Jurnal Teliska
Volume 19 No.3 November 2026
DOI: 10.36257/yss70141

P-ISSN : 2085-0786
E-ISSN : 2654-2765

PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP LOG PERIODIC DIPOLE ARRAY (MLPDA) UNTUK SISTEM KOMUNIKASI LORA PADA FREKUENSI 920–923 MHZ

Sahid Ridho[1], Olfat Badrika[2]*, Yustini[3], Amelia Yolanda[4]
[1-4] Teknik Telekomunikasi , Politeknik Negeri Padang, Kota Padang, Indonesia
*Email korespondensi: olfatbadrika@gmail.com

Submitted : 11 September 2026 | **Accepted** : 29 Oktober 2026 | **Published** : 5 November 2026

ABSTRAK
Long Range (LoRa) merupakan teknologi LPWAN untuk *Internet of Things* yang di Indonesia beroperasi pada pita 920–923 MHz. Penelitian ini merancang, merealisasikan, dan mengevaluasi antena *Microstrip Log Periodic Dipole Array* (MLPDA) enam elemen berukuran 140 × 145 mm pada substrat FR-4 (ε_r = 4,3; h = 1,6 mm) sebagai alternatif antena monopole bawaan modul LoRa. Dimensi awal dihitung dengan τ = 0,78 dan σ = 0,14, dioptimasi menggunakan CST Studio Suite 2019, lalu difabrikasi dan diukur menggunakan VNA Keysight E5071C pada 700–3000 MHz. Pada 920; 921,5; dan 923 MHz, *return loss* simulasi sebesar −13,65; −13,78; dan −13,91 dB, sedangkan hasil pengukuran −16,66; −16,92; dan −17,19 dB dengan VSWR terukur 1,32–1,34. Bandwidth simulasi (RL ≤ −10 dB) mencakup 881,6–2430,7 MHz, sedangkan batas bawah bandwidth terukur berada pada 849,7 MHz sehingga pita 920–923 MHz tercakup. Gain simulasi sebesar 3,34 dBi dengan polarisasi linear; gain tidak diukur karena keterbatasan alat ukur. Pengujian ping-pong menggunakan modul EBYTE E220-900T22D (22 dBm; 2,4 kbps) di luar ruangan kondisi LOS pada jarak 10–30 m dengan tiga pengulangan menunjukkan bahwa MLPDA pada kedua sisi meningkatkan RSSI sebesar 7,33–13,00 dB (rata-rata 10,33 dB) dibandingkan antena bawaan, sedangkan kombinasi MLPDA–monopole menurunkan RSSI sebesar 1,67–8,00 dB akibat ketidaksesuaian polarisasi. MLPDA yang dirancang layak digunakan pada sistem LoRa 920–923 MHz apabila kedua sisi menggunakan orientasi polarisasi yang sama.

Kata kunci: MLPDA; LoRa; antena mikrostrip; return loss; VSWR; RSSI; polarisasi

ABSTRACT
Long Range (LoRa) is an LPWAN technology for the Internet of Things that operates in the 920–923 MHz band in Indonesia. This study designs, fabricates, and evaluates a six-element Microstrip Log Periodic Dipole Array (MLPDA) antenna measuring 140 × 145 mm on an FR-4 substrate (ε_r = 4.3; h = 1.6 mm) as an alternative to the built-in monopole antenna of LoRa modules. The initial dimensions were calculated with τ = 0.78 and σ = 0.14, optimized in CST Studio Suite 2019, then fabricated and measured with a Keysight E5071C VNA over 700–3000 MHz. At 920, 921.5, and 923 MHz, the simulated return loss was −13.65, −13.78, and −13.91 dB, while the measured values were −16.66, −16.92, and −17.19 dB with a measured VSWR of 1.32–1.34. The simulated −10 dB bandwidth spans 881.6–2430.7 MHz, while the measured lower band edge is 849.7 MHz, so the 920–923 MHz band is covered. The simulated gain is 3.34 dBi with linear polarization; the gain was not measured due to equipment limitations. Ping-pong tests using EBYTE E220-900T22D modules (22 dBm; 2.4 kbps) outdoors under LOS conditions at 10–30 m with three repetitions show that MLPDAs on both sides increase the RSSI by 7.33–13.00 dB (10.33 dB on average) compared with the built-in antennas, whereas an MLPDA–monopole combination reduces the RSSI by 1.67–8.00 dB due to polarization mismatch. The proposed MLPDA is suitable for 920–923 MHz LoRa systems when both ends use the same polarization orientation.

Keywords: *MLPDA; LoRa; microstrip antenna; return loss; VSWR; RSSI; polarization*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan *Internet of Things* (IoT) mendorong kebutuhan teknologi komunikasi yang berjangkauan luas, berdaya rendah, dan berbiaya murah. *Long Range* (LoRa) merupakan teknologi *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) dengan modulasi *Chirp Spread Spectrum* (CSS) yang mampu berkomunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah [1]. LoRa telah diterapkan antara lain pada sistem monitoring lampu penerangan jalan umum berbasis komunikasi *multihop* dengan jangkauan node–relay hingga 200 m dan relay–gateway hingga 400 m [2]. Di Indonesia, LoRa beroperasi pada 920–923 MHz sesuai Peraturan Direktur Jenderal SDPPI Nomor 3 Tahun 2019 [3]. Kinerja sistem LoRa dipengaruhi oleh

antena, yang dievaluasi melalui parameter *return loss*, VSWR, *bandwidth*, gain, polarisasi, dan pola radiasi [4]. Modul LoRa komersial umumnya dilengkapi antena *monopole* sederhana, sehingga penggantian dengan antena eksternal yang memiliki gain dan pola radiasi lebih baik menjadi salah satu cara meningkatkan kekuatan sinyal tanpa menambah daya pancar.

Microstrip Log Periodic Dipole Array (MLPDA) merupakan pengembangan *Log Periodic Dipole Array* (LPDA) berbasis mikrostrip yang kompak, ringan, mudah difabrikasi pada PCB, serta memiliki *bandwidth* lebar dan impedansi yang relatif stabil [5]. Teknologi mikrostrip juga menurunkan biaya fabrikasi dan memudahkan optimasi desain [6]. Penelitian terdahulu telah mengembangkan *printed* LPDA yang kompak [7] dan menunjukkan bahwa optimasi geometri LPDA pada FR-4 1,6 mm menghasilkan *return loss* di bawah −10 dB dengan gain sekitar 6 dBi [8], [9].

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian *printed* LPDA tersebut ditujukan untuk aplikasi *broadband*, Wi-Fi, DVB-T2, maupun EMC [6]–[9], dan sebagian hanya divalidasi melalui simulasi [7], [9]. Sementara itu, antena untuk LoRa 920–923 MHz di Indonesia umumnya berupa *patch* berpita sempit yang dievaluasi sebatas parameter VNA tanpa pengujian pada perangkat LoRa [10]. Penelitian yang sekaligus merancang MLPDA kompak untuk pita LoRa Indonesia, memvalidasinya dengan pengukuran, dan mengevaluasi dampaknya terhadap RSSI pada perangkat LoRa, termasuk saat dikombinasikan dengan antena *monopole* bawaan, masih terbatas.

Penelitian ini bertujuan merancang, merealisasikan, dan mengevaluasi MLPDA untuk LoRa 920–923 MHz. Kontribusinya adalah: (1) MLPDA enam elemen berukuran 140 × 145 mm pada FR-4 1,6 mm yang menempatkan pita 920–923 MHz di dalam *bandwidth* dengan margin terhadap toleransi fabrikasi; (2) validasi simulasi–pengukuran dengan prosedur yang dapat direplikasi; dan (3) evaluasi RSSI pada modul EBYTE E220-900T22D dengan empat kombinasi antena, yang menunjukkan peningkatan RSSI saat MLPDA dipakai pada kedua sisi serta penurunan RSSI akibat ketidaksesuaian polarisasi pada kombinasi MLPDA–*monopole*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

LoRa dikembangkan oleh Semtech Corporation; modulasi CSS memberikan sensitivitas penerima yang tinggi sehingga LoRa banyak digunakan pada aplikasi IoT seperti pemantauan lingkungan, pertanian cerdas, dan *smart metering* [1], [11]. Kualitas penerimaan sinyal umumnya dievaluasi menggunakan *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) dalam satuan dBm, dengan nilai yang mendekati 0 dBm menunjukkan sinyal yang semakin baik [11], [12].

Antena berfungsi sebagai transduser yang mengubah energi listrik menjadi gelombang elektromagnetik pada saat pemancaran, dan sebaliknya pada saat penerimaan [13]. Kinerja antena dievaluasi melalui beberapa parameter. *Return loss* (RL) menyatakan besarnya daya yang dipantulkan kembali akibat ketidaksesuaian impedansi (*impedance mismatch*), dirumuskan sebagai:

$$RL = -20\log|\Gamma| \quad \text{(2.1)}$$

dengan RL adalah *return loss* (dB) dan Γ adalah koefisien refleksi. Antena dengan pencocokan impedansi yang baik umumnya memiliki RL ≤ −10 dB. *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) menyatakan tingkat kesesuaian impedansi antara saluran transmisi dan antena [14], dinyatakan dengan:

$$\text{VSWR} = (1 + |\Gamma|) / (1 - |\Gamma|) \quad \text{(2.2)}$$

Nilai VSWR ideal adalah 1, dan dalam praktik VSWR ≤ 2 masih dianggap memenuhi kriteria kerja antena yang baik [15]. *Bandwidth* (BW) merupakan rentang frekuensi kerja antena yang memenuhi kriteria RL ≤ −10 dB atau VSWR ≤ 2, dinyatakan sebagai selisih frekuensi batas atas (f_H) dan bawah (f_L):

$$BW = f_H - f_L \quad \text{(2.3)}$$

Selain pencocokan impedansi, daya yang diterima juga dipengaruhi kesesuaian polarisasi antara antena pemancar dan penerima. Rugi polarisasi dinyatakan dengan *polarization loss factor* (PLF) [4]:

$$PLF = |\cos \psi|^2 \quad (2.4)$$

dengan ψ adalah sudut antara vektor polarisasi kedua antena; dua antena linear yang saling tegak lurus ($\psi = 90°$) secara teoretis menghasilkan PLF = 0. Menurut persamaan Friis, $P_r = P_t + G_t + G_r - L_{fs} + 10 \log(PLF)$ dalam dB [4], sehingga gain dan kesesuaian polarisasi kedua antena langsung tercermin pada RSSI.

Pada MLPDA, elemen dipole tersusun log-periodik dan simetris (*mirror*) pada kedua sisi substrat sehingga menghasilkan impedansi yang relatif stabil, *bandwidth* lebar, dan pola radiasi *directional* [5], [9].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang meliputi perhitungan dimensi, simulasi dan optimasi pada CST Studio Suite 2019, fabrikasi pada PCB FR-4, pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA), dan pengujian RSSI pada modul LoRa EBYTE E220-900T22D. Spesifikasi perancangan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Perancangan Antena MLPDA

Parameter	Spesifikasi	Parameter	Spesifikasi
Jenis antena	MLPDA, 6 elemen	Impedansi masukan	50 Ω
Frekuensi kerja / tengah	920–923 / 921,5 MHz	Return loss / VSWR	≤ −10 dB / ≤ 2
Substrat	FR-4 Epoxy, $\varepsilon_r = 4,3$	Gain	≥ 3 dBi
Ketebalan substrat / tembaga	1,6 mm / 0,035 mm	Perangkat lunak	CST Studio Suite 2019
Alat ukur	VNA Keysight E5071C	Perangkat uji	EBYTE E220-900T22D

3.1 Perhitungan Dimensi Awal

Dimensi awal dihitung menggunakan metode perancangan LPDA konvensional yang diadaptasi untuk struktur mikrostrip dua sisi [4], [5]. Parameter masukan adalah frekuensi terendah $f_L = 920$ MHz, faktor skala $\tau = 0,78$, dan faktor spasi $\sigma = 0,14$, sehingga sudut apex α diperoleh dari:

$$\tan \alpha = (1 - \tau) / (4\sigma) \rightarrow \alpha = 21,45° \quad (3.1)$$

Lebar saluran pencatu (boom) 50 Ω dihitung menggunakan persamaan Hammerstad sehingga diperoleh $W_b = 3,11$ mm, yang kemudian ditetapkan 3 mm pada desain akhir. Permitivitas efektif dan panjang gelombang efektif dihitung dengan:

$$\varepsilon_{eff} = (\varepsilon_r + 1)/2 + [(\varepsilon_r - 1)/2] \cdot (1 + 10h_{eff}/W_b)^{-1/2}, \quad \lambda_{eff} = c / (f_L \sqrt{\varepsilon_{eff}}) \quad (3.2)$$

dengan $h_{eff} = h/2 = 0,8$ mm karena struktur pencatu dua sisi, sehingga $\varepsilon_{eff} = 3,523$ dan $\lambda_{eff} = 173,75$ mm. Panjang elemen (E_n), jarak antarelemen (D_n), dan lebar elemen (W_n) dihitung dengan:

$$E_1 = (1,01 - 0,519\tau)\,\lambda_{eff}, \quad E_{n+1} = \tau E_n, \quad D_n = 2\sigma E_n, \quad W_{n+1} = \tau W_n \quad (3.3)$$

dengan $W_1 = \pi a_1$ dan $a_1 = (E_1/2)/\exp(\pi Z_0/377 + 2,25)$. Perhitungan menghasilkan $E_1 = 105,13$ mm; $W_1 = 11,47$ mm; dan $D_1 = 29,4$ mm. Seluruh dimensi awal disajikan pada kolom "awal" Tabel 2.

3.2 Simulasi dan Optimasi

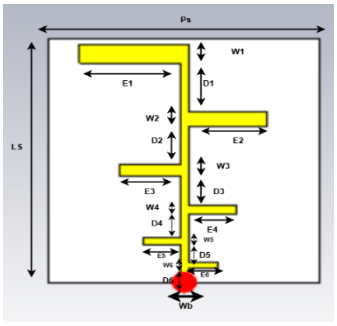
Model awal disimulasikan menggunakan CST Studio Suite 2019 pada rentang 700–4000 MHz dengan 1001 titik frekuensi (resolusi 3,3 MHz). Hasil simulasi desain awal belum memenuhi spesifikasi, yaitu *return loss* −4,7 dB pada 920 MHz dan −4,9 dB pada 923 MHz. Optimasi dilakukan dua langkah dengan fitur *Parameter Sweep*. Langkah pertama berupa studi parametrik untuk mengetahui pengaruh umum tiga parameter terhadap *return loss* pada 923 MHz (Tabel 3): LBoom (lebar boom/saluran pencatu), LE2

(penambahan panjang yang sama pada seluruh dipole E1–E6), dan JE2 (penambahan jarak yang sama pada seluruh jarak antarelemen D1–D6).

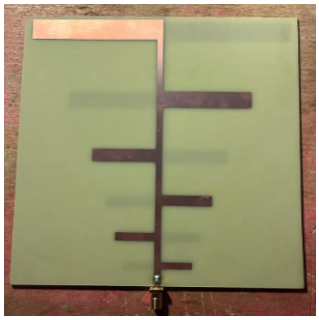
Tabel 3. Hasil Studi Parametrik dan Optimasi Antena MLPDA

Tahap	Parameter yang divariasikan	Nilai variasi (mm)	RL terbaik pada 923 MHz	Keterangan
0	Desain awal (hasil perhitungan)	–	−4,9 dB	Belum memenuhi
1	LBoom (lebar boom/saluran pencatu)	2; 3; 4,2; 6; 7; 8	−3,71 dB (4,2 mm)	Pengaruh kecil
2	LE2 (tambahan panjang seluruh dipole)	2; 5; 7; 8,83; 12; 17	−6,21 dB (17 mm)	Membaik seiring panjang bertambah
3	JE2 (tambahan jarak seluruh elemen)	3; 10; 20; 22,66; 25; 28	−5,92 dB (3 mm)	Memburuk seiring jarak bertambah
4	Sweep panjang dipole (desain akhir)	Dimensi akhir pada Tabel 2	−13,91 dB	Memenuhi spesifikasi

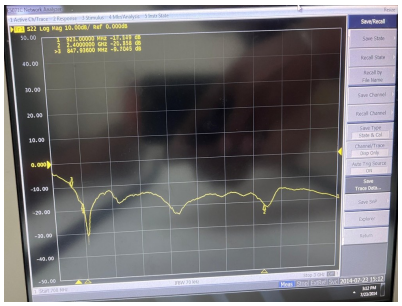
Lebar boom hanya mengubah *return loss* sekitar 0,8 dB dan penambahan jarak antarelemen cenderung memperburuknya, sedangkan penambahan panjang dipole memperbaikinya dari −3,21 dB menjadi −6,21 dB, sesuai dengan prinsip LPDA, yaitu frekuensi kerja terendah terutama ditentukan oleh panjang elemen terpanjang [4]. Karena itu, langkah kedua berupa *parameter sweep* panjang dipole hingga spesifikasi terpenuhi. Perubahan terbesar terjadi pada dua elemen terpanjang, yaitu E1 dari 105,13 mm menjadi 128 mm dan E2 dari 82 mm menjadi 89,03 mm, sedangkan dimensi lain hanya berubah kurang dari 1 mm (Tabel 2). Desain akhir ini menghasilkan *return loss* −13,65 dB pada 920 MHz dan merupakan dimensi yang difabrikasi (Gambar 1).



Gambar 1. Desain akhir antena MLPDA hasil optimasi



Gambar 2. Antena MLPDA hasil fabrikasi dengan konektor SMA



Gambar 3. Pengukuran return loss menggunakan VNA Keysight E5071C (marker: 923 MHz; 847,9 MHz)

Tabel 2. Dimensi Awal (Hasil Perhitungan) dan Akhir (Hasil Optimasi) Antena MLPDA (mm)

No	E_n awal	E_n akhir	W_n awal	W_n akhir	D_n awal	D_n akhir
1	105,13	128,00	11,47	11,32	29,40	29,03
2	82,00	89,03	8,94	8,83	22,90	22,64

DOI : 10.36257/yss70141
Jurnal Teliska, Vol.19 No. 3, Tahun 2026

No	E_n awal	E_n akhir	W_n awal	W_n akhir	D_n awal	D_n akhir
3	63,96	63,08	6,97	6,88	17,90	17,66
4	49,89	49,28	5,44	5,37	13,90	13,78
5	38,91	38,38	4,24	4,19	10,80	10,75
6	30,35	29,93	3,31	3,27	8,50	8,38
Lebar boom W_b: 3,11 (awal) → 3 (akhir); h = 1,6; t = 0,035; ukuran substrat 140 × 145						

3.3 Fabrikasi dan Pengukuran

Desain akhir diekspor dari CST ke format DXF dan difabrikasi pada PCB FR-4 dua sisi (tembaga 35 µm) melalui proses transfer pola dan pelarutan (*etching*), kemudian konektor SMA 50 Ω dipasang pada ujung saluran pencatu (Gambar 2).

Pengukuran *return loss* dan VSWR dilakukan menggunakan VNA Keysight E5071C yang telah dikalibrasi sesuai prosedur laboratorium, dengan antena terhubung melalui kabel koaksial dan konektor SMA (Gambar 3). *Sweep* dilakukan pada 700–3000 MHz dengan 201 titik (resolusi 11,5 MHz) dan data disimpan dalam format CSV. Karena titik terdekat dengan pita LoRa berada pada 918,5 dan 930 MHz, nilai pada 920; 921,5; dan 923 MHz diperoleh dengan interpolasi linier. Frekuensi batas f_L dan f_H ditentukan dari perpotongan kurva dengan garis −10 dB melalui interpolasi linier. Interpolasi ini diverifikasi dengan marker VNA pada pengukuran ulang (Gambar 3): −17,15 dB pada 923 MHz (interpolasi CSV −17,19 dB) dan −9,70 dB pada 847,9 MHz (interpolasi CSV −9,78 dB).

3.4 Pengujian RSSI pada Perangkat LoRa

Pengujian implementasi menggunakan dua modul LoRa EBYTE E220-900T22D yang berfungsi sebagai node dan hub yang dikonfigurasi pada kanal 71, daya keluaran 22 dBm, *air data rate* 2,4 kbps, ukuran paket 200 byte, mode transmisi *fixed*, mode kerja normal, *packet RSSI* aktif, LBT nonaktif, serta UART 9600 bps 8N1 [16]. Pengujian dilakukan dengan metode ping-pong, yaitu node dan hub saling mengirim dan membalas paket secara bergantian dengan siklus kerja 2000 ms, sehingga RSSI paket yang diterima tercatat pada kedua sisi melalui fitur *packet RSSI*. Nilai RSSI dibaca dari modul dalam satuan dBm dengan resolusi 1 dB.

Pengujian dilakukan di luar ruangan pada kondisi *line of sight* (LOS) dengan tinggi antena 1 m dari permukaan tanah, pada jarak 10, 20, dan 30 m. Antena bawaan berupa *monopole* yang terpasang vertikal, sedangkan papan MLPDA dipasang tegak dengan elemen dipole horizontal, sehingga polarisasi MLPDA tegak lurus terhadap polarisasi *monopole* bawaan (Gambar 6). Empat skenario kombinasi antena (Tabel 4) diuji pada setiap jarak dengan tiga kali pengulangan, dan seluruh skenario menggunakan lokasi, ketinggian, serta konfigurasi modul yang sama.



Gambar 6. Pemasangan antena MLPDA dan modul LoRa EBYTE E220-900T22D pada pengujian luar ruangan (tinggi antena 1 m, kondisi LOS)

Tabel 4. Skenario Pengujian Implementasi Antena

Skenario	Antena pada node	Antena pada hub
1 (S1)	Antena bawaan (*monopole*)	Antena bawaan (*monopole*)
2 (S2)	Antena bawaan (*monopole*)	MLPDA hasil fabrikasi
3 (S3)	MLPDA hasil fabrikasi	MLPDA hasil fabrikasi
4 (S4)	MLPDA hasil fabrikasi	Antena bawaan (*monopole*)

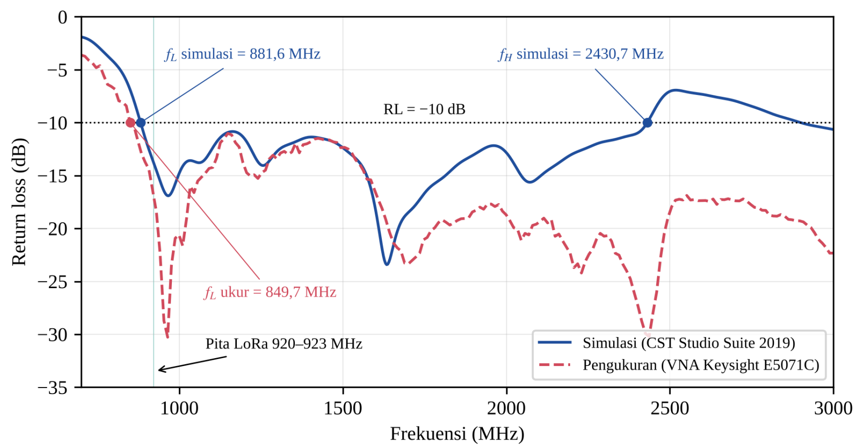
Untuk setiap kondisi dihitung rata-rata dan simpangan baku sampel (n = 3), serta peningkatan RSSI terhadap skenario 1 pada jarak dan sisi yang sama, dengan $\bar{R}_k$ adalah RSSI rata-rata skenario k (dBm):

$$\Delta RSSI_k = \bar{R}_k - \bar{R}_1 \ \text{(dB)} \quad \ldots \quad (3.4)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Return Loss*, VSWR, dan *Bandwidth*

Perbandingan *return loss* simulasi dan pengukuran pada 700–3000 MHz ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan nilai pada pita kerja disajikan pada Tabel 5.



Gambar 4. Return loss hasil simulasi CST dan pengukuran VNA, beserta garis −10 dB, frekuensi batas (f_L, f_H), dan pita LoRa 920–923 MHz

Tabel 5. Perbandingan Return Loss dan VSWR Simulasi dan Pengukuran

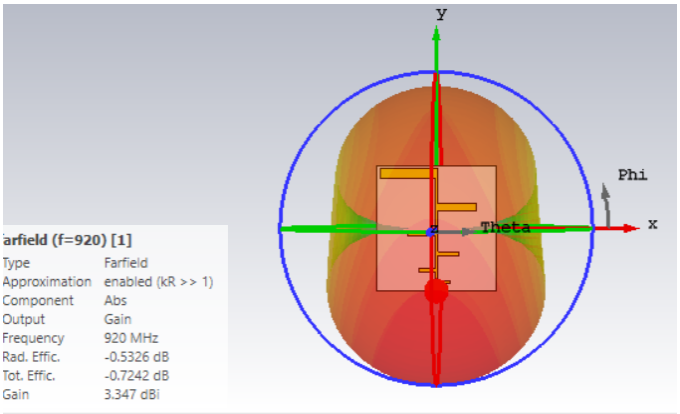
Frekuensi	RL simulasi (dB)	RL ukur (dB)	Selisih (dB)	VSWR simulasi	VSWR ukur
920 MHz	−13,65	−16,66	3,00	1,52	1,34
921,5 MHz	−13,78	−16,92	3,14	1,51	1,33
923 MHz	−13,91	−17,19	3,28	1,51	1,32

Pada pita 920–923 MHz, *return loss* simulasi berada pada −13,65 hingga −13,91 dB dan hasil pengukuran pada −16,66 hingga −17,19 dB, dengan VSWR 1,51–1,52 (simulasi) dan 1,32–1,34 (pengukuran), sehingga seluruhnya memenuhi kriteria RL ≤ −10 dB dan VSWR ≤ 2. Hasil pengukuran lebih rendah 3,00–3,28 dB dibandingkan simulasi. Selain toleransi fabrikasi, variasi ε_r dan *loss tangent* FR-4, serta penyolderan konektor SMA, perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh rugi-rugi kabel dan konektor yang ikut mengurangi daya pantul terukur. Oleh karena itu, *return loss* terukur yang lebih rendah tidak serta-merta menunjukkan bahwa antena hasil fabrikasi memancar lebih efisien daripada model simulasi.

Berdasarkan kriteria RL ≤ −10 dB, kurva simulasi memotong garis −10 dB pada f_L = 881,6 MHz dan f_H = 2430,7 MHz, sehingga *bandwidth* simulasi sebesar 1549,1 MHz (*fractional bandwidth* 93,5%). Kurva pengukuran memotong garis −10 dB pada f_L = 849,7 MHz dan tetap di bawah −10 dB hingga batas *sweep* 3000 MHz, sehingga f_H terukur tidak dapat ditentukan. Pada pengukuran ulang, kurva di atas sekitar 2 GHz berbeda dari data CSV dan mendekati −10 dB di sekitar 2,5 GHz, sedangkan pada pita LoRa kedua pengukuran konsisten; karena itu, batas atas *bandwidth* terukur tidak dijadikan klaim penelitian ini. *Bandwidth* lebar ini merupakan karakteristik dasar LPDA [5], [9]. Untuk aplikasi LoRa, yang lebih relevan adalah posisi pita 920–923 MHz terhadap batas bawah *bandwidth*: 920 MHz berada 38,4 MHz di atas f_L simulasi dan 70,3 MHz di atas f_L pengukuran, sehingga pita LoRa tetap tercakup meskipun terjadi pergeseran frekuensi akibat toleransi fabrikasi. Perbedaan simulasi–pengukuran di atas sekitar 1,6 GHz konsisten dengan rugi-rugi kabel, konektor, dan FR-4 yang meningkat seiring frekuensi.

4.2 Gain dan Pola Radiasi

Gain simulasi sebesar 3,347 dBi (920 MHz), 3,345 dBi (921,5 MHz), dan 3,342 dBi (923 MHz) dengan pola radiasi *directional* (Gambar 5), serta *axial ratio* 36,4–40 dB yang menunjukkan polarisasi linear searah elemen dipole. Gain ini memenuhi spesifikasi minimum 3 dBi, tetapi lebih rendah daripada *printed* LPDA lain (sekitar 6–7 dBi) [7], [9], yang dapat dikaitkan dengan jumlah elemen yang hanya enam, ukuran papan yang kompak, dan rugi-rugi FR-4. Gain dan pola radiasi pada penelitian ini hanya diperoleh dari simulasi CST; pengukuran gain tidak dilakukan karena keterbatasan alat ukur, sehingga hal ini dinyatakan sebagai keterbatasan penelitian.



Gambar 5. Pola radiasi 3D dan nilai gain antena MLPDA pada 920 MHz

4.3 Implementasi pada Sistem Komunikasi LoRa

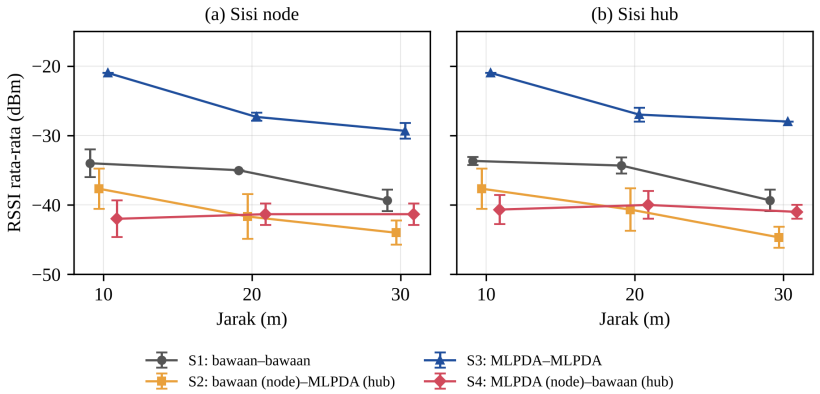
Data RSSI dari tiga kali pengulangan pada sisi node dan hub, beserta rata-rata ($\bar{x}$) dan simpangan bakunya (s), disajikan pada Tabel 6 dan Gambar 7.

Tabel 6. RSSI Hasil Pengujian pada Sisi Node dan Hub (dBm)

Skenario	Jarak (m)	Sisi node				Sisi hub			
		Uji 1	Uji 2	Uji 3	$\bar{x} \pm s$	Uji 1	Uji 2	Uji 3	$\bar{x} \pm s$
S1	10	−34	−36	−32	−34,00 ± 2,00	−34	−34	−33	−33,67 ± 0,58
	20	−35	−35	−35	−35,00 ± 0,00	−35	−33	−35	−34,33 ± 1,15
	30	−41	−39	−38	−39,33 ± 1,53	−41	−39	−38	−39,33 ± 1,53
S2	10	−36	−41	−36	−37,67 ± 2,89	−36	−41	−36	−37,67 ± 2,89
	20	−44	−43	−38	−41,67 ± 3,21	−44	−40	−38	−40,67 ± 3,06
	30	−43	−43	−46	−44,00 ± 1,73	−45	−43	−46	−44,67 ± 1,53
S3	10	−21	−21	−21	−21,00 ± 0,00	−21	−21	−21	−21,00 ± 0,00
	20	−27	−27	−28	−27,33 ± 0,58	−27	−26	−28	−27,00 ± 1,00

Skenario	Jarak (m)	Sisi node				Sisi hub			
		Uji 1	Uji 2	Uji 3	$\bar{x} \pm s$	Uji 1	Uji 2	Uji 3	$\bar{x} \pm s$
	30	−30	−30	−28	−29,33 ± 1,15	−28	−28	−28	−28,00 ± 0,00
S4	10	−41	−40	−45	−42,00 ± 2,65	−40	−39	−43	−40,67 ± 2,08
	20	−43	−40	−41	−41,33 ± 1,53	−42	−38	−40	−40,00 ± 2,00
	30	−43	−41	−40	−41,33 ± 1,53	−42	−41	−40	−41,00 ± 1,00

RSSI cenderung menurun seiring bertambahnya jarak. Simpangan baku maksimal 1,15 dB pada S3 dan 2,00 dB pada S1, sedangkan S2 dan S4 bervariasi hingga 3,21 dB, sejalan dengan polarisasi yang tidak sesuai sehingga daya terima lebih bergantung pada gelombang pantul.



Gambar 7. RSSI rata-rata terhadap jarak untuk setiap skenario pada (a) sisi node dan (b) sisi hub; batang galat menunjukkan simpangan baku (n = 3)

Perhitungan peningkatan RSSI menggunakan Persamaan (3.4) disajikan pada Tabel 7. Sebagai contoh, pada jarak 10 m di sisi node, $\Delta RSSI_3 = -21{,}00 - (-34{,}00) = 13{,}00$ dB, sedangkan pada jarak 20 m di sisi hub, $\Delta RSSI_3 = -27{,}00 - (-34{,}33) = 7{,}33$ dB.

Tabel 7. Perhitungan ΔRSSI Setiap Skenario terhadap Skenario 1 (dB)

Jarak (m)	Sisi node			Sisi hub		
	S2 − S1	S3 − S1	S4 − S1	S2 − S1	S3 − S1	S4 − S1
10	−3,67	+13,00	−8,00	−4,00	+12,67	−7,00
20	−6,67	+7,67	−6,33	−6,33	+7,33	−5,67
30	−4,67	+10,00	−2,00	−5,33	+11,33	−1,67
Rata-rata	−5,00	+10,22	−5,44	−5,22	+10,44	−4,78

Penggunaan MLPDA pada kedua sisi (S3) meningkatkan RSSI sebesar 7,67–13,00 dB pada sisi node dan 7,33–12,67 dB pada sisi hub, atau 7,33–13,00 dB secara keseluruhan dengan rata-rata 10,33 dB. Peningkatan terkecil (7,33 dB) lebih dari tiga kali simpangan baku terbesar pada S1 dan S3 (2,00 dB), sehingga jauh melampaui variasi antar-pengulangan dan resolusi RSSI (1 dB). Peningkatan ini juga lebih besar daripada kontribusi gain simulasi MLPDA saja: sekalipun gain monopole dianggap 0 dBi, dua MLPDA (3,34 dBi) hanya menambah sekitar 6,7 dB menurut persamaan Friis. Pola elevasi antena terhadap pantulan tanah dan efisiensi antena bawaan diduga turut berpengaruh, tetapi kontribusinya belum dapat dipisahkan karena gain kedua antena tidak diukur.

Sebaliknya, skenario kombinasi menghasilkan RSSI yang lebih rendah daripada S1, yaitu −3,67 hingga −6,67 dB pada S2 dan −1,67 hingga −8,00 dB pada S4. Penyebab utamanya adalah ketidaksesuaian polarisasi: elemen dipole MLPDA yang horizontal menghasilkan polarisasi linear horizontal, sedangkan *monopole* bawaan yang vertikal menghasilkan polarisasi vertikal, sehingga ψ mendekati 90° dan PLF pada Persamaan (2.4) mendekati nol. Rugi polarisasi yang teramati hanya beberapa desibel, bukan tak

terhingga, karena gelombang pantul dari tanah dan objek sekitar mengalami depolarisasi sehingga tetap terdapat komponen sepolarisasi yang diterima. Dengan demikian, manfaat MLPDA hanya diperoleh apabila kedua sisi menggunakan polarisasi yang sama; apabila MLPDA hanya dipasang pada satu sisi, elemen dipole perlu diorientasikan sejajar dengan antena di sisi lawan.

4.4 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Perbandingan antena hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Ref.	Jenis antena	Pita / bandwidth	Substrat dan ukuran	Gain	Validasi
[10]	*Patch* array 4 elemen	920–923 MHz; BW simulasi 2,85 MHz	FR-4	4,02 dBi (sim.); 6,30 dBi (ukur)	VNA; tanpa uji perangkat LoRa
[7]	*Printed* LPDA 7 dipole (*meander*)	470–860 MHz (≈ 450–940 MHz)	FR-4; 208 × 289,5 mm	rata-rata 6,56 dB (sim.)	Simulasi saja
[9]	LPDA 19 elemen	0,9–2,6 GHz	FR-4 1,6 mm; 193,1 × 503,8 mm	6,2–6,7 dBi (sim.)	Simulasi saja
Penelitian ini	MLPDA 6 elemen	881,6–2430,7 MHz (sim.); f_L = 849,7 MHz (ukur)	FR-4 1,6 mm; 140 × 145 mm	3,34 dBi (sim.)	VNA dan uji RSSI pada E220 (4 skenario)

Dibandingkan antena *patch* [10], MLPDA ini memiliki *bandwidth* jauh lebih lebar sehingga lebih toleran terhadap pergeseran frekuensi, meskipun gainnya lebih rendah. Dibandingkan [7] dan [9], antena ini lebih kompak (luas sekitar 34% dan 21%) dengan gain lebih rendah. Kontribusi utamanya adalah evaluasi tingkat sistem pada perangkat LoRa yang menunjukkan ketergantungan kinerja pada kesesuaian polarisasi kedua sisi, yang tidak dievaluasi pada [7], [9], dan [10].

4.5 Keterbatasan Penelitian

Keterbatasan penelitian ini adalah: (1) gain, pola radiasi, dan polarisasi hanya diperoleh dari simulasi CST karena keterbatasan alat ukur; (2) resolusi VNA 11,5 MHz lebih lebar daripada pita LoRa sehingga nilai pada 920–923 MHz diperoleh dengan interpolasi, dan batas atas *bandwidth* terukur tidak dapat ditentukan secara konsisten; (3) pengujian RSSI dilakukan pada jarak pendek (10–30 m) di satu lokasi LOS dengan tiga pengulangan dan tanpa parameter SNR atau *packet loss*.

5. KESIMPULAN

Antena MLPDA enam elemen berukuran 140 × 145 mm pada substrat FR-4 (h = 1,6 mm; εr = 4,3) berhasil dirancang untuk pita frekuensi LoRa 920–923 MHz melalui proses optimasi menggunakan CST Studio Suite 2019, khususnya dengan memperpanjang elemen E1 dan E2, sehingga return loss simulasi pada frekuensi 920 MHz meningkat dari −4,7 dB menjadi −13,65 dB. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada frekuensi 920–923 MHz, antena memiliki return loss terukur sebesar −16,66 hingga −17,19 dB dengan VSWR 1,32–1,34, sedangkan hasil simulasi menunjukkan return loss −13,65 hingga −13,91 dB dengan VSWR 1,51–1,52. Bandwidth simulasi berada pada rentang 881,6–2430,7 MHz dengan batas bawah pengukuran sebesar 849,7 MHz, sehingga mencakup pita frekuensi LoRa dengan margin yang memadai. Antena juga menghasilkan gain simulasi sebesar 3,34 dBi dengan polarisasi linear, meskipun pengukuran gain belum dapat dilakukan karena keterbatasan alat ukur. Pengujian pada modul EBYTE E220-900T22D menunjukkan bahwa penggunaan antena MLPDA pada kedua sisi komunikasi mampu meningkatkan RSSI sebesar 7,33–13,00 dB dengan rata-rata 10,33 dB dibandingkan antena monopole bawaan pada jarak 10–30 m. Sebaliknya, kombinasi antena MLPDA dan monopole menyebabkan penurunan RSSI sebesar 1,67–8,00 dB akibat ketidaksesuaian polarisasi, sehingga penggunaan MLPDA dengan orientasi polarisasi yang sama pada kedua sisi komunikasi sangat direkomendasikan. Secara

keseluruhan, antena ini memiliki keunggulan berupa ukuran yang kompak, biaya rendah, dan bandwidth lebar, tetapi masih memiliki keterbatasan pada gain yang relatif rendah dan belum terukur secara langsung. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya diarahkan pada pengukuran gain, peningkatan gain melalui penambahan elemen atau penggunaan substrat dengan loss rendah, serta pengujian pada jarak komunikasi yang lebih jauh dengan mempertimbangkan parameter SNR dan packet loss.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Padang atas pendanaan penelitian ini melalui Hibah Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat DIPA Tahun 2026. Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan Surat Penugasan Nomor 417/DST/PL9.10/AL.04/2026 tanggal 8 April 2026.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. A. M. Almuhaya, W. A. Jabbar, N. Sulaiman, and S. Abdulmalek, “A survey on LoRaWAN technology: Recent trends, opportunities, simulation tools and future directions,” *Electronics*, vol. 11, no. 1, Art. no. 164, 2022, doi: 10.3390/electronics11010164.

[2] N. A. R. Paramitha, M. Fadhli, and M. M. Rose, “Penerapan teknologi komunikasi multihop untuk monitoring kondisi lampu penerangan jalan umum berbasis LoRa,” *J. Teliska*, vol. 16, no. II, pp. 32–38, 2023, doi: 10.5281/zenodo.8183298.

[3] Direktorat Jenderal Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika, *Peraturan Direktur Jenderal Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika Nomor 3 Tahun 2019 tentang Persyaratan Teknis Alat dan/atau Perangkat Telekomunikasi Low Power Wide Area*. Jakarta, Indonesia: Kementerian Komunikasi dan Informatika, 2019.

[4] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2016.

[5] S. S. Pawar, M. Shandilya, and V. Chaurasia, “Parametric evaluation of microstrip log periodic dipole array antenna using transmission line equivalent circuit,” *Eng. Sci. Technol. Int. J.*, vol. 20, no. 4, pp. 1260–1274, 2017, doi: 10.1016/j.jestch.2017.09.002.

[6] A. A. Abdulhameed and Z. Kubík, “Review of printed log-periodic dipole array antenna design for EMC applications,” *Inventions*, vol. 10, no. 3, Art. no. 34, 2025, doi: 10.3390/inventions10030034.

[7] G. A. Casula, G. Muntoni, P. Maxia, and G. Montisci, “A low-cost printed log-periodic dipole array for DVB-T2 digital TV applications,” *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 1, Art. no. 451, 2024, doi: 10.3390/app14010451.

[8] I. M. Ibrahim, M. I. Ahmed, H. M. Abdelkader, and M. M. Elsherbini, “A novel compact high gain wide-band log periodic dipole array antenna for wireless communication systems,” *J. Infrared, Millimeter, Terahertz Waves*, vol. 43, no. 11, pp. 872–894, 2022, doi: 10.1007/s10762-022-00891-1.

[9] S. Velicheti and M. R. Prudhivi, “Design of log periodic dipole array with FEM and FDTD based analysis for GSM, PCS, industry standard medical and Wi-Fi communication applications,” *Ing. Syst. Inf.*, vol. 27, no. 4, pp. 665–671, 2022, doi: 10.18280/isi.270418.

[10] K. W. Amanah, A. Hasyim, and S. Nurpadillah, “Perancangan dan realisasi antena mikrostrip patch rectangular array empat elemen pada frekuensi 920–923 MHz untuk komunikasi Long Range (LoRa),” *Fuse-Teknik Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 29–38, 2025.

[11] O.-D. D. Brito, P. Pace, and F. De Rango, “A review on the confluence of 5G and LoRaWAN: Architectures, use cases, taxonomies, open issues, and research avenues,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 191144–191163, 2025.

[12] R. H. Utama, F. Imansyah, and J. Marpaung, “Upaya optimasi jaringan 4G LTE dengan parameter RSSI (Received Signal Strength Indicator) dan RSRP (Reference Signal Received Power),” *J. Electr. Eng. Energy Inf. Technol.*, vol. 9, no. 2, 2021.

[13] H. J. Visser, *Antenna Theory and Applications*. Chichester, U.K.: Wiley, 2012.
[14] J. Y. Rindu, J. A. Rumapea, M. W. Sitopu, N. Adilah, M. S. H. Daulay, and P. Mahadi, "Perancangan antena mikrostrip rectangular dengan frekuensi 3,1 GHz untuk aplikasi LTE," *Teknol. Rekayasa Jar. Telekomun.*, vol. 4, no. 2, pp. 17–23, 2024.
[15] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2012.
[16] Chengdu Ebyte Electronic Technology Co., Ltd., *E220-900T22D User Manual*. Chengdu, China, 2020.