlah besar informasi tentang target gambar akan muncul (Yohandri et al., 2011; Baharuddin et al., 2009). Setiap antenna dapat menghasilkan gelombang dengan *Circular Polarization* (CP). Teknik untuk mencapai CP dapat dengan mudah diperoleh yaitu dengan mengatur parameter elemen secara tepat, menentukan letak *feed*, dan membuat *feed*. Dalam simulasi antenna mikrostrip segitiga, performa variasi yang signifikan juga dipengaruhi oleh pembentukan *feed* dan posisinya terhadap *patch* radiasi (Sumantyo et al., 2005; Purnomo et al., 2015; Purnomo and Kitagawa, 2018a).

Makalah ini memaparkan pengembangan antenna mikrostrip segitiga untuk CP-SAR. Kajian pada makalah ini meliputi pengembangan konstruksi dasar tunggal antenna mikrostrip segitiga terpancung berdasarkan analisis antenna mikrostrip segitiga sebelumnya (Purnomo and Kitagawa, 2018b). Konstruksi ini menggunakan substrat bertumpuk ganda dengan konstanta dielektrik rendah, bentuk radiasi yang dimodifikasi menggunakan *feed microstrip-line* untuk frekuensi multi-resonansi, dan *patch* parasitik berslot lingkaran untuk sensor CP-SAR yang disematkan pada pesawat terbang dengan konfigurasi yang ringkas, kecil, dan sederhana dan menjadi dasar untuk membentuk antenna susun datar.

## II. METODE PENELITIAN

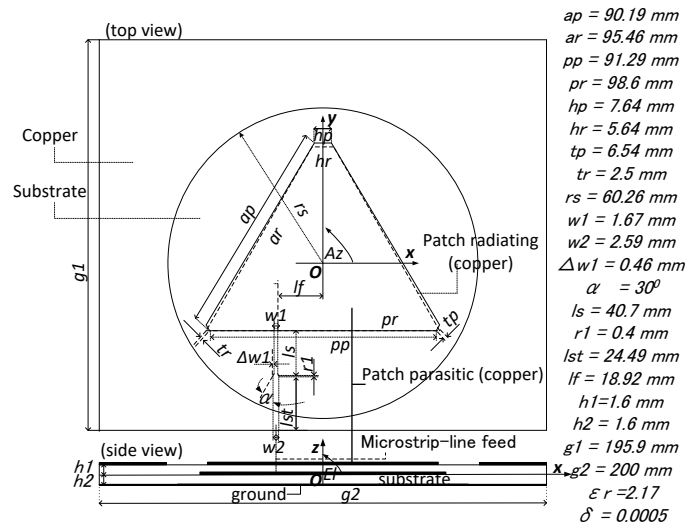
Dalam penelitian ini dilakukan dan dibahas hasil simulasi numerik yang berkaitan dengan antenna mikrostrip. Secara khusus, analisis berfokus pada studi antenna mikrostrip tunggal segitiga terpancung untuk LHCP *patch stack*. Metode Momen/*Method of Moment* (MoM) dipilih dalam analisis numerik untuk penghitungan cepat. Metode ini mendiskritisasi integral menjadi persamaan matriks. Diskritisasi ini dapat dianggap sebagai pembagian permukaan antenna menjadi jaring kecil. Untuk merealisasikan metode ini, kami menggunakan Computer Simulation Technology (CST) versi 2016 dari perusahaan CST STUDIO SUITE (CST STUDIO SUITE, 2016). Simulasi numerik antenna tunggal segitiga terpancung yang ditunjukkan pada Bagian III, khususnya pada frekuensi resonansi,  $f = 1,25$  GHz yang dimodifikasi sebagai konfigurasi dasar yang ditanamkan pada pesawat terbang untuk aplikasi CP-SAR baik untuk *Transmitter* (*Tx*) dan *Receiver* (*Rx*). Tabel 1 menunjukkan spesifikasi dan target yang diinginkan untuk sistem CP-SAR (Yohandri et al., 2011; Purnomo and Kitagawa, 2018a), yang mempengaruhi spesifikasi antenna pesawat terbang CP-SAR pita *L*. Setiap antenna dapat menghasilkan gelombang dengan CP. Teknik untuk mencapai CP dapat dengan mudah diperoleh yaitu dengan menyesuaikan parameter antenna dan *feed* yang tepat, menentukan letak *feed*, dan membuat *feed*-nya (Baharuddin et al., 2009; Tang, et al., 1998).

Tabel 1. Spesifikasi Teknis CP-SAR Pesawat Terbang

No	Parameter	Nilai
1	Frekuensi Resonansi (GHz)	Pita <i>L</i> : 1,25-1,27 GHz; Pita <i>S</i> : 2,5–2,9 GHz; Pita <i>C</i> : 5,0-5,5 GHz
2	Lebar pita pulsa ( <i>Ar</i> ) (MHz)	10 – 233,31
3	<i>Axial Ratio</i> (dB)	$\leq 3$
4	Efisiensi Antena (%)	$> 80$
5	<i>Gain</i> Antena (dBic)	10 – 36,6
6	Lebar <i>Beam</i> Azimut ( $^{\circ}$ )	$\geq 1,08$
7	Lebar <i>Beam</i> Elevasi ( $^{\circ}$ )	$\geq 2,16$
8	Ukuran Antena (m)	$2 \times 4$
9	Polarisasi ( <i>Tx/Rx</i> )	RHCP + LHCP

Gambar 1 menunjukkan konstruksi antenna mikrostrip segitiga terpancung tunggal LHCP *patch stack* yang terdiri dari satu *patch* pemancar yang dicatu oleh *microstrip-line*. Tujuan dari desain *feed microstrip-line* adalah untuk mendapatkan distribusi arus keluaran yang meruncing dan sefase (Gupta et al., 1996). Ukuran parameter *patch* pemancar meliputi  $ar = 95,46$  mm,  $pr = 98,6$  mm,  $hr = 5,64$  dan  $tr = 2,5$  mm. Selain itu, *feed microstrip-line* memiliki panjang dari *input port* ke *patch* pemancar atau *output port* sekitar  $0,27\lambda$  atau 65,59 mm. Pada lapisan atas substrat peradiasi, terdapat *patch* parasitik segitiga terpancung yang ditempatkan di tengah *patch* peradiasi pemancar untuk meningkatkan lebar pita *axial ratio* dan penguatan/*gain*, dengan panjang sisi segitiga yaitu  $ap = 90,19$  mm,  $pp = 91,29$  mm,  $hp = 7,64$  mm, dan  $tp = 6,54$  mm. Untuk mengurangi medan elektromagnetik yang tidak diinginkan yang dipancarkan oleh *feed microstrip-line*, lapisan atas dari substrat parasitik ditutupi oleh tembaga dan slot lingkaran. Dimensi slot lingkaran dengan jari-jari,  $rs = 60,26$  mm dimana slot ini tidak berpengaruh secara signifikan terhadap performansi *axial ratio*, tetapi mampu merubah karakteristik *S-parameter* atau *return loss* antenna. Lebar pita impedansi dan *axial ratio* juga tidak terpengaruh dengan berubahnya diameter slot lingkaran ini. Juga, slot lingkaran tidak mempengaruhi secara signifikan baik terhadap respon frekuensi resonansi atau arah distribusi arus permukaan dari *patch* parasitik (Cahaya

et al., 2018). Sedangkan *ground plane* adalah lembaran tembaga yang ditempatkan di lapisan bawah antenna (substrat peradiasi bagian bawah) dengan ukuran  $g1 = 195,9$  mm dan  $g2 = 200$  mm.



Gambar 1. Antena Tunggal Segitiga Terpancung LHCP Patch Stack

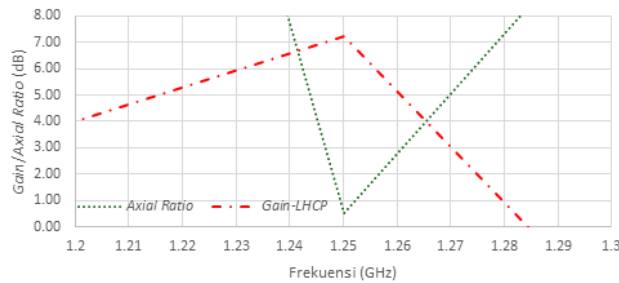
Untuk merancang antenna tunggal segitiga terpancung LHCP ini, kami memilih konstanta dielektrik yang sesuai dengan ketebalan dan *loss tangent*. Nilai konstanta dielektrik yang rendah meningkatkan medan *fringing* di pinggiran *patch*. Selain itu, substrat yang lebih tebal dapat meningkatkan daya radiasi, mengurangi *loss conductor*, dan meningkatkan lebar pita impedansi. *Loss tangent* yang tinggi dapat meningkatkan kerugian dielektrik dan kemudian mengurangi efisiensi antenna (Purnomo et al., 2017; Salihah et al., 2018). Dalam makalah ini, Nippon Pillar Packing (NPC) H220A dipilih sebagai substrat antenna dengan konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ), dan *loss tangent* ( $\delta$ ) masing-masing adalah 2,17 dan 0,0005. Selain itu, ketebalan substrat total antenna LHCP adalah 3,2 mm.

Untuk menyelidiki daya rendah dari antenna mikrostrip tunggal segitiga terpancung LHCP *patch stack*, antenna dibangun pada cetakan planar tunggal yang substansial menggunakan *feed microstrip-line* atau catu langsung ke *patch* pemancar dan berdampak pada *patch* parasitik guna menghasilkan CP dengan lebar pita yang lebih luas dibandingkan antenna lain yang dioperasikan pada Polarisasi Linier/*Linear Polarization* (LP) (Chan and Koo, 2011; Koo et al., 2012; Albert et al., 2013) dan CP (Purnomo et al., 2018; Purnomo et al., 2020). Hal ini dikarenakan pola konstruksi dasar yang tepat dapat menentukan keunggulan desain antenna susun ke depannya dengan menggunakan *patches stack* dan *corporate feed microstrip-line* (Purnomo and Kitagawa, 2018c; Sumantyo, et al., 2009).

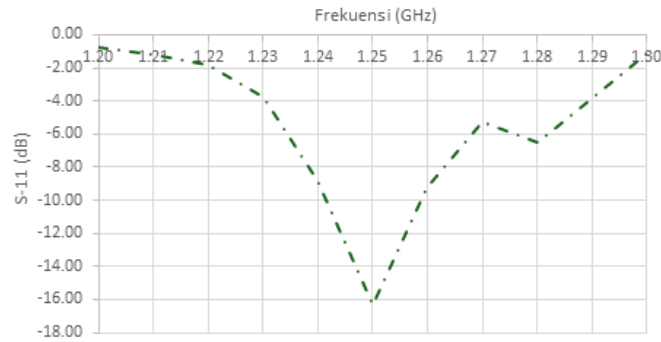
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 sampai Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi antenna segitiga terpancung LHCP *patch stack* dalam hal *S*-parameter, impedansi masukan, dan karakteristik frekuensi. Lebar pita antenna relatif kecil disebabkan oleh karakteristik antenna mikrostrip yang menggunakan *feed* tunggal dan memiliki keterbatasan lebar pita *gain*, impedansi, dan *axial ratio* (Purnomo et al., 2014; Sumantyo and Ito, 2004).

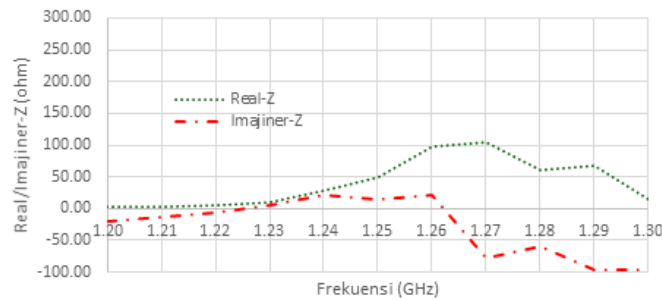
Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai *gain* dan *axial ratio* (*Ar*) untuk simulasi antenna mikrostrip segitiga terpancung tunggal LHCP *patch stack* pada arah sudut  $\theta = 0^\circ$  dengan frekuensi resonansi,  $f = 1,25$  GHz, sekitar 7,23 dBic dan 0,51 dB. Selain itu, lebar pita 3 dB-*Ar* diperkirakan sama dengan 15 MHz (1,2%). Gambar 3 menunjukkan hubungan antara koefisien refleksi ( $S_{11}$ ) dan frekuensi untuk simulasi *Tx/Rx* antenna mikrostrip segitiga terpancung tunggal LHCP *patch stack*. Nilai  $S_{11}$  pada frekuensi resonansi adalah -16,35 dB. Sedangkan lebar pita  $S_{11}$  berkisar 16 MHz (1,28%). Gambar 4 menggambarkan karakteristik impedansi masukan dari antenna mikrostrip segitiga terpancung tunggal LHCP *patch stack* untuk bagian nyata/real dan bagian reaktansi/imajiner pada frekuensi resonansi yang berturut-turut adalah 49,83  $\Omega$  dan 15,41  $\Omega$ . Hasil real impedansi relatif mendekati 50  $\Omega$  sedangkan imajiner impedansi cukup mendekati 0  $\Omega$  dan imajinernya bersifat induktif.



Gambar 2. Karakteristik Frekuensi Antena Tunggal Patch Stack



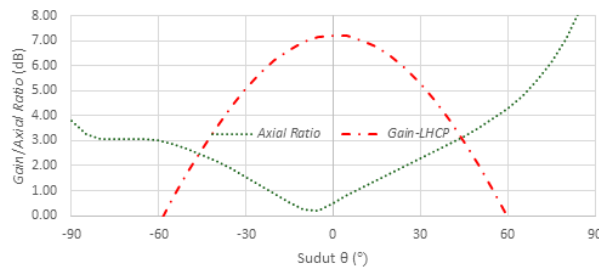
Gambar 3. S-parameter Antena Tunggal Patch Stack



Gambar 4. Impedansi Masukan Antena Tunggal Patch Stack

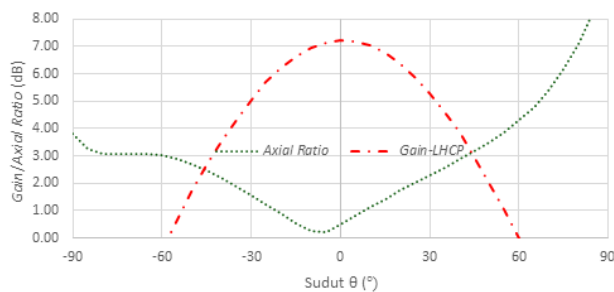
Gambar 5 (a) dan (b), menggambarkan hubungan antara *gain* dan elevasi atau sudut yang dihasilkan dari antena tunggal segitiga terpancung LHCP *patch stack* (negatif- $\theta$  untuk arah azimut atau  $\phi = 180^\circ$  dan  $270^\circ$  dan positif- $\theta$  untuk arah azimut atau  $\phi = 0^\circ$  dan  $90^\circ$ ) sebagai arah azimut CP-SAR pada  $f = 1,25$  GHz. Pada ketinggian sudut  $\theta = 0^\circ$ , *gain* maksimum dan nilai *axial ratio* minimum antena segitiga terpancung tunggal LHCP *patch stack* adalah masing-masing sekitar 7,23 dBic dan 0,22 dB. Selain itu, lebar *beam* 3 dB-Ar untuk simulasi pada azimut atau  $\phi = 0^\circ$  dan  $\phi = 90^\circ$  untuk antena ini memiliki nilai masing-masing sekitar  $125^\circ$  (dari  $-80^\circ$  hingga  $45^\circ$ ) dan  $120^\circ$  (dari  $-80^\circ$  hingga  $40^\circ$ ). Hasil ini memenuhi jangkauan yang ditargetkan/lebar *beam* ketinggian  $\geq 2,16^\circ$  pada Tabel 1 untuk resolusi yang lebih baik dari antena CP-SAR pada pesawat terbang.

Bidang potong elevasi,  $f = 1.25$  GHz,  $\phi = 0^\circ$



(a)

Bidang potong elevasi,  $f = 1.25$  GHz,  $\phi = 90^\circ$

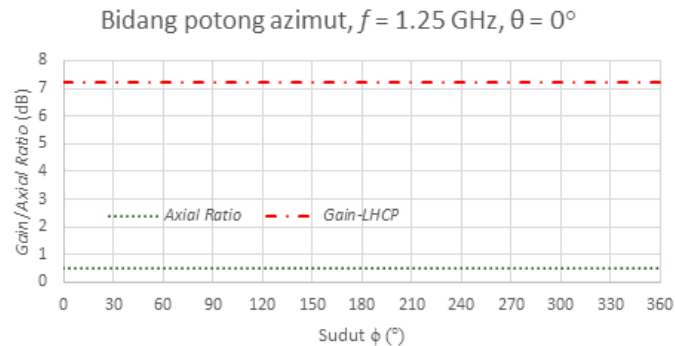


(b)

Gambar 5. Bidang Potong Elevasi Antena Tunggal Patch Stack

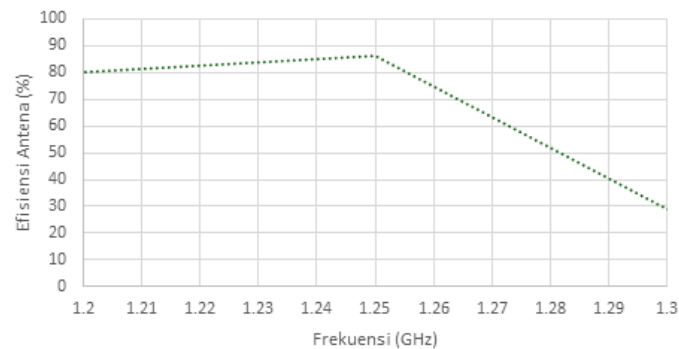
Gambar 6 menjelaskan karakteristik bidang azimut yang dihasilkan oleh antena mikrostrip segitiga terpancung tunggal LHCP *patch stack*

yang dicatu langsung ke *patch* peradiasi pada elevasi,  $El = 90^\circ$  atau  $\theta = 0^\circ$  pada frekuensi resonansi,  $f = 1,25$  GHz. Dari gambar ini, dapat dilihat bahwa nilai lebar *beam* 3 dB-Ar mencakup keseluruhan  $360^\circ$  secara sempurna. Hasil ini menunjukkan bahwa target lebar *beam* azimut  $\geq 1.08^\circ$  terpenuhi resolusinya untuk CP-SAR menggunakan media pesawat terbang.



Gambar 6. Bidang Potong Azimut Antena Tunggal Patch Stack

Gambar 7 menunjukkan efisiensi antenna dengan maksud efisiensi radiasi antenna sekitar 86,4% untuk antenna mikrostrip segitiga terpancung tunggal LHCP *patch stack*. Hasil ini menunjukkan bahwa efisiensi antenna yang ditargetkan sebesar 80% terpenuhi untuk CP-SAR menggunakan pesawat terbang.



Gambar 7. Efisiensi Radiasi Antena Tunggal Patch Stack

#### IV. KESIMPULAN

Hasil kinerja antenna mikrostrip segitiga terpancung tunggal LHCP *patch stack* ( $f = 1,25$  GHz) dengan daya rendah ( $\approx 30$  dBm) untuk CP-SAR pada pesawat terbang adalah sebagai berikut:

- (i) Performa karakteristik frekuensi dan  $S$ -parameter menunjukkan berturut-turut yaitu *gain* sebesar 7,23 dBic, *axial ratio* sebesar 0,51, dan  $S$ -parameter sebesar  $-16,35$  dB.
- (ii) Lebar pita *axial ratio* di bawah 3-dB, yaitu sekitar 15 MHz (1,2%).
- (iii) Lebar *beam* elevasi *axial ratio* di bawah 3-dB pada azimut  $0^\circ$  dan  $90^\circ$ , masing-masing sekitar  $125^\circ$  dan  $120^\circ$ .
- (iv) Nilai lebar *beam* azimut *axial ratio* di bawah 3-dB antenna ini mencakup sudut sempurna, yaitu  $360^\circ$ .
- (v) Efisiensi antenna yang merupakan efisiensi radiasi sekitar 86,4%.
- (vi) Hasil untuk antenna tunggal ini memenuhi penerapan CP-SAR pada pesawat terbang.

#### V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *Microelectronic Research Laboratory (MeRL)*, Universitas Kanazawa, Jepang atas data pemodelan yang digunakan dalam makalah ini. Terima kasih yang sebesar-besarnya juga kepada Kelompok Kajian Rekayasa Sistem Daya dan Manajemen Energi (PSeemRG), Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya atas dukungannya dalam publikasi makalah ini.

---

**DAFTAR PUSTAKA**

---

- A. Albert, et al., “ARBRES: light-weight CW/FM SAR sensors for small UAVs,” *Sensors Journal MDPI*, vol. 13, 2013, pp. 3204-3216.
- Cahya E. S. et al, “Development of a low profile wide-bandwidth circularly polarized microstrip antenna for C-band airborne CP-SAR sensor,” *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 81, 2018, pp. 77-88.
- C. L. Tang, et al., “Circularly polarized equilateral-triangular microstrip antenna with truncated tip,” *Electron. Letter*, vol. 34, June, 1998, pp. 1227-1228.
- CST STUDIO SUITE 2016, “Microwave - radio frequency - optical,” *Copyright © 1998 – 2016 CST AG*, Release version 2016, November 11th, 2016.
- Gupta K. C., et al, “Microstrip lines and slotlines,” *Artech House, Inc. Second Edition*, ISBN: 0-89006-766-X, 1996.
- J. T. S. Sumantyo, et al., “Dual-band circularly polarized equilateral triangular-patch array antenna for mobile satellite communications,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 53, no.11, November 2005.
- J. T. Sri Sumantyo, et al., “Development of circularly-polarized synthetic aperture radar on-board microsatellite,” *PIERS Proceedings*, 2009, pp. 382-385.
- J. T. S. Sumantyo and K. Ito, “Simple satellite-tracking triangular-patch array antenna for ETS-III applications,” *IEICE Tech.Rep.*, AP2003–236, 2004.
- M. Baharuddin, et al., “Equilateral microstrip antenna for circularly-polarized synthetic aperture radar,” *Progress In Electromagnetics Research C.*, vol. 8, 2009, pp. 107-120.
- M. F. E. Purnomo and J. T. S. Sumantyo, “Design circularly polarized of equilateral triangular hole antenna for synthetic aperture radar”, *IEICE Technical Report*, ISSN: 0913-5685, vol. 111, no. 239, October 17-19, 2011.
- M. F. E. Purnomo, et al., “Circularly polarized array pentagonal microstrip antenna for mobile satellite applications,” *IEEE Xplore Conference Publications QiR (Quality in Research)* 25-28 June 2013, February 7, 2014.
- M. F. E. Purnomo, et al., “Study of the effect of air-gap on array microstrip antenna performances for mobile satellite communications,” *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, ISSN: 1819-6608, vol. 10, no.20, November 2015.
- M. F. E. Purnomo, et al, “The analysis of stub on coplanar-fed of single and array microstrip antenna for mobile satellite communication,” *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, ISSN: 2088-5334, vol.7, no. 5, 2017, pp. 1927-1933. DOI: 10.18517/ijaseit.7.5.3676.
- M. F. E. Purnomo, et al., “The four patches of triangular microstrip antennas as configuration of CP-SAR,” *Proceedings of 2019 2nd International Conference on Electronics and Electrical Engineering Technology (EET 2019)*, Penang Malaysia, ISBN: 978-1-4503-7214-5, 25-27 Sept., 2019, pp. 55-61.
- M. F. E. Purnomo, et al., “Development of triangular array eight patches antennas for circularly-polarized synthetic aperture radar sensor,” *TELKOMNIKA Telecommunication, Computing, Electronics and Control*, ISSN: 1693-6930, vol. 18, no. 2, April 2020, pp. 631-639. DOI: 10.12928/TELKOMNIKA.v18i2.14759.
- M. F. E. Purnomo and A. Kitagawa, “Analysis performance of triangle microstrip antenna for basic construction of circularly polarized-synthetic aperture radar application,” *Jurnal TEKNOLOGI*, e-ISSN: 2180-3722, vol. 80, no. 2, March 2018. DOI: <https://doi.org/10.11113/jt.v80.11119>.
- M. F. E. Purnomo and A. Kitagawa, “Triangular microstrip antenna for circularly-polarized synthetic aperture radar sensor application,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 12, no. 1, October 2018, pp. 310-318. DOI: 10.11591/ijeecs.v12.i1.pp310-318.
- M. F. E. Purnomo and A. Kitagawa, “Development of equilateral triangular array antenna with truncated-tip for circularly-polarized synthetic aperture radar sensor application,” *Proceedings of 12th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, 2018.
- Salihah S., et al, “A MIMO H-shape dielectric resonator antenna for 4G applications,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, ISSN: 2502-4752, vol. 10, no. 2, May 2018, pp. 648-653. DOI: 10.11591/ijeecs.v10.i2.pp648-653.
- Y. K. Chan and V. C. Koo, “The design and development of unmanned aerial vehicle synthetic aperture radar,” *Progress In Electromagnetics Research Online*, vol. 7, no. 7, 2011, pp. 685-688.
- V. C. Koo, et al., “A new unmanned aerial vehicle synthetic aperture radar for environmental monitoring,” *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 122, 2012, pp. 245-268.
- Yohandri, et al., “Development of circularly polarized array antenna for synthetic aperture radar sensor installed on UAV,” *Progress In Electromagnetics Research C.*, vol. 19, 2011, pp. 119-133.