



PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI ANTENA LPDA (*LOG PERIODIC DIPOLE ARRAY*) PADA FREKUENSI 180-450 MHZ UNTUK *CALLISTO*

Mia Kusmiati¹, Ahmad Hasyim², Irman Nurichsan³

^{1,2,3}Fakultas Teknik Universitas Garut, Garut, Jawa Barat, Indonesia

Korespondensi: miakusmiati252@gmail.com

ARTICLE HISTORY

Received:06-06-2023

Revised:25-06-2024

Accepointed:28-06-2024

Abstrak

Compound Astronomical Low Frequency Low Cost Instrument for Spectroscopy and Transportable Observatory (CALLISTO) merupakan spektrometer pintar berbasis frekuensi tinggi yang dikhususkan untuk astronomi radio matahari dan pengukuran *Radio Frequency Interference* (RFI). Pada penelitian ini dilakukan perancangan antenna LPDA 9 elemen dengan *range* frekuensi 180-450 MHz untuk *CALLISTO*. Antena LPDA dipilih karena bisa beroperasi pada pita frekuensi yang lebar sehingga cocok untuk pemantauan aktivitas semburan radio matahari. Perancangan dilakukan dengan menghitung dimensi antenna dan disimulasikan menggunakan *software* CST *Studio Suite* 2019. Modifikasi dimensi antenna digunakan untuk mendapatkan hasil yang optimum untuk dilanjutkan ke tahap realisasi. Setelah direalisasikan dilakukan pengukuran dan pengujian dilapangan. Hasil simulasi didapatkan nilai *gain* sebesar 8,454 dBi, VSWR sebesar 1,3159, serta *return loss* -17,305 dB. Sedangkan hasil pengukuran didapatkan nilai *gain* 8,134 dBi, VSWR sebesar 1,6667 dan *return loss* -12,011 dB. Pola radiasi hasil perancangan secara simulasi dan pengukuran menunjukkan pola radiasi *unidirectional*.

Kata kunci: Antena, *CALLISTO*, LPDA, Radio matahari.

DESIGN AND REALIZATION OF LPDA ANTENNA (LOG PERIODIC DIPOLE ARRAY) AT 180-450 MHZ FREQUENCY FOR CALLISTO

Abstract

Compound Astronomical Low frequency Low cost Instrument for Spectroscopy and Transportable Observatory (CALLISTO) is a high frequency smart spectrometer specifically for solar radio astronomy and *Radio Frequency Interference* (RFI) measurements. In this research, a 9-element LPDA antenna was designed with a frequency range of 180-450 MHz for *CALLISTO*. The LPDA antenna was chosen because it can operate in a wide frequency band making it suitable for monitoring the activity of solar radio bursts. The design is carried out by calculating the dimensions of the antenna and simulated using the CST *Studio Suite* 2019 software. Modification of the antenna dimensions is used to obtain optimum results to proceed to the realization stage. After this was realized, measurements and field tests were carried out. The simulation results

obtained a gain value of 8.454 dBi, a VSWR of 1.3159, and a return loss of -17.305 dB. While the measurement results obtained a gain value of 8.134 dBi, a VSWR of 1.6667, and a return loss of -12.011 dB. The radiation pattern from the simulation and measurement results shows a unidirectional radiation pattern.

Keywords: Antenna, CALLISTO, LPDA, Solar radio.

1. Pendahuluan

Compound Astronomical Low frequency Low cost Instrument for Spectroscopy and Transportable Observatory (CALLISTO) merupakan spektrometer pintar berbasis frekuensi tinggi yang dikhususkan untuk astronomi radio matahari dan pengukuran *Radio Frequency Interference* (RFI) [1]. CALLISTO dipasang di Observatorium Sumedang, Pusat Ilmu Antariksa Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional Indonesia (LAPAN) atau yang sekarang menjadi BRIN Kawasan Sumedang. CALLISTO telah dipasang di 66 lokasi dan penggunaannya lebih dari 120 negara, dan terhubung dalam jaringan *e-CALLISTO* global [1]. CALLISTO bekerja pada frekuensi 45–870 MHz [1]. Akan tetapi dalam pengoperasiannya secara teknis, terutama dalam pemilihan rentang frekuensi penerimaan berdasarkan pada pengukuran *Radio Frequency Interference* (RFI) di sekitar lokasi untuk pengamatan radio matahari yang optimal, maka spektrometer CALLISTO kemudian dioperasikan pada 2 rentang frekuensi terpisah dari 45-80 MHz dan 180-450 MHz [2]. Salah satu peralatan yang digunakan untuk pengamatan radio matahari yaitu antena LPDA (*Log Periodic Dipole Array*). Pada penelitian yang akan dirancang menggunakan antena LPDA untuk CALLISTO pada frekuensi 180–450 MHz. Sedangkan beberapa peneliti sebelumnya mengenai rancangan antena yang dibuat menggunakan LPDA cetak dan digunakan untuk frekuensi S-Band dan antena LPDA dengan frekuensi 45-870 MHz [3][4].

Tujuan dari pembuatan antena ini adalah untuk memantau radio matahari dan pengukuran RFI menggunakan spektrometer CALLISTO. Adapun antena yang akan dibuat adalah antena LPDA dengan frekuensi 180-450 MHz. Antena LPDA dipilih karena bisa beroperasi pada pita frekuensi yang lebar sehingga cocok untuk pemantauan aktivitas semburan radio matahari. Dengan desain sederhana dan bisa beroperasi pada pita frekuensi yang lebar merupakan salah satu keunggulan dibandingkan dengan jenis antena lainnya. Antena LPDA yang dirancang memiliki 9 elemen menggunakan bahan aluminium. *Gain* antena yang ditentukan sebesar 7 dBi, dengan nilai $\tau = 0,826$ dan $\sigma = 0,15$. Untuk proses simulasi rancangan antena digunakan perangkat lunak CST *Studio Suite* 2019..

2. Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan hasil simulasi dengan hasil pengukuran.

2.1. Analisa Perancangan

Antena yang dirancang dan direalisasikan adalah antena LPDA untuk memenuhi kriteria dalam memaksimalkan rentang frekuensi 180-450 MHz supaya frekuensi operasi sesuai dengan frekuensi yang ditetapkan oleh BRIN Kawasan Sumedang. Jenis bahan yang

digunakan untuk antenna LPDA adalah aluminium. Adapun untuk merancang antenna ini, harus melakukan perhitungan terlebih dahulu untuk menentukan dimensi antenna yang akan dirancang. Selanjutnya disimulasikan dengan menggunakan *software Computer Simulation Technology (CST) Studio Suite*. Adapun parameter yang diamati adalah VSWR, *return loss*, *gain*, impedansi, pola radiasi dan *bandwidth*. Apabila antenna yang sudah disimulasikan sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dan sudah melalui proses optimasi maka dilanjutkan ke tahap realisasi antenna / fabrikasi antenna. Ini adalah proses untuk mengubah hasil simulasi dan mengoptimalkan desain antenna dalam perangkat lunak kembali ke bentuk antenna aslinya. Tahap berikutnya adalah melakukan pengukuran antenna untuk dibandingkan dengan hasil simulasi. Jika hasil pengukuran dan simulasi berbeda maka akan dilakukan analisis terhadap hasil pengukuran dan hasil simulasi. Setelah dilakukan pengukuran antenna maka tahap selanjutnya adalah dengan melakukan pengujian antenna di lapangan. Berikut parameter-parameter penting antenna LPDA :

1. *Bandwidth* dari antenna:

$$BW = f_u - f_l \quad (1)$$

bandwidth yang diinginkan merupakan perbandingan frekuensi *upper* dengan frekuensi *lower* [5].

$$B = \frac{f_u}{f_l} \quad (2)$$

Bandwidth pada daerah aktif pada antenna dinyatakan dalam persamaan [5], [6] :

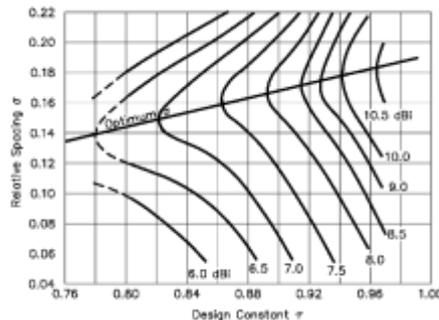
$$B_{ar} = 1.1 + 7.7 (1 - \tau)^2 \cot \alpha \quad (3)$$

Menghitung *bandwidth* desain (B_s) dengan persamaan [5]:

$$B_s = BB_{ar} = B [1.1 + 7.7 (1 - \tau)^2 \cot \alpha] \quad (4)$$

2. Panjang gelombang antenna (λ) [7] :

$$\lambda = \frac{c}{f_l} \quad (5)$$



Gambar 1. Kontur direktivitas perbandingan τ dan σ

3. Menentukan nilai *scale factor* (τ) dan *relative spacing* (σ), dengan menentukan *gain*, dapat di peroleh nilai *scale factor* (τ) dan *relative spacing* (σ) seperti pada gambar 1 [5].

4. Sudut alpha (α), menghitung sudut alpha (α) dengan persamaan [5]:

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{1-\tau}{4\sigma} \right] \quad (6)$$

5. Jumlah elemen, menghitung jumlah elemen antenna dengan persamaan [5]:

$$N = 1 + \left(\frac{\ln(B_s)}{\ln(1/\tau)} \right) \quad (7)$$

6. Panjang elemen antenna

$$l_1 = \frac{\lambda}{2} \quad (8)$$

7. Jarak antar elemen antenna [5]:

$$R_{1,2} = \frac{(l_1 - l_2)}{2} \cdot \frac{4\sigma}{1-\tau} \quad (9)$$

8. Menghitung impedansi karakteristik rata-rata elemen [5], [6]:

$$Z_a = 120 \left[\ln \left(\frac{l_n}{d_n} \right) - 2.25 \right] \quad (10)$$

Selanjutnya menghitung impedansi karakteristik saluran pengumpan [9]:

$$Z_0 = \frac{R_{in}^2 \sqrt{\epsilon}}{8Z_a \sigma} + R_{in} \sqrt{\left(\frac{R_{in} \sqrt{\epsilon}}{8Z_a \sigma} \right)^2 + 1} \quad (11)$$

9. *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), menghitung nilai koefisien refleksi dengan menggunakan persamaan [5], dimana $Z_a = Z_L$

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (12)$$

Menghitung VSWR dengan menggunakan persamaan :

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (13)$$

10. *Return Loss*, perbandingan antara daya yang terpantulkan dengan daya masukan [5]:

$$Return\ loss = 20 \log[\Gamma] \quad (14)$$

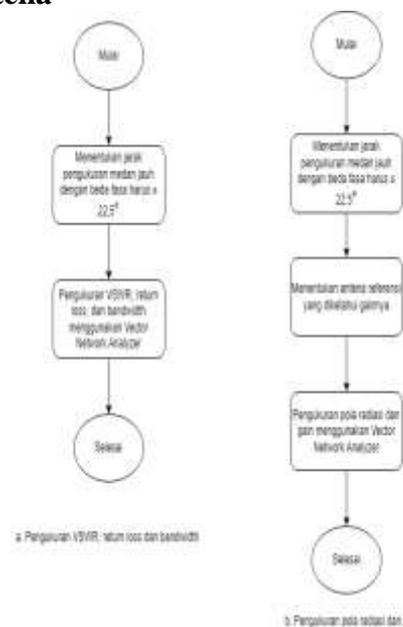
11. *Gain*, “perbandingan intensitas, dalam arah tertentu, dengan intensitas radiasi yang akan diperoleh jika daya yang diterima oleh antenna diradiasikan secara isotropic [5]. Maka *gain* absolut terhadap isotropik [10] :

$$G_{AUT} [dBi] = G_{REF} [dBi] + 10 \log \left(\frac{W_{RX}}{W_{REF}} \right) [dB_{reff}] \quad (15)$$

2.2. Flowchart Perancangan dan Pengukuran Antena



Gambar 2. Flowchart perancangan antenna LPDA



Gambar 3. Flowchart pengukuran antenna

2.3. Spesifikasi Antena yang Dirancang

Spesifikasi antenna pada perancangan antenna LPDA yang ingin dicapai:

Tabel 1. Parameter antenna yang ditentukan

Parameter	Nilai
Frekuensi	180-450 MHz
VSWR	$\leq 1,5$
Gain	≥ 7 dBi
Return loss	≤ -10 dB
Pola radiasi	Unidirectional

2.4. Spesifikasi desain antenna LPDA

Berdasarkan desain yang telah dibuat didapatkan spesifikasi antenna yang terlihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2. Spesifikasi antenna LPDA

Elemen (n)	l_n (m)	R_n (m)
1	0,833	0,208
2	0,688	0,249
3	0,568	0,206
4	0,469	0,170
5	0,387	0,141
6	0,319	0,117
7	0,263	0,096
8	0,217	0,079
9	0,179	0,065

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 4 merupakan antenna yang telah difabrikasi sesuai dengan spesifikasi antenna yang telah ditentukan dengan frekuensi 180-450 MHz. Performansi nilai suatu antenna terukur dari nilai yang diperoleh dari : *Return loss*, *VSWR*, *bandwidth*, *gain* dan Pola radiasi.



Gambar 4. Antena hasil fabrikasi



Gambar 5. Hasil pengukuran *return loss*



Gambar 6. Hasil pengukuran VSWR

3.1. Hasil Pengukuran *Return Loss*

Gambar 5 merupakan hasil pengukuran antenna LPDA menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA). Dari gambar dapat dilihat hasil yang diperoleh dari pengukuran antenna LPDA adalah nilai *VSWR* sebesar -12,011 dB. Pada spesifikasi awal nilai *return loss* \leq -10 dB. Nilai *return loss* yang baik \leq -10 dB. Jika pada frekuensi kerja 315 MHz menunjukkan bahwa nilai *return loss* masih baik dan sudah terpenuhi.

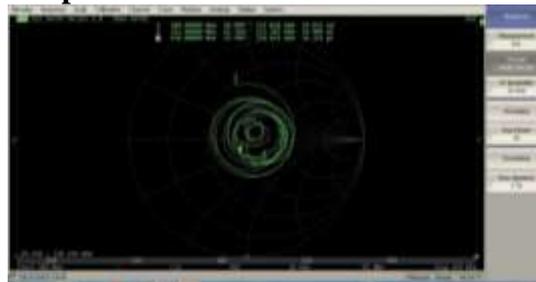
3.2. Hasil Pengukuran VSWR

Pada pengukuran parameter VSWR yang telah dilakukan, VSWR pada dasarnya diperuntukkan untuk mengetahui apakah antenna yang digunakan sudah sesuai dengan saluran yang digunakan atau tidak. Nilai VSWR yang didapat sebesar 1,6667. VSWR yang baik adalah bernilai 1, akan tetapi pada kenyataannya nilai tersebut sulit untuk didapat. Pada spesifikasi awal nilai $VSWR \leq 1,5$ maka nilai yang sudah didapat pada pengukuran belum terpenuhi. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada $VSWR \leq 2$ nilai frekuensi bawah (f_l) adalah 309 MHz sedangkan nilai frekuensi atas (f_u) adalah 327 MHz sehingga *bandwidth* diperoleh dengan menggunakan persamaan 1 :

$$BW = 327 - 309$$

$$BW = 18 \text{ MHz}$$

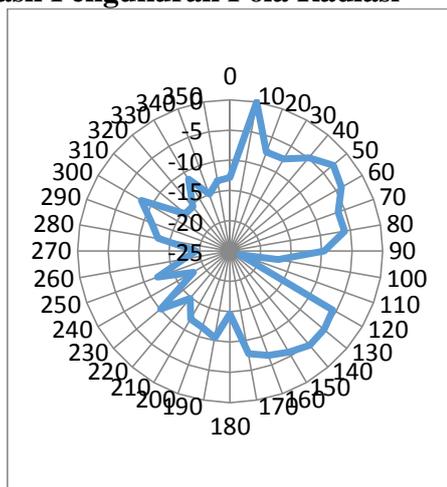
3.3. Hasil Pengukuran Impedansi



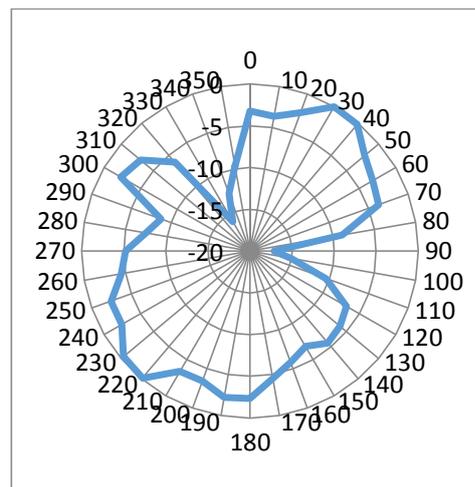
Gambar 7. Hasil pengukuran impedansi

Dengan mengetahui nilai impedansi (Gambar. 7) ini maka dapat mengetahui juga nilai VSWR.

3.4. Hasil Pengukuran Pola Radiasi



Gambar 8. Hasil pengukuran pola radiasi horizontal



Gambar 9. Hasil pengukuran pola radiasi vertikal

Pola radiasi antenna atau pola antenna didefinisikan sebagai fungsi matematika atau representasi grafis dari sifat radiasi antenna sebagai fungsi dari koordinat ruang. Dalam kebanyakan kasus, pola radiasi ditentukan di wilayah medan jauh dan direpresentasikan sebagai fungsi dari koordinat arah. Sifat radiasi meliputi kerapatan fluks daya, intensitas radiasi, kekuatan medan, fase direktivitas atau polarisasi [8]. Gambar 8 dan gambar 9 menunjukkan pola radiasi yang dihasilkan oleh antenna LPDA. Pola radiasi yang dihasilkan pada pengukuran menunjukkan pola radiasi *unidirectional*. Yang mana pola radiasi

unidirectional merupakan pola radiasi yang memiliki arah pancaran terkuat pada satu arah tertentu dibanding dengan arah lain.

3.5. Hasil Pengukuran Gain

Pengukuran *gain* dilakukan untuk mengetahui seberapa besar daya yang dapat dipancarkan oleh antenna pada sudut tertentu. Pada penelitian ini, nilai *gain* didapatkan dengan menganalisa koefisien S_{21} yang dapat diamati pada VNA. Nilai S_{21} didapatkan berdasarkan dari nilai yang ditunjukkan oleh antenna rancangan terhadap antenna referensi (antenna *horn*). Berdasarkan nilai *gain* antenna diperoleh dengan mengamati koefisien S_{21} pada frekuensi 315 MHz. Nilai *gain* antenna hasil rancangan dapat dihitung dengan menggunakan metoda perbandingan *gain* yang dirumuskan dalam persamaan 15 dimana nilai *gain* antenna *horn* sebesar 8 dBi, Sehingga *gain* antenna rancangan adalah sebagai berikut.

$$G_{AUT}[dBi] = 8 + 10 \log \left(\frac{-55,148}{-53,469} \right) [dB_{reff}]$$

$$G_{AUT}[dBi] = 8,134 \text{ dBi}$$

3.6. Analisis Nilai Return Loss

Tabel 3. Perbandingan *return loss*

Parameter	Spesifikasi	Hasil Perhitungan	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Return Loss	≤ -10 dB	-14,516 dB	-17,305 dB	-12,011 dB



Gambar 10. Grafik perbandingan *return loss*

Dari tabel 3. dapat dilihat bahwa *return loss* hasil perhitungan, simulasi dan pengukuran menunjukkan nilai yang lebih kecil dari spesifikasi yang ditentukan yaitu lebih kecil dari -10 dB. Perbedaan nilai *return loss* hasil pengukuran lebih tinggi dari hasil simulasi dengan selisih 5,294 dB. Sedangkan perbedaan antara hasil perhitungan dengan hasil pengukuran dengan selisih 2,505 dB. Perbedaan ini diakibatkan karena beberapa faktor dalam perhitungan, simulasi dan pengukuran. Pada perhitungan dan simulasi, parameter-parameter yang dihasilkan adalah bentuk sempurna, dengan tidak mempertimbangkan faktor yang mempengaruhinya. Sedangkan proses pengukuran parameter-parameter dapat terpengaruh oleh lingkungan maupun faktor bahan dan material yang digunakan pada proses fabrikasi maupun pengukuran yaitu redaman kabel, permitivitas bahan, faktor lingkungan pengukuran yang terpengaruh oleh *interference* sekitar, juga bahan-bahan konduktor di area pengukuran.

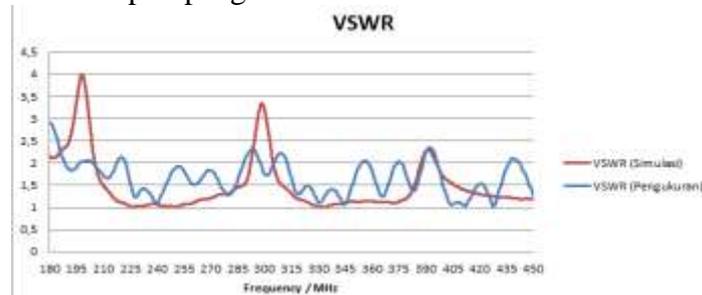
3.7. Analisis Nilai VSWR

Tabel 4. Perbandingan VSWR

Parameter	Spesifikasi	Hasil Perhitungan	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
VSWR	$\leq 1,5$	1,46	1,3159	1,6667

Dari tabel 4. dapat dilihat perbedaan nilai VSWR hasil pengukuran lebih tinggi dari hasil simulasi dengan selisih sebesar 0,3508. Sedangkan perbedaan antara hasil perhitungan

dengan hasil pengukuran dengan selisih sebesar 0,2067. Hasil pengukuran yang didapat sebesar 1,6667. Perbedaan ini diakibatkan karena beberapa faktor dalam perhitungan, simulasi dan pengukuran. Pada perhitungan dan simulasi, parameter-parameter yang dihasilkan adalah bentuk sempurna, sedangkan proses pengukuran parameter-parameter dapat terpengaruh oleh lingkungan maupun faktor bahan dan material yang digunakan pada proses fabrikasi maupun pengukuran.



Gambar 11. Grafik perbandingan VSWR

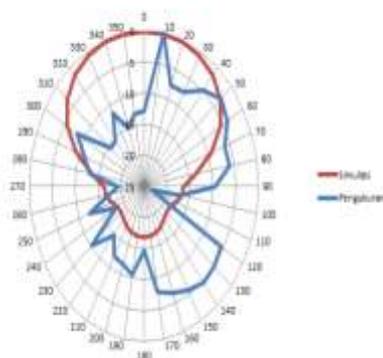
3.8. Analisis Nilai Impedansi

Tabel 5. Perbandingan impedansi

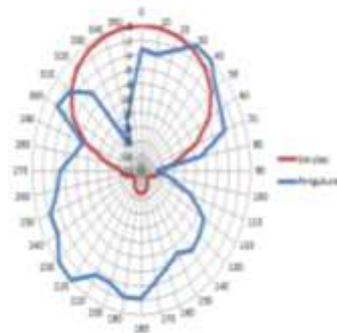
Parameter	Hasil Perhitungan	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Impedansi	102,84 Ω	50 Ω	61,169 Ω

Dari tabel 5. diatas dapat dilihat perbedaan nilai impedansi pada hasil pengukuran lebih tinggi dari hasil simulasi dengan selisih sebesar 11,169 Ω . Sedangkan perbedaan antara hasil perhitungan dengan hasil pengukuran dengan selisih sebesar 41,671 Ω . Impedansi *input* pada antenna sebesar 50 Ω . Jika pada saat impedansi antenna sama dengan 50 Ω , maka koefisien pantul bernilai 0. Impedansi sebuah antenna semakin mendekati 50 Ω maka akan semakin baik. Impedansi hasil pengukuran adalah 61,169 $-j25,282 \Omega$, maka dari itu hasil pengukuran impedansi antenna melebihi impedansi *input* sehingga transfer daya tidak akan maksimum.

3.9. Analisis Pola Radiasi



Gambar 12. Perbandingan pola radiasi horizontal



Gambar 13. Perbandingan pola radiasi vertikal

Berdasarkan perbandingan pola radiasi antenna hasil rancangan dengan simulasi yang ditunjukkan pada gambar 12 dan gambar 13 dapat diamati bahwa pola radiasi antenna rancangan cenderung memiliki pola radiasi yang lebih kecil dengan pola radiasi simulasi. Hal ini dapat dilihat dari pola yang ditunjukkan oleh masing-masing *main lobe* dan *side lobe* pada setiap sudut walaupun terdapat perbedaan. Perbedaan ini diakibatkan karena beberapa faktor dalam simulasi dan pengukuran. Pada simulasi, parameter-parameter yang dihasilkan adalah bentuk sempurna, sedangkan proses pengukuran parameter-

parameter dapat terpengaruh oleh lingkungan maupun faktor bahan dan material yang digunakan pada proses fabrikasi maupun pengukuran.

3.10. Analisis Nilai Gain

Tabel 6. Perbandingan nilai gain

Parameter	Spesifikasi	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Gain	≥ 7 dBi	8,454 dBi	8,134 dBi

Dari tabel 6. dapat dilihat nilai gain antenna rancangan hasil pengukuran yang didapat sebesar 8,134 dBi, nilai gain ini sudah sesuai dengan spesifikasi antenna yang diharapkan yaitu lebih besar dari 7 dBi (>7 dBi). Nilai gain yang didapatkan dari hasil pengukuran ini lebih kecil dari nilai gain pada simulasi dengan selisih sebesar 0,32 dBi. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti interferensi dan pantulan gelombang yang terdapat di dalam ruangan pengukuran. Hal-hal seperti pemantulan gelombang di dalam ruangan pengukuran dapat mempengaruhi parameter-parameter pengukuran. Selain itu, faktor material bahan seperti redaman kabel, redaman konektor, proses fabrikasi dan bahan material dari elemen antenna yang digunakan dapat mempengaruhi parameter-parameter pengukuran antenna.

3.11. Pengujian Lapangan



Gambar 14. Hasil pengujian antenna LPDA

Dari hasil pengujian kinerja antenna dapat dilihat dari gambar 14 menunjukkan ada frekuensi *interference* yang mengganggu pengamatan matahari, frekuensi yang mengganggu tersebut berada pada frekuensi 222 MHz dan 253 MHz yang merupakan bagian dari spektrum radio VHF yang dialokasikan secara internasional untuk penggunaan radio amatir. Sedangkan pada hari itu tidak terjadi semburan matahari.

4. Kesimpulan

Dari seluruh proses perancangan hingga pengukuran antenna *Log Periodic Dipole Array* (LPDA) ini, maka dapat disimpulkan bahwa antenna ini mendekati kriteria yang dirancang, yakni dapat bekerja pada rentang frekuensi 180-450 MHz. Namun, dalam pengukuran masih ditemukan sedikit ketidaksesuaian antara hasil perancangan dengan hasil pengukuran. Hal ini dapat terjadi karena pembuatan antenanya masih secara manual dengan tangan, pemasangan konektor yang kurang baik, faktor lingkungan pengukuran, serta kinerja alat ukur yang kurang presisi. Berdasarkan hasil pengukuran antenna *Log Periodic Dipole Array* (LPDA) terdapat sedikit perbedaan, dimana pada simulasi didapatkan nilai gain sebesar 8,454 dBi, VSWR sebesar 1,3159, serta *return loss* -17,305 dB, sedangkan pada hasil pengukuran didapatkan nilai gain 8,134 dBi, VSWR sebesar 1,6667, dan *return loss* -12,011 dB. Parameter-parameter tersebut baik secara perhitungan, simulasi dan pengukuran telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Pola

radiasi hasil perancangan secara simulasi dan pengukuran menunjukkan pola radiasi *unidirectional*. Pengaplikasian antenna *Log Periodic Dipole Array* (LPDA) ini telah menunjukkan hasil yang sesuai dikarenakan antenna ini telah berhasil beroperasi untuk CALLISTO.

Ucapan Terima Kasih

Dengan selesainya penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan terlibat dalam penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] T. Manik, P. Sitompul, M. Batubara, T. Harjana, C. Y. Yatini, and C. Monstein, "Solar Radio Observation using Callisto Spectrometer at Sumedang West Java Indonesia: Current Status and Future Development Plan in Indonesia," *Ground-based Sol. Obs. Sp. Instrum. era Proc. a Meet. held Univ. Coimbra, Coimbra, Port. 5-9 Oct. 2015*, vol. 504, no. October, pp. 331–338, 2016, doi: 10.13140/RG.2.2.14573.59363.
- [2] M. Batubara *et al.*, "Frequency Drift Rate Investigation of Solar Radio Burst Type II Due to Coronal Mass Ejections Occurrence on 4th November 2015 Captured by CALLISTO at Sumedang- Indonesia," *J. Phys. Conf. Ser.*, no. 1, pp. 1–9, 2017, doi: 10.1088/1742-6596/755/1/011001.
- [3] H. D. Prananto and P. Wibowo, "Perancangan Antena Cetak Log Periodic Dipole Array Untuk Frekuensi S-Band," *Iptek Penerbangan dan Antariksa*, pp. 172–180, 2018.
- [4] Z. S. Hamidi *et al.*, "Designing and Constructing Log Periodic Dipole Antennato Monitor Solar Radio Burst: e-Callisto Space Weather," *Int. J. Appl. Phys. Math.*, vol. 2, no. 3, pp. 140–142, 2012, doi: 10.7763/ijapm.2012.v2.70.
- [5] C. A. Balanis, *Antenna Theory ; Analysis and Design 4th Edition*. John Wiley & Sons, 2016.
- [6] R. Carrel, "The design of log-periodic dipole antennas," pp. 61–75, 2005, doi: 10.1109/irecon.1961.1151016.
- [7] M. Alaydrus, "Antena Prinsip dan Aplikasi," *Antena Prinsip dan Apl.*, p. 320, 2011.
- [8] C. A. Balanis, *Antenna Theory Antenna Theory Analysis and Design 3rd Edition, THIRD*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005.
- [9] F. Hutira, J. Bezek, and V. Bilik, "Design and investigation of a log-periodic antenna for DCS, PCS and UMTS mobile communications bands," *RF Microw. Conf. Malaysia Oct.*, no. May, pp. 453–456, 2004.
- [10] N. M. Adriansyah, "Pengukuran Antena," no. April, 2004